



Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr
Fakultät für Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Technische Universität Dresden

Modelle zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Landstraßen

Verfasser:

Dr.-Ing. Ralf Berger

Dresden, Mai 2016

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr
ISSN 1432-5500 Heft 17/2016
Professur für Integrierte Verkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik

Dieses Dokument entspricht inhaltlich der am 13.07.2015 eingereichten und am 18.03.2016 verteidigten Dissertationsschrift von Ralf Berger.

*Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Reinhold Maier (TU Dresden),
Prof. Dr.-Ing. Christian Lippold (TU Dresden).*

*Der Anhang zu der Arbeit ist online verfügbar unter folgender URL:
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-202831>*

Technische Universität Dresden

Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr
Geschäftsführender Institutsdirektor:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Lippold

Professur für Integrierte Verkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Regine Gerike

Tel.: 0351-463-36501 (Sekretariat)

Fax: 0351-463-36502

Homepage:

https://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/vkw/ivs/ivst

E-Mail:

regine.gerike@tu-dresden.de

Postanschrift:

Technische Universität Dresden

Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr

01062 Dresden

Vorwort

Die wissenschaftlich fundierte Beschreibung der Verkehrssicherheit von Straßen stößt vor allem auf zwei Schwierigkeiten: Zum einen ist die Auswertung in aller Regel zeitlich zurückgewandt, denn sie orientiert sich traditionell an dem Unfallgeschehen der Vergangenheit und zum zweiten sind die Einflüsse auf Ausmaß und Ausprägungen des Unfallgeschehens sehr vielfältig, weshalb monokausale Aussagen meist nur sehr begrenzte Gültigkeit haben. Mit beiden Problemen setzt sich die von Herrn Ralf Berger vorgelegte Untersuchung auseinander, denn hier wird der Blick in die Zukunft erwartbarer Sicherheitseigenschaften von Landstraßen auf Basis multikriterieller Modelle gerichtet. Die Arbeit ergänzt bisherige Modellansätze für innerstädtische Straßennetze durch neue Verfahren für den Landstraßenbereich und hat somit methodisch und inhaltlich die Verkehrssicherheitsarbeit bereichert. Im Ergebnis zeigt die Arbeit ein Verfahren zur Bewertung von Planungsvarianten bei der Ausgestaltung von Landstraßenabschnitten und schließt damit eine Lücke zur Erfüllung von gesetzlichen Anforderungen bei der Sicherheitsarbeit im Straßenwesen nach europäischen Richtlinien.

Der Verfasser nützt die aktuell verfügbaren methodischen Erkenntnisse und Verfügbarkeit von Daten sowie deren Verarbeitungstechniken, die es erlauben, in breitem Umfang Eigenschaften von Verkehrsanlagen sowie Sicherheitskriterien mit mathematisch-statistischen Verfahren in Zusammenhang zu bringen und Gesetzmäßigkeiten abzuleiten. Der Blick in die Unfallstatistik zeigt, dass es gerechtfertigt ist, auf die Entwicklung des Verfahrens für die Landstraßen besonderes Gewicht zu legen, da dort bezüglich Unfallzahl und -schwere erhebliche Defizite zu erkennen sind. Andererseits steht für den Planer eine Vielfalt von Entwurfs- und Ausbaubauvarianten zur Verfügung, so dass ein Verfahren zur Bewertung der Folgen von unterschiedlichen Entscheidungen bezüglich der Verkehrssicherheit enorme Bedeutung hat.

Die Ergebnisse zeigen, dass für die verschiedenen Querschnitte mit unterschiedlichen Fahrstreifenanzahlen Grundfunktionen erkennbar sind, mit denen die Unfallhäufigkeiten in Abhängigkeit der Verkehrsstärke beschrieben werden. Die Ergebnisdarstellung liegt getrennt für die Unfallkategorien der Personenschäden und Sachschäden vor. Bemerkenswert sind auch vor allem die Ergebnisse für die Modellentwicklung getrennt nach den Unfalltypen, die für die Veränderung der Sicherheitsgrade bei zunehmender Verkehrsbelastung wichtige Erkenntnisse liefern. Für die Weiterentwicklung im Hinblick auf die praktische Anwendung von Bedeutung ist vor allem dann der Ausbau durch volkswirtschaftliche Bewertung zu den Funktionen der Un-

fallkostenraten. Es zeigt sich, dass für alle Querschnitte die Unfallkostenraten „im besten Fall“ mit zunehmender Verkehrsstärke zurückgehen. Im Grundsatz haben die höherwertigen Querschnitte auch die besseren Sicherheitseigenschaften. Eine verbesserte Datenlage und dadurch möglicherweise vollständigere Erklärung der systematischen Varianz könnte später zu einer Änderung des Grundniveaus führen. Dies beschreibt der Verfasser auch durch die für die zweistreifigen Querschnitte höhere Anzahl identifizierter Merkmale mit signifikantem Einfluss. Eine Tabelle stellt die relevanten Einflüsse mengenmäßig zusammen und bildet dadurch die Grundlage für die Ermittlung der Zuschläge. Dabei werden die Auswirkungen als Anteilswerte an der Grundunfallgefahr beschrieben, damit die Expositionsabhängigkeit erhalten bleibt. Es sei darauf hingewiesen, dass sich nahezu durchgängig ein nichtlinearer Zusammenhang zu Expositionsgrößen nachweisen lässt, was zu einer Neuausrichtung bei zukünftigen Bewertungsverfahren führen sollte.

Diese Arbeit von Herrn Ralf Berger basiert auf Forschungen, die auf Anregungen aus der der Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen und im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen in den letzten Jahren durchgeführt wurden. Herr Berger hat in diesem Zusammenhang selbstständig neue Methoden entwickelt, um die Sicherheit zutreffend beschreiben zu können und hat diese Erkenntnisse in der hier vorgelegten Schrift weiterentwickelt und theoretisch begründet. Es ist zu erwarten, dass diese Verfahren auch im derzeit bearbeiteten Handbuch zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen Verwendung finden werden.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhold Maier

Dresden, im Mai 2016

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis.....	V
Abkürzungen.....	VIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangslage.....	1
1.2 Vorgehen und Methodik.....	2
2 Erkenntnisstand	4
2.1 Netzeinteilung	4
2.2 Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL.....	13
2.3 Unfallcharakteristik.....	15
2.4 Allgemeine Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf	16
2.4.1 Geschwindigkeit.....	16
2.4.2 Querschnitt.....	22
2.4.3 Lageplanelemente	27
2.4.4 Elementfolgen und Relationstrassierung	29
2.4.5 Längsneigung.....	31
2.4.6 Räumliche Linienführung und Sichtweiten.....	32
2.4.7 Umfeld.....	33
2.4.8 Querneigung und Fahrbahneigenschaften.....	38
2.4.9 Verkehrsstärke.....	38
2.4.10 Verkehrstechnik (Straßenausstattung)	40
2.4.11 Zusammenfassung	44
2.5 Verfahren zur Bewertung der Verkehrssicherheit.....	46
2.5.1 Allgemein.....	46
2.5.2 Unfallkenngrößen	47
2.5.3 Unfallkosten.....	47
2.5.4 Verfahren zur Beurteilung und Bewertung der Verkehrssicherheit	49
2.5.5 Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen HVS.....	51

2.5.6 Ausgewählte internationale Bewertungsverfahren.....	53
2.6 Schlussfolgerung.....	55
3 Methodik	58
3.1 Vorgehen.....	58
3.2 Statistische Grundlagen	61
3.3 Datengrundlage.....	67
3.3.1 Streckenauswahl.....	67
3.3.2 Allgemein Datenquellen.....	68
3.3.3 Merkmale aus Datenbanken	68
3.3.4 Informationen aus der Streckenbefahrung.....	72
3.3.5 Festlegung und Zuordnung Bewertungsfälle nach Querschnitt	76
3.3.6 Bewertung Relationstrassierung	79
3.3.7 Unfallkollektiv	80
3.4 Abgrenzung der Netzelemente.....	85
3.4.1 Abgrenzung verkehrsbedeutender Knotenpunkte.....	85
3.4.2 Einflussbereiche	88
3.4.3 Abschnittsteilung der Strecke.....	92
3.5 Klassifizierung und Bewertung der Verkehrssicherheit	94
3.5.1 Beschreibung Grundunfallkenngrößen	94
3.5.2 Modellstruktur	99
3.5.3 Volkswirtschaftliche Bewertungsansatz	106
3.5.4 Unfallkostensätze.....	114
4 Ergebnisse der Netzeinteilung	118
4.1 Knotenpunkte	118
4.2 Einflussbereiche	119
4.3 Zusammenfassung	122
5 Freie Strecke	123
5.1 Deskriptive Statistik	123
5.2 Modelle nach Bewertungsfall.....	129
5.2.1 Allgemein	129
5.2.2 Q 9.....	130

5.2.3 Q 2FS	135
5.2.4 Q 3FS	140
5.2.5 Q 21.....	143
5.3 Ableitung von Grundfunktionen.....	146
5.3.1 Funktionen der Unfallraten.....	146
5.3.2 Funktionen der Unfallkostenraten.....	150
5.3.3 Diskussion und Empfehlung.....	153
5.4 Festlegung der Größenordnung von Zuschlägen.....	160
5.5 Diskussion zur Praktikabilität des Berechnungsansatzes.....	165
5.6 Zusammenfassung der Erkenntnisse	169
6 Einflussbereiche.....	171
6.1 Bewertungsansatz.....	171
6.2 Deskriptive Statistik.....	173
6.3 Modelle nach Art des Übergangs	177
6.3.1 Allgemein.....	177
6.3.2 Knotenpunkt mit LSA	178
6.3.3 Knotenpunkt mit Regelung durch VZ.....	180
6.3.4 Ortschaften.....	182
6.4 Funktionen der Unfallrate	185
6.5 Quantifizierung der Faktoren für Einflussbereiche.....	187
6.6 Zusammenfassung der Erkenntnisse	194
7 Bewertung Netzabschnitt.....	196
7.1 Theoretische Grundlagen.....	196
7.2 Praktische Anwendung.....	202
8 Schlussfolgerungen	206
8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	206
8.2 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	210
Quellen- und Literaturverzeichnis	XIII
Verzeichnis der Anhänge.....	XXIV

Abkürzungen

A	Andere (Unfalltypengruppe)
AIC	Akaike-Informations-Kriterium
AKP	Anschlussknotenpunkt
AMF	Accident Modification Factor [-]
AS	Arbeitsschritt
A_{UKR}	Anteilswert Unfallkostenrate (anteilige Höhe des Zuschlags $zUKR_{\bar{A}}$ an der $gUKR_{\bar{A}}$) [-]
BAS _t	Bundesanstalt für Straßenwesen
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
E	Einmündung (betrachtete Zufahrt mündet am Knotenpunkt ein)
EB	Einflussbereich
EBMS	einbahnig mehrstreifig (Teilmodell)
EKL	Entwurfsklasse für Landstraßen
EL	Einmündung links (einmündende Zufahrt liegt aus betrachteter Zufahrt links)
ER	Einmündung rechts (einmündende Zufahrt liegt aus betrachteter Zufahrt rechts)
ESN	Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen
EWS	Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen
FBB	Fahrbahnbreite [m]
FEB	Faktor Einflussbereich [-]
F_G	Fixer Grenzwert
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

FRT	Abweichung von der Relationstrassierung
FS	Freie Strecke
FSB	Fahrstreifenbreite [m]
GIDAS	German In-Depth Accident Study
GIS	Geografisches Informationssystem
GLM	Verallgemeinerter Lineare Modelle
gUKR	Grundunfallkostenrate [$\text{€}/(10^3\text{Kfz}\cdot\text{km})$]
gUKR _A	Grundunfallkostenrate -ähnlich [$\text{€}/(10^3\text{Kfz}\cdot\text{km})$]
gUR	Grundunfallrate [$\text{U}/(10^6\text{Kfz}\cdot\text{km})$]
gUR _A	Grundunfallrate -ähnlich [$\text{U}/(10^6\text{Kfz}\cdot\text{km})$]
GW	Grundwert
HK	Hügeligkeit (Welligkeit) [%]
HSW	Haltesichtweite
HVS	Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (Entwurf)
K	Kreuzung (plangleich)
Kfz	Kraftfahrzeug
KP	Knotenpunkt
KS	Kostensatz [$\text{€}/\text{U}$]
KS _a	angepasster Kostensatz [$\text{€}/\text{U}$]
KST	Kreisstrukturtyp
KU	Kurvigkeit [gon/km]
KV	Kreisverkehr
L	Länge
LSA	Lichtsignalanlage

M UKo	Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen
NA	Netzabschnitt
ODF	Ortsdurchfahrt (Ortschaft)
PGS	punktuelle Gefahrenstelle
PSE	passive Schutzeinrichtung
Q	Querschnitt
R	Restliche (Unfalltypengruppe)
RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen
RAS-L	Richtlinien für die Anlage von Straßen - Linienführung
RAS-Q	Richtlinien für die Anlage von Straßen - Querschnitt
RIN	Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung
RMSE	Root Mean Square Error (Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers)
RQ	Regelquerschnitt
RSB	Randstreifenbreite [m]
SA	Streckenabschnitt
SIB	Straßeninformationsbanken
SIPO	Sicherheitspotenzial
SG	Sicherheitsgrad
StVO	Straßenverkehrsordnung
TA	Teilabschnitt
TPF	Ein-/Ausfahrt an (teil-) planfreien Knotenpunktgrundform
Typ	Unfalltyp (in Zusammenhang mit der Auswertung von Unfallkollektiven)
U	Unfall

UD	Unfalldichte [U/km]
UK	Unfallkosten [€]
UKR	Unfallkostenrate [€/(10 ³ Kfz*km)]
UKR _{VSA}	vorläufige Unfallkostenrate Streckenabschnitt [€/(10 ³ Kfz*km)]
UR	Unfallrate [U/(10 ⁶ Kfz*km)]
U(LV)	Unfall mit Leichtverletzten
U(LS)	Unfall mit leichtem Sachschaden
U(P)	Unfall mit Personenschaden
U(S)	Unfall mit Sachschaden
U(SP)	Unfall mit schwerem Personenschaden
U(SS)	Unfall mit schwerem Sachschaden
V	Verbliebene (Unfalltypengruppe)
v ₈₅	Geschwindigkeit die von 85 % der Fahrzeugführer nicht überschritten wird [km/h]
VRZ	Verkehrsregelung der Zufahrt
VwV	Verwaltungsvorschrift
VZ	(durch) Verkehrszeichen (geregelter Knotenpunkt)
V _{zul}	zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]
Z	Zeichen nach Straßenverkehrsordnung
zUKR	Zuschlag für Abweichung (zur Grundunfallkostenrate) [€/(10 ³ Kfz*km)]
zUKR _Ä	Zuschlag für Abweichung (zur Grundunfallkostenrate -ähnlich) [€/(10 ³ Kfz*km)]
2FS	einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte (Kollektiv)
3FS	einbahnig dreistreifige Streckenabschnitte (Kollektiv)

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die volkswirtschaftliche Bewertung des Unfallgeschehens ist Bestandteil der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Straßenbauinvestitionen nach den EWS (FGSV 1997), welche eine objektive und nachvollziehbare Entscheidungshilfe für die Umsetzung geplanter Baumaßnahmen repräsentieren. Die Erhöhung des Sicherheitsniveaus ist durch die Modifikation der Infrastruktur unter Berücksichtigung der Einheit von Entwurf, Bau und Betrieb zu erwarten. Der ökonomische Gewinn resultiert dabei aus dem Anteil vermiedener Unfallkosten im Vergleich verschiedener Varianten.

Landstraßen besitzen gegenüber dem gesamten Straßennetz besonderen Stellenwert. Es treten absolut die meisten Unfälle mit Getöteten auf, deren Anteil bei den Unfällen mit Personenschaden überproportional ausfällt (DESTATIS 2013). Schwere Unfälle, geprägt durch Konflikte, welche häufig mit dem Verlust über die Kontrolle des Fahrzeugs in Zusammenhang stehen, werden auch durch die Charakteristik der Strecke und des Umfelds beeinflusst. Dies mündet für Landstraßen in den Bemühungen, durch aktuelle Regelwerke eine sichere und funktionsgerechte Gestaltung zu gewährleisten. Die RAL (FGSV 2012) repräsentieren den aktuellen Wissensstand und stellen das standardisierte Entwurfsgerüst dar. Derzeit liegen allerdings sowohl für die allgemeine Bewertung als auch für Abweichungen zum richtliniengerechten Entwurf keine den aktuellen Richtlinien entsprechenden Erkenntnisse zur Sicherheitswirkung von Straßengestaltung und Betriebsformen vor. Die bisherigen Aussagen leiden unter unzureichender Qualität, zu geringer Differenzierung oder mangelnder Aktualität der Daten.

Der Entwurf für das „Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen HVS“ soll diesen Mangel beheben und dem Anwender Sicherheitsbewertungen für geplante und bestehende Straßen ermöglichen (BARK et al. 2008). In dem darin enthaltenen detaillierten Bewertungsverfahren erfolgt eine Differenzierung von Regelquerschnitten und Knotenpunktarten nach baulichen und betrieblichen Merkmalen. Es werden die Forderungen an einem richtliniengerechten Ausbau der Straßenverkehrsanlage durch das Niveau der Grundunfallkostenrate – entspricht dem mittleren Sicherheits-

niveau eines Netzelements bei Berücksichtigung dieser Forderung – beschrieben. Abweichungen werden durch situationsbedingte Zuschläge erfasst, welche in Addition mit der Grundunfallkostenrate den Sicherheitsgrad des Netzelements ergeben. Das derzeit gängige Verfahren zur Bewertung der Verkehrssicherheit nach den EWS (FGSV 1997) offenbart einen Mangel an Differenzierungen der Sicherheitsgrade von Landstraßen und beruht auf nicht aktuellen Auswertungen. Auch die in den RAS-Q 96 (FGSV 1996) enthaltene, von ECKSTEIN/MEEWES (2002) aktualisierte, Sicherheitsbewertung von Regelquerschnitten ist als sehr grob einzuschätzen. Weder die betrieblichen und verkehrstechnischen Eigenschaften noch die Elemente der Trassierung finden ausreichend Berücksichtigung. Der von VIETEN et al. (2010) entwickelte Ansatz – der auf einer Ermittlung von Sicherheitsgraden auf Basis eines nach Querschnittsbreiten getrennten Kollektivs beruht – lässt ebenfalls wichtige Eigenschaften der Verkehrsanlagen unberücksichtigt. Ein Blick in den englischsprachigen und skandinavischen Raum verdeutlicht, dass bereits seit geraumer Zeit Bewertungsverfahren und Ansätze in der Praxis Verwendung finden, die eine detaillierte Bewertung von Einzelmerkmalen der Netzelemente erlauben (AASHTO 2010, PELTOLA et al. 2013, DFT 2014).

Die Struktur und Werte der im Entwurf des HVS aufgeführten Grundunfallkostenraten und Zuschläge stellen ein von einem Expertengremium entwickeltes Grundgerüst dar, dessen Aussagekraft und Belastbarkeit mangels fehlender oder methodisch problembehafteter Untersuchungen noch als unzureichend einzuschätzen ist. Teilweise existieren nur Vermutungen zur Sicherheitswirkung von Infrastrukturmerkmalen. Aufgrund bisher häufig auf univariaten Methoden basierender Ergebnisse fehlen stellenweise Erkenntnisse darüber, ob und in welcher Dimension verschiedene Merkmale Wechselwirkungen zueinander aufweisen.

1.2 Vorgehen und Methodik

Aus der beschriebenen Ausgangslage leitet sich die Intention der Arbeit ab. Ziel ist die Entwicklung eines volkswirtschaftlichen Bewertungsverfahrens für die Verkehrssicherheit von Streckenabschnitten an Landstraßen, dessen methodischer Ansatz eine Grundlage zukünftiger Regelwerke darstellen kann. Das zu entwickelnde Verfahren soll eine formalisierte und detaillierte Sicherheitsbewertung von Straßenelementen ermöglichen und Einschränkungen derzeit praktizierter unscharfer Beurteilungen überwinden. Dabei sollen für verschiedene Straßenquerschnitte Aussagen zu einem Grundniveau der Verkehrssicherheit getroffen werden und es soll eine Identifikation

und Quantifizierung von Zuschlägen erfolgen. Dabei obliegt folgenden Aspekten besondere Bedeutung:

- Die Bewertung von einzelnen Netzelementen setzt die Differenzierung des Straßennetzes in seine Einzelemente voraus. Für eine zielorientierte Sicherheitsbewertung ist eine exakte Festlegung und Abgrenzung der Elemente fundamental. Diese Differenzierung wird deshalb für die weiteren Arbeitsschritte als maßgebende Grundlage angesehen.
- Kern der Arbeit soll die Analyse des Unfallgeschehens der Streckenabschnitte von Landstraßen darstellen. Die Auswahl zu betrachtender Merkmale soll an den Gedanken des HVS-Entwurfs orientiert, aber keinesfalls darauf beschränkt, sein. Erkenntnisse und Ergebnisse weiterer Forschungen finden Berücksichtigung. Notwendige Informationen liegen in Teilen auf Basis der Daten des FE 82.334/2007¹ vor und sind daraus zu generieren bzw. zu ergänzen.

Der Anspruch an das Verfahren, nach Möglichkeit eine Vielzahl unterschiedlicher Einflussgrößen abzubilden, führt zu methodischen Einschränkungen bezüglich des zu wählenden Analyseansatzes. Die zur Anwendung vorgesehenen multiplen statistischen Verfahren lassen dabei gegenüber anderen Methoden einen größeren Spielraum in der Bearbeitung zu. Die praktische Handhabbarkeit unter Erhalt der Aussagekraft ermittelter Zusammenhänge stellt eine wichtige Randbedingung an das zu entwickelte Bewertungsverfahren dar.

¹ Forschungsprogramm Straßenverkehrssicherheit FE 82.334/2007 „Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Straßen“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (MAIER et al. 2013)

2 Erkenntnisstand

2.1 Netzeinteilung

Allgemein

Straßennetze setzen sich aus den Streckenelementen und deren Verknüpfungen, den Knotenpunkten, zusammen. Auf Grund der Unterschiede in Funktion und Verkehrsablauf werden beide Netzelemente bei der Bewertung der Verkehrsqualität als auch der Verkehrssicherheit unterschieden. Nach den „Richtlinien für integrierte Netzgestaltung RIN“ (FGSV 2008) wird das Verkehrsstraßennetz allgemein in die Typen Autobahn, Landstraße und Stadtstraße sowie nach dem Merkmal innerhalb und außerhalb bebauter Gebiete gegliedert. Daraus resultieren neben den Landstraßen (LS) vier weitere Kategoriengruppen für Verkehrswege des Kfz-Verkehrs. Netzabschnitte von Landstraßen stellen dahingehend eine Besonderheit dar, dass diese durch Ortschaften unterbrochen oder begrenzt werden können. Sie sind in der Regel einbahnige Straßen außerhalb bebauter Gebiete und nehmen überwiegend Verbindungsfunktionen wahr. In Annäherung an größere Agglomerationen ist der Übergang zu Verkehrswegen der Kategoriengruppe anbaufreie Hauptverkehrsstraße (VS) fließend, wobei in der Regel die Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (V_{zul}) oder das Bebauungsbild als Unterscheidungsmerkmal dient (FGSV 2008). Neben der Unterscheidung in Knotenpunkte und Streckenabschnitte liegt zur Abgrenzung freier Streckenabschnitte – Bereiche außerhalb des Einflusses von Knotenpunkten oder anderer abschnittsbegrenzender Elemente – eine Vielzahl von Möglichkeiten vor.

Knotenpunkte

Für die Abgrenzung des Knotenpunkts gegenüber der angrenzenden Strecke bestehen folgende Möglichkeiten:

- Pauschaler räumlicher Bezug: Die Abgrenzung stützt sich auf die Festlegung eines pauschalen Bereichs – in der Regel bezogen auf den Schnittpunkt der Achsen. Innerhalb diesen sind alle Unfälle dem Knotenpunkt zugeordnet. Die einheitliche geometrische Abgrenzung des Kollektivs stellt einen Vorteil dieser Variante dar.

- Bauliche Ausprägung Knotenpunkt: Die Grenze des Knotenpunkts bildet der Beginn von baulichen Veränderungen im Bereich der angrenzenden Zufahrten in Form eines zusätzlichen Fahrstreifens oder ähnlichem.
- Unfallgeschehen: Das Unfallgeschehen der Knotenpunkte unterscheidet sich von den Bereichen der Strecken. Die Analyse des Unfallgeschehens erlaubt eine indirekte räumliche Definition des Knotenpunktbereichs.
- Betrieblicher Einflussbereich: Die Abgrenzung nach betrieblichen bzw. verkehrstechnischen Merkmalen – dazu zählen die Änderung der Vzul, die nach Zufahrten differenzierte Betrachtung der Verkehrsregelung, die Ankündigung von Fahrzielen oder die Anordnung von Überholverböten – stellt eine u. U. sehr weitläufige Definition des Knotenpunktes dar. Sowohl bei der Abgrenzung nach betrieblicher als auch nach baulicher Ausprägung ist eine Einzelbetrachtung aller Knotenzufahrten notwendig.
- Fahrdynamischer Einflussbereich: Die Bewertung von Geschwindigkeitsprofilen über den Verlauf von Streckenabschnitten kann als Grundlage einer fahrdynamischen Abgrenzung von Knotenpunkten dienen. Maßgebend ist die Veränderung der Geschwindigkeit, wobei beide Fahrtrichtungen der Zufahrt Beachtung finden können.

In ihrer Untersuchung zum Sicherheitsgrad von Knotenpunkten ordnen ECKSTEIN/MEEWES (2002) das Unfallgeschehen anhand der erhobenen polizeilichen Merkmale dem Knotenpunkt oder der Strecke räumlich zu. KÖLLE/SCHNÜLL (1999) grenzen den Knotenpunktbereich anhand baulicher Ausprägungen ab. Die räumlich pauschalen Abgrenzungen weisen Unterschiede auf. VIETEN et al. (2010) und MAIER et al. (2013) definieren den Knotenpunktbereich mit einem Radius von 50 m um den Schnittpunkt der Achsen. Eine Größenordnung von 100 m liegt in (MAIER et al. 2012B) vor. Das Unfallgeschehen innerhalb eines Radius von 150 m vom Schnittpunkt der Achsen weist SPAHN (2009) den Knotenpunkten zu. Ebenfalls pauschal und nach gleicher Länge grenzen BAIER et al. (2012) – hier aufgrund der bereitgestellten Datengrundlage – sowie HAUTZINGER et al. (2010) den Bereich außerörtlicher Knotenpunkte ab. Im Entwurf des HVS wird es bei der Abgrenzung außerörtlicher Knotenpunkte als zweckmäßig angesehen, die Annäherungsbereiche bis zu einer Länge von 150 m zu jeder Seite, einzubeziehen (BARK et al. 2008). Darüber hinaus werden aber auch Möglichkeiten der individuellen Abgrenzung über bauliche Veränderungen oder die Ausdehnung des Unfallgeschehens beschrieben. Einen anderen stark vereinfachten Weg beschreiben DOHMEN et al. (1989), die ihre Auswertung auf Streckenunfälle beschränken und somit eine räumliche Abgrenzung der Knotenpunkte umgehen.

Im allgemeinen Sprachgebrauch umfasst der Begriff Knotenpunkt sehr verschiedene Arten von Netzverknüpfungen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden diese in verkehrsbedeutende Knotenpunkte und Anschlussknotenpunkte differenziert. Letztere werden als Merkmal der Strecke betrachtet. Eine detaillierte Erläuterung enthält Anhang E.1.

Einflussbereiche

Die Verknüpfung von Knotenpunkt und Streckenabschnitt bedingt die gegenseitige Beeinflussung des Verkehrsablaufs und damit des Unfallgeschehens. Es ist nachgewiesen, dass die Zufahrtregelung eines Knotenpunktes den Sicherheitsgrad der angrenzenden Strecke prägt. Der betroffene Abschnitt wird als Einflussbereich bezeichnet. Der Streckenbereich außerhalb eines Einflusses wird allgemein als Freie Strecke bezeichnet. Eine nähere Erläuterung enthält Anhang E.3. Der Sicherheitsgrad eines Netzabschnitts oder Streckenzugs wird somit neben dem gewählten Querschnitt durch die gewählten Knotengrundformen und deren Einfluss auf die angrenzende Strecke bestimmt.

Neben der Betrachtung der Einzelelemente Knotenpunkt und Strecke analysiert RICHTER (1993) ein Konglomerat aus Knotenpunkt und den angrenzenden übergeordneten Streckenabschnitten auf einer Länge von 1.000 m, um Aussagen zur Verkehrssicherheit von Ortsumgehungen bezüglich verschiedener Knotengrundformen treffen zu können bzw. Abhängigkeiten zu prüfen. Es wird deutlich, dass neben der Knotengrundform weitere Aspekte wie Verkehrsaufkommen oder Ausbaustandard Einfluss auf die Verkehrssicherheit der Strecken besitzen. Weiterhin bestimmt das Unfallgeschehen des Knotenpunkts maßgeblich die Bewertung des Gesamtsystems. Eine Abgrenzung der Länge des Knoteneinflusses ist auf Basis der gewählten Methodik nicht möglich.

Für den Sicherheitsvergleich von Kreuzung und Rechtsversatz ohne Lichtsignalanlage an außerörtlichen Straßen wählen SCHNÜLL/RICHTER (1994) ein von der Längenbegrenzung her identisches Untersuchungsdesign. Dabei sollen mögliche Abhängigkeiten zwischen Knotenpunkt und angrenzender Strecke ermittelt werden. Auch hier zeigt sich, dass die Gesamtbeurteilung beider Elemente bezüglich der Unfallkenngrößen wenig Aussagekraft besitzt, da das Konstrukt in der Regel durch das Unfallgeschehen des Knotenpunkts dominiert wird. Das Unfallgeschehen der angrenzenden Strecken wird weniger von den Knotenpunkten als vielmehr durch andere Faktoren beschrieben.

KÖLLE/SCHNÜLL (1999) bewerten die Verkehrssicherheit von Systemen planfreier Teilknoten in Verbindung der anschließenden einbahnig zweistrei-

figen Strecken. Sie stellen eine tendenzielle Abnahme der Unfallkostenrate mit Zunahme der berücksichtigten Streckenlänge fest. In welcher Art und Weise eine Wirkung des Knotens auf die angrenzende Strecke vorliegt, ist aus der gewählten Methodik nicht abzuleiten.

Aufgrund einer Vielzahl von Widersprüchen in vorangegangenen Untersuchungen zum Einfluss der Zufahrtregelung von Knoten auf den Sicherheitsgrad angrenzender Strecken, berücksichtigen ECKSTEIN/MEEWES (2002) in ihrer Analyse lediglich Strecken mit einem Knotenpunktabstand von $A \geq 2.000$ m, um für jede Zufahrt eine Länge von $L = 1.000$ m näher betrachten zu können. Die Ermittlung der Einflusslänge basiert auf einer iterativen Berechnung der Unfallkostenrate für einen knotenpunktnahen (UKR_{nah}) und -fernen (UKR_{fern}) Bereich in Abhängigkeit eines zunehmenden Abstands A . Folgende Formen des Einflusses liegen vor:

- Ein positiver Einfluss liegt vor, wenn mit zunehmendem Abstand A sowohl UKR_{nah} als auch UKR_{fern} steigen. Die Einflusslänge L ist erreicht, wenn sich die Größenordnung der UKR_{fern} mit steigendem Abstand A nicht mehr verändert.
- Ein negativer Einfluss liegt bei konträrer Entwicklung der UKR_{nah} und UKR_{fern} vor. Mit zunehmendem Abstand A sinkt die Größenordnung beider Kenngrößen.
- Bei nahezu keinen Änderungen beider Unfallkostenraten liegt ein Einfluss des Knotens auf die angrenzende Strecke nicht vor.

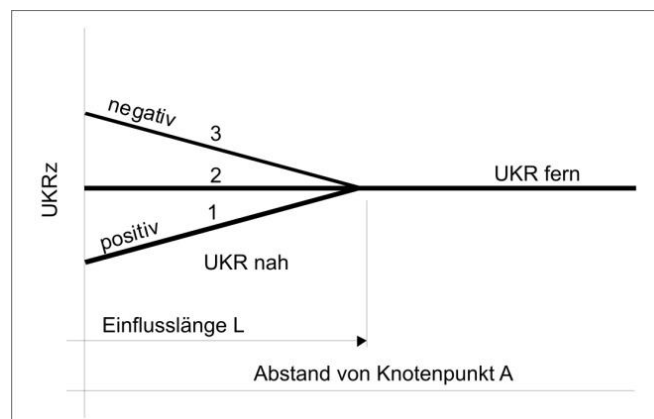


Abbildung 2-1: Art des Einflusses der Verkehrsregelung der Knotenzufahrt auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden Zufahrt nach ECKSTEIN/MEEWES (2002)

Die von ECKSTEIN/MEEWES (2002) ermittelten Einflusslängen variieren in Abhängigkeit der Zufahrtregelung. Zufahrten mit einer Lichtsignalregelung sowie Zufahrten mit Wartepflicht (Z 205 oder Z 206 StVO) weisen einen geringen Einflussbereich der Knoten mit einer Länge von ca. 300 m auf. An Zufahrten (teil-) planfreier Knoten beträgt die Länge ca. 500 m. Für bevorrechtigte Zufahrten an durch Verkehrszeichen geregelten Knotenpunkten (Z 306 StVO) ist zu vermuten, dass die Länge des ermittelten Einfluss-

bereichs von $L = 700$ m im Zusammenhang mit der Beschränkung der V_{zul} in Knotennähe steht. Eine Unterscheidung der durch Verkehrszeichen geregelten Knoten, ob und in welcher Art eine bauliche Veränderung des Querschnitts im Knotenbereich vorliegt, erfolgt nicht. Mit Ausnahme der wartepflichtigen Zufahrten wirken sich alle Zufahrtregelungen positiv auf den Sicherheitsgrad der angrenzenden Strecke aus. Der Sicherheitsgewinn resultiert nahezu ausschließlich aus einem Rückgang der Unfallschwere (ECKSTEIN/MEEWES 2002). Bezugspunkt der angegebenen Längen bildet der Knotenmittelpunkt. Der geringe Umfang einiger Kollektive spiegelt sich in den Ergebnissen in deutlichen Schwankungen – aufgrund der niedrigen Zahl von Unfällen mit Personenschäden – der Unfallkostenraten wider.

Der Einflussbereich von Knotenpunkten auf die zulaufende Strecke wird in VIETEN et al. (2010) mit einer Gesamtlänge von 500 m abzüglich des Knotenpunktbereichs unabhängig der Regelungsart definiert. Die Festlegung ist an die Untersuchung von ECKSTEIN/MEEWES (2002) angelehnt. Für drei Arten von Verkehrsregelungen an plangleichen Knotenpunkten – durch Verkehrszeichen (VZ) bevorrechtigt bzw. wartepflichtig sowie signalgeregelt – wurde ein positiver Einfluss auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden Abschnitte ermittelt.

Bezüglich der Geschwindigkeiten freifahrender Fahrzeuge liegt laut ZIERKE (2010) kein Einfluss planfreier Knotenelemente auf die angrenzende Zufahrt vor, während von Kreisverkehren eine weit in die knotenpunktfreie Strecke ragende geschwindigkeitsdämpfende Wirkung ausgeht. SCHNÜLL/RICHTER (1994) stellten fest, dass der mittlere Knotenabstand einen deutlichen Einfluss auf die im Knoten gefahrenen Geschwindigkeiten ausübt. Lediglich die Bewertung eines sehr kleinen Kollektivs steht hinter der Aussage von RICHTER (1993), dass die Signalisierung mehrerer aufeinanderfolgender Knotenpunkte im Zuge einer Ortsumgehung zu einer deutlichen Verringerung der Geschwindigkeiten führt. Für Streckenabschnitte mit der nicht signalisierten Knotengrundform IV (RAS-K (FGSV 1988)) hingegen sind sowohl im Knoten als auch auf der Freien Strecke höhere Geschwindigkeiten zu verzeichnen. Eine Abhängigkeit zum Regelquerschnitt konnte nicht nachgewiesen werden.

In einem Verfahrensansatz zur Bewertung der Verkehrsqualität von Landstraßenzügen, setzen sich STEINAUER et al. (2008) mit dem Einfluss von Knotenpunkten auf die gefahrenen Geschwindigkeiten angrenzender Zu- und Abfahrten auseinander. Anhand von Differenzgeschwindigkeiten und Standardabweichung werden Schwellwerte bestimmt, welche die Einflussbereiche festlegen. Aus der Analyse der Differenzgeschwindigkeiten – Überschreiten der Schwellwerte – erfolgt getrennt nach Knotengrundform und

Regelungsart die Ableitung von Einflusslängen. Den weitreichendsten Einfluss weisen Abfahrten an nicht signalisierten Knoten auf (Tabelle 2-1). Für bevorrechtigte Ströme an durch Verkehrszeichen geregelten Knotenpunkten schätzen STEINAUER et al. (2008) eine Einflusslänge von jeweils 100 m in Zu- und Abfahrt ab, jedoch bleibt diese Länge im weiteren Verfahren unberücksichtigt. Für das weitere Vorgehen definieren STEINAUER et al. (2008) für alle anderen Zufahrten einen einheitlichen Einflussbereich in Abhängigkeit der V_{zul} der Freien Strecke. Für Abschnitte mit einer V_{zul} von 100 km/h wird der Einfluss vor und nach dem Knoten auf 400 m, für eine V_{zul} von 70 km/h auf 300 m festgelegt.

Tabelle 2-1: Einflussbereiche von Knotenpunkten auf die Geschwindigkeit (STEINAUER et al. 2008)

Knotenpunkttyp	V_{zul} Freie Strecke	Zufahrt		Abfahrt	
		Anzahl	mittlerer Einflussbereich	Anzahl	mittlerer Einflussbereich
Kreuzung mit LSA	100 km/h	16	419 m	16	420 m
Einmündung mit LSA	100 km/h	11	387 m	9	383 m
	70 km/h	-	-	2	279 m
Kreisverkehr	100 km/h	6	377 m	8	453 m
	70 km/h	4	317 m	4	321 m
Einmündung (wartepflichtige Zufahrt)	100 km/h	3	353 m	2	458 m

Die Bewertung von Netzabschnitten mit „Safety-Performance-Functions“ (SPF) nach dem Highway Safety Manual (AASHTO 2010) bewertet den Einfluss von Merkmalen über „Accident Modification Factors“ (AMF). Dabei erfolgt lediglich eine Differenzierung in die Elemente Knotenpunkt und Streckenabschnitt. Eine Berücksichtigung der Einflussbereiche über separate AMF oder eine Gewichtung der Streckenlänge liegt nicht vor.

Bezüglich des Einflussbereichs von Ortslagen (Ortschaften) – abgegrenzt durch Z 310 und Z 311 StVO – auf Verkehrsablauf und -sicherheit der angrenzenden Strecke existieren bisher nur wenige Untersuchungen. Zur Entwicklung von geschwindigkeitsdämpfenden Maßnahmen an Ortseinfahrten erhob LANGE (1990) in Höhe der Ortstafeln Geschwindigkeiten freifahrender Kfz und analysierte das Unfallgeschehen. Über alle 73 Messstellen hinweg überschritten mehr als 80 % der Kraftfahrer die zulässige Höchstgeschwindigkeit. Die Höhe der Überschreitung wird maßgeblich durch das Straßenumfeld beeinflusst. Je deutlicher eine Veränderung des Straßenumfelds im Bereich des Ortsübergangs durch Bebauung oder einen Wechsel des Straßenraums in Erscheinung tritt, desto geringer fallen die gefahrenen

Geschwindigkeiten aus. Nachweislich einen geringen Geschwindigkeitseinfluss besitzt die vorangegangene Streckencharakteristik. Bezüglich der Verkehrssicherheit stellt LANGE (1990) keine Zusammenhänge zwischen Unfallsituation und Straßenraumgestaltung bzw. Geschwindigkeitsniveau fest. Die mit 29 Unfällen sehr begrenzte Kollektivgröße sowie die fehlende räumliche Abgrenzung des Untersuchungsgebietes lassen keine allgemeinen Aussagen zu.

Aus den Geschwindigkeitserhebungen in Höhe von Ortstafeln aus einem Kollektiv von 28 einbahnigen Ortsdurchfahrten ermitteln MAIER/MEEWES (1990) keine fahrtrichtungsabhängigen Unterschiede. Unmittelbar auf Höhe der Ortstafel sind sehr häufig und teilweise deutliche Überschreitungen der V_{zul} festzustellen. BUCK (1991) gibt an, dass Kraftfahrer ab einer Entfernung von ca. 300 m zur Ortstafel beginnen, ihre Geschwindigkeit zu reduzieren. Grundlage bilden die Geschwindigkeitsprofile von insgesamt 369 Nachfolgefahrten an drei Ortseinfahrten.

Abschnittsteilung Freie Strecke

Die Abschnittsteilung von Freien Strecken verfolgt überwiegend das Ziel, Abschnitte mit homogenen Eigenschaften für eine objektive Bewertung zu erzeugen.

In ihren Untersuchungen teilen VIETEN et al. (2010) ihre Streckenabschnitte nach Fahrbahnbreiten in ein Raster von 0,5 m ein. Es finden in den Untersuchungen nur Netzabschnitte Berücksichtigung, deren Länge sich mindestens zu 75 % einer Fahrbahnbreitenklasse zuordnen lässt. Abschnittstrennungen auf Basis einer Querschnittsänderung finden daher nicht statt. Eine Abschnittsbildung anhand der V_{zul} erfolgt nicht.

Eine Berücksichtigung der V_{zul} als Merkmal erfolgt u. a. in HARWOOD et al. (2000), MILTON/MANNERING (1996) und PELTOLA (2009).

Die Berücksichtigung von Anschlussknoten bei Netzanalysen und die Notwendigkeit einer Trennung der Strecke in Abschnitte sind häufig an die Qualität der zur Verfügung stehenden Daten geknüpft. Der Begriff Anschlussknoten ist in den bisherigen Untersuchungen nicht eindeutig definiert. In der Regel werden darunter untergeordnete Anschlüsse von (nicht klassifizierten) Strecken mit geringer Verkehrsbedeutung oder kleinerer Wege mit Erschließungsfunktion verstanden (HARWOOD et al. 2000, TAYLOR et al. 2002, VIETEN et al. 2010). DOHMEN et al. (1989) berücksichtigen die fehlende Kenntnis über Anschlussknoten in ihrem Kollektiv über eine gesonderte Auswertung nach Unfalltypen. VIETEN et al. (2010) gibt an, dass ein Rückschluss auf die Anzahl von Anschlussknoten –

nicht klassifizierte Netzknoten – auf Basis der verwendeten Datengrundlage der SIB nicht möglich ist. Somit gelten bei VIETEN et al. (2010) jegliche auftretende nicht klassifizierte Knotenpunkte als Anschlussknotenpunkte und entsprechen der Streckencharakteristik, die keine Abschnittstrennung nach sich ziehen. HARWOOD et al. (2000) stellen eine Erhöhung der Unfallrate mit steigender Dichte von Zufahrten je Streckenabschnitt fest. Eine feingliedrige Einteilung nehmen TAYLOR et al. (2002) vor, die Anschlussknoten in kleinere (untergeordnete) Knotenpunkte und Zugänge (Grundstückzufahrten u. Ä.) unterscheiden.

Ein weiteres Problem der Abschnittsbildung liegt in der Betrachtung sehr kurzer Streckenlängen ($L < 1$ km). Durch die Verwendung von relativen Unfallkenngrößen wie Raten und Dichten liegen bereits bei geringen Unfallzahlen Überbewertungen der Kenngrößen vor (EBERSBACH/SCHÜLLER 2008).

Die Auswirkung verschiedener Abschnittsteilungen auf die Unfallkostenrate anhand des Merkmals Kurvigkeit verdeutlicht HAMMERSCHMIDT (2006) in einer Gegenüberstellung zweier Verfahren. Während bei einer Begrenzung der Streckenabschnitte durch Ortschaften (AO) kaum eine Veränderung der Unfallkostenrate mit ansteigender Kurvigkeit festzustellen ist, ergibt sich für die Variante mit einer weiteren Unterteilung der Streckenabschnitte auf Basis von Abschnitten mit homogener Kurvigkeit ein deutlich stärkerer Anstieg der Unfallkostenrate mit Zunahme der Kurvigkeit.

Zusammenfassung der Erkenntnisse

Das Netzelement (verkehrsbedeutender) Knotenpunkt stellt ein den Streckenabschnitt begrenzendes Merkmal (Übergang) dar. Dazu zählt auch der Wechsel zu Ortschaften. Die Abgrenzung von Knotenpunkten erfolgt in einer Vielzahl von Untersuchungen anhand einer festgelegten räumlichen Beschränkung, wobei die absolute Größenordnung variiert. Einzig für Ein- und Ausfahrtbereiche scheint die Abgrenzung des Knotens nach baulichen Kriterien Vorteile zu besitzen. Ursache ist die räumliche Variation der Lage von Ein- und Ausfahrtbereichen an der Strecke.

Eine räumliche Abgrenzung von Knotenpunkten in Abhängigkeit von der baulichen Veränderung in den Zufahrten bietet auf den ersten Blick die Möglichkeit, Veränderungen im Verkehrsablauf, die im Zusammenhang mit dem Knotenpunkt stehen – bspw. Fahrstreifenwechsellvorgänge, Einfädellvorgänge – dem Netzelement Knotenpunkt zuzuordnen. Jedoch weist das Bestandsnetz auch bei ähnlichen Randbedingungen und gleichen Grundformen sehr unterschiedliche bauliche Ausprägungen der Knotenpunktgestaltung auf. Aus STEINAUER et al. (2008) wird deutlich, dass vielmehr

der Knotenpunkt als solcher Einfluss auf die Wahl der Geschwindigkeit und damit auf die Unfallschwere (in der Zufahrt) ausübt. Ähnlich äußert sich auch ZIERKE (2010). Es ist zu vermuten, dass die bauliche Veränderung im Vorfeld des Knotens nur eine geringe Rolle spielt. Die Anpassung der Geschwindigkeit erfolgt – wenn nicht durch eine Beschränkung der V_{zul} zusätzlich beeinflusst – in Annäherung an den eigentlichen Knotenpunkt. Vor diesem Kontext und dem Ziel einer vergleichenden Bewertung von Knotenpunktformen, stellt die individuelle längenvariable Abgrenzung von Knotenpunkten eine ungeeignete Lösung dar.

Dagegen bietet die Abgrenzung des Knotenpunkts anhand des Unfallgeschehens für eine Sicherheitsbewertung eine bessere Lösung. Jedoch ist diese zum einen abhängig von der Qualität der Daten bezüglich der Lokalisierung von Unfällen – bspw. Endlage eines Fahrzeuges aufgrund eines Fahr-unfalls im Knotenbereich, obwohl die konfliktauslösende Situation dem angrenzenden Streckenabschnitt zuzuordnen ist –, zum anderen steht die räumliche Verteilung knotenpunkttypischer Unfälle in engem Zusammenhang mit der baulichen Längenentwicklung des Knotens – bspw. Auffahr-fälle in einer Zufahrt. Es ist zu klären, ab welcher Entfernung zum Achsen-schnittpunkt des Knotens von einem zur Strecke signifikant verschiedenem Unfallgeschehen ausgegangen werden kann. Ist diese Grenze bekannt, kann eine einheitliche (pauschale) räumliche Abgrenzung des Knotenpunkts auf Basis des Unfallgeschehens erfolgen. Diese Variante wird als zielführend an-gesehen.

Die Untersuchungen von ECKSTEIN/MEEWES (2002) sowie VIETEN et al. (2010) belegen den Einfluss von Knotenpunkten auf die Verkehrssicherheit angrenzender Strecken. Der in aller Regel positive Einfluss kann dabei unmittelbar auf die Reduzierung der Geschwindigkeiten zurückgeführt werden (STEINAUER 2008, ZIERKE 2010). Bei der Bewertung von Strecken-abschnitten stellt die Berücksichtigung dieses Aspekts eine wesentliche Rol-le dar. Für die Wirkungen der Übergangsart Ortschaft auf die Verkehrs-sicherheit liegen noch keine Erkenntnisse vor. Aus dem nachgewiesenen ge-schwindigkeitsdämpfenden Einfluss der Ortseinfahrten durch MAI-ER/MEEWES (1990) und BUCK (1991), ist für diese Bereiche ebenfalls eine Reduzierung des Unfallgeschehens zu erwarten.

Einflussbereiche stellen keine Bereiche (Netzelemente) dar, die anhand bau-licher oder verkehrstechnischer Kriterien räumlich einer klaren Abgrenzung unterliegen. Die Berücksichtigung dieser Bereiche gründet sich auf den Ver-änderungen bezüglich Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit, die sich an den Streckenübergängen ergeben. Streckenabschnitte außerhalb der Ein-flussbereiche entsprechen der Freien Strecke. Der Abschnittseinteilung der

Freien Strecke kommt auf Grundlage der Wirkung verschiedener Merkmale eine hohe Bedeutung zu.

Für die eigene Untersuchung ist das außerörtliche Straßennetz in die (Netz-) Elemente verkehrsbedeutender Knotenpunkt, Einflussbereich (EB) und Freie Strecke (FS) zu gliedern. Vereinfachend werden Einflussbereiche im Verfahren der Sicherheitsbewertung auch als Netzelement bezeichnet, auch wenn sie sich nicht baulich definieren lassen. Die gewählte Einteilung stellt eine Grundbedingung der Bewertung dar (Abbildung 2-2). EB und FS bilden einen Streckenabschnitt. Verkehrsbedeutende Knotenpunkte oder Ortslagen (Z 310 StVO) grenzen den Streckenabschnitt ab. Sie sind nicht Gegenstand der Untersuchung.

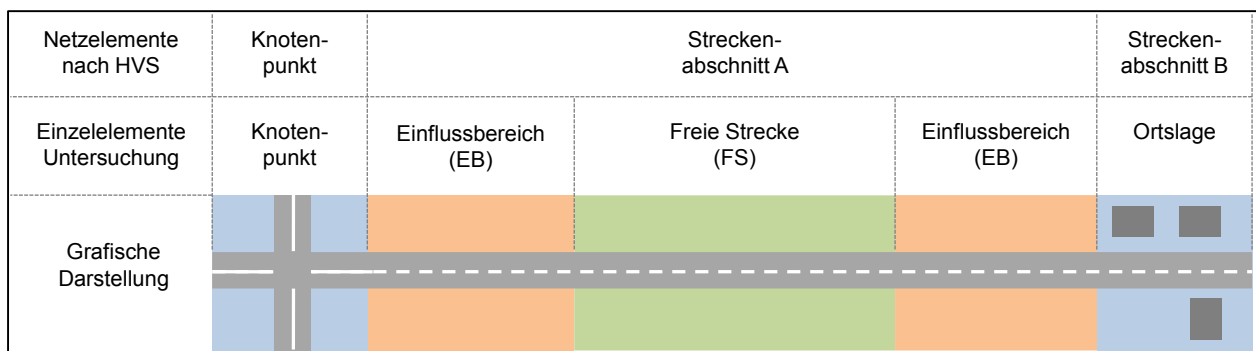


Abbildung 2-2: Trennung des Streckennetzes in Einzelbereiche

Vor der Bewertung von Streckenabschnitten sind folgende Sachverhalte zu klären:

- In welcher Art und Weise sind Knotenpunkte räumlich abzugrenzen?
- Nach welchen Kriterien (Regelung/Grundform) sind Zufahrten zu Knotenpunkten (EB) zu unterscheiden?
- Welche längenmäßige Ausdehnung besitzen die EB in Abhängigkeit von der Art des Übergangs?

Die Methodik zur Lösung dieser Fragen ist in Kapitel 3.4 beschrieben, die Ergebnisse sind in Kapitel 4 dargestellt.

2.2 Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL

Mit der Veröffentlichung der „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL“ (FGSV 2012) im Juni 2013 wurde die Einführung einer neuen Generation integraler Entwurfsrichtlinien abgeschlossen. Dazu zählen noch die „Richtlinien für die Anlage von Autobahnen“ (FGSV 2008B) sowie die „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen“ (FGSV 2006). Somit steht auch für den Bereich Landstraßen ein umfassendes Regelwerk als Grundlage für den Entwurf in der Planung standardisierter Straßen zur Verfügung,

welches die sektorale Gliederung älterer Richtlinien beendet. Der Geltungsbereich umfasst die Landstraßen der Kategorie I bis IV, nach den „Richtlinien für integrierte Netzgestaltung RIN“ (FGSV 2008).

Zum einen zur Förderung der Einheitlichkeit von Straßen und damit der Verkehrssicherheit, zum anderen zur Verdeutlichung der Netzfunktion, erfolgt die Standardisierung der Straßenkategorien (HARTKOPF 2013). Die Straßenkategorie dient als Eingangsgröße zur Bestimmung einer der vier Entwurfsklassen (EKL). In Abhängigkeit von der Verkehrsstärke ist die Auf- oder Abstufung der EKL möglich. Die standardisierten EKL sollen die Homogenität von Straßen einer Kategorie durch eine Abstimmung der Elemente aufeinander unterstützen, aber auch die Verschiedenheiten zwischen unterschiedlichen Kategorien und damit die Wiedererkennbarkeit verdeutlichen. Übersichten zum Geltungsbereich der RAL, der Klassifizierung des Landstraßennetzes in EKL sowie die Gestaltung der Regelquerschnitte enthält Anhang A.

Die Standardisierung der Landstraßenquerschnitte nach EKL erlaubt eine differenzierte Wirtschaftlichkeitsanalyse im Planungsprozess und somit eine deutlichere Abwägung von Varianten. Mit dem Anspruch, einen hohen Grad der Verkehrssicherheit zu gewährleisten, sind in den RAL klare Zielstellungen an den Entwurf der Verkehrsanlagen geknüpft. Insbesondere für höherrangige Verbindungen im Netz gilt der Kontinuitätsgrundsatz, d. h., dass aus Gründen der Verkehrssicherheit auf eine einheitliche Gestalt des Netzabschnitts Wert zu legen ist. Weiteres Augenmerk liegt auf der Integration des Bestandsnetzes in die Struktur der RAL. Diese ist notwendig, um Maßnahmen im Bestand auf die zugrunde gelegte EKL abzustimmen. Ergänzend zu den RAL wird daher ein Regelwerk erarbeitet, dass die Anwendung der RAL bei Maßnahmen im bestehenden Netz präzisieren soll (GRIEPENBURG 2013). Diese Kategorisierung ist hinsichtlich der Sicherheitsbewertung des Bestandsnetzes von elementarer Bedeutung. Die Berücksichtigung der in den RAL festgehaltenen Entwurfsparameter im Planungsprozess beschreibt die Anforderung an einen „richtliniengerechten Ausbau“. Abweichungen von der Vorgabe der Entwurfskriterien sind i. d. R. mit einer Verringerung der Verkehrssicherheit verbunden. Somit stellen die RAL die Bezugsgrundlage zukünftiger Bewertungsverfahren zur Quantifizierung von Sicherheitsdefiziten, wie im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) beschrieben, dar.

In den RAL (FGSV 2012) wird die grundsätzliche Entwurfsmethodik für den Neu-, Um- oder Ausbau von Landstraßen beschrieben. Sie ersetzen die bisher gültigen RAS-Q 96 (FGSV 1996) und RAS-L (FGSV 1995). Die EKL bestimmen die:

- Entwurfs- und Betriebsmerkmale – dazu zählen neben der Betriebsform die Gestaltung des Querschnitts, die Führung des Radverkehrs sowie Vorgaben zur Sicherung der Überholabschnitte
- Führung der Strecke – diese beinhaltet Aussagen zur Linienführung sowie der Größenordnung von Trassierungselementen/ -abfolgen in Lage- und Höhenplan
- Führung im Knotenpunkt – Erläuterung zu Grundform und Betrieb von Knotenpunkten

Ein weiteres Identifikationsmerkmal ist die feste Zuordnung von jeweils einem Regelquerschnitt (RQ) je EKL. Eine Ausnahme stellt der zweibahnig vierstreifige RQ 21 dar, der für eine Verkehrsstärke bis zu 30.000 Kfz/24h auf kurzen Streckenabschnitten für die EKL 1 bis EKL 3 zur Anwendung kommen kann.

Streckenabschnitte, welche nach den Entwurfskriterien der RAL gestaltet sind, stellen derzeit noch Ausnahmen im Bestandsnetz dar. Der überwiegende Teil der Streckenabschnitte fußt auf den Entwurfs- und Gestaltungsprinzipien der RAS-L (FGSV 1995) bzw. RAS-Q 96 (FGSV 1996). Mögliche Diskrepanzen in den Gestaltungsgrundsätzen einzelner Abschnitte in einem späteren Bewertungsverfahren, erfordern eine Kategorisierung, ggf. Übersetzung und Anpassung der betrachteten Abschnitte in der weiteren Untersuchung.

2.3 Unfallcharakteristik

Dem allgemeinen Trend folgend, ist auch für Landstraßen in Deutschland seit Jahren eine deutliche Abnahme der Unfälle mit Personenschaden festzustellen (BAST 2014). In den Jahren 2000 bis 2007 ist ein Rückgang von 23 % zu verzeichnen. (HEINRICH et al. 2010, DESTATIS 2013). Dennoch ist das Unfallgeschehen auf Landstraßen gegenüber anderen Straßenkategorien durch eine überdurchschnittlich hohe Unfallschwere geprägt. Der Wert von ca. 29 Getöteten je 1.000 Unfälle mit Personenschaden auf Landstraßen für das Jahr 2012 übertrifft den gesamtdeutschen Wert um mehr als das Doppelte. In Bezug auf die Unfallschwere besonders gefährdet gelten Motorradfahrer. Hohe Geschwindigkeiten, die fehlende bauliche Trennung der Fahrtrichtungen und eine teilweise ungenügende verkehrstechnische Ausstattung sind Gründe hoher Unfallschwere auf Landstraßen.

HEINRICH et al. (2010) verdeutlichen in einer Analyse der bundesdeutschen Unfallstatistik, dass Unfälle auf Landstraßen zu ca. 62 % den Unfalltypen 1 (Fahrerunfall) und 6 (Unfall im Längsverkehr) zuzuordnen sind. Eine

reine Betrachtung der Streckenunfälle würde eine noch deutlichere Dominanz beider Unfalltypen nach sich ziehen. Als auffällig gelten Unfälle in Kurven, da sich ca. 30 % aller Unfälle in Kurvenbereichen ereigneten, der Anteil der Getöteten jedoch bei 40 % liegt. Die allgemein hohe Unfallschwere bei Baumunfällen ist bekannt. Während von allen Unfällen mit Abkommen von der Fahrbahn 11 % das Merkmal Anprall an Baum enthalten, übertrifft hier der Anteil an Getöteten den Wert mit ca. 30 % nahezu um das Dreifache. Unfälle mit Radfahrern und Fußgängern treten relativ gesehen selten auf, sind aber aufgrund der hohen Kfz-Geschwindigkeiten im außerörtlichen Straßennetz durch eine erhebliche Unfallschwere – 80 bzw. 99 Getötete je 1.000 Unfälle mit Personenschaden – gekennzeichnet.

Eine ausführliche statistische Auswertung der Unfälle mit Personenschaden für einbahnige Außerortsstraßen für den angelsächsischen Raum liegt von BARKER et al. (1998) vor. Die Verteilung der Unfälle nach Verletzungsschwere entspricht dem deutschen Durchschnitt. Der Straßentyp der Klasse A (hoher Ausbaustandard) weist gegenüber den Typen B und C (geringer Ausbaustandard) einen deutlich höheren Sicherheitsgrad auf. Der Sprung von Typ B auf C – hier handelt es sich um untergeordnete Straßen mit geringer Verkehrsbedeutung – fällt nur noch gering aus. Jedoch weisen Typ A und B einen höheren Anteil der Unfälle mit schwerem Personenschaden an allen Unfällen mit Personenschaden (Unfallschwere) auf. Weiterhin nimmt die mittlere Unfallschwere mit Verringerung der Fahrstreifenanzahl am Querschnitt ab. Aus der Veränderung der Unfallschwere wird der indirekte Zusammenhang zwischen der Streckengestaltung und den Geschwindigkeiten deutlich. Strecken niederen Rangs weisen eine höhere Unfallrate auf, die Unfallfolgen fallen jedoch meist niedriger als auf höherklassigen Strecken aus.

2.4 Allgemeine Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf

2.4.1 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeitswahl der Verkehrsteilnehmer ist unmittelbar an die Wahrnehmung der äußeren Einflüsse, explizit der Streckencharakteristik geknüpft und entspricht einem wesentlichen Indikator des Fahrverhaltens. Darüber hinaus ist das Fahrverhalten von verschiedenen weiteren Einflüssen abhängig. (Abbildung 2-3). Die Kombination hoher Geschwindigkeiten mit einer relativ schnellen Abfolge von (kleinen) Entwurfs-elementen stellen

auf Landstraßen an den Fahrer und sein Verhalten besondere Anforderungen.

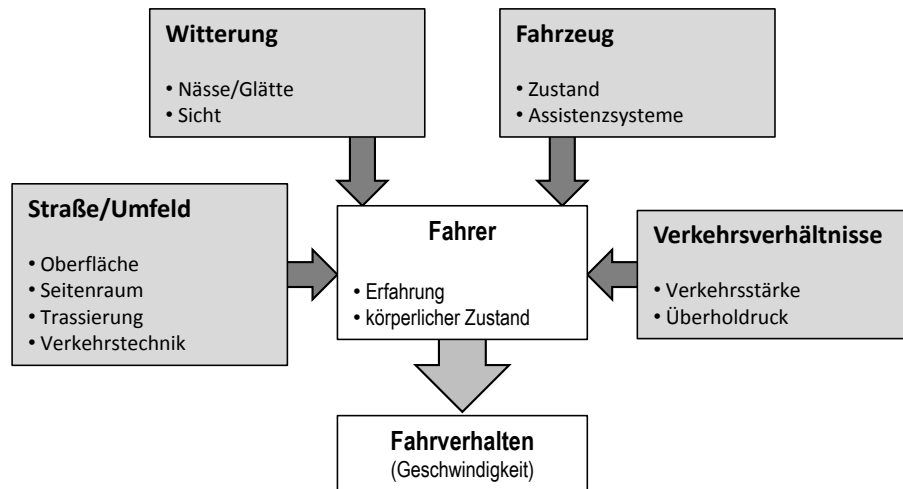


Abbildung 2-3: Einflussfaktoren auf das Fahrverhalten in Anlehnung an LABS (1987)

Das Zusammenspiel mehrerer ungünstiger Faktoren äußert sich in einer Abnahme des Sicherheitsspielraums, während das Unfallrisiko steigt (FGSV 2012). Verschiedene Untersuchungen versuchen Ansätze und Erklärungen für das Zusammenspiel von Streckencharakteristik, Geschwindigkeitswahl und Unfallgeschehen zu liefern und dienen somit als Grundlage für eine allgemeine Identifikation maßgebender Mängel.

Untersuchungen zur Geschwindigkeitswahl in Abhängigkeit von der baulichen Gestaltung reichen weit in das letzte Jahrhundert zurück. So stellt TRAPP (1971) fest, dass verschiedene Faktoren der straßenbaulichen Gestaltung nicht isoliert, sondern voneinander abhängig Einfluss auf die Geschwindigkeit besitzen. Maßgebende Einflussgröße ist die Kurvigkeit, ferner hohe Längsneigungen und die allgemeine Fahrbahnbreite.

MEEWES/GERZ (1975) bemerken, dass Geschwindigkeitsangaben zu Streckenabschnitten nicht allein aus einzelnen Merkmalen erklärt werden können und stellen einen auf Basis von Geschwindigkeitserhebungen ermittelten Zusammenhang zwischen der gewählten Geschwindigkeit, dem Querschnitt sowie den Parametern des Lage- und Höhenplans dar.

Aus detaillierten Geschwindigkeitserhebungen in Kurvenbereichen von KÖPPEL/BOCK (1979) zeigt sich ein Einfluss der Kurvigkeit auf die Wahl der Geschwindigkeit, der mit zunehmender Kurvigkeit steigt. Multiple lineare Regressionen offenbaren, dass bei geringen Kurvigkeiten die Merkmale Fahrbahnbreite und Sichtweiten bei der Geschwindigkeitswahl ebenfalls eine Bedeutung besitzen.

AL-KASSAR et al. (1981) erhalten aus ihren linearen Regressionsgleichungen zur Beschreibung der momentanen Geschwindigkeiten auf Landstraßen einen straffen Zusammenhang zu den Größen Kurvigkeit und Querschnitt – insbesondere der Rand- und Seitenstreifenbreite. AL-KASSAR et al. (1981) stellen eine Verringerung der Wirkung der Elemente auf die gewählte Geschwindigkeit fest, je zügiger die Trassierung erfolgt. Aussagen zum Geschwindigkeitsverhalten allein anhand der Ausbauelemente sind jedoch nur eingeschränkt möglich.

Einen nicht repräsentativen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsverhalten und Krümmung sowie Haltesichtweite ermittelte BUCK (1991). Er weist in der Bewertung seiner Ergebnisse darauf hin, dass das Fahrverhalten wesentlich durch die auf den Streckenabschnitten aufeinanderfolgenden Einflüsse geprägt wird.

BAKABA (2002) nutzt die bisherigen Kenntnisse zur Wirkung verschiedener baulicher Merkmale auf die Geschwindigkeit, um einen Verfahrensansatz vorzustellen, der eine Einteilung von Strecken in Teilabschnitte mit homogenen Geschwindigkeiten (Sequenzen) ermöglicht. Kurvigkeit (-differenz), Welligkeit (Hügeligkeit) und Fahrbahnbreite stellen die drei die Geschwindigkeit beeinflussenden Variablen zur Kategorisierung von Streckentypen dar. Die Sequenzierung erfolgt anhand mehrerer Kriterien, die u. a. auf Änderungen in der kumulativen Richtungsänderung im Lageplan resultieren. Sequenzgrenzen sind dann festzulegen, wenn

- die Kurvigkeitsdifferenz (ΔKU) – korreliert mit der Richtungsänderung ($\Delta \xi$) – einen Betrag von $\Delta KU \geq 50$ gon/km überschreitet,
- ein isolierter Kurvenradius von $R \leq 120$ m vorliegt oder
- Geraden von $L > 250$ m auftreten (BAKABA 2002).

Für die Beschreibung weiterer Prüfkriterien zur Sequenzbildung sei auf BAKABA (2002) verwiesen. Sequenzbildungen für Kurvigkeitsdifferenzen $\Delta KU < 50$ gon/km sind laut BAKABA (2002) nicht notwendig, da Radienfolgen, die dieser Bedingung gerecht werden, zwangsläufig im guten Bereich der Relationstrassierung (Radientulpe) liegen. Die Richtungsänderung ($\Delta \xi$) berechnet sich aus der Größenordnung von Richtungswinkeln zwei aneinander liegender Ausgleichsgeraden. In Anlehnung an die RAS-L (FGSV 95) erfolgt eine Zuteilung der Sequenzen (Ausgleichsgeraden) in Kurvigkeitsklassen. Da Fahrer eher auf die perspektivische Änderung des Straßenraums reagieren, äußert BAKABA (2002) die Vermutung, dass die Welligkeit WE (Kurvigkeit des Höhenplans) gegenüber der mittleren gewichteten Längsneigung die günstigere Variable des Höhenplans bezüglich der Beschreibung des Einflusses auf die Geschwindigkeit darstellt. Einen Einfluss der WE auf die Geschwindigkeit ist über einem Wert von

WE > 15 gon/km festzustellen. Bezüglich der Querschnittsgestaltung teilt BAKABA (2002), in Verweis auf LIPPOLD (1997) und MAIER/MEEWES (1990), sein Kollektiv anhand der Fahrbahnbreite (Grenze 6 m). Als relevant ist in beiden Kollektiven der Einfluss der Kurvigkeit auf die V_{85} Geschwindigkeit freifahrender Kfz anzusehen. Für Streckentypen mit hohen Kurvigkeiten (KU > 225 gon/km) ist der Einfluss von Welligkeit und Fahrbahnbreite auf die Geschwindigkeit marginal. Daher ist in diesen Klassen eine Unterscheidung nach letztgenannten Kriterien nicht notwendig. Für Streckentypen mit geringer Kurvigkeit ist das Kriterium Fahrbahnbreite als maßgebend anzusehen. Im Ergebnis unterstreicht BAKABA (2002) die Bedeutung der Sequenzbildung für streckenbezogene Analysen u. a. der Verkehrssicherheit.

Zur Prognose von Geschwindigkeiten als Grundlage für ein Fahrerassistenzsystem erstellt EBERSBACH (2006) Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmodelle für einbahnige Landstraßen, welche von verschiedenen Merkmalen (Streckengeometrie, Umweltbedingungen, Fahrertyp) abhängen. Betrachtet werden Streckenabschnitte, auf denen der Fahrer seine Geschwindigkeit lediglich aufgrund der Streckengeometrie bestimmt. Bei der Abschnittsbildung wird in Bereiche mit homogenen Geschwindigkeitsverhalten – ähnliche Kurvigkeit – und Singularitäten unterschieden. Grundlage der Abschnittsbildung bildet der Verlauf der Geschwindigkeitsprofile in Überlagerung mit der Definition von Bereichen ähnlicher Kurvigkeit bei der Betrachtung der kumulativen Richtungsänderung. Singularitäten sind durch kurze deutliche Anstiege der Richtungsänderung und eine Verringerung der gefahrenen Geschwindigkeiten bzw. Erhöhung der Querbeschleunigung gekennzeichnet (EBERSBACH 2006). In diesen Bereichen erfolgt eine deutliche Anpassung des Fahrverhaltens hinsichtlich der Streckengeometrie. Bezüglich der Befahrungsdaten liegt eine Singularität in Anlehnung an LIPPOLD (1997) vor, wenn im Vergleich zu den umliegenden Elementen die Geschwindigkeit im betrachteten Element um mehr als 10 km/h sinkt oder eine Querbeschleunigung größer 2 m/s^2 auftritt. Singularitäten spiegeln sich in der Elementfolge des Lageplans laut EBERSBACH (2006) wider, wenn

- der Radius des Elements kleiner als der Mindestradius $R_{\text{SING}} \leq 200 \text{ m}$ ist und
- das Element eine Mindestlänge $L_{\text{SING}} \geq 50 \text{ m}$ aufweist.

Mit einem Verweis auf fehlende Daten in der zugrunde gelegten Verwendung der feindigitalen Karte bzw. auf Autokorrelationen zwischen Kurvigkeit und Sichtweite, verzichtet EBERSBACH (2006) auf eine Berücksichtigung von Variablen, die den Höhenplan beschreiben.

Eine Simulatorstudie von BELLA (2012) mit 33 Probanden verdeutlicht, dass die Geschwindigkeitswahl lediglich von der Querschnittsgestaltung und der Streckentrassierung und nicht von der Seitenraumgestaltung bestimmt wird. Nach BELLA (2012) führen hohe Geschwindigkeiten nicht a priori zu einer Zunahme von Unfallhäufigkeit und Unfallschwere. Erst die Verknüpfung mit weiteren Streckeneigenschaften erklärt kausale Zusammenhänge.

Mittels Kovarianzanalysen ermittelt SCHMIDT (1996) die Zusammenhänge zwischen der Unfallrate bzw. Unfallkostenrate der Streckengeschwindigkeit und vier weiteren Größen. Berücksichtigt sind lediglich die Unfalltypen 1, 6 und 7. Die Linienführung (Definition in drei verschiedenen Stufen), Fahrbahnbreite und die mittleren Kfz-Geschwindigkeiten tragen hauptsächlich zur Erklärung der Unfallraten bei, während für Längsneigung, Verkehrsstärke und Standardabweichung der Kfz-Geschwindigkeiten nur ein schwacher Zusammenhang existiert. Zur Beschreibung der Unfallkostenrate sind lediglich die Größen Fahrbahnbreite und mittlere Kfz-Geschwindigkeit mit hohen Signifikanzen bedeutend. SCHMIDT (1996) schlussfolgert, dass ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den Unfallkenngrößen und der Geschwindigkeit nicht herzustellen ist. Ursache ist die mutmaßliche Abhängigkeit der Geschwindigkeit von den u. a. baulichen Merkmalen der Strecke. Dass Streckenabschnitte mit hohen Geschwindigkeiten nicht zwangsläufig hohe Unfallzahlen aufweisen, führt SCHMIDT (1996) auf den hohen Ausbaustandard zurück. Demzufolge wird das Sicherheitsniveau maßgebend durch die bauliche Charakteristik der Strecke bestimmt.

Hohe Fahrgeschwindigkeiten in Kurven sind häufig mit einem Schneiden der Kurven verbunden. Aus Fahrverhaltensbeobachtungen von SPACEK (1999), der in zwei normale und vier unerwünschte Verhaltenstypen unterscheidet, wird der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Unfallrisiko deutlich. In Kurven mit einem hohen Anteil unerwünschten Fahrverhaltens, wie Schneiden oder Ausholen – dabei treten besonders hohe Querbeschleunigungen auf –, ist ein erhöhter Anteil von Fahrunfällen festzustellen.

Die Beziehung zwischen Sicherheitsgrad, Geschwindigkeit und Ausbaustandard beschreiben TAYLOR et al. (2002) und verweisen auf den „masking effect“. Allgemein kann dieser Effekt als fehlerhafte Interpretation der Beziehung (Korrelation) zwischen zwei Variablen aufgrund fehlender weiterer Klassifizierung anhand maßgebender Kriterien verstanden werden (Abbildung 2-4). TAYLOR et al. (2002) führen als Beispiel an, dass Strecken mit geringen Geschwindigkeiten – geprägt durch enge Fahrbahnbreiten und eine sehr angepassten Linienführung – wesentlich höhere Unfallraten aufweisen als Strecken mit hohen Geschwindigkeiten, die in der Regel

auch hohe Ausbaustandards besitzen. Eine Betrachtung lediglich der Merkmale Geschwindigkeit und Unfallrate würde zu einer falschen Interpretation der Zusammenhänge führen.

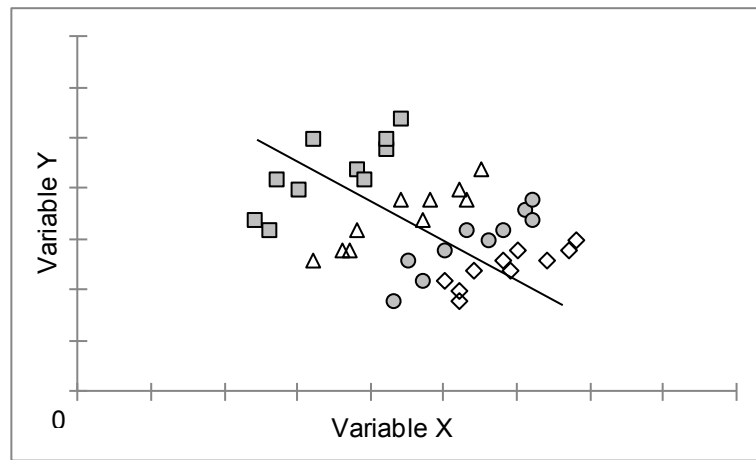


Abbildung 2-4: Fehlerhafte Interpretation eines Zusammenhangs zwischen zwei Variablen bei fehlender Kategorisierung nach TAYLOR et al. (2002)

Um aussagekräftige Merkmale für die Klassifizierung der Streckenabschnitte in homogene Gruppen zu identifizieren, bedienen sich TAYLOR et al. (2002) des Verfahrens der Hauptkomponentenanalyse und teilen das Kollektiv in vier Gruppen ein. Als Charakterisierung dienen u. a. die Merkmale Geschwindigkeit – aus repräsentativen Messstellen je Abschnitt erhoben – Kurvigkeit, Hügeligkeit und Anschlussknotendichte. In zwei verschiedenen Modellansätzen, beruhend auf der Anwendung von Generalisierten Linearen Modellen, stellen TAYLOR et al. (2002) den Einfluss der Geschwindigkeit auf die Unfallrate dar. Bei lediglich einer Differenzierung nach Straßenklasse gilt, dass mit Zunahme der Geschwindigkeit die Unfallrate steigt. Der Einfluss der Geschwindigkeit fällt für Streckenabschnitte mit einem niedrigen Ausbaustandard gegenüber hohem Ausbaustandard bei sonst konstanten Randbedingungen höher aus. In Erweiterung der Modelle ermitteln TAYLOR et al. (2002) einen negativen Einfluss der Anschlussknotendichte und der Häufigkeit enger Kurven auf den Sicherheitsgrad.

Einen allgemein gültigen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Unfallgeschehen über Potenzfunktionen (Power Model) liefern ELVIK et al. (2004) auf Basis einer umfangreichen Metaanalyse. Mit den erstellten Funktionen lässt sich die Wirkung von Geschwindigkeitsreduzierungen auf das Unfallgeschehen bzw. die Unfallschwere abbilden (Gl. 1). Es zeigt sich, je höher die Unfallschwere, desto höher der Nutzen – manifestiert in der Größenordnung des Exponenten – einer Geschwindigkeitsreduzierung in Form einer Abnahme der Verletzungsschwere bzw. Unfallhäufigkeit. ELVIK et al. (2004) verweisen auf die allgemeine Form ihres aufgestellten Modells, das keine Trennung nach Örtlichkeiten oder Unfallcharakteristik

erlaubt. Sie geben aber an, dass aufgrund der physikalischen Zusammenhänge und der Vielzahl von berücksichtigten Studien die Ergebnisse abgesichert sind und die Reduzierung der Geschwindigkeit die maßgebende Maßnahme für die Erhöhung der Verkehrssicherheit darstellt.

$$\frac{\text{Unfälle Vorherzeitraum}}{\text{Unfälle Nachherzeitraum}} = \left(\frac{\text{Geschwindigkeit Vorherzeitraum}}{\text{Geschwindigkeit Nachherzeitraum}} \right)^k \quad \text{Gl. 1}$$

k Exponent in Abhängigkeit der gewählten Kategorie

Der Einfluss der Geschwindigkeit auf die Verkehrssicherheit ist durch die Metaanalyse von ELVIK et al. (2004) signifikant belegt. Die individuelle Geschwindigkeitswahl der Verkehrsteilnehmer orientiert sich auf Landstraßen überwiegend an der Streckengestaltung im Lageplan, beschrieben über die Kurvigkeit. Fahrbahnbreite, Längsneigung und Haltesichtweiten gewinnen lediglich bei geringen Kurvigkeiten an Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl. Durch die Aufteilung von Streckenabschnitten in Bereiche mit ähnlichen Eigenschaften, lässt sich die mittlere erwartete Geschwindigkeit darstellen (BAKABA 2002). In ähnlicher Form definiert EBERSBACH (2006) inhomogene Elementfolgen im Lageplan – bei denen zwangsläufig eine Anpassung des Fahrverhaltens erfolgen muss –, die als Abschnittsgrenzen bei einer Streckeneinteilung dienen können. Höhere Geschwindigkeiten stehen aber nicht zwangsläufig mit einem höheren Unfallgeschehen in Zusammenhang (SCHMIDT 1996, TAYLOR et al. 2002). Wesentlichen Einfluss auf die Verkehrssicherheit der Strecke besitzt der Ausbaustandard, beschrieben über die Trassierungsparameter und die Ausstattung (des Seitenraums).

Es wird deutlich, dass eine fehlende Einteilung der zu bewertenden Strecken zu Ungenauigkeiten in der Ergebnisdarstellung führen kann. Die gefahrenen Geschwindigkeiten üben Einfluss auf die Unfallschwere aus. Die Bewertung und Kategorisierung von Merkmalen der Trassierung gibt indirekt Aufschluss auf Defizite der Streckengestaltung, die sich mitunter in Form von nicht angepassten Geschwindigkeiten und Unfällen widerspiegeln.

2.4.2 Querschnitt

Eine Vielzahl von Forschungen setzt sich mit der Untersuchung der Querschnittsgestaltung auseinander, wobei den Merkmalen Fahrstreifenbreite und Randstreifenbreite – in Addition die Fahrbahnbreite – neben der Anzahl der Fahrstreifen und der baulichen Mitteltrennung besonderes Augenmerk zuteil wird. Verallgemeinernd gilt, dass bei einbahnig zweistreifigen Querschnitten mit steigender Fahrbahnbreite ein Rückgang der Unfall(-

kosten)rate eintritt. Jedoch zeigen sich im Detail Unterschiede bzw. abweichende Ergebnisse, die nur zum Teil aus den verschiedenen Untersuchungsdesigns abzuleiten sind.

KREBS/KLÖCKNER (1977) untersuchten den Einfluss von Fahrbahnbreiten auf die Verkehrssicherheit. Für Kollektive mit Breiten über 4,5 m ergab sich ein Zuwachs der Verkehrssicherheit mit Zunahme der Fahrbahnbreite. Der positive Einfluss breiterer Fahrbahnen – überwiegend aus einer Abnahme der Unfälle des Typ 1 resultierend – spiegelt sich in der Verringerung der Unfallraten im Vergleich zu den Unfallkostenraten deutlicher wider.

Einen U-förmigen Verlauf der Unfallrate in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite ergibt die Untersuchung von LEUTZBACH/ZOELLMER (1988). Während die Unfallrate im Bereich von Fahrbahnbreiten zwischen 8,25 bis 8,74 m ihr lokales Minimum erreicht, ist für Abschnitte mit einer Fahrbahnbreite $FBB > 7,25$ m eine Stabilisierung der Unfallkostenrate auf einem Niveau festzustellen. Mutmaßlich trägt eine Veränderung in der Unfallschwerestruktur zu dieser Entwicklung bei.

DOHMEN et al. (1989), die in ihrer Analyse von zweistreifigen Strecken knotenpunkttypische Unfälle ausschließen, stellen bis Fahrbahnbreiten von 6,0 m gar einen leichten Anstieg der Unfallrate fest, bevor mit zunehmender Breite ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen ist. Für Fahrbahnbreiten $FBB > 8,5$ m ist wiederum eine Stagnation der Unfallrate festzustellen. Ein ähnliches Bild gibt die Personenschadensrate – entspricht Verunglückten Personen je Fahrleistung – in den einzelnen Klassen wieder.

ZEGEER et al. (1994) berücksichtigen eine Vielzahl von baulichen und verkehrlichen Eigenschaften in ihren Kovarianzanalysen. Insbesondere die Unfallrate der Allein- und Gegenverkehrsunfälle korreliert signifikant mit der Fahrstreifen- und Randstreifenbreite. Die tendenzielle Abnahme der Unfallrate ist für die zwei entwickelten Modelle – die sich anhand weiterer berücksichtigter Variablen unterscheiden – nur für Fahrbahnbreiten zwischen 6,1 und 9,8 m (20 bis 32 Fuß) festzustellen (Abbildung 2-5). Breitere Randstreifen haben eine Abnahme der Unfallrate zur Folge.

Als Ursache für die deutlich niedrigere UR auf sehr schmalen Querschnitten vermuten ZEGEER et al. (1994) geringere Geschwindigkeiten – hier unabhängig der Randstreifenbreite. Problematisch sind Fahrbahnbreiten von ca. 6,2 m. Mutmaßlich stellen diese Breiten Zwischenbereiche dar, bei denen das Fahrverhalten (Geschwindigkeit) die höchste Diskrepanz zu den Trassierungsparametern aufweist. Bei geringeren Fahrbahnbreiten erfolgt eine deutlichere Assimilation. Der erneute Anstieg der UR ab Fahrbahnbreiten

FBB > 9,1 m wird mit höheren Geschwindigkeiten auf teilweise unbefestigten Straßen in Zusammenhang gebracht. Die Gesamtentwicklung der UR verdeutlicht, dass bei einer zusammengefassten Bewertung aller Fahrbahnbreiten Einflüsse bezüglich Fahrverhalten und Geschwindigkeiten nur indirekt berücksichtigt sind. Gefahrenstellen im Seitenraum, der Terraintyp und die Dichte von Zufahrten sind weitere in Abhängigkeit vom gewählten Modell signifikant auf das Unfallgeschehen wirkende Merkmale.

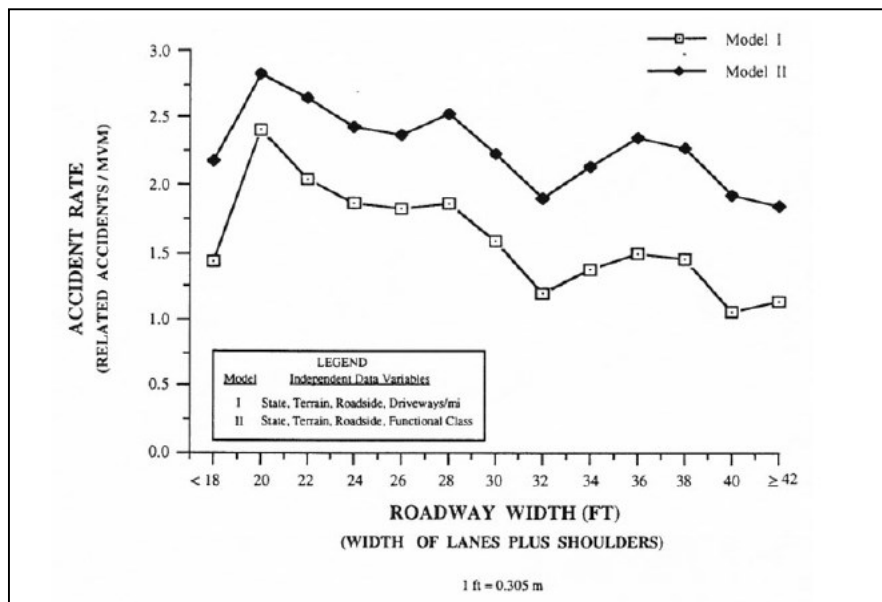


Abbildung 2-5: Zusammenhang zwischen Unfallrate und Fahrbahnbreite, ZEGEER et al. (1994)

Schmale Fahrbahnen ($FBB \leq 6$ m) weisen im Kollektiv von SCHMIDT (1996) deutlich höhere Unfallraten und Unfallkostenraten als mittlere bis breite Fahrbahnbreiten ($FBB > 8$ m) auf. Ein positiver Einfluss breiterer Rand- und Fahrstreifen auf das Sicherheitsniveau wird auch durch ZEGEER et al. (1987) und VOGT/BARED (1998) belegt. HARWOOD et al. (2000) greifen die Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen (ZEGEER et al. 1987, ZEGEER et al. 1994, VOGT/BARED 1998) auf und benutzen AMF um die Abweichung des Unfallgeschehens in Bezug zu vorher definierten Grundannahmen bezüglich der Streckengestaltung festzulegen. Die Größenordnung des AMF ist dabei abhängig vom betrachteten Verkehrsaufkommen und der jeweiligen Größenordnung der betrachteten Variablen. Größere Rand- und Fahrstreifenbreiten begünstigen das Sicherheitsniveau, die Wirkung auf das Unfallrisiko wird dabei mit zunehmender Verkehrsstärke deutlicher.

Die einbahnig zweistreifigen Landstraßenquerschnitte nach RAS-Q 82 (FGSV 1982) (Anhang B, Tabelle B-1) untersuchten PALM/SCHMIDT (1999). Als Ergebnis zeigt sich, dass die Querschnitte b2 und c2 deutlich geringere Unfallraten als die schmalere Querschnitte d2 und e2 besitzen. Jedoch offenbaren sich wesentliche Unterschiede in der mittleren Unfall-

schwere der Querschnitte. So weist der breiteste Querschnitt b2 gegenüber dem Querschnitt c2 eine deutlich höhere Unfallkostenrate auf, die fast dem Niveau des Querschnitts e2 entspricht, ein Ergebnis, welches die Untersuchung von BRANNOLTE et al. (1992) widerspiegelt. Grund ist ein größerer Anteil an Überholunfällen, welche durch eine höhere Unfallschwere gekennzeichnet sind. Die geringsten Unfallkostenraten besitzt der Querschnitt c2. Die höheren UKR des Querschnitts d2 gegenüber dem e2 (PALM/SCHMIDT 1999) widersprechen den Erkenntnissen von BRANNOLTE (1992). Trotz einer Differenzierung der einzelnen Querschnitte anhand der Fahrbahnbreite in die Gruppen schmal, normal und breit sind Aussagen über die Wirkung der Randstreifenbreite auf das Unfallgeschehen nur eingeschränkt möglich. Tendenziell weisen alle Querschnitte mit breiteren Fahrbahnen niedrigere Unfallraten als Strecken mit standardisierten Breiten auf.

Der Vorteil von mehrstreifigen Querschnitten resultiert vor allem aus der Sicherung der Überholvorgänge. Der Einfluss einer Richtungstrennung wirkt sich durch die Vermeidung von Unfällen mit dem Gegenverkehr deutlich in einer Verringerung der Unfallschwere der zweibahnigen Querschnitte gegenüber den einbahnig mehrstreifigen Querschnitten aus. Bereits das partielle Einrichten von separaten Überholfahrstreifen im Streckenverlauf trägt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit bei.

MEEWES/MAIER (1986) zeigen den Vorteil einer dreistreifigen Verkehrsführung auf Landstraßen. Basis bildete die Ummarkierung eines mit überbreiten Fahrstreifen (b2ü) ausgestatteten Querschnitts zu einer Strecke mit einem den Fahrtrichtungen räumlich wechselseitig zur Verfügung stehenden dritten Fahrstreifen. Aus dem Vorher-Nachher-Vergleich des Unfallgeschehens wird der Vorteil der neuen Verkehrsführung durch eine Verringerung der Unfallanzahl und Unfallschwere, insbesondere bei den Unfällen im Längsverkehr, deutlich.

BRANNOLTE et al. (1993) führten eine breit angelegte Untersuchung zu Zwischenquerschnitten – Landstraßen mit einer Kronenbreite zwischen 14 und 22 m – durch, bei der sich der deutliche Vorteil des einbahnig dreistreifigen Querschnitts b2+1 nach RAS-Q 82 (FGSV 1982) gegenüber Strecken mit überbreiten Fahrstreifen (b2ü) bzw. Rand- /Seitenstreifen (b2s) herausstellte. Der Sicherheitsgewinn resultiert aus einer niedrigeren Unfallrate und Unfallschwere. Begünstigt durch eine sehr geringe mittlere Unfallschwere weisen zweibahnig vierstreifige Querschnitte mit Mittelstrennung die niedrigsten Unfallkostenraten auf. Der Zwischenquerschnitt b2ü – gekennzeichnet durch Fahrstreifenbreiten zwischen 5,0 und 6,5 m – weist gegenüber dem Querschnitt b2 eine höhere Unfallrate, aber eine niedrigere Unfall-

schwere auf, was zu einem ähnlichen Niveau der Unfallkostenrate führt (BRANNOLTE et al. 1993, FROST 1999). Einen besonders niedrigen Sicherheitsgrad besitzen nach FROST (1999) Querschnitte des b2ü mit Fahrstreifenbreiten $FSB < 6$ m. Jedoch ist die Aussage durch die Anpassung der Unfallkostensätze bei kleinen Kollektiven eingeschränkt.

Einen gegenüber dem Querschnitt b2 höheren Sicherheitsgrad des Querschnitts b2+1, der auf geringere Unfallraten zurückzuführen ist, bestätigen PALM/SCHMIDT (1999). Sie verweisen aber darauf, dass die hohen Streuungen der Unfallkennwerte im Kollektiv des Querschnitts b2+1 auf weitere noch nicht berücksichtigte relevante Einflussgrößen schließen lassen.

Im Forschungsprojekt „Außerortsstraßensicherheit (AOSI)“ untersuchte JÄHRIG (2012) die Wirkung von räumlich begrenzten Überholfahrstreifen auf das Unfallgeschehen an fünf ausgewählten, vormals einbahnig zweistreifigen, Streckenabschnitten, die eine Unfalldichte von $\geq 2 U(SP)/(3*a*km)$ aufwiesen. Da der Fokus der Maßnahme auf einer abgegrenzten Unfallcharakteristik liegt, zeigt die Maßnahme, insbesondere auf den Strecken, welche durch einen hohen Anteil an Längsverkehrsunfällen im Ausgangszeitraum geprägt sind, einen deutlichen Rückgang der Unfallzahlen. Die von JÄHRIG (2012) aufgestellten Randbedingungen – Überhollängen von $L \geq 600$ m und gesicherte Überholabschnitte auf mindestens 20 % der Streckenlänge einer Fahrtrichtung – fanden in der Beschreibung des RQ 11,5+ (abschnittsweise dreistreifige Straßen) in den RAL (FGSV 2012) Berücksichtigung.

Mit 15.244 km stand VIETEN et al. (2010) ein sehr umfangreiches Kollektiv an Strecken ein- und zweibahniger Landstraßen zur Verfügung, welches nach Fahrbahnbreite in einem Halbmeteraster unterteilt wurde. Für einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte ergibt sich ein kontinuierlicher Rückgang der Unfallrate mit zunehmender Fahrbahnbreite. Dem gegenüber steht ein Zuwachs des Verkehrsaufkommens. Die niedrigsten Unfallraten weisen zweibahnig vierstreifige, gefolgt von den einbahnig dreistreifigen, Streckenabschnitte auf. Mit Ausnahme des Teilkollektivs mit Fahrbahnbreiten von 5,00 m gilt dieser Zusammenhang auch für die Entwicklung der Unfallkostenrate.

In Abhängigkeit von den Merkmalen Querschnitt, Knotenpunktform, Linieneinführung und Betriebsform definiert ZIERKE (2010) sieben verschiedene Straßentypen – Typ 1 entspricht einem RQ 21, aufsteigend bis Typ 7 (RQ 9 ohne Möglichkeit für sicheres Überholen) – in Anlehnung an die EKL nach dem damaligen Entwurf der RAL. Dahingehend unterteilt er sein Kollektiv. Das Ergebnis der Sicherheitsanalyse offenbart eine Zunahme

der mittleren Unfallkostenrate – mit Ausnahme des Typs 7 – je angepasster die Linienführung, ergo je schmaler der Querschnitt ist. Die Aussagekraft wird jedoch durch die geringe Unfallanzahl (189 U(P, SS)) und die integrierte Betrachtung der Knotenpunkte eingeschränkt.

Eine Darstellung mittlerer Unfallkostenraten für verschiedene Regelquerschnitte – die im Wesentlichen das heutige Bestandsnetz repräsentieren – liegen in den RAS-Q 96 (FGSV 1996), aktualisiert von ECKSTEIN/MEEWES (2002) vor. Mit Zunahme der Breite des Querschnitts geht eine Abnahme der Unfallkostenrate einher.

2.4.3 Lageplanelemente

Die Abwicklung des Streckenverlaufs im Lageplan setzt sich aus einer Kombination der Elemente Gerade, Klothoide und Bogen (Radien) zusammen. Der kumulierte Richtungsänderungswinkel aller Elemente über eine definierte Länge beschreibt die Kurvigkeit einer Strecke. Neben dieser wird insbesondere dem Kurvenradius ein hoher Einfluss auf die Verkehrssicherheit zugeschrieben.

KREBS/KLÖCKNER (1977) ermittelten für Radien $R < 200$ m eine deutlich erhöhte Unfallrate. Für Radien $R > 400$ m schwächt sich der Sicherheitsgewinn deutlich ab. Am stärksten wirkt sich die Zunahme der Radien auf die damit verbundene Abnahme von Unfällen des Typ 1 aus. A priori geht die Zunahme der Kurvigkeit mit einer Zunahme des Unfallgeschehens einher. Weiterhin überprüften KREBS/KLÖCKNER (1977) den Einfluss der fahrtrichtungsbezogenen Größe „reminiszierte Kurvigkeit“. In dieser wird die Richtungsänderung der vorangegangenen Abschnitte ($L = 100$ m) und des nachfolgenden Abschnitts über einen Gewichtungsfaktor berücksichtigt. Für Abschnitte hoher reminiszierter Kurvigkeit ($KU_{rem} > 200$ gon/km) stellt sich gegenüber der allgemeinen Kurvigkeit ein deutlich stärkerer Anstieg der Unfallrate als auch der Unfallkostenrate ein.

Der gleichen Untersuchungsmethodik folgend, zeigen auch die Ergebnisse von LEUTZBACH/ZOELLMER (1988) einen deutlichen Anstieg der Unfallrate für Abschnitte mit Radien $R < 200$ m. Mittels Regressionsrechnungen wird dieser Zusammenhang unabhängig des Verkehrsaufkommens oder der Fahrbahnbreite bestätigt. Für Radien $R > 1.000$ m ist ein leichter Anstieg von Unfallrate und Unfallkostenrate zu verzeichnen. Für die Kurvigkeit ermitteln LEUTZBACH/ZOELLMER (1988) eine Zunahme der Unfallrate bei höheren Kurvigkeiten. Diese Entwicklung stellt sich bei der Unfallkostenrate nicht ein. In Bereichen hoher Kurvigkeiten ist tendenziell eine Abnahme festzustellen. In einer späteren Analyse wird der deutliche An-

stieg der Unfallrate bei Radien $R < 200$ m sowie Kurvigkeiten $KU > 200$ gon/km durch LAMM et al. (1999) bestätigt.

Einen stetigen Zusammenhang zwischen Zunahme der Kurvigkeit und Anstieg der Unfallrate zeigen auch die Ergebnisse von DOHMEN et al. (1989).

Sowohl für lokale als auch für die mittleren Kurvigkeiten – entspricht hier dem Mittelwert über die vorangegangenen 400 m – ist nach BUCK (1991) für Radien $R > 500$ m kein Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeiten nachweisbar.

Detaillierte Erkenntnisse zu Einflüssen auf das Unfallgeschehen in Kurven einbahnig zweistreifiger Landstraßen liegen aus ZEGER et al. (1991) vor. Im Ergebnis der linearen Regressionsmodelle ist eine Erhöhung des Unfallgeschehens auf kleine Radien, schmale Fahrbahnbreiten und mangelhafte Klothoidenlängen zurückzuführen. Ceteris paribus führen größere Richtungsänderungswinkel und ein höheres Verkehrsaufkommen zu einer Zunahme der Unfallhäufigkeit. Mit multiplen statistischen Modellen ermitteln VOGT/BARED (1998) neben diesem Einfluss weiterer Größen ebenfalls eine Zunahme des Unfallgeschehens mit Anstieg der Kurvigkeit. Gleiches gilt für HARWOOD et al. (2000), deren Berechnung des AMF für die Kurvigkeit direkt an die auftretenden Radien eines Abschnitts gekoppelt ist.

Aus der Analyse von GIDAS-Daten schmaler Landstraßenquerschnitte mit Fahrbahnbreiten zwischen 4,0 und 6,0 m zeigt sich bei HEGEWALD/WEBER (2008) eine Unfallauffälligkeit für Kurven mit Radien $R < 200$ m bezüglich der Unfälle mit Personenschaden.

In ihrer Aussage auf Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn und Fahr- unfälle beschränkt, weisen BÖSL/SPAHN (2010) ebenfalls einen deutlichen Einfluss der Radiengröße auf die Unfallrate nach. Während der Anstieg der Unfallrate für Radien zwischen 400 m und 200 m noch moderat ausfällt, ist für Radien $R < 200$ m eine deutliche Zunahme im Kollektiv zu verzeichnen. Radien $R < 250$ m werden daher als besonders risikobehaftet angesehen.

Neben den rein ingenieurwissenschaftlichen Untersuchungen existieren auch interdisziplinäre Studien zur Erklärung des Unfallgeschehens. SCHLAG et al. (2007) berücksichtigen in ihrer Analyse zum Unfallgeschehen in Kurvenbereichen sowohl wahrnehmungsbasierte, psychologische als auch fahrdynamische Parameter. Ausgangspunkt war u. a. die Feststellung, dass sich in ihrer Geometrie stark ähnelnde Kurven deutliche Unterschiede im Unfallgeschehen aufweisen. Aus dem integrierten Untersuchungsansatz ist festzustellen, dass gut einzusehende Kurven als weniger abwechslungsreich in Erscheinung treten, was mit einer Verringerung der Anforderungen an den

Fahrer einhergeht. Dies führt zu signifikant höheren Geschwindigkeiten vor gut einsehbaren Kurven, welche häufig durch ein höheres Unfallgeschehen gekennzeichnet sind (SCHLAG et al. 2007).

2.4.4 Elementfolgen und Relationstrassierung

Die Grundlagen der Relationstrassierung werden u. a. in LEUTZBACH/ZOELLMER (1988), LIPPOLD (1997) und LAMM et al. (1999) beschrieben. Danach sollen für einen sicheren Entwurf aufeinanderfolgende Radien möglichst ähnlich groß sein bzw. in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen. Ebenso soll die Abfolge von Radien und Geraden aufeinander abgestimmt werden. KÖPPEL (1984) setzt eine hohe Entwurfsqualität mit einer geringen Differenz des größten und kleinsten Kurvenradius einer Strecke in Zusammenhang. SOSSOUMIHEN (2001) ordnet allgemein der Bewertung von Elementfolgen gegenüber der Betrachtung von Einzelelementen einen höheren Stellenwert zu.

Nach UNGER (1994) ist bereits für Geradenlängen von $L = 250$ m festzustellen, dass am Ende der Geraden die V_{85} unabhängig der Ausgangsgeschwindigkeit zu Beginn der Geraden über 100 km/h liegt, was in einer Festlegung nachfolgender Mindestradien Berücksichtigung finden soll.

In den Untersuchungen von LEUTZBACH/ZOELLMER (1988) ist das Verhältnis zwischen betrachtetem und vorangegangenem Radius maßgebend für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Radienfolgen. Es wird deutlich, dass im Gesamtkollektiv Radienfolgen mit einem Verhältnis $RV < 0,15$ ($RV = R_i/R_{i-1}$) eine deutlich höhere Unfallrate zur Folge haben. Mit zunehmendem Radienverhältnis schwächt sich der Sicherheitsgewinn ab. Dabei weisen Kombinationen von geringem Verkehrsaufkommen oder schmalen Fahrbahnbreiten die höchsten Unfallraten auf. Schließen sich Kreisbögen mit geringen Radien an Geraden an, hat dies eine Erhöhung der Unfallrate zur Folge. Besonders deutlich ist dieser Zusammenhang für Radien $R < 200$ m, wobei Elementabfolgen mit dazwischenliegenden Klothoiden in diesen Radienklassen signifikant günstigere Unfallraten aufweisen.

LAMM et al. (1999) stellen bei Verhältnissen von betrachtetem zu vorausgegangenem Radius $RV < 0,8$ ein Anstieg der Unfallrate, der bei Radienverhältnissen $RV < 0,2$ besonders deutlich ausfällt, fest.

SCHMIDT (1996) wählt zur Beschreibung seines Kollektivs u. a. eine dreistufige Klassifizierung der Linienführung, die er aus der Kurvigkeit und einem Kurvenanteil mit Radien $R < 500$ m an der Streckenlänge bestimmt. Für das Mittel aller Strecken mit un stetig/enger Linienführung zeigt sich

die höchste Unfallrate, während diese für stetig/weite trassierte Strecken mit $0,7 \text{ U}/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ nur die halbe Höhe aufweist. Erstgenanntes Kollektiv weist eine hohe Unfallkostenrate auf, während sich die Kollektive der stetig/eng bzw. stetig/weit trassierten Strecken kaum unterscheiden.

Aus einer Überprüfung der in den RAS-L-1 (FGSV 1984) enthaltenen Grenzwerten für Radienfolgen und weiterer Elementfolgen von LIPPOLD (1997) resultieren eine Neufassung des Diagramms (Relationstulpe) sowie Empfehlungen für das Verhältnis für den Anschluss von Kurvenradien an Geraden. Grundlage der Einteilung und Bewertung von Radienrelationen in die Bereiche „gut“, „brauchbar“ und „zu vermeiden“ bildet die dreistufige Klassifizierung von Geschwindigkeitsdifferenzen der V_{85} in aufeinanderfolgenden Elementen sowie die Ausgangsgeschwindigkeit. Der prägende Einfluss der Kurvigkeit auf die Geschwindigkeit (V_{85}) wird bestätigt. Dieser fällt bei schmalen Fahrbahnbreiten ($\text{FBB} \leq 6,0 \text{ m}$) tendenziell höher aus (LIPPOLD 1997). Als maßgebende, die V_{85} bestimmende, Einflussgröße wird die Kurvigkeit angesehen. Im Ergebnis der Geschwindigkeitsanalysen empfiehlt LIPPOLD (1997)

- einen Mindestkurvenradius von $R_{\min} \geq 400 \text{ m}$ bei vorangegangenen Geraden mit Längen $L_G \geq 300 \text{ m}$,
- den Beibehalt der Regelung, dass für Geraden mit Längen $L_G < 300 \text{ m}$ der Mindestkurvenradius eine Größenordnung von $R_{\min} > L_G$ aufweist sowie
- den Verzicht von Anschlüssen von Radien mit $R < 200 \text{ m}$ an Geraden.

Die in LIPPOLD (1997) nachgewiesenen Zusammenhänge finden u. a. Berücksichtigung in der dreiteiligen Kategorisierung und Bewertung der Verhältnisse aufeinanderfolgender Radien in den RAL (FGSV 2012). Dabei sollen die Verhältnisse mindestens im brauchbaren Bereich liegen, für Straßen der EKL 1 bis EKL 3 wird der gute Bereich empfohlen. Bei Abweichungen sind flankierende, verkehrstechnische, auf die Besonderheit hinweisende Maßnahmen zu ergreifen. Die RAL (FGSV 2012) enthalten darüber hinaus Vorgaben zur zulässigen Abfolge eines sich an die Gerade anschließenden Kreisbogens. Auch hier gilt, dass für Straßen der EKL 1 bis EKL 3 der gute Bereich anzustreben ist. Für Zwischengeraden mit Längen $L < 300 \text{ m}$ sind die angrenzenden Radien gleichwohl auf ihr Verhältnis zueinander zu prüfen.

Zur Definition der „Fahrsicherheit“ bezieht SOSSOUMIHEN (2001) neben der gängigen Analyse des Unfallgeschehens weitere Verhaltensparameter, wie Geschwindigkeitsverhalten und Verzögerungen, in seine Untersuchung ein. Aus der Klassifizierung der Lageplantrassierung in stete und unstetige Abfolgen basiert die Erkenntnis, dass offensichtliche Zusammenhänge zwi-

schen Geschwindigkeitsverhalten und Unfallgeschehen vorliegen. Als stetig definierte Elementfolgen weisen deutlich niedrigere Unfallraten – insbesondere Fahrurfälle – auf. Da lediglich 88 Unfälle der Analyse zugrunde liegen, bedarf die Aussage einer Prüfung.

Begrenzt auf die Unfälle mit Zusammenstoß des Gegenverkehrs stellen BARK et al. (2014) fest, dass die zunehmende Dichte an Elementen mit hoher bzw. mittlerer Abweichung von einer guten Relationstrassierung einen Anstieg der Unfallhäufigkeit zur Folge hat.

2.4.5 Längsneigung

Die Längsneigung, als ein den Höhenplan beschreibendes Merkmal, beeinflusst das Geschwindigkeitsverhalten der Verkehrsteilnehmer, wobei in Gefälle- und Steigungsstrecken zu trennen ist. Steigungsstrecken weisen Besonderheiten bezüglich höherer Differenzgeschwindigkeiten auf, Gefällestrecken aufgrund einer allgemein höheren Geschwindigkeitswahl.

Den Einfluss der Längsneigung auf das Unfallgeschehen erklären KREBS/KLÖCKNER (1977) für Werte unter 6 bis 7 % für gering. Für darüber liegende Steigungen ist eine deutliche Zunahme der Unfallrate bzw. Unfallkostenrate festzustellen.

Einen leichten Anstieg der Unfallrate mit Zunahme der Längsneigung verzeichnen LEUTZBACH/ZOELLMER (1988) in ihrem klassifizierten Untersuchungskollektiv. Im Bereich von Längsneigungen $s > 6$ % treten Schwankungen auf, die von den Autoren zufälliger Natur zugeordnet werden. Mit Zunahme der Längsneigung in den Klassen ist eine kontinuierliche Abnahme des mittleren DTV zu verzeichnen. Sowohl bei den Untersuchungen von LEUTZBACH/ZOELLMER (1988) als auch bei KREBS/KLÖCKNER (1977) wird ein deutlicherer Anstieg der Unfallraten im Bereich sehr geringer als auch sehr hoher Längsneigungen deutlich. Demgegenüber fällt der Anstieg der Unfallrate bei DOHMEN et al. (1989) relativ gleichmäßig aus. Erst im Bereich von Längsneigungen $s > 7$ % stellt sich ein deutlicherer Anstieg ein.

BUCK (1991) kann keinen Zusammenhang zwischen mittleren Längsneigungen von ca. -2 % bis +2 % und den gefahrenen Geschwindigkeiten feststellen. Aus den Erhebungen von SCHMIDT (1996) mit einer dreistufigen Einteilung der Längsneigung ergibt sich für das Kollektiv mit Neigungen $s > 4$ % eine deutlich höhere Unfallrate, während der Anstieg der Unfallkostenrate weniger deutlich ausfällt. Ab dieser Neigung verzeichnen auch BÖSL/SPAHN (2010) eine deutliche Zunahme der Unfallrate für Fahrurfälle.

fälle. Das Teilkollektiv mit Längsneigungen $s > 4\%$ weist gegenüber seinem Pendant eine doppelt so hohe Unfallrate $U(P, S)$ auf. Jedoch gilt die Einschränkung, dass Strecken mit hohen Längsneigungen meist auch durch eine hohe Kurvigkeit gekennzeichnet sind.

2.4.6 Räumliche Linienführung und Sichtweiten

Die Überlagerung der Entwurfselemente von Lage- und Höhenplan wird als räumliche Linienführung bezeichnet, welche sich über Raumelementfolgen beschreiben lässt. Durch die gezielte Überlagerung von Wendepunkten aus Lage- und Höhenplan entstehen Standardraumelemente, die einer befriedigenden räumlichen Linienführung entsprechen (FGSV 2012). Abweichungen können eine Erhöhung des Unfallgeschehens zur Folge haben, die u. a. aus der Verringerung der Sichtweiten aufgrund von Sichtschatten oder einem verdeckten Kurvenbeginn resultieren. Da sich die räumliche Linienführung nur schwer quantifizieren lässt, stellt die Bewertung der Haltesichtweise eine Hilfsgröße dar.

Einen Einfluss geringer Haltesichtweiten auf die Geschwindigkeit stellt BUCK (1992) für Sichtweiten unter ca. 150 m fest. Dabei finden 400 m der vorangegangenen Streckenlänge Berücksichtigung.

Eine Korrelation zwischen Sichtweite und Kurvigkeit ergibt sich in den Untersuchungen von KREBS/KLÖCKNER (1977). In der fünfstufigen Einteilung (100 m Schrittweite) zeigen sich für Abschnitte mit Sichtweiten unter 99 m deutlich erhöhte Unfallraten. Mit Zunahme der Sichtweite verringern sich sowohl Unfallrate als auch Unfallkostenrate. Bei der Bewertung von jeweils 100 m langen Abschnitten wurde jedem Abschnitt die sich in Fahrtrichtung anschließende Sichtweite zugeordnet. Dies ist bezüglich der Zuordnung von Unfällen als kritisch zu bewerten, da davon auszugehen ist, dass Unfälle (bspw. fehlerhaftes Überholen) aufgrund von Sichtdefiziten nicht unmittelbar an der Stelle auftreten, wo das Sichtdefizit der nachfolgenden Strecke ermittelt wird, sondern im sich unmittelbar anschließenden Streckenbereich.

LIPPOLD et al. (2007) überprüften die mögliche Anpassung der Haltesichtweite. Bei Probandenfahrten sowohl im Feld als auch im Simulator zeigte sich für Sichtweiten unter 200 m eine stetige Aufmerksamkeitserhöhung. Ab Sichtweiten unter 100 m reagierten die Probanden mit deutlichen Bremsvorgängen und dem Abbruch von Beschleunigungsvorgängen. Im Simulator konnte außerdem festgestellt werden, dass die Umfahrung von Hindernissen bei Sichtweiten unter 150 m nur noch mit Schwierigkeiten zu

absolvieren war. Im Ergebnis steht die Forderung, entwurfsklassenabhängige Sichtweiten zwischen 150 m und 250 m zu gewährleisten.

Eine Überlagerung von Unfallgeschehen und aus Befahrungsdaten ermittelten stationsbezogenen Sichtweiten dienen ZIMMERMANN et al. (2007) als Grundlage zur Bewertung der räumlichen Linienführung. Dabei ist eine Zunahme der Unfälle bei Sichtverzerrungen, jedoch nicht für verdeckte Kurvenanfänge, festzustellen. In der Analyse standen elf Strecken mit einer Länge von 42 km zur Verfügung, die nur tendenzielle Ergebnisinterpretationen erlauben.

Anhand der dreistufigen Bewertung von Radienfolgen nach RAS-L-1 (FGSV 1984) stellen BÖSL/SPAHN (2010) den negativen Zusammenhang zwischen einer un stetigen Linienführung und der Unfallrate für Fahr unfälle dar. Radienfolgen außerhalb des brauchbaren Bereichs weisen gegenüber relationstrassierten Radienfolgen ein deutlich höheres Unfallrisiko auf. Diese gewählte Einteilung ist kritisch zu bewerten, da davon auszugehen ist, dass Radienfolgen außerhalb des brauchbaren Bereichs häufiger enge Radien aufweisen, die per se durch hohe Unfallraten gekennzeichnet sind.

2.4.7 Umfeld

Dem Einfluss der den Straßenraum umgebenden Charakteristiken auf das Unfallgeschehen wird erst seit geraumer Zeit eine weitere Bedeutung zugeordnet. Die Problematik der Baumunfälle ist seit längerem Bestandteil von Unfallanalysen und Maßnahmenprogrammen (GDV 1999, FGSV 2007). Das Thema Unfallgefahren durch Alleen besitzt ein hohes öffentliches Interesse. Hingegen blieben Analysen zu möglichen soziodemografischen Einflüssen auf das Unfallgeschehen, mit wenigen Ausnahmen (MÄDLER/PÖPPEL-DECKER 2001), dem englischsprachigen Raum behaftet. Jedoch lassen auch hier verschiedene Studien Zusammenhänge zum Unfallgeschehen deutlich werden.

Seitenraum

Den negativen Einfluss von Bäumen auf die Unfallschwere beschreibt HEILMANN (2008) in einer statistischen Auswertung für Mecklenburg-Vorpommern. Während das Bundesland gegenüber anderen Bundesländern bezüglich der Anzahl Verunglückter je Einwohner keine Unterschiede besitzt, zeigen sich für die Anzahl der Getöteten je Einwohner deutliche Unterschiede. Dies ist auf den hohen Anteil Baumunfälle in Mecklenburg-Vorpommern zurückzuführen, der bei Betrachtung des Unfallgeschehens

der Kategorie 1 bis 4 nur einen Anteil von 11 %, bei den Unfällen mit Getöteten jedoch von 51 % aufweist.

Den Einfluss von fahrbahnnahen Bäumen untersuchte MEEWES (2000, 2001). Für Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn zeichnen sich die mit Aufprall auf Bäume durch eine besonders hohe Unfallschwere aus. 86 % der Unfälle mit dieser Charakteristik sind Unfälle des Typs 1, die sich überwiegend zu Zeiten geringer Verkehrsbelastungen ereigneten (MEEWES 2001). Neben der Tatsache, dass die mittleren Unfallkosten beim Abkommen nach links geringer als für das Abkommen nach rechts von der Fahrbahn ausfallen, nimmt mit zunehmendem Abstand der Bäume die Unfallschwere ab.

Für Pkw-Alleinunfälle mit Personenschaden ermitteln HEGEWALD/WEBER (2008) einen gegenüber MEEWES (2001) deutlicheren Rückgang der mittleren Unfallkosten mit zunehmendem Abstand der Bäume im Seitenraum. Bei einem Abstand $A > 1,5$ m zum Fahrbahnrand verringern sich die mittleren Unfallkosten um mehr als die Hälfte. Auch hier ergeben sich höhere Unfallfolgen beim Abkommen nach rechts als beim Abkommen nach links von der Fahrbahn.

Einen Ansatz zur Ermittlung des Baumbestandes an Straßen zeigt ebenfalls MEEWES (2005). Um die Baumunfallbelastung zu ermitteln, wurden die Streckenabschnitte bezüglich des Vorhandenseins von Baumbestand richtungsgetreunt analysiert. Dabei wird in fünf Stufen von geschlossen über lückenhaft bis leer unterschieden. Über die ermittelte Länge an Baumbestand je Strecke, dem mittleren Baumabstand und dem Unfallgeschehen ermittelt MEEWES (2005) die mittlere Baumunfallbelastung.

Einer visuellen Aufnahme des Seitenraums räumen BÖSL/SPAHN (2010) die Möglichkeit ein, dass Unfallgeschehen in Abhängigkeit der Umfeldbedingungen zu analysieren. Bezüglich der Fahrunfälle liegt für Strecken im Wald gegenüber Strecken mit freiem Seitenraum oder nur mit Einzelbaumbesatz ein wesentlich höheres Unfallrisiko vor. Dabei steht die Unfallschwere im engen Zusammenhang mit der Charakteristik des Seitenraums. Hohe mittlere Unfallkosten sind für Unfälle mit Aufprall auf Bäume zu verzeichnen, während für Unfälle in hindernisfreien Seitenraumbereichen, noch vor den Bereichen mit passiven Schutzeinrichtungen, die geringsten mittleren Unfallkosten auftreten. Der Zusammenhang zwischen Hindernisabstand zur Fahrbahn und den mittleren Unfallkosten fällt in der dreiklassigen Bewertung von BÖSL/SPAHN (2010) nicht eindeutig aus. Jedoch wird deutlich, dass Unfälle mit Aufprall auf Hindernisse in unmittelbarer Fahrbahnnähe (Abstand $A < 3$ m) deutlich höhere Unfallkosten zur Folge haben.

LIPPOLD/SCHULZ (2009) differenzieren in ihrer Untersuchung zur Verkehrssicherheit die Seitenraumgestaltung, insbesondere nach dem Kriterium, welche Seite in Kurvenbereichen bepflanzt wurde. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse wesentlich durch das zugrunde liegende Kollektiv geprägt werden. Während über alle Strecken Kurven mit beidseitiger Bepflanzung die niedrigsten Unfall(-kosten)raten aufweisen, verändert sich der Effekt bei einer Differenzierung der Strecken nach Kurvigkeit. Insbesondere für Strecken mit höherer Kurvigkeit weisen Einzelkurven mit außenseitiger oder beidseitiger Bepflanzung eine besonders geringe Verkehrssicherheit auf. Demgegenüber sind bepflanzungsfreie Strecken als sicher einzuschätzen. Mit Ausnahme der die Sichtweiten beeinträchtigenden Bepflanzung wird der Einfluss der Seitenraumgestaltung auf die Quantität der Unfälle als sehr gering bewertet, während für die Unfallschwere ein deutlicher Zusammenhang erkennbar wird. Jedoch ist die Aussagekraft der Ergebnisse durch die geringe Besetzung einzelner Kollektive eingeschränkt.

Von OTTE (2000) liegen detaillierte, nach Querschnittstypen getrennte, Statistiken zu Unfällen mit Personenschäden, gegliedert nach Unfallkonstellation, -ursache und Verletzungsschwere, vor. Bezüglich des Verletzungsgrades – angegeben über den „Maximum Abbreviated Injury Scale“ – führen Unfälle mit Aufprall an Bäume unmittelbar am Fahrbahnrand (Abstand $A < 2$ m) zu schwereren Unfallfolgen als bei einem Aufprall auf Bäume, die erst nach Gräben angeordnet sind. Diese Art der Kollision entspricht einem Anteil von ca. 25 % der Unfälle, umfasst aber 36 % der Getöteten. Unfälle mit Abkommen in Gräben ziehen trotz der größeren Wahrscheinlichkeit eines Überschlags keine höheren Verletzungsrisiken nach sich. Passive Schutzeinrichtungen tragen ebenfalls zur Verringerung der Verletzungsschwere bei (OTTE 2000). Aus den Rückrechnungen auf die Ausgangsgeschwindigkeit der Unfallfahrzeuge (Pkw) wird deutlich, dass bei einem höheren Ausbaustandard schneller gefahren wird. Mit höheren Geschwindigkeiten steigt die Gefahr für irreversible Verletzungsfolgen.

Eine allgemeine Kategorisierung der Gefahren des Seitenraums einbahniger Landstraßen nehmen ZEGER et al. (1987) vor. Dabei finden 38 punktuelle und 18 linienhafte Merkmale des fahrbahnnahen Umfelds als mögliche Gefahrenquellen Berücksichtigung. Von verschiedenen Bewertungsarten, die einem Expertengremium zur Einschätzung vorgelegt wurden, stellte sich eine siebenstufige Gefahrenskala (Roadside Hazard Index) als die praktikabelste Einteilung heraus, wobei Stufe 7 Seitenräume mit einer hohen Wahrscheinlichkeit für Unfallfolgen mit schweren Verletzungen bis Todesfolge umschreibt. Die richtungsgetrennte Klassierung der Streckenabschnitte (0,1 Meilen-Abschnitte) erfolgt dabei anhand einer breiten Palette von Beispielbildern. In den für verschiedene Unfallcharakteristiken erstellten

multiplen statistischen Modellen zeigt sich u. a. ein signifikanter Zusammenhang zwischen Unfallzahl und Gefahrenkategorie.

ZEGEER et al. (1991) können für Kurvenbereiche keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und Gefahren des Seitenraums ermitteln, verweisen aber auf die eingeschränkte Variabilität der zur Verfügung stehenden Daten. Demgegenüber zeigt sich in dem multiplen statistischen Verfahren von VOGT/BARED (1998) ein signifikanter Einfluss des siebenstufigen „Roadside Hazard Index“ auf das Unfallrisiko.

MIAOU (1996) modellierte in einem Ansatz die Auftretenshäufigkeit von Ereignissen, bei denen ein Fahrzeug die Fahrbahn verlässt. Dabei wird die Seitenraumcharakteristik nach der Breite des hindernisfreien Seitenraums, mittlerer Böschungsneigung, allgemeinen Terrain und Art des Banketts unterschieden. Aus dem verwendeten negativ-binomialen Regressionsmodell wird eine höhere Unfallhäufigkeit aus einem bewegten Gelände und steigenden Böschungsverhältnissen erklärt, während aus hindernisfreien Seitenräumen – Angabe als stetige Größe – als auch befestigtem Bankett eine Abnahme resultiert. Eine Unterscheidung, welche Art von Hindernissen im Seitenraum auftritt, erfolgt nicht.

Einen deutlichen Zusammenhang zwischen Unfallschwere/-häufigkeit und den Gefahren im Seitenraum, beschrieben durch einen „Roadside Hazardousness Index (RHI)“, legen PARDILLO-MAYORA et al. (2010) dar. Mit verschiedenen Abstufungen finden die Merkmale Böschungsneigung, Abstand nicht-verformbarer Hindernisse, Art der passiven Schutzeinrichtung und die Kurvigkeit, Berücksichtigung und werden Abschnitten mit einer Länge von $L = 200$ m zugeordnet. Mit einer Cluster-Analyse folgt die Ermittlung eines fünfstufigen RHI für „Run Off Road“-Unfälle zur Darstellung der Unfallrate mit Personenschaden mittels Gruppierung der 120 möglichen Merkmalskombinationen, wobei Stufe 5 den niedrigsten Sicherheitsgrad repräsentiert

Eine exakte Einstufung internationaler Erkenntnisse wird u. U. durch abweichende Kriterien in der Unfallaufnahme, Deklaration der Unfallschwere sowie unterschiedliche verkehrstechnische und verkehrsrechtliche Standards eingeschränkt.

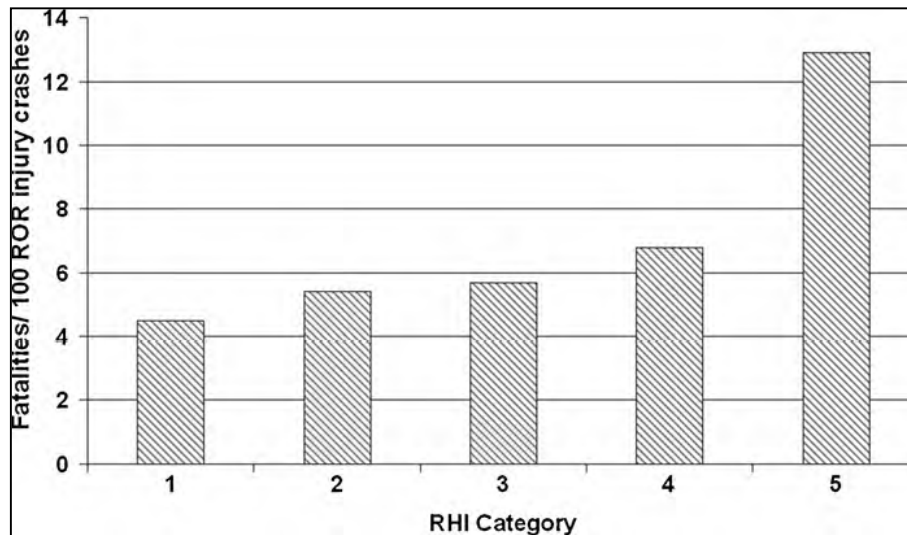


Abbildung 2-6: Zusammenhang zwischen Unfallschwere und RHI nach PARDILLO-MAYORA et al. (2010)

Soziodemografische Einflüsse

Unterschiede in der Häufigkeit bei Unfällen mit Abkommen von der Fahrbahn auf Landstraßen zwischen verschiedenen US-Bundesstaaten führt MI-AOU (1996) auf klimatische Unterschiede und sozialökonomische Strukturen zurück. Ebenfalls signifikante Unterschiede der Unfallrate zwischen zwei US-Bundesstaaten, die nur partiell mit einer verschiedenen Datenqualität zu begründen sind, ermitteln ZEGER et al. (1994).

Eine Verbindung zwischen der Siedlungsstruktur und dem Unfallgeschehen weisen MÄDLER/PÖPPEL-DECKER (2001) nach. Basierend auf einer sechsstufigen Einteilung aller deutschen Landkreise nach Bevölkerungszahl und -dichte ergeben sich für ländliche Kreise höhere Anteile getöteter und schwerverletzter junger Fahrer bezüglich der Bevölkerungsdichte an nächtlichen Freizeitunfällen. Damit einher geht eine höhere Unfallschwere. Unklar bleibt, ob die höhere Unfallschwere im Zusammenhang mit höheren Geschwindigkeiten (Anteil außerörtlicher Straßen) oder einem höheren Besetzungsgrad zu sehen ist.

Einen Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und der Getötetenrate auf Basis linearer Regressionen ermitteln CLARK/CUSHING (2004) für die Bundesstaaten der Vereinigten Staaten. Als maßgebend gilt neben der Bevölkerungsdichte die Fahrleistung pro Kopf, die in ländlichen Regionen deutlich höher ausfällt.

2.4.8 Querneigung und Fahrbahneigenschaften

In verschiedener Hinsicht beeinflusst die Querneigung von Straßen die Verkehrssicherheit. In Kurven trägt sie zur Aufnahme der Querbeschleunigung bei, was eine Sicherung des Fahrverlaufes zur Folge hat (FGSV 2012). Weiterhin soll sie zum schnellen Abführen des Oberflächenwassers beitragen, um die Gefahr von Aquaplaning zu minimieren. Verwindungsbereiche resultieren aus der Forderung einer zur Kreisbogeninnenseite gerichteten Querneigung und des Einhalts einer Mindestquerneigung von $q = 2,5 \%$. Durch den Wechsel der Querneigung entstehen in diesen Bereichen meist entwässerungsschwache Zonen – vor allem dann, wenn keine ausreichende Längsneigung vorhanden ist. Zur Verringerung dieser Bereiche enthalten die RAL (FGSV 2012) Angaben für eine Mindestschrägneigung. Untersuchungen zur negativen Auswirkung zu geringer oder gegenläufiger Querneigungen auf die Verkehrssicherheit gibt es überwiegend im Bereich von Autobahnen (LAMM et al. 1986, WESSEL 2004, LIPPOLD et al. 2011).

Die Griffigkeit der Fahrbahn übt über den Reibungswiderstand wesentlichen Einfluss auf die Fahrzeugeigenschaften und somit auf das Fahrverhalten aus. Geringe Griffigkeiten stehen mit schnellerem Verlust der Fahrzeugkontrolle, längeren Bremswegen und somit mit einem höheren Unfallgeschehen in Zusammenhang. Griffigkeitsverbesserungen stellen bei Unfallhäufungen mit nässebedingten Fahrunfällen eine gängige Maßnahme zur Reduzierung des Unfallgeschehens dar (GDV 2002). Neben den aktuellen Witterungsbedingungen hängt die Griffigkeit von der Materialbeschaffenheit und des Zustands der Fahrbahn ab. Diese verändert sich mit fortschreitender zeitlicher Beanspruchung. Eine Zunahme der Unfallrate von Unfällen bei Nässe mit Abnahme der Griffigkeit – während die Unfallrate für Unfälle bei Trockenheit keine Veränderung aufweist – stellt KAMPLADE (1995) fest. STEINAUER et al. (2002) ermitteln einen Unterschied im Griffigkeitsniveau zwischen unfallauffälligen Bereichen mit dem Merkmal Nässe und dem restlichen Verkehrsnetz, während für die Gesamtheit der Stellen mit Nässeunfällen keine erkennbaren Differenzen zum Gesamtnetz vorliegen. BUTTERWEGGE (2002) verweist auf eine begünstigende Wirkung von Fahrbahnmängeln auf Unfälle bei Nässe.

2.4.9 Verkehrsstärke

Die Verkehrsstärke hat einen hohen Einfluss auf das Unfallgeschehen und wird in Sicherheitsanalysen häufig als Teil der Exposition herangezogen. Aufgrund ihres hohen Erklärungsanteils in (multiplen statistischen) Sicherheitsanalysen ist eine genaue Ermittlung/Kennntnis über die Größenordnung

notwendig (PELTOLA 2009). Vielfach wird die Verkehrsstärke über die Unfallrate in ein Verhältnis zum Unfallgeschehen gesetzt, welches bei Mit-Ohne oder Vorher-Nachher-Vergleichen einen linearen Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit voraussetzt. Jedoch zeigen Untersuchungen, dass diese Annahme eher eine Ausnahme darstellt und weitere Einflüsse oft nicht ausreichend berücksichtigt werden (SCHÜLLER 2010). Die Trennung des Unfallkollektivs anhand der Unfallschwere verdeutlicht zwischen Unfällen mit Personenschaden und Sachschaden einen zum Teil gegensätzlichen Einfluss der Verkehrsstärke (MAIER et al. 2013). Die Betrachtung des Unfallgeschehens über den Durchschnittlichen Täglichen Verkehr (DTV) stellt eine anerkannte Methode dar, die eine Analyse über die zeitlich veränderte Verkehrsstärke ausschließt.

LEUTZBACH/ZOELLNER (1988) ermitteln für einbahnig zweistreifige Abschnitte gegenüber den Untersuchungen von KREBS/KLÖCKNER (1977) – diese ermitteln eine kontinuierliche Abnahme der Unfallrate über den gesamten Betrachtungsbereich – einen U-förmigen Verlauf der Unfallrate über dem betrachteten Verkehrsstärkebereich bis ca. 17.000 Kfz/24h, deren Minimum bei ca. 12.000 Kfz/24h liegt. Demgegenüber fällt die Unfallkostenrate über den gesamten Bereich mit zunehmender Verkehrsstärke ab.

SCHMIDT (1996) kann den U-förmigen Verlauf der Unfallrate nicht bestätigen. In seinem in acht Klassen aufgeteiltem Kollektiv ist ein deutlicher Rückgang der Unfallrate bis zu einer Verkehrsstärke von ca. 8.000 Kfz/24h festzustellen. Der weitere Rückgang fällt geringer aus. PALM/SCHMIDT (1999) ermitteln ebenfalls überwiegend eine Abnahme der Unfallrate bei Zunahme der Verkehrsstärke.

Dass eine monokausale Bewertung allein der Einflussgröße Verkehrsstärke auf die Unfallrate nicht aussagekräftig ist, erläutern DOHMEN et al. (1989) anhand ihres Untersuchungskollektivs. Der Rückgang der Unfallrate mit Zunahme der Verkehrsstärke ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass Strecken mit geringen Belastungen im Mittel geringere Fahrbahnbreiten sowie höhere Kurvigkeiten und Längsneigungen aufweisen.

ZEGEER et al. (1987) erhalten einen degressiven Zusammenhang zwischen dem gesamten Unfallgeschehen und der Verkehrsstärke. Ebenfalls einen degressiven Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke für einbahnig zweistreifige Strecken zeigt das Kollektiv von VIETEN et al. (2010). D. h., mit steigender Verkehrsstärke nimmt das Unfallgeschehen unterproportional zu. Kollektive mit breiten Fahrbahnen und dementsprechend höherer Verkehrsstärke weisen einen flacheren Anstieg der Unfallan-

zahlen auf, als es für Kollektive mit schmalen Fahrbahnen der Fall ist (Abbildung 2-7).

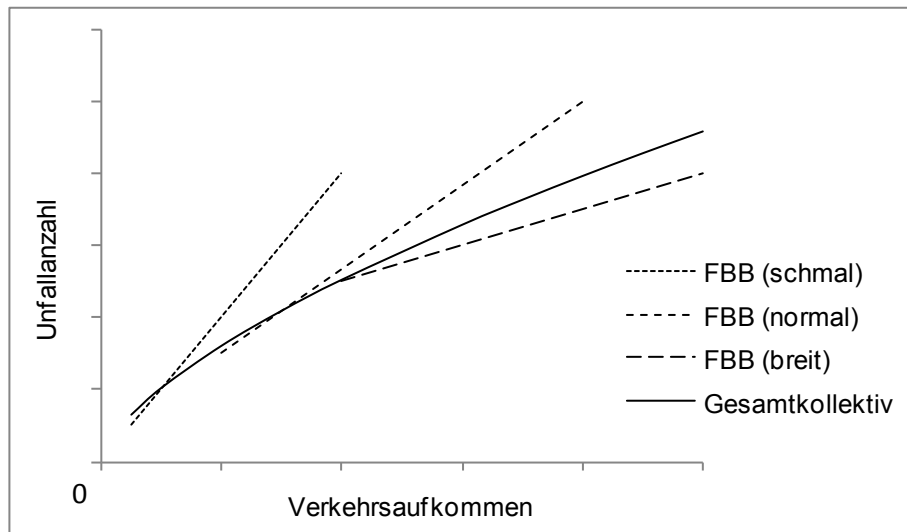


Abbildung 2-7: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Unfallanzahl, Verkehrsaufkommen und Fahrbahnbreite (FBB) für einbahnig zweistreifige Straßen nach VIETEN et al. (2010)

HADI et al. (1995), die verschiedene Highway-Querschnitte analysierten, zeigen, dass die Entwicklung des Unfallgeschehens mit betrieblichen und baulichen Merkmalen in engem Zusammenhang steht. So unterscheiden sich verschiedene Querschnitte durch eine Ab- bzw. Zunahme der Unfallrate mit steigender Verkehrsstärke.

Das Regressionsmodell auf Basis einer negativen Binomialverteilung von MIAOU (1996) zur Ermittlung der Häufigkeit von „run-off-road-accidents“ (RORA) weist einen negativen Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallrate auf, d. h. mit steigender Verkehrsstärke nimmt die Anzahl der RORA ab. Vor dem Hintergrund, dass eine steigende Anzahl an Interaktionen zwischen Fahrzeugen auf die Zunahme der Verkehrsstärke – bei gleichzeitiger Abnahme der Möglichkeit die Wunschgeschwindigkeit frei zu wählen – zurückzuführen ist, ist diese Erkenntnis plausibel. Der Zusammenhang zwischen Fahrverhalten und Unfallgeschehen wird aus der Betrachtung verschiedener Unfalltypen in TAYLOR et al. (2002) deutlich. Charakteristische Streckenunfälle (Fahrerunfall) weisen gegenüber dem Restkollektiv einen mit zunehmender Verkehrsstärke geringeren Anstieg der Unfallhäufigkeit auf.

2.4.10 Verkehrstechnik (Straßenausstattung)

Die Verkehrstechnik umfasst verschiedene mittelbare und unmittelbare Produkte sowie Maßnahmen der Straßenausstattung mit dem Ziel, den Verkehrsablauf zu organisieren, das Verhalten zu regulieren und die Ver-

kehrssicherheit zu erhöhen. Dabei reicht die Palette über das Anbringen von Verkehrszeichen und Leiteinrichtungen, dem Aufbringen von Markierungen über das Aufstellen von Lichtsignalanlagen bis hin zur Installation von passiven Schutzsystemen. Dabei soll die Standardisierung des Straßenraums dazu beitragen, die Wiedererkennung zu gewährleisten, unübersichtliche Situationen zu vermeiden und damit eine Verhaltensanpassung der Fahrer zu erzielen. Die Verkehrstechnik bietet verschiedene Möglichkeiten, um mit Ausstattungsmerkmalen eine Verbesserung der Verkehrssicherheit zu erzielen.

Gefahrenzeichen und Leiteinrichtungen

Die Wirkung von Verkehrszeichen, -einrichtungen und deren Kombination auf das Geschwindigkeitsverhalten in Kurven ermittelten KREBS/DAMIANOFF (1983). Grundlage der Bewertung bildeten die Geschwindigkeiten freifahrender Kfz an jeweils vier Querschnitten. Während das Anordnen des Z 103 (Kurve) StVO tendenziell eine gleichmäßige Verringerung der gefahrenen Geschwindigkeiten unabhängig des Ausgangsniveaus zur Folge hat, folgt aus der Anordnung des Z 274-70 StVO ($V_{zul} = 70$ km/h) eine stärkere Geschwindigkeitsabnahme bei höheren Ausgangsgeschwindigkeiten. Es gilt für beide Maßnahmen, dass die allgemeine Wirkung stark vom Umfeld abhängig ist. Das zusätzliche Anbringen von aufgelösten Richtungstafeln (sinngemäß Z 625 StVO), führt in allen Fällen zu einer weiteren Verringerung der gefahrenen Geschwindigkeiten und stellt somit eine wirksame Maßnahmenkombination dar. KREBS/DAMIANOFF (1983) verweisen darauf, dass nur die ausreichende Verdeutlichung des Kurvenverlaufs mit Richtungstafeln zu den gewünschten Effekten führt.

Die Überprüfung der Wirkung verkehrsregelnder Maßnahmen auf die Anzahl von Fahrunfällen durch ANDREE (1981) endet mit dem Fazit, dass die Maßnahmen zwar zu einem Rückgang der Unfallzahlen führten, jedoch nicht im ausreichenden Umfang. Dem Kollektiv liegen allerdings Unfallhäufungen zugrunde, die durch verschiedene Maßnahmen – Aufstellen von Gefahrenzeichen, Beschränkung der V_{zul} , Richtungstafeln sowie Kombinationen untereinander – flankiert wurden.

Eine sicherheitserhöhende Wirkung von Leitpfosten ist nicht eindeutig zu belegen, jedoch besitzen sie als optisches Leitelement einen hohen Einfluss auf das Fahrverhalten (BECHER et al. 2006).

Markierungen und haptische Einrichtungen

Durch den Einsatz von Rüttelstreifen stellen PERSAUD et al. (2004) in einer Vorher-Nachher-Untersuchung mit Regressionsmodellen einen Rück-

gang der Unfälle mit Personen- und schwerem Sachschaden von 12 % fest. LERNER et al. (2009) können nach dem Einfräßen von Rüttelstreifen auf dem Seitenstreifen von Autobahnen einen Rückgang der Unfallschwere, aber nicht der Unfallanzahl feststellen. BECHER et al. (2006) schließen Risikokompensationseffekte und damit den Anstieg der Unfallzahlen durch das Aufbringen neuer Markierung aus. Ein positiver Effekt auf das Unfallgeschehen ist jedoch nur bei Neumarkierungen von vorher nicht markierten Straßen zu erwarten.

Aus einer Meta-Analyse zieht SCHÜLLER (2009) den Schluss, dass durch eine Profilierung der Markierung eine Reduzierung des Unfallgeschehens eintritt, diese Entwicklung jedoch insgesamt nicht quantifizierbar ist. Ein weiterer Vorteil resultiert aus dem verbesserten Spurverhalten der Fahrzeuge. Dem Anbringen von Baumspiegeln auf Strecken mit Alleecharakter ist tendenziell keine Wirkung auf Geschwindigkeit und Unfallgeschehen nachzuweisen (MAIER et al. 1999).

Nutzungsbeschränkungen (allgemeiner Verkehr)

Ein Einfluss auf die Verkehrssicherheit auf Grund der Freigabe einbahnig dreistreifiger Strecken auch für den allgemeinen Verkehr liegt nicht vor. Aus dem betrachteten dreijährigen Unfallgeschehen von sieben Untersuchungsstrecken konnten WEBER/LÖHE (2003) keinen Zusammenhang ermitteln. Die für das Gesamtkollektiv der Freien Strecke (ermittelte Unfallkostenrate von $14,7 \text{ €}/(10^3 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$) liegt unter dem von ECKSTEIN/MEEWES (2002) veränderten Preisstand der RAS-Q 96 von $24 \text{ €}/(10^3 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ für den RQ 15,5. Eine Aufnahme und separate Bewertung von Streckenabschnitten mit Z 331 StVO wird daher als nicht notwendig angesehen. Aus der Kombination von großzügiger Linienführung und planfreien Knotenanschlüssen resultieren gegenüber Strecken mit angepasster Linienführung und plangleichen Knotenpunkten geringere Unfallkostenraten WEBER/LÖHE (2003).

Zulässige Höchstgeschwindigkeit

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit (V_{zul}) ist u. a. in der StVO (2013) über den § 3 „Geschwindigkeit“ festgelegt. Für einbahnige außerörtliche Straßen gibt es eine Abstufung, die sich – mit einigen Ausnahmen – auf das zulässige Gesamtgewicht der Kraftfahrzeuge bezieht. So liegt die Grenze für Kraftfahrzeuge unter 3,5 t bei 100 km/h, während für Kraftfahrzeuge bis zu 7,5 t eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h, für Kraftfahrzeuge über dieser Grenze von 60 km/h, besteht. Allgemein gilt jedoch immer der Grundsatz, dass der Fahrzeugführende die Geschwindigkeit so zu wählen

hat, dass das Fahrzeug ständig beherrschbar bleibt bzw. die Geschwindigkeit den Sichtverhältnissen anzupassen ist (StVO 2013).

Von Seiten der Planung besteht das Ziel, für jede Entwurfsklasse standardisierte Planungsgeschwindigkeiten – welche nicht die V_{zul} beschreiben – zu legen. Diese steht im Zusammenhang mit der angestrebten Fahrgeschwindigkeit, die sich aus der Netzfunktion nach den RIN (FGSV 2008) ergibt (FGSV 2012). Die Planungsgeschwindigkeiten variieren dabei zwischen 70 km/h für die EKL 4 bis 110 km/h für die EKL 1.

Im Bestandsnetz liegt eine Vielzahl von Örtlichkeiten mit einer Beschränkung der V_{zul} vor. Die Anordnung von Geschwindigkeitsbeschränkungen ist nach VwV-StVO nur dann zulässig, wenn Gefahrenzeichen oder Richtungstafeln alleine nicht ausreichen, um eine an die Situation angepasste Fahrweise zu erreichen. Der sicherheitsbegründete Einsatz ist an unfallauffälligen Stellen, insbesondere Kurven, Steigungs- und Gefällestrassen sowie Gefahrenstellen, möglich. Die Anordnung von Geschwindigkeitsbeschränkungen steht dabei im Kontext mit der Wahl geeigneter kurzfristiger Maßnahmen zur Bekämpfung örtlicher Unfallhäufungsstellen (GDV 2002).

Die Untersuchung von BÖSL/SPAHN (2010) verdeutlicht die Besonderheit von Beschränkungen der V_{zul} im außerörtlichen Straßennetz als eine meist sicherheitsbedingte reaktive Maßnahme. Bei der Bewertung von Fahrunfällen zeigen Abschnitte mit einer Beschränkung der V_{zul} auf 60 oder 70 km/h gegenüber den Strecken mit einer V_{zul} von 80 oder 100 km/h eine deutlich höhere Unfallrate.

So stellen HADI et al. (1995) fest, dass je höher die V_{zul} liegt, umso geringer das Unfallrisiko ausfällt. Dieser Zusammenhang erscheint auf den ersten Blick schwer nachvollziehbar, da höhere Geschwindigkeiten mit mehr und schwereren Unfällen assoziiert werden. Ein Grund für diesen Widerspruch liegt darin, dass Straßen mit einer vergleichsweise hohen V_{zul} auch entsprechend zügig trassiert sind sowie eine bessere Ausstattung als vergleichbare Straßen mit restriktiver Geschwindigkeitsbeschränkung aufweisen. In Verbindung mit den Ergebnissen von BÖSL/SPAHN (2010) wird deutlich, dass in der Regel die alleinige Beschränkung der V_{zul} die Defizite der Strecke häufig nicht ausgleichen kann, bzw. dass zulässige und gewählte Geschwindigkeit deutliche Diskrepanzen aufweist.

Die Rekonstruktion der Ausgangsgeschwindigkeiten verunfallter Fahrzeuge liegen HEGEWALD/WEBER (2008) vor. Es zeigt sich, dass auf Strecken mit einer V_{zul} von 70 km/h der Überschreitungsanteil mit ca. 86 % deutlich über dem für Strecken mit V_{zul} von 100 km/h von 25 % liegt. Mit Zunahme der Ausgangsgeschwindigkeiten geht ein deutlicher Anstieg der mittleren

Unfallkosten einher. ZIERKE (2010) stellt fest, dass die Beschränkung der V_{zul} nur in Verbindung mit einer dementsprechend angepassten Linienführung eine Verringerung der Geschwindigkeiten zur Folge hat.

Eine Möglichkeit zur Kontrolle der V_{zul} stellen ortsfeste Anlagen der Geschwindigkeitsüberwachungen (OGÜ) dar. JÄHRIG (2012) weist einen deutlichen Rückgang der Unfallanzahl und (-schwere) an fünf Untersuchungsstrecken nach. Der ermittelte Wirkungsbereich auf die Reduzierung des Unfallgeschehens fällt mit 1.000 m vor und nach der Anlage gegenüber den von MEEWES (1993) ermittelten Bereich von 500 m deutlich höher aus. JÄHRIG (2012) begründet diese Differenz mit der linienhaften Anordnung von OGÜ, die eine Verringerung der Fahrgeschwindigkeiten im gesamten Streckenabschnitt zur Folge hat.

Allgemein wird deutlich, dass die Höhe der V_{zul} nur indirekt Rückschlüsse auf das tatsächliche Geschwindigkeitsverhalten zulässt. Für die Verwendung von Sicherheitsanalysen ist die Ursache von Geschwindigkeitsbeschränkungen zu berücksichtigen. In Kollektiven, in denen die Anordnung der Beschränkung der V_{zul} häufig eine reaktive Maßnahme auf ein Defizit darstellt, führt dies in der Bewertung mitunter zu nicht eindeutigen Ergebnissen

2.4.11 Zusammenfassung

Die bisherigen Untersuchungen verdeutlichen den Zusammenhang zwischen verschiedenen baulichen Merkmalen, verkehrstechnischen Randbedingungen, Umfeldgrößen und der Verkehrssicherheit von Strecken (Tabelle 2-2). Die Ergebnisse zeigen, dass

- entweder aufgrund geringer Stichprobenumfänge oder
- wegen fehlender Berücksichtigung von Einflussvariablen oder
- wegen unterschiedlich ausgeprägter Abschnittsbildungen

Probleme und Differenzen bei der Aussagefähigkeit der Ergebnisse vorliegen. Das Fahrverhalten, explizit die gewählte Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer, ist eng mit dem wahrgenommenen Verkehrsraum verknüpft. Auf der einen Seite sind Querschnitte mit sehr schmalen Fahrbahnbreiten nicht zwangsläufig mit einem geringen Verkehrssicherheitsniveau verknüpft (DOHMEN et al. 1989, ZEGERER et al. 1994, VIETEN et al. 2010). Die Verbreiterung von Fahr- und Randstreifen bewirken auf der anderen Seite nur bis zu einer bestimmten Größenordnung einen Sicherheitsgewinn (BRANNOLTE et al. 1992, FROST 1999). Die Gestaltung der Straße in Abhängigkeit der Anforderungen – bspw. durch das Einrichten eines Überholfahrstreifens – bewirkt den Erhalt eines hohen Sicherheitsni-

veaus (MEEWES/MAIER 1986, PALM/SCHMIDT 1999, JÄHRIG 2012). Das Sicherheitsniveau wird insgesamt wesentlich von der Querschnittsgestaltung beeinflusst. Daher gilt der Berücksichtigung und Kategorisierung der Querschnittselemente besonderes Augenmerk.

Tabelle 2-2: Übersicht maßgebender Einflussfaktoren auf die Verkehrssicherheit von Strecken

Untersuchungsgegenstand	maßgebende Kenngrößen/ Einteilungen	Erkenntnis
Querschnitt	<ul style="list-style-type: none"> - FBB < 6 m - FBB > 8,5 m (zweistreifig) - breitere Randstreifen 	<ul style="list-style-type: none"> Unterschiedliche Wirkungsanalysen Verringerung der Verkehrssicherheit Zunahme Verkehrssicherheit
Radius	<ul style="list-style-type: none"> - < 400 m - < 200 m 	<ul style="list-style-type: none"> Anstieg der Unfallrate Deutlich negativer Einfluss auf Unfallrate
Kurvigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - > 225 gon/km - stetiger Einfluss 	<ul style="list-style-type: none"> Maßgebend für Geschwindigkeit Wirkung auf Unfallgeschehen
Höhenplan	<ul style="list-style-type: none"> - Längsneigung > 4 % - Sichtweite < 100 m 	<ul style="list-style-type: none"> Zunahme Unfallauffälligkeit Zunahme Unfallauffälligkeit
Elementfolgen	<ul style="list-style-type: none"> - $R_i/R_{i-1} < 0,2$ - Mindestlänge Gerade - Entwässerungsschwache Zonen 	<ul style="list-style-type: none"> Anstieg der Unfallrate Abstimmung Folge Radius – Gerade Verringerung der Verkehrssicherheit
Umfeld	<ul style="list-style-type: none"> - Seitenraumgestaltung - Gebietsstruktur 	<ul style="list-style-type: none"> Beeinflussung Unfallschwere Wirkung zu vermuten
Verkehrsablauf/ -technik	<ul style="list-style-type: none"> - DTV - Beschränkung V_{zul} - Verkehrstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> Wirkung in Abhängigkeit Gestaltung der Verkehrsanlage Meist reaktive Maßnahme mit unterschiedlicher Wirkung Unterschiedliche Wirkungen

Die räumliche Linienführung beschreibt die Überlagerung der Trassierungselemente von Lage-, Höhenplan. Zusammen mit der Querneigung übt diese wesentlichen Einfluss auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit aus. Dabei besteht zwischen der Trassierung der Strecke im Lageplan und den gewählten Geschwindigkeiten ein enger Zusammenhang (BAKABA 2002, EBERSBACH 2006). Eine ausgewogene Linienführung steht mit einer angepassten Geschwindigkeitswahl und geringem Unfallgeschehen in Zusammenhang. Abweichungen führen zu einer Abnahme der Verkehrssicherheit. Als besonders auffällig gelten Radien von $R < 200$ m. Diese sind durch ein deutlich erhöhtes Unfallrisiko charakterisiert und im Regelfall durch eine Adaption der gefahrenen Geschwindigkeiten gekennzeichnet (EBERSBACH 2006, LAMM et al. 1999, HEGEWALD/WEBER 2008). Monokausale Be-

trachtungen bergen die Gefahr einer Fehlinterpretation der Größen bezüglich Ursache und Wirkung. Auch zeigen auf multiplen statistischen Verfahren beruhende Untersuchungen, dass sich erst über die Analyse mehrerer ähnlicher Größen eine geeignete aussagekräftige Variable identifizieren lässt (ZEGEER et al. 1991, VOGT/BARED 1998). Auch für die Bewertung des Höhenplans liegen verschiedene Erkenntnisse vor. Es ist belegt, dass Längsneigungen von über 4 % kritisch, von über 6 % als sehr kritisch bezüglich der Erhöhung des Unfallrisikos anzusehen sind (KREBS/KLÖCKNER 1977, SCHMIDT 1996, BÖSL/SPAHN 2010).

Über die Wirkung von Ausstattungs- und verkehrstechnischen Elementen liegen in den Untersuchungen unterschiedliche Einschätzungen vor (KREBS/DAMIANOFF 1983, PERSAUD et al. 2004). Diesbezüglich ist zu klären, ob und in welchem Umfang verkehrstechnische Elemente zur optischen Führung des Fahrers (Markierungen, Richtungstafeln) und Hinweise auf Gefahren zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen (ANDREE 1981, BECHER et al. 2006). Über die Anordnung von Geschwindigkeitsbeschränkungen ist bekannt, dass diese häufig eine reaktive Maßnahme in Bereichen erhöhter Unfallauffälligkeiten darstellt.

Aus den Veröffentlichungen wird die Bedeutung der Seitenraumgestaltung auf das Unfallgeschehen deutlich (ZEGEER et al. 1987, PARDILLO-MAYORA et al. 2010). Die Analyse des fahrbahnnahen Seitenraums ist daher nicht auf das Merkmal Baum zu beschränken, sondern umfasst die Aufnahme verschiedener natürlicher Hindernisse und verkehrstechnischer Einrichtungen. Aus BÖSL/SPAHN (2010) und OTTE (2012) geht hervor, dass – wenn auch in wesentlich geringem Maße als andere feste Hindernisse – passive Schutzeinrichtungen die Sicherheit im Vergleich zum hindernisfreien Seitenraum negativ beeinflussen. Ferner können soziodemografische Faktoren einen indirekten Erklärungsanteil am Unfallgeschehen liefern, welcher jedoch häufig schwierig zu interpretieren ist (MIAOU 1996, CLARK/CUSHING 2004).

2.5 Verfahren zur Bewertung der Verkehrssicherheit

2.5.1 Allgemein

Die Kenntnis über Anzahl und Schwere von Unfällen erlaubt Aussagen zur Verkehrssicherheit eines Netzelements. Die Informationen der Verkehrsunfallanzeige lassen Rückschlüsse auf die Konfliktsituation, Unfallschwere, örtliche Gegebenheiten und weitere Unfallumstände zu. Für die Identifikation struktureller Defizite einer Verkehrsanlage ist die Betrachtung des Un-

fallgeschehens über einen abgegrenzten Zeitraum notwendig. Während für Unfälle mit Sachschaden im Allgemeinen die Analyse eines Jahres ausreicht, hat sich aufgrund des selteneren Auftretens der Unfälle mit Personenschaden für diese die Auswertung mehrjähriger Zeiträume etabliert.

2.5.2 Unfallkenngrößen

Zur Beschreibung der Verkehrssicherheit können verschiedene Kenngrößen verwendet werden, wobei Unfalluntersuchungen mit Bezug auf das Unfallereignis der Regel entsprechen. Basiswerte beschreiben das Unfallgeschehen als auch Bedingungen aus Verkehr und Straße (BARK et al. 2008). In der Regel handelt es sich um Angaben zu Unfallanzahlen und Strukturelementen. Die Analyse von Anteilswerten dient im Allgemeinen zur Bewertung der Unfallstruktur bezüglich verschiedener Merkmale. Dazu zählen Differenzierungen nach Unfallschwere oder Unfalltyp. Häufig erfolgt die Verwendung von Verhältniswerten (relativen Kenngrößen), indem eine Kenngröße zu einer weiteren Größe in Relation gesetzt wird. Dichten und Raten sind die bekanntesten Verhältnisgrößen. Dichten stellen das fahrleistungsunabhängige Verhältnis zweier Basisgrößen – häufig Unfälle in Bezug zu einem Strukturelement – unter einem zeitlichen Rahmen dar. Mit Ergänzung der Fahrleistung im Nenner dieses Verhältnisses ergibt sich die Unfallrate. Eine nähere Beschreibung allgemein verwendeter Größen enthält Anhang D.1.

2.5.3 Unfallkosten

Unfälle können mit Hilfe von Unfallkostensätzen volkswirtschaftlich bewertet werden. Die monetäre Kategorisierung richtet sich bei Unfällen mit Personenschäden nach der Verletzungsschwere. Ausschlaggebend sind die Abstufungen der Verletzungsfolgen nach Schweregrad und die Kenntnis über den Stand der Verletzungen bei den Unfallopfern. Allgemein gängig ist eine dreistufige Abstufung. Eine differenziertere Unterteilung, wie sie bspw. in der Schweiz oder Finnland üblich ist, bietet den Vorteil einer genaueren monetären Bewertung der Unfallfolgen, bedarf aber auch einer genauen Prüfung der Unfallfolgen (BAUM et al. 2010). In den USA existiert die Einstufung der Unfallfolgen durch behandelnde Ärzte nach den siebenstufigen „Maximum Abbreviated Injury Scale (MAIS)“, wobei die Klassierung von Stufe 0 (unverletzt) bis Stufe 6 (nicht behandelbar) reicht. Die in Deutschland verwendete Abstufung in drei Kategorien (1 bis 3) erfolgt absteigend nach dem schwersten aufgetretenen Verletzungsgrad einer Person je Unfallereignis. Die weiteren Kategorien 4 bis 6 umfassen Unfallfolgen mit lediglich Sachschaden. Als getötet werden Personen geführt, die innerhalb

der nächsten 30 Tage an den Unfallfolgen versterben. Personen gelten als schwerverletzt, die mindestens 24 h in stationärer Behandlung betreut wurden, während für Leichtverletzte nur eine kurze ambulante Behandlung erforderlich ist. Diese Abgrenzung enthält Nachteile bezüglich der Informationen über Behandlungsfolgen und Unfallkosten dahingehend, dass Behandlungen von später auftretenden Symptomen bei Leichtverletzten nicht mehr in der Statistik berücksichtigt werden und für die Unfallkategorie Schwerverletzt Behandlungsfolgen eine erhebliche Spannbreite der möglichen Unfallkosten – von endgültiger Entlassung nach 24 h bis hin zu lebenslanger Invalidität mit Intensivpflege – aufweisen können.

Für jede Unfallkategorie liegen Kostensätze vor, welche die mittleren (pauschalen) volkswirtschaftlichen Verluste eines Unfalls widerspiegeln. Zweck der monetären Bewertung ist es, den volkswirtschaftlichen Nutzen durch vermiedene Unfälle zu quantifizieren. Im „Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen M UKo“ (FGSV 2012) sind die aktuellen pauschalen Kostensätze enthalten, wobei eine Trennung dieser nach verschiedenen Netzelementen nicht vorliegt (Anhang D.2 Tabelle D-2). Bei der Betrachtung gesonderter Unfallkollektive kann die Verwendung von pauschalen Unfallkostensätzen aufgrund zeitlich struktureller Abweichungen und besonderen strukturellen örtlichen Gegebenheiten zu Ungenauigkeiten führen (GDV 2003). Durch eine Anpassung der Unfallkostensätze ist eine exakte monetäre Bewertung des Unfallgeschehens möglich. Randbedingungen sind die Kenntnis über die Verunglücktenstruktur, Verunglücktenkostensätze und ein ausreichend großes Kollektiv an Unfällen mit Personenschaden. Die in GDV (2003) vorgeschlagene Mindestanzahl – 100 für außerorts, 400 für innerorts – steht seit jüngerer Zeit vor dem Hintergrund sinkender Unfallzahlen, insbesondere schwerer Unfallfolgen (DESTATIS 2013), in verschiedenen Fachgremien zur Überprüfung. Unfälle mit Sachschaden bleiben von einer Anpassung unberührt. Weitere Informationen zu Grundlage und Berechnung von Unfallkostensätzen sind Anhang D.2 zu entnehmen.

BAUM et al. (2010) stellen für Deutschland eine Untererfassung (Dunkelziffer) von Unfällen in der Verkehrsunfallstatistik fest, d. h. der Polizei liegen weniger Unfälle vor, als bei den Pflichtversicherten gemeldet sind. Während für Unfälle mit schwerem Personenschaden praktisch keine Untererfassung vorliegt, beträgt der Anteil bei den Unfallkategorien 3 und 4 knapp 20 %, bei der Unfallkategorie 5 ca. 48 %. D. h., je geringer die Unfallfolge, desto häufiger wird auf eine Benachrichtigung der Polizei verzichtet. Da die Aufnahme von Bagatelleunfällen nicht zwingend durch die Polizei erfolgt – insbesondere bei fehlendem Straftatbestand – ist in diesem Bereich die Untererfassung besonders deutlich.

Eine Berücksichtigung aller den Pflichtversicherern gemeldeten Unfälle hätte einen Anstieg der absoluten Unfallkosten sowie ereignisbezogener Sicherheitskenngrößen zur Folge. Aufgrund der häufigeren Untererfassung von Unfällen mit Leichtverletzten würde sich bei der Berechnung eines mittleren Kostensatzes für alle Unfälle mit Personenschaden eine Verringerung des entsprechenden Kostensatzes einstellen. Gleiches gilt für eine gemeinsame Betrachtung aller Unfälle mit Sachschaden. Unter der Voraussetzung, dass die der Polizei nicht bekannten Unfälle mit Personenschaden gegenüber den registrierten Unfällen keine erhebliche Veränderung in der Verunglücktenstruktur aufweisen, gilt, dass die Kostensätze der jeweiligen Unfallkategorie die Verunglücktenstruktur des jeweiligen Unfallkollektivs repräsentieren. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wird auf das polizeilich erfasste Unfallgeschehen zurückgegriffen. Eine Bewertung bzw. Abschätzung der Unfalldunkelziffer erfolgt nicht.

2.5.4 Verfahren zur Beurteilung und Bewertung der Verkehrssicherheit

Es bestehen mehrere Regelwerke, die verschiedene Aspekte der Sicherheitsarbeit enthalten. Diese stehen u. a. in engem Zusammenhang mit der „Richtlinie des Europäischen Rates und Parlaments über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur (EU-RL)“, in Deutschland eingeführt über das „Allgemeine Rundschreiben Straßenbau Nr. 26/2010“ (BMVBS 2010). Es wird in Deutschland in vier Verfahren unterschieden. Diese sind:

- die Verkehrsschau (§ 45 VwV-StVO), nach dem „Merkblatt für die Durchführung von Verkehrsschauen MDV“ (FGSV 2007B) – umfasst die regelmäßige Überprüfung des Verkehrsraums auf mögliche Defizite. Dabei liegt der Fokus auf verkehrsrechtlichen Aspekten. Die Verkehrsschau stellt ein präventiv qualitatives Instrumentarium der Verkehrssicherheitsarbeit dar und erfolgt unabhängig des örtlichen Unfallgeschehens. Ferner sind im Rahmen der Sicherheitsprüfungen die Streckenkontrollen zu nennen, die sich von der Verkehrsschau durch einen kürzeren Turnus unterscheiden. Hier liegt das Augenmerk auf der Aufnahme von Mängeln des Straßenzustands.
- die Örtliche Unfalluntersuchung, nach dem „Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen M UKo“ (FGSV 2012B) – erfolgt reaktiv bei der Häufung von Unfällen auf Verkehrsanlagen nach Überschreiten von Grenzwerten. Ziel ist es, aus der Analyse des Unfallgeschehens Defizite zu identifizieren und daraus Maßnahmen zur Unfallbekämpfung abzuleiten. Durch weitere Beobachtung wird die

Wirksamkeit der Maßnahmen geprüft. Örtliche Unfallkommissionen sind nach § 44 VwV-StVO mit dieser Aufgabe vertraut.

- das Sicherheitsaudit, nach den „Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen ESAS“ (FGSV 2002) – kommt als Element der Qualitätssicherung bei Neu-, Um oder Ausbau von Straßen im Planungsprozess zur Anwendung. Ziel ist es, mögliche Defizite bereits im Planungsprozess zu erkennen und ggf. zu beseitigen. Darüber hinaus werden auch anlassbezogene Bestandsaudits nach Verkehrsfreigabe durchgeführt.
- die Netzanalyse, nach den „Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen ESN“ (FGSV 2003) – als ein weiteres Verfahren, erfolgt auf der Basis des Unfallgeschehens in der Unfalltypenkarte. Die Netzanalyse stellt ein anlassunabhängiges Instrumentarium der Sicherheitsarbeit dar, welches als einziges zur Bewertung der Sicherheitsgrade von Infrastrukturelementen auf Grundunfallkostenraten (gUKR) – mittleres Niveau des nicht vermeidbaren Unfallgeschehens für richtliniengerechte gestaltete Netzabschnitte – zurückgreift. Grundgedanke der Netzanalyse ist es, Netzabschnitte mit einem hohen Sicherheitspotenzial zu identifizieren. Das Sicherheitspotenzial beschreibt die Differenz zwischen vorhandenem und definiertem gUKR-Niveau. Die in den ESN (FGSV 2003) verankerten gUKR beruhen auf der zeitlichen Unfallkostenentwicklung der Jahre 1985 bis 1996 und wurden zum Preisstand des Jahres 2000 geschätzt. Dabei basiert die Höhe der allgemein für Landstraßen gültigen gUKR auf einer Abminderung der Unfallkostensätze für zweistreifige Landstraßen mit Knotenpunkten gegenüber den Werten aus den „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen EWS“ (FGSV 1997). Weiteres Ziel der ESN (FGSV 2003) ist es, neben der Identifikation möglicher Mängel, eine gezielte volkswirtschaftlich effektive Priorisierung notwendiger Maßnahmen an betroffenen Örtlichkeiten im Straßennetz zu gewährleisten.

Die EWS (FGSV 1997) stellen ein allgemeines Instrument der volkswirtschaftlichen Bewertung von Straßenbauprojekten bezüglich von Variantenvergleichen oder Dringlichkeitsreihung auf Basis von Nutzen-Kosten-Verhältnissen dar. Der Quantifizierung von Wohlfahrtsverlusten durch das monetär bewertete Unfallgeschehen liegen verschiedene Straßentypen – orientiert an der Querschnittsgestaltung – mit entsprechenden Unfallkenngrößen zugrunde. Als Nutzen werden die vermiedenen Unfallkosten aus der berechneten Differenz zwischen Vergleichs- und Planungsfall verstanden. Die Berechnungen orientieren sich an der Art der Wirkungsweise eines Bauprojekts, welche auf einzelne Streckenabschnitte und Knotenpunkte begrenzt ist oder auch einen Teil des Straßennetzes umfassen kann.

2.5.5 Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen HVS

Mit dem Ziel, einen Überblick über bestehende Verfahren der Verkehrssicherheit zu geben und damit dem späteren Anwender Hinweise und Entscheidungsmöglichkeiten zu liefern, erfolgte im Auftrag der BAST die Erarbeitung des „Handbuch(s) für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS)“ durch BARK et al. (2008). Die im Entwurf des HVS implementierten Verfahren umfassen u. a.

- die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen,
- die Sicherheitsanalyse von bestehenden Straßennetzen sowie
- die Sicherheitsbewertung geplanter und bestehender Straßen.

Während für die beiden ersten beschriebenen Verfahren auf die Methodik bereits vorhandener Regelwerke zurückgegriffen werden kann, wird mit der Sicherheitsbewertung geplanter und bestehender Straßen erstmals ein allgemeiner Verfahrensansatz zur Bewertung einzelner Netzelemente im deutschen Raum vorgestellt. In einer dreiteiligen Vorgehensweise erfolgt nach der Zuweisung eines Netzelements zu einem Bewertungsfall – das kann ein Regelquerschnitt oder eine Knotenpunktform mit bestimmter Regelungsart sein – eine Berechnung des Sicherheitsgrades SG für das Netzelement. Dieser dient zur Festlegung einer – bisher noch nicht näher definierten – Qualitätsstufe der Verkehrssicherheit ähnlich dem „Handbuch für die Bemessung von Straßen HBS“ (FGSV 2005). Eine klare Definition zur räumlichen Trennung der Elemente Knotenpunkt und Strecke liegt nicht vor (Abbildung 2-8). Es wird empfohlen, die Annäherungsbereiche (Einflussbereiche) der angrenzenden Strecken in Abhängigkeit der Ortslage in der Bewertung der Knotenpunkte mit zu berücksichtigen.

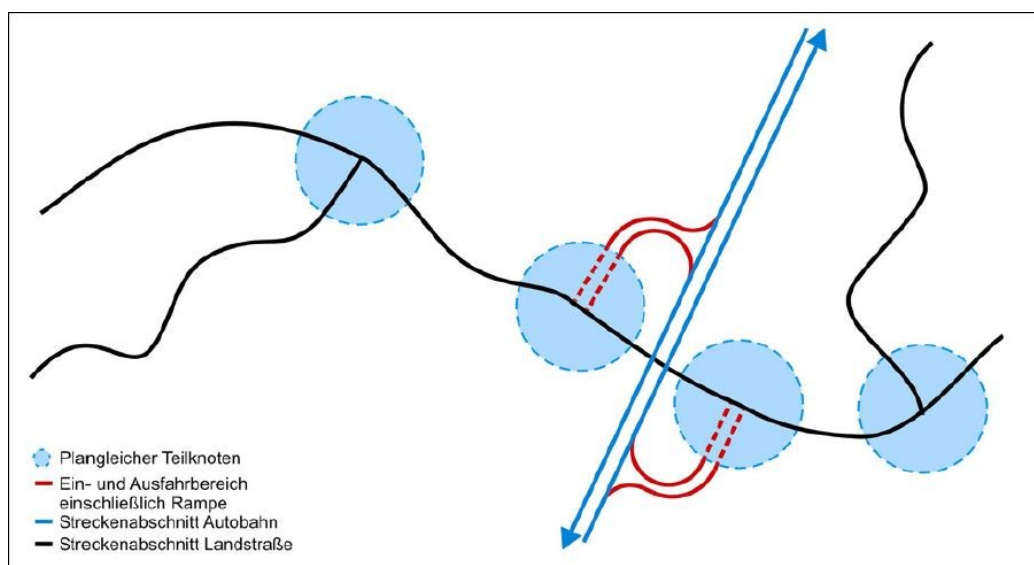


Abbildung 2-8: Abgrenzung der Netzelemente an Straßen (BARK et al. 2008)

Die Zuordnung eines Netzelements zu einem Bewertungsfall ist an die Bedingung gleichbleibender Eigenschaften geknüpft. Bei Veränderung betrieblicher oder baulicher Eigenschaften erfolgt die Trennung von Netzabschnitten, wobei sich die Kriterien für Strecken innerhalb und außerhalb bebauter Gebiete unterscheiden. Mit der Orientierung der Bewertungsfälle an Regelquerschnitten – für Autobahnen dienen die „Richtlinien für die Anlage von Autobahnen RAA“ (FGSV 2008B) als Grundlage, die RAL (FGSV 2012) für Landstraßen sowie die „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RASt“ (FGSV 2006B) für ausgewählte Typen der Stadtstraßen – stellt das HVS die Verbindung zwischen den standardisierten Entwurfsklassen und deren Bewertung mittels Sicherheitsgrades her und untergliedert die bisher pauschal nach Örtlichkeit getrennten Grundunfallkosten nach den ESN (FGSV 2003). Für Landstraßen sind Querschnitte des Bestandsnetzes den entsprechenden Bewertungsfällen zuzuordnen (Anhang B Tabelle B-1).

Im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) sind für Regelquerschnitte, Straßentypen und Knotengrundformen (oder deren Elemente) Grundunfallkostenraten (gUKR) – teilweise differenziert nach der geltenden V_{zul} – für den entsprechenden Fall zu wählen. Die gUKR repräsentiert das Sicherheitsniveau des Netzelements bei richtliniengerechtem Ausbau. Ist die Erfüllung dieser Maßgabe nicht möglich und treten Abweichungen zur richtliniengerechten Gestaltung auf, sind diese als spezifische Zuschläge zur gUKR zu berücksichtigen. Dabei wird für Strecken in linienhafte und punktuelle Zuschläge unterschieden. Der Sicherheitsgrad eines Netzelements ergibt sich aus der Addition von gUKR und den Zuschlägen (Anhang D.3).

Die Auswahl mit Zuschlägen behafteter Kriterien beruht überwiegend auf der Kenntnis und Analyse abgeschlossener Untersuchungen. Für einige Kriterien bestehen bisher nur Vermutungen bezüglich ihres Einflusses auf den Sicherheitsgrad. Daher ist die bisherige Größenordnung der Zuschläge im Verhältnis untereinander sicherlich richtungsweisend, aber in der Quantität eher geschätzter Natur. Darüber hinaus ist anzunehmen, dass weitere bisher unberücksichtigte die Verkehrssicherheit beeinflussende Kriterien vorliegen.

Gegenüber den bisherigen getroffenen Annahmen, dass Verkehrsaufkommen und Unfallgeschehen einen linearen Zusammenhang aufweisen, wird im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) der Einfluss des Verkehrsaufkommens indirekt berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass Verkehrsaufkommen in Randbereichen der Kapazität zu einer Zunahme des Unfallgeschehens führen, welches über entsprechende Zuschläge abgebildet wird (Vergleiche LEUTZBACH/ZOELLNER 1988).

2.5.6 Ausgewählte internationale Bewertungsverfahren

In Finnland dient das Programm TARVA der „Finnish Transport Agency“ als Grundlage für die Analyse und Bewertung des Straßennetzes und ermöglicht das Auffinden unfallauffälliger Bereiche sowie eine Abschätzung der Wirkung möglicher sicherheitsverbessernder Maßnahmen (PELTOLA 2009, PELTOLA et al. 2013). Die Wirkung dieser Maßnahmen liegt differenziert für verschiedene Straßentypen beschrieben über „Crash-Modification-Factors“ (CMF) vor. Diese charakterisieren bauliche, verkehrstechnische, umfeldbedingte und regulative Eigenschaften des Netzelements. CMF repräsentieren den Anteil des zu erwartenden gegenüber dem zugrunde liegenden Sicherheitsgrad. Die Größenordnung des zu erwartenden Unfallgeschehens bei Umsetzung einer Maßnahme ergibt sich aus einer Abschätzung über die empirische Bayes Methode, wobei das lokale beobachtete Unfallgeschehen und das über das GLM ermittelte Unfallgeschehen miteinander kombiniert werden. Dabei werden die entsprechend gewählten CMF – Multiplikation der Faktoren bei Einsatz mehrerer Maßnahmen – zur Ergebnisermittlung hinzugezogen. Der gewählte Ansatz ermöglicht einen effizienten Einsatz beschränkter Mittel zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. Weitere Details sind PELTOLA et al. (2013) zu entnehmen.

Das „Highway Safety Manual“ (AASHTO 2010) umfasst ein Verfahren, welches sich mit der Sicherheitsbewertung des Straßennetzes der Vereinigten Staaten auseinandersetzt und die Bewertung von (Einzel-) Elementen ermöglicht. Über „Safety-Performance-Functions“ (SPF) wird die erwartete Unfallhäufigkeit als eine vom Verkehrsaufkommen und den Straßeneigenschaften abhängige Variable erklärt. Landstraßen werden in die Elemente „Strecke“ und „Knotenpunkt“ gegliedert. Ausgangsbasis bildet für jedes Netzelement eine standardisierte SPF. Aus der Multiplikation mit „Accident-Modification-Factors“ (AMF) (inhaltlich kongruent den CMF) – diese sind nach Charakteristik des betrachteten Elements auszuwählen – lässt sich die zu erwartende Unfallhäufigkeit eines Netzelements abschätzen. AMF sind in diesem Zusammenhang als Faktoren zu verstehen, die zu einer Ab- oder Zunahme der Unfallhäufigkeit führen. Den AMF liegen mitunter verschiedene Einzelberechnungen zugrunde. Gleichermäßen quantifizieren sie im Umkehrschluss auch Wirkungen von Maßnahmen, die im Zuge einer Veränderung der bestehenden Charakteristik getroffen werden. Darüber hinaus lassen sich über vorliegende Verhältnisparameter die Unfallhäufigkeiten für verschiedene Verletzungsstufen (Unfallschwere) und Kollisionstypen ableiten. Zu letzteren zählt sowohl eine Differenzierung nach Beteiligungsarten als auch nach Bewegungsrichtung.

Ähnlich der EWS (FGSV 1997) ermöglicht das Programm COBA – Cost Benefit Analysis – des britischen „Departments for Transport“ eine volkswirtschaftliche Bewertung von primär Fernstraßenbauprojekten (DFT 2014). Zur Bewertung wird in die drei Kategorien Zeit- und Betriebskostenveränderungen, Umweltbelange (Kraftstoffverbrauch) und in eine Sicherheitskategorie unter dem Aspekt der vermiedenen Unfälle unterschieden. Eine räumliche Differenzierung erfolgt in die Netzelemente Knotenpunkt und Streckenabschnitt. Auf Basis eines Nutzen-Kosten-Vergleichs wird die Bauwürdigkeit einer Maßnahme abgewogen. Gegenüber dem finnischen und amerikanischen Verfahren stellt dieses Programm eine allgemeine Bewertung dar, da eine Differenzierung der Straßengestaltung lediglich primär nach Knoten- und Streckentypen, letztere gegliedert nach Höhe der V_{zul} , möglich ist. Während für Streckenabschnitte ein linearer Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit unterstellt ist – Berechnung mit vom Straßentyp abhängigen Unfallraten – gilt für Knotenpunkte, dass die Unfallhäufigkeit von der Zusammensetzung und Stärke der einzelnen Verkehrsströme am Knoten abhängt.

Das Projekt RIPCORDER ISEREST (2014) umfasste im Zeitraum von 2005 bis 2008 die Zusammenarbeit von 14 europäischen Nationen mit dem Ziel, ein Handbuch für die Verkehrssicherheit von Straßen für das Sekundärnetz (Landstraßen) auf Basis verschiedener Lösungsansätze und best-practice Beispielen zu erstellen. Bausteine des Projekts sind u. a. die Verhaltensforschung und Interpretation des Straßenraums unter dem Aspekt „self-explaining-road“, die Festlegung von Grundsätzen zum Straßenentwurf und zur Bekämpfung von Unfallhäufungen sowie Handlungsempfehlungen zum Audit von Straßenelementen. Einen wesentlichen Bestandteil stellt die Bereitstellung von SPF dar, die einen allgemeinen Vergleich des Niveaus der Verkehrssicherheit bei sich verändernder Infrastruktur erlauben. Insbesondere die Linienführung eines zu bewertenden Streckenabschnitts entspricht einem wichtigen mit dem Unfallgeschehen korrelierenden Bewertungsparameter. Für tiefergehende Informationen sei auf den Teil D 10 des Projekts verwiesen (RIPCORDER ISEREST 2014).

Das Programm „Predicting Road Accidents – a Transferable methodology across Europe“ (CEDR 2014) hat das Ziel, eine allgemeine Richtlinie und Anwendung zur Nutzung von AMP trotz unterschiedlicher Randbedingungen zu entwickeln und allgemein gültige CMF zur Verfügung zu stellen. Es enthält einen Überblick über den aktuellen Stand zur Verwendung von Verallgemeinerten Linearen Modellen im Rahmen der Verkehrssicherheitsarbeit in Europa. Für weitere Informationen sei auf CEDR (2014) verwiesen.

2.6 Schlussfolgerung

Hinsichtlich der Netzeinteilung wird aus der Literatur die Notwendigkeit einer Trennung der Elemente Knotenpunkt und Strecke für eine exakte Bewertung von Landstraßen deutlich. Die im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) enthaltene räumliche Abgrenzung der Knotenpunkte mit je Seite angrenzendem Einflussbereich mit einer Länge von $L = 150$ m erscheint pauschal und unterscheidet sich von einer Vielzahl anderer Untersuchungen. In Untersuchungen wird den Knotenpunkten ein meist positiver Einfluss auf die Verkehrssicherheit der Zufahrten unterstellt, der eine weitere Unterteilung der Strecke notwendig werden lässt. Auch die sehr detaillierten Erhebungen von ECKSTEIN/MEEWES (2002) lassen Spielraum in der Ergebnisinterpretation zu Einflusslängen von Knotenpunkten zu. Valide Aussagen bedingen umfangreiche Kollektivgrößen. Da für Ortsdurchfahrten ähnlich wie für Knotenpunkte eine geschwindigkeitsdämpfende Wirkung auf die angrenzende Strecke ermittelt wurde, ist auch hier eine Zunahme der Verkehrssicherheit durch eine Abnahme der Unfallschwere zu erwarten. Bisher liegen keine Verfahrensansätze, auch nicht im Entwurf des HVS, vor, welche diese Eigenschaften in einem Bewertungsverfahren berücksichtigen. Unklar bleibt weiterhin, in welcher Form und in Abhängigkeit welcher Randbedingungen sich das Sicherheitsniveau auf kurzen Streckenabschnitten von der Freien Strecke unterscheidet.

Das Unfallgeschehen von Landstraßen besitzt aufgrund der Schwere einen hohen Stellenwert in der Verkehrssicherheitsarbeit. Während die Unfallhäufigkeit in engem Zusammenhang mit der Trassierung der Strecke steht, zeichnen die Gestaltung des Seitenraums, die Wahrnehmung des Straßenverlaufs und die gewählte Geschwindigkeit für die Unfallschwere verantwortlich. Fahrunfälle, häufig das Resultat mangelhafter Einschätzung des Streckenverlaufs im Zusammenspiel mit nicht angemessenen Geschwindigkeiten, spiegeln eine typische Unfallkonstellation auf Landstraßen wider. In den zahlreichen Veröffentlichungen haben sich folgende Merkmale als wesentliche Einflussgrößen herausgestellt:

- Trassierung: Die Elementabfolge im Lageplan, häufig beschrieben über die Kurvigkeit, beeinflusst maßgebend die freie Geschwindigkeitswahl sowie die Unfallhäufigkeit. Unstetige Elementfolgen – gepaart mit engen Radien – sind durch ein erhöhtes Unfallgeschehen gekennzeichnet. Für hohe Längsneigungen und Beschränkung der Sichtweiten ist ebenfalls ein Einfluss auf das Unfallgeschehen nachgewiesen.
- Querschnittsgestaltung: Häufig über die Breite und Anzahl von Fahr- und Randstreifen beschrieben, wird im Allgemeinen ein breiterer Querschnitt mit einer Verringerung des Unfallgeschehens in Verbindung ge-

- bracht. Dieser Bewertung sind – auch aufgrund der Verkehrsbedeutung und der damit verbundenen Trassierung von Strecken – in Bereichen sehr schmaler sowie überbreiter einbahnig (zweistreifiger) Straßen Grenzen gesetzt. Die Einrichtung von räumlich getrennten Überholmöglichkeiten führt zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit.
- Umfeld: Neben der Ausgangsgeschwindigkeit wird die Unfallschwere für Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn wesentlich durch die Gestaltung des Seitenraums bestimmt. Der negative Einfluss fahrbahnnaher Bäume ist unumstritten, jedoch wird aus der Literatur deutlich, dass verschiedene Arten von Hindernissen – auch passive Schutzeinrichtungen – gegenüber dem hindernisfreien Seitenraum zu einer höheren Unfallschwere führen.

Über die beschriebenen Merkmale hinaus liegen Untersuchungen zur Sicherheitswirkung weiterer Merkmale vor. Ein hoher Ausstattungsstandard wird mit einem höheren Sicherheitsniveau verknüpft, jedoch ist die Wirkung einzelner verkehrstechnischer Maßnahmen bisher nur unzureichend beschrieben. Die Beschränkung der V_{zul} stellt häufig eine reaktive Maßnahme an Unfallhäufungen dar. Eine allgemeine Wirkungsableitung gilt daher als schwierig.

Bezüglich der Methodik liegen aus dem deutschen Raum für eine Vielzahl der Merkmale nur uni- und bivariate Verfahren zur Beschreibung der Einflüsse vor, während im englischsprachigen und skandinavischen Raum die Verwendung von multiplen Modellen eine weit verbreitete Form zur Quantifizierung der Einflussgrößen unter Verwendung von Crash-Modification-Factors darstellt (AASHTO 2010, PELTOLA et al. 2013, DFT 2014). Eine klassifizierte Bewertung der Kombination mehrerer Merkmale in Matrizen, wie sie bspw. DOHMEN et al. (1989) oder LEUTZBACH/ZOELLMER (1989) durchführten, stößt aufgrund der geringen Kollektivbesetzung der Klassen in den Randbereichen und der Überlagerung mehrerer Einflüsse häufig an seine Grenzen. Durch die allgemeine Nutzung der EDV dem letzten Jahrzehnt und der damit verbundenen Digitalisierung von Informationen, entspricht die zügige Auswertung auch größerer Datenmengen dem Standard. Vor diesem Hintergrund sind Bewertungsverfahren, deren Analyse und Kalibrierung auf umfangreichen Datensätzen beruhen und in verschiedenen Ländern bereits praktiziert werden, als Stand der Technik anzusehen.

Mit dem Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) liegt in Deutschland ein erster möglicher Verfahrensansatz für eine einheitliche sicherheitstechnische Quantifizierung verschiedener Abweichungen zum Regelentwurf, dargelegt über Zuschläge zu einem Grundunfallniveau, vor. Damit geht der Entwurf

des HVS weit über die bisher sehr pauschale volkswirtschaftliche Bewertung nach den EWS (FGSV 1997), den RAS-Q 96 (FGSV 1996) und der Angabe einer Grundunfallkostenrate für Landstraßen nach ESN (2003) hinaus. Die im Entwurf des HVS vorgestellte Methodik bedarf dahingehend einer Prüfung, inwieweit mehrere Defizite zu Wechselwirkungen untereinander und damit zu einer deutlicheren Abnahme der Verkehrssicherheit führen. Bisher liegen für einen Teil der Abweichungen nur ungenaue Kenntnisse über den Wirkungsgrad und damit die Höhe der Zuschläge vor – bspw. fehlende bauliche Richtungstrennung für RQ 21. Ferner ist unklar, ob bisher nicht berücksichtigte Merkmale auf den Sicherheitsgrad der Netzelemente wirken.

Die bisher gültigen Sicherheitsgrade von Straßenverkehrsanlagen beruhen auf älteren Werten der EWS (FGSV 1997). Für die in den RAL (FGSV 2012) enthaltenen EKL existieren bisher keine verifizierten Sicherheitsgrade zur Quantifizierung. Die im Entwurf des HVS vorgehaltenen Grundunfallkostenraten sind in ihrer Größenordnung bisher eher theoretischer Natur. Eine erste Orientierung zur Höhe der Grundunfallkostenraten, auf einer Einteilung der Strecken nach Fahrbahnbreiten beruhend, liefern VIETEN et al. (2010). In dem Untersuchungsansatz, der auf der Ermittlung von Erwartungswerten aus einer Verteilungsfunktion basiert, bleibt die differenzierte Analyse einzelner Merkmale unberücksichtigt.

Aus den vorliegenden Schlussfolgerungen lassen sich folgende Vorgehensweise und Randbedingungen im eigenen Verfahrensansatz ableiten:

- Aufteilung der Netzabschnitte in verkehrsbedeutende Knotenpunkte, Einflussbereiche der Streckenübergänge und die Freie Strecke.
- Klassifizierung und Zuordnung der (Bestands-) Streckenabschnitte um die besondere Charakteristik der verschiedenen Querschnitte zu berücksichtigen. Prüfung einer Verknüpfung des Kollektivs mit den in den RAL (FGSV 2012) enthaltenen EKL in Anlehnung an die Kategorisierung im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008).
- Aufnahme und Aufarbeitung als maßgebend angesehener oder vermuteter Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit. Diese orientiert sich an bisherigen Erkenntnissen.
- Bewertung des Sicherheitsniveaus und Identifikation möglicher Einflussgrößen der Querschnitte auf Basis multivariater statistischer Verfahren, die eine unabhängige Wirkungsabschätzung der einzelnen Variablen ermöglichen.

3 Methodik

3.1 Vorgehen

Im Fokus der Untersuchungen stehen Außerortsstraßen außerhalb geschlossener Ortschaften. Die Auswahl der Strecken erfolgte in MAIER et al. (2013) und ist in Kapitel 3.3.1 näher beschrieben. Eine Einflussnahme auf die Streckenauswahl war in der vorliegenden Arbeit nicht möglich. Die grundlegende Erhebungsmethodik orientiert sich am Forschungsprojekt FE 82.334 der BAST (MAIER et al. 2013) und wurde im Rahmen dieser Arbeit deutlich erweitert (Abbildung 3-1). Dies betrifft

- die Aufnahme von Merkmalen,
- die Abgrenzung von Netzelementen,
- die Modellansätze und -bildung für Freie Strecke und Einflussbereiche sowie
- das Bewertungsverfahren eines Streckenabschnitts.

Auf Basis des gewonnenen Erkenntnisstands und den zugrunde liegenden Daten leiten sich eine vertiefende Analyse der Straßencharakteristik, die Zuordnung der Strecken in definierte Bewertungsfälle (Querschnitte) und die Gliederung in verschiedene Netzabschnitte ab.

Die Sicherheitsbewertung eines Straßenzugs setzt dessen Aufteilung in die Netzelemente Knotenpunkt, Einflussbereich und Freie Strecke voraus. Eine Auswertung von verkehrsbedeutenden Knotenpunkten, die eine Änderung der Streckencharakteristik bzw. des Verkehrsablaufs in den Zufahrten der betrachteten Strecke nach sich ziehen, erfolgt nicht. Knotenpunkte, die diese Eigenschaften nicht erfüllen, gelten als Bestandteil der Streckencharakteristik. Einflussbereiche und Freie Strecke werden getrennt voneinander bewertet. Die räumliche Abgrenzung der Einflussbereiche stützt sich auf das Verfahren von ECKSTEIN/MEEWES (2002).

Die räumliche Abgrenzung der Netzelemente beruht auf einer Bewertung des vorliegenden Unfallgeschehens. Mit der Anlehnung des Verfahrensansatzes an die Klassifizierung von Streckeneigenschaften nach dem Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) entsteht die Notwendigkeit, für die Analyse Abschnitte mit überwiegend homogenen Eigenschaften zur Verfügung zu stellen. Aus den vorliegenden Streckeninformationen sind Merkmale zu erheben und zu quantifizieren.

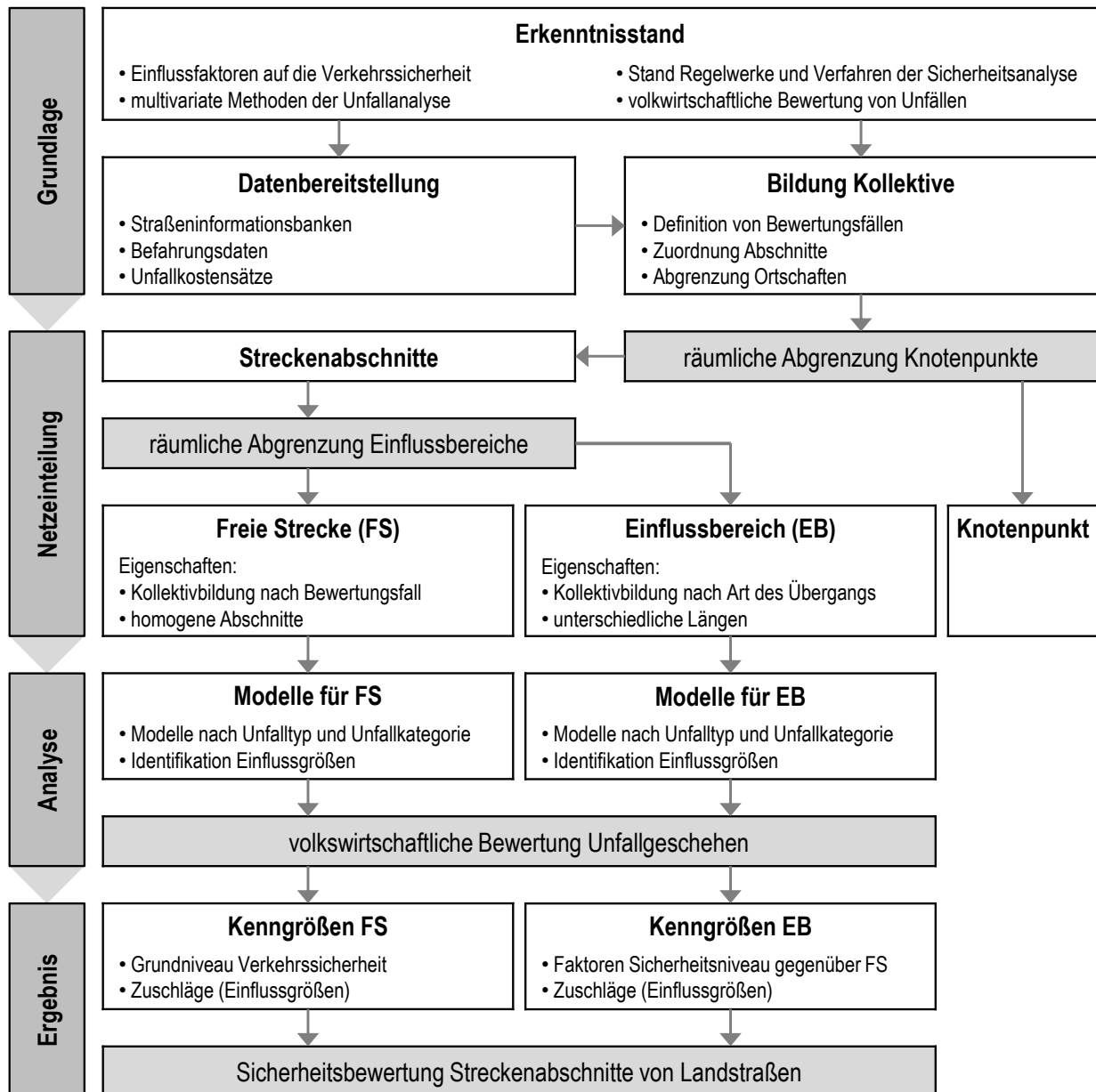


Abbildung 3-1: Vorgehen bei der Untersuchung

Die Identifikation sicherheitsrelevanter Faktoren von Strecken umfasst eine Vielzahl zu prüfender Merkmale. Die vorliegende Untersuchung greift auf die in MAIER et al. (2013) enthaltenen Merkmale zurück und führt darüber hinaus weitere Kenngrößen auf, die direkt oder indirekt mutmaßlich Einfluss auf den Sicherheitsgrad besitzen.

Die vorangegangenen Arbeitsschritte bilden die Grundlage für die auf Basis multivariater Regressionsverfahren erfolgende Analyse der Unfallhäufigkeit. Die gewählte Methodik ermöglicht die Darstellung der Wirkung von Einflussgrößen (Risikogrößen) unabhängig von weiteren Faktoren. Es wird der Beitrag der einzelnen Merkmale zur Veränderung des Sicherheitsniveaus geprüft. Dabei folgt die Erstellung der statistischen Modelle nach theoretischen und fachlichen Gesichtspunkten. Die Differenzierung des Unfall-

geschehens nach verschiedenen Unfallkenngrößen in Teilmodellen erlaubt eine exakte Beschreibung von Wirkungszusammenhängen. Es werden zwei konkurrierende Ansätze – Trennung des Unfallgeschehens einerseits nach Unfalltyp sowie andererseits nach Unfallkategorie – gegenübergestellt und bewertet. Zielstellung ist, einen Bewertungsansatz zu entwickeln, welcher einen plausiblen Zusammenhang zwischen Sicherheitsniveau und praktisch veränderlichen Einflussgrößen herstellt.

Die Verwendung von Unfallkostensätzen erlaubt eine volkswirtschaftliche Bewertung der Verkehrssicherheit. Aus der Aggregation der Teilmodelle eines betrachteten Falls lässt sich die Wirkung von Merkmalen auf die Verkehrssicherheit monetär beziffern. Im Ergebnis liegen für die Bewertungsfälle Aussagen über deren Grundunfallkostenraten -ähnliches Niveau sowie Zuschläge vor, die in einem Bewertungsverfahren Verwendung finden können.

Zur Bewertung eines Netzabschnitts wird eine Berechnungsgrundlage erstellt, die eine zusammenfassende Betrachtung der Netzelemente Freie Strecke und Einflussbereich mit entsprechenden Kenngrößen ermöglicht. Das Augenmerk liegt auf einem zielorientierten Ansatz, der zum einen die Eigenschaften und Interaktionen der verschiedenen Netzelemente berücksichtigt und zum anderen eine praxisorientierte Gesamtbewertung von Streckenabschnitten erlaubt.

Bei dem betrachteten Streckenkollektiv handelt es sich überwiegend um Bestandsstrecken, entworfen nach den Grundsätzen der RAS-L (FGSV 1995) und RAS-Q 96 (FGSV 1996). Der Anteil an Strecken, deren Gestaltung auf den Entwurfsparametern der RAL (FGSV 2012) beruht, ist gering. Die vorliegende Untersuchung trägt auch den Anspruch, das zu entwickelnde Bewertungsverfahren mit den aktuell gültigen Richtlinien zu verknüpfen. Dies erfordert zum einen die Kategorisierung älterer Bestandsstrecken und die Überprüfung einer Zuordnung in das System der RAL. Der Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) enthält eine entsprechende Zuordnung. Diese ist in Anhang B näher beschrieben. Zum anderen wird u. U. eine Anpassung der die Verkehrssicherheit beschreibenden Merkmale notwendig, da sich deren Eigenschaften – dazu zählen u. a. die allgemeine Definition und Größenordnung – nicht detailgetreu zwischen den Entwurfsgrundsätzen der Richtlinien übertragen lassen. Dies äußert sich in folgenden Einschränkungen:

- Die Größenordnung ermittelter Sicherheitsgrade spiegelt – trotz möglicher Differenzierung der Einflussgrößen (Zuschläge) nach Maßstab der RAL – das Sicherheitsniveau des Bestandsnetzes wider.

- Der geringe Umfang von RAL-konformen Strecken im Bestand lässt die Überprüfung verschiedener mutmaßlicher Einflussgrößen aufgrund des seltenen oder fehlenden Auftretens nicht zu.
- Merkmale, die für den überwiegenden Teil des Kollektivs nicht zur Verfügung stehen oder deren Bereitstellung mit erheblichem Aufwand verbunden ist, bleiben unberücksichtigt. Dazu zählen die Bewertung der Fahrbahngriffigkeit², der Defizite in der räumlichen Linienführung und der optischen Führung durch den Seitenraum.

Hinsichtlich genannter Einschränkungen werden im Verlauf der Arbeit an betroffenen Stellen entsprechende Hinweise gegeben.

3.2 Statistische Grundlagen

Ziel ist es, strukturelle Merkmale, die zur Erhöhung der Unfallhäufigkeit führen, zu beschreiben. Daraus formulieren sich die Randbedingungen an das zu entwickelnde Verfahren. Neben der primären Identifikation unterschiedlicher Merkmale steht die Forderung, deren Wirkung unabhängig von anderen Einflüssen zu quantifizieren. Untersuchungen zeigen, dass insbesondere der zweite Aspekt bei der Anwendung monokausaler Betrachtungen nur unter erheblichen Einschränkungen zu gewährleisten ist (KREBS/KLÖCKNER 1977, LEUTZBACH/ZOELLMER 1988). Darüber hinaus führen Scheinkorrelationen – das untersuchte Merkmal korreliert mit einer nicht berücksichtigten (Stör-) Größe (confounder) – u. U. zu nicht plausiblen Ergebnissen (HADI et al. 1995, TAYLOR et al. 2002). Folgende Ansätze tragen zur Lösung des Problems bei:

- Vorher/Nachher-Vergleich: Voraussetzung ist, dass sich unter gleichen Bedingungen lediglich das betrachtete Merkmal verändert.
- Mit/Ohne-Vergleich: Auch hier gilt die *ceteris paribus* Klausel.
- Gleichverteilung der confounder: Alle betrachteten Teilkollektive weisen eine gleiche Verteilung der Störgröße auf.
- Verwendung von multivariaten statistischen Verfahren

Die ersten beiden Ansätze sind aufgrund der auf das Unfallgeschehen wirkenden zeitlichen Entwicklung als auch fehlender geeigneter Stichprobengrößen, die verlässliche Aussagen zur Entwicklung des Unfallgeschehens er-

² Ungenügende Griffigkeit steht in Zusammenhang mit einer Zunahme des Unfallgeschehens (KAMPLADE 1995). Der Zustand der Fahrbahngriffigkeit unterliegt über einen längeren Zeitraum einer Änderung. Ungenügende Griffigkeiten sind nicht als planerische Defizit zu verstehen, da bei Um-/Neu- oder Ausbau zwangsläufig eine Bearbeitung (Erneuerung) der Fahrbahnoberfläche erfolgt.

lauben, praktisch nur mit erheblichem Aufwand umsetzbar. Da auch Ansatz drei anhand eines zu geringen Besetzungsgrades einzelner Kollektive ausscheidet, kommt lediglich der vierte Ansatz in Frage. Dieser erlaubt eine mathematische Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Unfallgeschehen und mehrerer erklärender Merkmale und stellt eine geeignete Lösung dar. Unter der Annahme einer poisson-verteilter Unfallhäufigkeit scheiden jedoch klassische Regressionsmodelle aufgrund ihrer restriktiven Randbedingungen – normalverteilte Zufallsgrößen – aus. Dieser Einschränkung unterliegen Verallgemeinerte Lineare Modelle (GLM) nicht.

GLM finden im Bereich von Untersuchungen zur Verkehrssicherheit seit den 1980er Jahren Anwendung (MAYCOCK/HALL 1984, ZEGEER et al. 1987). Die Modelle unterliegen dabei einer ständigen Weiterentwicklung und werden dabei zur Lösung für verschiedene Fragestellungen herangezogen (MIAOU/LUM 1993, MAHER/SUMMERSGILL 1996, HAUER/BAMFO 1997, YE et al. 2011). Neben einer weiten Verbreitung im englischsprachigen und nordeuropäischen Raum, setzt sich deren Anwendung auch im deutschen Raum zunehmend durch (HEIDEMANN 1998, HAUTZINGER et al. 2010, SCHÜLLER 2010, AURICH 2013).

Die Beschreibung der Unfallzahl bzw. -häufigkeit in Abhängigkeit von weiteren Variablen bestimmt dabei häufig die Gestalt des Modells (Gl. 2). Dabei stellt die Verteilungsfunktion der abhängigen Variable einen von drei Modellteilen dar. Diese entspricht der stochastischen Komponente des Modells. Der lineare Prädiktor, als zweiter Teil, umfasst die Summe aller Produkte der erklärenden Variablen und ihrer Parameter. Er entspricht der systematischen Komponente. Als dritter Bestandteil verbindet die gewählte Verknüpfungsfunktion (Link) in Abhängigkeit der Verteilungsfunktion – bei der Modellierung von Unfällen i. d. R. Poisson- oder negative Binomialverteilung – des Modells den linearen Prädiktor mit der abhängigen Variablen.

$$U = k * q^{\beta_1} * L^{\beta_2} * e^{\sum_{i=3}^n \beta_i * x_i} \quad \text{Gl. 2}$$

- U Unfallanzahl im betrachteten Zeitraum (abhängige Variable)
- k Konstante
- q Kenngröße der Verkehrsstärke
- L Kenngröße der Länge des Netzelements
- x Einflussvariable (unabhängige Variable)
- β Regressionskoeffizient
- i Index für Einflussvariable und deren Regressionskoeffizient

Die Berücksichtigung der Offset-Variablen setzt die ermittelte Unfallanzahl in ein Verhältnis, welches in aller Regel einem Zeitraum – Unfälle pro Jahr – entspricht. Eine vertiefende Modellbeschreibung ist Anhang F.5 zu entnehmen.

Der lineare Prädiktor lässt sich bei der Implementierung erklärender Variablen sinnbildlich in die Teile Exposition und weiterer beschreibender Variablen (Risikofaktoren) differenzieren (REURINGS et al. 2005). Variablen der Exposition stellen Größen – der Regressionskoeffizient steht in der Potenz der Variable – dar, die zur Quantifizierung eines Risikos herangezogen werden können. Dazu zählen in aller Regel die Verkehrsstärke und die Länge des betrachteten Elements. Die Größenordnung Null für eine der Variablen hat das Auftreten von null Unfällen zur Folge. Die Höhe der Regressionskoeffizienten gibt unmittelbar Auskunft über die Wirkung der Expositionsvariablen auf die abhängige Variable. Werte größer eins ziehen bei zunehmender Exposition einen degressiven, Werte kleiner eins einen progressiven Anstieg der abhängigen Variablen nach sich. Ein linearer Zusammenhang liegt bei einem Wert von eins vor. Die Gruppe der beschreibenden Variablen (Risikofaktoren) hat die Exponentialfunktion zur Basis. Damit führt eine fehlende Variablenbesetzung nicht zwangsläufig zu keinem Unfallgeschehen, da der Einzelterm in diesem Fall mit dem Faktor von 1 in der Gleichung berücksichtigt wird. Gleichmaßen bestimmt das Vorzeichen des Regressionskoeffizienten über die Wirkung der Variable auf das Unfallgeschehen. Die Ermittlung der Regressionskoeffizienten des linearen Prädiktors erfolgt entgegen der bei der linearen Regressionsrechnung angewandten Methodik der kleinsten Quadrate mittels Maximum-Likelihood-Schätzung.

Modellerstellung

Die Entwicklung des Modells folgt dem Ziel, den Teil systematischer Streuung der abhängigen Variablen durch beschreibende Variablen vollständig zu klären. Die verbleibende zufällige Streuung entspricht dann der stochastischen Komponente der Verteilungsfunktion. Im Falle der Modellierung von Unfällen stellt diese die Poissonverteilung dar. Das die mittlere Unfallhäufigkeit beschreibende Nullmodell stellt den Ausgangspunkt dar.

Im Verlauf werden alle zur Verfügung stehenden Variablen einzeln dem Modell zugeführt und auf ihren Erklärungsanteil geprüft. Voraussetzung für eine eventuelle Aufnahme in das Modell ist, dass die Variable einen signifikanten Nutzen zur Erklärung der Modellgüte – Prüfung auf Verringerung der Varianz mit Hilfe des Wald-Tests – als auch einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen – Prüfung der Modelleffekte mit Likelihood-Ratio-Test – besitzt. Die Variable mit dem höchsten Erklärungsanteil ist in

aller Regel in das Modell aufzunehmen (Vorwärtsselektion). In der daran anschließenden Wiederholung der Prozedur erfolgt eine erneute Prüfung der verbliebenen Variablen.

Als Grenzkriterium für eine mögliche Aufnahme ist das Signifikanzniveau heranzuziehen. Die Verwendung eines $\alpha < 0,05$ stellt kein Dogma dar, wird aber allgemein als akzeptable Größenordnung angesehen. Aus der Intention eine Vielzahl mutmaßlicher Einflussgrößen zu identifizieren, wird ein Signifikanzniveau von 10 % als akzeptabel betrachtet. Eine weitere Randbedingung stellt die Vermeidung von Multikollinearität dar (siehe Anhang F.5).

Die Aufnahme einer Variablen in das Modell wird unabhängig von möglichen Korrelationen nicht allein vom Erklärungsanteil und Signifikanzniveau bestimmt. Die endgültige Berücksichtigung erfolgt auf Basis fachlicher und pragmatischer Gesichtspunkte. Die Variablendarstellung beschreibender Merkmale im Modell beinhaltet in der Regel verschiedene Typen:

- Kontinuierlich/stetig ($e^{\beta x}$): Merkmale mit einer hohen (metrischen) Anzahl an Ausprägungen (bspw. Kurvigkeit), die direkt Berücksichtigung finden, werden als kontinuierliche Variable bezeichnet. Aufgrund der funktionalen Gestalt des Modells, folgt aus einer zunehmenden Merkmalausprägung ceteris paribus ein Anstieg der abhängigen Variablen.
- Kategorial (e^{β}): Merkmale mit einer begrenzten – häufig dichotomen – Anzahl an Ausprägungen. Der Regressionskoeffizient gibt direkt Auskunft über die Wirkung der Variable. Für den Nachweis einer unterschiedlichen Wirkung der Kategorien untereinander, können Variablen mit mehr als zwei Kategorien nur dann Berücksichtigung finden, wenn sich alle Koeffizienten signifikant zueinander ($\alpha \leq 0,1$) unterscheiden (paarweise Kontraste).

Die Umwandlung von stetigen in kategoriale Variable ist prinzipiell zulässig, wenn das betrachtete Merkmal nur in einer geringen Anzahl an Ausprägungen vorliegt oder eine bessere Modellerklärung erzielt wird und sachlogische Überlegungen zugrunde liegen (TAYLOR et al. 2002). Die Darstellung von Variablen aus einer Kombination von kontinuierlichen und kategorialen Eigenschaften – bspw. Festlegung eines fixen Zuschlags bei Überschreitung eines Grenzwertes – ist auf Basis sachlogischer Annahmen möglich.

Die Gesetzmäßigkeit der Verteilung des Unfallgeschehens, legt die Anwendung von Regressionsmodellen auf Basis der Poisson-Verteilung nahe, welche aber Einschränkungen unterliegt. Häufig reichen die identifizierten Variablen nicht aus, um den vollständigen Anteil an systematischer Varianz

zu erklären. Dies hat eine ungenügende Koeffizientenschätzung zur Folge. In diesem Fall spricht man von Überzufälligkeit (overdispersion) des Modells, für die Gründe, wie fehlende, fehlerhafte Variable oder eine ungeeignete Modellbildung in Frage kommen (MIAOU/LUM 1993, MAHER/SUMMERSGILL 1996):

Da die Poisson-Verteilung sinnbildlich die Auftretenshäufigkeit von Unfällen an einer Stelle über die Zeit beschreibt, fehlt ihr eine Abbildung der Differenzen mehrerer Stellen untereinander, welcher über die Einflussvariablen erklärt werden soll. Diese wird allgemein am ehesten durch eine Gammaverteilung repräsentiert. Die Möglichkeit einer verbesserten Parameterschätzung bietet die Verwendung der negativen Binomial-Verteilung (negBin-Modelle) (MIAOU/LUM 1993, MAHER/SUMMERSGILL 1996). Gegenüber der Poisson-Verteilung werden bei dieser ebenfalls diskreten Verteilung zwei Parameter – Mittelwert und Streuparameter – beschrieben. Durch die Abbildung der verbleibenden Varianz mit einem eigenen Parameter werden die verbliebenen Regressionskoeffizienten um diesen Anteil bereinigt.

Modellprüfung

Die Realität wird durch die Modelle nur annähernd beschrieben. Für erstellte Modelle ist zu klären, ob die Anpassung an die Stichprobe korrekt ist und ob die erhaltenen Ergebnisse über die Stichprobe hinaus verallgemeinert werden können.

Kleine Stichprobengrößen im Zusammenspiel mit geringen Erwartungswerten führen mitunter zur deutlichen Beeinflussung der Regressionskoeffizienten und Signifikanzen im Modell (LORD 2006). Zum einen gewinnen seltene zufällige Ereignisse unverhältnismäßig an Bedeutung, zum anderen wird die Wirkung als solche überschätzt. AGRAWAL/LORD (2006), die den allgemeinen Stichprobenumfang als abhängig von der Größe des Erwartungswertes ansehen, erklären einen Beobachtungsumfang von $n = 100$ als notwendig. Einen Stichprobenumfang von $n = 80$ sieht GREIBE (2003) als Grenze an.

Für ein gesättigtes Modell gilt, dass die systematische Varianz vollständig erklärt und lediglich die stochastische Varianz übrig bleibt. Im Idealzustand wird das gleiche Unfallgeschehen wie in der Empirie ermittelt. Verbleibende Abweichungen sind auf rein zufällige Streuung zurückzuführen. Modelle mit geringem Kollektivumfang neigen auch bei geringer Variablenanzahl zu einem hohen Grad der systematischen Varianzerklärung.

Für die Güteprüfung des Einzelmodells und dem Vergleich von Modellen können das Pearson- χ^2 für Poisson-Modelle als auch das Akaike-Informationen-Kriterium (AIC) herangezogen werden. Das Pearson- χ^2 umschreibt die Anpassungsgüte des Modells an die zugrunde gelegte Verteilungsfunktion. Die Anpassungsgüte entspricht dabei der Approximation des Modells an die Empirie. Etwaige Abweichungen (defiance) werden als χ^2 verteilt angenommen. Für ein vollständiges Modell entspricht die Anzahl der Freiheitsgrade – Anzahl der betrachteten Fälle abzüglich der Anzahl verwendeter Parameter – dem Mittelwert der χ^2 Verteilung. So gilt, dass das Unfallgeschehen nur noch auf die stochastische Komponente der Poisson-Verteilung zurückzuführen ist, wenn der Quotient aus χ^2 und Anzahl der Freiheitsgrade eine Größenordnung von eins aufweist. Werte größer eins entsprechen einer Übererklärung, Werte kleiner eins einer Untererklärung (underdispersion).

Das AIC eignet sich, um den modellbezogenen Nutzen aufgenommener Variablen sowie die Modelle untereinander zu prüfen. Vereinfachend gilt, je niedriger der AIC, desto besser ist das Modell, wobei nicht der absolute Wert des AIC, sondern die Differenz zwischen zwei Kandidaten maßgebend ist (BURNHAM/ANDERSON 2002). Für Modelle mit einem Quotienten aus Fallanzahl und verwendeter Parameter kleiner 40 wird der Rückgriff auf die korrigierte Prüfgröße AIC_C empfohlen.

Bei der Verwendung von GLM ist es möglich, auch nichtlineare Zusammenhänge zwischen verschiedenen Einflussgrößen zu berücksichtigen. Lineare Regressionen ermöglichen die Modellkontrolle anhand verschiedener Bedingungen, setzen aber lineare Zusammenhänge zwischen den Variablen voraus. Für GLM erfolgt daher die Transformation der Residuen, die u. a. eine Abbildung von Wahrscheinlichkeitsplot und standardisierten Pearson-Residuen ermöglicht (TABACHNIK/FIDELL 2000). Die Residuen eines Modells sollen dabei verschiedenen Bedingungen genügen.

Abweichungen zwischen modelliertem und beobachtetem Unfallgeschehen lassen sich für die verwendeten Variablen in Residuenplots darstellen. Homoskedastizität und Linearität sind zwei Prüfkriterien für diese Art der Aufbereitung. Homoskedastizität beschreibt den Anspruch einer unsystematischen Verteilung der standardisierten Residuen um den Mittelwert Null über die betrachtete Variable. Eine Linearitätsverletzung liegt vor, wenn aus der Verteilung der Residuen eine strukturelle oder systematische Abweichung erkennbar wird.

Die Abbildung der kumulierten Residuen über eine Modellvariable (Cure-Plot) entspricht einer weiteren Modellkontrolle. Für eine unsystematische

Abweichung der Residuen steht eine Oszillation der Kurve nahe dem Wert Null, während ein deutlicher Anstieg oder Fall auf systematische Über- oder Unterschätzung in Abhängigkeit der betrachteten Variable zurückzuführen ist. HAUER/BAMFO (1997) legen für den Kurvenverlauf einen Vertrauensbereich von $\pm 2 \sigma^*$ vor, dessen Überschreitung über längere Abschnitte ein Indiz für eine nicht genügende Modellanpassung steht. Für diesen Fall legen HAUER/BAMFO (1997) eine erneute Modellentwicklung und Prüfung nahe.

Bei annähernder Normalverteilung der standardisierten Abweichungsresiduen entspricht deren Darstellung im Wahrscheinlichkeitsplot (Q-Q-Diagramm) einer Geraden entlang der Diagonalen. Systematische Abweichungen sind ein Hinweis auf eine Verletzung der Annahme einer Normalverteilung. Für eine gute Modellanpassung spricht, wenn ca. 95 % der Fälle mit einer Größenordnung von maximal $\pm 1,96$ um den Mittelwert streuen. Der Plot erlaubt die Identifikation von Ausreißern.

Häufig zeichnen einzelne Fälle für Abweichungen und Auffälligkeiten in den Residuenplots Verantwortung. Mit Cook-Distanz und Hebelwert ist deren Identifikation zum weiteren Umgang möglich (siehe Anhang F.4).

3.3 Datengrundlage

3.3.1 Streckenauswahl

Der Untersuchung liegt das Streckenkollektiv des Forschungsprojekts „Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen“ (MAIER et al. 2013) zugrunde. Das Kollektiv untergliedert sich in Anlehnung an die Straßenquerschnitte nach den RAL (FGSV 2012) in Bewertungsfälle, denen die Bestandsstrecken nach RAS-Q 82 und RAS-Q 96 zugeordnet sind. Der jeweilige Streckenumfang orientiert sich an der Verbreitung der Querschnitte im Netz (Tabelle 3-1). Die Auswahl der Strecken berücksichtigt den Wunsch, ein möglichst heterogenes Bild verschiedener Charakteristika zu erzeugen. Daher fanden 1.744 Netzknotenabschnitte aus sechs Bundesländern, die sich teilweise deutlich im Terraintyp unterscheiden, Berücksichtigung. Es handelt sich um Strecken des klassifizierten Straßennetzes, überwiegend der Kategorie Bundes- und Landes-/Staatsstraßen. Für Kreisstraßen liegen i. d. R. nur dann Daten in den Straßeninformationsbanken (SIB) der Länder vor, wenn sie unter Verwaltung der Straßenbaubehörden stehen. Einen Ausschluss erfuhren Streckenabschnitte mit erkennbaren oder bekannten Baumaßnahmen.

Tabelle 3-1: Verteilung der Abschnitte nach Querschnitt (links) und Bundesland (rechts)

Aufteilung in Anlehnung an die RAL			Aufteilung nach Bundesländern		
Querschnitt**	Abschnitte	Länge* [km]	Bundesland	Abschnitte	Länge* [km]
RQ 21 -ähnlich	99	136	BB	236	606
RQ 15,5 -ähnlich	42	63	BW	291	422
RQ 11,5+ -ähnlich	39	59	BY	233	424
RQ 11 -ähnlich	1.091	2.021	RP	378	648
RQ 9 -ähnlich	473	936	SN	287	522
Summe	1.744	3.215	ST	319	593
*) Länge abzüglich Knotenbereiche und Ortschaften (Ortsdurchfahrten)					
**) die Zuordnung erfolgt anhand der später beschriebenen Kategorisierung					

3.3.2 Allgemein Datenquellen

Die SIB bilden die Grundlage für eine einheitliche Bewertung und Dokumentation von Bestandsprojekten und enthalten wesentliche Informationen zur Gestalt und Struktur der klassifizierten Straßennetze. Sie werden kontinuierlich fortgeschrieben. In der vorliegenden Untersuchung beinhalten diese den Datenstand vom Frühjahr 2010. Die im Netzknottensystem aufbereiteten Datenbanken liefern je nach Interessenlage umfangreiche Informationen zu einzelnen Netzabschnitten. LIPPOLD et al. (2004) weisen jedoch auf die variierende Datenqualität in den Bundesländern hin. Um für alle Strecken einen einheitlichen Datengrundstock zu gewährleisten, erfolgte neben dem Zugriff auf die SIB die Befahrung sämtlicher Streckenabschnitte mit dem Messfahrzeug UNO des Lehrstuhls „Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen“ der TU Dresden. Die so gewonnenen Daten stehen in dem zur Auswertung entwickelten Programm RoadView zur Verfügung und erlauben eine detaillierte Aufnahme der Elemente des Seitenraums sowie die Ableitung der Querschnittselemente auf Basis von Lagedaten (Anhang C). Damit liegen auch Informationen zu Merkmalen vor, die nicht in den SIB verankert sind.

3.3.3 Merkmale aus Datenbanken

Quer- und Längsneigung

Informationen zur Quer- und Längsneigung sind in den SIB enthalten. Ferner liegt die Angabe zur Querneigung aus der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) der Länder in einer Schrittweite von 25 m vor. Bei fehlenden Bereichen wird auf eine Auswertung dieser Abschnitte verzichtet. Die

Überprüfung des von den RAL (FGSV 2012) zur Vermeidung entwässerungsschwacher Zonen (ESZ) vorgesehenen Kriteriums ist aufgrund fehlender Informationen zu den Verwindungsbereichen nicht möglich. Für eine Ermittlung des möglichen Einflusses von ESZ wird daher das Prüfkriterium der RAS-Ew (FGSV 2005B) mit der Forderung einer Schrägneigung von $p \geq 0,5 \%$ angesetzt. Weiterhin Berücksichtigung finden Bereiche mit Nulldurchgängen der Querneigung sowie Abschnitte, die eine Überschreitung der maximalen Höchstlängsneigung – in Abhängigkeit der EKL – nach den RAL (FGSV 2012) enthalten.

$$p = \sqrt{s^2 + q^2} \quad \text{Gl. 3}$$

p	Schrägneigung [%]
s	Längsneigung [%]
q	Querneigung [%]

Hügeligkeit

Außer der Angabe von Höhenpunkten existieren in den SIB keine Informationen zu den Elementfolgen des Höhenplans. Um neben der Angabe zur Überschreitung der maximalen Höchstlängsneigung den mutmaßlichen Einfluss des Höhenprofils überprüfen zu können, ist die Einführung einer weiteren Variablen erforderlich. Eine Darstellung über die mittlere Längsneigung zwischen Start- und Zielpunkt eines Streckenabschnitts ist ungeeignet, da Längsneigungsunterschiede innerhalb des Streckenabschnitts nivelliert werden (BAKABA 2002). Um diese zu charakterisieren, ist die Hügeligkeit – TAYLOR et al. (2002) verwendet den Begriff der „Hilliness“, zu übersetzen als Hügeligkeit bzw. Welligkeit –, als der Betrag der mittleren, auf einem Streckenabschnitt vorzufindenden, Längsneigung unabhängig der Fahrtrichtung definiert (Gl. 4).

$$HK = \frac{\sum |s_i| * L_i}{L_{\text{Abschnitt}}} \quad \text{Gl. 4}$$

HK	Hügeligkeit [%]
s_i	Längsneigung Abschnitt i [%]
L_i	Länge Teilabschnitt i [km]
$L_{\text{Abschnitt}}$	Länge Gesamtabschnitt [km]

Defizite des Höhenplans

Die Trassierungselemente des Höhenplans sind aus den zur Verfügung stehenden Daten nicht eindeutig reproduzierbar. Auf eine Bewertung von

Raumelementfolgen wird verzichtet. Neben Defiziten, die aus fehlerhaften Elementfolgen resultieren, sind Einschränkungen in der Sicht auch auf Einflüsse des Seitenraums – fahrbahnahe Vegetation, aufsteigende Böschungen u. ä. – zurückzuführen. Diese Einflüsse sind nur sehr eingeschränkt darstellbar. Um dennoch Aussagen zum Einfluss der Trassierung im Höhenplan auf die Verkehrssicherheit treffen zu können, erfolgt eine Bewertung der Höhenpunktdaten. Diesbezüglich werden die Merkmale „Kritische Sichtschattenbereiche (KSB)“ und „Unterschreitung der Haltesichtweite (HSW)“ erfasst. KSB sind im Sichtschattenband daran zu erkennen, dass auf der vorausliegenden Fahrbahn (Länge $L = 600$ m) über mindestens 75 m eine Sichtschattentiefe von mehr als 0,75 m auftritt (FGSV 2012). Während die Bereiche mit KSB als Anteil an der Streckenlänge erfasst werden, erfolgt die Erfassung des Merkmals HSW über die Dichte. Eine Unterschreitung der HSW tritt auf, wenn ein Sichtschattenbereich innerhalb der Haltesichtweite vorliegt. Die nach Geschwindigkeit und Längsneigung unterschiedenen Grenzwerte der Haltesichtweite orientieren sich an den RAL (FGSV 2012). Auf Basis eines entwickelten Tools erfolgt die Erfassung beider zur Beschreibung des Höhenplans dienenden Merkmale automatisiert für beide Fahrtrichtungen

Kurvigkeit

Der Richtungsänderungswinkel γ beschreibt die Kurvigkeit eines Lageplanelements im Verhältnis zu seiner Länge. Aus der Summe der Richtungsänderung aller Elemente eines Abschnitts, dividiert mit dessen Gesamtlänge, resultiert die Kurvigkeit des betrachteten Abschnitts. Die kumulierte Richtungsänderung und die Kurvigkeit werden aus der Nachtrassierung der Lageplanelemente ermittelt.

$$KU = \frac{\sum \gamma_i}{L_{\text{Abschnitt}}} \quad \text{Gl. 5}$$

KU	Kurvigkeit [gon/km]
γ_i	Richtungsänderung des Elements i [gon]
$L_{\text{Abschnitt}}$	Länge Gesamtabschnitt [km]

Kreisstrukturdaten

Neben Daten zur baulichen Gestaltung und dem unmittelbaren Umfeld der Strecke finden auch abstrahierte Aussagen über die weitere Siedlungsstruktur Berücksichtigung, die auf den Ordnungskriterien für Landkreise von MÄDER/PÖPPEL-DECKER (2001) beruhen. In Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte im Jahr 2007 erfolgt die Einteilung der Landkreise in fünf verschiedene Kreisstrukturtypen (KST) von B bis F mit einer analog

abnehmenden Siedlungsdichte (Tabelle 3-2). Landkreise im Stadtverband, welche den Typ A zuzuordnen wären, sind nicht im Kollektiv enthalten. Der Einfluss dieses Kriteriums ist eher bei niedrigen Entwurfsklassen zu vermuten.

Tabelle 3-2: Kriterien für Zuordnung der Landkreise zu Kreisstrukturtypen KST nach MÄDER/PÖPPEL-DECKER (2001)

KST	Einwohner/km ²	Randbedingung
B	≥ 500	Einwohnerzahl ≥ 100.000
C	≥ 500	Einwohnerzahl < 100.000
	≥ 300	-
D	≥ 150	-
E	≥ 100	-
F	< 100	-

DTV

Die verwendeten Verkehrsstärkedaten (DTV) entstammen den Erhebungen des Jahres 2005 und stellen somit einen direkten Bezug zum Untersuchungszeitraum des Unfallgeschehens dar. Nach PELTOLA (2009) ist die Güte dieser Einflussgröße aufgrund ihres hohen Erklärungsanteils prägend für die Qualität fahrleistungsbezogener Ergebnisse. KATHMANN et al. (2009) beschreiben die Erhebungsmethodik und Einschränkung der Straßenverkehrszählung 2005. Folgende Einschränkungen liegen in der Datenqualität vor:

- Die Ermittlung des DTV gründet auf der Hochrechnung mehrerer Kurzzeitzählungen an durchschnittlichen repräsentativen Tagen. Der Detaillierungsgrad der Hochrechnung ist dabei auf die Kreisebene – beschrieben durch Flächenregionen basierend auf fünf Kennziffern – und weitere zeitliche Faktoren beschränkt. Innerhalb eines Kreises werden Unterschiede im Verkehrsaufkommen nicht mehr berücksichtigt.
- Die Verkehrserhebungen liegen für Zählabschnitte vor, welche sich aus mehreren Streckenabschnitten mit gleichbleibender Charakteristik und Verkehrsstärke zusammensetzen. Abweichungen auf einzelnen Abschnitten werden gemittelt.
- Trotz enger Grenzen bei der Datenplausibilisierung wird eine Vielzahl kritischer Werte pauschal bestätigt.
- Je niedriger die Klassifizierung einer Strecke ist, desto niedriger ist der Abdeckungsgrad. Im Kreisstraßennetz liegt dieser in der Regel bei 20 %.

3.3.4 Informationen aus der Streckenbefahrung

Die Vorteile der Zustands- und Ausstattungserfassung sowie deren Bewertung durch Videobefahrungen wurden bereits in LIPPOLD/MATTHESS (1992) erläutert. Sie erfahren eine wachsende Bedeutung. Grundlage für die Lokalisierung von Merkmalen in der eigenen Untersuchung liefern die Bild-daten des Messfahrzeugs in einer 10 m Schrittweite mit Stationsbezug. Die nachträgliche Identifikation und Lokalisierung erfolgte manuell durch geschultes Personal, dem ein Aufnahmekatalog als Richtlinie zur Verfügung stand. Es wird anhand der räumlichen Entwicklung in linienhafte und punktuelle Merkmale unterschieden (Tabelle 3-3).

Linienhafte Merkmale treten über größere Entfernungen in Erscheinung. Als untere Grenze wird eine Länge von $L \geq 100$ m definiert. Dementsprechend erfolgt die Erfassung über einen auf die Streckenlänge bezogenen Anteilswert A_M . Die Wirkung linienhafter Merkmale auf die Verkehrssicherheit kann sowohl auf eine Fahrtrichtung beschränkt sein – bspw. einseitige Beschränkung V_{zul} – oder richtungsunabhängig in Erscheinung treten – bspw. fehlende Mittelmarkierung. Daraus resultiert, dass die betrachtete Streckenlänge für fahrtrichtungsbezogene Merkmale doppelt, für richtungsunabhängige Merkmale nur einfach, zu berücksichtigen ist. Dementsprechend erfolgt die Berechnung von A_M (Gl. 6 und Gl. 7).

$$A_{M2} = \frac{\sum L_M}{2 * L_{Abschnitt}} \quad \text{Gl. 6}$$

A_{M2} Anteil linienhaftes Merkmal mit richtungsabhängiger Ausprägung [-]

L_M Länge Merkmal [km]

$L_{Abschnitt}$ Länge Gesamtabschnitt [km]

$$A_{M1} = \frac{\sum L_M}{L_{Abschnitt}} \quad \text{Gl. 7}$$

A_{M1} Anteil linienhaftes Merkmal mit richtungsunabhängiger Ausprägung [-]

L_M Länge Merkmal [km]

$L_{Abschnitt}$ Länge Gesamtabschnitt [km]

Punktuelle Merkmale entsprechen Elementen mit einer Länge kleiner 100 m. Da für den überwiegenden Teil dieser Merkmale eine querschnittsübergreifende Wirkung auf die Verkehrssicherheit unterstellt werden kann – bspw. Anschlussknoten –, erfolgt die Erhebung richtungsunabhängig über die Häufigkeit je Kilometer.

Die Aufstellung der mit RoadView erfassten Merkmale enthält Tabelle 3-3. Weitere Informationen sind auch Anhang G zu entnehmen. Folgende Randbedingungen bestehen:

- Die Aufnahme des Merkmals „passive Fahrzeug-Rückhaltesysteme (PSE)“ erfolgt für Bereiche, für die eine Wirkung zu erwarten ist. Für eine bessere Analyse der PSE erfolgt eine Differenzierung der Abschnitte nach der rückwärtigen Ausstattung des fahrbahnnahen Umfelds.
- Soweit nicht anders gekennzeichnet, gilt nach Verlassen der Ortsdurchfahrt eine V_{zul} von 100 km/h. Gelten Restriktionen der V_{zul} nur für bestimmte Verkehrsteilnehmerarten oder Randbedingungen, die in der Regel auf einen Bruchteil des jährlichen Verkehrsvolumens beschränkt sind – bspw. Beschränkung V_{zul} in den Nachtstunden –, bleiben diese in der Aufnahme unberücksichtigt. Der Wirkungsbereich des Z 103 und Z 105 StVO wird anhand des Streckenverlaufs festgelegt.
- Unter dem Merkmal „Anschlussknotenpunkt“ sind alle Knotenpunkte ohne bauliche Veränderung der Fahrbahn und/oder Beschränkung der V_{zul} , ferner alle sonstigen Einfahrten (Grundstückszufahrten, bedeutungsvolle Wegeanschlüsse etc.), zusammengefasst (TAYLOR et al. 2002).
- Auf Grundlage der Erkenntnisse von MEEWES (2001) und HEGEWALD/WEBER (2008) erfolgt eine Kategorisierung des Merkmals Baum in fahrbahnnah und -fern. Eine Differenzierung zwischen Wald und Allee erfolgt nicht. Da der Übergang zwischen Allee und Einzelbaum nicht anhand eines Wertes zu fixieren ist und die festgelegte Einteilung für Alleen nach MEEWES (2005) als zu feingliedrig angesehen wird, gilt der Grenzwert für linienhafte Merkmale. Ein Baumbesatz mit Abständen größer ca. 100 m wird daher über punktuelle Gefahrenstellen (Einzelbaum) erfasst.
- Die räumliche und allgemeine Festlegung von Gefahrenstellen mit punktuellen und linienhaftem Bezug ist z. T. durch eine subjektive Bewertung der Bilddaten begründet. Punktuelle Gefahrenstellen sind hierbei durch fahrbahnnah, auf dem Bankett befindliche Objekte definiert, unabhängig einer vorhandenen PSE, die eine Gefährdung der Fahrzeuginsassen nach RPS (FGSV 2009) darstellen. Böschungen und Mauerwerke/Naturwände gelten als linienhafte Gefahrenstellen, wenn diese sich unmittelbar an den Fahrbahnrand anschließen, wobei erstere einen augenscheinlichen Höhenunterschied von mehr als 3 m aufweisen. Auch kurzzeitige Verengungen des Querschnitts stellen ebenso wie Bahnübergänge punktuelle Gefahrenstellen dar.

Tabelle 3-3: Klassifizierung aus Bilddatenbanken aufgenommener Merkmale

Auftreten des Merkmals	Allgemeine Kategorie	Bezeichnung	Erläuterung	Getrennte Aufnahme Fahrtrichtung
Linienhaft	Verkehrszeichen (nach StVO)	Z 101	Gefahrenstelle (L > 100 m nach Zusatzzeichen)	ja
		Z 103	Kurve (Länge nach Streckenverlauf)	ja
		Z 105	Doppelkurve (Länge nach Streckenverlauf)	ja
		Z 274	zulässige Höchstgeschwindigkeit (Länge bis Widerruf oder Änderung)	ja
		Z 276	Überholverbot (Länge bis Widerruf oder Änderung)	ja
		Z 331	Kraftfahrstraße (Länge bis Widerruf)	ja
		Z 625	Richtungstafel (Länge nach Streckenverlauf)	ja
	Markierung	Fahrbahnmitte (MM)	- 0 = keine Markierung vorhanden - 1 = Leitlinie (Z 340 StVO) - 2 = Fahrstreifenbegrenzung (Z 295 StVO) - 3 = einseitiges Überholverbot (Z 296 StVO)	nein
		Fahrbahnrand (RM)	- 0 = Markierung fehlt beidseitig - 1 = Markierung fehlt einseitig - 2 = Markierung beidseitig vorhanden	nein
	Passive Fahrzeug-Rückhaltesysteme	PSE	- 1 = keine ersichtlichen Hindernisse hinter PSE - 2 = Baumreihe auf Bankett hinter PSE - 3 = Andere Hindernisse auf Bankett hinter PSE - 4 = Hindernisse hinter PSE aber hinter Bankett	ja
	Umfeld	Baumreihe	- 3 = unmittelbar auf Bankett ohne PSE - 5 = nach Böschungsmulde ohne PSE	ja
		Linienhafte Gefahrenstelle (ohne PSE)	- Böschung (augenscheinlicher Höhenunterschied von mehr als 3 m) - Mauer unmittelbar am Fahrbahnrand ohne PSE	ja
		Radweg	parallel zur Straße verlaufend	nein
Punktuell	Verkehrszeichen (nach StVO)	Z 101	Gefahrenstelle	
		Z 120/121	kurzzeitige Fahrbahnverengung	
		Z 208/308	fahrtrichtungsbezogene Vorrangregelung	
	Knotenpunkte	Anschlussknotenpunkt	- E = Einmündung ohne vorfahrtregelnde Zeichen - Kr = Kreuzung ohne vorfahrtregelnde Zeichen - E_VZ = Einmündung mit vorfahrtregelnden Zeichen - Kr_VZ = Kreuzung mit vorfahrtregelnden Zeichen	
		Umfeld	Punktuelle Gefahrenstelle (ohne PSE)	

Abbildung 3-2 enthält beispielhaft die Vorgehensweise für die Aufnahme von verschiedenen Merkmalen einer Strecke. Der untere Teil beinhaltet die Aufnahme von linienhaften, der obere Teil die Aufnahme punktueller

Merkmale. Eine Überlagerung mehrerer das Umfeld beschreibender linienhafter Merkmale je Fahrtrichtung ist nicht möglich.

Hinsichtlich der Übergänge zu Knotenpunkten werden die in Tabelle 3-4 enthaltenen zufahrtsbezogenen Merkmale erfasst. Die Auswertung der Befahrungsdaten dient weiterhin zur Klassifizierung der Querschnitte in Kapitel 3.3.5.

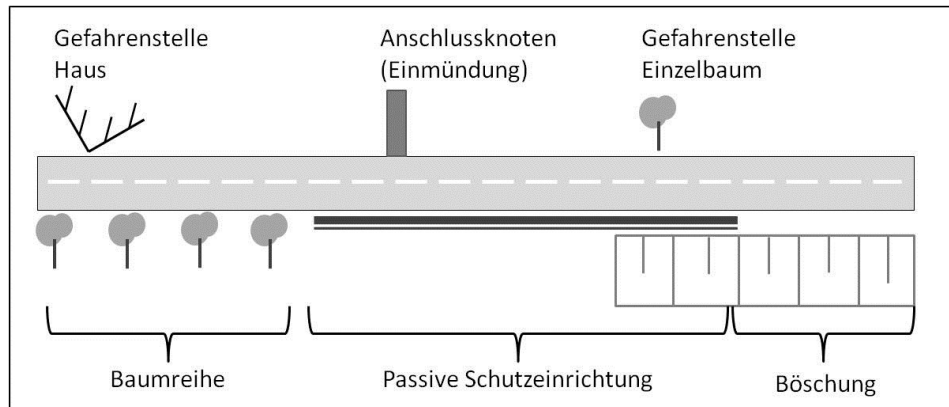


Abbildung 3-2: Beispiel Aufnahme der Merkmale des Streckenumfelds mit RoadView

Tabelle 3-4: Klassifizierung der Merkmale für Zufahrten an Knotenpunkten

Allg. Kategorie	Bezeichnung	Erläuterung
Verkehrsregelung der Zufahrt	LSA	Knotenpunktregelung durch Lichtsignalanlage
	Z 205/206	Knotenpunktregelung durch Verkehrszeichen; Zufahrt wartepflichtig
	Z 306	Knotenpunktregelung durch Verkehrszeichen; Zufahrt bevorrechtigt
	Kreisverkehr	Knotenpunktgrundform entspricht Kreisverkehr
	Ein-/Ausfahrten	Anschluss der weiteren Strecke erfolgt über Ein- und Ausfahrtbereiche
Art der Zufahrt am Knoten	E	Plangleicher dreiarmer Knotenpunkt; betrachtete Zufahrt mündet ein
	ER	Plangleicher dreiarmer Knotenpunkt; Einmündende Zufahrt aus betrachteter Zufahrt auf der rechten Seite
	EL	Plangleicher dreiarmer Knotenpunkt; Einmündende Zufahrt aus betrachteter Zufahrt auf der rechten Seite
	K	Plangleicher vierarmer Knotenpunkt
Bauliche Veränderung der Zufahrt	BV	Vorhandensein einer baulichen Veränderung in der Zufahrt
Beschränkung V_{zul}	VZUL	Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, die mit dem anschließenden Knotenpunkt in Zusammenhang steht

Die mit den aufgezeichneten Koordinaten des Messfahrzeuges und mit Hilfe des CAD-Programms CARD erfolgte nachträgliche Trassierung der Lageplanelemente bildet eine einheitliche Datengrundlage für eine Bewertung der Strecken (MAIER et al. 2013). Diese Vorgehensweise gründet sich auf die Tatsache, dass für Bundes- und Landesstraßen häufig umfassende Informationen in den SIB vorliegen, während sich die Qualität und Quantität der Daten im Bereich der Kreis- und Kommunalstraßen deutlich verringert. Darüber hinaus verweisen LERCH et al. (2012) auf vereinzelte nicht konsistente Angaben zu Länge und Radius von Kreisbogenelementen in den SIB.

3.3.5 Festlegung und Zuordnung Bewertungsfälle nach Querschnitt

Die Unterschiede in der Gestaltung der EKL, insbesondere in der Längsmarkierung, gewährleisten eine hohe Wiedererkennbarkeit. Die EKL gibt u. a. Auskunft über die Betriebsform, den Regelquerschnitt, die Elemente der Linienführung sowie Führungsformen in Knotenpunkten. Jeder EKL ist ein einbahniger Regelquerschnitt (RQ) zugeordnet. Damit liegt eine Standardisierung vor. Es gilt, je niedriger die EKL, desto angepasster kann eine Linienführung im Gelände erfolgen. Dementsprechend verändern sich die Mindestwerte für die Entwurfs Elemente des Lage- und Höhenplans. Für einen hohen Anteil der Bestandsstrecken ist eine eindeutige Einordnung zu einer EKL aufgrund sich verändernder Randbedingungen nicht ohne weiteres möglich. Es ist zu klären, anhand welches Kriteriums die Klassifizierung der Bestandsstrecken erfolgen soll. Die mögliche Anpassung dieser Klassifizierung mit dem System der EKL, in Anlehnung an den Entwurf des HVS (BARK et al. 2008), stellt eine Randbedingung dar.

Für Aussagen hinsichtlich der Gestaltung und Betriebsform einer Straße sowie der Vermeidung systematischer Fehler in der Modellierung sind die Kenntnisse zur EKL und somit einer geeigneten Kategorisierung der Strecken von Belang. Aus den zur Verfügung stehenden Daten ist häufig nur ein indirekter Rückschluss auf die EKL möglich. Dies gilt insbesondere für eine Klassifizierung der in der baulichen Ausprägung des bisherigen Bestands sehr ähnlichen einbahnig zweistreifigen Streckenabschnitte. Die Erhebung dieser Information wäre lediglich durch eine Befragung der örtlichen zuständigen Behörden zu realisieren.

Eine Klassifizierung des Kollektivs auf Basis des DTV ist nicht zielführend. Zwar geben sowohl die RAL (FGSV 2012) als auch die RAS-Q 96 (FGSV 1996) Einsatzgrenzen der Querschnitte in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen vor. Aber wie bereits diskutiert, unterliegt die Größe aufgrund der

Erhebungsmethodik einem erheblichen Spielraum. Ferner können zeitliche Veränderungen in der Netzstruktur dazu führen, dass das Verkehrsaufkommen nicht mehr den eigentlichen Rahmenbedingungen des Querschnitts entspricht. Eine Differenzierung anhand der Entwurfselemente der Linienführung ist ebenfalls nicht eindeutig. Zum einen ist aufgrund sehr bewegter Topografie für einige Streckenabschnitte eine Bestimmung der EKL anhand der Linienführung nicht möglich, zum anderen würde diese Form der Bewertung dazu führen, dass, unabhängig vom Fehlen eines geeigneten Grenzwertes, Streckenabschnitte mit geringen Radien in aller Regel einer EKL mit sehr angepasster Linienführung zugeordnet werden.

Für die Untersuchung wird eine Klassifizierung der Streckenabschnitte anhand der Querschnittsgestaltung vorgenommen. Es gilt die Annahme, dass sich beim Bau oder Umbau einer Strecke die Wahl des Querschnitts – insbesondere die Fahrstreifenbreite – an der ursprünglichen Straßenkategorie mit dem dafür vorgesehenen Verkehrsaufkommen orientiert. Zur Bestimmung des Querschnitts – maßgebend ist die befestigte Breite – sind die Daten der SIB nur eingeschränkt nutzbar. VIETEN et al. (2010) beschreibt, dass im Verlauf eines Abschnitts variierende Angaben zur Breite – teilweise bedingt durch Anschlussknotenpunkte oder andere Merkmale – vorliegen, die eine automatisierte Klassifizierung einschränken. Weiterhin liegt keine einheitliche Differenzierung der Fahrbahn nach den Elementen Fahr- und Randstreifen vor. Die Ermittlung der Fahrbahnbreite und weiterer Elemente mittels Bildvermessung auf der Basis von RoadView-Daten erlaubt eine Vermeidung dieser Einschränkungen. Die Ergebnisse dienen zur Kategorisierung der Streckenabschnitte in Querschnitts(-gruppen) (Bewertungsfälle). Für jeden Streckenabschnitt erfolgt alle 500 m, mindestens aber zweimal die Aufnahme der Querschnittsmerkmale. Dazu zählt die befestigte Breite einschließlich Markierungen zur Begrenzung von Fahrstreifen. Aus dem harmonischen Mittelwert aller Messungen eines Abschnitts ergibt sich der charakteristische Streckenquerschnitt. Anhang B enthält eine detaillierte Beschreibung der Aufnahmekriterien. Die Einordnung der Bestandsstrecken zu den RQ in Anlehnung an die RAL (FGSV 2012) erfolgt nach der in BARK et al. (2008) beschriebenen Kategorisierung. Dabei gelten die in Tabelle 3-5 beschriebenen Kriterien als Grenzen für eine Zuordnung.

Mit der differenzierten Klassifizierung des Q 9 wird die Einordnung des Bestandsquerschnitts e2 nach RAS-Q 82 (FGSV 1982) – Fahrstreifenbreite von 3,0 m ohne Randstreifen – zu dem Bewertungsfall RQ 9 – in aller Regel Bestandsquerschnitte mit Fahrstreifenbreiten kleiner 3,0 m – im Bewertungssystem nach BARK et al. (2008) entsprechend berücksichtigt.

Tabelle 3-5: Bezeichnung und Abgrenzung der Querschnitte (Bewertungsfälle)

Bezeichnung Bewertungsfälle		Pendant RAL	Abgrenzung
Q 9		RQ 9	<ul style="list-style-type: none"> - Einbahnige (zweistreifige) Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $\leq 2,9$ m bei vorhandenem Randstreifen (unabhängig des Vorhandenseins einer markierten Leitlinie/Fahrstreifenbegrenzung) - Einbahnige (zweistreifige) Streckenabschnitte mit einer Fahrbahnbreite $\leq 6,2$ m bei fehlendem Randstreifen
Q 11	2 FS	RQ 11	- Einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,9$ m bei vorhandenem Randstreifen bzw. einer Fahrbahnbreite $> 6,2$ m bei fehlendem Randstreifen
Q 11,5+ 2FS		RQ 11,5+	- Einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,9$ m, wenn im betrachteten Netzknotenabschnitt ein separat einbahnig dreistreifiger Abschnitt mit Überholfahrstreifen vorliegt
Q 11,5+ 3FS	3 FS	RQ 11,5+	- Einbahnig dreistreifige Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,9$ m, wenn Überholfahrstreifen im Netzknotenabschnitt separat vorliegen
Q 15,5		RQ 15,5	- Einbahnig dreistreifige Streckenabschnitte mit durchgehender wechselseitiger Folge von Überholfahrstreifen im Netzknotenabschnitt
Q 21		RQ 21	- Zweibahnig vierstreifige Streckenabschnitte ohne Seitenstreifen

Die Mindestgrößen der Trassierungselemente unterscheiden sich für den Q 11,5+ unabhängig von der Anzahl der Fahrstreifen nicht. Weiterhin ist dieser Querschnitt im Bestand sehr selten vorzufinden. Strecken mit abschnittswisen Überholfahrstreifen treten im Kollektiv überwiegend an Steigungsstrecken in topografisch bewegtem Gelände auf. Daher gilt dem Q 11,5+ 3FS in der Auswertung besonderes Augenmerk. Als Einschränkung der gewählten Vorgehensweise ist die mögliche inkorrekte Zuordnung eines Abschnitts zwischen den Gruppen Q 9 und Q 11 zu nennen. Dies gilt, wenn Streckenabschnitte einer Straßenkategorie in ihrer baulichen Ausprägung eine deutlich zu breite oder zu schmale Querschnittsgestaltung gegenüber der Regelbreite aufweisen. Dieser Aspekt wird jedoch als sehr seltenes Ereignis und eine daraus resultierende Abweichung als vernachlässigbar angesehen.

Die Aussagekraft separater Modelle für Q 11,5+ ist aufgrund des geringen Streckenumfangs als kritisch zu bewerten. Es erfolgt anhand der Fahrstreifenanzahl die Aufteilung und Zuordnung der Abschnitte zu den Kollektiven Q 11 und Q 15,5, fortfolgend als Q 2FS bzw. Q 3FS bezeichnet. Dabei wird der Q 11,5+ ggf. als eigenständiger Querschnitt über eine kategoriale Variable berücksichtigt. Für den Q 21 gelten die Fahrbahnninnenseiten nicht als Seitenraum.

3.3.6 Bewertung Relationstrassierung

Im Lageplan wird die Linienführung durch die Abfolge der Elemente „Gerade – Kreisbogen“ sowie „aufeinanderfolgender Kreisbögen“ beschrieben. Durch den bekannten Zusammenhang zwischen einem erhöhten Unfallgeschehen aufgrund hoher Geschwindigkeitsdifferenzen in Bereichen unsteuiger Linienführung erfolgt die Bewertung der Abfolge von Lageplanelementen hinsichtlich der Einhaltung der Relationstrassierung (LIPPOLD 1997). Grundlage der Kategorisierung bilden die Verhältnisse aufeinanderfolgender Kreisbögen sowie zulässige Radien im Anschluss an Geraden nach den RAL (FGSV 2012). Um einen einheitlichen Bewertungsstandard zu gewährleisten, wurde als Maßstab immer der „gute Bereich“ zugrunde gelegt. Ein Defizit – Abweichung von der Relationstrassierung – liegt vor, wenn das Verhältnis der Elementfolgen gegenüber dem „guten Bereich“ eine Abweichung von mehr als 20 % aufweist. Dies entspricht i. Allg. dem Übergang zum „zu vermeidenden Bereich“ (Abbildung 3-3). Somit liegt für jedes Einzelelement eine Bewertung in Abhängigkeit vom vorausgehenden Element vor.

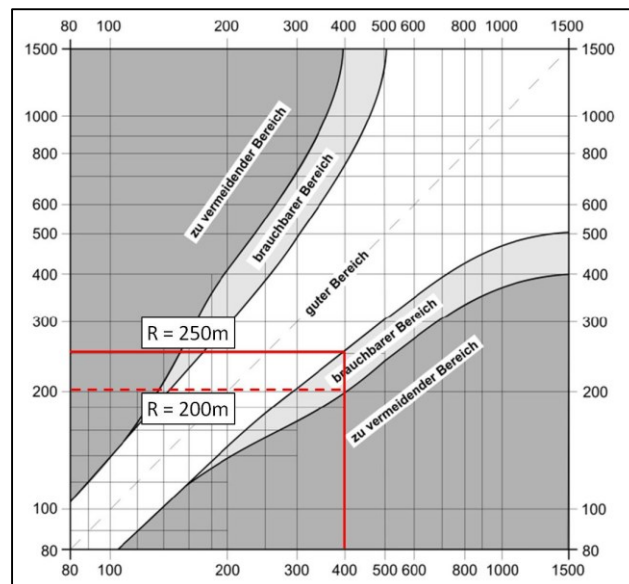


Abbildung 3-3: Beispiel Grenzwert für Verhältnis aufeinanderfolgender Radien (Grundlage FGSV 2012)

Die Anpassung der Linienführung wird in den EKL u. a. durch die Angabe von empfohlenen Radienbereichen erreicht. Die Größenordnung orientiert sich an der Planungsgeschwindigkeit. Dabei stellt die Unterschreitung des empfohlenen Radienbereichs gegenüber der Überschreitung das maßgebendere Kriterium dar. Diesbezüglich wird die Unterschreitung des Mindestradius von Kreisbögen nach den Vorgaben der RAL (FGSV 2012) bewertet (Tabelle 3-6). Es werden folgende Defizite bei der Abwicklung des Lageplans unterschieden:

- Abweichung von der Relationstrassierung bei gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius
- Abweichung von der Relationstrassierung ohne Unterschreitung des Mindestradius
- Unterschreitung des Mindestradius ohne Abweichung von der Relationstrassierung

Tabelle 3-6: Mindestradius und Mindestlänge Kreisbogen nach RAL (FGSV 2012)

Entwurfs- klasse	Mindestradius R [m]	Mindestlänge Kreisbogen [m]
EKL 1	500	70
EKL 2	400	60
EKL 3	300	50
EKL 4	200	40

Mitunter liegen auf Basis der teilautomatisierten Nachtrassierung der Strecken in CARD sehr kurze – als nicht plausibel einzustufende – Elementlängen vor. Der mögliche Fehlereinfluss wird als unbedeutend angesehen, da zum einen nur Elemente mit einer Mindestlänge von $L = 50$ m bewertet wurden. Zum anderen ist die Häufigkeit möglicher Ausweichmanöver des Messfahrzeuges als sehr gering einzustufen.

3.3.7 Unfallkollektiv

Unfälle stellen seltene Ereignisse dar. Das Betrachten eines umfangreichen Zeithorizontes führt zu validen Aussagen. Mögliche kurzzeitig deutliche Ausprägungen des Unfallgeschehens werden mit einem darauffolgenden Rückgang – der Effekt des „regression to the mean“ – durch die Nivellierung über den Betrachtungszeitraum leicht reduziert (HARWOOD et al. 2000). Demgegenüber steht eine fortwährende Wandlung der Netzstruktur in Form eines sich verändernden Verkehrsaufkommens sowie dem Umbau und Neugestaltungen von Verkehrsanlagen, welche die Aussage zeitlich umfangreicher Auswertungen beschränkt. Mit Ausnahme von Untersuchungen zu Unfällen mit hohem Schweregrad entspricht bei der Anwendung von GLM die Bewertung des Unfallgeschehens über einen Zeitraum von fünf Jahren der Regel (ZEGEER et al. 1994, TAYLOR et al. 2002, HAYNES et al. 2007).

Unfalldaten aus sechs Bundesländern liegen in unterschiedlich langen Zeiträumen und für verschiedene Unfallkategorien vor (Tabelle 3-7). In den Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg und Brandenburg wird auf die

statistische Erfassung der Unfallkategorie 5 durch die Polizei verzichtet bzw. erfolgt nur die Aufnahme anzeigepflichtiger Unfälle. Aus den drei genannten Bundesländern stehen daher nur die Unfallkategorien 1 bis 4 und 6 zur Verfügung. Das bayerische Kollektiv der Unfallkategorie 4 beruht auf einer Transformation der sonst in Bayern gebräuchlichen Verwendung der Unfallkategorie 7, welche durch bayerische Behörden zur Verfügung gestellt wurde (OBERSTE BAUBEHÖRDE 2010).

Tabelle 3-7: Unfalldatenverfügbarkeit der verschiedenen Bundesländer

	BB	BW	BY	RP	SN	ST
Zeitraum	2005 - 2009	2005 - 2009	2005 - 2008	2005 - 2009	2005 - 2009	2005 - 2009
Kategorien	1 - 4 und 6	1 - 4 und 6	1 - 4 (7)	1 - 6	1 - 6	1 - 6
Anzahl U(P)	1.387	2.596	1.198	1.889	2.028	2.481
Anzahl U(SS)	487	837	308	987	908	972
Anzahl U(LS)	-	-	-	9.457	9.640	12.402

Die programmseitige Verortung von Unfällen in elektronischen Unfalltypenkarten erfolgt i. d. R. durch Polizeibeamte auf Grundlage der Informationen aus der Verkehrsunfallanzeige. Die georeferenzierte Lokalisierung basiert auf der Angabe geodätischer Koordinaten, die eine stationsgebundene Zuordnung der Unfälle zu Netzknotenabschnitten nur indirekt zulassen. Um eine Zuordnung zu ermöglichen, werden die Unfälle in einem geografischen Informationssystem (GIS) eingelesen. Hüllkurven erlauben die allgemeine Zuweisung von Unfällen zu einem Streckenabschnitt. Eine Hüllkurvenbreite von $B = 27,5$ m umschließt mit Ausnahme seltener extremer Ausreißer – diese bleiben in der Auswertung unberücksichtigt – alle Unfälle. Die endgültige Projektion der Unfälle auf eine Station des Streckenabschnitts erfolgt über die Berechnung eines Lotfußpunktes zwischen den Unfallkoordinaten und den Polygon der nächsten anliegenden Strecke, aus der sich ein Stationsbezug ableiten lässt.

Eine Angabe zur Fahrtrichtung liegt bei dem überwiegenden Teil des Unfallgeschehens vor. Gerade für einbahnige Strecken ist aber festzustellen, dass diese Angabe häufig fehlerbehaftet ist. Für einen Teil des Unfallgeschehens ist es aufgrund der Interaktionen zwischen den Beteiligten schwierig, eine eindeutige Richtungszuordnung vorzunehmen. Um die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen, wird auf eine richtungsgetrennte Streckenbewertung verzichtet.

Bei der Anwendung Verallgemeinerter Linearer Modelle stellt das Unfallgeschehen die abhängige Variable dar. Dabei sollen die gewählten Strecken

hinsichtlich des Unfallgeschehens in ihrer Summe der Zusammensetzung nach verschiedenen Kenngrößen einem allgemeinen gesamtdeutschen Bild ähnlich sein. Aus dem Vergleich der Unfallschwere und Unfalltypen – ohne Kategorie 5 – des Kollektivs mit den gesamtdeutschen Werten (Außerorts ohne BAB) im gleichen Bezugszeitraum wird die Repräsentativität der Daten deutlich. Von den betrachteten Unfällen des gesamten betrachteten Netzes sind ca. 17 % knotenpunkttypische Unfälle. Ca. ein Viertel der Fälle ist der Unfallkategorie 1 oder 2 zuzuordnen, jedoch stellt der Unfall mit leichtem Personenschaden (Kategorie 3) die häufigste Unfallfolge dar. Der hohe Anteil der Unfälle mit Todesfolge (Kategorie 1) in Brandenburg ist u. a. auf den überdurchschnittlichen Anteil an Strecken mit Alleebesatz zurückzuführen (Abbildung 3-4 links).

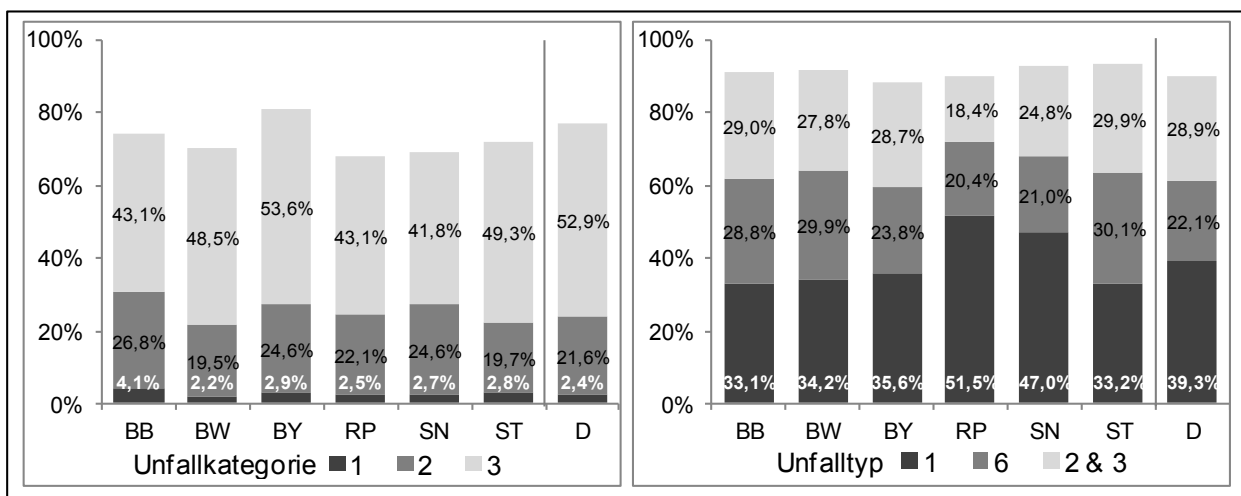


Abbildung 3-4: Verteilung der Unfallkategorien 1 bis 3 (links) sowie der Unfalltypen (rechts) nach einzelnen Bundesländern an Unfallkategorien 1 bis 4 (entspricht 100 %) im Vergleich mit den gesamtdeutschen Werten für Landstraßen im Zeitraum 2005 bis 2009 (DESTATIS 2010)

Die Verteilung der Unfalltypen weist zwischen den Bundesländern deutliche Unterschiede auf (Abbildung 3-4 rechts). Die Berücksichtigung eines umfangreichen Kollektivs kurvenreicher Strecken mit niedrigem Entwurfsstandard begründet den hohen Anteil der Fahrnfälle in Rheinland-Pfalz und Sachsen. Am häufigsten tritt der Fahrnfall (Typ 1) auf. Unfälle im Längsverkehr und die Gruppe knotenpunkttypische Unfälle weisen im Mittel eine nahezu identische Größenordnung auf. Die Differenzen zwischen den Bundesländern sind auf Unterschiede in der Streckencharakteristik und Siedlungsstruktur zurückzuführen.

Die Verunglücktenstruktur bestimmt maßgebend die volkswirtschaftliche Bewertung von Unfällen. Sie gibt Auskunft über die mittlere Unfallschwere und mögliche systematische Abweichungen (Tabelle 3-8). Wegen der Streckenzusammensetzung repräsentiert das untersuchte Kollektiv nicht den deutschen Mittelwert. Gegenüber den gesamtdeutschen Werten ist das Ri-

siko, bei einem U(SP) getötet oder schwerverletzt zu werden, geringfügig höher, gegenüber den Werten nach FGSV (2002) nahezu gleich.

Die Verunglücktenstruktur der einzelnen Querschnitte beruht auf Unfällen der Streckenabschnitte ausschließlich verkehrsbedeutender Knotenpunkte. Somit wird eine höhere Vergleichbarkeit der Streckencharakteristik unabhängig der Knotenpunkte gewährleistet. Die Differenzierung der Verunglücktenstruktur nach den Querschnitten offenbart Unterschiede. Gegenüber allen anderen Querschnitten weist der Q 21 die niedrigsten tödlichen Unfallfolgen bei U(SP) auf. Dies ist mutmaßlich auf die Richtungstrennung der Fahrbahnen – Vermeidung von Kollisionen mit dem Gegenverkehr –, welche das höhere Risiko schwerer Verletzungen aufgrund höherer Geschwindigkeiten mehr als kompensiert, zurückzuführen.

Tabelle 3-8: Vergleich Verunglücktenstruktur für U(SP) und U(P) mit FGSV (2002) und gesamtdeutschen Werten von 2005 bis 2009 nach DESTATIS (2010)

Kollektiv	Verunglückte je 100 U(SP)			Verunglückte je 100 U(P)		
	Getötete	Schwer- verletzte	Leicht- verletzte	Getötete	Schwer- verletzte	Leicht- verletzte
FGSV (2002)	12	118	44			
Deutschland DESTATIS (2010)	11	112	-			
eigenes Kollektiv	12	116	47	5	45	102
Q 9*	11	113	40	4	46	95
Q 2FS*	14	115	48	6	45	102
Q 3FS*	18	127	71	7	47	120
Q 21*	7	125	40	2	35	107
*Kollektiv ohne Berücksichtigung Knotenpunkte						

Im Vergleich der einbahnigen Querschnitte ist das niedrige Verletzungsrisiko des Q 9 für U(SP) mutmaßlich durch ein geringes Geschwindigkeitsniveau bzw. eine geringere Anzahl von Unfällen mit Zusammenstoß – Unfallart 1 bis 6 mit 40 % gegenüber 48 % für Q 2FS – zu erklären, obwohl der Q 9 den höchsten Anteil von U(SP) an allen U(P) aufweist (Abbildung 3-5 links). Demgegenüber ist das Kollektiv Q 3FS durch ein hohes Verletzungsrisiko in allen Unfallkategorien mit Personenschaden gekennzeichnet (Tabelle 3-8). So ermittelte JÄHRIG (2012) auf dem Überholfahrstreifen einbahnig dreistreifiger Abschnitte deutlich über der V_{zul} liegende mittlere Geschwindigkeiten, die sich bei ungünstigen Randbedingungen ungünstig auf die Unfallschwere auswirken können. Trotz der Sicherung der Überholmöglichkeiten besteht die Gefahr, bei Verlust der Fahr-

zeugkontrolle mit dem Gegenverkehr zu kollidieren, wobei hohe kinetische Energien eine erhebliche Unfallschwere nach sich ziehen.

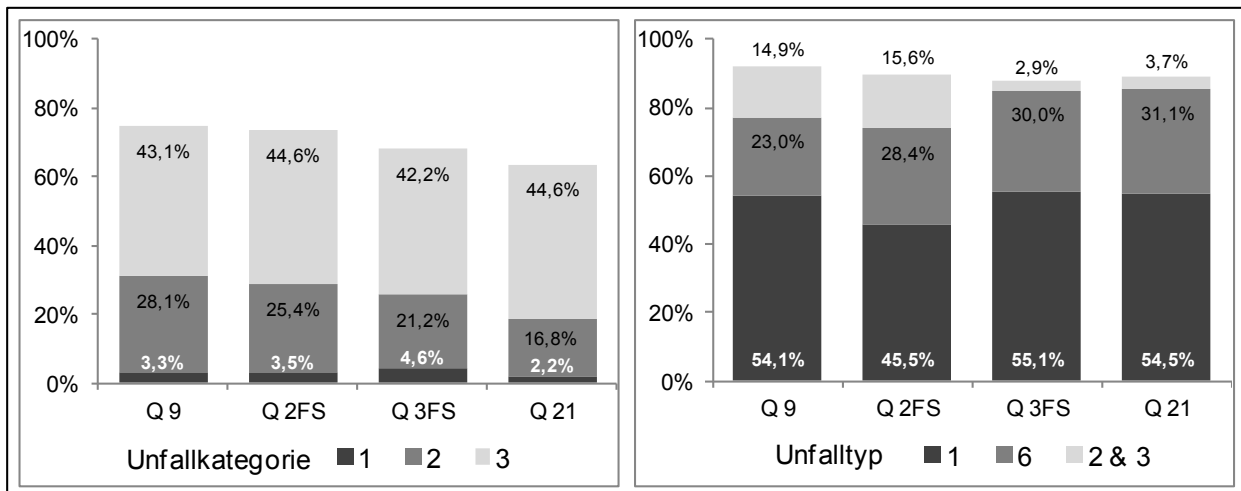


Abbildung 3-5: Verteilung der Unfallkategorien 1 bis 3 (links) sowie der Unfalltypen (rechts) nach einzelnen Querschnitten an Unfallkategorie 1 bis 4 (entspricht 100 %) ohne (verkehrsbedeutende) Knotenpunkte

Der Fahr Unfall (Typ 1) prägt das Unfallgeschehen aller Querschnitte. Abschnitte des Kollektivs Q 2FS weisen gegenüber den anderen Querschnitten den geringsten Anteil an Fahr unfällen an U(P, SS) auf (Abbildung 3-5 rechts). An zweiter Stelle folgt der Unfall im Längsverkehr (Typ 6). Gegenüber den Q 9 und Q 2FS ist der Anteil der knotenpunkttypischen Unfalltypen 2 und 3 für Q 3FS unterrepräsentiert Dies ist auf die geringe Anschlussknotendichte des Kollektivs zurückzuführen.

Die Unfallkategorie 5 wird durch den Unfalltyp 7 „Sonstige“ dominiert (Abbildung 3-6). Dabei zeigt für jeden Querschnitt das Verhältnis der Unfalltypen 1 und 6 zueinander ähnliches Niveau. Knotenpunkttypische Unfälle des Typs 2 und 3 sind unbedeutend.

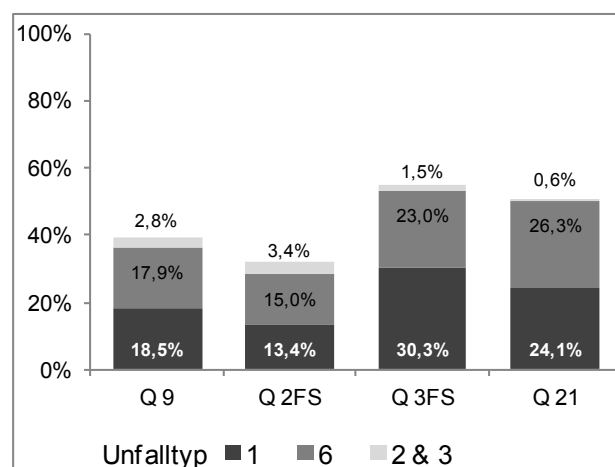


Abbildung 3-6: Verteilung relevanter Unfalltypen nach einzelnen Querschnitten für Unfallkategorie 5 ohne (verkehrsbedeutende) Knotenpunkte

Zusammenfassend gilt, dass das gesamte Unfallkollektiv, trotz Unterschiede innerhalb der Bundesländer und Querschnitte, das typische Unfallgeschehen außerörtlicher Straßen repräsentiert. Die differenzierte Betrachtung nach Unfalltyp und Unfallart verdeutlicht, dass Fahrurfälle bezüglich der Anzahl, Gegenverkehrsunfälle bezüglich ihrer Schwere, eine besondere Problematik der Verkehrssicherheit auf Landstraßen darstellen.

3.4 Abgrenzung der Netzelemente

3.4.1 Abgrenzung verkehrsbedeutender Knotenpunkte

Die pauschale räumliche Abgrenzung der verkehrsbedeutenden Knotenpunkte gegenüber der FS erfolgt anhand einer Analyse des Unfallgeschehens. Der gewählte Ansatz wird als zielführend für eine exakte Abgrenzung der Knotenpunkte aus Sicht einer sicherheitstechnischen Bewertung von Netzelementen angesehen (BARK et al. 2008). Während die Unfalltypen 2 (Abbiegen) und 3 (Einbiegen/Kreuzen) das Unfallgeschehen an Knotenpunkten maßgeblich bestimmen, ist ihr Anteil am Unfallgeschehen auf Streckenabschnitten gering. Daher gilt die Annahme, dass deutliche Änderungen der Anteilswerte in der Unfalltypenstruktur Auskunft über den Übergang zwischen beiden Netzelementen geben. Die Bewertung der Anteilswerte von knotenpunkttypischen Unfalltypen zwischen knotenpunktnahen und knotenpunktfernen (unbeeinflussten) Abschnitten ermöglicht die längenbezogene Abgrenzung von Knotenpunkten. Der 4-Felder- χ^2 Test erlaubt die Prüfung dichotomer Merkmalsalternativen auf stochastische Unabhängigkeit. Das zugrunde liegende Verfahren ist in Anhang F.2 näher beschrieben. Maßgabe bildet die möglichst exakte Lokalisierung des Unfallgeschehens, welche unmittelbar Einfluss auf die gewählten Abschnittslängen besitzt. Die Verortung der Unfälle hängt von der örtlichen Aufnahme Genauigkeit in einem Bezugssystem und ggf. der nachträglichen Lokalisierung in Unfalltypenkarten ab. Das Verfahren besitzt zwei Vorgehensweisen.

Für die Überprüfung des Unfallgeschehens von Seiten des Knotenpunkts (Variante A) bilden alle klassifizierten, nach Grund- und Betriebsform unterschiedenen, Netzknoten im Untersuchungskollektiv mit einem Mindestabstand von $A \geq 500$ m die Grundlage. Ausgehend von einem zentralen Knotenbereich ($R = 25$ m) um den Schnittpunkt der Achsen erfolgt die schrittweise Anlage von Ringpuffern um den Knoten. Die Pufferbreite s be-

trägt ebenfalls $s = 25$ m. Das Unfallgeschehen dieser Ringpuffer³ wird mit einem unabhängigen knotenfernen Referenzbereich der FS verglichen. Der Knotenpunktbereich wird im Resultat durch den äußeren Radius des letzten Ringpuffers begrenzt, dessen Unfalltypenverteilung sich signifikant vom Referenzbereich unterscheidet. Da die Abgrenzung der Knotenpunkte alle Zufahrten umfasst, gilt die Annahme, dass das Unfallgeschehen in zufälliger Form gleichmäßig verteilt in Knotennähe lokalisiert vorliegt. Eine Unterscheidung der durch Verkehrszeichen geregelten Knotenpunkte nach Art der Vorfahrtsregelung in den Zufahrten ist somit nicht möglich. Eine exakte zufahrtbezogene Analyse des Unfallgeschehens scheidet aufgrund der nicht gegebenen oder nur indirekten Zuordnung des Unfallgeschehens nach Zufahrt in unmittelbarer Knotennähe aus. Eine manuelle Zuordnung bietet die Möglichkeit einer genauen zufahrtfeinen Prüfung, ist aber angesichts der Kollektivgröße unverhältnismäßig.

Die knotenpunktseitige Betrachtung des Unfallgeschehens (Variante A) ist durch die Gesamtbetrachtung aller Zufahrten eingeschränkt. Die streckenseitige Prüfung (Variante B) erlaubt eine detailliertere Aussage zu weiteren Merkmalen, wie bauliche Veränderung, Beschränkung der V_{zul} , und Zufahrtregelung. Ähnlich der obigen Vorgehensweise wird die Verteilung der Unfalltypen eines knotennahen Streckenabschnitts ($L = 100$ m) einem knotenfernen Referenzbereich gegenübergestellt. Dabei wird der Abstand zum Knotenpunkt beginnend vom zentralen Knotenbereich iterativ mit einer Schrittweite von $s = 25$ m vergrößert. Weist der betrachtete Abschnitt keinen signifikanten Unterschied zum Referenzbereich auf, ist das Ende des Knotenbereichs erreicht. Die Vorgehensweise setzt voraus, dass die angrenzenden Streckenabschnitte eine ausreichende Länge aufweisen, um das Verkehrssicherheitsniveau der FS zu erreichen (ECKSTEIN/MEEWES 2002). Die gewählte Mindestlänge setzt sich aus einem als maximal angenommenen Knotenbereich von 100 m sowie einer 1.000 m langen Zufahrtsstrecke ohne wesentliche Merkmalsänderungen zusammen. Für einen Streckenabschnitt ergibt sich somit eine Gesamtlänge von 2.200 m.

In beiden Varianten zählen nicht klassifizierte Anschlussknoten als Bestandteil der Untersuchungsstrecke. Der Referenzbereich repräsentiert die durchschnittliche Unfalltypenverteilung der FS und muss eine ausreichende Entfernung zu möglichen EB der Streckenübergänge aufweisen. In Anlehnung an die Erkenntnisse von ECKSTEIN/MEEWES (2002) und VIETEN et al. (2010) wird der Referenzbereich mit einer Länge von $L = 500$ m be-

³ Die Verwendung von Ringen als geometrische Grundform erlaubt eine einheitlichere Berücksichtigung der Streckenlängen der Zufahrten unabhängig des Kreuzungswinkels

ginnend mit einem Abstand von $A = 600$ m zum Schnittpunkt der Achsen eines Knotens bzw. der Ortstafel festgelegt. Die beider Vorgehensweisen sind in Abbildung 3-7 dargestellt. Die engere räumliche Ausdehnung der Ringpuffer erlaubt gegenüber den knotennahen Streckenabschnitten eine exaktere Abgrenzung des Knotenbereichs, birgt jedoch die Gefahr, dass die Unfalltypenverteilung innerhalb der Ringpuffer bei geringen Kollektivgrößen stärker Zufälligkeiten unterworfen ist. Die endgültige Festlegung des Knotenbereichs resultiert aus der manuellen vergleichenden Bewertung der Ergebnisse beider Vorgehensweisen. Eine nähere Erläuterung enthält Anhang E.2.

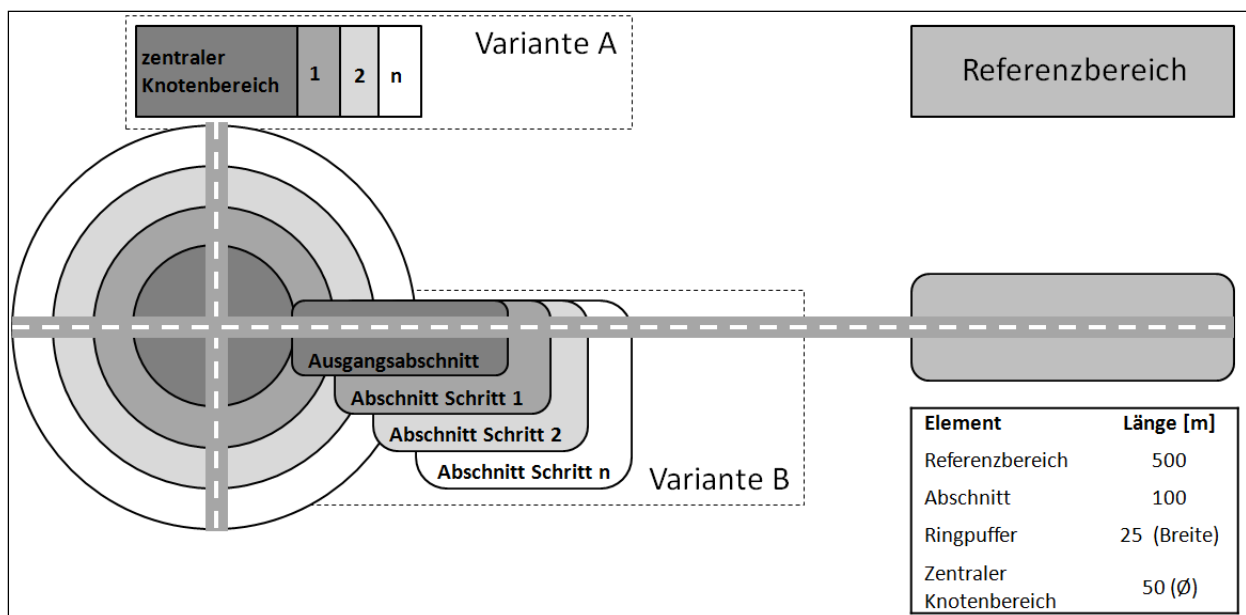


Abbildung 3-7: Schema Anordnung der Elemente zur Abgrenzung des Knotenbereichs

Von der Betrachtung ausgeschlossen sind Knotenpunkte an zweibahnigen Strecken. Da diese Abschnitte einen autobahnähnlichen Charakter aufweisen, ist davon auszugehen, dass sich die allgemeine Gestaltung der Zufahrten sowie das Fahrverhalten von einbahnigen Abschnitten unterscheiden. Unabhängig davon gilt für Ein- und Ausfahrtbereiche in Anlehnung an BARK et al. (2008) eine eigene Definition und Abgrenzung des Knotenbereiches. Die fahrtrichtungsunabhängige maximale Ausdehnung der baulichen Länge zwischen Ein- und Ausfahrtbereich auf der betrachteten Strecke bestimmt die Länge des Knotenpunktbereichs. Je nach Anordnung der Rampen in den Quadranten entstehen zwischen dem Ein- und Ausfahrtbereich einer Fahrtrichtung am Knoten Zwischenbereiche. Diese werden ebenfalls dem Knotenpunktbereich zugeordnet. Vor Beginn und nach Ende der Ein- bzw. Ausfahrtbereiche schließt sich der EB des Knotenpunkts auf die angrenzende Zufahrt an. Folgende Gründe sprechen für die gewählte Einteilung:

- Die im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) vorgeschlagene Bewertung sieht eine Zerlegung (teil-) planfreier Knotenpunkte in die Bestandteile Ein- und Ausfahrtbereich sowie ggf. plangleicher Teilknoten vor. Rampen sind jeweils zur Hälfte den Teilelementen zuzuordnen. Bisher findet in Fachgremien eine ergebnisoffene Diskussion über die Einteilung und Abgrenzung dieser Knotenpunktarten zur Bewertung statt.
- Eine automatisierte räumliche Zuordnung des Unfallgeschehens zum Knotenpunkt anhand des Schnittpunkts der Achsen ist hinsichtlich der verschiedenen baulichen Gestaltungsmöglichkeiten und der Überlagerung des Unfallgeschehens in zwei Ebenen nicht möglich.
- Die Abgrenzung (teil-) planfreier Knoten anhand ihrer baulichen Gestaltung erlaubt eine einheitliche Bewertung des Gesamtsystems.
- Mutmaßliche Einflüsse des Knotens auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden Strecke sind dem EB zuordenbar.

In den SIB werden Strecken an administrativen Grenzen und nach weiteren Sonderfällen mit klassifizierten Netzknoten getrennt (ASB 2007). Da diese Knoten fiktive Netzknoten darstellen, bleiben sie bei den weiteren Knotenpunktuntersuchungen unberücksichtigt. Für diese Fälle erfolgt die Zuordnung des Unfallgeschehens auf die angrenzenden Streckenabschnitte.

3.4.2 Einflussbereiche

Die Ermittlung der EB von Knotenpunkten auf die angrenzenden Zufahrten setzt die räumliche Abgrenzung der Knotenpunkte voraus. Der Einfluss der Knotenpunkte nach Art der Verkehrsregelung auf die Verkehrssicherheit ist unumstritten. Unklar ist jedoch, inwieweit Merkmale, wie die bauliche Veränderung des Querschnitts oder die Beschränkung der V_{zul} , eine Wirkung auf das Unfallgeschehen, insbesondere bei durch Verkehrszeichen geregelten Knotenpunkten, besitzen. Es besteht das Ziel, weitere mutmaßliche sicherheitsprägende Merkmale zu quantifizieren. Für das Verfahren von ECKSTEIN/MEEWES (2002) sind bei zugrunde liegenden Kollektivgrößen keine abgesicherten Aussagen zur Höhe des Einflusses zu erwarten. Ursache bilden Schwankungen der Unfallkenngrößen bei geringem Kollektivumfang. Daher dient es lediglich zur quantitativen Abschätzung der Einflusslängen für Zufahrten in Abhängigkeit von der Zufahrtregelung. Es wird neben der Regelungsart bei VZ-geregelten Knotenpunkten allgemein nach den Merkmalen bauliche Veränderung der Zufahrt (bevorrechtigte Zufahrten VZ-geregelter Knotenpunkte) sowie Beschränkung der V_{zul} im Zusammenhang mit sich anschließendem Knotenpunkt unterschieden.

Als bauliche Veränderung wird die deutliche Aufweitung des Querschnitts vor einem folgenden Knotenpunkt definiert. Merkmale sind die Anordnung eines weiteren Fahrstreifens oder einer Sperrfläche. Die Länge ergibt sich aus dem Abstand von Beginn der baulichen Änderung bis zum Schnittpunkt der Achsen. Unmarkierte Aufweitungen für Linksabbieger (Straßenbaumeisterlösung) ohne vollständige Breitenentwicklung des Fahrstreifens gelten nicht als bauliche Veränderung, da sich durch die fehlende Möglichkeit eines separaten Aufstellens des Linksabbiegers der Verkehrsablauf nicht von Zufahrten ohne bauliche Aufweitung unterscheidet. Aus der Auswertung aller einbahnigen Knotenzufahrten mit baulicher Veränderung wird die Bandbreite der Ausbaulänge deutlich. Unabhängig von der Zufahrtregelung veranschaulicht Abbildung 3-8, dass bauliche Veränderungen mit Längen über 200 m eher die Ausnahme darstellen.

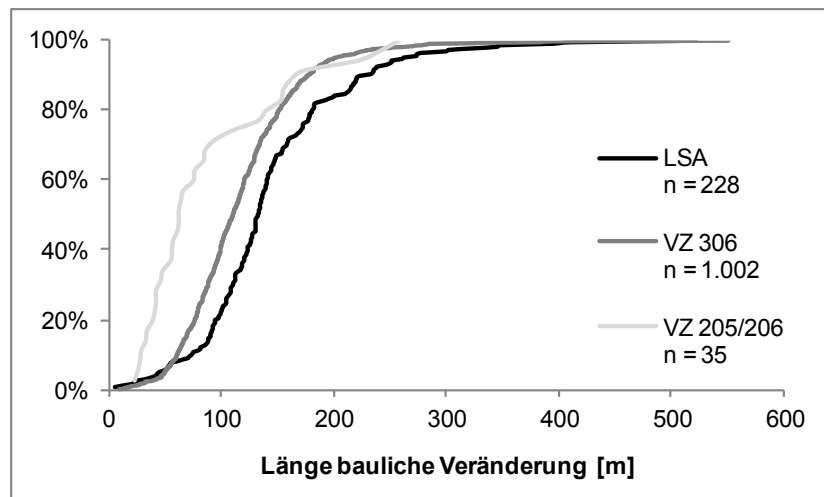


Abbildung 3-8: Länge bauliche Veränderung der Zufahrt nach Verkehrsregelung der Knotenpunktzufahrt

Die Längenentwicklung, differenziert nach Zufahrtregelung, spiegelt die Erwartungen wider. Untergeordnete Zufahrten an durch Verkehrszeichen geregelten Knotenpunkten weisen in der Regel einen Fahrbahnteiler und somit kurze Längen baulicher Veränderungen auf. Die gegenüber den bevorrechtigten Zufahrten mit Z 306 StVO geringfügig höhere Längenausdehnung der Zufahrten an signalisierten Knotenpunkten ist unter anderem auf die höhere Verkehrsbedeutung und somit Gestaltung der Knoten in Verbindung mit ausreichenden Aufstellflächen zurückzuführen. Unabhängig von der Verkehrsregelung fällt bei der Hälfte aller Zufahrten die Länge baulicher Veränderung kleiner 112 m aus. Nur in 7 % der Fälle wird eine Länge von 200 m überschritten. Für Zufahrten zu den im Kollektiv selten vorzufindenden Kreisverkehren – deren bauliche Charakteristik denen der Zufahrten mit Z 205/206 StVO ähnelt – wird dementsprechend eine ähnliche Längenentwicklung angenommen. Aufgrund der geringen Kollektivgröße ist eine separate Auswertung nicht möglich.

Die Festlegung, ob eine Beschränkung der V_{zul} in einer Zufahrt mit dem Knotenpunkt in Zusammenhang steht, leitet sich im Allgemeinen aus der Analyse einer ausreichenden Zufahrtslänge – in Anlehnung an ECKSTEIN/MEEWES (2002) gewählt 1.000 m – ab. Nach VwV-StVO ist die V_{zul} an Lichtsignalanlagen auf 70 km/h zu beschränken. Gelten Knotenpunkte mit anderen Regelungsarten als Gefahrenstellen, kann ebenfalls eine Beschränkung der V_{zul} in Erwägung gezogen werden. Im außerörtlichen Bereich soll die Beschränkung der V_{zul} in der Regel 100 m vor Gefahrenstelle erfolgen (VwV-StVO 2014). Daraus leitet sich die Frage ab, ab welcher Länge die Beschränkung der V_{zul} mit dem nachfolgenden Knotenpunkt in Zusammenhang zu setzen ist oder aber andere Kriterien maßgebend sind. Für Zufahrten mit einem Geschwindigkeitstrichter kommen alle die Abschnitte in Betracht, bei denen eine sukzessive Beschränkung (Verringerung) der V_{zul} in Annäherung zum Knotenpunkt erfolgt. Da die Wirkung einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf die Unfallschwere mittelbar mit der Höhe und Differenz zum Ausgangsniveau der V_{zul} der Freien Strecke in Zusammenhang steht, erfolgt lediglich eine Bewertung von Zufahrten einbahniger Strecken an plangleiche (Teil-) Knotenpunkte, in deren Verlauf im Vorfeld eine V_{zul} von 100 km/h angeordnet ist. Das Kollektiv beinhaltet keine Zufahrten zu Kreisverkehren.

In 59 von 64 betrachteten Zufahrten an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten liegt eine Beschränkung der V_{zul} vor. In den anderen fünf Fällen ist die V_{zul} auf größerer Länge der Streckenabschnitte beschränkt.

In der Längenverteilung aller Zufahrten auf VZ-geregelte Knotenpunkte mit einmaliger Beschränkung der V_{zul} werden zwei markante Punkte ersichtlich (Abbildung 3-9 links). Die deutliche Mehrheit der Zufahrten weist eine Beschränkung der V_{zul} auf einer Länge von $L \leq 240$ m auf. Nur für einen Bruchteil der Zufahrten ist die V_{zul} über einer Länge von $L > 400$ m beschränkt. Es ist zu vermuten, dass über diese Länge hinaus die Beschränkung der V_{zul} in keinem direkten Zusammenhang mit dem betrachteten Knotenpunkt steht. Dem entgegen ist für Zufahrten mit mehrmaliger Beschränkung der V_{zul} eine Gleichverteilung der Längen festzustellen (Abbildung 3-9 rechts). Die Beschränkung der V_{zul} ist in diesem gering besetzten Kollektiv mutmaßlich durch weitere Einflüsse geprägt. Zwischen Zufahrten mit und ohne baulicher Veränderung liegt kein signifikanter Unterschied in der Länge der Beschränkung vor. STEINAUER et al. (2008) können unabhängig einer Beschränkung der V_{zul} , für Strecken mit Knotenabständen kleiner 1.000 m keinen Einfluss der Knotenpunkte auf die gefahrenen Geschwindigkeiten identifizieren. Daher wird für weitere Analysen die Festlegung getroffen, dass Zufahrten auf VZ-geregelte Knotenpunkte eine Beschränkung der V_{zul} mit Bezug zum folgenden Knotenpunkt aufweisen,

wenn eine einmalige Beschränkung der V_{zul} innerhalb einer Entfernung von $L \leq 400$ m vor dem Knotenpunkt erfolgt. Eine Länge des Streckenabschnitts von $L \geq 1.000$ m stellt eine weitere Maßgabe dar. Für kürzere Streckenabschnitte wird das Merkmal nicht vergeben.

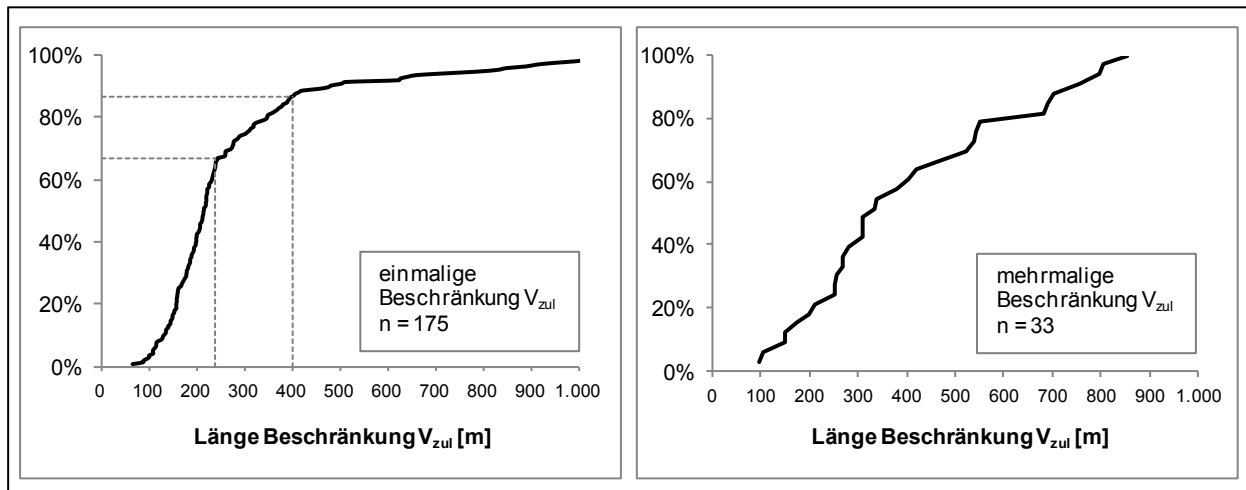


Abbildung 3-9: Länge Beschränkung V_{zul} bei einmaliger (links) und mehrmaliger (rechts) Beschränkung im Zulauf auf VZ-geregelte Knotenpunkte mit Bezug zum Achsenschnittpunkt

Tabelle 3-9: Übergangsarten zur Prüfung von Einflussbereichen auf angrenzende Zufahrten

Art des Übergangs	Regelung (der Zufahrt)	Bemerkung
Ortslage	-	- Bezugspunkt bildet die Ortstafel Z 310 StVO
Plangleicher (Teil-) Knotenpunkt	LSA	- unabhängig weiterer Merkmale (VZ Regelung, Anzahl Fahrstreifen, u. w.)
	Z 205/ Z 206	- Zusammenfassung in einem Kollektiv (inklusive Zufahrten Kreisverkehr)
	Z 306	- mit baulicher Änderung und Beschränkung der V_{zul} - mit baulicher Änderung und ohne Beschränkung der V_{zul} - ohne bauliche Änderung und Beschränkung der V_{zul} - ohne bauliche Änderung und ohne Beschränkung der V_{zul}
Ein/ Ausfahrten	Einfädeln/ Ausfädeln	- Bezugspunkt bildet der/das Beginn/Ende der baulichen Ausprägung des Knotenpunkts

Neben den Knotenpunkten wird auch der EB von Ortslagen (Ortsdurchfahrten) auf die angrenzende Strecke ermittelt. Damit liegen die in Tabelle 3-9 aufgeführten Kollektive zur Ermittlung von räumlichen EB nach dem Verfahren von ECKSTEIN/MEEWES (2002) für die verschiedenen Übergangsarten der FS zugrunde.

3.4.3 Abschnittsteilung der Strecke

Aus den bisherigen Erkenntnissen wird die Besonderheit der Abschnittsteilung deutlich. Einer Differenzierung nach homogenen Merkmalausprägungen steht die Gefahr einer zu feingliedrigen Abgrenzung von Abschnitten entgegen, da sich hier mutmaßlich kein Verkehrsablauf entsprechend der Charakteristik einstellt. Ziel der Abschnittsteilung ist es daher, Bereiche gegeneinander abzugrenzen, welche bezüglich relevanter Eigenschaften homogen sind, gleichzeitig aber auch ausreichende Streckenlängen und Unfallzahlen aufweisen. In Tabelle 3-10 sind die Kriterien, die nach BARK et al. (2008) eine Abschnittsteilung markieren, denen der eigenen Untersuchung gegenübergestellt.

Tabelle 3-10: Kriterien für die Abschnittsteilung der Strecke

Kriterium	BARK et al. (2008)	Eigene Untersuchung
Querschnitt	Anzahl durchgehende Fahrstreifen	Zuordnung in Querschnittsgruppen
	Ausbildung der Querschnittsbestandteile	Ausbildung der Querschnittsbestandteile
Betriebsform	Höhe V_{zul}	Höhe V_{zul}
	Art der Radverkehrsführung	-
Streckencharakteristik	-	Kurvigkeit
Verkehrsstärke	DTV	DTV

Veränderungen des Querschnitts, die eine Einordnung des Abschnitts in eine andere Gruppe zur Folge haben, erfordern zwangsläufig eine Abschnittstrennung. Eine Erläuterung zu weiteren Kriterien der Abschnittstrennung aufgrund der Querschnittsbestandteile enthält Anhang B.

Die Beachtung der V_{zul} durch die Verkehrsteilnehmer und damit ihrer Wirkung auf die Verkehrssicherheit ist an die Ausprägung weiterer Merkmale gebunden (BÖSL/SPAHN 2010, ZIERKE 2010). Daher ist der V_{zul} nur ein indirekter Einfluss auf den Sicherheitsgrad zu unterstellen. Ob und in welchem Umfang eine Beschränkung der V_{zul} auf Abschnitten mit einer $V_{zul} < 100$ km/h zu einer Verringerung der gefahrenen Geschwindigkeiten beiträgt, hängt stark von der Örtlichkeit ab. Die Abschnittsbildung nach Höhe der V_{zul} erlaubt partiell eine Quantifizierung des mutmaßlichen Einflusses auf die Verkehrssicherheit. Aus BÖSL/SPAHN (2010) und MAIER et al. (2013) ist bekannt, dass die Beschränkung der V_{zul} häufig eine reaktive Maßnahme für Bereiche mit erhöhtem Unfallrisiko darstellt. In MAIER et al. (2013) wurde für das in dieser Untersuchung zugrunde liegende Kollektiv für Abschnitte mit einer $V_{zul} < 70$ km/h eine gegenüber dem Restkol-

ektiv höhere UR ermittelt. Abschnitte mit einer niedrigeren V_{zul} in einer von beiden Fahrtrichtungen werden daher in der Auswertung nicht mit berücksichtigt, da es sich hier meist um Netzabschnitte handelt, die aufgrund auffälliger Besonderheiten des näheren Umfelds, der Infrastruktur oder eines deutlich erhöhten Unfallgeschehens nicht der typischen außerörtlichen Streckencharakteristik entsprechen. Es werden Änderungen in der Höhe der V_{zul} als Anteil an der Streckenlänge nach folgenden drei Stufen erfasst:

- $70 \text{ km/h} \leq V_{zul} < 100 \text{ km/h}$
- $V_{zul} = 100 \text{ km/h}$
- $V_{zul} > 100 \text{ km/h}$

Das Verbot der Fahrbahnnutzung durch den Radverkehr wird direkt durch die Zeichen Z 254 StVO (Verbot für Radverkehr) und Z 331 StVO (Kraftfahrstraße) verdeutlicht. Indirekt weist die Anlage eines Radwegs neben der Fahrbahn auf das Ausweichen der Rad Fahrenden in den Seitenraum hin. Die genannten Merkmale sind Bestandteile in der (linienhaften) Erfassung und Beschreibung der Streckencharakteristik. Eine Abschnittsteilung anhand dieser Kriterien erfolgt nicht.

Für die Wahl der Geschwindigkeit freifahrender Kfz ist die Kurvigkeit als relevante Größe anzusehen. Da die Unfallschwere mit der gefahrenen Geschwindigkeit korreliert, stellt eine Abschnittseinteilung anhand der Kurvigkeit ein probates Vorgehen dar, um den Einfluss der Geschwindigkeit zu berücksichtigen. Es wird in Anlehnung an BAKABA (2002) die Abwicklung der kumulierten Richtungsänderung über die Streckenlänge hinzugezogen, um Abschnitte mit unterschiedlicher Kurvigkeit gegeneinander abzugrenzen. Somit wird die Ausprägung der Kurvigkeit wesentlich differenzierter berücksichtigt. Die letztendliche Streckentrennung erfolgt anhand einer visuellen Bewertung der Streckenabschnitte bezüglich auffälliger Wechsel in der Summenlinie (Abbildung 3-10).

Nach EBERSBACH (2006) sind Straßen in Bereiche ähnlicher Streckencharakteristik und Singularitäten zu unterscheiden. Elemente die Singularitäten entsprechen, sind gegenüber den benachbarten Abschnitten beim Befahren durch eine deutliche Reduzierung der Geschwindigkeit oder höherer Querbeschleunigung gekennzeichnet. Singularitäten lassen sich über die Eigenschaften des Lageplans erkennen. Da es sich bei den Elementen häufig um Kurven mit sehr engen Radien handelt, ist zu vermuten, dass diese Bereiche u. U. ein höheres Unfallgeschehen aufweisen. Um einen möglichen Zusammenhang zwischen Singularitäten und Unfallgeschehen zu erklären, werden diese als die Strecke beschreibendes Merkmal erfasst. Sie dienen nicht zur Abschnittsteilung der Strecke.

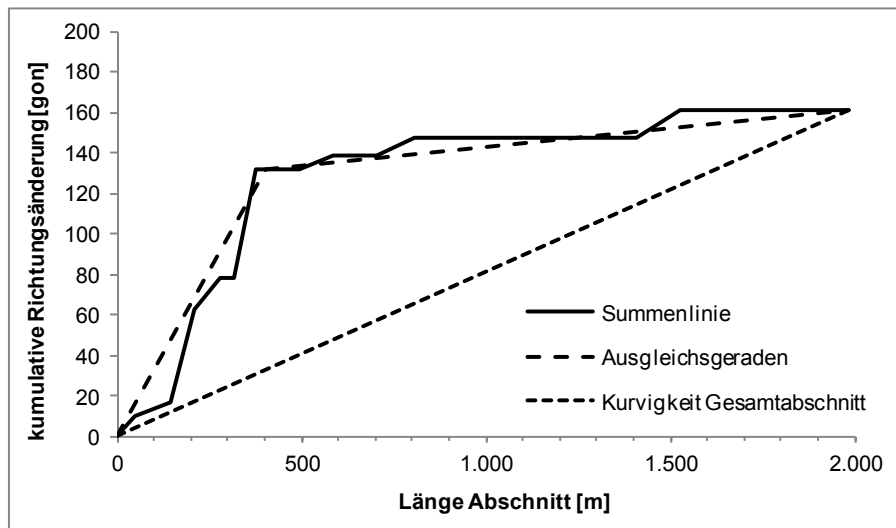


Abbildung 3-10: Beispiel Trennung Streckenabschnitt auf Basis der kumulierten Richtungsänderung

Ein weiteres Kriterium für die Trennung von Abschnitten liegt vor, wenn Netzknottenabschnitte für verschiedene Bereiche Verkehrsaufkommen aufweisen, die eine Differenz größer 10 % zueinander besitzen.

3.5 Klassifizierung und Bewertung der Verkehrssicherheit

3.5.1 Beschreibung Grundunfallkenngrößen

Sowohl im aktuellen Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) als auch in den „Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen ESN“ (FGSV 2003) beschreibt die Definition der Grundunfallkostenraten (gUKR) einen in allen Einzelheiten richtliniengerechten Ausbau des Netzelements zu erreichenden Sicherheitsgrad. Der Begriff „richtliniengerecht“ steht dabei in Zusammenhang mit den aktuell gültigen Regelwerken. Darunter ist die Ausbildung eines Netzabschnitts unter Berücksichtigung der entsprechenden Entwurfsparameter zu verstehen. Als gUKR wurde von einem Expertengremium das 30 % Quantil der beobachteten, in den EWS (FGSV 1997) vorliegenden, Unfallkostenraten definiert. Daraus und aus den Vorüberlegungen zur Arbeit ergeben sich folgende Fragen und Sachverhalte:

- Wie ist die sichere Gestaltung einer Straßenverkehrsanlage zu definieren?
- Die bisherige Quantifizierung der gUKR beruht auf einer Abschätzung, ist bisher nicht verifiziert und kann einem richtliniengerechten Ausbau nicht gleichgesetzt werden. Die gUKR sind aufgrund der zeitlichen Entwicklung und strukturellen Verschiebungen des Unfallgeschehens als überholt anzusehen.
- Es gibt keine gUKR für unterschiedliche Landstraßenquerschnitte.

- Aus verschiedenen Quellen ist bekannt, dass der Einfluss der Verkehrsstärke nicht zwingend linear ist (ZEGEER et al. 1987, MIAOU 1996, MAIER et al. 2013).
- Ist die Angabe einer vom Verkehrsaufkommen, wie im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) enthalten, unabhängigen gUKR sinnvoll?
- In welcher Größenordnung wirken sich Abweichungen vom richtliniengerechten Entwurf auf die Unfallkenngrößen aus?

Mit der Ermittlung von Grundunfallkostenraten für Streckenabschnitte von Landstraßen setzten sich in jüngerer Zeit nur VIETEN et al. (2010) auseinander. Sie wählen einen Ansatz, über die Häufigkeitsverteilung der Unfallraten für $U(P, SS)$ mittels einer Kerndichteschätzung die Grundunfallkostenrate zu bestimmen. Es werden die Annahmen getroffen, dass die Verteilung der Unfallraten einer Normalverteilung entsprechen, wobei der Großteil der nicht richtliniengerechten Strecken ähnliche Unfallraten wie richtliniengerechte Strecken aufweist (VIETEN et al. 2010). Lediglich nur für einen geringen Teil nicht richtliniengerechter Strecken werden Unfallraten deutlich oberhalb des Erwartungswertes vermutet. Inwiefern Strecken im Kollektiv als richtliniengerecht einzustufen sind, ist aufgrund der Datelage nicht zu bestimmen. Grundlage der Kollektiveinteilung bildet die Zuordnung der Streckenabschnitte nach dem Querschnitt. Eine Beurteilung weiterer Merkmale erfolgt nicht. Das Verfahren hat die Randbedingung, dass Defizite nicht zwangsläufig zu einer Absenkung der Verkehrssicherheit beitragen. Die Einschätzung, dass die Grundunfallrate bei der gewählten Methode tendenziell überschätzt wird, ist richtig, jedoch ist keine Aussage über die Quantität der Überschätzung möglich, da der Anteil nicht richtliniengerechter Strecken im Kollektiv unbekannt ist. Aus der Kerndichtefunktion werden durch die Methode der kleinsten Quadrate Funktionen in Anlehnung an die Normalverteilung generiert, deren Erwartungswert μ dem am häufigsten aufgetretenen Wert entspricht und mittels χ^2 -Test auf eine Normalverteilung geprüft. Als Empfehlung für die Höhe der gUKR werden von VIETEN et al. (2010) die Verwendung des Erwartungswerts μ angegeben, der für die Unfallrate freier Strecken Quantilen zwischen 37,5 und 47,9 % aufweist.

Es wird deutlich, dass die gewählte Definition der gUKR eine theoretische Größe ist. Die nominale Festlegung der gUKR setzt Kenntnisse über die Wirkung aller strukturellen Merkmale auf die Verkehrssicherheit als auch eine klare Festlegung darüber voraus, in welcher Art und Weise Merkmale als richtliniengerecht betrachtet werden können. Da sowohl die Identifikation als auch Definition bezüglich der Regelkonformität nicht für alle einflussnehmenden Merkmale zu erzielen ist, stellt die Berechnung der Unfallkenngrößen nach eigenem Ansatz im Modell nur eine Annäherung an die

Zielgröße dar. Folgende Umstände zeichnen für diese Abweichungen verantwortlich:

- Ein signifikanter Nachweis der Wirkung auf die Verkehrssicherheit ist aufgrund des sehr seltenen Auftretens bestimmter Merkmale nicht möglich.
- Das Auftreten eines zu erklärenden Merkmals korreliert erheblich mit einer weiteren Größe. Die kausale Ermittlung der Wirkung des Einzelmerkmals ist nicht möglich.
- Das Auftreten eines zu erklärenden Merkmals korreliert erheblich mit einer weiteren unbekanntem Größe und stellt somit nur einen Stellvertreter dar. Auch in diesem Fall ist eine exakte Wirkungsermittlung nicht möglich.
- Es gibt weitere Merkmale, die bisher unbekannt sind und/oder in den Modellen nicht Berücksichtigung finden.
- Merkmale, die nicht unmittelbar Eigenschaften der Verkehrsanlage oder des näheren Umfelds darstellen, aber einen Einfluss auf das Unfallgeschehen besitzen, bleiben unberücksichtigt. Dazu zählen u. a. regionale Besonderheiten. Häufig stellen die Merkmale Stellvertreter dar, deren ursächliche Wirkung durch die Untersuchungsmethodik nur unzureichend zu beschreiben gelingt.
- Das Auftreten eines Merkmals führt zu einer Zunahme der Verkehrssicherheit, widerspricht aber nicht den aktuellen Regelwerken (bspw. permanentes Überholverbot).

Daher gelingt nur eine Annäherung an die nach ESN (FGSV 2003) bzw. BARK et al. (2008) definierten gUKR. Aus dieser Überlegung heraus wird im weiteren Vorgehen von der Ermittlung der Sicherheitskenngröße „Grundunfallkostenrate -ähnlich“ ($gUKR_{\bar{A}}$) gesprochen. Die aus den Modellen ermittelten Unfallhäufigkeiten beinhalten die Basis für eine weitere Berechnung der $gUKR_{\bar{A}}$. Die Modelle schätzen die zu ermittelnde Kenngröße in Abhängigkeit der verwendeten Modellparameter ab.

Nach den ESN (FGSV 2003) bzw. BARK et al. (2008) setzt sich die für ein Netzelement zu ermittelnde UKR aus einem unvermeidbaren Teil (gUKR) und einem vermeidbaren Teil (zUKR) zusammen. In der Praxis ist der Übergang zwischen beiden Bestandteilen bisher durch fehlende Festlegungen, u. a. zu Aspekten der Seitenraumgestaltung, nicht immer exakt abzugrenzen. Die in Abbildung 3-11 dargestellte Gegenüberstellung von gUKR nach dem Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) und der $gUKR_{\bar{A}}$, verdeutlicht den Unterschied zwischen beiden Grundunfallkenngrößen bezüglich der Bestandteile der Grundunfallkostenrate und den Zuschlägen.

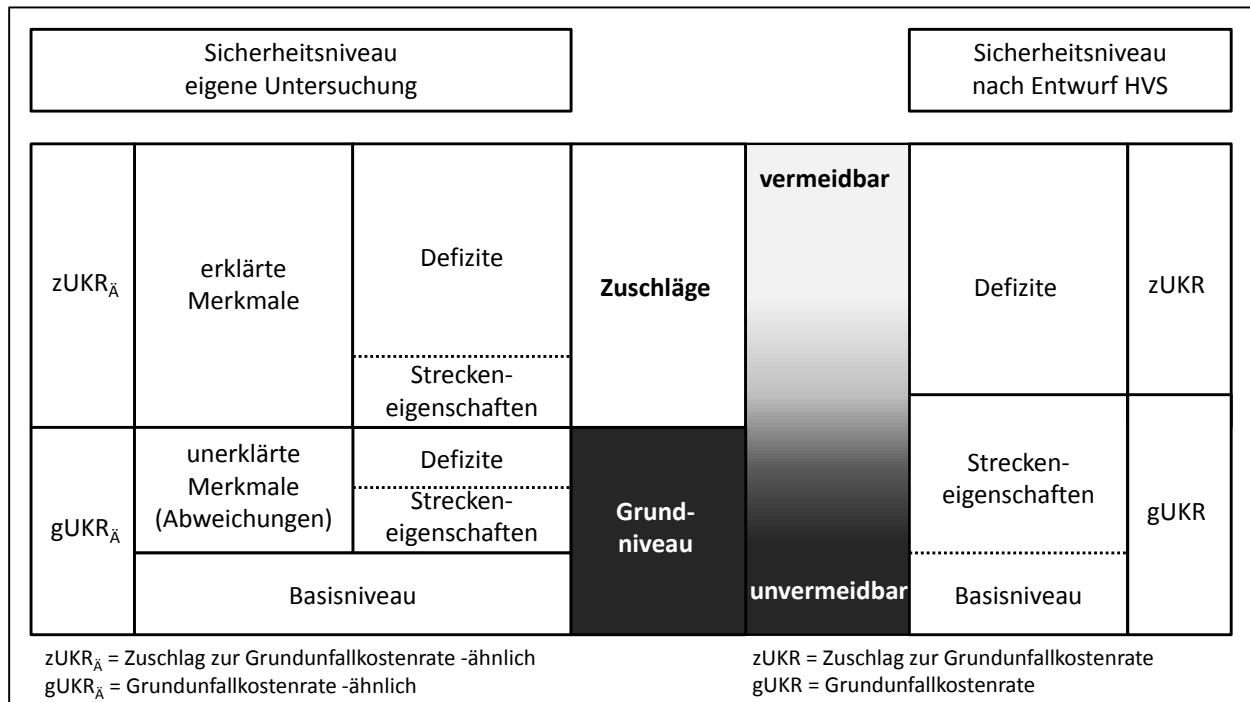


Abbildung 3-11: Gegenüberstellung Zusammenhang Sicherheitsniveau nach eigener Untersuchung und dem Entwurf des HVS (BARK et al. 2008)

Sowohl gUKR als auch gUKR_A enthalten ein Basisniveau – entspricht dem Anteil des unvermeidbaren Unfallgeschehens – als auch einen weiteren Teil des Unfallgeschehens. Unter der Voraussetzung, dass die im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) aufgeführten Zuschläge alle strukturellen Defizite enthalten, entspricht dieser letztgenannte Anteil in den gUKR weiteren Streckeneigenschaften. Aufgrund der bisherigen Abschätzung der gUKR anhand eines beobachteten Kollektivs – ohne Berücksichtigung spezifischer Eigenschaften – ist eine Aufschlüsselung der gUKR in Streckeneigenschaften und Basisniveau nicht möglich.

Die Zusammensetzung der unerklärten Merkmale in der gUKR_A ist verschieden. Defizite beschreiben erkennbare Abweichungen von dem zugrunde liegenden richtliniengerechten Ausbau (Entwurfsparametern) des Bewertungsfalles. Streckeneigenschaften hingegen weisen zwar unmittelbar einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit auf, besitzen aber keine eindeutige Definition bezüglich eines Grenzwerts, um als Defizit berücksichtigt zu werden. Im Falle der gUKR_A beinhaltet der Anteil ungeklärter Merkmale systematische Streuung im Unfallgeschehen. Diese ist auf noch nicht identifizierte Defizite als auch Streckeneigenschaften zurückzuführen.

Die Definition einer Grundunfallkostenrate umfasst somit ein nicht vermeidbares Niveau des Unfallgeschehens zuzüglich eines als akzeptabel erachteten Niveaus, resultierend aus den Streckeneigenschaften. Als unvermeidbar ist der Teil des Unfallgeschehens anzusehen, dessen Ursachen nicht

unmittelbar mit der Gestaltung und dem Betrieb der Verkehrsanlage im Zusammenhang stehen oder durch diese beeinflussbar ist. Dieser Teil wird als Basisniveau definiert.

Während $zUKR_{\bar{A}}$ lediglich Zuschläge auf Basis von Defiziten darstellen, umfassen $zUKR_{\bar{A}}$ darüber hinaus auch Zuschläge bezüglich identifizierter Streckeneigenschaften. Jegliche erklärte Merkmale stellen Zuschläge zur $gUKR_{\bar{A}}$ dar. Im Rahmen der Modellbildung zur Darstellung der Unfallhäufigkeiten im Sinne von $gUKR_{\bar{A}}$ und $zUKR_{\bar{A}}$ gelten daher folgende Sachverhalte:

- Die $gUKR_{\bar{A}}$ und $zUKR_{\bar{A}}$ lassen sich sinnbildlich über den Prädiktor, unterteilt in die Bestandteile Exposition bzw. exponentieller Term, in den verwendeten Modellen beschreiben. Die im exponentiellen Term aufgeführten Variablen (Merkmale) stellen erklärende Defizite und Streckeneigenschaften und in ihrer Summe Zuschläge zur $gUKR_{\bar{A}}$ dar. Der gewählte Variablentyp im Modell bestimmt dabei die Wirkung und Ausprägung der einzelnen Merkmale.
- Bleiben in einem Modell alle Einflussgrößen des exponentiellen Terms unberücksichtigt bzw. geht dieser Term mit der Größenordnung „1“ ein, stellt das Resultat den mittleren Erwartungswert des verbliebenen Unfallgeschehens dar. Diese ermittelte und volkswirtschaftlich bewertete Unfallhäufigkeit entspricht der $gUKR_{\bar{A}}$. In Abhängigkeit der Erklärungsgüte der Einzelmodelle liegt die resultierende $gUKR_{\bar{A}}$ über dem Basisniveau.
- Das Niveau der $gUKR_{\bar{A}}$ ist abhängig von der Güte der Varianzerklärung. Gelingt es, den gesamten Anteil systematischer Varianz durch Variable abzubilden, welche Zuschläge darstellen, entspricht das verbliebene Unfallhäufigkeitsniveau i. d. R. unter Berücksichtigung der Randbedingungen (Kollektivgröße) modelltheoretisch dem Basisniveau der $gUKR_{\bar{A}}$. Demzufolge umfassen die $gUKR_{\bar{A}}$ bei nicht vollständiger Erklärung des Modells einen Anteil systematischer Streuung, der auf der fehlenden Identifikation weiterer Merkmale beruht.
- Im System der $gUKR_{\bar{A}}$ und den $zUKR_{\bar{A}}$ in Anlehnung an den Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) finden lediglich Zuschläge – Merkmale, die zu einer Erhöhung der Unfallhäufigkeit führen – Berücksichtigung. Dies hat im Umkehrschluss zur Folge, dass die Ausprägung von Merkmalen, denen eine positive Wirkung auf die Verkehrssicherheit attestiert wird, bei dieser Vorgehensweise nicht oder nur indirekt in das Modell einfließt.

3.5.2 Modellstruktur

In allen Modellen ist die Unfallanzahl die abhängige Variable. Unfallhäufigkeit und Unfallschwere stellen normative Kenngrößen der Verkehrssicherheit dar. Für eine volkswirtschaftliche Bewertung von Defiziten ist die Kenntnis darüber von Belang, in welcher Art und Weise Defizite die Unfallhäufigkeit und Unfallschwere beeinflussen. Um gezielte Aussagen zur Wirkung von Defiziten zu erhalten, die zu einer hohen Repräsentativität der Ergebnisse beitragen, ist eine Differenzierung des Unfallgeschehens notwendig. Die Unfallschwere, beschrieben über die Unfallkategorie und dementsprechende Unfallkostensätze, charakterisiert aus monetärer Sicht das maßgebende Kriterium für eine exakte Abbildung von Unfallkosten. Jedoch weist sie keinen direkten Zusammenhang zu Defiziten einer Verkehrsanlage bzw. begünstigende Faktoren auf. Vielmehr umschreibt sie die Unfallfolgen, die auf Eigenschaften der Verkehrsanlage oder Besonderheiten des Verkehrsablaufs zurückzuführen sind. Eine engere Anlehnung an diese Merkmale erlaubt die Klassifizierung des Unfallgeschehens nach dem Unfalltyp. Dieser beschreibt die auslösende Konfliktsituation des Unfalls (FGSV 2012B). So steht bspw. der Typ 1 (Fahrerunfall) häufig in Zusammenhang mit dem Verlust der Fahrzeugkontrolle aufgrund fehlerhafter Einschätzung des Straßenverlaufs. Voraussetzung für eine typbasierte Vorgehensweise ist die Verwendung unfalltypenbezogener Kostensätze. Für eine exakte Beschreibung der Wirkung von Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen, stellt die Gliederung des Unfallgeschehens nach sinnvoll zusammengefassten Unfalltypen und Unfallkategorien theoretisch den zielführendsten Ansatz dar. Dies wird durch die Literatur bestätigt (MIAOU 1996, PARDILLO-MAYORA et al. 2010). Der Ansatz gewährleistet eine ausreichende Anerkennung von Einflussgrößen, die lediglich die Unfallhäufigkeit beeinflussen – bspw. Abweichung von der Relationstrassierung für den Typ 1 – oder deren Wirkung lediglich auf die Unfallschwere beschränkt ist – bspw. passive Schutzeinrichtung.

Unfälle der Kategorie 1 und 2 stellen ein sehr seltenes Ereignis dar. Ein hoher Anteil der Abschnitte weist über die fünfjährige Betrachtungszeit keine U(SP). Unfälle der Kategorie 1 bis 3 werden daher im Kollektiv U(P) vereint. Aus Kapitel 3.3.7 wird die Bedeutung für die Unfalltypen 1 und 6 innerhalb der Unfallkategorien 1 bis 4 deutlich. Für beide Unfalltypen liegt eine getrennte Bewertung nahe. Die verbliebenen Unfalltypen liegen im Kollektiv „Andere (A)“ zusammengefasst vor. Trotz des gewählten Vorgehens besteht ein möglicher Nachteil dieser Methode darin, dass die Unterteilung des Unfallgeschehens partiell zu feingliedrig gerät. Die stellenweise geringe Besetzung von Kollektiven beinhaltet die Problematik des „low-

mean-values“. Dahinter verbirgt sich die Gefahr, dass GLM für abhängige Variablen mit einem Mittelwert kleiner 0,3 mitunter eine nicht zutreffende hohe Anpassungsgüte (geringe systematische Streuung) ausweisen (MAHER/SUMMERSGILL 1996, YE et al. 2011). Demzufolge weisen wenige Variable irrtümlicherweise einen hohen Erklärungsanteil des Modells aus und lassen Raum für Fehlinterpretationen. Es gilt, die Ansprüche an eine hohe Detaillierungsgenauigkeit der Einflussfaktoren gegenüber den Anforderungen des gewählten Verfahrensansatzes mit GLM abzuwägen.

Als Folge dieser Randbedingungen erfolgt die Bewertung der Unfallhäufigkeit mit zwei unterschiedlichen Ansätzen. Die Differenzierung nach den Unfallkategorien als eine Variante ermöglicht eine eindeutige Bewertung der Wirkung auf die Unfallschwere (Modelle nach Schwerekatgorie). Es werden für jeden Bewertungsfall Teilmodelle getrennt für

- Unfälle mit Personenschaden (U(P), Kategorie 1 bis 3),
- Unfälle mit schwerem Sachschaden (U(SS); Kategorie 4 und 6) und
- Unfälle mit sonstigem Sachschaden (U(LS), Kategorie 5)

erstellt. Diese Gliederung ermöglicht im weiteren Vorgehen die direkte Anwendung kategorial getrennter Unfallkostensätze. Die einzelnen Teilmodelle erlauben darüber hinaus die unterschiedlichen Gesetzmäßigkeiten für das Auftreten von Unfällen zu beachten. Es ist bekannt, dass sich U(P) seltener als U(S) ereignen. Die Zusammenfassung im Kollektiv U(P) lässt später keine separate Bewertung der sich in volkswirtschaftlichen Kosten deutlich unterscheidenden Kategorien 1 bis 3 mehr zu. Ein möglicher Vergleich der Anteilswerte der Unfallkategorien 1 bis 3 unterliegt Einschränkungen aufgrund der streckenspezifischen Eigenschaften eines Bewertungsfalles. Diese Unschärfe erfährt durch die Verwendung angepasster Unfallkostensätze nach Verunglücktenstruktur eine Minderung. Weiterhin zeichnet die Unfallschwere weniger für die Wahrscheinlichkeit von Unfällen, sondern mehr für die Randbedingungen wie Geschwindigkeit oder Gestaltung des Seitenraums verantwortlich.

Ansatz zwei verfolgt die Bewertung auf Basis des Unfalltyps und stellt einen engeren Bezug zu den Konfliktsituationen her (Modelle nach Unfalltyp). Da die Unfalltypenstruktur der U(LS) gegenüber den restlichen Unfallkategorien deutlich abweicht – Dominanz des Typs 7 – und diese Kategorie nicht für alle Bundesländer vorliegt, erscheint eine unfalltypenfeine Betrachtung über alle Unfallkategorien nicht zielführend. Folgende Kollektive werden nach Bewertungsfall für die zusammengefassten Kategorien 1 bis 4 und 6 differenziert:

- Unfälle des Typs 1 (Fahrunfall)

- Unfälle des Typs 6 (Unfall im Längsverkehr)
- Andere Unfälle (alle Typen ausschließlich Typ 1 und 6)

Die Kollektiveinteilung beider Ansätze enthält Tabelle 3-11. Die Modellergebnisse sind gegenüberzustellen und für eine weiterführende Anwendbarkeit zu prüfen.

Tabelle 3-11: Differenzierung Bewertungsfall nach Unfalltyp und/oder Unfallkategorie (Schwere)

		Differenzierung nach Unfallkategorie		
		U(P)	U(SS)	U(LS)
Differenzierung nach Unfalltyp	1	●	●	●
	6	●	●	●
	A	● ● ●	● ● ●	● ● ●

Für U(LS) entspricht die Bewertung dieser Kategorie dem Verfahren nach dem Ansatz der Unfallschwere. Der Ansatz nach Unfalltyp, bei dem zu jedem Bewertungsfall i. d. R. vier Teilkollektive (Teilmodelle) vorliegen, erfordert eine Anpassung der Unfallkostensätze nach Unfalltyp. Für die jeweiligen Unfalltypen gehen die Anteile für Unfälle mit Personen- und Sachschaden gewichtet in einen gemeinsamen $KS_{a,Typ}$ ein. Somit wird eine Differenzierung der Unfallschwere nach Unfalltyp gewährleistet. Die Ermittlung eines mittleren Kostensatzes über mehrere Unfallkategorien führt zu Abweichungen bei der Betrachtung der Schwerestruktur im Einzelfall (Anhang D.2, Gl. 28). Im Falle der Modelle nach Unfalltyp erfordern geringe Unfallzahlen u. U. die Vereinigung von Unfalltypen (-gruppen) (Tabelle 3-12).

Tabelle 3-12: Zusammensetzung der Unfalltypengruppen für U(P, SS)

Name der Gruppe aggregierter Unfalltypen	Unfalltypen innerhalb der Gruppe	Unfalltypen außerhalb der Gruppe
Andere (A)	2, 3, 4, 5, 7	1, 6
Restliche (R)	2, 3, 4, 5, 6, 7	1
Verbliebene (V)	1, 2, 3, 4, 5, 7	6

Die Abbildung der $gUKR_{\bar{A}}$ eines Netzelements beruht auf der Kumulation aller Teilmodelle eines Ansatzes. Es ist zu klären, ob die aus den überlagerten Modellen abgeleitete Wirkung verallgemeinert werden kann oder systematischen Abweichungen unterliegt. Speziell eine differierende Modellanzahl in verschiedenen Ansätzen schränkt die Bewertung erheblich ein. Es ist

ungewiss, ob bspw. der Ansatz mit einer umfangreichen Modellanzahl und jeweils hoher Modellgüte oder der Ansatz mit wenigen Modellen und mit geringerer Güte in Summe zu einer geeigneten Erklärung des Gesamtzusammenhangs beiträgt.

Der Quotient aus Pearson- χ^2 und Freiheitsgraden (df) für Poisson-Modelle als auch das AIC erlauben zwar die Güteprüfung von Einzelmodellen, lassen aber aufgrund unterschiedlicher Kollektivgrößen nur eingeschränkte bzw. keine modellübergreifende Interpretation der Qualität von Variante zu. Zeigen alle Teilmodelle eines Ansatzes eine Differenz des Quotienten χ^2/df um den Wert eins, lässt sich eine allgemeine Anwendbarkeit des Ansatzes unterstellen. Da der überwiegende Teil der Modelle Überdispersion in unterschiedlicher Größenordnung aufweist, sind Aussagen anhand des χ^2/df nicht möglich.

Die Anordnung der kumulierten Residuen aller Teilmodelle in Plots gibt Auskunft darüber, ob die Bedingung der Homoskedastizität erfüllt ist oder systematische Abweichungen für bestimmte Ergebnisbereiche vorliegen (HAUER/BAMFO 1997). Getrennt für die Ansätze nach Schwerekategorie und Unfalltyp erfolgt die Bewertung der Residuen über die Verkehrsstärke für U(P, SS), um Erkenntnisse zur Qualität des Ansatzes zu erhalten. Darüber hinaus gibt die Berechnung des RMSE (Root Mean Square Error) Auskunft über die mittlere Abweichung zwischen beobachtetem und berechnetem Unfallgeschehen.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{beob} - x_{ber})^2} \quad \text{Gl. 8}$$

RMSE Root Mean Square Error

n Anzahl Fälle

x_{beob} beobachteter Wert

x_{ber} berechneter Wert

i Index der Betrachtungsfälle

Neben der Berücksichtigung modellbezogener Bewertungen, die den Erklärungsanteil systematischer Varianz, die Güte der Modelle bezüglich der Residuen, die Anzahl und Qualität identifizierter Einflussgrößen umfassen, sind ebenso pragmatische Überlegungen, ferner die praktische Handhabbarkeit für ein späteres Verfahren in Überlegungen einzubeziehen. Dabei steht neben modelltheoretischen Überlegungen auch die Verknüpfung kausaler Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung des Unfallgeschehens im Vordergrund.

Bezüglich der Modellbildung ist hinsichtlich der Netzelemente FS und EB in die jeweiligen Bewertungsfälle zu unterscheiden. Ziel dieser Differenzierung ist die qualitative und quantitative Wirkungsbeschreibung autarker Merkmale.

EB nehmen eine Sonderstellung bei der Betrachtung eines Netzabschnitts ein. Sie obliegen sowohl Einflussfaktoren der FS als auch der Art des Übergangs. Um diesen Aspekt Rechnung zu tragen, erfordert die Modellerstellung die Berücksichtigung maßgebender Kriterien der Übergangsart in Verknüpfung mit der sich anschließenden Streckencharakteristik. Die bisher getroffene Klassifizierung der EB dient als Grundlage für die Quantifizierung der längenmäßigen Ausdehnung selbiger. Die endgültige Vorgehensweise und Zusammenführung geeigneter Modellkollektive zur Beschreibung der Verkehrssicherheit von EB beruht auf den Ergebnissen der Netzeinteilung in Kapitel 4 und der in Kapitel 6.1 dargestellten Methodik.

Für FS entspricht die Segmentierung „Bewertungsfall“ denen der Querschnitte, womit ein unmittelbarer Bezug zu den Bewertungsfällen nach EKL im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) hergestellt wird. Die unter Umständen notwendige Zusammenfassung verschiedener Querschnitte hat dementsprechende Einschränkungen zur Folge:

- Es können lediglich Variablen berücksichtigt werden, die über alle Querschnitte eine ähnliche Wirkung aufweisen. Die Wirkung von Variablen kann durch deutliche Unterschiede der Querschnittsanteile im Kollektiv mitunter verzerrt werden. Dieser Effekt kann u. U. durch konstruierte Größen, deren Ausprägung nur für bestimmte Querschnitte gelten, oder einer Gewichtung behoben werden. Eine Verzerrung der zugrunde liegenden Daten wäre die Folge.
- Es sind nur Variablen zu berücksichtigen, die in den einzelnen Kollektiven eine ähnliche Ausprägung besitzen. Der Mann-Whitney-U-Test gibt darüber Auskunft, ob zwei unabhängige Stichproben der gleichen Grundgesamtheit entstammen. Aussagen zur vorliegenden Spannbreite bietet der Test nach Moses.
- Die Differenzierung verschiedener Querschnitte gelingt in der Regel nur anhand kategorialer Variablen.
- Variablen, deren Auftreten je nach Querschnitt von baulichen oder verkehrstechnischen Randbedingungen bestimmt werden oder nur teilweise erhoben vorliegen (bspw. Anordnung Überholverbot durch Z 276 StVO), sind ebenfalls auszuschließen oder anzupassen. Dies schränkt die Anzahl mutmaßlicher Einflussgrößen ein.
- Die Wirkung selten besetzter Variablen, deren Einfluss auf ein Teilkollektiv begrenzt ist, unterliegt eventuell einer Verschleierung. Die Vari-

able wird als solches nicht identifiziert oder durch andere erklärt (TAYLOR et al. 2002).

Da nicht für alle Bundesländer die Unfallkategorie 5 vorliegt, ist für U(LS) des Q 3FS keine separate Modellbildung möglich. Um eine komplette volkswirtschaftliche Bewertung des Bewertungsfalles zu gewährleisten, erfolgt unter Verwendung des Q 2FS die Ermittlung eines Modells für U(LS) (kurz EBMS), mit einer kategorialen Trennung der Querschnitte.

Gegenüber der allgemeinen Vorgehensweise liegen folgende Besonderheiten bei der Modellbildung zur Beschreibung $gUKR_{\bar{A}}$ vor:

- Aus der getroffenen Annahme, dass das Unfallgeschehen von der Abschnittslänge linear abhängt, folgt, dass die Abschnittslänge im Offset-Term der damit längenproportionalen Modelle Berücksichtigung findet.
- In der schrittweisen Auswahl von Variablen liegt das Augenmerk darauf, Variablen aufzunehmen, die zu einem Anstieg der Unfallhäufigkeit bzw. Unfallschwere führen und somit als Defizit deklariert werden können. Dazu zählen u. U. Variablen, die eine Erhöhung der Unfallhäufigkeit zur Folge haben, aber im engeren Sinne richtliniengerechten baulichen oder verkehrsrechtlichen Streckeneigenschaften (bspw. Trennung der Fahrtrichtungen durch unterbrochene Leitlinie Z 340 StVO) entsprechen.
- Variablen, die zu einer Abnahme der Unfallhäufigkeit führen, sind durch entsprechend gegengleiche Variablen zu ersetzen. Besteht dahingehend keine Möglichkeit bleibt die Variable im Verfahren zur Bildung der $gUKR_{\bar{A}}$ unberücksichtigt. Dann entspricht deren Ausprägung im Streckenkollektiv einem Bestandteil der unerklärten Merkmale. Als Beispiel soll die linienhaft erfasste Variable „Passive-Fahrzeug-Rückhaltesysteme (PSE)“ dienen. PSE haben eine Verringerung der Unfallschwere und im geringen Maße der Unfallhäufigkeit zur Folge. Ergo weist die entsprechende Variable im Prädiktor einiger Teilmodelle einen negativen Koeffizienten auf – Verringerung der Unfallhäufigkeit. Aus dem Modellergebnis ließe sich ableiten, dass der umfassende Einsatz von PSE eine geringere Unfallhäufigkeit nach sich zieht. Jedoch leitet sich die Wirkung der PSE aus ihrem Einsatz nach den RPS (FGSV 2009) für Bereiche mit besonderem Schutzbedarf Dritter oder der Fahrzeuginsassen ab. Demgegenüber steht die Forderung einer hindernisfreien Seitenraumgestaltung. Prinzipiell gilt, dass Bereiche mit hindernisfreiem Seitenraum gegenüber Abschnitten mit PSE – unabhängig von dahinter liegenden Gefahrenstellen – eine höhere Verkehrssicherheit haben. Diese Randbedingungen erschweren eine klare Einordnung der Variable PSE in den Modellen. Für die Variable PSE

- wir die An-nahme getroffen, dass deren Einsatz nach den Anforderungen der RPS (FGSV 2009) erfolgt. Die $gUKR_{\bar{A}}$ beinhaltet somit den richtliniengerechten Einsatz von PSE.
- Mit wenigen Ausnahmen enthält der Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) überwiegend dichotome Abgrenzungen zur Beschreibung von Defiziten. Um eine praxisnahe Handhabung zu gewährleisten, soll das Modell für geeignete Merkmale kategoriale, anstelle stetiger, Variablen aufweisen. Entsprechend ist die Klassifizierung stetiger Variablen zu prüfen. Die Klassenfestlegung einer Variable orientiert sich am höchsten Erklärungsanteil der Varianz im Modell, sachlogischer Überlegungen und den Angaben aus dem Entwurf des HVS (BARK et al. 2008).
 - Für die Modellbildung steht die Anwendung plausibler Variablen im Vordergrund. Im Rahmen der Modellbildung werden auch Aggregationen von mehreren Variablen geprüft – bspw. verschiedene Arten von Anschlussknotenpunkten. Diese finden nur Anwendung, wenn sie sachlogisch zur Varianzerklärung beitragen. Diese Kombinationen enthalten in der Regel nur Variablen, die in der Einzelprüfung ebenfalls signifikant zur Varianzerklärung beitragen. Wenn eine Variablenkombination deutlich zur Erklärung des Unfallgeschehens beiträgt und fachlich nachvollziehbar ist, beinhalten diese in Einzelfällen auch Variable, die in der Einzelprüfung ein Signifikanzniveau von 20 % aufweisen.
 - Ferner werden Variablenkombinationen bevorzugt, die für einzelne Bewertungsfälle in den jeweiligen Teilmodellen signifikant in Erscheinung treten. Dies hat zur Folge, dass nicht zwangsläufig das Modell mit der maximalen Erklärung der Varianz das bevorzugte Modell darstellt. Als Grenzwert für gleiche Modellgüte wird eine Differenz des AIC kleiner 10 akzeptiert.
 - Variablen mit punktuellen Merkmalausprägungen werden im Modell über die Dichte, dem Quotient aus Anzahl und Länge je Abschnitt abgebildet. Dabei besteht die Gefahr, dass die Variablen für Streckenabschnitte mit einer Länge $L < 1$ km unverhältnismäßig hohe Dichten aufweisen. Eine mögliche fehlerhafte Modellbildung und Variablendarstellung wäre die Folge. Zur Minimierung dieses Einflusses erfolgt die Normierung aller Variablen mit Dichtebezug für Strecken mit einer Länge $L < 0,5$ km. Die Dichte ermittelt sich für betreffende Abschnitte aus dem Quotient von Anzahl zu einer Länge von $L = 0,5$ km. Durch die Festlegung reduziert sich die Größenordnung auf das Niveau für Abschnitte mit Längen $L > 1$ km (Abbildung 3-12).
 - Für die Merkmale „Abweichung von der Relationstrassierung“ und „Unterschreitung des Mindestradius“ ist bekannt, dass ihr Einfluss auf die Verkehrssicherheit in engem Zusammenhang mit einer nicht erfolg-

ten Anpassung der Geschwindigkeit steht. In Anlehnung an die Bewertung der Geschwindigkeitsprofile und Abschnittseinteilung nach EBERSBACH (2006) gilt die Annahme, dass bei einer hohen Dichte beider genannter Merkmale eine Adaption der Geschwindigkeit durch die Fahrzeugführer erfolgt und kein weiterer Anstieg der Unfallhäufigkeit zu erwarten ist. Daher gilt für beide Merkmale ein Maximum von drei Defiziten je Kilometer für einbahnige Strecken sowie zwei Defizite je Kilometer für zweibahnige Strecken.

- Unfallhäufungen stellen Bereiche des Straßennetzes dar, die durch eine vergleichsmäßig hohe Anzahl an Unfällen gekennzeichnet sind und häufig eine spezielle Charakteristik aufweisen (FGSV 2012B). Da auch hier vielfach strukturelle Defizite der Straßenverkehrsanlage zu einer Abnahme der Verkehrssicherheit beitragen, bleiben Netzelemente mit Unfallhäufungen Bestandteil der Betrachtungen. Eine Identifikation und Separierung von Unfallhäufungen erfolgt nicht.
- Da das Untersuchungskollektiv eine möglichst heterogene Stichprobe des Straßennetzes darstellt, treten mögliche Defizite entsprechend häufig ihrer Verteilung im Straßennetz auf. Dies birgt in der Modellierung die Gefahr, dass Wirkungen, die den selten vorliegenden Defiziten zugeschrieben werden, ursächlich auf anderen Merkmalen beruhen. Neben der Prüfung der Modelleffekte durch verschiedene Kontrollgrößen werden lediglich Variable berücksichtigt, die eine Merkmalausprägung bei mindestens 5 % der Fälle aufweisen.

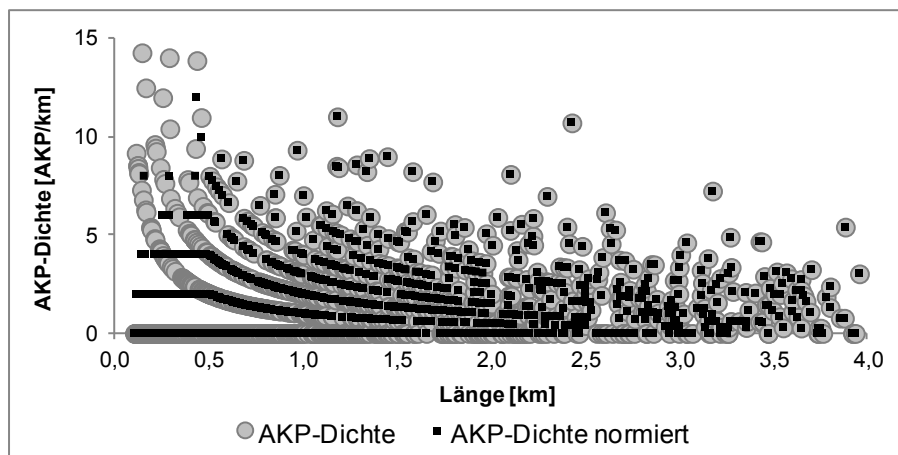


Abbildung 3-12: Beispiel für die Normierung von Dichten punktueller Merkmalausprägungen anhand der Anschlussknotendichte

3.5.3 Volkswirtschaftliche Bewertungsansatz

Mit den Modellen lassen sich Unfallzahlen in Abhängigkeit der Verkehrsstärke und identifizierter Merkmale bestimmen. Sie sind Ausgangslage für die Darstellung von Unfallraten sowie Unfallkostenraten (Abbildung 3-13).

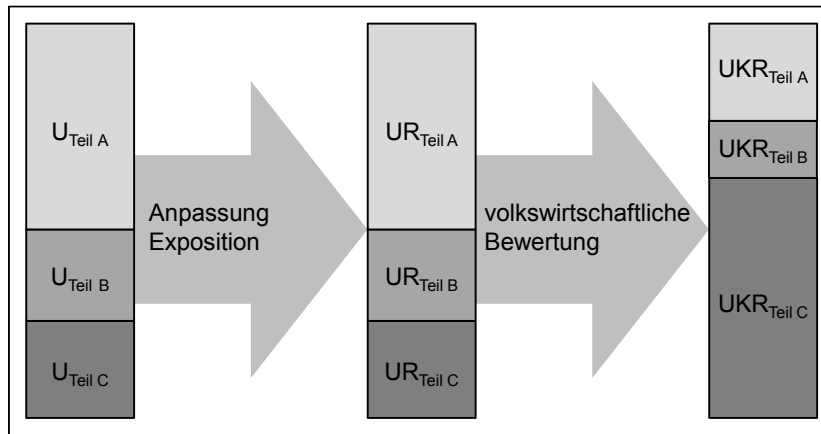


Abbildung 3-13: Volkswirtschaftliche Bewertung auf Basis von Teilmodellen

Da alle längenproportionalen Teilmodelle – Meter als Bezugseinheit – im Offset-Term das Produkt aus Abschnittslänge und Betrachtungszeitraum enthalten und beide Variablen mit der Größenordnung eins eingehen, entspricht der Nenner der Funktion der Exposition für die Unfallrate (Gl. 9). Mit Hilfe der entsprechenden Unfallkostensätze erfolgt die Abbildung volkswirtschaftlicher Kosten. Aus der Addition der einzelnen UKR sind die vollständigen UKR eines Bewertungsfalls darstellbar (Gl. 11).

$$UR_N = \frac{e^k * e^{\sum x_i * \beta_i} * 10^6}{365 * DTV^{(1-\beta_i)}} * 1000 \quad \text{Gl. 9}$$

UR_N Unfallrate für Teilmodell N [U/(10⁶*Kfz*km)]

k Konstante

x_i Variable i

β_i Regressionskoeffizient der Variable i

DTV Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]

$$UKR_N = \frac{e^k * e^{\sum x_i * \beta_i} * 10^3 * KS_N}{365 * DTV^{(1-\beta_i)}} * 1000 \quad \text{Gl. 10}$$

UKR_N Unfallkostenrate für Teilmodell N [€/ (10³*Kfz*km)]

KS_N Kostensatz für Unfälle des Teilmodells N [€]

k Konstante

x_i Variable i

β_i Regressionskoeffizient der Variable i

DTV Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]

$$UKR_{BF} = \sum UKR_N \quad \text{Gl. 11}$$

UKR_{BF} Unfallkostenrate für Bewertungsfall BF [€/ (10³*Kfz*km)]

UKR_N Unfallkostenrate für Teilmodell N [€/ (10³*Kfz*km)]

Grundniveau

Erhalten alle Variablen des exponentiellen Teils (Risikogrößen) eines abgeschlossenen Modells die Größe Null – Merkmalausprägung ist nicht vorhanden – bzw. werden sie vernachlässigt, entfällt die Berücksichtigung der Zuschläge aufgrund von Defiziten oder Streckeneigenschaften bei der Ermittlung der Unfallhäufigkeit. Diese hängt dann allein von der Verkehrsstärke ab. Das resultierende Niveau entspricht dem Grundniveau (GN). In Gl. 12 ist dieser Sachverhalt mit dem verbleibenden Modellterm am Beispiel der UKR dargestellt.

Die vollständige UR_{GN} und UKR_{GN} lassen sich für jeden Bewertungsfall aus der Überlagerung aller Teilmodelle abbilden. Rückschlüsse auf die UKR_{GN} anhand der UR_{GN} sind durch die unterschiedliche Höhe der Unfallkostenätze nicht möglich. Die ΣUKR_{GN} eines Bewertungsfalls entspricht der $gUKR_{\bar{A}}$ (Gl. 13).

$$UKR_{GN,N} = \frac{e^k * 10^3 * KS_N}{365 * DTV^{(1-\beta_i)}} * 1000 \quad \text{Gl. 12}$$

$UKR_{GN,N}$ Unfallkostenraten-Grundniveau für Teilmodell N [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]

KS_N Kostensatz für Unfälle des Teilmodells N [€]

k Konstante

β_i Regressionskoeffizient der Variable i

DTV Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [$\text{Kfz}/24\text{h}$]

$$gUKR_{\bar{A}} = \sum UKR_{GN,N} \quad \text{Gl. 13}$$

$gUKR_{\bar{A}}$ Grundunfallkostenrate (-ähnlich) [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]

$UKR_{GN,N}$ Unfallkostenraten-Grundniveau für Teilmodell N [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]

Die Höhe des DTV-Koeffizienten bestimmt für jedes Modell den Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit. Da sich die Höhe des Koeffizienten für die Teilmodelle eines Bewertungsfalls unterscheiden kann, variieren in einer gemeinschaftlichen Betrachtung die Anteile der Teilmodelle an der Gesamtgröße in Abhängigkeit vom DTV zueinander.

Zuschläge

Der Einfluss erklärender Variablen im exponentiellen Term der Modelle (Risikogrößen) zur Abbildung der Unfallhäufigkeit wird über die jeweiligen Koeffizienten beschrieben. Durch die in Kapitel 3.5.1 getroffene Definition der Zuschläge enthalten die Modelle lediglich Variablen, die eine „vermeidbare“ Erhöhung der Unfallhäufigkeit nach sich ziehen. Es existieren neben

der klassischen Trennung in kategoriale und stetige Variablen auch Kombinationen beider Größen.

Die Modelldarstellung der multiplikativ verknüpften Zuschläge in einer Exponentialfunktion erlaubt eine separate Abbildung jedes einzelnen Zuschlags als Faktor. Dieser entspricht der Auflösung der exponentiellen Schreibweise der kategorialen und stetigen Risikogrößen e^{β} bzw. $e^{\beta \cdot x}$ in eine Dezimalzahl. Durch die ausschließliche Berücksichtigung von Zuschlägen gelten folgende Festlegungen:

- Da kein Regressionskoeffizient eine Größenordnung kleiner Null aufweist – es werden nur Zuschläge betrachtet –, treten Faktoren kleiner eins nicht auf.
- Weist eine Variable den Wert Null auf oder ist die Bedingung für einen Zuschlag durch eine kategoriale Variable nicht erfüllt, ergibt aus e^0 ein Faktor der Größenordnung eins. Dies entspricht dem „Ohne“-Fall.
- Demzufolge führt die Besetzung einer Variable oder kategorialen Bedingung zu einem Faktor größer eins. Hierbei handelt es sich um den „Mit“-Fall.
- Die absolute Höhe des Zuschlags ($zUKR_{\bar{A}}$) ergibt sich aus der Subtraktion von „Mit“- und „Ohne“-Fall.
- Die Darstellung der Höhe des Zuschlags als relativer Anteil im Verhältnis zu einem zugrunde gelegten Ausgangsniveau entspricht der Division von „Mit“- und „Ohne“-Fall abzüglich des Wertes von eins. Die Multiplikation von relativem Anteil und Ausgangsniveau entspricht wieder der absoluten Größenordnung des Zuschlags $zUKR_{\bar{A}}$.

Die absolute Höhe der $zUKR_{\bar{A}}$ wird nach Gl. 14 ermittelt. Eine Darstellung der $zUKR_{\bar{A}}$ als feststehende absolute Einzelbeträge mit Bezug auf die Merkmalausprägung ähnlich dem Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) erscheint zwar aus Sicht einer späteren praktischen Anwendung sinnvoll, jedoch variiert die absolute Höhe der Größe bei einem nicht linearen Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke in Abhängigkeit des DTV. Weiterhin werden dabei Interaktionen mehrerer Defizite untereinander nicht mehr berücksichtigt. Die Darstellung über Faktoren erlaubt darüber hinaus, bei einer praktischen Anwendung eine Abschätzung von Maßnahmenwirksamkeiten angeben zu können.

Wird lediglich nur eine Risikogröße berücksichtigt, entspricht der Quotient von $\Sigma UKR_{M,N}$ und $\Sigma UKR_{O,N}$ abzüglich des Wertes eins dem relativen Anteilswert des Zuschlags $zUKR_{\bar{A}}$ in Bezug auf die $gUKR_{\bar{A}}$. Dieser Anteilswert wird im Weiteren als A_{UKR} bezeichnet. Als Quotient von $\Sigma UKR_{M,N}$ und $\Sigma UKR_{O,N}$ stellt A_{UKR} eine relative Kenngröße dar. Diese Eigenschaft bedeutet, dass das Verhältnis zwischen A_{UKR} und $gUKR_{\bar{A}}$ unabhängig der absolu-

ten Größenordnung der $gUKR_{\bar{A}}$ konstant bleibt. Dies gilt als ein Vorteil bei einem nicht linearen Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit. Die Kenngröße A_{UKR} eignet sich zur Quantifizierung der Zuschläge.

$$zUKR_{\bar{A}} = \sum UKR_{M,N} - \sum UKR_{O,N} = \left(\frac{\sum UKR_{M,N}}{\sum UKR_{O,N}} - 1 \right) * gUKR_{\bar{A}} \quad \text{Gl. 14}$$

$zUKR_{\bar{A}}$	Zuschlag Unfallkostenrate (-ähnlich) [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]
$gUKR_{\bar{A}}$	Grundunfallkostenrate (-ähnlich) [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]
$UKR_{M,N}$	Unfallkostenrate „Mit“-Fall für Teilmodell N [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]
$UKR_{O,N}$	Unfallkostenrate „Ohne“-Fall für Teilmodell N [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]

Auf Basis der $gUKR_{\bar{A}}$ erfolgt die Berechnung der UKR eines Netzabschnitts mit mehreren Defiziten nach Gl. 15, wobei der Quotient aus $\sum UKR_{M,N}$ und $\sum UKR_{O,N}$ abzüglich dem Wert Eins der Summe aller A_{UKR} entspricht. Gleichermaßen wie bei der Betrachtung nur eines Defizits gilt, dass unter gleichen Randbedingungen der Quotient aus „Mit“-Fall und „Ohne“-Fall immer eine Größenordnung > 1 aufweist. Somit entspricht dieser der Produktsumme aller einzelnen Exponentialterme (Risikofaktoren) des jeweiligen Teilmodells. Demzufolge können auch die A_{UKR} zur Ermittlung der UKR mittels Multiplikation miteinander verknüpft werden. Um die in den Modellen vorliegende Verknüpfung der Risikofaktoren abzubilden, ist jeder A_{UKR} vor der Multiplikation mit dem Wert eins zu addieren. Damit ergibt sich aus Gl. 15 der Ansatz nach Gl. 16.

$$UKR = \left(\frac{\sum UKR_{M,N}}{\sum UKR_{O,N}} \right) * gUKR_{\bar{A}} \quad \text{Gl. 15}$$

UKR	Unfallkostenrate [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]
$gUKR_{\bar{A}}$	Grundunfallkostenrate (-ähnlich) [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]
$UKR_{M,N}$	Unfallkostenrate „Mit“-Fall für Teilmodell N [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]
$UKR_{O,N}$	Unfallkostenrate „Ohne“-Fall für Teilmodell N [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]

$$UKR = \left(\prod_{i=1}^n (1 + A_{UKR,i}) \right) * gUKR_{\bar{A}} \quad \text{Gl. 16}$$

UKR	Unfallkostenrate [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]
$gUKR_{\bar{A}}$	Grundunfallkostenrate (-ähnlich) [$\text{€}/(10^3 * \text{Kfz} * \text{km})$]
$A_{UKR,i}$	Anteilswert $zUKR_{\bar{A}}$ an $gUKR_{\bar{A}}$ für Merkmal i [-]

Aus der multiplikativen Variablenverknüpfung im Prädiktor des Modells folgt, dass die A_{UKR} untereinander Wechselwirkungen aufweisen. Insbesondere beim Auftreten mehrerer Zuschläge erhöht sich durch Multiplikation

der A_{UKR} die Unfallhäufigkeit gegenüber einer Addition deutlich. Die Berücksichtigung von Wechselwirkungen unterscheidet sich vom bisherigen Entwurf des HVS (BARK et al. 2008), dessen Grundgedanke von einer additiven Verknüpfung aller Zuschläge geprägt ist. Die Anwendung einer additiven Verknüpfung von A_{UKR} führt beim Auftreten mehrerer Zuschläge gegenüber dem multiplikativen Ansatz zu einem geringen Zuschlagsniveau. Tabelle 3-13 veranschaulicht beide Varianten anhand eines Beispiels. Die Zuschlagsberechnung anhand des Multiplikationsansatzes erscheint plausibel. Die Häufigkeit von Unfällen auf Basis einer Abweichung von der Relationstrassierung wird bspw. durch eine zu schmale Fahrbahnbreite verstärkt – da der Spielraum zur Korrektur eines Fahrfehlers eingeschränkt wird –, während diese Defizite für sich betrachtet eine geringere Wirkung aufweisen. Aus dieser Überlegung heraus erfolgt die Zuschlagsberechnung anhand des Multiplikationsansatzes.

Tabelle 3-13: Gegenüberstellung der Ansätze zur Zuschlagsberechnung mit A_{UKR}

Ansatz	Formel	A_{UKR} für Merkmal			ΣA_{UKR}
		X	Y	Z	
Addition	$UKR = gUKR_{\bar{A}} + \left(\left(\sum_{i=1}^n A_{UKR,i} \right) * gUKR_{\bar{A}} \right)$	0,1	0,2	0,2	0,5
Multiplikation (gewählt)	$UKR = gUKR_{\bar{A}} * \left(\prod_{i=1}^n (1 + A_{UKR,i}) \right)$	0,1	0,2	0,2	0,58*

*) Produktsumme der Einzelwerte abzüglich Wert 1

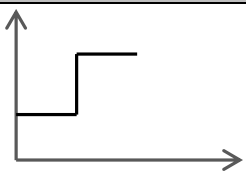
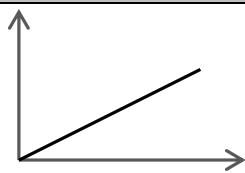
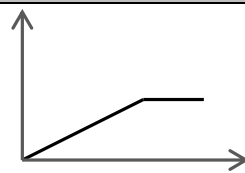
Die Art der Variablenberücksichtigung im Modell entscheidet über die Berechnung des A_{UKR} im Bewertungsansatz zur Festlegung der $zUKR_{\bar{A}}$. Die Höhe des Regressionskoeffizienten der kategorialen Variablen ist unveränderlich und gibt für Einzelmodelle direkt Auskunft über die Veränderung der Unfallhäufigkeit. Im weiteren Vorgehen entspricht der A_{UKR} für kategoriale Variablen dem Grundwert (GW), ermittelt aus dem Quotient von $\Sigma UKR_{M,N}$ und $gUKR_{\bar{A}}$ abzüglich der Größe eins. Der Grundwert stellt einen dimensionslosen Anteilswert dar.

Gegenüber kategorialen Variablen ändert sich die Größenordnung des A_{UKR} für stetige Variable in Abhängigkeit der Merkmalausprägung. In der Regel entsprechen diese Variablen Anteilswerten oder Dichten. Die Höhe des A_{UKR} ergibt sich aus der Multiplikation von Grundwert (GW) und der Häufigkeit des Auftretens (A) des betrachteten Merkmals. Kombinierte Variable vereinen Eigenschaften kategorialer und stetiger Variablen. Je nach Zu-

sammensetzung gelten dementsprechend die Berechnungsansätze für A_{UKR} . Über einen stetigen Anstieg hinaus entspricht der Faktor (F_G) ab einem definierten Grenzwert dem A_{UKR} .

Die resultierenden Zuschlagskategorien sind in Tabelle 3-14 aufgeführt. Als Höhe des Grundwerts (GW) wird für Variablen, die über die Dichte abgebildet werden, eine Merkmalausprägung von einem Defizit je Kilometer und für über Anteilswerte dargestellter Variablen, eine Merkmalausprägung von 100 % festgelegt. Für stetige Variable mit Bezug auf andere Maßeinheiten (bspw. Kurvigkeit mit gon/km) gilt ebenfalls der Wert eins als Größenbezug.

Tabelle 3-14: Darstellung und Beschreibung der verschiedenen Zuschlagskategorien

Zuschlagskategorien	Kategorialer Zuschlag	Stetiger Zuschlag	Kombinierter Zuschlag
Darstellung			
Beschreibung in Modellform [-]	e^{β}	$e^{\beta * x}$	$e^{\beta * x}$ (stetiger Bereich) e^{δ} (fixer Bereich)
Beschreibung in Zuschlagsform [-] (DTV - abhängig)*	$\frac{(b * DTV + c)}{100}$	$\frac{(b * DTV + c) * A}{100}$	$\frac{(b * DTV + c) * A}{100}$ (stetiger Bereich) $\frac{(b * DTV + c) * F_G}{100}$ (fixer Bereich)
Beschreibung in Zuschlagsform [-] (DTV - unabhängig)	GW	$GW * A$	$GW * A$ (stetiger Bereich) F_G (fixer Bereich)
*) Erläuterung der Parameter in Gl. 17			

Die exakte Festlegung der Größenordnung der A_{UKR} hängt zum einen vom gewählten Ansatz der Überlagerung der Teilmodelle – Veränderung der Anteilswerte – zum anderen von der Struktur der GLM – logarithmische Linkfunktion – ab. Mit dem Ziel, ein praktikables Bewertungssystem der Zuschläge zur Verfügung zu stellen, erscheint die von weiteren methodischen Einflüssen abhängige Darstellung der A_{UKR} als nicht zielführend. Eine Berechnung der A_{UKR} anhand der Zuschlagskategorie wird als ausreichend angesehen. Daraus folgt die Anpassung der A_{UKR} bzw. der GW für beschriebene Einflüsse.

Unter der Voraussetzung, dass zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke kein linearer Zusammenhang vorliegt, variiert die Wirkung einzelner Merkmale in der UKR-Ermittlung in Abhängigkeit der Verkehrsstärke. Die

sich i. d. R. unterscheidenden DTV-Regressionskoeffizienten haben für jedes der Teilmodelle einen eigenen Funktionsverlauf der Unfallhäufigkeit über den DTV ergo der Unfallkosten zur Folge. Diese führen zu veränderlichen Anteilen an der UKR. Abbildung 3-14 (links) verdeutlicht diesen Zusammenhang am Beispiel der Entwicklung der UKR(P).

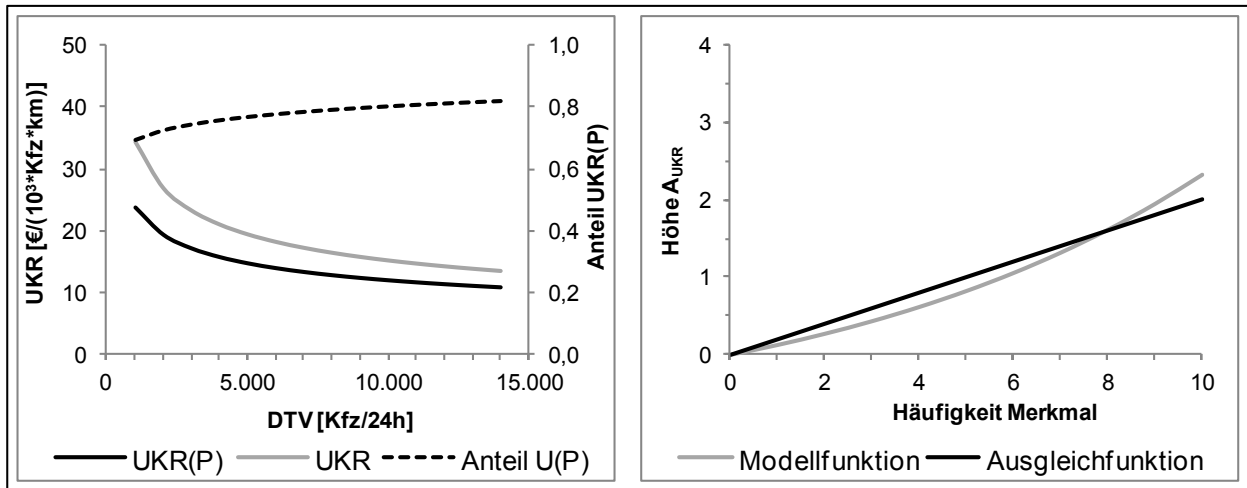


Abbildung 3-14: Einflüsse auf die Größenordnung von Zuschlägen durch die Veränderung der Anteilswerte an der UKR über die Verkehrsstärke (linkes Bild) und durch die exponentielle Berücksichtigung der Merkmalausprägung ($e^{\beta x}$) im Modell (rechtes Bild)

Die Funktionen der UKR und UKR(P) sind mit zunehmender Verkehrsstärke durch einen regressiven Verlauf gekennzeichnet. Der Anteil der UKR(P) weist an der UKR eine degressiv steigende Tendenz auf. Daraus resultiert, dass für Merkmale, deren Einfluss auf die Verkehrssicherheit ausschließlich anhand der U(P) erklärt wird, eine zunehmende Wirkung des Merkmals bei steigender Verkehrsstärke für die Gruppe U(P) nicht, bei der Verknüpfung aller Unfallkategorien aber sehr wohl, vorliegt. Eine Veränderung des dem A_{UKR} zugrunde liegenden GW ist die kausale Folge. Diese Veränderung lässt das Festhalten an einem fixen Grundwert nicht zu. Dies hätte systematische Abweichungen bei der Ermittlung der UKR zur Folge. Um die Praktikabilität des Verfahrens zu gewährleisten, erfolgt eine allgemeine Anpassung des GW. Auf Basis einer linearen Regression wird die Abhängigkeit zwischen Verkehrsstärke und Wirkung des Merkmals abgebildet und berücksichtigt (Gl. 17). Abweichungen zwischen den beobachteten Grenzen werden bei Differenzen von kleiner 5 % als akzeptabel angesehen.

$$GW = \frac{b * DTV + c}{100} \quad \text{Gl. 17}$$

GW Grundwert [-]

DTV Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24]

b/c Funktionsparameter

Da der Einfluss stetiger Variablen im Modell über eine Exponentialfunktion ($e^{\beta x}$) beschrieben wird, tritt dementsprechend eine Änderung des A_{UKR} auf, wobei diese neben der Variabilität der Merkmalausprägung auf die Exponentialfunktion zurückzuführen ist (Abbildung 3-14 rechts). Die Beschreibung eines – von der Verkehrsstärke abhängigen – fixen GW führt zu einer linearen Zunahme des A_{UKR} in Abhängigkeit der Merkmalausprägung. Um die Diskrepanz zwischen exponentiellem und linearem Ansatz zu minimieren, erfolgt auf Basis des beobachteten Bereichs für betroffene Merkmale anhand der Methodik der kleinsten Quadrate eine Regressionsrechnung zur Festlegung der Ausgleichsgeraden. Dabei entspricht der Geradenanstieg dem GW. Der Durchgang durch den Koordinatenursprung ist eine weitere Randbedingung. Tritt für Merkmale eine deutliche Bündelung der Fälle in einem Teil des beobachteten Bereichs auf, wird ggf. nach manueller Prüfung eine Korrektur vorgenommen.

3.5.4 Unfallkostensätze

Mit der Definition einer gUKR steht die Frage, ob ein über das gesamte Unfallgeschehen angepasster Kostensatz (KS_a) geeignet ist, die mittlere Verletzungsschwere der gUKR abzubilden, da diese theoretisch nur auf der Betrachtung des Unfallgeschehens richtliniengerecht gestalteter Netzabschnitte beruht. Es ist davon auszugehen, dass neben einem Rückgang der Unfallhäufigkeit allgemein die mittlere Verletzungsschwere auf richtliniengerechten Strecken gegenüber Strecken mit Defiziten tendenziell niedriger ausfällt. Diese Veränderung ist auf Defizite zurückzuführen, die i. d. R. einen Einfluss auf die Unfallschwere, weniger auf die Unfallhäufigkeit haben. Häufig stellen dies Merkmale des Seitenraums dar (HEGEWALD/WEBER 2008, BÖSL/SPAHN 2010). Demzufolge ist die gUKR mit einem KS zu bestimmen, dessen Grundlage ausschließlich Unfälle darstellen, die nicht unmittelbar mit einem Defizit in Zusammenhang stehen. Unfälle, deren Ursachen dem Auftreten eines Defizits direkt zugeschrieben werden können – bspw. Anprall an fahrbahnnahen Baum – sind mit entsprechenden Kostensätzen separat zu bewerten. Die Berechnung des Sicherheitsgrades eines Netzelements erfolgt demgemäß aus der Verknüpfung von der gUKR – KS der richtliniengerecht gestalteten Netzelemente – und den zUKR – mit KS der entsprechenden Zuschläge (Defizite). Dieser theoretische Ansatz unterliegt folgenden Einschränkungen:

- Unfälle sind Ereignisse, deren Auftreten häufig auf der Aggregation mehrerer ungünstiger Faktoren beruht, welche in Summe eine Erschöpfung des Sicherheitsspielraums darstellen (FGSV 2012B). Eine klare Defizitzuordnung ist schwer möglich.

- Für einen Großteil der Zuschläge existiert in der Unfallanzeige kein eigenes Kriterium, welches eine eindeutige Zuordnung ermöglicht.
- Weiterhin besitzen Merkmale Einfluss auf Unfallhäufigkeit und -schwere, deren Größenordnung sich nicht direkt als festes Kriterium zur Bewertung vereinen lässt.

Weiterhin lassen kleine Kollektivgrößen statistisch abgesicherte Aussagen zur Höhe einzelner KS_a nicht zu. Daher erfolgt keine auf die Unfallursachen bezogene Gliederung der KS_a . Dies hat für den weiteren Untersuchungsansatz zur Folge, dass die berechnete $gUKR_{\bar{A}}$ gegenüber der theoretischen $gUKR$ ein höheres Niveau aufweist, jedoch die Höhe einzelner Zuschläge im Vergleich zur $gUKR_{\bar{A}}$ geringer ausfällt. Für die Analyse größerer Kollektive spiegelt der berechnete Sicherheitsgrad somit das mittlere Niveau der Verkehrssicherheit wider.

Die Höhe der Unfallkostensätze hängt von der Unfallkategorie ab. Die für den bundesweiten Raum zur Verfügung stehenden Unfallkostensätze gelten für den gesamten Außerortsbereich, unabhängig dem betrachteten Netzelement (FGSV 2012B). Die fehlende Differenzierung führt zu Ungenauigkeiten bei der Bewertung einzelner Elemente, da die Höhe des Kostensatzes auf einer Abbildung der mittleren Unfallschwere aller Unfälle je Kategorie bzw. Typ beruht. Mit Blick auf die nach Netzelementen getrennte Sicherheitsbewertung von Straßen im Entwurf des HVS, ist die Verwendung eines netzelementübergreifenden Kostensatzes weniger evident (BARK et al. 2008). Als zwingend notwendig wird die differenzierte Bereitstellung von Unfallkostensätze für die Netzelemente Knotenpunkt und Strecke erachtet. Aufgrund der Unterschiede in Gestaltung und Verkehrsablauf zwischen den einzelnen Querschnitten, werden nach Querschnitt getrennt angepasste Unfallkostensätze für Unfälle mit Personenschaden $KS_{a,U(P)}$ für Modelle nach Schwereklasse (Anhang D.2, Gl. 27) sowie gemeinsam für die Kategorien 1 bis 4 und 6 Unfallkostensätze für Unfalltypen $KS_{a,Typ}$ berechnet (Anhang D.2, Gl. 28).

Grundlage bilden die aktuellen Verunglücktenkostensätze (Anhang D.2, Tabelle D-3) sowie das Unfallgeschehen der betrachteten Netzabschnitte ausschließlich der Knotenpunktbereiche. Durch den Zusammenhang zwischen Verletzungsschwere und Geschwindigkeit ist für EB aufgrund der Abnahme des Geschwindigkeitsniveaus gegenüber der FS tendenziell eine Abnahme der Verletzungsschwere bezüglich der KS_a – insbesondere $KS_{a,U(P)}$ – zu erwarten (OTTE 2000, ELVIK et al. 2004). Aufgrund geringer Kollektivgrößen wird von einer Differenzierung der Unfallkostensätze nach den Netzelementen FS und EB abgesehen (LERNER et al. 2014). Somit reprä-

sentieren die verwendeten KS_a den Mittelwert der jeweiligen Streckenkollektive, inklusive deren Besonderheiten.

Aus Tabelle 3-15 wird deutlich, dass sich die $KS_{a,U(P)}$ und $KS_{a,Typ}$ für die Bewertungsfälle unterscheiden und die allgemeine Verunglücktenstruktur widerspiegeln. Der Q 21 wird mit den Sachschadensätzen für Autobahnen bewertet. Die geringe Kollektivgröße des Q 3FS lässt keine differenzierte Ermittlung von $KS_{a,Typ}$ zu. Für den Q 21 erfolgt eine Trennung nach Typ 6 und Typ A. Der hohe $KS_{a,U(P)}$ für Q 3FS widerspricht den Erkenntnissen, dass sich einbahnig dreistreifige gegenüber einbahnig zweistreifigen Querschnitten durch einen niedrigeren Unfallkostensatz auszeichnen (BRANNOLTE et al. 1992). Mutmaßlich wird die Höhe der $KS_{a,U(P)}$ durch das Geschwindigkeitsniveau und den Ausstattungsgrad der Querschnitte geprägt. Damit repräsentieren die $KS_{a,U(P)}$ spezifische Eigenschaften der Querschnitte (Bewertungsfälle).

Tabelle 3-15: Unfallkostensätze nach Unfallkategorie und Unfalltyp für die verschiedenen Bewertungsfälle

Bewertungsfälle	Anzahl U(P)	KS_a nach Kategorie [€]				KS_a nach Typ U(P, SS) [€]				
		U(P)	U(P)	U(SS)	U(LS)	Typ 1	Typ 6	Typ A	Typ R	Typ V
Q 9	1.276	122.658	21.351	18.212	4.080	94.465	98.791	94.912	96.854	94.491
Q 2FS	4.306	135.332				104.969	111.616	98.497	105.241	102.622
Q 3FS	301	149.090				108.150				
Q 21	361	110.441	46.534	24.130	4.950	72.471			83.173	76.939
Typ A	Andere	Aggregation aller Unfalltypen außer Typ 1 und 6								
Typ R	Restliche	Aggregation aller Unfalltypen außer Typ 1								
Typ V	Verbliebene	Aggregation aller Unfalltypen außer Typ 6								

Die $KS_{a,Typ}$ spiegeln die den Unfällen zugrunde liegende Konfliktsituation wider. Unabhängig der Berücksichtigung von U(SS) wird eine höhere Unfallschwere für Unfälle des Typs 6 über alle Querschnitte deutlich. Unfälle des Längsverkehrs sind gegenüber Fahrurfällen i. d. R. durch eine höhere Zahl beteiligter Personen charakterisiert. Dies und die bei Überholunfällen mit Gegenverkehr hohe Differenzgeschwindigkeit der Fahrzeuge sind Ursache schwerer Unfallfolgen.

Dass die $KS_{a,U(P)}$ der einbahnigen Querschnitte über dem aktuellen Wert für Landstraßen nach FGSV (2012B) liegen, ist u. a. auf das Herauslösen der Knotenpunkte aus dem Unfallkollektiv zurückzuführen. Die Größenordnung des $KS_{a,U(P)}$ für den Q 21 entspricht dem für Autobahnen nach FGSV (2012B). Merkmal der Bewertungsfälle Q 3FS und Q 21 sind eine geringe Anzahl an U(P). Daraus resultiert bei der Anpassung der Unfallkostensätze ein hoher KS_a als auch eine deutliche Empfindlichkeit des KS_a auf Verände-

rungen in der Verunglücktenstruktur. So weist der $KS_{a,U(P)}$ bei Erhöhung der $V(GT)$ um eins eine Veränderung des $KS_{a,U(P)}$ für beide Kollektive um ca. 2,5 % auf. Mit Blick auf eine allgemeine Verwendung dieser Kostensätze ist darauf zu verweisen, dass diese für genannte Bewertungsfälle gegenüber anderen Vergleichskollektiven u. U. größere Abweichungen aufweisen. Im Rahmen der Arbeit wird die Breite der Streuung als akzeptabel angesehen.

4 Ergebnisse der Netzeinteilung

4.1 Knotenpunkte

Die ermittelten Längen zur Abgrenzung der zukünftig nicht betrachteten Bereiche verkehrsbedeutender Knotenpunkte variieren für beide Varianten in Abhängigkeit von der Grund- und Betriebsform (Abbildung 4-1). Erwartungsgemäß liefert die Abgrenzung anhand Variante A gegenüber Variante B in der Regel gleiche oder größere Längen der Knotenpunktbereiche. Zur Berücksichtigung möglicher unterschiedlicher Ausprägungen liegt die Auswertung getrennt für U(P) und U(S) vor, wobei letztgenanntes Kollektiv auf die Bundesländer mit Vorliegen der Unfallkategorie U(LS) beschränkt ist.

Art der Regelung		Variante A					Variante B					gewählte Länge L_{KP} [m]			
		Abgrenzung von Seiten des Knotens				Kollektivgröße Knoten	Abgrenzung von Seiten der Strecke				Kollektivgröße Zufahrten				
		Länge [m]		Signifikanzniveau			Länge [m]		Signifikanzniveau						
		U(P)	U(S)	U(P)	U(S)		U(P)	U(S)	U(P)	U(S)					
plangleicher (Teil-) Knotenpunkt	alle	75	100	****	**	245	75	50	*	**	506	100			
	LSA ¹	75	50	*	****	28	50	100	*	0,06	47				
	VZ	alle	75	100	****	*	217	75	50	**	*		459		
		Z 205/206 und Kreisverkehr ¹						50	-	0,09			32		
		Z 306	alle						75	50	**		*	427	
			bauliche Veränderung	mit					100	50	**		**	226	
				ohne						-	-				
			Beschränkung v_{zul}	ja						50	50		*	*	140
				nein						75	50		**	0,06	287

¹) Aussagekraft aufgrund sehr geringer Unfallzahlen in Teilkollektiven eingeschränkt

Abbildung 4-1: Ermittelte Längen der Knotenbereiche plangleicher (Teil-) Knotenpunkte nach Verkehrsregelungsart in Abhängigkeit der Merkmalausprägung Unfalltyp 2 und 3

Die Aussagekraft zum Knotenpunktbereich ist für die Kategorien „LSA“ und „untergeordnete Zufahrten an VZ-geregelten Knotenpunkten“ aufgrund der geringen Unfallzahl eingeschränkt, da nur geringe Veränderungen der Unfalltypenverteilung eine Änderung des Signifikanzniveaus nach sich ziehen. Allgemein gilt für LSA, dass die gewählte Methodik nur eine einschränkende Eignung zur Abgrenzung des Knotenbereichs hat, da insbesondere Einmündungen mit separater Signalisierung der Linksabbieger nur eine sehr geringe Anzahl an Unfällen des Typs 2 und 3 aufweisen. Damit unterscheidet sich der Anteil knotenpunkttypischer Unfälle nur gering vom Wert des Referenzbereichs.

Für VZ-geregelte Knotenpunkte gibt es in Variante B deutliche Unterschiede in der Unfalltypenverteilung in Abhängigkeit der Zufahrtregelung. Dass der räumliche Einfluss für wartepflichtige Zufahrten gegenüber bevorrechtigten Zufahrten (Z 306 StVO) geringer ausfällt, ist mutmaßlich auf die kürzere bauliche Veränderung der Zufahrt – Tropfen in der Zufahrt und i. d. R. kein zweiter Fahrstreifen – und somit auf die Örtlichkeit der Konfliktpunkte zurückzuführen. Die gegenüber bevorrechtigten Zufahrten geringere bauliche Veränderung wartepflichtiger Zufahrten im Kollektiv wurde nachgewiesen (Kapitel 3.4.2). Dieser Aspekt stützt die getrennte Betrachtung bevorrechtigter Zufahrten nach Vorhandensein einer baulichen Veränderung. Zufahrten mit baulicher Veränderung weisen bis zu einer Länge von ca. 100 m einen gegenüber der FS höheren Anteil knotenpunkttypischer Unfälle auf, während für das Kollektiv ohne bauliche Veränderung kein Einfluss festzustellen ist. Die Beschränkung der V_{zul} besitzt erwartungsgemäß einen geringen bis keinen Einfluss auf die räumliche Unfalltypenverteilung. Aufgrund geringer Kollektivgrößen ist lediglich eine Bewertung bevorrechtigter Zufahrten an VZ-geregelten Knotenpunkten möglich. Zwischen den Merkmalen „Beschränkung der V_{zul} “ und „baulicher Veränderung der Zufahrt“ liegt keine Korrelation vor.

Die Festlegung der Knotenpunktbereiche auf Basis der Unfalltypen zeigt Unterschiede in der räumlichen Verortung von knotenpunkttypischen Unfällen in Abhängigkeit von der Knotenpunktregelung. Dies legt eine differenzierte Abgrenzung nahe. Demgegenüber steht das Ziel, einfache Strukturen für ein geeignetes formalisiertes Bewertungssystem des Verkehrsnetzes zu schaffen. Eine einheitliche Abgrenzung ermöglicht darüber hinaus eine standardisierte Bewertung verschiedener Knotenpunktgrundformen und Regelungsarten. In Konsequenz wird der Knotenpunktbereich plangleicher (Teil-) Knotenpunkte mit einer Länge von $L_{KP} = 100$ m vom Schnittpunkt der Achsen unabhängig der Verkehrsregelung definiert. Damit ordnet sich die Größenordnung der Knotenpunktbereiche zwischen den Werten von VIETEN et al. (2008) sowie BARK et al. (2008) und HAUTZINGER et al. (2010) ein. Für Ein- und Ausfahrtbereiche gilt die bereits formulierte Abgrenzung in Abhängigkeit von der räumlichen Ausprägung (Vergleiche Kapitel 3.4.1, Vierter Abschnitt).

4.2 Einflussbereiche

In Kapitel 3.4.2 sind die Randbedingungen zur Überprüfung der Einflussbereiche (EB) von Übergangsarten auf angrenzende Zufahrten näher beschrieben. In Anlehnung an der im vorangegangenen Kapitel erfolgten Abgrenzung der Knotenbereiche ergibt sich eine auswertbare Streckenlänge von

$L = 1.000$ m, die sich an das Ende des bereits definierten Knotenpunktbereichs bzw. der Ortsdurchfahrt anschließt. Die zur Analyse verwendeten Streckenabschnitte müssen daher einen Abstand von mindestens $A = 2.000$ m zwischen zwei Übergängen (Knotenpunkten) exklusive der Knotenpunktebereiche aufweisen. Es erfolgt keine fahrtrichtungsgetrennte Betrachtung.

Art des Übergangs		Länge Einflussbereiche L_{EB} [m]			Art des Einflusses auf die Verkehrssicherheit gegenüber der Freien Strecke**			Kollektivgröße (eigene Untersuchung)				
		Untersuchung			Untersuchung			Anzahl Zufahrten	Anzahl U(P)	Anzahl U(S)		
		eigene	ECKSTEIN & MEEWES (2002)	VIETEN et al. (2010)	eigene	ECKSTEIN & MEEWES (2002)	VIETEN et al. (2010)					
Ortsdurchfahrt (Ortschaft)		200			positiv			408	654	2.201		
Ein-/Ausfahrtbereich		300	500		negativ	positiv		53	118	207		
plangleicher (Teil-) Knotenpunkt	LSA	300	300	450	positiv	positiv	positiv	47	91	441		
	VZ	Z 205/206 (und Kreisverkehr)*	200	300	450	positiv	(negativ)	positiv	32	44	125	
		Z 306	alle	300	500	450	positiv	positiv	positiv	427	754	2.868
			mit baulicher Veränderung	70	300		positiv			79	152	729
				100	300		positiv			147	295	847
			ohne baulicher Veränderung	70	300		positiv			61	69	338
	100	(100)			positiv			140	238	954		

*) Aussagekraft aufgrund sehr geringer Unfallzahlen eingeschränkt
 **) positiv = Einflussbereich besitzt gegenüber der Freien Strecke eine höhere Verkehrssicherheit
 negativ = Einflussbereich besitzt gegenüber der Freien Strecke eine niedrigere Verkehrssicherheit

Abbildung 4-2: Einflusslängen der Ortsdurchfahrten und Knotenpunkte auf die angrenzenden Zufahrten, Vergleich eigene Untersuchung mit den Ergebnissen von ECKSTEIN/MEEWES (2002) sowie VIETEN et al. (2010)

Abbildung 4-2 enthält in der farblich abgesetzten Spalte die ermittelten Längen der Einflussbereiche L_{EB} . Die Kenngrößen der einzelnen EB sind Anhang E.3 zu entnehmen. Folgende Sachverhalte sind festzustellen:

- Trotz teilweise umfangreicher Kollektive ($n > 100$), weisen UKR_{nah} und UKR_{fern} mitunter deutliche Schwankungen auf, welche die Abschätzung/Festlegung des Einflussbereichs in Einzelfällen erschwert. Die von ECKSTEIN/MEEWES (2002) beschriebene lineare Entwicklung der Kenngrößen stellen sich häufig nicht ein. Der Längenabgrenzung liegen daher auch pragmatische Überlegungen zugrunde.
- Der aufgrund des sich verringernden Geschwindigkeitsniveaus zu erwartende positive Einfluss von Ortsdurchfahrten auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden Strecke wird durch die Entwicklung des Unfallgeschehens bestätigt.
- Für keine der Übergangsarten an Knotenpunkten sind Einflusslängen $L_{EB} > 300$ m festzustellen.
- Gegenüber den Ergebnissen von ECKSTEIN/MEEWES (2002) kann kein positiver Einfluss von Ein-/Ausfahrtbereichen ermittelt werden. Die bisherige Bewertung lässt einen eher tendenziell negativen Einfluss

- erkennen, der nach einer Länge von $L_{EB} = 300$ m endet. Das Kollektiv beinhaltet alle einbahnigen Abschnitte.
- Der von ECKSTEIN/MEEWES (2002) bestimmte positive Einfluss von Lichtsignalanlagen (LSA) auf die Verkehrssicherheit angrenzender Zufahrten wird auch in der räumlichen Dimensionierung bestätigt.
 - Begründet durch geringe Unfallzahlen ist die Aussagekraft für das Kollektiv der untergeordneten Zufahrten an VZ-geregelten Knotenpunkten beschränkt. Der ermittelte positive Einfluss auf einer Länge von ca. 200 m stützt die Ergebnisse von VIETEN et al. (2010), der gegenüber den Vermutungen von ECKSTEIN/MEEWES (2002) ebenfalls eine Verbesserung der Sicherheitsniveaus verzeichnete.
 - Mit einer Länge von $L_{EB} = 300$ m fällt der Einfluss bevorrechtigter Zufahrten an VZ-geregelten Knotenpunkten (Z 306 StVO) gegenüber den Vergleichsuntersuchungen geringer aus. Der Gewinn an Sicherheit ist überwiegend auf das Vorhandensein baulicher Veränderungen und/oder der Beschränkung der V_{zul} zurückzuführen. Fehlen beide Merkmale, ist der positive Einfluss auf eine Länge von $L_{EB} = 100$ m beschränkt.
 - Bei der Bewertung von Straßenabschnitten über Knotenpunkte hinweg gilt; weist die Strecke an beiden betrachteten Zufahrten des Knotens eine Regelung mit Z 306 StVO auf und besitzen die Zufahrten keine Änderung der baulichen Gestalt, noch eine Beschränkung der V_{zul} , ist der Knoten als Anschlussknoten zu behandeln. Stellt diese Art der Knotenpunkte eine Grenze des bewerteten Straßenabschnitts dar, weicht die Betrachtungsweise ab. Diese Knotenpunkte besitzen eine räumliche Entwicklung ($L_{KP} = 100$ m). Aufgrund der geringen Längsentwicklung des EB bevorrechtigter Zufahrten an VZ-geregelten Knotenpunkten, wird jedoch der EB in der Zufahrt vernachlässigt und der Freien Strecke (FS) zugeordnet.

Die ermittelten sicherheitstechnischen Einflüsse ordnen sich in ihrer räumlichen Größenordnung in den von STEINAUER et al. (2008) und BUCK (1991) angegebenen Ausdehnungen von Geschwindigkeitstrichtern im Bereich von Knotenpunkten und Ortsdurchfahrten ein und werden bestätigt. Die Verringerung des Geschwindigkeitsniveaus steht somit im Zusammenhang mit einem Anstieg der Verkehrssicherheit. Für eine sicherheitstechnische Bewertung von Streckenabschnitten ist daher die Berücksichtigung von EB unerlässlich.

4.3 Zusammenfassung

Aus den Ergebnissen lässt sich die Einteilung der Landstraßen zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Streckenabschnitten ableiten. Die Abgrenzung von verkehrsbedeutenden Knotenpunkten erfolgt in Abhängigkeit der baulichen Grundform, es wird zwischen Ein-/Ausfahrtbereichen und plangleichen Varianten unterschieden. Knotenpunkte nehmen Einfluss auf die Verkehrssicherheit angrenzender Zufahrten. Diese Länge variiert in Abhängigkeit der Verkehrsregelung in der Zufahrt. Auch Ortsdurchfahrten wirken auf die angrenzende Strecke ein. Die von Einflüssen der Streckenübergänge unabhängige FS ergibt sich aus der Länge des betrachteten Netzabschnitts abzüglich der EB der Streckenübergänge (Tabelle 4-1). Die pragmatische Übertragung dieser Erkenntnisse auf Übergänge zweibahnig vierstreifiger Strecken erlaubt eine einheitliche Betrachtungsweise. Eine grafische Aufbereitung der Erkenntnisse enthält Anhang E.4.

Tabelle 4-1: Übersicht zur Abgrenzung der Netzelemente nach Art des Übergangs

Art des Übergangs (Einflussbereich EB)	Länge Knoten- bereich in Zufahrt L_{KP} [m]	Grundform/ Zufahrtregelung	Länge Einflussbereich L_{EB} [m]
Ortsdurchfahrt (Z 310 StVO)	-	-	200
Ein-/Ausfahrtbereich	variabel*	Ein-/Ausfädeln	300
Plangleicher (verkehrsbedeutender) (Teil-) Knotenpunkt	100*	Kreisverkehr	300**
		LSA	
		Z 306 StVO	
		Z 205 / 206 StVO	200
*) Bezug ausgehend vom Schnittpunkt der Achsen			
**) Kein Einflussbereich für Knotenpunkte ohne bauliche Veränderung und Beschränkung V_{zul} an Zufahrten mit Regelung Z 306 StVO			

5 Freie Strecke

5.1 Deskriptive Statistik

Allgemein

Der Vergleich der mittleren $UR_{(P, SS)}$ mit der Untersuchung von VIETEN et al. (2010) dient der Überprüfung der Repräsentativität der eigenen Kollektive (Tabelle 5-1).

Tabelle 5-1: Vergleich beobachtete $UR_{(P, SS)}$ und DTV in Abhängigkeit der Querschnittsbreite der eigenen Untersuchung mit VIETEN et al. (2010)

Kenngrößen		Q 9 5,0 m	Q 9 5,5 m	Q 9 6,0 m	Q 11 6,5 m	Q 11 7,0 m	Q 11 7,5 m	Q 11 8,0 m	Q 11 8,5 m	Q 3FS	Q 21
Ø $UR_{(P, SS)}$ [U/(10 ⁶ Kfz*km)]	eigene Untersuchung	0,41	0,56	0,50	0,43	0,34	0,30	0,23	0,19	0,22	0,13
	Vieten et al. (2010)	0,69	0,65	0,62	0,48	0,37	0,37	0,25	0,25	0,20	0,15
Ø DTV [Kfz/24h]	eigene Untersuchung	1.503	1.738	3.032	3.484	4.902	5.852	9.066	10.107	12.870	21.989
	Vieten et al. (2010)	1.264	1.570	3.020	3.825	5.216	6.418	8.442	8.765	11.747	27.486
Anzahl Abschnitte	eigene Untersuchung	45	76	203	208	173	199	178	97	54	97
	Vieten et al. (2010)	457	617	954	674	438	662	516	753	48	119
Anteil Unfalltyp 1 [%]	eigene Untersuchung	53	67	57	58	50	48	38	34	58	56
	Vieten et al. (2010)	63	62	58	51	40	42	33	32	54	48
Anteil Unfalltyp 6 [%]	eigene Untersuchung	28	18	24	20	26	27	36	41	29	27
	Vieten et al. (2010)	21	18	22	23	27	24	29	28	28	33

Abweichungen sind u. a. auf eine andere Streckenauswahl, der differenzier- ten Berücksichtigung von Knotenpunkten und der abweichenden Länge von EB zurückzuführen. Grundlage des Vergleichs bildet eine Einteilung der Fahrbahnbreite in ein Raster von 50 cm. Der Kennwert des jeweiligen Teil- kollektivs entspricht der Klassenmitte. Da nicht für alle Strecken die U(LS) vorliegen, wird auf die Darstellung dieser Kategorie verzichtet. Deren An- teil an der UKR beträgt zwischen 17 und 22 %. Es wird der monokausale

prinzipielle Zusammenhang in der Querschnittsgestaltung mehr Breite, mehr Sicherheit, bestätigt (VIETEN et al. 2010). Die deutlich höheren $UR_{(P, SS)}$ für die Kollektive des Q 9 in VIETEN et al. (2010) sind zum Teil auf die Streckeneinteilung bezüglich untergeordneter Knotenpunkte zurückzuführen. Für einbahnig mehrstreifige und zweibahnig vierstreifige Abschnitte zeigen beide Untersuchungen ein ähnliches Niveau von $UR_{(P, SS)}$. Ein direkter Vergleich der UKR ist aufgrund unterschiedlich verwendeter $KS_{a,(P)}$ und Abschnittsgrenzen nicht möglich.

Der mit Ausnahme des Kollektivs Q 9 (5,0 m) tendenziell höhere Anteil der Fahrurfälle gegenüber der Untersuchung von VIETEN et al. (2010) ist u. a. auf die veränderte Untersuchungsmethodik bezüglich der Berücksichtigung von nicht klassifizierten Knotenpunkten und damit einer Verschiebung der Anteile von (knotenpunktspezifischen) Unfalltypen zurückzuführen. Der Niveauunterschied der Fahrurfälle für den Q 21 erklärt sich aus der deutlich höheren Verkehrsbelastung im Kollektiv von VIETEN et al. (2010). Daraus resultiert eine Zunahme der Unfälle des Typs 6. Insgesamt wird der Trend der Abnahme des Anteils der Fahrurfälle bei zunehmender Verkehrsstärke in Verbindung mit einem höheren Ausbaustandard der Strecken bestätigt. Für einbahnig dreistreifige Abschnitte steht der hohe Anteil an Fahrurfällen mit der Absicherung von Überholvorgängen durch den zusätzlichen Überholfahrstreifen und damit mit einer Abnahme der Unfälle im Längsverkehr in Zusammenhang. Inwieweit eine mögliche Risikokompensation zu einer Zunahme von Fahrurfällen bei diesem Querschnitt führt, ist anhand der Daten nicht darstellbar.

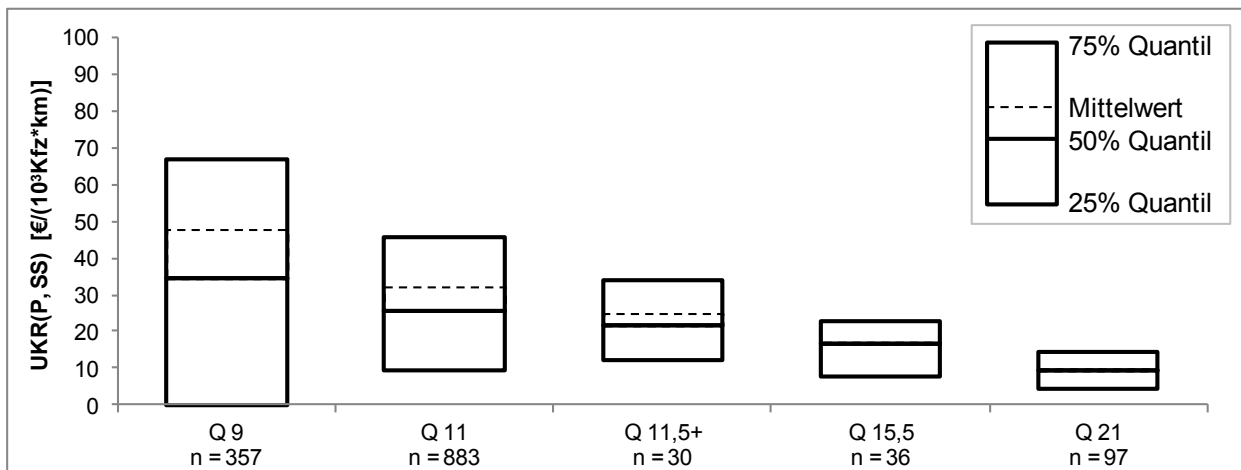


Abbildung 5-1: Beobachtete $UKR_{(P, SS)}$ der Bewertungsfälle

Die auf Basis des beobachteten Unfallgeschehens und angepasster $KS_{a,U(P)}$ ermittelte $UKR_{(P, SS)}$ offenbart deutliche Niveauunterschiede zwischen den Bewertungsfällen (Abbildung 5-1). Mit zunehmender Querschnittsbreite ist eine kontinuierliche Abnahme der $UKR_{(P, SS)}$ und deren Streuung festzustellen.

len. Die hohe Streuung im Kollektiv Q 9 ist unter anderem auf geringe Verkehrsstärken und den Unfall als selten auftretendes Ereignis zurückzuführen. Dieser Einfluss verliert im Bereich breiterer Querschnitte durch zunehmende Verkehrsstärken an Bedeutung.

Der gegenüber dem Mittelwert in allen Kollektiven niedrigere Medianwert verdeutlicht, dass der Mittelwert durch wenige Strecken mit hohen $UKR_{(P, SS)}$ geprägt wird und eine rechtsschiefe Verteilung vorliegt. Das allgemeine Niveau des Q 11,5+ ordnet sich zwischen Q 11 und Q 15,5 ein. Die im Kollektiv des Q 11,5+ für dreistreifige Abschnitte mit $33,5 \text{ €}/(10^3\text{Kfz}\cdot\text{km})$ gegenüber zweistreifigen Abschnitten mit $18,0 \text{ €}/(10^3\text{Kfz}\cdot\text{km})$ höhere $UKR_{(P, SS)}$ ist u. a. auf den umfangreichen Anteil von dreistreifigen Bestandsstrecken in topografisch bewegtem Gelände und mutmaßlich höherer Geschwindigkeiten beim Überholen zurückzuführen (Tabelle 5-2). Daher wird diesem Querschnitt ein besonderes Augenmerk in der Modellanalyse zuteil. Durch eine weniger stark angepasste Linienführung sinkt erwartungsgemäß die Kurvigkeit – mit Ausnahme des Q 11,5+ – je höher die Entwurfsklasse. Die geringere mittlere Abschnittslänge des Q 21 ist mutmaßlich auf den Einsatz des Querschnitts in Ballungsräumen mit einer höheren Knotendichte zurückzuführen. Die Verteilung der Abschnittslängen einbahniger Querschnitte variiert im Untersuchungskollektiv nur gering. Ca. die Hälfte aller freien Streckenabschnitte weist eine Länge kleiner 1 km auf, während Abschnitte mit Längen über 2 km nur rund einem Viertel des Kollektivs entsprechen.

Tabelle 5-2: Deskriptive Kenngrößen der Bewertungsfälle

	Q 9	Q 11	Q 11,5+ 2FS	Q 11,5+ 3FS	Q 15,5	Q 21
Anzahl Abschnitte	357	883	13	17	36	97
Ø DTV [Kfz/24h]	2.510	6.430	11.350	12.690	12.800	21.890
Ø Länge [km]	1,4	1,5	0,9	1,2	1,8	1,1
Ø KU [gon/km]	69,3	41,3	55,1	81,9	29,9	21,0
Ø HK [%]	2,2	1,6	2,6	3,4	2,6	1,4

Ausschlüsse aufgrund von Auffälligkeiten bezüglich einzelner Merkmale führen zu leicht variierenden Grundkollektiven in der Modellrechnung. Da Streckenabschnitte mit außerordentlichen Unfallraten häufig in der Residuenanalyse auffällig und in der Regel auszuschließen sind, sind bereits im Vorfeld Abschnitte mit entsprechenden Merkmalen von der Betrachtung relegiert.

Zu den Bewertungsfällen liegen folgende allgemeine Erkenntnisse vor:

- Q 9: Die gegenüber anderen Kollektiven geringe Unfalldichte (UD) ist u. a. auf die niedrigen Verkehrsstärken zurückzuführen. Die Größenordnung der mittleren Kurvigkeit und Hügeligkeit spiegeln die angepasste Linienführung des Querschnitts wider.
- Q 2FS: Dieses Kollektiv repräsentiert den Querschnitt mit der höchsten Anzahl an Strecken. Den Modellen obliegt eine hohe Aussagekraft. Streckenabschnitte mit einer Beschränkung der V_{zul} auf < 100 km/h stellen die Ausnahme dar.
- Q 3FS: Für das Kollektiv aus Q 15,5 und Q 11,5+ 3FS lässt die für U(LS) geringe zur Verfügung stehende Streckenanzahl kein eigenes Modell zu. Die Modelle U(P) und U(SS) unterliegen Einschränkungen bezüglich ihrer Aussagekraft.
- Q 21: Das Kollektiv der zweibahnig vierstreifigen Abschnitte weist einen geringen Umfang auf. Die Aussagekraft von Modellen für U(LS) ist ebenfalls eingeschränkt.

Um auch für Q 3FS eine Aussage zur Größenordnung der U(LS) und zu möglichen Einflussgrößen treffen zu können, liegt für diese Unfallkategorie eine gemeinsame Analyse der Bewertungsfälle Q 3FS und zufällig ausgewählter Q 2FS im Kollektiv einbahnig mehrstreifiger Querschnitte (EBMS U(LS)) zugrunde. Diese Gruppierung dient u. a. zur Identifikation von Merkmalen, die für den Q 3FS als Einflussgrößen in Betracht kommen, aber in der separaten Analyse aufgrund der geringen Kollektivgröße als nicht ausreichend signifikant in Erscheinung treten. Der Anteil der einbahnig dreistreifigen Querschnitte mit einer Größenordnung von ca. 10 % wird als ausreichend erachtet, um eine Bewertung aufgrund zufälliger Ereignisse – häufig weisen diese Zusammenhänge Auffälligkeiten in der Residuenanalyse auf – zu minimieren. Eine Übersicht über alle deskriptiven Größen der Modelle mit einer näheren Erläuterung enthält Anhang G.

Die Darstellung in Tabelle 5-3 enthält eine Übersicht über maßgebliche Variablen inklusive Messniveau und Ausprägung. Einige Variablen umfassen Kombinationen von (verschiedenen) Streckeneigenschaften. Dazu zählen zum Beispiel die der Kategorie Lageplan (LP) zugehörigen Variablen „Abweichung von der Relationstrassierung“ und „Überschreitung des Mindestradius“. Die Kürzel der Kategorien dienen zur Zuordnung einzelner Merkmale in der Modelldarstellung. Die Bezeichnungen der Variablen in den folgenden Modelldarstellungen unter Kapitel 5.2 bis 5.6 entsprechen den in Tabelle 5-3 aufgeführten Variablenabkürzungen.

Tabelle 5-3: Auswahl analysierter Variablen für die Freie Strecke, mit Ausprägung

	Variable (Abkürzung)	Niveau	Einheit	Erläuterung	Ausprägung (Anzahl)
Verkehr (EX)	Länge	metrisch	m	Abschnittslänge	0,1 – 9,5
	DTV	kategorial	Kfz/24h	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr	250–36.600
	DTV_SV	metrisch	Kfz/24h	Durchschnittlicher Täglicher Schwerverkehr	10–3.900
Querschnitt (QS)	FBB_KAT	kategorial	-	Fahrbahnbreite < 7,75 m	-
	FBB_KAT_2	kategorial	-	Fahrbahnbreite < 8,0 m	-
	RSB_KAT	kategorial	-	Randstreifenbreite < 0,5 m (bei Q 21 rechter Randstreifen)	-
	FSB_KAT	kategorial	-	Fahrstreifenbreite < 3,5 m	-
	Q 11,5+ 3FS	kategorial	-	Differenzierung Querschnitt für Kollektiv Q 3FS	-
Lageplan (LP)	KU	metrisch	gon/km	Kurvigkeit des Abschnitts	0 – 701
	Di_RTT_MR_S U_KAT	metrisch	Anz./km	Dichte der Abweichungen von der Relationstrassierung mit gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius (maximale Dichte = 3/km) für einbahnige Abschnitte	0 – 3,0
	Di_RTT_A_SU _KAT	metrisch	Anz./km	Dichte der Abweichungen von der Relationstrassierung ohne gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius (maximale Dichte = 3/km) für einbahnige Abschnitte	0 – 3,0
	Di_MR_A_KAT	metrisch	Anz./km	Dichte Unterschreitung des Mindestradius (maximale Dichte = 3/km) für einbahnige Abschnitte ohne gleichzeitigen Abweichung von der Relationstrassierung	0 – 3,0
	Di_RTT_SU_2_ KAT	metrisch	Anz./km	Entspricht ($3 * Di_RTT_MR_SU + Di_RTT_A_SU + Di_MR_A$), (maximale Dichte = 9/km)	0 – 9,0
	Di_RTT_SU_4_ KAT	metrisch	Anz./km	Entspricht ($2 * Di_RTT_MR_SU + Di_RTT_A_SU + Di_MR_A$), (maximale Dichte = 6/km)	0 – 6,0
	DI_FLP_KAT	metrisch	Anz./km	Entspricht ($Di_RTT_MR_SU + Di_RTT_A_SU$), (maximale Dichte = 2/km)	0 – 1,2
Höhenplan (HP)	HK	metrisch	%	Hügeligkeit (Welligkeit)	0 – 10,9
	DI_HSW_70	metrisch	Anz./km	Dichte Abschnitte mit Haltesichtweite für $v = 70$ km/h unterschritten	0 – 4,0
	DI_HSW_100	metrisch	Anz./km	Dichte Abschnitte mit Haltesichtweite für $v = 100$ km/h unterschritten	0 – 2,5
	Di_ESZ	metrisch	Anz./km	Dichte Abschnitte mit entwässerungsschwacher Zone	0 – 4,7
Seiten-raum / Umfeld (SR)	Su_Di_Kp_VZ	metrisch	Anz./km	Dichte Anschlussknotenpunkte mit Regelung durch VZ	0 – 4,8
	Su_Di_Kp_o_V Z	metrisch	Anz./km	Dichte Anschlussknotenpunkte ohne Regelung mit VZ (Wege und Grundstückszufahrten)	0 – 11,0
	AKP	metrisch	Anz./km	Summe aus Su_Di_Kp_VZ und Su_Di_Kp_o_VZ	0 – 12,0
	PGS	metrisch	Anz./km	Dichte punktueller Gefahrenstellen (Kombination aus dieser Kategorie zugeordneter Merkmale)	0 – 8,1
	PGSAKP_3_KA T	metrisch	Anz./km	Entspricht ($Di_PGS + 3 * Su_Di_Kp_VZ + Su_Di_Kp_o_VZ$), (bis zu einer Dichte von 4/km stetig darüber fixer Wert 8)	0 – 4 (8)
	KST	kategorial	-	Kreisstrukturtyp	-
	BR	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit Baumreihe unmittelbar auf Bankett	0 – 1,00
	Wald	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit Baumreihe nach Böschungsmulde	0 – 1,00
	Su_BR_15	metrisch	Ant./km	Kombinationen aus Merkmal BR und Wald ($BR * 1,5 + Wald$)	0 – 1,50
Verkehrstechnik (VT)	Vzul	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit $V_{zul} > 100$ km/h (Q 21)	0 – 1,00
	Vzul_100	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit $V_{zul} = 100$ km/h (Q 9)	0 – 1,00
	MM_Lücke	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnittslänge mit Zeichen Z 340 StVO (Leitlinie)	0 – 1,00
	MMFBB	kategorial	-	Kombination und Klassierung von Merkmalen der Markierung Fahrt-richtungstrennung und Fahrbahnbreite	-
	PSE	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit passiver Schutzeinrichtung (Σ aller Arten)	0 – 1,00

Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse dient der Aufdeckung von Multikollinearität zwischen zwei oder mehreren Variablen. Liegen innere Abhängigkeiten vor, ist die Reduktion und Auswahl geeigneter Variablen anhand pragmatischer Überlegungen festzulegen. Für jeden Bewertungsfall liegen Korrelationsmatrizen vor, welche die Gegenüberstellung maßgebender Kenngrößen enthalten (Anhang H.1). Da mitunter verschiedene Variablenkategorien vorliegen, erfolgt die Bewertung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman-Rho.

Für die Kollektive Q 9 und Q 2FS liegt erwartungsgemäß eine hohe positive Korrelation zwischen den Variablen KU und HK vor. Beide Variablen lassen Rückschluss auf die Linienführung der Strecke zu. Bezüglich der Modellbildung kann nur eine von beiden Variablen Berücksichtigung finden und einen Repräsentant der Linienführung darstellen.

Als Stellvertreter der Kurvigkeit KU – mit diesbezüglich entsprechend hoher Korrelation – treten sämtliche Variablen auf, die Defizite in der Lageplantrassierung definieren. Da diese keine kritische Korrelation untereinander als auch mit der Variable HK besitzen, ist eine ggf. uneingeschränkte Verwendung dieser Variablen im Modell erlaubt. Tendenzieller, aber bezüglich der gewählten Grenzwerte nicht bedenklicher Natur, ist die Korrelation der Variablen DTV und MMFBB im Kollektiv Q 9.

Während für die kategoriale Variable FSB_KAT im Kollektiv Q 2FS eine als bedenklich einzustufende Korrelation mit dem DTV vorliegt – schmalere Querschnitte weisen häufig einen geringeren DTV auf ($\rho = -0,44$) – schwächt sich diese Beziehung bei Betrachtung der FBB_KAT_2 deutlich ab.

Die deutlich geringere Korrelation zwischen den Variablen KU und HK im Kollektiv Q 3FS ($\rho = 0,29$), lässt sich zum Teil aus den größeren Trassierungsparametern erklären. Korrelation zwischen der querschnittsbeschreibenden Kenngröße und anderen Variablen liegt nicht vor. Diesbezüglich liegen nach der Korrelationsmatrix keine systematischen Abweichungen zwischen den Teilkollektiven Q 11,5+ 3FS und Q 15,5 vor. Jedoch zeigt der Kolmogorov-Smirnov-Test, dass die Kurvigkeitsverteilung beider Kollektive nicht der gleichen Grundgesamtheit entstammt. Ursache ist die bereits beschriebene besondere Charakteristik einiger Abschnitte des Q 11,5+. Dieser bekannte Aspekt wird aber als nicht zwingend für eine Trennung der Kollektive bei der Modellbildung angesehen.

Für den Q 21 zeigen die Variablenkombinationen „DTV“ und „Schwerverkehrsanteil“ ($\rho = -0,56$) sowie der stetigen Variable „Fahrbahnbreite“ mit

der „Beschränkung der V_{zul} “ ($\rho = 0,45$) eine erhöhte Korrelation. Dass schmale Abschnitte des Q 21 häufiger eine Beschränkung der V_{zul} aufweisen, erscheint plausibel. Der Korrelationskoeffizient überschreitet in beiden Fällen die kritische Größenordnung nicht, eine Kombination der Variablen ist prinzipiell möglich.

5.2 Modelle nach Bewertungsfall

5.2.1 Allgemein

Die nachfolgenden Modelle beruhen auf den in Kapitel 5.1 dargestellten Variablen. Es wird in Modelle nach Unfallschwere (Unfallkategorie) und nach Unfalltyp unterschieden. Für jeden Bewertungsfall (Querschnitt) erfolgt die Bildung längenproportionaler Modelle. Die Unfallanzahl je Meter und Jahr entspricht den abhängigen Variablen.

Zur Verdeutlichung der Modellgüte sind neben den allgemeinen Modellparametern die Erklärungsanteile der Variablen sowie die UR zur Einordnung des Sicherheitsniveaus für jedes Teilmodell grafisch dargestellt (Abbildung 5-2). Der Quotient aus Pearson- χ^2 und Freiheitsgraden nimmt über die verschiedenen Modellstufen, beginnend beim Nullmodell, über das Modell der Exposition, bis zum Gesamtmodell – bei Anwendung der Poisson-Verteilung – i. d. R. kontinuierlich ab (Ziffer 8 bis 10). Aus dem Quotient der Varianzwerte unterschiedlicher Modellstufen – jeweils abzüglich des Werts eins – lässt sich die verbliebene unerklärte Streuung als Anteilswert ermitteln. Für die jeweiligen Modellstufen sind die ermittelten Erklärungsanteile dargestellt (Ziffer 5 bis 7). Im abgebildeten Beispiel verbleiben 39 % systematischer Streuung, während 30 % allein durch den DTV (Exposition) und 31 % durch weitere Risikogrößen erklärt sind.

UR		χ^2/df		Beschreibung Kenngrößen	
abs.	Quantil	Anteil	abs.	Nr.	Beschreibung
1,56	62		2,000	1	arithmetisch gemittelte beobachtete Unfallrate Kollektiv [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]
1	2	30	8	2	Quantil der arithmetisch gemittelten beobachteten Unfallrate Kollektiv [%]
		5		3	Quantil der modellberechneten mittleren Unfallrate (ohne Zuschläge) [%]
			1,700	4	modellberechnete mittlere Unfallrate (ohne Zuschläge) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]
		31	9	5	Anteil der Varianz, der durch die Expositionsgröße DTV erklärt wird [%]
		6		6	Anteil der Varianz, der durch die Risikogrößen (Zuschläge) erklärt wird [%]
			1,390	7	Anteil der unerklärten systematischen Varianz [%]
4	3	39	10	8	Quotient aus Pearson χ^2 und Anzahl der Freiheitsgrade Nullmodell [-]
0,56	17	7		9	Quotient aus Pearson χ^2 und Anzahl der Freiheitsgrade Modell nur mit Exposition [-]
				10	Quotient aus Pearson χ^2 und Anzahl der Freiheitsgrade Gesamtmodell [-]

Abbildung 5-2: Beschreibung der grafisch aufbereiteten Kenngrößen zur Modellbeschreibung

Die Angaben zur Unfallrate stützen sich auf die Anwendung der negativen Binomial-Verteilung. Wird auf Grundlage des Gesamtmodells unter Vernachlässigung aller Risikofaktoren die Unfallzahl bestimmt, entspricht die ermittelte Unfallrate (Ziffer 4) dem mittleren Grundniveau des Kollektivs. Zur Berechnung fließt der harmonische Mittelwert der Verkehrsstärke des Kollektivs ein. Das entsprechende Quantil (Ziffer 3) dient zur Einordnung des ermittelten Sicherheitsniveaus im Vergleich zum Quantil (Ziffer 2) der mittleren beobachteten UR (Ziffer 1) des Kollektivs. Entspricht die modellberechnete der beobachteten UR, so enthalten die beiden Spalten der UR lediglich modellberechnete UR und Quantile.

Die Höhe der Regressionskoeffizienten beruht i. d. R. – aufgrund von Überdispersion – auf der Anwendung der negativen Binomial-Verteilung. Auf eine finale Verwendung der Poisson-Verteilung wird explizit hingewiesen.

5.2.2 Q 9

Modelle nach Schwereklasse

Abbildung 5-3 zeigt die Streckenmodelle des Q 9 mit allen Variablen, die einen signifikanten Erklärungsanteil für das Modell enthalten und allgemeinen sachlogischen Bedingungen bezüglich einer Bewertung von Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit genügen.

In keinem der Fälle gelingt mit der Poisson-Verteilung eine vollständige Erklärung der systematischen Varianz. Wesentlichen Erklärungsanteil liefert die Expositionsgröße DTV, während der Anteil der Risikogrößen gering ausfällt. Der hohe Anteil verbleibender systematischer Streuung für U(LS) steht in Verbindung mit einer deutlicheren Ausprägung des Unfalltyps „Sonstige“ in dieser Kategorie (ca. 61 %). Hierbei handelt es sich um Unfälle, die sich keinem anderen Typ zuordnen lassen. Dementsprechend ist es schwierig, prägende Merkmale dieses Unfalltyps zu identifizieren. Unabhängig der Schwereklasse weist die Unfallhäufigkeit für alle Kategorien einen unterproportionalen Zusammenhang zur Verkehrsstärke auf.

Zu den einzelnen ermittelten Variablen lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Abweichungen von der Relationstrassierung mit und ohne Unterschreitung des Mindestradius führen zu einer Zunahme von U(P) und U(SS).

Bewertungsfall		Q 9											
Teilmodell		U(P)				U(SS)				U(LS)			
Modellname		3.3.12				3.0.9				3.5.22			
Krit.	Variable	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-15,348	****	,645	****	-15,539	****	,914	****	-10,175	****	,409	****
	ln (DTV)	,853	****	,082	****	,804	****	,114	****	,429	****	,054	****
LP	DI_RTT_MR_SU_KAT	,156	***	,047	**	,202	**	,072	**				
	DI_RTT_A_SU_KAT	,139	**	,051	**	,154	,065	,084	*				
VT	MMFBB (wenn Fall 2)	,436	**	,167	**					,296	**	,111	**
SR	SU_DI_KP_O_VZ	,069	*	,027	*					,065	**	,024	**
	SU_BR_15									,210	*	,092	*
HP	DI_HSW_100									,179	**	,064	**
Verteilungsparameter (NegBin-M.)		0,169				0,076				0,209			
		UR		χ ² /df		UR		χ ² /df		UR		χ ² /df	
		abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
		0,36	60		2,337	0,13	69		1,303	2,66	62		4,879
				66		0,11	65		65			37	
		8	1,460				1,108			11		3,437	
0,19	44		1,346				1,058			52		3,009	
		26					19		1,25	27			

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 5-3: Q 9, Teilmodelle nach Schwerekategorie

- Die kombinierte Variable MMFBB stellt eine den Bestand beschreibende Variable dar. Querschnitte mit einer FBB < 6 m und einer Mittelmarkierung bzw. unabhängig von der Markierung mit einer FBB > 6 m besitzen eine deutliche höhere Unfallhäufigkeit (Fall 2). Die gewählte Einteilung liegt in der Tatsache begründet, dass Abschnitte ohne markierte Fahrtrichtungstrennung mit FBB > 6 m nur seltene Ausnahmen darstellen. Diese Klassifizierung unterscheidet sich von der Angabe in den RMS Teil 1 (FGSV 1993), nach denen der Verzicht auf eine Leitlinie zur Trennung der Fahrstreifen erst ab befestigten Breiten kleiner 5,50 m vorgesehen ist. Es ist zu vermuten, dass das Vorhandensein einer markierten Mitteltrennung im Bereich geringer Fahrbahnbreiten dem Fahrzeugführer ein subjektives Maß an Sicherheit durch den Eindruck ausreichender Fahrstreifenbreite und Gestalt der Linienführung vermittelt. Unangebrachte Fahrgeschwindigkeiten sind die Folge. Das Merkmal MMFBB ist als Bestandteil eines Bewertungsprozesses als diskutabel einzustufen. Die Variable ermöglicht eine Differenzierung der Streckenabschnitte des Q 9 im Bestand. Eine direkte Bewertung des RQ 9 in Anlehnung an die Gestaltungskriterien nach den RAL (FGSV 2012) ist nicht möglich. Es ist nicht bekannt, welche Größenordnung das Sicherheitsniveau des RQ 9 aufweist. Mit dieser Randbedingung erscheint es für eine abgesicherte Bewertung des Querschnitts zielführender, eine differenzierte Einteilung der Q 9 zur

Verfügung zu stellen. Eine dem RQ 9 entsprechende gUKR und deren Zuschlüsse sind zu einem späteren Zeitpunkt, bei Vorliegen eines ausreichenden Kollektives, zu eruieren.

- Anschlussknotenpunkte ohne die Vorfahrt regelnde Verkehrszeichen (SU_DI_KP_O_VZ) erklären eine Erhöhung der Unfallhäufigkeit. Mutmaßlich wird das Unfallgeschehen an Knotenpunkten mit Regelung der Vorfahrt durch VZ – in aller Regel durch ein höheres Verkehrsaufkommen in der Nebenrichtung gekennzeichnet – durch andere Einflüsse egalisiert.
- SU_BR_15 beschreibt Eigenschaften des fahrbahnnahe Seitenraums. Die Variable besitzt lediglich Einfluss auf die Häufigkeit von U(LS). Aus der Annahme, dass eine fahrbahnrandnahe Bepflanzung maßgeblichen Einfluss auf die Unfallschwere und weniger auf die Unfallhäufigkeit nimmt, ist zu vermuten, dass das Auftreten des Merkmals weiterhin zu einer Verschiebung der Unfälle innerhalb der Schwere Kategorien von U(SS) zu U(P) führt.
- Die Variable DI_HSW_100 stellt als einzige Variable einen Bezug zur Trassierung im Höhenplan dar. Das Merkmal Hügeligkeit zeigt in keinem der Modelle einen signifikanten Zusammenhang zum Unfallgeschehen.

Bereiche mit passiven Schutzeinrichtungen vor fahrbahnrandnahen Hindernissen (SP_HI) sowie der Kreisstrukturtyp (KST) sind weitere Variable, die signifikanten Einfluss auf die Unfallhäufigkeit besitzen. Sie sind in ihrer Wirkung als plausibel einzustufen, jedoch mit Blick auf ein zukünftiges Bewertungsverfahren nicht widerspruchsfrei. Bereiche, in denen aufgrund von Hindernissen unmittelbar am Fahrbahnrand eine passive Schutzeinrichtung vorgesehen ist, weisen eine höhere Unfallhäufigkeit U(P) auf. Passive Schutzeinrichtungen stellen eine Maßnahme gegen Defizite dar. Deren Fehlen hätte einen weitaus deutlicheren Anstieg der Unfallschwere zur Folge. Eine Interpretation der Wirkung der Variable KST, beschränkt auf die Kategorie U(LS), ist nur bedingt möglich. Sowohl Strecken in Gebieten mit einer sehr hohen als auch niedrigen Bevölkerungsdichte weisen eine niedrige Unfallhäufigkeit auf. Die Variable besitzt keine maßgebende Korrelation mit dritten Merkmalen. Es ist anzunehmen, dass der KST eine Stellvertretervariable für eine besondere infrastrukturelle Eigenschaft oder Kenngröße des Verkehrsablaufs darstellt. Die ursächliche Wirkung des KST ist unbekannt. Die Größe ist im Planungsprozess nicht beeinflussbar und scheidet aus.

Das Fehlen der Variablen SP_HI und KST äußert sich in einem geringfügig höheren Anteil ungeklärter systematischer Varianz betroffener Teilmodelle. Weiterhin zeigt der höhere Regressionskoeffizient der Konstante auf, dass

die mittlere Unfallhäufigkeit *ceteris paribus* zunimmt. Die nahezu unveränderte Größenordnung der Regressionskoeffizienten verbliebener Variablen untermauert die Unverbindlichkeit dieser Größen zueinander. Eine Darstellung der Residuenanalyse befindet sich für alle Modelle in Anhang I.2.

Modelle nach Unfalltyp

Gegenüber den Modellen nach Schwereklasse variieren die Inhalte der Teilmodelle nach Art der Variable als auch der Regressionskoeffizienten (Abbildung 5-4). Die Teilmodelle lassen deutliche Unterschiede in den Erklärungsanteilen der Exposition und Risikogrößen erkennen. Insbesondere Unfälle des Typs 6 werden überwiegend über die Expositionsgröße DTV beschrieben. Ursache bildet der mit der Verkehrsstärke deutliche Anstieg der Anzahl von Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern. Aus unterschiedlichen Wunschgeschwindigkeiten und Begegnungsfällen entstehen Konfliktsituationen, wie bspw. Überholen, Auffahren und Begegnungen, die im Falle eines Unfalls dem Typ 6 zuzuordnen sind. Demgegenüber zeugen die hohen Erklärungsanteile der Risikogrößen der Modelle Typ 1 und Typ (-gruppe) A von einem stärkeren Zusammenhang zwischen Merkmalen der Strecke und typischen Konfliktsituationen.

Die Abhängigkeit der Unfallhäufigkeit von der Verkehrsstärke variiert mit dem Unfalltyp. Der unterproportionale Einfluss auf Unfälle des Typs 1 steht mutmaßlich in Verbindung mit einer Abnahme freifahrender Fahrzeuge im Streckenabschnitt. Der gleiche Zusammenhang gilt für die Unfalltypengruppe „Andere“. Die höhere Verkehrsstärke führt weiterhin zu einer Zunahme von Interaktionen im Längsverkehr. Aus den häufigeren Folge-, Überhol- und Begegnungssituationen von Fahrzeugen folgt eine überproportionale Zunahme der Unfälle im Längsverkehr. Bezüglich der Variablen treffen nachstehende Aussagen zu:

- Abweichungen von der Relationstrassierung (DI_RTT_MR_SU_KAT, DI_RTT_A_SU_KAT) prägen die Unfallhäufigkeit des Typs 1. Unterschreitungen des Mindestradius ohne Abweichung von der Relationstrassierung zeigen für Unfälle des Typs 6 eine signifikante Wirkung auf das Unfallgeschehen.
- Der Querschnitt – beschrieben über MMFBB – besitzt gleichermaßen wie der Seitenraum (SU_BR_15) Einfluss auf die Unfallhäufigkeit des Typs 1. Der Nachweis von SU_BR_15 für den Typ 1 lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Variable zum Teil eine Stellvertretergröße weitere Streckeneigenschaften darstellt. Der Einfluss dieser Variable ist tendenziöser Art.

Bewertungsfall		Q 9											
Teilmodell		Typ 1				Typ 6				Typ A			
Modellname		1.0.2				1.1				1.0			
Krit.	Variable	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-14,578	****	,753	****	-21,073	****	1,161	****	-13,567	****	1,193	****
	ln (DTV)	,674	****	,091	****	1,398	****	,135	****	,482	**	,154	**
LP	DI_RTT_MR_SU_KAT	,276	****	,053	****								
	DI_RTT_A_SU_KAT	,179	**	,058	**								
	DI_MR_A_KAT					,265	*	,105	**				
SR	SU_DI_KP_VZ									,674	****	,141	***
	SU_DI_KP_O_VZ	,073	*	,037	*								
	SU_BR_15	,191	,097	,115	,098								
VT	MMFBB (wenn Fall 2)	,585	**	,184	***								
	vzul_100 (Anteil V _{zul} = 100 km/h)					,933	*	,315	*				
Verteilungsparameter (NegBin-M.)		0,168				0,177				0,182			
		UR		χ ² /df		UR		χ ² /df		UR		χ ² /df	
		abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
		0,31	64		2,035	0,09	69		1,813	0,11	77	14	1,297
				48									1,255
						0,04	64	76		0,06	70	58	
		0,10	47	25	1,538			9	1,192			28	1,083
				27	1,275			15	1,126				

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 5-4: Q 9, Teilmodelle nach Unfalltyp

- Gegenüber den Modellen nach Schwerekatgorie ist ein Einfluss der höhenplanbedingten Unterschreitung der Haltesichtweite nicht nachweisbar.
- Mit dem Anteil einer V_{zul} von 100 km/h (entspricht vzul_100) je Abschnitt, steigt die Unfallhäufigkeit des Unfalltyps 6. Abschnitte mit einer V_{zul} < 100 km/h weisen nahezu ausnahmslos eine V_{zul} = 70 km/h auf.
- Knotenpunkttypische Unfälle – enthalten in der Gruppe „Andere“ – werden über die Anschlussknotenpunkten mit vorfahrtregelnden VZ (SU_DI_KP_VZ) beschrieben. Indessen beschreibt das Teilmodell für den Unfalltyp 1 einen signifikanten Einfluss von Anschlussknotenpunkten ohne vorfahrtregelnden VZ (SU_DI_KP_O_VZ). Mutmaßlich besitzt erstgenannte Gruppe der Anschlussknoten durch weitere nicht abgebildete Merkmale – Erkennbarkeit, Ankündigung durch Wegweisung – einen stärkeren Einfluss auf das Verkehrsverhalten, was durch einen Großteil der Verkehrsteilnehmer im Fahrverhalten adaptiert wird. Für Anschlussknotenpunkte ohne diese Merkmale ist zu vermuten, dass hier Fahrmanöver aufgrund geringer Reaktionszeiten und hoher Geschwindigkeiten zu Fahrnfällen führen.

Während Defizite im Lageplan über verschiedene Merkmale signifikant beschrieben werden können, ist ein Nachweis von Einflüssen aus der Streckenführung im Höhenplan bzw. in der räumlichen Linienführung nur sehr eingeschränkt möglich (DI_HSW_100) bzw. im geringen Maß mit den Lageplankenngrößen korreliert. Allgemein ist zu vermuten, dass Fahrzeugführer ihr Fahrverhalten in Abhängigkeit der Streckencharakteristik adaptieren sowie auch aufgrund der angepassten Linienführung dieses Querschnittes die Geschwindigkeiten anpassen. Dies spiegelt sich in den geringen Unfallkostensätzen des Q 9 wider.

5.2.3 Q 2FS

Modelle nach Schwerekatgorie

Im Vergleich zum Q 9 weisen die Teilmodelle für U(P) und U(SS) einen geringeren Erklärungsanteil systematischer Varianz bei Anwendung der Poisson-Verteilung auf (Abbildung 5-5). Jedoch besitzen mehr Merkmale einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen. Da der Einsatzbereich des Q 11 bezüglich der beobachteten Verkehrsstärke eine erhebliche Spannweite aufweist, lassen die Ergebnisse den Schluss zu, dass der Verkehrsablauf dem Einfluss einer Vielzahl an Komponenten unterliegt, welche in Abhängigkeit der Verkehrsstärke variieren. Zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke liegt unabhängig der Unfallschwere ein positiv degressiver Zusammenhang vor. Für einzelne Variable gilt:

- Die Variable DI_RTT_SU_2_KAT stellt für die Teilmodelle U(P) und U(SS) die geeignetste Größe zur Beschreibung von Defiziten in der Relationstrassierung dar. Für Abweichungen von der Relationstrassierung mit gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius weisen die Modelle gegenüber ihrem Pendant ohne Unterschreitung des Mindestradius eine ca. dreifach höhere Wirkung auf die Unfallhäufigkeit aus.
- Modellübergreifend stellt die stetige Variable FBB eine geeignete, die Querschnittsgestaltung beschreibende, Variable dar. Jedoch ist sie für Q 2FS mit dem DTV korreliert ($\rho = 0,58$). Geringere Verkehrsstärken sind i. d. R. das Kennzeichen schmalerer Querschnitte. Erst eine dichotome Gliederung der FBB reduziert das Maß der Multikollinearität deutlich. Die ebenfalls dichotom kategorisierten Variablen RSB und FSB zeigen einen weniger stark ausgeprägten Zusammenhang zur Verkehrsstärke. Beide Merkmale führen zur Varianzerklärung für das Teilmodell U(P). Für U(SS) und U(LS) liefert die dichotome Variable FBB_KAT_2 den höchsten Erklärungsanteil. Ein signifikanter Unter-

- schied zwischen Q 11 und zweistreifigen Abschnitten des Q 11,5+ ist auf Basis des Kollektivs für keine Schwerekatgorie nachweisbar.
- Die Erhöhung der Unfallhäufigkeit über alle Kategorien wird durch die Variable HK – zurückzuführen auf die mögliche Zunahme von Sichtdefiziten wie Tauchen, oder Springen mit Versatz – bei einer bewegten Linienführung charakterisiert.

Bewertungsfall		Q 2FS											
Teilmodell		U(P)				U(SS)				U(LS)			
Modellname		4.1.14				3.2				1.4			
Krit.	Variable	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-15,187	****	,503	****	-15,810	****	,703	****	-10,872	****	,349	****
	ln (DTV)	,764	****	,049	****	,752	****	,076	****	,535	****	,037	****
LP	DI_RTT_SU_2_KAT	,071	****	,012	****	,121	****	,018	****				
	DI_MR_A_KAT					,113	,053	,058	,074				
QS	FSB_KAT (FSB < 3,5 m)	,209	***	,054	***								
	RSB_KAT (RSB < 0,5 m)	,253	*	,116	*								
	FBB_KAT_2 (FBB < 8,0 m)					,250	*	,100	*	,270	**	,063	**
HP	HK	,044	*	,018	*	,078	**	,029	*	,055	****	,013	****
SR	PGSAKP_3_KAT	,025	**	,008	**	,025	,075	,014	,087				
	SU_BR_15	,134	*	,067	*					,234	****	,059	**
VT	MM_Lücke	,247	*	,118	*								
Verteilungsparameter (NegBin-M.)		0,133				0,438				0,142			
		UR		χ ² /df		UR		χ ² /df		UR		χ ² /df	
		abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
		0,23	58	41	2,167	0,09	70	33	1,774	1,71	58	33	5,464
				19	1,685			12	1,681			11	3,972
				40	1,457	0,04	55	55	1,422			55	3,485
		0,09	30							0,89	26		

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 5-5: Q 2FS, Teilmodelle nach Schwerekatgorie

- Mehrere das Umfeld beschreibende Variablen tragen zur Erklärung der Varianz bei. Dabei weist PGSAKP_3_Kat für U(SS) ein nur geringes Signifikanzniveau auf. Gegenüber dem Q 9 ist der Einfluss von SU_BR_15 auch für U(P) signifikant nachgewiesen.
- Das Merkmal MM_Lücke beschreibt den Streckenanteil, der keine Trennung der Fahrtrichtung mit Z 295 StVO (Fahrstreifenbegrenzung) aufweist und in dem ein Überholen möglich ist. Dieses Merkmal stellt – bei Gewährleistung ausreichender Überholsichtweiten und außerhalb von Bereichen weiterer Gefahrenpunkte – kein Defizit dar, trägt aber wesentlich zur Beschreibung der Verkehrssicherheit bei.

Es treten weitere Variablen signifikant in Erscheinung, welche aber aus pragmatischen Gesichtspunkten keinen Einklang in die finalen Modelle fin-

den. Der Kreisstrukturtyp (KST), dessen Wirkung auf die Häufigkeit von Unfällen mit Sachschaden beschränkt bleibt, erklärt für U(SS) auf Strecken in Landkreisen mit sehr geringer Bevölkerungsdichte (Typ F) eine geringere Unfallhäufigkeit, während die Wirkung bei U(LS) auf Kreise des Typs B zu erweitern ist. Das Vorhandensein von passiven Schutzeinrichtungen (PSE) wird mit einer Abnahme von U(P) erklärt. Es ist jedoch anzunehmen, dass nicht die Anzahl der Unfälle rückläufig ist, sondern eine Verlagerung des Unfallgeschehens in Kategorien geringerer Schwere erfolgt. Die Randstreifenbreite (RSB) ist eine weitere mögliche Variable des Modells U(LS). Sie ist Bestandteil der FBB. Aus Gründen der Multikollinearität ist die Verwendung beider Größen im Modell kritisch. Der Vergleich beider dichotomisierter Variablen zeigt einen Korrelationskoeffizient von $\rho = 0,45$. Die Verwendung beider Variablen in einem Modell erfolgt nicht.

Der Cure-Plot der kumulierten Residuen für U(LS) weist im Verlauf Überschreitungen des Vertrauensbereiches auf (Abbildung 5-6). Dieser Fall dient als Beispiel einer inhaltlichen Diskussion. Es wird der wechselnde Verlauf der kumulierten Residuen deutlich. Ab einer Verkehrsstärke von ca. 5.000 Kfz/24h tritt vereinzelt eine deutliche Unter- und Überschätzung der Unfallzahlen – deutlicher Anstieg der Kurve – auf, wobei sich der Verlauf der Kurve ab ca. 7.000 Kfz/24 wieder stabilisiert. Verschiedene Ursachen kommen für diese Abweichungen in Frage. Für einige Streckenabschnitte ist zu vermuten, dass eine deutliche Differenz zwischen tatsächlichem und in den SIB enthaltenem DTV vorliegt.

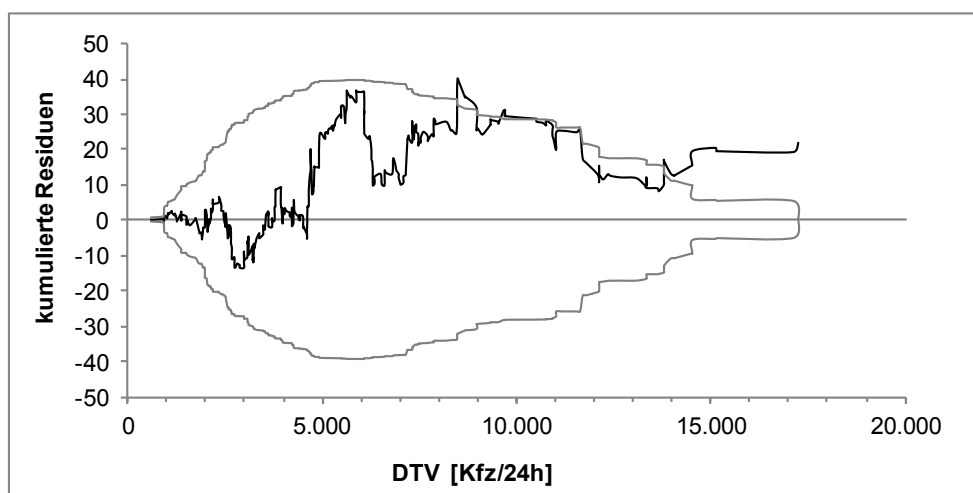


Abbildung 5-6: Cure-Plot kumulierte Residuen mit Vertrauensbereich für Modell Q 2FS U(LS)

Dieser Fall ist dann wahrscheinlich, wenn mehrere aufeinander folgende Netzknotenabschnitte mit identischem DTV hohe gleichgerichtete Residuen aufweisen. Diese möglichen Diskrepanzen – deren Auswirkung sich im Unterschied zwischen realer und erwarteter Unfallhäufigkeit ausdrückt – spiegeln sich im Plot durch den deutlichen Anstieg wider. Der Vertrauens-

bereich von $\pm 2 \sigma^*$ wird im Cure-Plot ab einem DTV von 8.000 Kfz/24h partiell, ab 14.000 Kfz/24h permanent überschritten. Im Bereich hoher Verkehrsstärken – Prüfung einer höherrangigen EKL für EKL 3 ab 13.000 Kfz/24h nach RAL (FGSV 2012) möglich – stößt der einbahnig zweistreifige Querschnitt an seine Einsatzgrenzen. Mutmaßlich führen sehr hohe Verkehrsstärken zu einer deutlichen Veränderung des Verkehrsablaufs⁴, die über die üblichen Modellparameter und zur Verfügung stehende Merkmale nicht mehr abgebildet werden kann. Daher wird die Überschreitung des Vertrauensbereichs ab dieser Grenze als akzeptabel angesehen und dem Modell eine ausreichende genaue Beschreibung des Merkmals DTV attestiert. Die gleichen Eigenschaften zeigt auch das Kollektiv U(SS). Auch hier überschreitet der Verlauf der kumulierten Residuen im Cure-Plot den Vertrauensbereich ab einem DTV von ca. 14.000 Kfz/24h (Anhang I.2, Abbildung I-11).

Modelle nach Unfalltyp

Im Vergleich zu den Modellen nach Unfallschwere zeigen alle Teilmodelle eine deutlich stärkere Varianzerklärung auf Basis der Poisson-Verteilung (Abbildung 5-7). Auch für den Q 11 zeigt der unfalltypenfeine Ansatz wesentliche Differenzierungen der Erklärungsanteile der Variablen mit der Poisson-Verteilung je Teilmodell. Unfälle des Typs 1 lassen sich hauptsächlich über Risikogrößen (Defizite oder Streckeneigenschaften) erklären, während die Verkehrsstärke maßgebend für Unfälle des Typs 6 ist. Diese weisen einen überproportionalen Zuwachs mit höheren Verkehrsstärken auf.

Der Cure-Plot für die kumulierten Residuen des Teilmodells Typ 6 zeigt über ein Ausmaß von 14.000 Kfz/24h eine in ihrem Umfang geringe Verletzung des Vertrauensbereiches $\pm 2 \sigma^*$ (Anhang I.2, Abbildung I-15). Derart hohe Verkehrsstärken stehen mit einer deutlichen Veränderung des Verkehrsablaufs – Geschwindigkeitswahl, Überholverhalten – im Zusammenhang. Da sie im Kollektiv selten auftreten (2 % des Streckenkollektivs), wird die Ungenauigkeit als vertretbar angesehen.

⁴ Für zweistreifige Straßen wird mit hohen Verkehrsstärken eine Abnahme der mittleren Fahrgeschwindigkeiten erkennbar. In Abhängigkeit der Randbedingungen treten ab einer stündlichen Verkehrsstärke von ca. 600 Kfz/h ständig Interaktionen zwischen den Kraftfahrern auf (FGSV 2005).

Bewertungsfall		Q 2FS											
Teilmodell		Typ 1				Typ 6				Typ A			
Modellname		1.1.4				3.1				1.0			
Krit.	Variable	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-13,894	****	,610	****	-19,175	****	,737	****	-16,728	****	,758	****
	ln (DTV)	,575	****	,066	****	1,147	****	,080	****	,830	****	,082	****
LP	DI_RTT_SU_4_KAT	,212	****	,190	****								
QS	FBB_KAT_2 (FBB < 8,0 m)	,263	**	,099	**	,294	**	,103	**	,532	****	,120	*****
HP	HK	,071	**	,025	**					,063	****	,013	*****
SR	SU_DI_KP_VZ	,145	*	,065	*								
	PGSAKP_3_KAT									,057	,056	,029	,072
	SU_BR_15	,227	*	,087	*								
VT	MM_Lücke					,392	*	,190	*				
Verteilungsparameter (NegBin-M.)		0,255				0,133				0,145			
		UR		χ^2/df		UR		χ^2/df		UR		χ^2/df	
		abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
		0,17	66	9	2,245 2,363	0,08	62	77	1,811	0,07	67	46	1,491
				55		0,05	52	3		0,03	52	23	1,264
		0,06	40	36	1,491			21	1,183			31	1,153

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 5-7: Q 2FS, Teilmodelle nach Unfalltyp

Die ermittelten Merkmale unterscheiden sich gegenüber den Modellen nach Schwereklasse nur geringfügig:

- Die Variable DI_RTT_SU_4_KAT vereinigt in einer Gewichtung alle Defizite in der Trassierung des Lageplans. Deren Geltung ist auf Unfälle des Typs 1 beschränkt. Abweichungen von der Relationstrassierung mit Unterschreitung des Mindestradius beeinflussen gegenüber den restlichen Defiziten deutlich stärker die Unfallhäufigkeit.
- Anschlussknotenpunkte führen zu einer höheren Unfallzahl an Fahrunfällen. Die Wirkung ist auf Anschlussknotenpunkte mit die Vorfahrt regelnden VZ beschränkt. Zusammen mit anderen Arten von „Wege- und Grundstücksanschlüssen“ sowie „punktuellen Gefahrenstellen“ (PGSAKP_3_KAT) ist ein Einfluss erwartungsgemäß auch für Unfälle der Gruppe „Andere“ nachweisbar.
- Als plausibel ist die Wirkung des Merkmals MM_Lücke einzustufen. Umfangreichere Überholmöglichkeiten haben eine Zunahme des Unfalltyps 6 zur Folge.
- Der Zusammenhang zwischen seitennaher Bepflanzung und einer Zunahme der Fahrunfälle deutet auf eine Stellvertretung des entsprechenden Merkmals bezüglich der Streckencharakteristik hin.

- Ein Einfluss der Hügeligkeit auf die Häufigkeit von Unfällen des Typs 6 ist nicht signifikant nachzuweisen. Es wäre zu erwarten, dass dieses Merkmal, welches indirekt Einfluss auf die Sichtbeziehungen eines Abschnitts besitzt, Unfälle im Längsverkehr prägt.

Eine weitere Variable, die aus pragmatischen Gründen keine weitere Berücksichtigung findet, ist der KST für das Teilmodell Typ 1.

5.2.4 Q 3FS

Modelle nach Schwereкатегorie

Lediglich für U(P) liegt eine signifikante kategoriale Trennung der Querschnitte Q 11,5+ 3FS und Q 15,5 vor. Die UR_(SS) korreliert signifikant sowohl mit der Hügeligkeit (HK) als auch mit der Variablen „Q 11,5+ 3FS“ auf schwachem Niveau ($\rho = 0,28$ bzw. $\rho = 0,32$), während beide Variablen untereinander nicht korrelieren. Da im Modell nicht beide Variable signifikant koexistieren, ist eine weitere mögliche Differenzierung anhand der Variablen „Q 11,5+ 3FS“ nicht auszuschließen, kann jedoch im Modell nicht nachgewiesen werden (Abbildung 5-8). Die weiteren in den Teilmodellen enthaltenen Variablen weisen bezüglich der Variablen „Q 11,5+ 3FS“ keine kritische Korrelation auf.

Bewertungsfall		Q 3FS											
Teilmodell		U(P)				U(SS)			EBMS U(LS)				
Modellname		1,5				1,0			V2.2				
Krit.	Variable	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-15,129	****	1,751	****	-14,494	****	2,390	****	-10,810	****	1,139	****
	ln (DTV)	,758	****	,185	****	,582	*	,244	,066	,524	****	,122	****
QS	Q 11,5+ 3FS	,518	*	,212	*								
LP	KU	,008	*	,003	*								
HP	HK					,238	****	,060	**	,093	***	,025	**
SR	SU_BR_15									,252	**	,089	*
Verteilungsparameter (NegBin-M.)		0,085				0,281			0,173				
		UR		χ^2/df		UR		χ^2/df		UR		χ^2/df	
		abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
		0,13	56		3,183	0,09	72	17	1,841	1,09	55	7	5,29
				47				48	1,696			14	5,01
			2,153				1,294			79	4,407		
	0,07	39	36		0,03	37	35		0,74	31			
			1,363										

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 5-8: Q 3FS, Teilmodelle nach Schwereкатегorie

Die Aussagekraft für Modelle U(P) und U(SS) des Q 3FS ist aufgrund der geringen Kollektivgröße eingeschränkt. Der gleichen Ursache folgt die Tatsache, dass mutmaßlich nur für eine geringe Anzahl an Merkmalen ein signifikanter Einfluss erklärt werden kann. Die ermittelten Merkmale besitzen innerhalb des Kollektivs eine signifikante Wirkung. Die Kombination aus geringen Kollektivumfang ($n < 80$) und dem hohen Erklärungsanteil weniger Risikogrößen in den Modellen U(P) und U(SS) legt jedoch die Vermutung nahe, dass umfangreichere Kollektive eine differenziertere Bewertung möglicher Einflussgrößen erlauben. Defizite in der Trassierung des Lageplans können nicht mit direkten Größen beschrieben werden. Für U(P) beschreibt die Variable KU stellvertretend die horizontale Linienführung.

Die Auswahl eines geeigneten Kollektivs aus Q 2FS und Q 3FS zur Abschätzung des Grundniveaus für U(LS) unterliegt den in Kapitel 3.5.2 erläuterten Einschränkungen. In der Abschätzung der Einflussgrößen sind die verschiedenen Entwurfsgrundsätze zu berücksichtigen. Die Korrelation von $UR_{(LS)}$ und DTV ($\rho = 0,49$) über alle einbahnig mehrstreifigen Abschnitte lässt keine Aussage zu, ob Unterschiede in der Verkehrssicherheit auf die EKL oder die Verkehrsstärke zurückzuführen sind. Für eine objektive Einschätzung liegt daher ein Auswahlkollektiv im Bereich ähnlicher Verkehrsstärken ($5.600 \leq \text{Kfz}/24\text{h} \leq 18.000$) zugrunde. Dieses wird den Anforderungen an eine gleiche Grundgesamtheit maßgebender Variablen und geringer Korrelation gerecht. Das gewählte Kollektiv EBMS enthält 188 Abschnitte, davon 19 des Q 3FS. Als einzige Variable weist die Hügeligkeit signifikante Unterschiede bezüglich der Verteilung in beiden Querschnitten auf.

Das Modell EBMS U(LS) weist im Vergleich mit dem Modell Q 2FS U(LS) identische Variablen als signifikante Einflussgrößen aus. Ein nachweisbarer Unterschied im Sicherheitsniveau zwischen Q 2FS und Q 3FS liegt nicht vor, lediglich Querschnitte mit $\text{FBB} < 8 \text{ m}$ weisen eine höhere Unfallhäufigkeit auf. Da einbahnig dreistreifige Abschnitte immer $\text{FBB} > 8 \text{ m}$ besitzen, wird auf die Darstellung der Variable FBB_KAT_2 im Modell verzichtet. Gegenüber dem Modell U(LS) für Q 2FS haben mit Ausnahme der Hügeligkeit alle Variablen eine nahezu identische Größenordnungen der Regressionskoeffizienten (Tabelle 5-4). Der höhere Regressionskoeffizient der Hügeligkeit zeigt den stärkeren Einfluss dieses Merkmals auf die Verkehrssicherheit einbahnig dreistreifiger Abschnitte. Inwiefern diese Wirkungszunahme mit Steigungsstrecken des Q 11,5+ 3FS im Zusammenhang steht, kann aufgrund der geringen Kollektivgröße nicht überprüft werden.

Tabelle 5-4: Größenordnung Regressionskoeffizienten β für Q 2FS U(LS) und EBMS U(LS) im Vergleich

Variable	Regressionskoeffizient β	
	Q 2FS U(LS)	EBMS U(LS)
Konstante	-10,872	-10,810
ln (DTV)	0,535	0,524
FBB_KAT_2	0,270	(0,230)
HK	0,055	0,093
SU_BR_15	0,234	0,252

Modelle nach Unfalltyp

Die geringe Unfallzahl lässt mit Ausnahme des Unfalltyps 1 eine weitere Differenzierung nicht zu. Die verbleibenden Unfalltypen sind in der Gruppe „Restliche“ (Typ R) zusammengefasst (Abbildung 5-9).

Bewertungsfall		Q 3FS							
Teilmodell		Typ 1				Typ R			
Modellname		1.1				1.1			
Krit.	Variable	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-16,243	****	1,710	****	-17,443	****	1,990	****
	ln (DTV)	,823	****	,180	****	,989	****	,216	***
QS	Q 11,5+ 3FS	,360	*	,181	,070				
LP	DI_MR_A_KAT					,277	,069	,157	,089
HP	HK	,162	**	,580	**				
SR	SU_BR_15	,871	*	,365	*				
Verteilungsparameter (NegBin-M.)		0,027				0,033			
		UR		χ^2/df		UR		χ^2/df	
		abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
		0,12	59	35	2,414	0,07	57	19	2,483
				58	1,921			74	1,371
		0,05	30	7	1,088	0,06	51	7	1,091

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 5-9: Q 3FS, Teilmodelle nach Unfalltyp

Der Vorteil einer Modellschätzung auf Basis der negativen Binomialverteilung ist marginal. Der Sicherheitsgewinn des Q 15,5 gegenüber dem Q 11,5+ 3FS ist auf eine geringere Anzahl an Fahrunfällen zurückzuführen. Da eine Korrelation der Variable mit anderen Merkmalen nicht vorliegt, zeichnet mutmaßlich ein verändertes Fahrverhalten in Kombination mit Einflüssen aus einer angepassten Linienführung für den höheren Sicherheitsgrad verantwortlich. Der alleinige Einfluss der Variable

DI_MR_A_KAT auf die U(LS) ist genauso wie die hohe Wirkung der stetigen Variable SU_BR_15 auf die U(P) fragwürdig. Es ist zu vermuten, dass der geringe Kollektivumfang bzw. das seltene Auftreten von Merkmalen zu Verzerrungen führen. Die Einschränkung der Modellqualität äußert sich u. a. in dem hohen Erklärungsanteil weniger Risikogrößen. Mit Ausnahme des Modells EBMS U(LS) obliegt die Aussagekraft der Modelle hinsichtlich Angaben zu Art und Wirkungsumfang von Einflussgrößen, trotz zugrunde liegender Residuenanalysen, zufallsbedingten Einschränkungen. Die Modelle des Q 3FS besitzen daher nur richtungsweisenden Charakter.

5.2.5 Q 21

Modelle nach Schwereкатегorie

Der Q 21 stellt aufgrund seiner zweibahnigen Gestaltung eine Besonderheit im Gefüge der Landstraßenquerschnitte dar. Der Einsatz ist für die EKL 1 bis EKL 3 möglich. Die Ermittlung der Unfallhäufigkeit erfolgt fahrtrichtungsunabhängig. Da lediglich nur zwei Streckenabschnitte eine fehlende Mitteltrennung aufweisen, ist eine verlässliche Bewertung des Merkmals nicht möglich. Um einen Einfluss auf das Restkollektiv auszuschließen, bleiben diese beiden Abschnitte unberücksichtigt. Die fahrtrichtungsunabhängige Bewertung des Querschnitts setzt eine identische Gestaltung der Querschnittselemente voraus. Der geringe Streckenumfang schränkt die Aussagekraft ein.

Während der Erklärungsanteil der Expositionsgröße DTV nach Modell deutlich variiert, liegt dieser für Risikogrößen mit 28 bis 34 % auf ähnlichem Niveau (Abbildung 5-10). Im Vergleich aller Bewertungsfälle weist das Teilmodell U(P) den höchsten Regressionskoeffizient für die Expositionsgröße DTV aus. Vor dem Hintergrund, dass auch bei hohen Verkehrsstärken die zweistreifige Richtungsfahrbahn des Q 21 die Möglichkeit der freien Wahl der Wunschgeschwindigkeit erlaubt, erscheint der nahezu lineare Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke plausibel. Zu den einzelnen Variablen lassen sich folgende Sachverhalte feststellen:

- Die Höhe der V_{zul} zeigt einen signifikanten Zusammenhang zur Unfallzahl von U(P). Je höher der Streckenanteil mit einer angeordneten V_{zul} von > 100 km/h, desto höher die Unfallanzahl.
- Gegenüber den anderen Bewertungsfällen liegt für den Q 21 kein Einfluss der Lageplantrassierung auf U(P) vor. Eine Wirkung lässt sich für Abweichungen von der Relationstrassierung – unabhängig von einer einhergehenden Unterschreitung des Mindestradius (DI_FLP_KAT) – nur für U(LS) nachweisen. Mögliche Ursache ist die geringe Anzahl

- von Lageplandefiziten, die eine exakte Wirkungsabschätzung erschwert. Anstelle der die Lageplandefizite beschreibenden Größen rückt die Kurvigkeit KU als erklärende Variable für U(SS) auf.
- Die inhaltliche Einordnung der Randstreifenbreite (RSB_KAT) ist diffizil. Abschnitte mit dieser Eigenschaft weisen eine um ca. 42 % höhere Unfallhäufigkeit ($\beta = 0,351$) der U(LS) auf. Die Größe korreliert weder mit der Fahrbahnbreite FBB noch mit einem weiteren Merkmal. Vermutlich entsprechen diese Abschnitte modernen Strecken mit höherem Ausbaustandard. Dazu zählen eine großzügig angepasste Linienführung und ein hohes Maß passiver Schutzeinrichtungen.
 - Aufgrund des geringen Kollektivumfangs U(LS) gilt die Vermutung, dass für die Variablenkombination RSB_Kat und DI_FLP_KAT eine Wirkungsüberschätzung vorliegen kann.

Bewertungsfall		Q 21											
Teilmodell		U(P)				U(SS)			U(LS)				
Modellname		1.1				1			1.3				
Krit.	Variable	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-16,855	****	2,872	****	-16,154	***	4,143	****	-10,915	****	2,026	****
	ln (DTV)	,910	**	,282	***	,786	,059	,417	*	,506	*	,209	*
VT	Vzul (Anteil Vzul > 100 km/h)	,319	*	,158	,060								
LP	DI_FLP_KAT									,265	***	,071	*
QS	FBB_KAT (FBB <7,75 m)	,377	,069	,208	,092								
	RSB_KAT (rechte RSB < 0,5 m)									,351	**	,111	**
HP	KU					,019	*	,008	**				
Verteilungsparameter (NegBin-M.)		0,093				0,16			0,04				
		UR		χ^2/df		UR		χ^2/df		UR		χ^2/df	
		abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
		0,08	54	30	1,658	0,04	59	34	1,777	0,47	50	12	2,238
				28	1,473			29	1,510			34	2,091
				42	1,275	0,03	49	29	1,288			54	1,666
		0,06	37					37		0,35	31		

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 5-10: Q 21, Teilmodelle nach Schwerekatgorie

Modelle nach Unfalltyp

Es liegen die zwei Teilmodelle „Typ 1“ und die Unfalltypengruppe „Restliche“ (Typ R) vor. Auch hier liegt die Ursache der Modellbildung in der Zusammensetzung der Unfalltypen. Zwei Drittel der Unfälle in der Unfalltypengruppe „Restliche“ entsprechen dem Unfalltyp 6. Die zwei Teilmodelle nach Unfalltyp enthält Abbildung 5-11.

Bewertungsfall		Q 21							
Teilmodell		Typ 1				Typ R			
Modellname		1.0				2.0			
Krit.	Variable	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-14,613	****	2,878	****	-13,977	****	2,728	****
	ln (DTV)	,680	*	,293	*	,503	,067	,275	,078
VT	Vzul (Anteil Vzul > 100 km/h)					,700	****	,162	****
QS	FBB_KAT (FBB <7,75 m)					,973	****	,193	**
LP	KU	,019	**	,006	**				
Verteilungsparameter (NegBin-M.)		0,23				0,021			
		UR		χ ² /df		UR		χ ² /df	
		abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
		0,07	60	19	2,298	0,05	58	19	1,374
				29	2,056			70	1,302
		0,05	46	52	1,685				
						0,02	32	11	1,039

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 5-11: Q 21, Teilmodelle nach Unfalltyp

Mit einer Dispersion von $\chi^2/df = 1,374$ weist das Kollektiv „Typ R“ nur eine geringe systematische Streuung auf. Diese wird durch die Poisson-Verteilung praktisch vollständig erklärt. Der Verlauf der kumulierten Residuen für das Teilmodell Unfalltyp 1 verlässt in der Analyse des Cure-Plots den Vertrauensbereich ab Verkehrsstärken von ca. 30.000 Kfz/24h (Anhang I.2, Abbildung I-29). Da lediglich sieben Streckenabschnitte betroffen sind und der Einsatz des RQ 21 nach den RAL (FGSV 2012) über diese Grenze hinaus nicht empfohlen wird, ist die Erklärungsgüte des Modells als akzeptabel zu erachten.

Die Modelle nach Unfalltyp enthalten die auch schon in den Modellen nach Schwereklasse signifikant in Erscheinung getretenen Merkmale. Dabei ist ein Einfluss der V_{zul} nicht für Fahrurfälle, sondern nur für „Restliche“ Unfalltypen signifikant nachzuweisen. Es ist zu vermuten, dass die Beschränkung der V_{zul} eine wesentliche Wirkung auf die Unfälle im Längsverkehr besitzt. Anstelle der Variable V_{zul} erklärt für Fahrurfälle die Kurvigkeit KU einen Anstieg der Unfallhäufigkeit. Die Differenzierung der Fahrbahnbreite (FBB_KAT) trägt wesentlich zur Erklärung systematischer Streuung im Kollektiv „Typ R“ bei. Demzufolge besitzen Querschnitte mit $FBB < 7,75$ m eine um 2,6-fach höhere Unfallhäufigkeit. Dies wird auch durch den Vergleich der beobachteten UR_{Typ_R} beider Teilkollektive bestätigt. Auch hier gilt die Einschränkung, dass die Ergebnisse – insbesondere die Höhe der Regressionskoeffizienten – durch eine geringe Stichprobengröße stärker zufälligen Zusammenhängen ausgesetzt sind.

5.3 Ableitung von Grundfunktionen

5.3.1 Funktionen der Unfallraten

Die UR-Grundfunktionen stellen die von Risikogrößen (Zuschlägen) befreiten, auf Basis der Modelle ermittelten, Unfallhäufigkeiten in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke dar und entsprechen somit annähernd einem best-practice-design oder dem verbliebenen Erwartungswert der Strecken des untersuchten Kollektivs. Da für alle Bewertungsfälle die UR durch Unfälle der Kategorie 5 dominiert wird, diese bezüglich der volkswirtschaftlichen Bewertung aber nur einen geringen Einfluss haben und die Modelle U(LS) sowohl für die Variante nach Schwereklasse als auch nach Unfalltyp Verwendung finden, liegt die Ergebnisdarstellung getrennt für die Kollektive U(P, SS) und U(LS) vor.

Die Summe der Grundfunktionen aller Teilmodelle bzw. Teilunfallkollektive ($\sum UR_{GN}$) entspricht der Grundunfallrate (-ähnlich) ($gUR_{\bar{A}}$) eines Bewertungsfalles. Der Anteil jedes Teilkollektivs an $gUR_{\bar{A}}$ variiert in Abhängigkeit von den Regressionskoeffizienten des DTV. Für die Modelle nach Schwereklasse treten nur geringfügige Änderungen der Anteilswerte je Teilmodell auf, da für alle Teilmodelle nur ein unterproportionaler Zusammenhang zwischen DTV und Unfallhäufigkeit vorliegt. Dementgegen steht eine differenzierte Entwicklung der UR bei der Betrachtung nach Unfalltypen. Abbildung 5-12 verdeutlicht diesen Zusammenhang für den Bewertungsfall Q 9. Die $gUR_{\bar{A}}$ nimmt mit zunehmender Verkehrsstärke ab. Während mit zunehmender Verkehrsstärke sowohl die absolute Höhe als auch der Anteil der UR_{Typ_1} und UR_{Typ_A} fällt bzw. an der $gUR_{\bar{A}}$ sinkt, gewinnt die UR_{Typ_6} absolut sowie relativ für die $gUR_{\bar{A}}$ des Q 9 an Bedeutung. So sind bei einer Verkehrsstärke von 1.000 Kfz/24h ca. 12 % dem Unfalltyp 6 zuzuordnen. Bei einer Verkehrsstärke von 7.000 Kfz/24h beträgt der Anteil des Unfalltyps an der $gUR_{\bar{A}(P, SS)}$ 38 %. Für den Bewertungsfall Q 2FS liegt mit Ausnahme eines relativen konstanten Anteils der UR_{Typ_A} eine ähnliche Entwicklung vor. Sowohl die Höhe der $gUR_{\bar{A}(P, SS)}$ als auch die dynamische Unfalltypenverteilung geben Auskunft über die Veränderungen des Verkehrsablaufs in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke für Q 9 und Q 2FS. Aus hohen Verkehrsstärken folgt eine unterproportionale Zunahme der Unfallhäufigkeit. Aus der Zunahme der Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern folgt eine überproportionale Zunahme der Unfälle im Längsverkehr, während Fahrnfälle rückläufig sind.

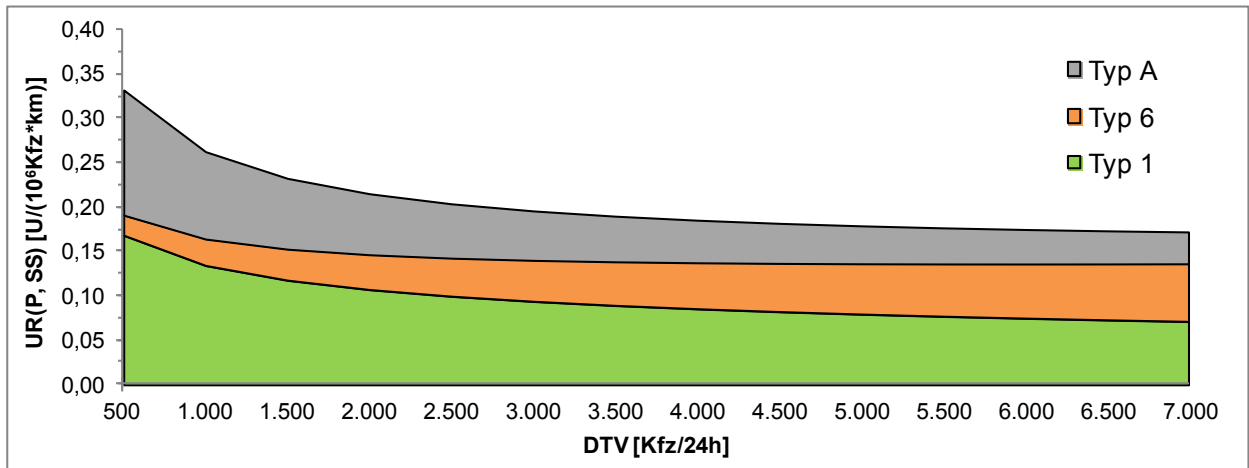


Abbildung 5-12: $gUR_{\bar{A},(P,SS)}$ für Q 9, getrennt nach Unfalltypen

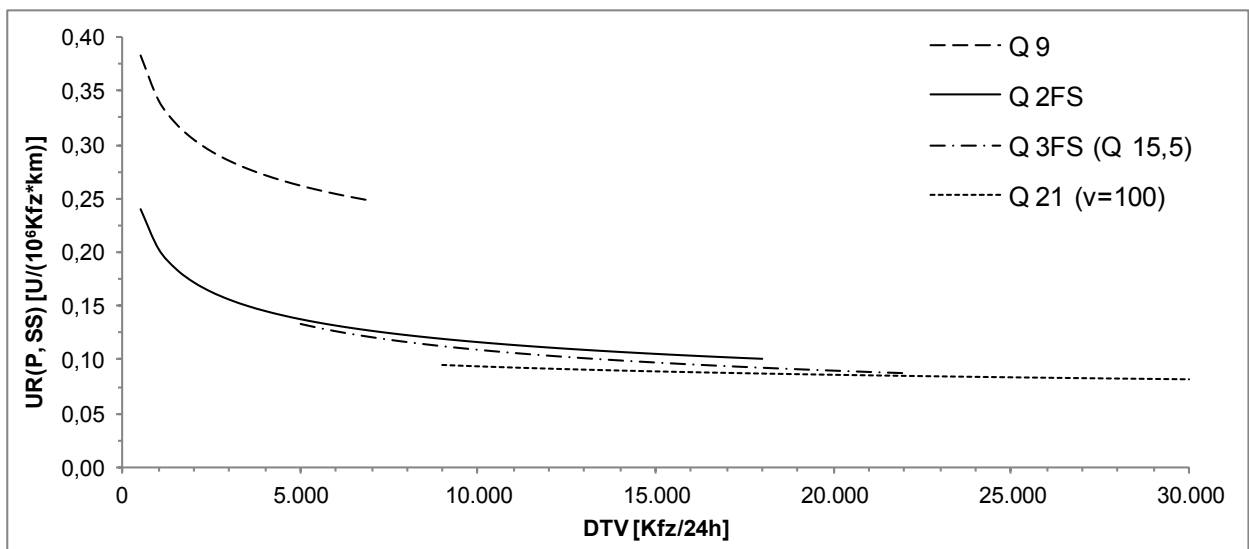


Abbildung 5-13: $gUR_{\bar{A},(P,SS)}$ für die Bewertungsfälle, Überlagerung der Modelle nach Schwerekategorie

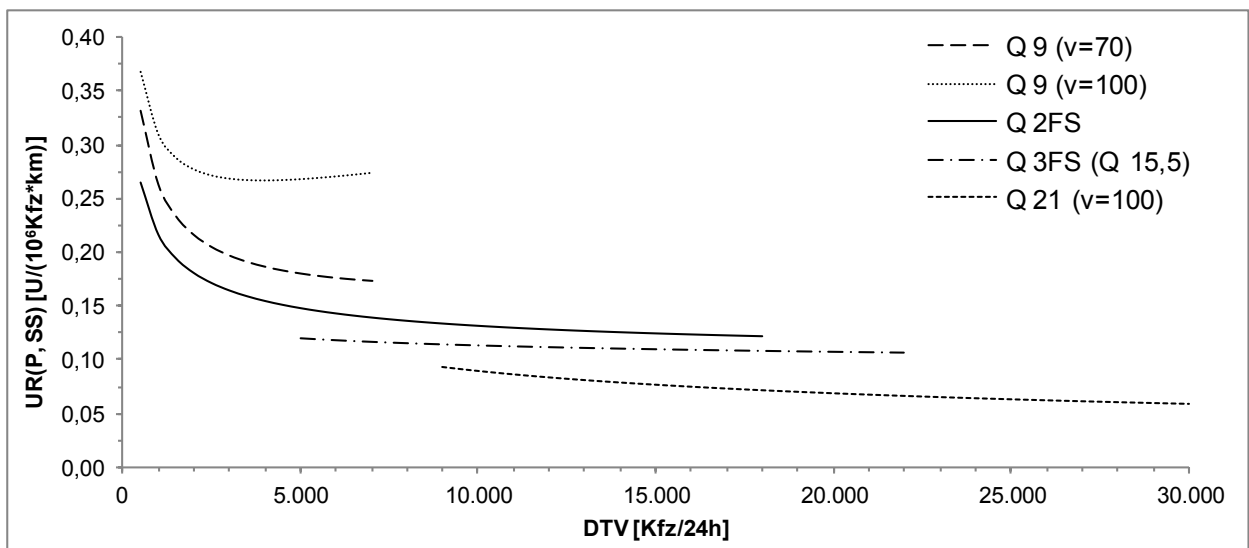


Abbildung 5-14: $gUR_{\bar{A},(P,SS)}$ für die Bewertungsfälle, Überlagerung der Modelle nach Unfalltyp

Abbildung 5-13 und Abbildung 5-14 enthalten die $gUR_{\bar{A}}$ der einzelnen Bewertungsfälle, differenziert nach den Varianten Modelle nach Schwerekate-

gorie bzw. Unfalltyp innerhalb ihrer beobachteten Grenzen. Die absolute Höhe der UR beider Varianten ist nur bedingt miteinander vergleichbar, da verschiedene Risikogrößen (Zuschläge) der jeweiligen Varianten das Niveau der $UR_{(P, SS)}$ beeinflussen. Für Bewertungsfälle, die eine Differenzierung des Niveaus nach V_{zul} bzw. Querschnitt erlauben, ist der entsprechend betrachtete Fall in der Legende vermerkt. Für die $gUR_{\check{A},(P, SS)}$ für Modelle nach Schwerekatgorie gilt:

- Mit Ausnahme des Q 21 nimmt die $gUR_{\check{A}}$ in allen Bewertungsfällen über die Verkehrsstärke ab. Die Zunahme der Funktionen im Bereich sehr geringer Verkehrsstärken ist u. a. auf die Berücksichtigung des DTV in einer Potenzfunktion zurückzuführen. Weiterhin resultiert die Zunahme aus den Randbedingungen, dass die Unfallzahl als diskrete, die Verkehrsstärke als stetige Größe vorliegt. Dadurch erfährt das Ereignis, ob ein Unfall vorliegt oder nicht, bei geringen Verkehrsstärken eine deutlich stärkere Gewichtung.
- Die Kurvendistanz zwischen den Bewertungsfällen Q 2FS und Q 3FS (Q 15,5) nimmt im Bereich höherer Verkehrsstärken zu.
- Im Vergleich der einbahnig dreistreifigen Querschnitte weisen Abschnitte des Q 11,5+ 3FS gegenüber dem Q 15,5 eine deutlich höhere UR auf. Das auf Basis der Modelle abgeschätzte Niveau der $gUR_{\check{A},(P, SS)}$ liegt bei gleicher Verkehrsstärke ca. 51 % über der Größenordnung des Q 15,5.
- Abschnitte des Q 21 mit $V_{zul} = 120$ km/h oder ohne Beschränkung der V_{zul} weisen eine im Mittel um 23 % höhere $UR_{(P, SS)}$ als Abschnitte mit $V_{zul} = 100$ km/h auf.

Die $gUR_{\check{A},(P, SS)}$ der Modelle nach Unfalltyp zeigt zu oben genannten Ergebnissen Abweichungen und lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Ein deutlicher Einfluss der Verkehrsstärke auf das Unfallrisiko $U(P, SS)$ einbahniger Abschnitte liegt überwiegend im Bereich geringer und mittlerer Belastungen vor, verliert aber im Bereich hoher Belastungen an Bedeutung. Ursache bildet die differenzierte Entwicklung der Unfallhäufigkeit nach Unfalltyp, insbesondere die progressive Zunahme der Unfälle im Längsverkehr für Q 9 und Q 2FS.
- Aus der umfangreicheren Anzahl identifizierter sicherheitsprägender Merkmale des Q 9 ($V = 100$) – unter anderem erfolgt eine Differenzierung nach V_{zul} – liegt gegenüber den Modellen nach Schwerekatgorie eine deutlich niedrigere $gUR_{\check{A},(P, SS)}$ vor.
- Die $gUR_{\check{A},(P, SS)}$ für Q 9 ($V = 100$) unterscheidet sich bezüglich des absoluten Niveaus als auch im Kurvenverlauf deutlich vom Pendant mit einer niedrigeren V_{zul} und stellt einen Sonderfall dar. Im Bereich von ca. 5.500 Kfz/24h hat diese ein Minimum, bevor das Niveau im Be-

reich hoher Verkehrsstärken wieder steigt. In diesem Abschnitt fällt die Abnahme der Fahrnunfälle weniger stark als der Zuwachs der Längsverkehrsunfälle aus.

- Für die $gUR_{\bar{A},(P,SS)}$ des Q 3FS liegt praktisch ein linearer Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke vor. Das Verhältnis der Teilkollektive Typ 1 und Unfalltyp (-gruppe) „Restliche“ verändert sich nur sehr geringfügig. Gegenüber den Q 15,5 weist das Teilkollektiv Q 11,5+ 3FS eine verkehrsstärkeunabhängige, um 18 % höhere, $gUR_{\bar{A},(P,SS)}$ auf.
- Wiederrum das höchste Sicherheitsniveau besitzt der Q 21. Dieses entwickelt sich mit ansteigender Verkehrsstärke positiv. Für Abschnitte mit einer $V_{zul} > 100$ km/h erklären die Modelle ceteris paribus ein um ca. 25 % konstant höheres Unfallrisiko.

Für die Modelle U(LS) führt die gleiche Größenordnung der DTV-Regressionskoeffizienten zu einander ähnelnden regressiven Kurvenverläufen der nach Bewertungsfall getrennten $gUR_{\bar{A},(LS)}$ (Abbildung 5-15). Mit zunehmender Verkehrsstärke zeigt der Q 9 gegenüber dem Q 2FS eine stärkere Abnahme des Unfallrisikos. Beide Querschnitte werden durch den Unfalltyp „Sonstige“ geprägt. Das niedrigere $gUR_{\bar{A},(LS)}$ -Niveau des Q 9 ist auf einen nicht nur relativen, sondern auch absolut gesehen geringeren Anteil des Unfalltyps „Sonstige“ zurückzuführen. Dieser Umstand erklärt sich u. a. über den Anteil der Wildunfälle. Dieser fällt auf Kreis- und Gemeindestraßen mit meist geringeren Verkehrsstärken kleiner aus (HÜLSEN/VOß 2002).

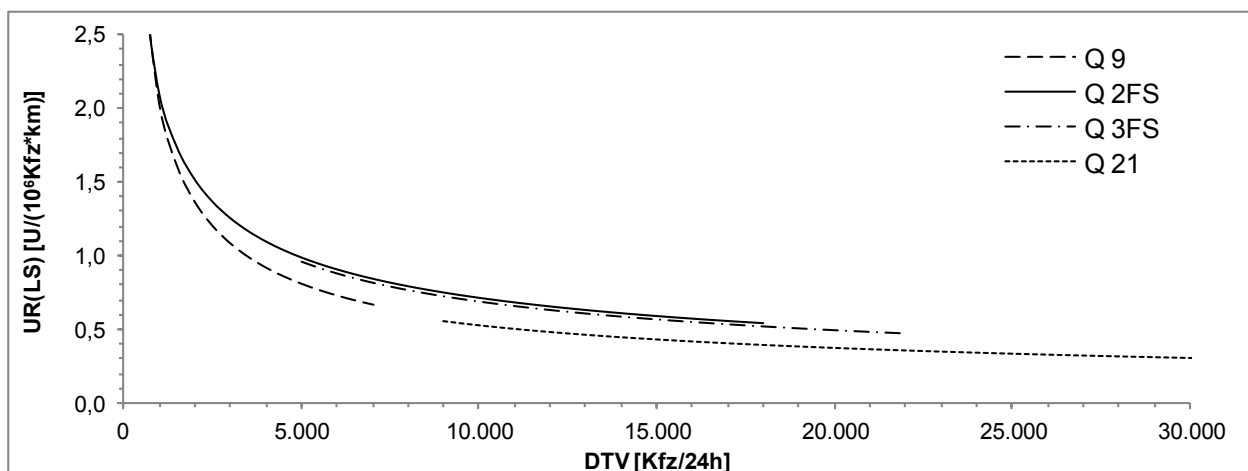


Abbildung 5-15: $gUR_{\bar{A},(LS)}$ für die Bewertungsfälle

Da die Analyse des Q 3FS auf dem querschnittsübergreifenden Kollektiv EBMS U(LS) beruht, ist die Aussagekraft des Niveauunterschieds zwischen Q 2FS und Q 3FS eingeschränkt (Kapitel 5.2.4). Ein Unterschied zwischen beiden Bewertungsfällen liegt praktisch nicht vor.

5.3.2 Funktionen der Unfallkostenraten

Die Monetarisierung des Unfallgeschehens bezüglich seiner volkswirtschaftlichen Bedeutung erlaubt die Darstellung von UKR. Die $gUKR_{\bar{A}}$ in Abbildung 5-16 und Abbildung 5-17 stellt die Zusammenfassung aller Teilmodelle nach Schwereкатегorie bzw. Unfalltyp einschließlich der U(LS) frei von Zuschlägen (Risikofaktoren) dar. Gegenüber den Funktionen der $gUR_{\bar{A}}$ werden die $gUKR_{\bar{A}}$ wesentlich durch Teilkollektive mit hohen Kostensätzen geprägt. Es lassen sich für den Ansatz nach Schwereкатегorie folgende Erkenntnisse ableiten:

- Die $gUKR_{\bar{A}}$ aller Bewertungsfälle zeigen einen regressiven Zusammenhang zur Verkehrsstärke.
- Aus einem gegenüber dem Q 2FS niedrigeren $KS_{a,U(P)}$ und Niveau der $gUR_{\bar{A},(LS)}$ des Q 9 resultiert eine geringe Differenz beider Bewertungsfälle. Gleichwohl erzielt der Q 2FS gegenüber dem Q 9 mit zunehmender Verkehrsstärke einen Sicherheitsgewinn.
- Der Sicherheitsvorteil einer gegenüber dem Q 2FS geringeren $UR_{(P,SS)}$ des Q 3FS wird durch eine höhere Unfallschwere – unabhängig vom betrachteten Ansatz – teilweise kompensiert. Der erheblich höhere $KS_{a,U(P)}$ ist Ursache für eine gegenüber dem Q 2FS höhere $gUKR_{\bar{A}}$ des Q 3FS. Trotz der deutlichen Nähe beider Bewertungsfälle ist die Unterstellung, dass zwischen beiden Fällen kein signifikanter Unterschied der $gUKR_{\bar{A}}$ vorliegt nicht zulässig. Grund ist die Modellentwicklung auf Basis eigener Kollektive, die sich bezüglich ihrer Eigenschaften und Zuschläge wesentlich voneinander unterscheiden.

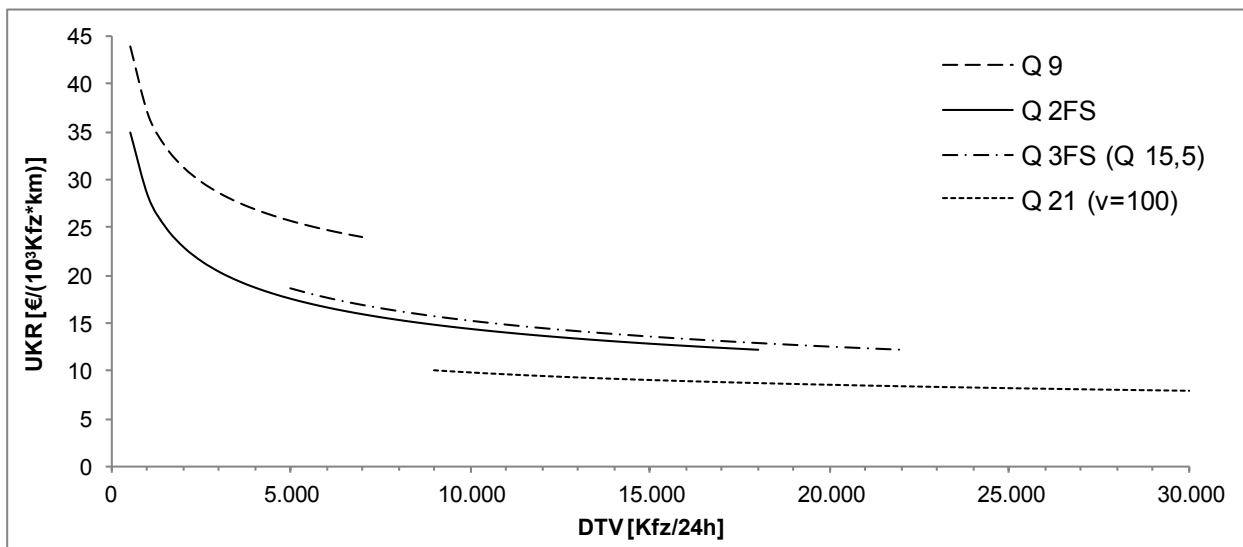


Abbildung 5-16: $gUKR_{\bar{A}}$ für die Bewertungsfälle, Überlagerung der Teilmodelle nach Schwereкатегorie einschließlich U(LS)

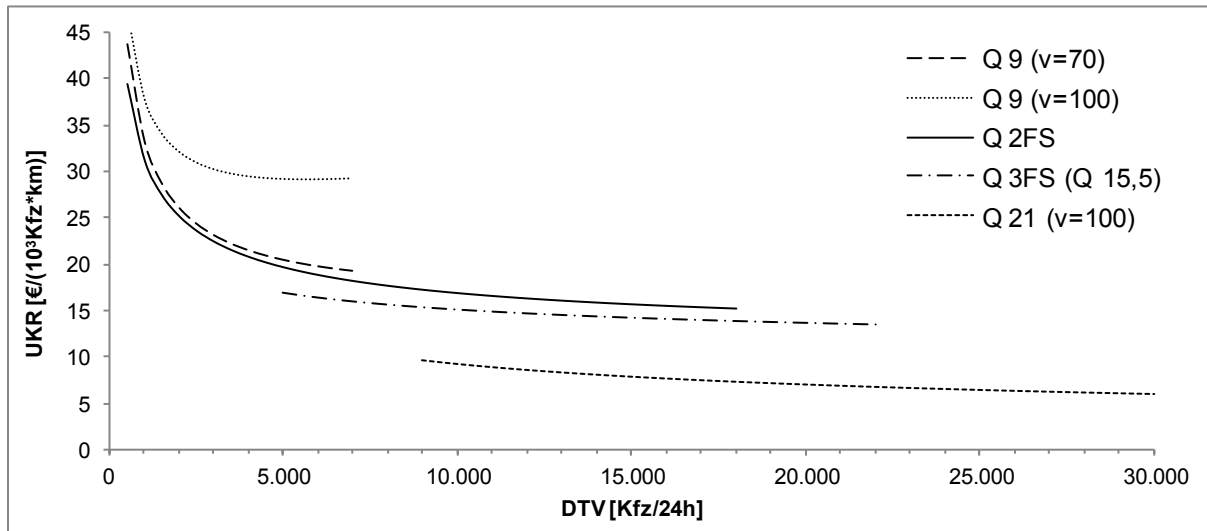


Abbildung 5-17: $gUKR_{\bar{A}}$ für die Bewertungsfälle, Überlagerung der Teilmodelle nach Unfalltyp einschließlich U(LS)

- U. a. die Richtungstrennung der Fahrtrichtungen führen für den Q 21 zu einer niedrigeren $gUR_{\bar{A},(LS)}$ und geringeren $KS_{a,U(P)}$ gegenüber den einbahnig mehrstreifigen Querschnitten. Daraus resultiert eine niedrige $gUKR_{\bar{A}}$.

Der Ansatz nach Unfalltyp lässt folgende Aussagen zu:

- Das Merkmal V_{zul} wirkt sich für den Q 9 deutlich auf die $gUKR_{\bar{A}}$ aus. Für Abschnitte mit einer $V_{zul} = 70$ km/h liegt die Höhe der $gUKR_{\bar{A}}$ ca. 5 % über dem Niveau des Q 2FS. Die $gUKR_{\bar{A}}$ für Q 9 mit $V_{zul} = 100$ km/h hat bei 5.500 Kfz/24h ein Minimum.
- Gegenüber dem Ansatz nach Schwereklasse stabilisiert sich die $gUKR_{\bar{A}}$ des Q 2FS für den Ansatz nach Unfalltyp ab einem DTV von ca. 10.000 Kfz/24h.
- Das Niveau der $gUKR_{\bar{A}}$ liegt bei dieser Betrachtungsweise für den Q 3FS unter dem Niveau des Q 2FS und zeigt eine geringere Abhängigkeit zur Verkehrsstärke. Dies wird besonders im Bereich geringer Verkehrsstärken deutlich.
- Die fallende Funktion des Q 21 offenbart für den Ansatz nach Unfalltypen einen stärkeren Zusammenhang der Unfallhäufigkeit zur Verkehrsstärke.

Der allgemein deutliche Anstieg der $gUKR_{\bar{A}}$ -Funktionen des Q 9 und Q 2F im Bereich geringer Verkehrsstärken ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Kennzeichen beider Kollektive ist eine vom Verlauf ähnliche allgemeine Abnahme der beobachteten $UR_{(P,SS)}$. Die Zufälligkeit eines Unfallereignisses auf Abschnitten mit sehr geringer Verkehrsstärke wirkt sich wesentlich auf absolute Höhe und Streuung fahrleistungsbezogener Unfallkenngrößen aus. Diese sind darüber hinaus wesentlich stärker von zufälligen

Abweichungen gekennzeichnet, die vermutlich aus der Differenz zwischen der tatsächlichen und der in den SIB vorliegenden Verkehrsstärke resultieren. Eine weitere Einschränkung folgt aus der Modellbildung. Die auf Basis der Maximum-Likelihood-Schätzung ermittelten Regressionskoeffizienten stellen nicht zwangsläufig die Erwartungswerte in den beobachteten Randbereichen dar. Liegt bspw. zwischen abhängiger Variable und Expositionsgröße für den überwiegenden Teil der Daten ein nicht linearer Zusammenhang vor, weist der Regressionskoeffizient eine Größenordnung $\beta \neq 1$ auf. Aus der Modellfunktion (DTV^β) folgt ein deutlicher Anstieg der Funktion – in diesem Falle der Unfallrate – im Bereich geringer Verkehrsstärken. Dieser systematische Zusammenhang muss für die häufig mit beobachteten Werten schwach besetzten Randbereiche keine Gültigkeit haben. Infolgedessen ist bei der Ermittlung der Unfallkenngrößen für diese Bereiche unter beschriebenen Randbedingungen eine Scheingenauigkeit zu unterstellen, die durch systematische und zufällige Eigenschaften geprägt ist.

Da die $gUKR_{\bar{A}}$ aller Bewertungsfälle für die Modellvariante nach Schwere-kategorie einen regressiven Kurvenverlauf besitzen, lässt sich der Verlauf der $gUKR_{\bar{A}}$ über eine Potenzfunktion beschreiben (Gl. 18).

Die Verwendung der Potenzfunktion allein ist für den Ansatz nach Unfalltyp bei den Bewertungsfällen Q 9 und Q 2FS ungenügend. Der Einfluss der Teilmodelle für Unfalltyp 6 – Stagnation bzw. tendenzieller Anstieg der $gUKR_{\bar{A}}$ im Bereich hoher Belastung – würde nur unzureichende Berücksichtigung finden. Die Verwendung eines weiteren linearen Terms in der Regressionsfunktion lässt hingegen eine bessere Beschreibung der $gUKR_{\bar{A}}$ zu (Gl. 19).

$$gUKR_{\bar{A}} = k_{UKR} * DTV^{f_{UKR}} \quad \text{Gl. 18}$$

$gUKR_{\bar{A}}$	Grundunfallkostenrate (-ähnlich) [€/($10^3 * Kfz * km$)]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
k_{UKR}	Grundniveau Funktion
f_{UKR}	Funktionsparameter

$$gUKR_{\bar{A}} = k_{UKR} * DTV^{f_{UKR}} + h_{UKR} * DTV \quad \text{Gl. 19}$$

$gUKR_{\bar{A}}$	Grundunfallkostenrate (-ähnlich) [€/($10^3 * Kfz * km$)]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
k_{UKR}	Grundniveau Funktion
f_{UKR}/h_{UKR}	Funktionsparameter

Tabelle 5-5 enthält die Funktionsparameter aller Bewertungsfälle beider Ansätze. Um eine einheitliche Bewertungsgrundlage zu gewährleisten, werden in den weiteren Untersuchungen Veränderungen des Sicherheitsgrades aufgrund von Beschränkungen der V_{zul} immer als Zuschläge angesehen. Daher sind die Funktionen Q 9 ($V = 70$) und Q 21 ($V = 100$) für die weiteren Berechnungen maßgebend.

Tabelle 5-5: Funktionsparameter für die Bewertungsfälle Freie Strecke von Landstraßen, getrennt nach Ansatz Modelle nach Schwere-kategorie und Modelle nach Unfalltyp

Ansatz	BF	$g_{UKR\bar{A}} = k_{UKR} * DTV^{f_{UKR}}$		$g_{UKR\bar{A}} = k_{UKR} * DTV^{f_{UKR}} + h_{UKR} * DTV$		
		k_{UKR}	f_{UKR}	k_{UKR}	f_{UKR}	h_{UKR}
Schwere-kategorie	Q 9	164,0	-0,217			
	Q 2FS	212,1	-0,293			
	Q 3FS	225,6	-0,294			
	Q 21 (V=100)	62,1	-0,200			
Unfall-typ	Q 9 (v=70)			442,8	-0,377	0,0005
	Q 2FS			242,1	-0,299	0,0001
	Q 3FS	61,1	-0,152			
	Q 21 (V=100)	378,9	-0,403			

5.3.3 Diskussion und Empfehlung

Die Ansätze der Modellbildung nach Schwere-kategorie und Unfalltyp für U(P, SS) weisen sowohl Gemeinsamkeiten als auch deutliche Unterschiede zueinander auf.

Für Q 9 und Q 2FS liegen gegenüber Q 3FS und Q 21 unabhängig vom gewählten Ansatz eine höhere Anzahl identifizierter Merkmale vor, denen ein signifikanter Einfluss auf die Verkehrssicherheit nachgewiesen ist. In Abhängigkeit vom Stichprobenumfang variiert die allgemeine Aussagekraft der Modelle und damit u. U. der verbundenen Identifikation von Merkmalen für die einzelnen Bewertungsfälle. Häufig kann die Varianzerklärung nicht vollständig durch die Poisson-Verteilung erklärt werden. Das ist ein Indiz, dass weitere Merkmale Einfluss auf die Verkehrssicherheit besitzen. Diese sind anhand der zugrunde liegenden Daten nicht signifikant zu erklären. Unter der Voraussetzung, dass eine vollständige Erklärung der systematischen Varianz gelingt, ist mit einer Änderung des Grundniveaus zu rechnen.

Innerhalb eines Bewertungsfalles variiert der Erklärungsanteil der Risikogrößen für die verschiedenen Teilmodelle nach Schwere­kategorie nur gering. Den größten Erklärungsanteil liefert die Expositionsgröße DTV. Demgegenüber zeigt die typenabhängige Modellbildung eine wesentlich breitere Streuung auf. Die systematische Varianz für Modelle des Unfalltyps 1 lässt sich i. d. R. wesentlich stärker über Risikogrößen erklären, als es für den Unfalltyp 6 der Fall ist.

Während für die Modelle nach Schwere­kategorie unabhängig von der Unfallkategorie ein degressiver Konnex zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit vorliegt, hängt der Zusammenhang für den Ansatz nach Unfalltyp von der jeweils betrachteten Konfliktsituation ab. Dabei wird der von TAYLOR et al. (2002) und MIAOU (1996) ermittelte stark degressive Zusammenhang zwischen steigender Verkehrsstärke und der Anzahl von Fahr­unfällen bestätigt. Demgegenüber ist für einbahnige Abschnitte, bei denen das Überholen nicht verkehrstechnisch gesichert erfolgt, ein progressiver Zusammenhang zwischen steigender Verkehrsstärke und der Häufigkeit von Unfällen des Längsverkehrs festzustellen. Für beide Unfalltypen stellt bei zunehmender Verkehrsstärke die ansteigende Anzahl an Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern den Grund für diese Zusammenhänge dar. Die Interaktionen führen zur einer Homogenisierung des Verkehrsablaufs und einer Anpassung der Fahrgeschwindigkeiten. Aus der Spannbreite unterschiedlicher Wunschgeschwindigkeiten folgt bei hohem Verkehrsaufkommen eine höhere Anzahl gewünschter Überholvorgänge. In Verbindung mit höheren Verkehrsstärken sinkt die Möglichkeit von sicheren Überholvorgängen, welche das Risiko von Überholunfällen steigen lässt.

Tabelle 5-6 enthält für beide Verfahrensansätze eine Übersicht zur Anzahl identifizierter Merkmale für U(P, SS) auf Basis übergeordneter Kriterien. Die Art der Merkmale variiert zwischen den Modellansätzen für einen Bewertungsfall nur gering. Die Modellierung nach Unfalltyp bildet eine höhere Anzahl signifikanter Einflussgrößen für Q 9 ab. Dabei lässt die Anzahl der Merkmale allein nur geringe Rückschlüsse auf die Qualität der Ansätze zu.

Der Vergleich beider Modellansätze inklusive der Modelle für U(LS) auf Basis der identifizierten Merkmale erlaubt eine allgemeine Einschätzung von Wirkungszusammenhängen. Darüber hinaus werden auch Einschränkungen in der Anwendung von GLM Modellen deutlich.

Tabelle 5-6: Zusammenfassung der Anzahl von Merkmalen für U(P, SS) nach übergeordneten Kriterien für Ansatz Modelle nach Schwereklasse und Modelle nach Unfalltyp

Bewertungsfall	Modellansatz	Querschnitt	Lageplan	Höhenplan	Seitenraum/Umfeld	Verkehrstechnik	Σ
Q 9	Schwereklasse		2		1	1	4
	Unfalltyp		3		4	2	9
Q 2FS	Schwereklasse	3	3	1	5	1	13
	Unfalltyp	1	3	1	6	1	12
Q 3FS	Schwereklasse	1	1	1			3
	Unfalltyp	1	1	1	2		5
Q 21	Schwereklasse	1	1			1	3
	Unfalltyp	1	1			1	3

Aus einer breiteren befestigten Fläche resultiert für mehrstreifige Bewertungsfälle eine Abnahme der Unfallhäufigkeit innerhalb der beobachteten Grenzen. Einzig für den Q 9 mischen sich Kriterien aus Querschnittsgestaltung und Verkehrstechnik, welche das Sicherheitsniveau bestimmen. Eine breitere befestigte Fläche steht in Diskrepanz zur angepassten Linienführung des Q 9. Der unterstellte Zusammenhang zwischen breiterem Querschnitt und höherem Ausbaustandard wird für den Q 9 im Bestand häufig nicht erfüllt. Aus der Zuordnung der Merkmale in den Teilmodellen zeigt sich, dass Defizite in der Querschnittsgestaltung überwiegend mit Fahrurfällen verbunden mit schweren Unfallfolgen in Zusammenhang stehen.

Merkmale, welche die Streckenführung im Lageplan beschreiben, besitzen wesentlichen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit aller Bewertungsfälle – insbesondere Fahrurfälle. Je höher die Unfallschwere, desto ausgeprägter der Zusammenhang. Insbesondere bei Querschnitten mit einer angepassten Linienführung trägt die Abstimmung der Elementfolgen im Lageplan, weniger die Unterschreitung von Mindeststrahlen, zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bei. Gleichwohl führt eine angepasste Linienführung zu stärkeren Abhängigkeiten von Merkmalen, welche Lageplan- und Höhenplantrassierung repräsentieren. Die fehlende Identifikation allgemeiner den Höhenplan beschreibender Größen für den Q 9 – unabhängig des gewählten Modellansatzes – lässt vermuten, dass die Variablen des Lageplans überwiegend auch als beschreibendes Merkmal des Höhenplans – trotz nicht auffälliger Korrelation – in Erscheinung treten. Zur Charakterisierung der Einflüsse aus dem

Höhenplan ist das Merkmal Hügeligkeit eine allgemeine Stellvertretergröße zur Beschreibung von Mängeln und Defiziten.

Während Trassierungsparameter und Querschnittsgestaltung im Wesentlichen in Zusammenhang mit der Häufigkeit von (schweren) Fahrunfällen stehen, werden Unfälle im Längsverkehr stärker über verkehrstechnische Merkmale (Ausstattung) erklärt. Tendenziell ist ein wachsender Einfluss in Verbindung mit der Unfallschwere festzustellen. Das Unterbinden von Überholvorgängen durch Markierung einer durchgehenden mittleren Fahrstreifenbegrenzung (Z 295 StVO) für Q 2FS erklärt eine geringere Unfallhäufigkeit der Unfälle im Längsverkehr mit hoher Unfallschwere. Sowohl für den Q 21 als auch für den Q 9 ist der Einfluss einer Beschränkung der V_{zul} auf die Verkehrssicherheit signifikant nachgewiesen. Dass der Nachweis eines Einflusses der V_{zul} auf das Unfallgeschehen nicht für alle Bewertungsfälle gelingt, erklärt sich zum einen aus dem allgemeinen Zusammenhang, dass die Höhe der V_{zul} nicht zwangsläufig Auskunft über die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten gibt. Zum anderen zeigt die Berücksichtigung der Variable V_{zul} vereinzelt eine tendenzielle – aber ohne ausreichendes Signifikanzniveau belegte – Wirkung als reaktive Maßnahme. Das heißt, Abschnitte mit einer geringeren V_{zul} besitzen gegenüber dem Referenzkollektiv eine niedrigere Verkehrssicherheit. Dies ist insbesondere in Kollektiven der Fall, die nur durch einen geringen Anteil von Abschnitten mit Beschränkung der V_{zul} gekennzeichnet sind. Bezüglich der Merkmalausprägung erlauben heterogen geprägte Kollektive eher eine Identifikation der allgemeinen (positiven) Wirkung. Unabhängig davon ist davon auszugehen, dass die nicht anlassbezogene Beschränkung der V_{zul} für jeden Querschnitt mit einer Erhöhung der Verkehrssicherheit in Zusammenhang steht.

Fahrbahnahe Bäume und Wald sind die prägenden Merkmale des näheren Umfelds und Seitenraums und stehen in Zusammenhang mit Fahrunfällen. Diese Merkmale sind die einzigen Variablen, deren Auftreten nicht zwangsläufig eine Zunahme der Unfallhäufigkeit bedingt, sondern vielmehr eine Verschiebung der Unfallschwere zur Folge hat. Die Identifikation von Merkmalen des Seitenraums, die auf die Verkehrssicherheit Einfluss nehmen, bestätigen die Erkenntnisse von ZEGEER et al. (1987) und PARDILLO-MAYORA et al. (2010).

Es lassen sich Einschränkungen in der Modellanwendung für beide Modellansätze erkennen. Diese stehen im Zusammenhang mit der Wirkungserklärung von Merkmalen, die einem Auswahlfehler unterliegen und nicht anhand dritter Merkmale zu differenzieren sind. Dazu zählt das oben aufgeführte Merkmal V_{zul} . Eine ähnliche Einschränkung liegt für eine Vielzahl verkehrstechnischer Einrichtungen (Ausstattung) vor, die überwiegend in

Verbindung mit (möglichen) Gefahrenstellen stehen und häufig Maßnahmen zur Bekämpfung von Unfallhäufungen repräsentieren. Dazu zählen passive Schutzrichtungen oder Verkehrszeichen, wie Z 625 StVO (Richtungstafel in Kurven) bzw. Z 103 StVO (Kurve). Lediglich eine pauschale Anordnung dieser Merkmale, unabhängig des Unfallgeschehens, lässt eine zielführende Bewertung dieser Merkmale bezüglich ihrer Wirkung auf die Verkehrssicherheit zu.

Neben der inhaltlichen Analyse gilt es, die Ansätze hinsichtlich ihrer Anpassungsgüte zu bewerten. Da modellinterne Gütemaße wie χ^2/df oder AIC keine übergreifende Prüfung verschiedener Teilmodelle erlauben, erfolgt ein Vergleich der kumulierten Residuen aller Teilmodelle je Bewertungsfall. Alle Residuenplots erfüllen die Bedingung nach Homoskedastizität. Die Kumulation der Residuen für U(P, SS) auf Basis der Teilmodelle für beide Ansätze zeigt stellenweise Abweichungen zueinander (Abbildung 5-18).

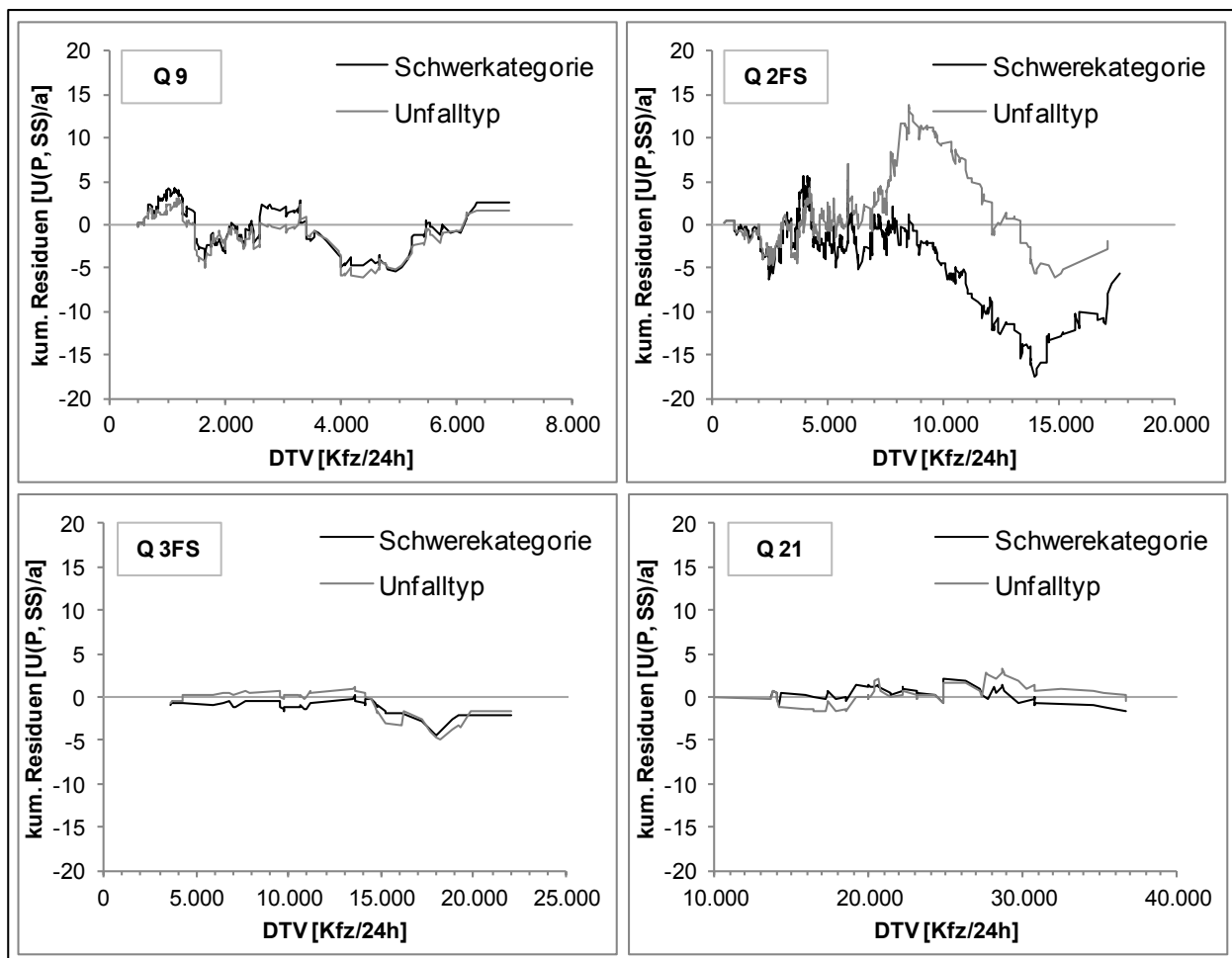


Abbildung 5-18: Kumulierte Residuen der Bewertungsfälle, Zusammenfassung der Teilmodelle über U(P, SS) für Ansatz Modelle nach Schwereklasse und Modelle nach Unfalltyp

Einzig für den Q 2FS tritt im Bereich von Verkehrsstärken ab ca. 8.000 Kfz/24h – entspricht einem Anteil von ca. 20 % am Kollektiv – eine tendenzielle Über- bzw. Unterschätzung des Unfallgeschehens auf. Für den

Ansatz nach Schwerekatgorie liegt ab dieser Verkehrsstärke eine tendenzielle Überschätzung des Unfallgeschehens (5,6 U(P, SS)/a) vor. Der Ansatz nach Unfalltyp zeigt einen deutlich stabileren Kurvenverlauf. Eine Ursache der Differenz zwischen beiden Modellansätzen lässt sich aus der Kollektivzusammensetzung des Q 2FS ableiten. Abschnitte mit hohem DTV weisen häufiger einen höheren Ausbaustandard auf – dazu zählen eine gestreckte Linienführung oder ein breiterer Querschnitt. Diese Merkmale korrelieren nicht mit der Verkehrsstärke. Die Veränderungen, die hohe Verkehrsstärken im Verkehrsablauf hervorrufen, werden über den Modellansatz nach Unfalltyp besser abgebildet. Hohe Verkehrsstärken zeichnen sich durch eine relative Zunahme der Unfälle im Längsverkehr bei gleichzeitiger Abnahme der Fahrunfälle aus. Dieser Effekt wird für den Q 2FS anhand seines weiten Einsatzspektrums bezüglich der Verkehrsstärke besonders deutlich. Die Abbildung dieses Effekts gelingt mit dem Modellansatz nach Schwerekatgorie nicht vollständig.

Die kumulierten Residuen für Q 3FS und Q 21 verlaufen sehr ähnlich, so dass eine qualitative Differenzierung beider Ansätze nur geringes Gewicht erhält.

Auf Basis der abgebildeten kumulierten Residuen ist die Anwendung des Ansatzes nach Schwerekatgorie nur eingeschränkt empfehlenswert. Ausschlaggebend ist die systematisch fallende Kurve des Q 2FS im Bereich hoher Verkehrsstärken. Für die anderen Bewertungsfälle hat die Entwicklung der Residuen nur marginalen Einfluss auf die Wahl des Ansatzes.

Das dem RMSE zugrunde liegende Rechenverfahren schränkt die qualitative Aussagekraft der Kenngröße ein⁵, unterstützt aber einen tendenziösen Vergleich beider Verfahren in der Aussagefähigkeit des Unfallgeschehens für U(P, SS). Mit Ausnahme des Q 9 zeigt der RMSE für den Ansatz nach Unfalltyp eine geringere mittlere Abweichung auf. Die Differenz zwischen beiden Ansätzen ist marginal (Tabelle 5-7).

Um präzisere Aussagen über die Bereiche maßgebender Verkehrsstärken zu erhalten, liegt für Q 9 und Q 2FS eine Klassifizierung des RMSE nach der Verkehrsstärke in Klassen mit einer Breite von 2.000 Kfz/24h vor. Unabhängig von der Verkehrsstärkeklasse weist der Ansatz nach Schwerekatgorie für den Q 9 einen geringeren RMSE auf. Im Falle des Q 2FS hat dieser Ansatz nur im Bereich von 8.000 bis 12.000 Kfz/24 einen niedrigeren

⁵ Die Bewertung der quadratischen Abweichung zwischen beobachtetem und berechnetem Wert hat zur Folge, dass Einzelfälle mit hohen Abweichungen das Gesamtergebnis überdurchschnittlich beeinflussen.

RMSE. Die dichotome Klassifizierung des Q 3FS (Trennung bei 12.000 Kfz/24h) und des Q 21 (Trennung bei 20.000 Kfz/24h) führt für den Q 3FS in der Klasse geringer Verkehrsstärken zu einem geringeren RMSE des Ansatzes nach Schwereklasse. Der Ansatz nach Unfalltyp stellt für den Q 21 in beiden Klassen die geeignetere Variante dar.

Tabelle 5-7: Klassenübergreifende RMSE für U(P, SS) nach Bewertungsfall und Modellansatz

Modelle nach..	RMSE nach Bewertungsfall [U(P,SS)]			
	Q 9	Q 2FS	Q 3FS	Q 21
Schwereklasse	2,41	3,81	3,35	4,03
Unfalltyp	2,44	3,77	3,28	3,91

Der Differenzierungsgrad der jeweiligen Teilmodelle übt wesentlichen Einfluss auf die Variation der $gUR_{\bar{A}}$ und $gUKR_{\bar{A}}$ aus. Der Q 9 dient als Beispiel, wie eine geeignete Gruppierung des Unfallkollektivs zu einer detaillierten Analyse beiträgt. Unter diesem Aspekt scheint der Ansatz nach Unfalltypen die geeignetere Variante zur Beschreibung von $gUKR$ und $zUKR$ zu bieten.

Wesentlicher und entscheidender Vorteil des Ansatzes nach Unfalltyp ist die Charakterisierung des Unfallgeschehens über die Verkehrsvorgänge bzw. Konfliktsituationen. Diese erlaubt gegenüber der Betrachtung nach Unfallschwere eine plausiblere Interpretation der Wirkungszusammenhänge. Auftretende Defizite/Streckeneigenschaften lassen sich signifikant mit entsprechenden Unfallkonstellationen in Zusammenhang setzen. Die Erkenntnisse von Untersuchungen, die diese Zusammenhänge aufgreifen, werden bestätigt (ZEGEER et al. 1994, MIAOU 1996, BÖSL/SPAHN 2010, PARDILLO-MAYORA et al. 2010). Die Differenzierung des Unfallgeschehens nach Unfalltypen zeigt deutlich, dass Fahrurfälle häufig auf Merkmale der Trassierung und Querschnittsgestaltung zurückzuführen sind. Verkehrstechnische Eigenschaften, wie die Beschränkung der V_{zul} oder das Einrichten von Überholverböten, beeinflussen stärker das Unfallgeschehen im Längsverkehr. Eine Vielzahl von untergeordneten Straßen- und Wegeanschlüssen an die Strecke hat eine Zunahme knotenpunkttypischer Unfälle zur Folge.

Der Einfluss der Verkehrsstärke auf den Verkehrsablauf spiegelt sich in der differenzierten unfalltypenfeinen Entwicklung der Unfallhäufigkeiten wider. Die über die Verkehrsstärke variierende sowohl absolute als auch relative Größenordnung der Unfalltypen lässt erkennen, dass die einflussnehmenden Merkmale einer ähnlichen Dynamik ausgesetzt sind. Darüber hinaus kann auch eine gezielte Abschätzung bezüglich der Wirkung von Maßnahmen (Merkmalen) getroffen werden, die im Rahmen von Programmen zur Erhö-

hung der Verkehrssicherheit zum Einsatz kommen. Die nach Unfalltyp getrennt vorliegenden $KS_{a,Typ}$ ermöglichen eine exakte Bewertung der Unfallschwere.

Auf Grundlage der Argumente in den vorangegangenen Abschnitten erfolgt nachfolgend die weitere Analyse des Ansatzes nach Unfalltyp unter Berücksichtigung der Modelle für U(LS).

5.4 Festlegung der Größenordnung von Zuschlägen

Nach der in Kapitel 3.5.3 beschriebenen Vorgehensweise lässt sich die Wirkung der Zuschläge auf die Verkehrssicherheit als Anteilswert (A_{UKR}) an der $gUKR_{\bar{A}}$ darstellen. Nachfolgend sind die Zuschläge aller Bewertungsfälle unter Hauptkriterien zusammengefasst und in der Bedeutung vereinheitlicht aufgeführt. Die Darstellung erlaubt einen Vergleich inhaltlich ähnlicher Zuschläge nach ihrer Wertigkeit. Darüber hinaus sind Aussagen über notwendige Anpassungen einzelner Merkmale bezüglich der Praxisanwendung möglich. Modellvariable, die eine Kombination mehrerer Merkmale repräsentieren, sind anhand der jeweiligen Wirkungszusammenhänge in ihre Einzelmerkmale zerlegt. Eine vertiefende inhaltliche Beschreibung zur Anpassung der Zuschläge, getrennt nach Bewertungsfall, enthält Anhang K.

Die von der Verkehrsstärke abhängigen Anteilswerte der Unfalltypen für den Q 9 und Q 2FS führen dazu, dass sich die Größenordnung der Variablen (Zuschläge) in Abhängigkeit der Verkehrsstärke verändert. Zur exakten Abbildung der Zuschläge, erfordert die Zusammenführung der verschiedenen Teilmodelle eine Anpassung einiger Variablen (Vergleiche Kapitel 3.5.3, Abschnitt Zuschläge). Betroffen sind Variable, deren Anteilswert über den beobachteten Verkehrsstärkebereich um eine Größenordnung größer 5 % schwankt.

Das Auftreten der in Tabelle 5-8 enthaltenen kategorialen Zuschläge erfordert die Unterteilung des betrachteten Streckenabschnitts anhand beschriebener Merkmale. Einige GW sind in Klammern aufgeführt. Für diese von der Verkehrsstärke abhängigen Zuschläge, entspricht die dargestellte Größenordnung dem Median des beobachteten DTV-Bereichs. Die Berechnung erfolgt nach Gl. 17 in Kapitel 3.5.3. Die mit dem Buchstaben B (Bewertung) gekennzeichnete Spalte enthält Informationen über die Art einer notwendigen Plausibilisierung/Bewertung von Merkmalen. Ist ein Zusammenhang zwischen Zuschlag und Bewertungsfall auszuschließen bzw. nicht notwendig, bleibt das gesamte Feld frei.

Tabelle 5-8: Grundwert (GW) und Bewertung kategorialer Zuschläge der Bewertungsfälle zur Ermittlung von A_{UKR} , die eine Trennung des Streckenabschnitts voraussetzen

Berechnung UKR [$\text{€}/(10^3\text{Kfz}\cdot\text{km})$]		$UKR = \left(\prod_{i=1}^n (1 + A_{UKR,i}) \right) * g_{UKR\bar{A}}$							
Kriterium	Beschreibung Zuschlag	Q 9		Q 2FS		Q 3FS		Q 21	
		GW [%]	B	GW [%]	B	GW [%]	B	GW [%]	B
Querschnitt	Fahrbahnbreite FBB > 6,0 m [-]	(38)	K						
		b = -0,0012 c = 40,3							
	Fahrbahnbreite FBB < 8,0 m [-]			39					
	Querschnitt Q 11,5+ 3FS [-]					15	K		
	Summe der Fahrstreifen Σ FSB < 6,75 m [-]							32	
Rechte Randstreifenbreite RSB < 0,50 m [-]							11		
Verkehrstechnik (Ausstatt.)	Trennung der Fahrtrichtungen mit Mittelmarkierung bei einer Fahrbahnbreite FBB < 6,0 m [-]	(38)	K						
		b = -0,0012 c = 40,3							
GW	Grundwert								
B	Bewertung								
K	Zuschlag im Modell nachgewiesen aber inhaltlich zu prüfen								
b/c	Parameter der Funktion verkehrsstärkeabhängiger Zuschläge								

Folgende Sachverhalte liegen zu kategorialen Zuschlägen vor:

- Unabhängig vom Bewertungsfall übt die Gestaltung des Querschnitts wesentlichen Einfluss auf den Sicherheitsgrad von Strecken aus und bestätigt die Erkenntnisse ähnlicher Untersuchungen (ZEGER et al. 1987, VOGT/BARED 1998, VIETEN et al. 2010).
- Die Kategorisierung des Q 9 offenbart die Problematik von Abschnitten mit Widersprüchen zwischen räumlicher Linienführung und Ausstattung, wie sie bereits von ZEGER et al. (1994) thematisiert wurde. Insbesondere Bestandsstrecken, ähnlich dem RQ 7,5 nach RAS-Q 96 (FGSV 1996) suggerieren dem Fahrzeugführer durch ihre Gestaltung – Markierung der Fahrtrichtungstrennung mit Leitlinie – einen Straßenverlauf, der in Diskrepanz zu der zugrunde liegenden Linienführung steht. Die deutlich geringeren UKR für Abschnitte mit FBB < 6 m ohne Mittelmarkierung beschreiben einen Sicherheitsgewinn, der möglicherweise durch die Anwendung des RQ 9 nach den RAL (FGSV 2012) erzielt werden kann. Aus Ermangelung geeigneter Strecken ist die Ableitung und Verifizierung des Sicherheitsniveaus für den richtliniengerecht gestalteten RQ 9 nicht möglich.

- Mit dem Zuschlag $FBB < 8,0$ m für schmale Q 2FS, weist dieser Querschnitt einen Sicherheitsgrad ähnlich dem von (über-) breiten Q 9 bei ähnlichen Randbedingungen auf. Somit entsteht ein gleitender Übergang.
- Der Vorteil der Sicherung von Überholvorgängen durch einen Überholfahrstreifen wird durch JÄHRIG (2012) belegt. Offen bleibt, ob mit Blick auf den Zuschlag für den Q 11,5+ 3FS gegenüber dem Q 15,5 dieser aus der zugrunde liegenden Streckencharakteristik oder aber den grundsätzlich abweichenden Entwurfsparametern bzw. einem veränderten Fahrverhalten resultiert.

Für stetige und kombinierte Zuschläge, dargestellt in Tabelle 5-9, liegen folgende Erkenntnisse vor:

- Für den Q 9 und Q 2FS liegen für drei Arten von Entwurfsabweichungen im Lageplan Zuschläge vor. Es gilt die Vermutung, dass die Höhe des GW für den Zuschlag „Unterschreitung des Mindestradius“ für Q 2FS ein Verhältnis zu den „Abweichungen von der Relationstrassierung“ ähnlich dem Q 9 besitzt. Als Grundlage dieser Annahme gilt, dass das Fahrverhalten, bei Auftreten von lediglich Unterschreitungen des Mindestradius gegenüber Abweichungen von der Relationsstrassierung, durch eine Adaption der Geschwindigkeit besser angepasst wird. Damit einher geht eine geringere Erhöhung von Unfallrisiko und Unfallschwere. Für Q 3FS erscheint die Höhe des Zuschlags „Unterschreitung des Mindestradius“ zu hoch. Prinzipiell ist jedoch davon auszugehen, dass Entwurfsabweichungen im Lageplan auf den Sicherheitsgrad breiterer einbahniger Querschnitte, aufgrund eines höheren Geschwindigkeitsniveaus und damit der Unfallschwere, eine stärkere Wirkung besitzen. Dies bestätigt indirekt der von LIPPOLD (1997) bewertete Einfluss der Kurvigkeit auf die V_{85} von Strecken mit unterschiedlichen Fahrbahnbreiten. Für den Q 21 liegt nur der Zuschlag „Abweichung von der Relationstrassierung ohne gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius“ vor. Mit Ausnahme der Kurvigkeit stellen alle anderen Zuschläge des Kriteriums Lageplan kombinierte Zuschläge – stetiger Anstieg A_{UKR} bis zum Erreichen des Grenzwerts F_G – dar.
- Ebenfalls einem Stellvertreter für Aspekte der räumlichen Linienführung entspricht der Zuschlag Hügeligkeit. Die für den Q 3FS ermittelte Größenordnung steht unter dem Vorbehalt der zugrunde liegenden Kollektivzusammensetzung und erscheint im Vergleich zum Q 2FS zu hoch. Ausgehend von einer Sicherung der Überholvorgänge auf einbahnig dreistreifigen Strecken gilt die Vermutung, dass Überholunfälle, die in Verbindung mit nicht ausreichenden Sichtweiten (Hügeligkeit) zu

bringen sind, auf dem Q 3FS nur in sehr geringem Maß auftreten. Da diese Unfallkonstellation durch eine hohe Unfallschwere gekennzeichnet wird, ist eine höhere Größenordnung des Zuschlags aufgrund einer veränderten Unfallschwere ebenfalls auszuschließen. Für den Q 21 ist der Einfluss der Hügeligkeit auf Basis der baulichen Fahrtrichtungstrennung und der großzügigen Entwurfsparameter ebenfalls als gering einzustufen.

- Nach den Entwurfsgrundsätzen der RAL (FGSV 2012) sind Verknüpfung mit dem landwirtschaftlichen Wegenetz für Straßen der EKL 1 und 2 zu vermeiden, für Straßen der EKL 3 auf das notwendige Mindestmaß zu reduzieren. Diese Zuschläge sind daher für den Q 3FS und Q 21 auszuschließen. Die mittlere Häufigkeit „öffentlicher Anschlüsse und Wege“ ist für Abschnitte des Q 9 und Q 2FS ähnlich. Der höhere GW für den Q 9 bestätigt die Ergebnisse von TAYLOR et al. (2002), die ebenfalls eine hohe Wirkung von Anschlussknotenpunkten auf die Verkehrssicherheit von Strecken mit schmaler und angepasster Linienführung ermitteln. Als Ursache kommen eine schlechtere Erkennbarkeit aufgrund der angepassten Linienführung bzw. fehlende wegweisende Beschilderung oder die stärkere Beeinflussung des Verkehrsablaufs bei der Fahrtrichtungen durch Einbiege-Vorgänge aufgrund schmalerer Fahrbahnbreiten in Frage. Gegenüber dem Wert für den Q 2FS erscheint aber die Größenordnung des Zuschlags für den Q 9 tendenziell zu hoch.
- Ein Nachweis der Wirkung „punktuelle Gefahrenstellen“ auf den Sicherheitsgrad liegt nur für den Q 2FS vor, wird aber für die weiteren Querschnitte vermutet. Mutmaßlich ist der Umfang der Kollektive zu gering, um einen signifikanten Einfluss des Merkmals nachzuweisen. Bezüglich der Zuschlagshöhe gilt die Annahme, dass das Risiko eines Unfalls unabhängig vom Querschnitt gleich bleibt, die Unfallschwere aber mit zunehmender Geschwindigkeit steigt. Dementsprechend sind für Q 9 geringere, für Q 3FS und Q 21 höhere GW zu erwarten.
- Die differenzierte Zuschlagsgröße „linienhafte fahrbahnahe Bepflanzung“ auf dem Bankett oder hinter der Böschungsmulde ist für alle Querschnitte auf die gleiche Variable zurückzuführen. Die Gewichtung beider Merkmale führt zu der querschnittsunabhängigen relativen Differenz der GW zueinander. Das Niveau beider Merkmale bestätigt den von HEGEWALD/WEBER (2008) und MEEWES (2001) ermittelten Zusammenhang, dass die Wirkung in Abhängigkeit von der Entfernung zum Fahrbahnrand variiert. Die Größenordnung der GW ist für den Q 9 und Q 2FS ähnlich, für den Q 3FS als zu hoch einzustufen. Für eine Überprüfung des Zuschlags für den Q 21 ist die Stichprobe zu klein.

Tabelle 5-9: Grundwert (GW), ggf. Grenzwert (F_G) und Bewertung stetiger bzw. kombinierter Zuschläge der Bewertungsfälle zur Ermittlung von A_{UKR}

Berechnung UKR [$\text{€}/(10^3\text{Kfz}\cdot\text{km})$]		$UKR = \left(\prod_{i=1}^n (1 + A_{UKR,i}) \right) * g_{UKR\bar{A}}$													
Kriterium	Beschreibung Zuschlag	Q 9			Q 2FS			Q 3FS			Q 21				
		A	GW F _G [%]	B	A	GW F _G [%]	B	A	GW F _G [%]	B	A	GW F _G [%]	B		
Lageplan	Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade außerhalb des brauchbaren Bereichs mit gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius [Häufigkeit/km]*	≤3	12		≤3	(17)					z. e.			z. e.	
		>3	36		>3	(51)									
						b = -0,0004 c = 19,85									
	Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade außerhalb des brauchbaren Bereichs ohne gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius [Häufigkeit/km]*	≤3	7		≤3	(8,5)					z.e	≤2	8		
		>3	21		>3	(25,5)					.	>2	16		
				b = -0,0002 c = 9,92											
Unterschreitung des Mindestradius, Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade innerhalb des regulären Bereichs [Häufigkeit/km]*	≤3	(4)		≤3	(8,5)	▼	≤3	14	▼				z. e.		
	>3	(12)		>3	(25,5)		>3	42							
	b = -0,0013 c = 1,78				b = -0,0002 c = 9,92										
Kurvigkeit [gon/km]										1,2 K					
Höhenplan	Unterschreitung des Kuppenhalbmessers [Häufigkeit/km]	4													
	Hügeligkeit [%]				5			9 ▼			z. e.				
Seitenraum	Anschlüsse öffentlicher Straßen und Wege [Häufigkeit/km]	(20)	▼	(9)											
		b = -0,0015 c = 22,9			b = -0,0001 c = 9,58										
	Anschlüsse Grundstückzufahrten / landwirtschaftliches Wegenetz [Häufigkeit/km]	4,5		≤4	1										
					>4	8									
	Punktuelle Gefahrenstellen [Häufigkeit/km]			z. e.	≤4	1									
					>4	8									
Linienhafte fahrbahnahe Bepflanzung (Bäume) auf dem Bankett ohne Schutzeinrichtung [Anteil/km]	20			(21)					54 ▼ z. e.						
				b = -0,0006 c = 24,37											
	Linienhafte fahrbahnahe Bepflanzung (Bäume) hinter Böschungsmulde ohne Schutzeinrichtung [Anteil/km]	13			(14)					36 ▼ z. e.					
			b = -0,0004 c = 16,25												
Verkehrstechnik (Ausstatt.)	V _{znl} = 100 km/h [Anteil/km]	(22)													
	b = 0,0072 c = 8,09											20			
	V _{znl} > 100 km/h [Anteil/km]														
Markierung Fahrtrichtungstrennung mit Leitlinie Z 340 StVO oder einseitiger Fahrstreifenbegrenzung Z 296 StVO [Anteil/km]				(12,5)											
				b = 0,0007 c = 8,36											
GW	Grundwert														
F _G	Grenzwert														
A	Anteilswert als Grenze zwischen stetiger und fixer Größenordnung des Zuschlags														
B	Bewertung														
K	Zuschlag im Modell nachgewiesen aber inhaltlich zu kontrollieren														
z.e.	Zuschlag im Modell nicht nachgewiesen aber inhaltlich zu erwarten														
▼	Zuschlag im Modell nachgewiesen, Größenordnung als zu hoch eingeschätzt														
b/c	Parameter der Funktion verkehrsstärkeabhängiger Zuschläge														
*	Liegen mehr als 3 Defizite in der Lageplantrassierung vor, sind die 3 Defizite mit dem höchsten GW in der Rechnung zu verwenden														

- Nach den RAL (FGSV 2012) liegt der EKL 4 eine Planungsgeschwindigkeit von 70 km/h zugrunde. Dies erlaubt die separate Angabe des Zuschlags „ $V_{zul} = 100$ km/h“ für den Q 9, da die Beschränkung der V_{zul} auf 70 km/h eine der Entwurfsrichtlinie entsprechenden Forderung an den Querschnitt darstellt. Abschnitte mit einer höheren V_{zul} als 100 km/h sind für den Q 21 mit einem Zuschlag behaftet (MAIER/BERGER 2012).
- Aufgrund der Entwurfsgrundlagen ist der Zuschlag „Markierung der Fahrtrichtungstrennung“ nur für den Q 2FS von Relevanz. Er stellt kein Defizit im eigentlichen Sinne dar und charakterisiert die Zunahme der Unfälle im Längsverkehr aufgrund von Überholvorgängen. Eine Differenzierung des Zuschlags nach Art der Markierung erscheint aus praktischer Sicht diskutabel.

5.5 Diskussion zur Praktikabilität des Berechnungsansatzes

Die $gUKR_{\bar{A}}$ umfasst das Basisniveau des Unfallgeschehens zuzüglich nicht erklärter Merkmale. Bei der Bewertung des Unfallgeschehens über relative, meist fahrleistungsbezogene Kenngrößen sind die Besonderheiten der betrachteten Kollektive zu berücksichtigen. Der in Abbildung 5-19 an einem Beispiel dargestellte Zusammenhang einer rechtsschiefen linkssteilen Verteilungskurve der Einzelwerte für $UR_{(P, SS)}$ mit einer einseitigen Beschränkung des Wertebereichs durch das Minimum Null, hat für alle betrachteten Kollektive Gültigkeit (Vergleiche Kapitel 5.1, Abbildung 5-1 bzw. VIETEN et al. 2010). In jedem Unfallkollektiv liegt ein nicht unerheblicher Anteil an Abschnitten vor, die während des Beobachtungszeitraums kein Unfallgeschehen aufweisen. Dementsprechend ist der arithmetische Mittelwert von UR oder UKR fast ausschließlich höher als der Median. Der Großteil der UR der Abschnitte liegt unter dem arithmetischen Mittelwert. Überschreitungen des Mittelwerts treten seltener, dafür in ihrer Ausprägung meist deutlicher auf. Darüber hinaus wird deutlich, dass der arithmetische Mittelwert zur Beschreibung eines Sicherheitsniveaus ungeeignet ist, da UR und UKR nicht normalverteilt sind. Ferner wird er durch Ausreißer wesentlich beeinflusst.

Die Verwendung von GLM auf Basis der Poisson-Verteilung erlaubt eine bessere Abschätzung des Erwartungswertes und stellt einen Vorteil dar. Damit gelingt eine bessere Beschreibung des Sicherheitsniveaus. Die Größenordnung der vorliegenden Grundunfallkostenraten (-ähnlich) $gUKR_{\bar{A}}$ und deren Zuschläge werden durch das zugrunde liegende Streckenkollektiv so-

wie Randbedingungen des gewählten statistischen Regressionsverfahrens geprägt. Die gewählte Methodik stellt die $gUKR_{\bar{A}}$ als ein Sicherheitsniveau dar, welche durch das Auftreten von Zuschlägen einen Zuwachs erfährt. Damit weist sie Grenzen und Einschränkungen in der Beschreibung von UKR auf.

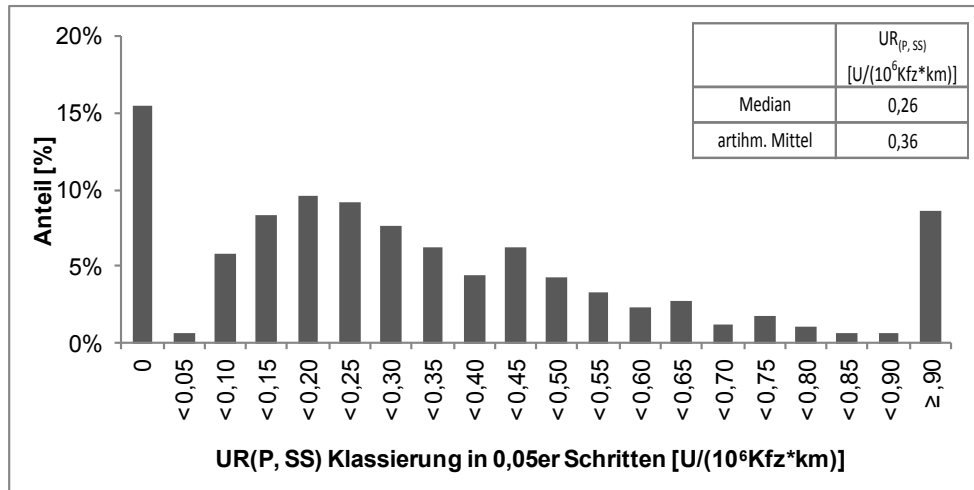


Abbildung 5-19: Häufigkeitsverteilung der beobachteten $UR_{(P, SS)}$ am Beispiel für Q 2FS (n = 883)

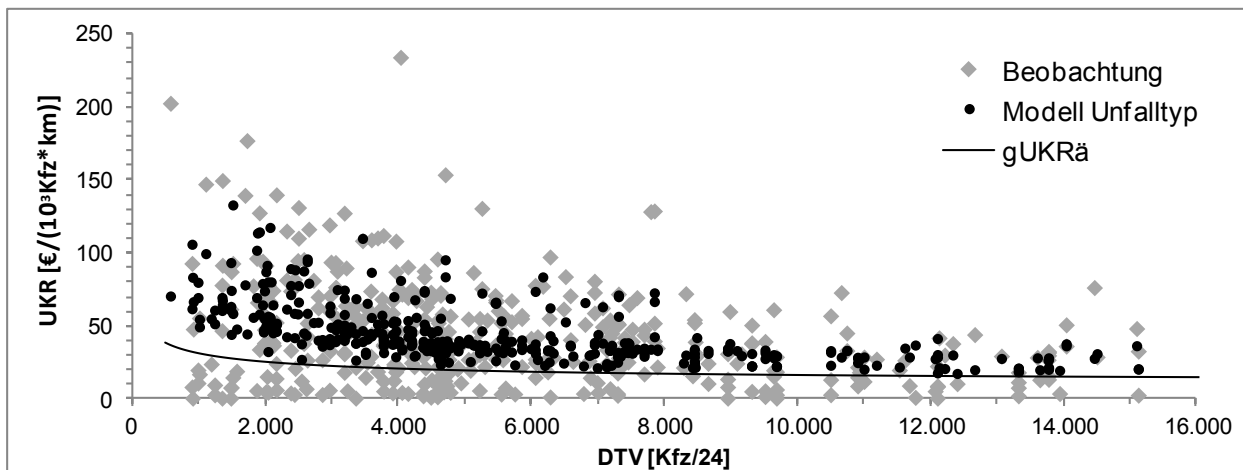


Abbildung 5-20: Vergleich beobachtete und nach dem Modellansatz „Unfalltyp“ berechnete UKR_{FS} für Q 2FS

Bezüglich der Abbildung modellberechneter UKR auf Basis eines fixen, nicht zu unterschreitenden, Niveaus der $gUKR_{\bar{A}}$ hat dies in der Berechnung zur Folge, dass im Vergleich mit der Empirie, beobachtete UKR unter dem Niveau der $gUKR_{\bar{A}}$ mit dem Verfahren von Grund aus nicht abgebildet werden können. Aus der Abschätzung einer mittleren Wirkung der Zuschläge resultiert für modellberechnete UKR die Eigenschaft, dass beobachtete Extremwerte in ihrer Größenordnung nicht entsprechend abgebildet werden. Die Verbindung beider Eigenschaften führt zu einem modellbedingten darstellbaren Bereich der berechneten UKR. Dieser zeichnet sich gegenüber den beobachteten UKR bei Betrachtung der Verkehrsstärke über einer Art Schlauch ab. Dementsprechend fällt die Streuung der modell-

berechneten Werte gegenüber den beobachteten Werten geringer aus. Der Streubereich des Modells wird nach unten durch die $gUKR_{\bar{A}}$ begrenzt. Die Verknüpfung der $gUKR_{\bar{A}}$ mit dem Maximum möglicher Zuschlagskombinationen stellt die obere Grenze dar. Abbildung 5-20 verdeutlicht diese Zusammenhänge mit der Gegenüberstellung beobachteter und modellberechneter Unfallkostenraten der Freien Strecke (UKR_{FS}) am Beispiel des Q 2FS. Es zeigt darüber hinaus, dass das Modell durchaus das beobachtete Sicherheitsniveau genügend abbildet. Für nahezu 54 % der Fälle liegt die beobachtete unter der modellberechneten UKR. Weiterhin verdeutlicht das Beispiel den grundlegenden Charakter der $gUKR_{\bar{A}}$. Sie stellt einen Erwartungswert mit entsprechender Streuung dar. Es ist naheliegend, dass ein Teil der betrachteten Abschnitte UKR_{FS} aufweist, deren Höhe unter dem Niveau der $gUKR_{\bar{A}}$ liegen. Der Grundgedanke eines Bewertungsverfahrens, wie es im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) beschrieben ist, hat zur Folge, dass sehr niedrige Sicherheitsgrade nicht abgebildet werden können.

Die Schätzung der Regressionskoeffizienten für den DTV im Modell führt verfahrensbedingt für Q 9 und Q 2FS zu hohen UR und damit $gUKR_{\bar{A}}$ im Verkehrsstärkebereich kleiner 1.000 Kfz/24h. Dieser resultiert aus einer tendenziellen Abnahme der beobachteten UR bei Zunahme der Verkehrsstärke. Der Regressionskoeffizient β der Expositionsgröße DTV erscheint als Potenz in der Modellfunktion. Aus der Stetigkeit der Funktion resultiert für $\beta \neq 1$ im Bereich sehr geringer Verkehrsstärken ein deutlicher Anstieg der Funktion. Dieser entspricht nicht zwingend den beobachteten Werten. Aus Sicht der praktischen Anwendung steht zum einen die Frage, ob Netzabschnitte mit derart geringen Verkehrsstärken überhaupt einer praktischen Bewertung unterliegen sollen. Zum anderen ist die Zuverlässigkeit der zugrunde gelegten Verkehrsstärke in Frage zu stellen, da diese häufig auf Schätzungen beruht. Bereits aus geringen Veränderungen der Verkehrsstärke folgt eine deutliche Schwankung der $gUKR_{\bar{A}}$. Für eine plausible Anwendung des Verfahrens empfiehlt es sich, für Verkehrsstärken kleiner 1.000 Kfz/24h diesen Wert als pauschale Größe zur Berechnung des Sicherheitsgrades zu verwenden.

Die favorisierte unfalltypenfeine Bewertung des Unfallgeschehens für U(P, SS) erlaubt eine klare Interpretation für die Gruppe von Merkmalen, die Einfluss auf die Unfallhäufigkeit haben. Diese Gruppe stellt die Mehrheit der identifizierten Zuschläge dar. Sie lässt aber keine direkte inhaltliche Verknüpfung für Merkmale zu, die eine Wirkung auf die Unfallschwere besitzen. So stellen Merkmale der Seitenraumgestaltung klassische Kenngrößen dar, die weniger die Unfallhäufigkeit als die Unfallschwere bestimmen. Eine genaue Identifikation der Zusammenhänge bedarf umfangreichere Kollektive, die eine tiefere Differenzierung der Unfallanalyse erlauben.

Bezüglich der Ergebnisinterpretation mit Blick auf das Auftreten von Merkmalen im Kollektiv sind verschiedene Randbedingungen zu beachten. Das Verfahren stellt lediglich den mittleren Einfluss von Merkmalen dar, die in mindestens einem der Teilmodelle signifikant in Erscheinung getreten sind. Für alle weiteren potentiellen Einflussgrößen, die – aufgrund nicht ausreichender Signifikanz, unzureichender Variablendarstellung, geringer Auftretenshäufigkeit oder zu kleiner Kollektivgrößen – nicht signifikante Modellparameter darstellen, gilt, dass die $gUKR_{\bar{A}}$ deren Merkmalausprägung und Wirkung enthält. Somit entsprechen die ermittelten Größenordnungen den zugrunde liegenden Kollektiven, welche sich überwiegend aus älteren Bestandsstrecken nach RAS-Q 96 (FGSV 1996) mit darin enthaltenen Trassierungsparametern und Gestaltungsgrundsätzen rekrutieren. Bezüglich der Bewertung von Strecken, deren Trassierung und Gestaltung den Forderungen und Vorgaben der RAL (FGSV 2012) folgen, empfiehlt es sich, bei Vorliegen eines umfangreichen Kollektivs eine Anpassung der $gUKR_{\bar{A}}$ und deren Zuschläge durchzuführen.

Die ermittelten Zuschläge stellen in ihrer Gesamtheit ein erstes Grundgerüst dar und dienen als Orientierung für die Einstufung weiterer Zuschläge in einem zukünftigen Bewertungsverfahren. Tabelle 5-10 stellt die Randbedingungen zur inhaltlichen Klassifizierung weiterer Merkmale in Abhängigkeit der vorliegenden Untersuchung bezüglich der zu erwartenden Größenordnung als Zuschlag dar. Dies betrifft zum einen mutmaßliche Merkmale, die in den Kollektiven enthalten, aber bezüglich des geltenden Signifikanzniveaus nicht in Erscheinung getreten sind, zum anderen Merkmale, die nicht erfasst wurden. Als seltene Häufigkeit des Auftretens des Merkmals im Kollektiv wird ein Anteilswert kleiner 5 % angenommen.

Tabelle 5-10: Inhaltlich theoretische Klassifizierung weiterer bisher nicht identifizierter Merkmale bezüglich ihrer Größenordnung als Zuschlag in einem übergreifenden Bewertungsverfahren

Größe Untersuchungskollektiv	Häufigkeit des Auftretens des Merkmals im Untersuchungskollektiv	Erwartete Größenordnung als Zuschlag
umfangreich ($n \geq 300$)	umfangreich	sehr gering (da bisher nicht signifikant in Erscheinung getreten)
	selten	gering (da bisher nicht signifikant in Erscheinung getreten, aber eingeschränkte Ausprägung des Merkmals)
	nicht enthalten	beliebig (anhand des Kollektivs keine Aussage möglich)
gering ($n < 300$)	umfangreich	gering (da bisher nicht signifikant in Erscheinung getreten, aber eingeschränkte Kollektivgröße)
	selten	beliebig (zwar bisher nicht signifikant in Erscheinung getreten, aber sowohl eingeschränkte Kollektivgröße als auch seltene Ausprägung des Merkmals)
	nicht enthalten	beliebig (anhand des Kollektivs keine Aussage möglich)

5.6 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Für die an die EKL angelehnten vier Bewertungsfälle (Querschnitte) liegen jeweils eigenständige Modelle zur Erklärung der Unfallhäufigkeiten vor. Ausnahmen bilden Abschnitte des Q 11,5+, die in Abhängigkeit der Fahrstreifenanzahl abschnittsweise den Q 2FS bzw. Q 3FS zugeordnet sind. Die Aussagekraft bzw. Güte der Modellergebnisse ist für den Q 3FS und den Q 21 in Bezug auf die Kollektivgröße eingeschränkt.

Bei der Modellbildung wird für $U(P, SS)$ in die konkurrierenden Ansätze nach Unfallkategorie und nach Unfalltyp unterschieden. Für die überwiegende Zahl an Teilmodellen gelingt unabhängig dem Ansatz keine vollständige Erklärung der systematischen Varianz. Jedoch ist festzustellen, dass die unfalltypbezogenen Teilmodelle stellenweise höhere Erklärungsbeiträge aufweisen. Während für alle Teilmodelle nach Unfallkategorie ein degressiver Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit vorliegt, erklären die Modelle für den Unfalltyp Längsverkehr eine gegenläufige Tendenz. Sie verdeutlichen eine von der Verkehrsstärke abhängige Veränderung der Häufigkeit von Konfliktsituationen. Dies spiegelt sich in einer Verschiebung der Unfalltypenanteile im Unfallgeschehen wider.

Für alle Bewertungsfälle gelingt der Nachweis unabhängiger, die Verkehrssicherheit beeinflussender, Merkmale. Als maßgebend treten sowohl Veränderungen der Querschnittsgestaltung als auch Abweichungen von der Relationstrassierung, ferner Eigenschaften des Seitenraums und der Straßenausstattung, in Erscheinung. Aus der Überlagerung der volkswirtschaftlich bewerteten Unfallhäufigkeiten der Teilmodelle lässt sich, unter Vernachlässigung der Risikogrößen, der Verlauf der „Grundunfallkostenrate (-ähnlich) $gUKR_{\bar{A}}$ “ darstellen und über Funktionen beschreiben. Dabei stellt sich ein regressiver Kurvenverlauf ein. Der Vergleich beider Modellansätze zur Beschreibung der Verkehrssicherheit verdeutlicht den Vorteil, den eine unfalltypbezogene Bewertung aufgrund des engeren Bezugs zum Verkehrsablauf und entsprechend auftretenden Unfallkonstellationen mit sich bringt. Daher wird dieser Ansatz als maßgebend angesehen und weiteren Bearbeitungsschritten zugrunde gelegt.

Darüber hinaus liegen Aussagen zur Art und Größenordnung von Zuschlägen, beschrieben über Anteilswerte A_{UKR} , zur $gUKR_{\bar{A}}$ vor. Aufgrund der verkehrsstärkeabhängigen Größenordnung der $gUKR_{\bar{A}}$ entsprechen die A_{UKR} relativen Werten. Zuschläge setzen sich aus der Gruppe der Defizite und Eigenschaften der Streckencharakteristik zusammen. Die Einzelberechnung der Zuschläge orientiert sich an der Art des Merkmals. Zur Berechnung der UKR sind die Zuschläge über ihre Anteilswerte mit der $gUKR_{\bar{A}}$ zu multipli-

zieren. Die Verwendung des Ansatzes nach Unfalltyp zeigt, dass die Größenordnung einiger Zuschläge eine Abhängigkeit zur Verkehrsstärke besitzt. Die Übersicht der Zuschläge offenbart u. a. weiteren Forschungsbedarf, um ein vollständiges Mengengerüst bezüglich von Zuschlägen zur Bewertung von außerörtlichen Streckenabschnitten zu erreichen. Die Höhe der $gUKR_A$ ist zu einem späteren Zeitpunkt bei Vorliegen umfangreicher Kollektive, die den Entwurfskriterien in Anlehnung an die RAL (FGSV 2012) entsprechen, zu prüfen und ggf. anzupassen.

6 Einflussbereiche

6.1 Bewertungsansatz

Aus den bisherigen Verfahrensschritten sind die mittleren Längen verschiedener Einflussbereiche (EB) in Abhängigkeit von unterschiedlichen Randbedingungen bekannt (Kapitel 4.3). Merkmale der Freien Strecke (FS) und des sich anschließenden Übergangs üben Wirkung auf die Verkehrssicherheit der EB aus. Der Sicherheitsgrad der EB unterscheidet sich von der FS und erfordert eine eigenständige Analyse der Einflussfaktoren. Dabei gelten folgende Annahmen:

- Die Höhe des Sicherheitsgrads von EB unterscheidet sich gegenüber der FS durch die Art des Übergangs.
- Die in den Modellen der FS identifizierten Zuschläge haben sowohl auf der FS als auch auf den EB eine Wirkung auf das Unfallgeschehen.
- Die Unterschiede zwischen dem Sicherheitsgrad der FS und dem EB lassen sich über die Charakteristik bzw. Merkmale des EB beschreiben.

Aus diesen Annahmen ist abzuleiten, dass die Wirkung von A_{UKR} der FS absolut gesehen eine Veränderung erfährt, jedoch im Verhältnis unverändert bleibt. Dementsprechend ist auch eine Niveauänderung der $g_{UKR, \bar{A}}$ im EB zu erwarten. Es ist bekannt, dass sich in Einzelfällen der Einfluss von Merkmalen auf den Sicherheitsgrad auch gegenüber anderen Merkmalen verändern kann. Diese Veränderungen werden als akzeptabel und nicht maßgebend angesehen. Unter diesen Voraussetzungen und unter gleichen Randbedingungen gilt, dass eine Veränderung des Sicherheitsgrades des EB gegenüber der FS allein aus den Merkmalen erklärt werden kann, welche die Charakteristik des Übergangs beschreiben (bspw. Zufahrtregelung Knotenpunkt) oder dem Übergang als solches. Zur Bestimmung der Differenz kommen mehrere Optionen in Frage:

- Variante 1: Vergleich Differenz beobachtete UKR_{nah} und UKR_{fern} nach dem Verfahren von ECKSTEIN/MEEWES (2002)
- Variante 2: UKR-Vergleich beobachteter Mittelwerte in den Kollektiven FS mit den beobachteten Mittelwerten der Kollektive EB
- Variante 3: UKR-Vergleich der nach FS-Modellen berechneten Werte der Kollektive EB mit den beobachteten Mittelwerten der Kollektive EB

- Variante 4: UKR-Vergleich der nach FS-Modellen berechneten Werte der Kollektive EB mit den nach EB-Modellen berechneten Werten der Kollektive EB

Die Anwendung des Verfahrens nach ECKSTEIN/MEEWES (2002) scheidet aus den bereits in Kapitel 3.4.2 beschriebenen Einschränkungen aus. Darüber hinaus bleiben bei dieser Variante – gleichermaßen wie bei dem Vergleich der beobachteten Mittelwerte für die Kollektive FS und EB in Variante 2 – unterschiedliche Merkmalausprägungen innerhalb der jeweiligen Kollektive unberücksichtigt. Dies kann die Verschleierung von Wirkungen durch weitere Merkmale zur Folge haben, welche die Aussagekraft einschränkt.

Die Modelle der FS beschreiben die Veränderung der Verkehrssicherheit innerhalb des beobachteten Bereichs für FS signifikant. Unter den getroffenen Annahmen sind sie zur Beschreibung der Verkehrssicherheit in EB geeignet. Variante 3 bietet gegenüber den ersten beiden Varianten den Vorteil, dass durch die Berechnung der EB mit den FS Modellen deren einflussnehmende Merkmalausprägungen Bestandteil des Verfahrens sind. Jedoch unterliegen die beobachteten Mittelwerte des EB neben einer ungleichen Verteilung zufälligen Schwankungen. Gerade einzelne Extremwerte prägen die Größenordnung des Mittelwertes wesentlich (Vergleiche Kapitel 5.5). Der Vergleich der Unfallhäufigkeit auf Basis der Modellwerte FS und EB für zugrunde liegende Kollektive EB nach Variante 4 schließt die Einflüsse durch Extremwerte aus. Die Bewertung von Cook-Distanz und Hebelwert in der Residuenanalyse gibt Auskunft über auffällige Werte und erlaubt ggf. einen Ausschluss auffälliger Abschnitte. Die EB Modelle bieten die Möglichkeit, signifikante Einflussgrößen bezüglich der Gestaltung des Übergangsbereichs zu identifizieren und dahingehend eine Kollektivtrennung der EB vorzunehmen. Weiterhin erlaubt Variante 4, Differenzen, die aus einer möglichen divergierenden Merkmalstruktur zwischen Abschnitten des EB und der FS vorliegen, durch die Modelle der FS zu erklären und systematische Abweichungen zu minimieren. Daher wird Variante 4 zur Beschreibung der Niveauänderung des Sicherheitsgrades für EB herangezogen. Abhängige Variable der Modelle für EB bildet wie bei den FS die verkehrsstärkeabhängige Unfallhäufigkeit. Die monetäre Bewertung des Unfallgeschehens ermöglicht einen Vergleich der UKR. Ist eine Modellbildung aufgrund geringer Kollektivgrößen nicht möglich, wird auf Variante 3 zurückgegriffen.

Für die Erklärung der Unfallhäufigkeit in EB gilt, dass lediglich Einflussfaktoren im Modell Berücksichtigung finden, die in Zusammenhang mit der Charakteristik des Übergangs stehen. Eine Implementierung von Merkma-

len der FS Modelle erfolgt mit Ausnahme einer ggf. möglichen Trennung nach Querschnitten nicht. Die allgemeinen Schritte der Modellbildung und -prüfung sind an das Verfahren für FS angelehnt.

Die Verknüpfung der einzelnen Teilmodelle eines Bewertungsfalls EB mit Unfallkostensätzen erlaubt die volkswirtschaftliche Bewertung dieser Netzelemente über die Unfallkostenrate der EB (UKR_{EB}). Der Quotient aus den nach den Modellen EB und FS berechneten UKR_{EB} gibt Auskunft über die Höhe des Faktors des Einflussbereiches (FEB). Dieser spiegelt die Veränderung des Sicherheitsgrades des EB unter gegebenen Randbedingungen gegenüber der FS wider (Gl. 20). Abbildung 6-1 stellt die einzelnen Schritte zur Bewertung der EB dar.

$$FEB = \frac{\sum_{i=1}^n UKR_{EB,EB,i}}{\sum_{j=1}^n UKR_{EB,FS,j}} \quad \text{Gl. 20}$$

FEB	Faktor Einflussbereich [-]
$UKR_{EB,EB,i}$	Unfallkostenrate Einflussbereich nach Teilmodellen Einflussbereich i [€/((10 ³ *Kfz*km))]
$UKR_{EB,FS,j}$	Unfallkostenrate Einflussbereich nach Teilmodellen Freie Strecke j [€/((10 ³ *Kfz*km))]

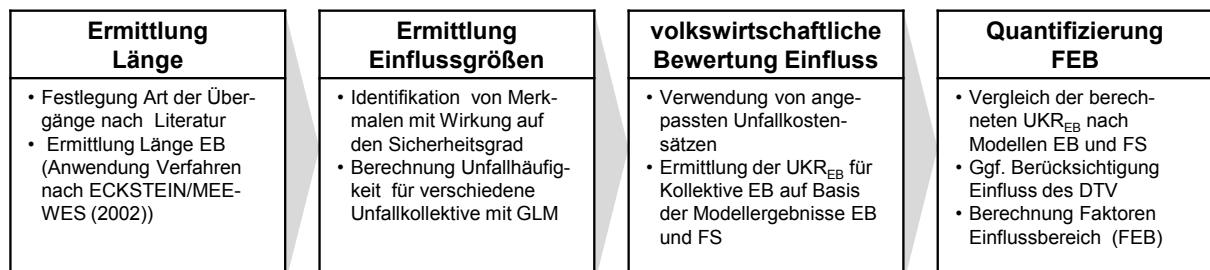


Abbildung 6-1: Methodik der Untersuchung für EB

Im Resultat der Arbeitsschritte liegen für verschiedene Arten von Übergängen entsprechende Längen von EB vor. Die ermittelten FEB erlauben in Abhängigkeit von der Charakteristik von FS und EB die Bewertung eines Netzabschnitts.

6.2 Deskriptive Statistik

Allgemein

Tabelle 6-1 enthält, getrennt nach Bewertungsfall, die Häufigkeit der Übergangsarten. Kollektive mit weniger als fünf Fällen sind nicht aufgeführt. Für den Q 9 und den Q 2FS stellt der Knotenpunkt mit Regelung durch

Verkehrszeichen (VZ) die häufigste Netzverknüpfung dar. Die Anbindung von Abschnitten des Q 3FS und Q 21 erfolgt i. d. R. durch die Anlage von Ein- und Ausfahrtbereichen (TPF). Jedoch weist auch das Kollektiv des Q 3FS einen hohen Anteil VZ-geregelter Knotenpunkte auf. Dabei handelt es sich überwiegend um Abschnitte des Q 11,5+ 3FS. Belegt wird dies durch die mit 9.840 Kfz/24h deutlich geringere mittlere Verkehrsstärke des Teilkollektivs KP-VZ. Einbahnig zweistreifige Abschnitte umfassen alle Varianten von Knotenpunktarten. Dazu zählt auch der Kreisverkehr (KV). Übergänge zur Ortschaften (ODF) liegen für den Q 3FS und den Q 21 nicht vor.

Tabelle 6-1: Deskriptive Kenngrößen der Einflussbereiche in Abhängigkeit des Bewertungsfalls und Art des Übergangs

Kenngrößen	Art des Übergangs	Bewertungsfall			
		Q 9	Q 2FS	Q 3FS	Q 21
Anzahl Abschnitte [n]	ODF	325	516		
	KP-VZ	109	521	19	
	KP-LSA		148		
	KP-TPF		72	32	62
	KP-KV		16		
Ø DTV [Kfz/24h]	ODF	2.390	5.640		
	KP-VZ	3.500	6.420	9.840	
	KP-LSA		11.325		
	KP-TPF		11.980	16.130	25.250
	KP-KV		5.610		
Ø UR(P, SS) [U/(106Kfz*km)]	ODF	0,48	0,30		
	KP-VZ	0,42	0,28	0,24	
	KP-LSA		0,20		
	KP-TPF		0,21	0,21	0,15
	KP-KV		0,17		

Die Zusammenhänge der Kenngrößen DTV und $UR_{(P, SS)}$ offenbaren, dass eine monokausale Betrachtungsweise in puncto Aussagekraft wesentlich durch die Merkmalausprägung im Kollektiv geprägt wird. Diese schränken Vergleiche zwischen den Bewertungsfällen aufgrund der Unterschiede in der Verkehrsstärke ein.

Die Hälfte aller U(P, SS) jeder Übergangsart ist dem Typ Fahr Unfall zuzuordnen, während der Anteil der Unfälle im Längsverkehr ca. 30 % beträgt (Abbildung 6-2). Ausnahme bildet das Kollektiv KP-LSA, in dem der Anteil beider Unfalltypen konträr ausfällt. Der erhöhte Anteil des Typs 6 be-

gründet sich zum einen aus dem gegenüber den anderen Knotenpunktarten – Ausnahme Kreisverkehr - wesentlich höheren Anteil an Fahrzeugen mit Verzögerungs- und Haltevorgang. Zum Zweiten resultiert aus der Beschränkung der V_{zul} ein geringes Geschwindigkeitsniveau, das eine Abnahme der Fahrurfälle zur Folge hat (RICHTER 1993, ZIERKE 2010). Mit Ausnahme von KP-LSA spiegelt der Anteil des Unfalltyps 1 der EB den Wert der FS wider. Eine weitere Differenzierung der Zufahrten an KP-VZ nach Art der Vorfahrtregelung ist durch das geringe Teilkollektiv Z 205/206 StVO mit 22 U(P, SS) eingeschränkt. Tendenziell lässt sich aber kein wesentlicher Unterschied in der Unfalltypenverteilung zwischen beiden Regelungsarten erkennen. Die differente Unfalltypenverteilung der EB stützt die Vorgehensweise einer unfalltypenfeinen Betrachtung. Da die geringen Kollektivgrößen des Untersuchungskollektivs keine statistisch gesicherte Aussage zu den Kostensätzen zulassen, ist an dieser Stelle eine entsprechende Unterteilung nicht möglich (LERNER et al. 2014).

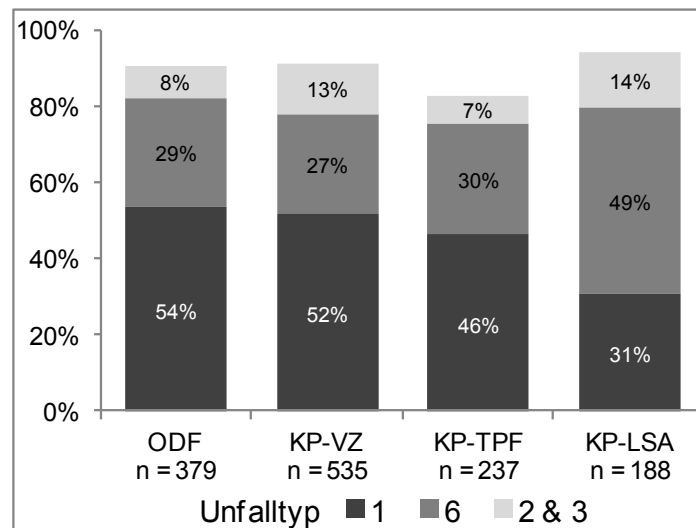


Abbildung 6-2: Unfalltypenverteilung U(P, SS) nach Art des Übergangs (n entspricht der Unfallanzahl)

Alle 43 an VZ-geregelten Knotenpunkten einmündende Zufahrten (E) sind mit dem Z 205 bzw. Z 206 StVO als wartepflichtig definiert (Tabelle 6-2). Der Anteil betrachteter untergeordneter Zufahrten an Kreuzungen (K) beträgt im Untersuchungskollektiv nur 7 %. Der Fall abknickender Hauptstraßen an Einmündungen – betrachtete Zufahrt ist wartepflichtig – tritt äußerst selten auf. Die bauliche Veränderung von Zufahrten an signalisierten Knotenpunkten gilt als Standard, an Knotenpunkten mit Regelung durch Verkehrszeichen variiert der Anteil in Abhängigkeit der Grundform. Beträgt der Anteil baulich veränderter Zufahrten für E und K 51 % bzw. 65 %, so ist der Anteil für EL und ER mit ca. 87 % höher und nahezu identisch. Ein Rückschluss auf den Ausstattungsgrad und richtliniengerechte Gestaltung von durch VZ-geregelten Knotenpunkten im Netz ist anhand der Zahlen nicht möglich, da Knotenpunkte ohne bauliche Veränderung

sowie Beschränkung der V_{zul} als Anschlussknotenpunkte nicht Bestandteil dieses Kollektivs sind.

Tabelle 6-2: Verteilung der Merkmale „Grundform“ und „bauliche Veränderung“ nach der Art des Übergangs (Verkehrsregelung der Zufahrt)





Art des Übergangs	Grundform					bauliche Veränderung		
	E 	EL 	ER 	K 	Andere	ja	nein	
KP-VZ wartepflichtig	43	2	3	11		514	135	
KP-VZ bevorrechtigt	0	190	250	150				
KP-LSA	2	29	27	96		148	6	
KP-TPF						170		
KP-KV						21	21	0
ODF (Ortschaft)						844		

Tabelle 6-3 enthält die Bezeichnung der erfassten Variablen der Übergänge. Die deskriptiven Kenngrößen der Einzelmodelle sind in Anhang J.1 aufgeführt.

Tabelle 6-3: Auswahl analysierter Variable mit Ausprägung im Einflussbereich

Variable	Niveau	Einheit	Erläuterung	Ausprägung (Anzahl)
Länge	metrisch	m	Abschnittslänge	0,2 – 0,3
DTV	kategorial	Kfz/24h	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr	500 – 36.600
DTV_SV	metrisch	Kfz/24h	Durchschnittlicher Täglicher Schwerverkehr	10 – 3.900
Q	kategorial	-	Trennung Q 9 und Q 2FS	-
BV	kategorial	-	Bauliche Veränderung der Zufahrt (Aufweitung Fahrbahnbreite)	-
FSI	kategorial	-	Innenliegender Fahrstreifen (i. d. R. zwei Fahrstreifen in der Zufahrt)	-
Grundform (GF)	kategorial	-	Klassifizierung der Knotengrundformen E, EL, ER und K in verschiedener Zusammenstellung	-
VRZ	kategorial	-	Verkehrsregelung der Zufahrt (Z 205/206 bzw. 306 StVO)	-
VZUL	kategorial	-	Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit V_{zul}	-

Korrelationsanalyse

Neben der Prüfung, ob Merkmale des Übergangs Multikollinearität aufweisen, ist weiterhin zu klären, ob Korrelationen zwischen Merkmalen des EB und den Zuschlagskriterien der FS vorliegen. In diesen Fällen ist zu entscheiden, welches Merkmal in den Modellen für EB berücksichtigt wird und ob eine Anpassung des Bewertungsansatzes nach den FS Modellen in Abschnitten des EB erfolgen muss. Grundlage bilden Korrelationsmatrizen nach Spearman-Roh (Anhang H.2).

Aus der Zusammenfassung der Bewertungsfälle Q 9 und Q 2FS im Kollektiv KP-VZ resultiert eine Korrelation zwischen der Verkehrsstärke und der Fahrbahnbreite ($\rho = 0,70$). Da eine Aufnahme der die Bewertungsfälle kategorisierenden Variablen keine klare Schlussfolgerung darüber zulässt, ob Verkehrsstärke oder Querschnitt zur Erklärung der systematischen Varianz beitragen, wird auf eine Berücksichtigung des Querschnitts verzichtet. Erwartungsgemäß liegt Korrelation zwischen den Variablen „bauliche Veränderung der Zufahrt (BV)“ und „innenliegender Fahrstreifen (FSI)“ vor.

Für KP-LSA besteht ein hoch signifikanter Zusammenhang ($\rho = 0,88$) zwischen der Variablen FSI und der kategorialen Variable, die die Trennung der Grundform ER gegenüber den anderen Grundformen beschreibt, vor. Modelltheoretische als auch fachliche Aspekte entscheiden ggf. über die Aufnahme einer der beiden Variablen in die Modelle.

Zwischen Merkmalen, die die Art des Übergangs näher charakterisieren und den Zuschlägen der FS liegen keine Korrelationen vor. Es finden sich lediglich die bereits bei den FS beschriebenen typischen Muster wieder – Kurvigkeit korreliert mit der Hügeligkeit bzw. mit Abweichungen von der Relationstrassierung.

6.3 Modelle nach Art des Übergangs

6.3.1 Allgemein

Die umfangreiche Anzahl von ODF erlaubt eine für Q 9 und Q 2FS getrennte Modellentwicklung. Die geringe Anzahl von Zufahrten mit Wartepflicht an VZ-geregelten Knotenpunkten schließt eine separate Modellbildung dieser Gruppe aus. Es erfolgt eine aggregierte Betrachtung der KP-VZ, indem das Merkmal Zufahrtregelung als kategoriale Größe aufgenommen wird. Nahezu das komplette Kollektiv der KP-LSA rekrutiert sich aus

den Abschnitten des Q 2FS. Daher haben die Modellergebnisse lediglich für diesen Bewertungsfall Aussagekraft.

Eine Modellbildung für KP-TPF scheidet aufgrund der unterschiedlichen Querschnittsgestaltung der betrachteten Fälle, für KP-KV anhand der Kollektivgröße aus. Die weitere Bewertung der KP-TPF und KP-KV erfolgt durch einen Vergleich der beobachteten Mittelwerte mit den nach den Modellen der FS berechneten Größenordnungen der Unfallkenngrößen (Variante 3).

Auf Basis der Erkenntnisse zur Modellbildung der FS erfolgt die Differenzierung der Modelle der EB für U(P, SS) nach dem Unfalltyp. Für U(LS) wird keine weitere Klassifizierung vorgenommen. Auf eine Berechnung der Modelle nach Schwere wird verzichtet. Anhang J.2 enthält die Kenngrößen und Residuenplots der Teilmodelle.

6.3.2 Knotenpunkt mit LSA

Abbildung 6-3 enthält die maßgebenden Teilmodelle nach Unfalltyp für U(P, SS) sowie für alle U(LS). Aufgrund der geringen Unfallanzahlen ist eine separate Modellbildung für Unfälle des Typs 1 nicht möglich. Mit Ausnahme des Typs 6 sind daher alle Unfalltypen in der Gruppe „Verbliebene (V)“ zusammengefasst. Da im Kollektiv nur vier Zufahrten dem Q 9 zugeordnet sind, beschränken sich die Aussagen auf Abschnitte des Q 2FS.

Bewertungsfall	KP-LSA											
	Typ 6				Typ V				U(LS)			
Teilmodell	1				1				1.1			
Modellname	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
Konstante	-21,706	****	2,780	****	-14,510	****	1,880	****	-10,086	****	1,524	****
ln (DTV)	1,463	****	,293	****	,719	****	,200	***	,467	****	,125	****
ER (Einmündung rechts)									,338	*	,135	*
Verteilungsparameter (NegBin-M.)	0,48				0,84				0,12			
	UR		χ^2/df		UR		χ^2/df		UR		χ^2/df	
	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
	0,07	66		1,477	0,10	64	11	1,566	0,94	56	32	1,911
			50					1,504			4	1,616
			1,237			89			0,81	49	64	1,579

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 6-3: KP-LSA, Teilmodelle nach Unfalltyp für U(P, SS) und für U(LS)

Alle Modelle auf Basis der Poisson-Verteilung weisen Überdispersion auf. Der Erklärungsanteil der Expositionsgröße DTV variiert erheblich. Für Modelle ohne erklärende Risikogrößen weist die modellberechnete das Niveau der beobachteten UR auf. Zwei Drittel der beobachteten Abschnitte weisen eine UR unter dem Niveau der modellberechneten UR auf. Diese Beziehung spiegelt die schiefe Verteilung der beobachteten Werte wider.

Mit der Variable „ER“ liegt lediglich für das Teilmodell U(LS) eine Risikogröße vor. Diese wird gegenüber dem korrelierenden Merkmal „innenliegende Fahrstreifen FSI“ ($\rho = 0,88$) zum einen auf Basis des deutlich höheren Beitrags zur Erklärung systematischer Varianz ausgewählt. Zum anderen liegt keine fahrstreifenfeine Verkehrsstromzuordnung zur weiteren Interpretation in den Zufahrten vor. Jedoch kann nicht endgültig geklärt werden, welche von beiden Variablen eine Wirkung auf das Sicherheitsniveau der Zufahrt hat. Mutmaßlich ist das höhere Unfallgeschehen an dieser Grundform auf Behinderungen im Verkehrsfluss durch abbiegende Fahrzeuge zurückzuführen. Werden die Ströme Geradeaus und Rechtsabbieger auf einem Mischfahrstreifen geführt, besteht ein erhöhtes Unfallrisiko. Dies resultiert im Vergleich zu Kreuzungen i. d. R. aus einem stärkeren Anteil langsam fahrender Abbieger. Ein ähnliches Konfliktpotential – in Bezug auf die Variable FSI – besteht auch zwischen sich als Linksabbieger nach innen einordnenden Fahrzeugen und geradeaus Fahrenden. Im Mittel weisen ER gegenüber den anderen Grundformen im Kollektiv eine geringfügig höhere mittlere Verkehrsstärke auf. Da eine Korrelation zwischen Grundform (GF) und DTV nicht vorliegt, ist die veränderte Unfallhäufigkeit auf andere Einflüsse zurückzuführen. Inwieweit diese Klassifizierung der Knoten Grundform nicht nur auf einer Eigenheit des Kollektivs beruht, kann anhand der Datengrundlage nicht geprüft werden.

Die überproportionale Zunahme des Unfalltyps 6 für U(P, SS) mit zunehmender Verkehrsstärke erscheint plausibel. Aus hohen Verkehrsstärken folgt ein deutlicher Anstieg an Interaktionen der Verkehrsteilnehmer untereinander. Diese drücken sich im EB der Zufahrt neben einer höheren Rückstauwahrscheinlichkeit in einem Anstieg von Auffahrunfällen auf den Vorfahrenden aus. Eine ähnlich zu erwartende Entwicklung der U(LS) liegt im Kollektiv nicht vor. Als mögliche Erklärung dient die Annahme, dass U(LS) des Typs 6 häufiger Unfälle im Zuge des Anfahrens am Knotenpunkt darstellen, welche sich im Knotenpunktbereich ereignen. Unfälle des gleichen Typs mit einer höheren Unfallschwere stehen mutmaßlich eher mit Konflikten in der Annäherung an den Knotenpunkt in Zusammenhang. Diese sind eher dem Einflussbereich zuzuordnen. Allgemein gewinnt der Unfalltyp 6 innerhalb der U(LS) zu Lasten des Unfalltyps „Sonstige“ bei steigender Verkehrsstärke an Bedeutung.

6.3.3 Knotenpunkt mit Regelung durch VZ

Die Unfalltypenverteilung der U(P, SS) erfordert mit Ausnahme des Typs 1 eine Aggregation aller weiteren Unfalltypen in der Gruppe „Restliche (R)“. Aus dem Anspruch eine aussagefähige Kollektivgröße zu erhalten, leitet sich die Zusammenfassung der EB von Q 9 (Kollektivanteil ca. 18 %) und Q 2FS ab. Der Q 3FS stellt aufgrund wesentlicher Unterschiede in der Querschnittsgestaltung keinen Bestandteil des Kollektivs dar. Die Ermittlung der Regressionskoeffizienten des Teilmodells Typ R beruht auf der Verwendung der Poisson-Verteilung.

Der Einfluss der Verkehrsstärke auf die Unfallhäufigkeit und den Erklärungsanteil der Exposition, ist in beiden Typmodellen deutlich verschieden (Abbildung 6-4). Der hohe Quantilwert der modellberechneten mittleren $UR_{(P, SS)}$ (80 % für Typ 1 bzw. 78 % für Typ R) ist auf den hohen Anteil von Abschnitten ohne Unfallgeschehen im Untersuchungskollektiv zurückzuführen. Ein signifikanter Unterschied der Unfallhäufigkeit zwischen Q 9 und Q 2FS ergibt sich aus keinem der Teilmodelle.

Für U(P, SS) des Typs 1 und U(LS) trägt die Differenzierung nach dem Merkmal Knotengrundform mit schwach ausgeprägtem Signifikanzniveau zur Erklärung der Varianz bei. Bevorrechtigte Zufahrten an Einmündungen mit Anschluss der wartepflichtigen Zufahrt auf der linken (EL) oder rechten Seite (ER) weisen im Mittel eine höhere Unfallhäufigkeit auf. Die Zusammenführung der aggregierten Grundformen in die Gruppen E/K sowie EL/ER über die Variable GF_1 ergibt gegenüber anderen Aggregationen für die Modelle den höchsten Erklärungsanteil. Die Annahme, dass die Differenz in der Unfallhäufigkeit der Kategorien für GF_1 auf den Anteil der Einmündungen (E) und damit auf die Zufahrtregelung durch Z 205/206 StVO zurückzuführen ist, widerlegt eine Prüfung von Variablen, die auf der Klassifizierung der Zufahrten nach der Zufahrtregelung beruhen. Keine dieser Variablen liefert gegenüber dem gewählten Ansatz einen signifikanten noch höheren Erklärungsanteil. Zwischen den Variablen GF_1 und der Verkehrsregelung der Zufahrt VRZ liegt nach Spearman-Roh ($\rho = 0,38$) nur geringe Korrelation vor. Da der Anteil baulich veränderter Zufahrten für EL/ER gegenüber E/K wesentlich höher ausfällt, liegt die Ursache dieser Zunahme mutmaßlich im Fahrverhalten begründet. Einmündende Zufahrten (E) sind durch eine zwangsläufige Geschwindigkeitsreduktion aller Fahrzeuge beider Fahrtrichtungen gegenüber der FS gekennzeichnet. Dies spiegelt sich in einer geringen Anzahl an Fahrunfällen wider. Auch der Grundform Kreuzung (K) ist ein höherer Anteil an Fahrzeugen mit Geschwindigkeitsreduktion zu unterstellen. Diese weist gegenüber Zufahrten der Kategorie EL/ER i. d. R. einen höheren Anteil abbiegender Verkehrs-

ströme – insbesondere in wartepflichtigen Zufahrten – auf. Weiterhin ist zu vermuten, dass die Kategorie E/K bezüglich ihrer Charakteristik – Streckenende bzw. umfangreichere Wegweisung – deutlicher erkennbar ist und somit eine stärkere Anpassung des Fahrverhaltens erfolgt.

Bewertungsfall	KP-VZ											
	Typ 1				Typ R				U(LS)			
Teilmodell	2				1				2			
Modellname	2			1			2			2		
	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
Konstante	-13,785	****	1,455	****	-16,638	****	,146	****	-10,669	****	,505	****
ln (DTV)	,579	**	,170	**	,937	****	,167	****	,536	****	,060	****
GF_1 (EL oder ER)	,426	,067	,232	,081					,145	,093	,087	,098
Verteilungsparameter (NegBin-M.)	1,2				-				0,142			
	UR			χ ² /df	UR			χ ² /df	UR			χ ² /df
	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
	0,10	80	20	1,503	0,09	78	1,127	1,53	58	38	1,846	
			8	1,403			76				2	1,521
			72	1,364			24	1,030	1,25	50	60	1,500

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung (Ausnahme Typ R), Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 6-4: KP-VZ, Teilmodelle nach Unfalltyp für U(P, SS) und für U(LS)

Das Teilmodell Typ R wird von den Längsverkehrsunfällen dominiert. Dementsprechend weisen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke eine nahezu lineare Abhängigkeit auf. Aus der Zunahme der Verkehrsstärke folgt eine höhere Anzahl an Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern, aus denen typische Unfallsituationen wie Auffahrunfälle resultieren. Gleichwohl wie bei den Modellen der FS, wird der hier nur geringe Anteil systematischer Varianz durch die Expositionsgröße nahezu vollständig erklärt. Der Schätzung der Regressionsparameter dieses Teilmodells liegt die Poisson-Verteilung zugrunde.

Ein maßgebender Einfluss der Verkehrsregelung der Zufahrt auf das Sicherheitsniveau liegt in keinem der Teilkollektive vor. Zur Übersicht sind die Variable „Q 9“ und „wartepflichtige Zufahrt“ differenziert nach DTV-Klassen als Anteilswert am Gesamtkollektiv aufgeführt (Tabelle 6-4). Trotz einer deutlichen Besetzung beider Variable im Bereich geringer Verkehrsstärke, liegt eine maßgebende Korrelation zum DTV ($\rho = 0,32$ bzw. $\rho = 0,34$ nach Spearman) nicht vor. Ein von der Verkehrsstärke abhängiger Zusammenhang zu Querschnitt bzw. Zufahrtregelung besteht somit nur in sehr geringem Umfang. Die von ECKSTEIN/MEEWES (2002) sowie VIETEN et al. (2010) ermittelten Unterschiede zwischen wartepflichtigen und

bevorrechtigten Zufahrten sind daher z. T. mutmaßlich auf das Unfallgeschehen in unmittelbarer Knotenpunktnähe zurückzuführen. In beiden Untersuchungen liegt gegenüber dem eigenen Verfahren eine engere Abgrenzung des Knotenbereichs vor, so dass in diesen Arbeiten ein größerer Anteil an Unfällen den angrenzenden Strecken zugeordnet ist. Des Weiteren erscheint es plausibel, dass eine Änderung des Fahrverhaltens, welches vorrangig Ausdruck in den gefahrenen Geschwindigkeiten findet, Wirkung auf den Sicherheitsgrad der EB nimmt. Die Erkenntnisse sind auf Basis größerer Kollektive zu verifizieren.

Tabelle 6-4: Anteilsverteilung der Merkmale „Q 9“ und „wartepflichtige Zufahrt (Z 205/206 StVO)“ im Kollektiv KP-VZ

Merkmal	DTV [Kfz/24h]							
	< 1.000	< 2.000	< 3.000	< 4.000	< 5.000	< 6.000	< 7.000	≥ 7.000
Gesamtanzahl Abschnitte	23	41	57	82	74	149	38	140
Q 9 [%]	65	51	33	14	10	12	10	0
wartepflichtige Zufahrt [%]	70	29	16	9	7	3	3	0

6.3.4 Ortschaften

Für die EB der Übergangsart Ortschaft (ODF) liegen Modelle getrennt für die Querschnitte Q 9 und Q 2FS vor. Es gibt keine spezifischen Merkmale für diese Übergangsart. Die dargestellten Modelle beinhalten lediglich den Einfluss der Verkehrsstärke und umschreiben das mittlere Sicherheitsniveau des Kollektivs. Die Unfalltypenverteilung der U(P, SS) erfordert eine Teilung in die Kollektive Typ 1 und „Restliche“. Unabhängig vom Querschnitt überwiegt in den Kollektiven U(LS) der Unfalltyp „Sonstige“ deutlich.

Q 9

In beiden Kollektiven U(P, SS) liegt der Anteil von Abschnitten ohne Unfallgeschehen während des Betrachtungszeitraums bei ca. 85 %. Daraus resultiert, dass der Anteil systematischer Varianz für beide Teilmodelle im Nullmodell bereits gering ausfällt. Mit Aufnahme der Exposition weisen beide Modelle praktisch keine Überdispersion mehr auf. Dabei variiert der Erklärungsanteil der Verkehrsstärke erheblich. Das deutliche Übergewicht der Längsverkehrsunfälle in der Unfalltypengruppe „Restliche“ (Anteil ca. 60 %) führt zu einem gering degressiven Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke (Abbildung 6-5).

Im Vergleich mit dem Teilmodell für Unfalltyp 1 der FS ist eine geringfügig höhere Unterproportionalität zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke festzustellen. D. h., im EB von Ortschaften ist gegenüber der FS eine gerin-

gere Zunahme der Fahrurfälle mit zunehmender Verkehrsstärke zu verzeichnen. LANGE (1990) schließt zwar einen Zusammenhang zwischen Gestaltung des Ortseinfahrtbereichs und der Unfallsituation aus, jedoch wird angenommen, dass eine verändernde Streckencharakteristik das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer gegenüber der FS prägt. Unter Berücksichtigung weiterer Untersuchungen (MAIER/MEEWES 1990) trifft dieser Aspekt für Verkehrsteilnehmer fahrtrichtungsunabhängig zu.

Bewertungsfall	ODF Q 9											
	Typ 1				Typ R				U(LS)			
Teilmodell	1				1				1			
Modellname	1				1				1			
	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
Konstante	-12,913	****	1,980	****	-15,480	****	2,921	****	-10,907	****	,883	****
ln (DTV)	,552	*	,051	*	,814	*	,374	*	,547	****	,115	****
Verteilungsparameter (NegBin-M.)	0,4				0,43				0,24			
	UR			χ ² /df	UR			χ ² /df	UR			χ ² /df
	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
	0,21	84	26	1,094	0,13	84	71	1,197	1,68	60	43	1,535
		74	1,070			29	1,056		1,50	56	57	1,301

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 6-5: ODF Q 9, Teilmodelle nach Unfalltyp für U(P, SS) und für U(LS)

Die kumulierten Residuen der Unfalltypengruppe „Restliche“ überschreiten den Vertrauensbereiches von $\pm 2 \sigma^*$ im Cure-Plot für Verkehrsstärken kleiner 2.000 Kfz/24h (Anhang J.2, Abbildung J-11). Da lediglich der DTV im Modell Berücksichtigung findet, ist die eingeschränkte Erklärungsgüte des Teilmodells auf die Einflüsse weiterer Merkmale zurückzuführen. Diese sind entweder auf die Variablen der Modelle FS – wie z. Bsp. die überwiegend bei geringen Verkehrsstärken in Erscheinung tretende Eigenschaftenkombination von schmalen Fahrbahnbreiten ohne Mittelmarkierung (MMFFB) – zurückzuführen oder sie lassen sich über die bisherigen Merkmale nicht abbilden.

Q 2FS

Das Teilkollektiv U(P, SS) weist einen hohen Anteil an Abschnitten ohne Unfallgeschehen auf. Für das Teilmodell Typ R erlaubt die Poisson-Verteilung eine Beschreibung der Regressionskoeffizienten (Abbildung 6-6). Modelltheoretisch lassen sich die U(P, SS) des Typ R lediglich über die Verkehrsstärke beschreiben, weitere Einflussgrößen spielen damit eine un-

tergeordnete Rolle. Sie haben nur eine sehr geringe Wirkung auf die Verkehrssicherheit. Ähnlich dem Q 9 variiert der Erklärungsanteil der Exposition zwischen den Modellen für Typ 1 und Typ R erheblich.

Bewertungsfall	ODF Q 2FS											
	Typ 1				Typ R				U(LS)			
Teilmodell	1				1				1			
Modellname	Koeffizient ^a			Std.-fehler	Koeffizient ^a			Std.-fehler	Koeffizient ^a			Std.-fehler
			p ^b				p ^b				p ^b	
Konstante	-12,761	****	,164	****	-13,032	****	,143	****	-11,218	****	,698	****
ln (DTV)	,516	**	,192	**	,531	***	,167	**	,585	****	,083	****
Verteilungsparameter (NegBin-M.)	0,5				-				0,21			
	UR			χ ² /df	UR			χ ² /df	UR			χ ² /df
	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.	abs.	Quantil	Anteil	abs.
	0,13	80	16	1,132	0,11	82	73	1,043	1,13	62	83	1,661
			84	1,110			27	1,011			17	1,111

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung (Ausnahme Typ R), Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung 6-6: ODF Q 2FS, Teilmodelle nach Unfalltyp für U(P, SS) und für U(LS)

Der im EB deutlich geringere Anstieg der Unfallhäufigkeit – insbesondere des Unfalltyps 6 – gegenüber den Modellen der FS lässt sich u. a. aus einer Veränderung des Fahrverhaltens erklären. Übergänge zu Ortschaften führen zu einer Homogenisierung der gefahrenen Geschwindigkeiten. Daraus folgt, dass in Annäherung an Ortschaften eine deutliche Anpassung der Geschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer erfolgt und von Überholmanövern weitestgehend abgesehen wird. Beim Verlassen der Ortschaft ist ebenfalls von einem niedrigeren homogenen Geschwindigkeitsniveau auszugehen. Der Überholwunsch ist in diesem Bereich gegenüber der FS geringer.

Für das Teilmodell U(LS) weist der Cure-Plot deutliche Schwankungen auf, wobei der Kurvenverlauf der kumulierten Residuen partiell – wenn auch in geringem Umfang – den Vertrauensbereich verlässt (Anhang J.2, Abbildung J-16). Der stellenweise deutliche Kurvenanstieg der kumulierten Residuen begründet sich aus erheblichen Abweichungen einzelner Abschnitte, denen keine weiteren auffälligen Eigenschaften zugrunde liegen. Aus Ermangelung weiterer Kenntnisse bleiben die Abschnitte Bestandteil des Kollektivs.

6.4 Funktionen der Unfallrate

Aus der Aggregation der Teilmodelle für EB nach Unfalltyp lässt sich der Verlauf der $UR_{(P, SS)}$ über die Verkehrsstärke abbilden. Die in Abbildung 6-7 enthaltenen Kurven stellen das Niveau der $UR_{(P, SS)}$ ohne weitere Risikogrößen für die EB im relevanten Bereich der Verkehrsstärke dar. Da in der Modellbildung lediglich Variable, die den Übergangsbereich näher klassifizieren, Berücksichtigung finden, entspricht das dargestellte Niveau nicht der $gUR_{\check{A},(P, SS)}$ und ist somit mit den Ergebnissen der FS nur indirekt vergleichbar.

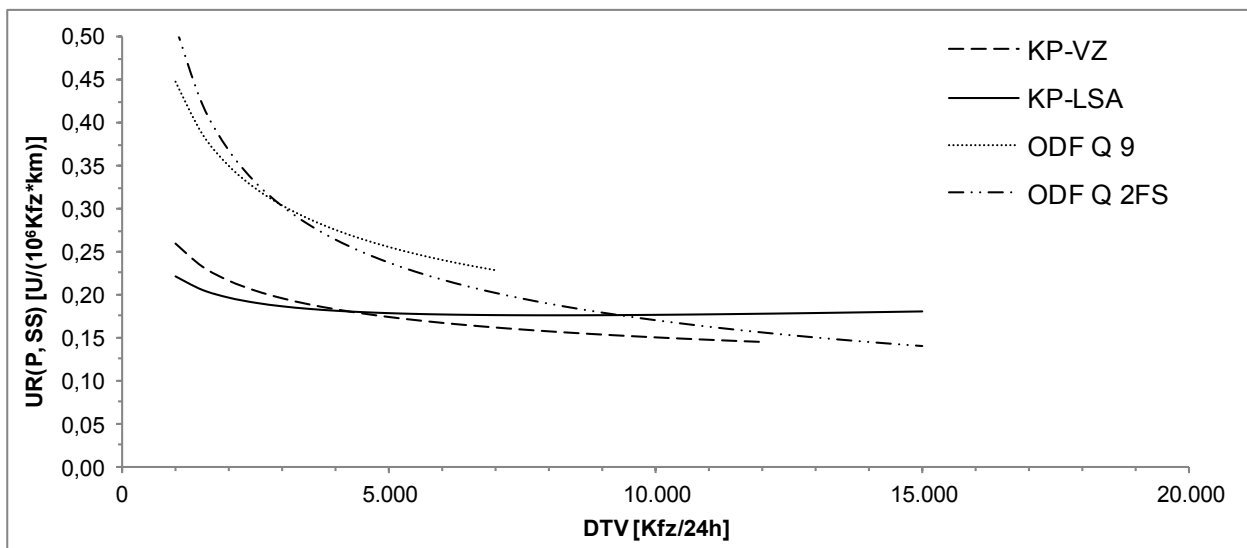


Abbildung 6-7: $UR_{(P, SS)}$ nach Art des Übergangs (ohne Zuschläge), Überlagerung Modelle nach Unfalltyp

Die $UR_{(P, SS)}$ für ODF weist unabhängig vom betrachteten Bewertungsfall einen ähnlichen Verlauf auf, wobei die Steigung für $UR_{(P, SS)}$ für Q 9 geringer ausfällt. Ursache bildet der gegenüber dem Q 2FS deutlich höhere Regressionskoeffizient des DTV der Unfalltypengruppe „Restliche“. Bei beiden Bewertungsfällen prägt der Unfalltyp 6 diese Gruppe. Es ist zu vermuten, dass aus der Kombination von steigender Verkehrsstärke und schmaler Querschnittsbreite für den Q 9 ein wesentlich höheres Unfallrisiko des Unfalls im Längsverkehr – insbesondere im Begegnungsverkehr – besteht. Der Q 2FS hat einen höheren Anteil an Unfällen durch Auffahren innerhalb des Typs 6. Die Klassifizierung der $U(P, SS)$ nach Unfallart für beide Bewertungsfälle nach Streckenabschnitten bestätigt diese Aussage. Ca. 48 % der Unfälle des Typs 6 entsprechen im Kollektiv Q 9 der Unfallart 4 – Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das entgegenkommt –, für Q 2FS beträgt der Anteil nur ca. 31 %. Demgegenüber liegt für Q 2FS der Anteil der Unfallart 2 – Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet – mit 26 % um 16 % über dem Wert des Q 9. Während der Überholwunsch in der Nähe von Ortschaften durch die Homogenisierung der gefah-

renen Geschwindigkeiten gleichermaßen wie das Risiko von Auffahrunfällen mutmaßlich abnimmt, bleibt das Risiko eines Unfalls im Begegnungsverkehr auf dem Q 9 verhältnismäßig hoch.

Die Kurve für KP-LSA zeigt einen anderen Verlauf. Mit Anstieg der Verkehrsstärke folgt nach der Abnahme der $UR_{(P,SS)}$ eine Konsolidierung des Niveaus im mittleren Bereich. Aus der überproportionalen Zunahme der Unfälle des Typs 6 schließt sich für KP-LSA daran ein geringer Anstieg der $UR_{(P,SS)}$ an. Da dieses Kollektiv nahezu ausschließlich Abschnitte des Q 2FS beinhaltet, lässt der Vergleich zur $gUR_{\check{A}(P,SS)}$ der FS des Q 2FS an dieser Stelle den allgemeinen Rückschluss zu, dass mit steigender Verkehrsstärke die mögliche positive Wirkung der LSA auf den EB abnimmt. Maßgeblich prägt die Beschränkung der V_{zul} im niedrigen Verkehrsstärkebereich das geringe Niveau der $UR_{(P,SS)}$. Eine gegenüber der FS signifikante Zunahme des Anteils der Unfallart 2 für den Unfalltyp 6 im EB – von 29 % auf 49 % – lässt den Rückschluss zu, dass im Vorfeld signalgeregelter Knotenpunkte eine Häufung von Auffahrunfällen auftritt.

Auf ähnlichem Niveau, aber im gesamten betrachteten Bereich stetig fallend, ist der Verlauf der $UR_{(P,SS)}$ der KP-VZ. Dargestellt ist das Niveau für E/K. Unter der Annahme gleichbleibender Randbedingungen wird deutlich, dass im Bereich geringer Verkehrsstärken Knotenpunkte gegenüber den Übergängen zu Ortschaften ein geringeres Unfallrisiko aufweisen. Die an dieser Stelle nicht vertiefte Betrachtung weiterer einflussnehmender Streckeneigenschaften lässt eine weitere Interpretation der Ergebnisse nicht zu. Im Bereich mittlerer und hoher Verkehrsstärken assimilieren sich die Kurvenverläufe aller EB.

Allen Arten von EB ist ein kontinuierlich regressiver Verlauf der $UR_{(LS)}$ eigen (Abbildung 6-8). Nahezu die Hälfte aller Unfälle ist dem Typ „Sonstige“ zugeordnet. Die ähnliche Größenordnung der $UR_{(LS)}$ zeigt, dass die Art des EB nur gering auf das Unfallrisiko wirkt. Lediglich Übergänge zu Ortschaften weisen im Bereich geringer Verkehrsstärken einen geringfügig höheren Sicherheitsgrad auf. Die Differenz zwischen den KP-VZ und KP-LSA ist vernachlässigbar. Es ist zu vermuten, dass die $UR_{(LS)}$ für beide Knotenpunktformen durch weitere bisher nicht berücksichtigte Merkmale des Knotenpunkts geprägt wird. Eine Zunahme der $UR_{(LS)}$ aufgrund von Auffahrunfällen des Typs 6 im Bereich hoher Verkehrsstärken, wie es für die $UR_{(P,SS)}$ der Fall ist, tritt für KP-VZ nicht auf. Ähnlich den KP-LSA ist anzunehmen, dass U(LS) aufgrund der zugrunde liegenden Unfallcharakteristik häufiger im Knotenbereich lokalisiert sind. Eine systematisch falsche Verortung lediglich der U(LS) ist auszuschließen.

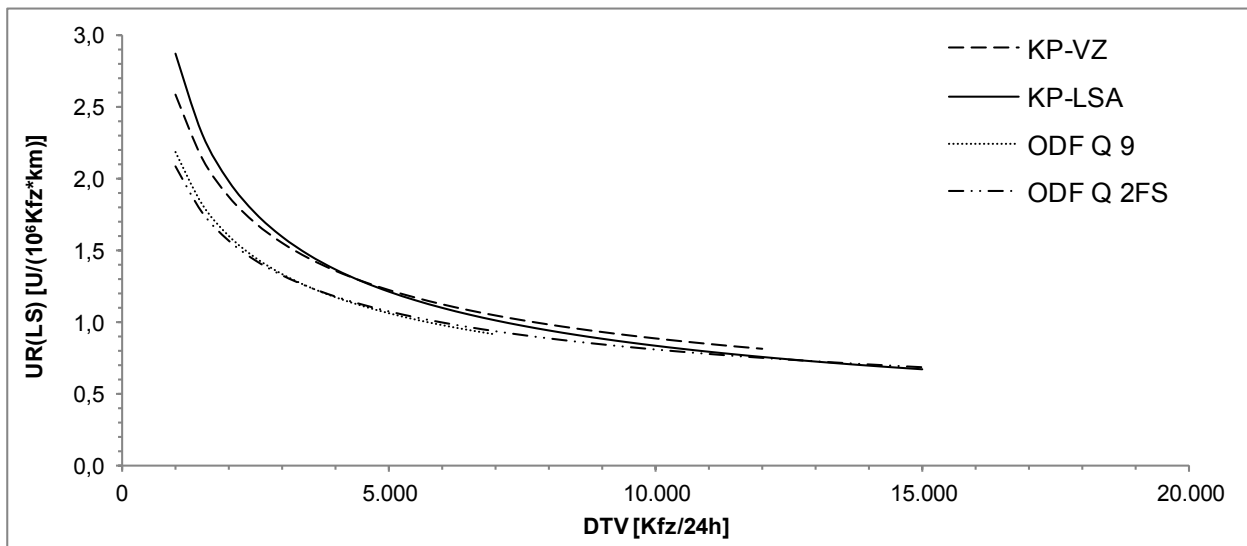


Abbildung 6-8: $UR_{(LS)}$ nach Art des Übergangs (ohne Zuschläge)

Insbesondere die Funktionen der $UR_{(P, SS)}$ lassen vermuten, dass die Differenz des Sicherheitsgrades zwischen FS und EB nicht zwangsläufig konstant bleibt, sondern über dem betrachteten Bereich der Verkehrsstärke variiert. Eine Quantifizierung der FEB ausschließlich auf einem Vergleich modellberechneter Mittelwerte berücksichtigt den Aspekt der Verkehrsabhängigkeit nur unzureichend. In der weiteren Betrachtung erfolgt daher eine Überprüfung dieses Wirkungszusammenhangs von Verkehrsstärke und Höhe der FEB.

6.5 Quantifizierung der Faktoren für Einflussbereiche

Auf Grundlage der Erkenntnisse zu den vorliegenden Modellen für EB und FS resultiert die Ermittlung der FEB auf folgenden Arbeitsschritten:

- Berechnung der UKREB für die Einzelabschnitte EB mit den Modellen EB und FS
- Ermittlung des UKR-Quotienten zwischen beiden Modellen unter Berücksichtigung der Verkehrsstärke
- Fixierung der Größenordnung der FEB unter gegebenen Randbedingungen

Identisch zur FS ermittelt sich die UKR_{EB} aus dem modellberechneten Unfallgeschehen. Deren Größenordnung beruht auf einer Aggregation der mit entsprechenden Unfallkostensätzen bewerteten Unfallhäufigkeiten der Teilmodelle. Während die Berechnung der UKR_{EB} auf Basis der Modelle EB aufgrund der geringen Anzahl signifikanter Variablen letztendlich zur Darstellung des verkehrsstärkeabhängigen Mittelwertes führt, dient die Berechnung mit den Modellen FS dazu, verschiedene Merkmalausprägungen in

den Kollektiven zu erfassen. Demgemäß fließen bei diesem Schritt strukturbedingte Eigenschaften in die Bewertung ein.

Abbildung 6-9 enthält die Gegenüberstellung der modellberechneten UKR_{EB} beider Modellformen am Beispiel des EB „ODF Q 9“. Der höhere Detaillierungsgrad der Modelle FS führt zwangsläufig zu einer größeren Streuung der UKR_{EB} gegenüber den Werten nach Modellform EB. Für letztgenannte stellt sich erwartungsgemäß ein linearer Verlauf der UKR_{EB} ein. Weiterhin ist zu erkennen, dass das Niveau der UKR_{EB} nach Modell FS bei höheren Verkehrsstärken höher liegt, während im Bereich sehr geringer Verkehrsstärken eine Überlagerung der Einzelwerte beider Modelle stattfindet. Die Regressionsgeraden für beide Modellformen verdeutlichen den Unterschied der Sicherheitsniveaus auf Grundlage der Berechnungsansätze.

Die modellberechneten UKR_{EB} beider Ansätze zeigen systematische Unterschiede zueinander. Das Modell FS weist gegenüber dem Modell EB im Mittel eine höhere UKR auf. Dieser Überschätzung durch das Modell FS liegt ein höherer Sicherheitsgrad der EB an Ortschaften gegenüber der FS für Abschnitte des Q 9 zugrunde. Erklärt wird dieser durch eine niedrigere Unfallhäufigkeit. Durch Verwendung gleicher Kostensätze wird eine eventuelle Verschiebung in der Schwere nicht erfasst. Darüber hinaus ist der Einfluss der ODF auf den Sicherheitsgrad von Q 9 verkehrsstärkeabhängig und gewinnt erst ab mittleren Verkehrsstärken an Bedeutung. Dies zeigt die zunehmende Differenz beider Regressionsgeraden zueinander. Der Faktor des Einflussbereichs (FEB) ist dahingehend anzupassen.

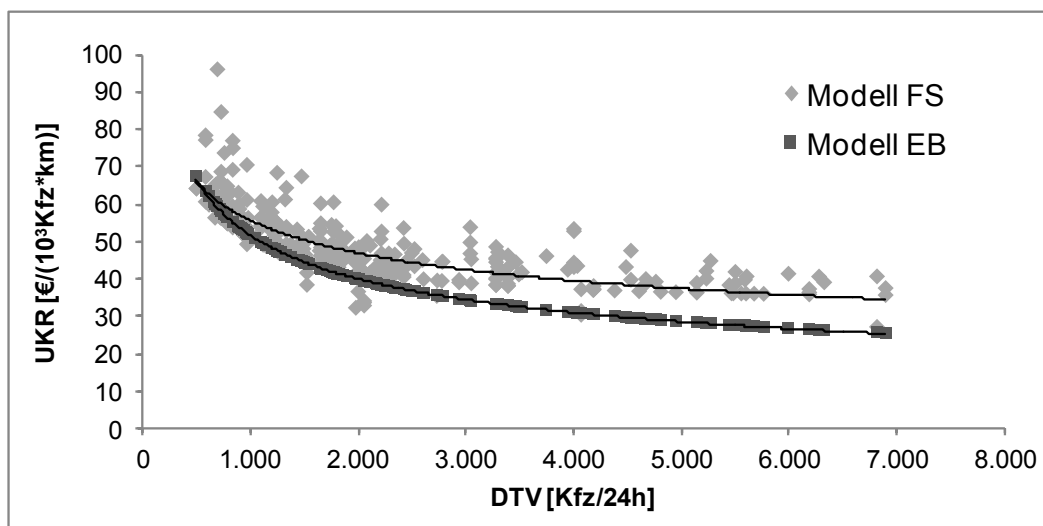


Abbildung 6-9: UKR_{EB} Einzelabschnitte nach Modellen FS und EB für Einflussbereich ODF Q 9

Der Quotient der UKR_{EB} nach den Modellen EB und FS stellt den FEB als Anteilswert an beliebiger Stelle der beobachteten Verkehrsstärke dar. Ist die Größenordnung des FEB < 1 , hat der EB gegenüber der FS eine niedrigere

UKR und damit eine positive Wirkung auf die Verkehrssicherheit. Insofern weisen $FEB > 1$ eine negative Wirkung aus. Über den beobachteten Verkehrsstärkebereich kann die Entwicklung des von der Verkehrsstärke abhängigen FEB ebenfalls als eine Funktion beschrieben werden. Da beide Regressionsgeraden der Familie der Potenzfunktion entstammen, bildet selbige die Veränderung des FEB am besten ab (Gl. 21). Eine Erläuterung der Zusammenhänge zwischen modellberechneten und beobachteten Unfallkenngrößen ist dem Anhang L zu entnehmen.

$$FEB = m * DTV^n$$

Gl. 21

FEB	Faktor Einflussbereich [-]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
m, n	Modellparameter [-]

Abbildung 6-10 und Abbildung 6-11 enthalten die nach Art des Übergangs, Bewertungsfall und ggf. Knotengrundform differenzierte Entwicklung der FEB.

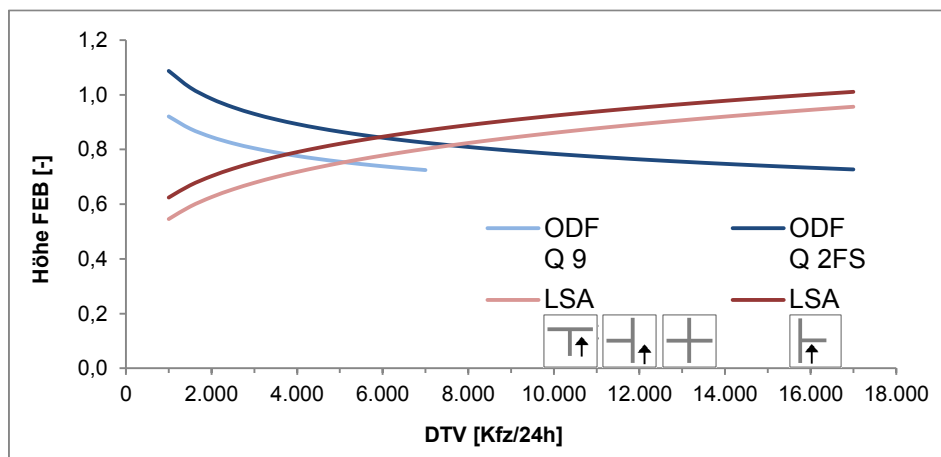


Abbildung 6-10: Verlauf der FEB für die Übergangsarten ODF und KP-LSA

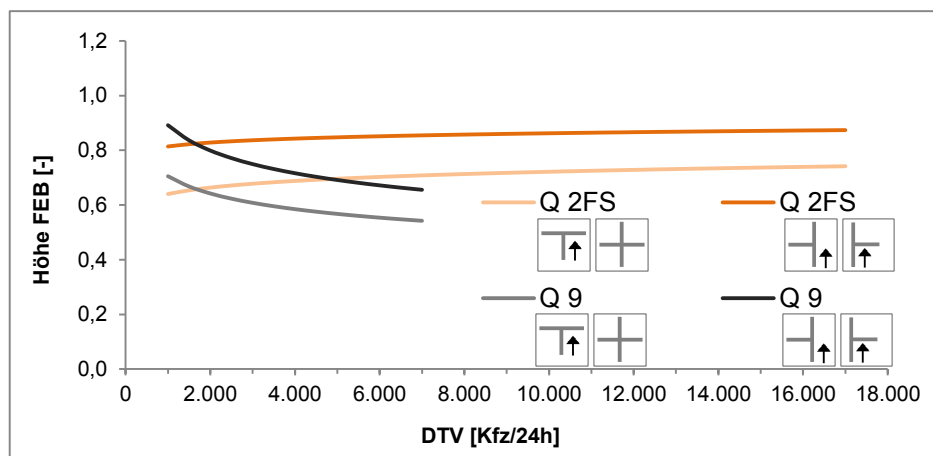






Abbildung 6-11: Verlauf der FEB für die Übergangsart KP-VZ

Die positive Wirkung der Übergangsart ODF auf die Verkehrssicherheit liegt bei mittleren und hohen Verkehrsstärken vor. Im Bereich von kleiner 1.750 Kfz/24h für Q 2FS, führt die exponentielle Grundform der Modelle zu Größenordnungen des FEB von > 1 . Diese erscheinen nicht plausibel. Es ist anzunehmen, dass der Sicherheitsgrad von EB und FS für sehr niedrige Verkehrsstärken eine nahezu identische Größenordnung aufweist. Dass die FEB für Q 9 und Q 2FS bei gleicher Verkehrsstärke verschiedene Größenordnungen haben, lässt sich mutmaßlich mit der Querschnittsgestaltung und dem allgemein anerkannten Zusammenhang, dass das Geschwindigkeitsniveau bei geringen Kurvigkeiten von der Fahrbahnbreite abhängt (MAIER/MEEWES 1990, BAKABA 2002), in Verbindung bringen. Das allgemein geringere Geschwindigkeitsniveau auf Abschnitten des Q 9 hat gegenüber dem Q 2FS zur Folge, dass hohe Geschwindigkeiten wahrscheinlich weniger stark in Ortschaften getragen werden. Gleichwohl wird für die Gegenrichtung vermutet, dass auf Q 9 eine geringere Beschleunigung nach dem Verlassen der Ortschaft stattfindet. Bei der Argumentation ist zu beachten, dass die FEB relativen Charakter besitzen und nicht das absolute Niveau darstellen. Die generell höhere positive Wirkung von ODF in Bereichen hoher Verkehrsstärken erscheint plausibel. Eine zunehmende Zahl an Interaktionen führt zu einer Homogenisierung der Geschwindigkeiten und somit des Verkehrsablaufs. Für Q 2FS ist ein, wenn auch nicht signifikanter, Rückgang der Unfallart 4 – Zusammenstoß mit Fahrzeug, das entgegenkommt – für U(P, SS) des Typs 6 von 35 % für FS auf 26 % für EB, als Indiz für den Rückgang von Überholunfällen zu verzeichnen. Der Anteil des Typs 6 an allen Unfällen bleibt unabhängig vom betrachteten Netzabschnitt konstant.

Die FEB für KP-LSA (Q 2FS) haben einen degressiven Verlauf. Im Bereich niedriger Verkehrsstärken ist die geringe Größenordnung der FEB deutlich auf die Einflussnahme der LSA auf das Geschwindigkeitsniveau der angrenzenden Zufahrt in Kombination mit einer geringeren Anzahl von Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern zurückzuführen. Im Bereich hoher Verkehrsstärken ist die positive Wirkung der LSA auf die Verkehrssicherheit der Zufahrt vernachlässigbar. Ursache ist die deutliche Zunahme an Interaktionen. Dies spiegelt sich in der überproportionalen Zunahme des Unfalltyps 6 bei steigender Verkehrsstärke wider. Der gemeinsame Anteil der Unfallarten 1 und 2 des Unfalltyps 6 liegt mit 76 % Anteil signifikant über dem Wert der FS (36 %). Dies verdeutlicht die Veränderungen im Verkehrsablauf und Unfallgeschehen. Für KP-LSA ist es möglich, dass der FEB im Bereich sehr hoher Verkehrsstärken einen Wert > 1 annimmt. Der höhere FEB für die Knotengrundform ER basiert auf den ermittelten Modellvariablen.

Der Verlauf der FEB für KP-VZ unterscheidet sich zwischen Q 9 und Q 2FS erheblich. KP-VZ der Kategorie E/K weisen modellbedingt ein geringeres Niveau der FEB auf. Die Verkehrssicherheit dieser Zufahrten ist höher. Die Größenordnung der FEB für Q 2FS erlaubt die Festlegung von verkehrsstärkeunabhängigen FEB. Demgegenüber zeigen die FEB für Q 9 eine Abhängigkeit von der Verkehrsstärke. Der Divergenz des Kurvenverlaufs gegenüber dem Q 2FS liegen verfahrensbedingte Eigenschaften zugrunde. Die Abschätzung der Regressionsparameter für die Einzelvariablen beruht auf einer Bewertung des Gesamtkollektivs mit dem Modell EB. Daraus folgt ein regressiver Verlauf der UR-Funktionen über das Gesamtkollektiv. Dies spiegelt sich in der Darstellung der FEB für Q 9 in einer Verringerung der Größenordnung wieder. Ob weitere Einflussfaktoren, wie der höhere Anteil wartepflichtiger Zufahrten im geringen Verkehrsstärkebereich, Einfluss auf den Kurvenverlauf nehmen, lässt sich statistisch nicht nachweisen, ist aber auch nicht vollkommen auszuschließen (Vergleiche Kapitel 6.3.3). Die FEB, ermittelt auf Basis des DTV-Medianes beider Bewertungsfälle, zeigen eine ähnliche Größenordnungen (Tabelle 6-5). Daher wird angenommen, dass die Wirkung von KP-VZ auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden Zufahrten unabhängig dem Bewertungsfall ähnlich ausfällt und nur einen schwachen Zusammenhang zur Verkehrsstärke aufweist. Die Größenordnung der fixen FEB wird am Median orientiert.

Tabelle 6-5: Höhe der FEB für KP-VZ nach Median des Bewertungsfalls

Bewertungsfall	Median DTV [Kfz/24h]	FEB nach Grundform [-]			
					
Q 9	1.750	0,65		0,82	
Q 2FS	4.250	0,69		0,84	

Für die Arten von Streckenübergängen, denen keine Modelle EB zugrunde liegen, erfolgt die Ermittlung der FEB mit Variante 3. Da die geringen Kollektivgrößen die Aussagekraft eines Vergleichs der beobachteten und mit dem Modell FS berechneten UKR_{EB} über den relevanten Verkehrsstärkebereich einschränken, erfolgt die Berechnung der FEB aus der Division beider Mittelwerte. Ergebnisse der Variante 3, die auf einem Vergleich arithmetischer Mittelwerte erfolgen, können durch die Wirkung von eventuellen Ausreißern – betrifft lediglich beobachtete Werte – beeinflusst und damit verzerrt werden. Um eine hohe Repräsentativität der Ergebnisse zu erzielen, liegt der Augenmerk auf einer gesonderten Betrachtung und ggf. Ausschluss auffälliger Abschnitte. Für die Identifikation dieser Fälle stehen folgende Ansätze zur Auswahl:

- Ansatz 1: Festlegungen anhand von Quantilen mittels Box-Whisker-Plots
- Ansatz 2: Bewertung der beobachteten UKR_{EB} des Einzelfalls bezüglich seiner prozentualen Abweichung zum Mittelwert des Kollektivs
- Ansatz 3: Bewertung der beobachteten UKR_{EB} des Einzelfalls hinsichtlich seiner Wirkung auf den Mittelwert des Kollektivs

Unabhängig vom gewählten Ansatz ist ein Grenzwert zu bestimmen, ab dem ein Fall als auffällig gilt. Die Bewertung nach Quantilen unterliegt der Einschränkung, dass die Festlegung eines Quantil wenig Auskunft über das zugrunde liegende Niveau gibt. Dabei ist auch ein Ausschluss schwach auffälliger Werte möglich. Ansatz zwei und drei ähneln einander, da ähnliche Fälle identifiziert werden. Die Einschränkung des zweiten Ansatzes, dass die prozentuale Abweichung des Einzelfalls keine Auskunft über die Wirkung auf das Kollektiv gibt, wird mit dem dritten Ansatz umgangen. Daher findet Ansatz 3 Berücksichtigung. Bei diesem Verfahren wird für jeden Einzelfall die mittlere UKR_{EB} des Kollektivs unter Ausschluss des jeweils betrachteten Falls bestimmt und dieser Wert dem Gesamtmittelwert des Kollektivs gegenübergestellt. Bei deutlichen Differenzen erfolgt ein Ausschluss auffälliger Abschnitte. Tabelle 6-6 enthält die endgültigen auf dem Verfahrensansatz ermittelten Kenngrößen für KP-TPF und KP-KV.

Tabelle 6-6: Unfallkenngrößen Übergangsarten KP-TPF und KP-KV nach Bewertungsfall

Art des Übergangs	Bewertungsfall	Art der Berechnung	UR [U/(10 ⁶ Kfz*km)]		UKR _{EB} [€/((10 ³ Kfz*km)]			FEB [-]	Anzahl Fälle [n]	Median DTV [Kfz/24h]
			U(P,SS)	U(LS)	U(P,SS)	U (LS)	Σ			
KP-TPF	Q 2FS	Modell FS	0,18	1,03	19,4	4,2	23,7	0,95	72	10.900
		Beobachtung	0,18	0,81	19,2	3,3	22,5			
	Q 3FS	Modell FS	0,17	0,89	18,4	3,6	22,1	0,89	32	17.200
		Beobachtung	0,16	0,53	17,6	2,2	19,7			
	Q 21	Modell FS	0,12	0,46	9,2	2,3	11,5	0,88	62	24.900
		Beobachtung	0,11	0,39	8,2	1,9	10,2			
KP-KV	Q 2FS	Modell FS	0,29	1,99	30,7	8,1	38,9	0,58	16	4.600
		Beobachtung	0,18	1,57	16,2	6,4	22,6			

Für KP-TPF zeigen die FEB in Abhängigkeit vom Bewertungsfall kaum Unterschiede. Mit einer Größenordnung der FEB zwischen 0,88 und 0,95 ist der Einfluss dieser Übergangsart auf den EB positiv. Damit unterscheidet sich das Ergebnis gegenüber dem Ansatz nach ECKSTEIN/MEEWES (2002) (Vergleiche Kapitel 4.2). Der Unterschied begründet sich aus der differenzierten Bewertung des Unfallgeschehens für Einzelabschnitte, sowie dem o. g. Ausschluss einzelner Extremwerte. Daher sind die auf Basis des

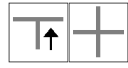
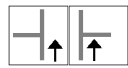


eigenen Verfahrensansatzes erhaltenen Beziehungen als maßgebend einzuschätzen.

Für Q 2FS ist nur ein geringer, praktisch nicht relevanter Einfluss von KP-TPF auf den EB nachweisbar. In Anlehnung an die Ergebnisse von ZIERKE (2010), der auf Abschnitten des Q 3FS und Q 21 keinen Einfluss von Ein- und Ausfahrtbereichen auf die gefahrenen Geschwindigkeiten der angrenzenden Strecke feststellen konnte, gilt diese Vermutung auch für einbahnig zweistreifige Abschnitte. Jedoch ist für diesen Bewertungsfall im EB eine signifikante Zunahme des Unfalltyps 6 und über alle Unfalltypen der Unfallart 4 – Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das entgegenkommt – für U(P, SS) festzustellen. Es ist zu vermuten, dass der Sicherheitsgewinn durch den Rückgang von Fahrunfällen mit einem Zuwachs an Längsverkehrsunfällen – mutmaßlich aufgrund durch das Überholen langsam fahrender Kfz – nahezu vollständig kompensiert wird. EB von Q 3FS und Q 21 weisen gegenüber dem Q 2FS einen tendenziell höheren Rückgang der UKR im Vergleich zur FS auf.

Das Kollektiv KP-KV ist mit 16 Zufahrten auf Abschnitten des Q 2FS nur gering besetzt. Der ermittelte FEB ist statistisch nicht abgesichert. Lediglich 4 der 16 Zufahrten weisen im Beobachtungszeitraum U(P, SS) auf. Aus der bekannten deutlich geschwindigkeitsdämpfenden Wirkung des Kreisverkehrs auf alle Fahrzeuge der Zufahrt (STEINAUER et al. 2008, ZIERKE 2010) lässt sich – auch in Kombination mit den Erkenntnissen von anderen Knotenpunktarten – ableiten, dass die Unfallhäufigkeit in der Zufahrt am Kreisverkehr gegenüber der FS eine deutliche Abnahme aufweist.

Tabelle 6-7 enthält die berechneten und für fehlende Fälle durch Schätzungen ergänzten FEB für die Konstellation Bewertungsfall und Art des Übergangs. Grundlage bilden die Regeleinsatzbereiche von Knotenpunktarten nach EKL in Anlehnung an die RAL (FGSV 2012). Die Schätzungen beruhen auf dem Vergleich der FEB ähnlicher Knotenpunktarten unter Berücksichtigung der mittleren Verkehrsstärke. Sie entsprechen konservativer Natur, stellen eine Orientierung dar und bedürfen einer späteren Überprüfung. Auf die Angabe verkehrsstärkeabhängiger FEB wird bei der Schätzung bewusst verzichtet.

Tabelle 6-7: FEB nach Art des Übergangs und Bewertungsfall

Art des Übergangs		FEB für Bewertungsfälle [-]				
		Q 9	Q 2FS	Q 3FS	Q 21	
Ortschaft (ODF)		$2,15 * DTV^{-,123}$	$2,90 * DTV^{-,142}$	-	-	
Knotenpunkt	VZ		0,65	0,69	-	-
			0,82	0,84	-	-
	LSA		0,68*	$0,14 * DTV^{,198}$	-	0,90*
			0,75*	$0,19 * DTV^{,170}$	-	0,95*
	Kreisverkehr (KV)		0,58*	0,58**	-	-
	Ein-/Ausfahrtbereich (TPF)		-	0,95	0,89	0,88

* Grundform nach RAL (FGSV 2012) möglich, Schätzung der FEB, Größenordnung nicht abgesichert
 ** Größenordnung FEB berechnet aber nicht abgesichert

6.6 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Einflussbereiche (EB) repräsentieren den Wirkungsbereich von Streckenübergängen auf das Sicherheitsniveau der angrenzenden Strecke. Ortschaften oder verkehrsbedeutende Knotenpunkte entsprechen Übergängen. Die Klassifizierung knotenpunktbezogener EB nach Knotenpunktart und Zufahrtregelung berücksichtigt den derzeitigen Erkenntnisstand.

Die auf Basis des Verfahrens von ECKSTEIN/MEEWES (2002) ermittelten Längen der EB variieren und bleiben auf eine Länge von maximal 300 m beschränkt. Für ausreichende Kollektivgrößen liegen unfalltypenbezogene Teilmodelle je EB vor. Diese ermöglichen die Identifikation von Einflussmerkmalen, welche in Abhängigkeit von der Art des Übergangs vorzufinden sind.

Grundlage des Verfahrens bildet die Annahme, dass die anhand der Modelle für FS ermittelten Zuschläge auch auf das Unfallgeschehen des EB Einfluss nehmen. Der Faktor des Einflussbereiches (FEB) entspricht dem Quotient der berechneten UKR_{EB} der Modelle EB und FS. Er stellt das Sicherheitsniveau des EB im Verhältnis zur FS dar.

Signifikanten Einfluss auf die Verkehrssicherheit der Übergangsart KP-VZ besitzt die Knotenpunktgrundform bezüglich der Lage der Zufahrten. Es liegt keine Korrelation mit den die Zufahrtregelung beschreibenden Merk-

malen vor. Es gilt die Vermutung, dass weniger die Zufahrtregelung als solche Wirkungen auf den Sicherheitsgrad besitzen, sondern vielmehr die Auswirkungen des Knotens auf den Verkehrsablauf bzw. das Geschwindigkeitsniveau des Fahrzeugkollektivs.

Auch für EB erklären die Teilmodelle einen für die Unfalltypen unterschiedlichen Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit. Geringe Unfallanzahlen führen in der Modellbildung zur Aggregation mehrerer Unfalltypen.

Aus dem Vergleich der berechneten UKR_{EB} der Modelle FS und EB wird deutlich, dass der Unterschied in der Verkehrssicherheit zwischen FS und EB zum einen z. T. von der Verkehrsstärke abhängt, zum anderen für die verschiedenen Arten von Streckenübergängen unterschiedliche Entwicklungen aufweist. So verringert sich die positive Wirkung des KP-LSA auf den EB mit steigender Verkehrsstärke. Für EB, denen aufgrund geringer Kollektivgrößen keine Modelle EB zugrunde liegen, erfolgte die Ermittlung der FEB mit einem Vergleich der mittleren beobachteten UKR mit den nach Modell FS berechneten UKR. Da für die Übergangsart KP-TPF eine fahrtrichtungsunabhängige Bewertung des Unfallgeschehens und die Abgrenzung der Knotenpunktbereiche nach maximaler baulicher Ausprägung erfolgte, stellen die ermittelten FEB eine Orientierung dar und bedürfen bei Vorliegen größerer Kollektive einer Anpassung. Weiterhin wird der Vorteil des Verfahrens gegenüber einer allgemeinen Mittelwertbildung deutlich (Vergleiche Kapitel 4.2).

Die im Verfahren bewerteten Übergangsarten haben fast ausschließlich eine positive Wirkung auf den Sicherheitsgrad des EB. Dies äußert sich in einem Rückgang von Unfallhäufigkeit bzw. Unfallschwere. Die im Resultat vorliegenden FEB erlauben eine übergreifende Sicherheitsbewertung von Streckenabschnitten.

7 Bewertung Netzabschnitt

7.1 Theoretische Grundlagen

Die in vorangegangenen Kapiteln beschriebene Definition des Sicherheitsniveaus ermöglicht die Bewertung homogener Streckenabschnitte. Zur Bewertung ist die Zusammenführung der Elemente FS und EB notwendig. Dabei resultiert die Unfallkostenrate des Streckenabschnitts (UKR_{SA}) aus den längengewichteten UKR aller Teilelemente. In dem Bewertungsansatz fließen die bisherigen Ergebnisse zur Abschnittsbildung und die Bewertungsansätze für die verschiedenen Elemente ein. Es sind folgende Sachverhalte zu beachten:

- Bereiche verkehrsbedeutender Knotenpunkte sind nicht Bestandteil der Bewertung.
- Die Längen der EB variieren.
- Aus der Netzeinteilung resultieren kurze Streckenabschnitte, die einen geringen bis keinen Anteil FS aufweisen.
- Es wird unterstellt, dass Kriterien, die Einfluss auf den Sicherheitsgrad der FS besitzen, auch eine Wirkung auf die EB aufweisen. Gleichwohl unterliegen EB partiell auch Einflüssen, die aus der Charakteristik der Übergänge resultieren.
- Da die Länge der EB für Knotenpunkte in Abhängigkeit der Regulationsart variiert, erscheint die Zuordnung der EB zu den Knotenpunkten, vor dem Kontext einer einheitlichen (längenbezogenen) Bewertungsgrundlage der Knotenpunkte, nicht zielführend. Die Integration der EB in ein Bewertungsmodul des Streckenabschnitts bietet ein stimmiges einvernehmliches Gesamtkonzept der Bewertung von Knotenpunkt und Strecke.
- Eine Ermittlung der UKR_{SA} setzt die Analyse und Bewertung des gesamten Streckenabschnitts voraus. Eine Erklärung des auftretenden Unfallgeschehens über vorhandene Defizite oder Streckeneigenschaften wird gewährleistet. Zur exakten Abbildung des Niveaus der UKR_{SA} werden die EB mit dem Kriterienkatalog der FS bewertet. Daher ist die aggregierte Bewertung von FS und EB als ein Element zulässig, sofern beide gleichbleibende Eigenschaften aufweisen. Die Veränderung des Sicherheitsniveaus im EB gegenüber der FS wird über die FEB berücksichtigt.

- In Abhängigkeit von der Streckencharakteristik ist das Element FS mitunter in mehrere Abschnitte unterteilt. Die Aggregation von Abschnitten erfolgt bei der Berechnung der UKR_{SA} . Eine vorherige Aggregation der UKR_{FS} – bspw. Zusammenfassung von einbahnig zwei- und dreistreifigen Abschnitten des RQ 11,5+ – lässt keine eindeutige Aussage über die Größenordnung des FEB bezüglich der FS zu.
- Während die UKR_{SA} in Bezug auf die Bewertung des Netzelements hinsichtlich einer Qualitätsstufe der Verkehrssicherheit nach dem Gedanken des HVS Entwurfs (BARK et al. 2008) unter Umständen eine Messgröße darstellt⁶, entspricht sie bei der Betrachtung einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung nach EWS (FGSV 1997) nur einer Hilfsgröße. Die EWS berücksichtigen die vermiedenen Unfallkosten zur ökonomischen Bewertung eines Variantenvergleichs als volkswirtschaftlichen Nutzen. Die Darstellung der Unfallkosten des Streckenabschnitts (UK_{SA}) als absolute Kenngröße erlaubt den direkten Vergleich von Varianten unterschiedlicher Länge. Darüber hinaus ermöglicht die Betrachtung von Unfallkosten eine umfassende Bewertung von Straßenabschnitten. Diese setzen sich i. d. R. aus den Bestandteilen Knotenpunkt und Streckenabschnitt zusammen, welche – in Übereinstimmung mit der Entwicklung der „Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen RWS“ (BAIER 2015) – auch getrennt bewertet werden können.

Aus den aufgeführten Punkten leiten sich die weiteren Arbeitsschritte (AS) zur Berechnung der UKR_{SA} und den UK_{SA} ab. Diese entsprechen in ihrem Ablauf einem Verfahren zur volkswirtschaftlichen Bewertung der Verkehrssicherheit von Streckenabschnitten an Landstraßen. Die Struktur des Verfahrens stellt Abbildung 7-1 dar. Das Verfahren gilt für Landstraßen des Bestandes. In Anlehnung an den Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) lassen sich diese kategorisieren und den EKL 1 bis EKL 4 nach den RAL (FGSV 2012) zuordnen. Die Anwendung des Verfahrens setzt die Einteilung eines Straßenabschnitts in Netzabschnitte und die Auswahl eines Bewertungsfalls (Querschnitt) voraus. In Tabelle 7-1 sind die in Abbildung 7-1 verwendeten Größen aufgeführt. In Anhang M liegt die detaillierte Darstellung des Bewertungsverfahrens mit der Angabe aller notwendigen Kenngrößen, Tabellen und Berechnungen vor.

⁶ Voraussetzung einer vergleichenden Bewertung auf Basis von UKR stellt die Relativierung der Messgröße (Abweichung) zu einem Ausgangsniveau bspw. der $gUKR_{\bar{A}}$ dar.

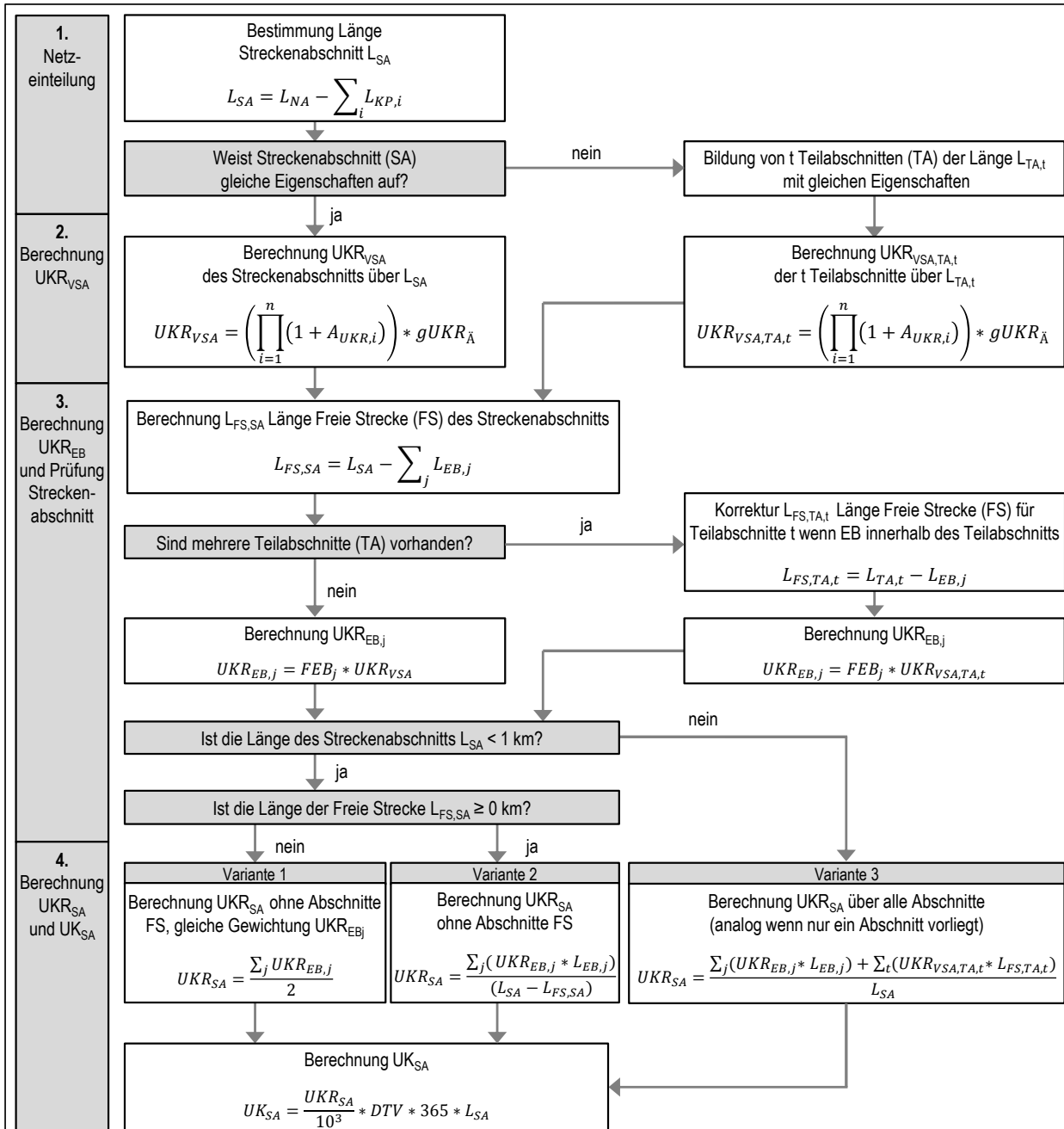


Abbildung 7-1: Verfahren zur Berechnung von UKR_{SA} und UK_{SA} eines Streckenabschnitts

- AS 1, Netzeinteilung: Die Länge eines betrachteten Streckenabschnitts (L_{SA}) resultiert aus der Subtraktion der ggf. vorhandenen von der zugrunde liegenden Länge des Netzabschnitts (NA). Streckenabschnitte (SA) sind anschließend bezüglich ihrer Eigenschaften zu prüfen. Tritt ein maßgebender Wechsel der Eigenschaften auf, ist der Streckenabschnitt in mehrere Teilabschnitte t (TA) mit gleichen Eigenschaften zu gliedern

Tabelle 7-1: Kenngrößen zum Verfahren der Berechnung von UKR_{SA} und UK_{SA}

Kenngröße	Einheit	Beschreibung
L_{SA}	[km]	Länge Streckenabschnitt
L_{NA}	[km]	Länge Netzabschnitt
L_{KP}	[km]	Länge Knotenpunktbereich
$L_{FS,SA}$	[km]	Länge Freie Strecke des Streckenabschnitts
$L_{TA,t}$	[km]	Länge Teilabschnitt t
$L_{FS,TA,t}$	[km]	Länge Freie Strecke Teilabschnitt t
$L_{EB,j}$	[km]	Länge Einflussbereich j
$gUKR_{\bar{A}}$	[€/((10 ³ Kfz*km))]	Grundunfallkostenrate -ähnlich
$A_{UKR,i}$	[-]	Anteilswert des Zuschlags i
UKR_{VSA}	[€/((10 ³ Kfz*km))]	Vorläufige Unfallkostenrate Streckenabschnitt
$UKR_{VSA,TA,t}$	[€/((10 ³ Kfz*km))]	Vorläufige Unfallkostenrate Streckenabschnitt für Teilabschnitt t
$UKR_{EB,j}$	[€/((10 ³ Kfz*km))]	Unfallkostenrate Einflussbereich j
FEB_j	[-]	Faktor des Einflussbereichs j
UKR_{SA}	[€/((10 ³ Kfz*km))]	Unfallkostenrate Streckenabschnitt
UK_{SA}	[€]	Unfallkosten Streckenabschnitt
DTV	[Kfz/24h]	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr

- AS 2, Berechnung UKR_{VSA} : Weist ein Netzabschnitt gleichbleibende Eigenschaften auf, wird die „vorläufige Unfallkostenrate des Streckenabschnitts“ (UKR_{VSA}) auf Basis der Streckenmerkmale über die Länge L_{SA} ermittelt. Für Teilabschnitte erfolgt die Berechnung der $UKR_{VSA,TA}$ entsprechend der jeweiligen Länge L_{TA} des Teilabschnitts. Ähnlich der Methodik in der Merkmalerhebung ist davon auszugehen, dass die Adaption des Fahrverhaltens das Auftreten eines Merkmals über eine Mindestlänge voraussetzt. Daher sind Teilabschnitte mit Längen $L_{TA,t} < 100$ m mit dem nächstgrößeren Nachbarabschnitt zusammenzufassen. Dem berechneten Sicherheitsgrad des Teilabschnitts t auf seine Länge $L_{TA,t}$ entspricht die $UKR_{VSA,TA,t}$. Die allgemeine Berechnung der UKR_{VSA} beruht auf der Multiplikation der $gUKR_{\bar{A}}$ mit der Summe der ermittelten Zuschläge. Dabei stellt die UKR_{VSA} an dieser Stelle eine Hilfsgröße zur weiteren Ermittlung der UKR_{SA} dar. Eine Differenzierung in Abschnitte EB und FS erfolgt an dieser Stelle nicht, sofern keine Notwendigkeit hinsichtlich differenter Streckeneigenschaften besteht.
- AS 3, Berechnung UKR_{EB} und Prüfung Streckenabschnitt: Die Länge des zu bewertenden Streckenabschnitts L_{SA} ist für die weiteren Berech-

- nungsschritte maßgebend. Es wird angenommen, dass auf sehr kurzen Streckenabschnitten, das UKR-Niveau der FS aufgrund eines vorausschauenden Fahrverhaltens der Verkehrsteilnehmer nicht erreicht wird. Ursache bildet die geringere Unfallschwere aufgrund niedrigerer gefahrener Geschwindigkeiten. Die Abschnittslänge, bis zu der eine Adaptation des Fahrverhaltens stattfindet, ist von verschiedenen Faktoren – Regelung der Zufahrt am Knotenpunkt, Streckencharakteristik, mittlere Knotenabstand – beeinflusst und nicht klar abzugrenzen. Aus der Zusammenfassung und Bewertung verschiedener Quellen⁷ bezüglich Geschwindigkeitswahl und Sicherheitsniveau an Streckenübergängen wird die Annahme getroffen, dass Streckenabschnitte mit Längen von $L_{SA} < 1$ km gegenüber längeren Abschnitten ein verändertes Sicherheitsniveau aufweisen. Dieses ist über eine Anpassung des Berechnungsansatzes für UKR_{SA} zu berücksichtigen. Speziell für sehr kurze Streckenabschnitte ohne Anteil FS ist eine gesonderte Berechnung notwendig. Dafür ist die Prüfung der Größenordnung von L_{SA} und der Länge der FS ($L_{FS,SA}$) notwendig. Letztere ergibt sich aus der L_{SA} abzüglich der summierten Längen für die EB. Liegen mehrere Teilabschnitte vor, ist für betroffene Teilabschnitte, die entsprechende Länge der EB zur Ermittlung des Anteils FS von der Teilabschnittslänge $L_{TA,t}$ abzuziehen. Darauf sind die UKR_{EB} anhand der UKR_{VSA} bzw. $UKR_{VSA,TA,t}$ bezüglich des zugrunde liegenden Teilabschnitts zu ermitteln. Abschließend erfolgt im Vorgang 3 die Prüfung von L_{SA} und $L_{FS,SA}$ zur Klassifizierung des Netzabschnitts. Es liegen drei Fallunterscheidungen (Varianten) bezüglich der Bewertung von Netzabschnitten vor.
- AS 4, Berechnung UKR_{SA} und UK_{SA} : Im Falle von $L_{SA} \geq 1$ km (Variante 3 in Abbildung 7-1) vergibt sich die UKR_{SA} aus den längengewichteten UKR aller Abschnitte EB und FS. Im Falle von kurzen Streckenabschnitten mit $L_{SA} < 1$ aber $L_{FS,SA} \geq 0$, (Variante 2 in Abbildung 7-1), wird die FS nicht mit berücksichtigt. Dementsprechend verringert sich die betrachtete L_{SA} um den Anteil der FS. Somit ist die Höhe des Sicherheitsgrades für UKR_{SA} an der längengewichteten Größenordnung der EB angelehnt. Eine Überlagerung der EB liegt für sehr kurze Streckenabschnitte mit $L_{FS,SA} < 0$ vor (Variante 1 in Abbildung

⁷ Aus STEINAUER et al. (2008) ist bekannt, dass Knotenpunkte bis zu Entfernungen von ca. 450 m einen Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeiten ausüben. Aus SCHNÜLL & RICHTER (1994) ist bei Knotenabständen < 1 km ein Einfluss auf die Geschwindigkeit zu entnehmen. Für Übergänge zu Ortschaften weist BUCK (1992) Längen bis zu 300 m nach. ECKSTEIN & MEEWES (2002) ermitteln Einflussbereiche des Knotenpunkts auf die Verkehrssicherheit angrenzende Zufahrt bis zu 700 m. VIETEN et al. (2010) grenzen bei der Ermittlung von Sicherheitsgraden Einflussbereiche von Knotenpunkten mit einer pauschalen Länge von 450 m ab.

7-1). In diesem Falle ist davon auszugehen, dass der Sicherheitsgrad der verbleibenden Strecke im gleichen Maße von beiden Übergangsarten beeinflusst wird. Zur Ermittlung der UKR_{SA} ist die Summe der $UKR_{EB,j}$ zu halbieren. Die Streckenlänge L_{SA} ist vernachlässigbar. Die zu bestimmenden UK_{SA} repräsentieren das zu erwartende volkswirtschaftlich bewertete mittlere Unfallgeschehen in Abhängigkeit von Streckenabschnittslänge und Fahrleistung.

Die Kombination verschiedener Übergangsarten übt wesentlichen Einfluss auf den Sicherheitsgrad kurzer und sehr kurzer Streckenabschnitte aus. Die Verwendung lediglich eines FEB für diese Abschnitte erscheint zu pauschal. Jedoch wird die Festlegung von FEB für verschiedene Kombinationen speziell für sehr kurze Abschnitte durch mehrere Kriterien eingeschränkt. Zum einen liegen für den überwiegenden Teil an Kombinationen von EB nur geringe bis keine Kollektive vor. Zum Zweiten wird die Größenordnung von längenbezogenen Sicherheitskenngrößen durch die Berücksichtigung der Abschnittslänge im Nenner verzerrt und kann nur als Indiz dienen (VIETEN et al. 2010). Die für sehr kurze Streckenabschnitte⁸ ohne Anteil FS ermittelte $UR(P, SS)$ zeigt gegenüber dem Pendant der FS – Vergleich mit Teilkollektiv anhand der Fahrbahnbreite – für die Bewertungsfälle Q 9 und Q 2FS eine Größenordnung von ca. 62 % der FS auf (Tabelle 7-2). Die Differenz der UKR variiert für beide Bewertungsfälle deutlich. Der Anteil der UKR kurzer Streckenabschnitte ohne FS für den Q 9 entspricht ca. 78 % der UKR der FS und ordnet sich vom Niveau zwischen den Größenordnungen der durchschnittlichen FEB für ODF und KP-VZ ein. Diese Kombination der Übergänge ist maßgebend für das betrachtete Kollektiv des Q 9. Demgegenüber liegt der Anteil der UKR für kurze Streckenabschnitte ohne FS für den Q 2FS mit ca. 64 % sowohl deutlich unter dem Vergleichswert der FS als auch unter dem durchschnittlichen FEB für die prägende Übergangsart KP-VZ⁹. Demgemäß werden Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf kurzen Abschnitten des Q 2FS deutlicher von den Übergängen geprägt.

Tendenziell lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass das Sicherheitsniveau von sehr kurzen Streckenabschnitten ohne Anteil FS deutlich unter dem Niveau der FS liegt. Der gewählte Verfahrensansatz (Variante 1 in Abbildung 7-1) beschreibt das prinzipielle Niveau der Verkehrssicherheit auf kurzen und sehr kurzen Streckenabschnitten in geeigneter Form.

⁸ Die hier analysierten kurzen Streckenabschnitte bilden kein Bestandteil der Kollektive für Modelle nach FS oder EB. Sie weisen Längen zwischen 100 und 500 m auf.

⁹ Mittlere Größenordnung FEB für KP-VZ (E/K) ca. 0,69, für KP-VZ (ER/EL) ca. 0,82

Tabelle 7-2: Deskriptive Kenngrößen sehr kurzer Streckenabschnitte ohne Anteil FS im Vergleich zu Streckenabschnitten mit Anteil FS

Bewertungsfall	Kenngrößen		Kurze Streckenabschnitte ohne FS	Pendant FS	Häufigste Kombination EB	
					Art	Anteil
Q 9	Mittlere Fahrbahnbreite [m]		5,8	6,0	ODF/ KP-VZ	14 von 35
	UR [U/(10 ⁶ Kfz*km)]	P, SS	0,31	0,50		
		LS	2,78	2,41		
UKR [€/ (10 ³ Kfz*km)]		44,2	56,8			
Q 2FS	Mittlere Fahrbahnbreite [m]		7,4	7,5	KP-VZ/ KP-VZ	46 von 112
	UR [U/(10 ⁶ Kfz*km)]	P, SS	0,19	0,30		
		LS	1,18	2,10		
UKR [€/ (10 ³ Kfz*km)]		25,1	39,3			

7.2 Praktische Anwendung

Das in Abbildung 7-2 aufgeführte praktische Beispiel verdeutlicht die Vorgehensweise der Bewertung. Das Formblatt umfasst im Kopf allgemeine Informationen zum Fallbeispiel. Darüber hinaus enthält es alle benötigten Angaben zur Berechnung von maßgebenden Kenngrößen. Die Arbeitsschritte (AS) sind in chronologischer Abfolge dargestellt. Im konkreten Fall handelt es sich um einen Straßenabschnitt Q 2FS zwischen zwei Ortschaften, der durch einen abschnittsteilenden verkehrsbedeutenden Knotenpunkt mit Regelung durch eine LSA unterbrochen wird. An dieser Kreuzung ändert sich die Verkehrsstärke. Zwischen km 2,1 und dem Knotenpunkt zeigt der Querschnitt eine mit 7,5 m gegenüber dem Regelquerschnitt geringere Fahrbahnbreite auf. Im gesamten Verlauf ist das Überholen durch Z 295 StVO untersagt. Die Prinzipskizze gibt Auskunft über die aus dem Verfahren resultierende Einteilung des Straßenabschnitts in Einzelelemente.

Der LSA-geregelte Knotenpunkt ist gleichermaßen wie die Ortschaften (ODF) nicht Gegenstand der Bewertung. Aus den Randbedingungen leitet sich in Arbeitsschritt 1 die Teilung des Straßenabschnitts in die Netzabschnitte A und B ab. Die Streckendeklaration „von Station“/“bis Station“ entspricht der Kilometrierungsrichtung. Netzabschnitt A ist aufgrund der veränderten Querschnittscharakteristik in zwei Teilabschnitte zu differenzieren. Entsprechend ihres Auftretens in betrachteter Kilometrierungsrichtung werden die EB nach der Übergangsart kategorisiert und L_{EB} sowie FEB ermittelt.

Beispielbewertung Straßenabschnitt								
Prinzipskizze Verlauf								
	Streckbrief Straßenabschnitt XY							
Allgemeine Angaben	Länge Straßenabschnitt [km]	4,0		DTV [Kfz/24h]:	12.000 (Netzabschnitt A)			
	abschnittsteilende Knotenpunkte [-]	1x LSA (Station 2,5 km)			9.000 (Netzabschnitt B)			
	Verlauf [-]	ODF - FS - KP-LSA - FS - ODF						
	Länge Netzabschnitt A L _{NA,A} (ohne ODF) [km]	2,3						
	Länge Netzabschnitt B L _{NA,B} (ohne ODF) [km]	1,0						
	Grundlage Bewertungsfall	Q 2FS						
Beschreibung Besonderheiten	Änderung Fahrbahnbreite an Station 1,2 km > Streckenteilung notwendig							
AS 1			Netzabschnitt A			Netzabschnitt B		
	Länge Streckenabschnitt L _{SA} (ohne KP) [km]	2,2		0,9				
	Länge Teilabschnitt L _{TA,1} [km]	1,0						
	Länge Teilabschnitt L _{TA,2} [km]	1,2						
		Art	L _{EB} [km]	FEB [-]	Art	L _{EB} [km]	FEB [-]	
	Einflussbereich 1 (von Station)	ODF	0,2	0,76	KP-LSA (K)	0,3	0,85	
Einflussbereich 2 (bis Station)	KP-LSA (K)	0,3	0,90	ODF	0,2	0,80		
AS 2			TA _{A1}		TA _{A2}		SA _B	
	Identifizierte Zuschläge		Ausprägung	A _{UKR} [%]	Ausprägung	A _{UKR} [%]	Ausprägung	A _{UKR} [%]
	Fahrbahnbreite < 8,0 m [-]		nein	-	ja	39	nein	-
	Hügeligkeit [%]		0,7	3,5	0,5	2,5	0,8	4
	Anschlüsse Grundstückszufahrten / landwirtsch. Wegenetz [Häufigkeit/km]		2	2	0,83	0,83	1,11	1,11
	linienhafte fahrbahnahe Bepflanzung hinter Böschungsmulde ohne PSE [Anteil/km]		0,4	4,58	0,2	2,29	0,2	2,53
	$\prod_i (1 + A_{UKR,i})$ [-]		1,104		1,469		1,078	
	Grundunfallkostenrate -ähnlich g _{UKR_A} [€/(10 ³ Kfz*km)]		15,8		15,8		16,8	
	vorläufige Unfallkostenrate Streckenabschnitt UKR _{VSA} [€/(10 ³ Kfz*km)]		-		-		18,1	
	vorläufige Unfallkostenrate Teilabschnitt UKR _{VSA,TA} [€/(10 ³ Kfz*km)]		17,4		23,2		-	
AS 3	Länge Freie Stecke Streckenabschnitt L _{FS,SA} [km]	-		-		0,4		
	Länge Freie Stecke Teilabschnitte L _{FS,TA} [km]	0,8		0,9		-		
	Unfallkostenrate Einflussbereich 1 (von Station) UKR _{EB1} [€/(10 ³ Kfz*km)]	13,2		-		15,4		
	Unfallkostenrate Einflussbereich 2 (bis Station) UKR _{EB2} [€/(10 ³ Kfz*km)]	-		20,9		14,5		
	Prüfung Streckenabschnittslängen		Netzabschnitt A			Netzabschnitt B		
	Länge Streckenabschnitt L _{SA} < 1 km ?		nein			ja		
	Länge FS Streckenabschnitt L _{FS,SA} ≥ 0 km?		-			ja		
AS 4	Variante der Berechnung UKR _{SA}		3			2		
	Unfallkostenrate des Streckenabschnitts UKR _{SA} [€/(10 ³ Kfz*km)]		19,9			15,0		
	Unfallkosten des Streckenabschnitts UK _{SA} [€/a]		191.756			44.348		

Abbildung 7-2: Formblatt zur Bewertung eines Straßenabschnitts, praktisches Beispiel

Anhand der in Kapitel 5.4 definierten spezifischen Zuschläge für den Bewertungsfall sind in Arbeitsschritt 2 die Zuschläge separat für die Einzelabschnitte zu erfassen und über die A_{UKR} zu quantifizieren. Die Höhe der A_{UKR} ergibt sich aus der jeweiligen Berechnungsvorschrift des Einzelzuschlags in Abhängigkeit der Merkmalausprägung. Für jeden Einzelabschnitt erfolgt die Ermittlung des Produkts aller vorliegenden Zuschläge. Dieses ist wiederum mit der auf Basis der Verkehrsstärke ermittelten $g_{\text{UKR}_{\bar{A}}}$ – Ansatz nach Unfalltyp (Kapitel 5.3.2) – zu multiplizieren. Im Ergebnis liegen teilabschnittsbezogene UKR_{VSA} , welche den Sicherheitsgrad der FS repräsentieren, vor.

Die endgültige Bewertung der Netzabschnitte setzt das Vorgehen in Arbeitsschritt 3 voraus. An erster Stelle steht die Festlegung des Anteils FS je Einzelabschnitt. Umfassen Einzelabschnitte EB, so ist nachfolgend die UKR_{EB} auf Basis der entsprechenden UKR_{VSA} des Einzelabschnitts mit Hilfe des FEB zu bestimmen. Die daran anschließende Prüfung der Länge des Streckenabschnitts L_{SA} und der Länge der FS des Streckenabschnitts $L_{\text{FS,SA}}$ je Netzabschnitt gibt Auskunft über die zu verwendende Variante der UKR_{SA} -Berechnung im finalen vierten Arbeitsschritt.

Im dargestellten Beispiel erfolgt für Netzabschnitt A die Berechnung der UKR_{SA} nach Variante 3 auf Basis aller vorhandenen Teilabschnitte über die Länge L_{SA} . Für Netzabschnitt B ist Variante 2 für die Berechnung der UKR_{SA} zugrunde zu legen. Im Ergebnis weist Netzabschnitt A eine UKR_{SA} von 19,9 €/($10^3\text{Kfz}\cdot\text{km}$), Netzabschnitt B eine UKR_{SA} von 15,0 €/($10^3\text{Kfz}\cdot\text{km}$) auf. Würde einer Berechnung der UKR_{SA} für Netzabschnitt B nach Variante 3 erfolgen, entspräche die UKR_{SA} 16,6 €/($10^3\text{Kfz}\cdot\text{km}$). Die Differenz verdeutlicht den unterstellten positiven Einfluss räumlich eng aneinander liegender EB auf den Sicherheitsgrad kurzer Streckenabschnitte.

Das Berechnungsverfahren stellt eine Alternative zur Sicherheitsbewertung gegenüber dem bisher im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) vorgesehen Verfahren dar. Es beruht auf einer umfangreichen Streckenanalyse. Auf Basis des gewählten Untersuchungsdesigns konnten eine Vielzahl von unabhängigen Einflussfaktoren auf den Sicherheitsgrad von Landstraßen identifiziert und quantifiziert werden. Das Verfahren eignet sich zum Vergleich des Sicherheitsgrades bestehender Netzabschnitte mit dem Sicherheitsgrad eines richtliniengerechten Ausbaus. Da das Kollektiv überwiegend Strecken umfasst, welche nach den RAS-Q 82, RAS-Q 96 bzw. RAS-L 95 trassiert sind, ist zur Bewertung von Strecken, deren Entwurf nach den RAL erfolgt, eine Anpassung der $g_{\text{UKR}_{\bar{A}}}$ und $z_{\text{UKR}_{\bar{A}}}$ im Verfahren nötig.

Das entwickelte Formblatt enthält ein Verfahren zur Sicherheitsbewertung außerörtlicher Straßenabschnitte. Die Anordnung der Arbeitsschritte (Zeilen) folgt, unabhängig einer variierenden Streckencharakteristik, einem festem Muster¹⁰. Die prinzipielle Vorgehensweise lässt sich als Papier und Bleistift Verfahren im Rahmen eines Regelwerks wie dem HVS integrieren. Jedoch erfordert die notwendige Aufteilung eines Netzabschnitts in Einzelabschnitte stellenweise eine Variabilität des Formblattes, dessen Umsetzung in Papierform als schwierig zu bewerteten ist. Mit Blick auf eine praktische Anwendung des Verfahrens, stellt eine rechnerbasierte Version die geeignetere Variante einer Umsetzung dar. Dabei ist es möglich, das Spaltendesign des Formblatts in Abhängigkeit der Charakteristik der zu bewertenden Netzelemente dynamisch zu gestalten. Die Anordnung von Drop-Down Menüs in Verknüpfung mit Eingabefeldern für benötigte Größen stellen weitere Erleichterungen dar und führen zur einer Verkürzung des Arbeitsaufwandes. Die Verknüpfung des Verfahrens bereits in Projektierungssoftware zeigt weitere Möglichkeiten auf.

¹⁰ Im Rahmen des Beispiels stellt die Anzahl der identifizierten Zuschläge den einzig variablen Zeilenbereich dar. Die Spaltenzahl variiert in Abhängigkeit der (Teil-) Abschnitte.

8 Schlussfolgerungen

8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ziel der Arbeit war es, ein Bewertungsverfahren für Streckenabschnitte von Landstraßen ausschließlich verkehrsbedeutender Knotenpunkte zu erstellen. Dabei lag das Augenmerk auf der Identifikation eines der Grundunfallkostenrate ähnlichem – bei richtliniengerechtem Ausbau der Strecke zu erwartendem unvermeidbaren – Sicherheitsniveaus ($gUKR_A$) sowie der Quantifizierung von maßgebenden (vermeidbaren) Zuschlägen. Ausgangspunkt bildet der Entwurf des HVS (BARK et al. 2008), der ein formalisiertes, standardisiertes Verfahren zur Sicherheitsbewertung von Netzelementen umfasst. Trotz einer Vielzahl an Untersuchungen war festzustellen, dass einerseits die Wirkung von baulichen und betrieblichen Merkmalen auf die Verkehrssicherheit z. T. nicht oder widersprüchlich quantifiziert ist. Andererseits beeinflussen methodische Gegebenheiten, wie die häufig gewählten monokausalen Betrachtungsweisen, die Aussagekraft der Ergebnisse. Zur Überwindung dieser Einschränkungen erfolgte die Analyse des Unfallgeschehens mit einem multiplen Regressionsansatz auf Basis Verallgemeinerter Linearer Modelle (GLM).

Grundlage der Untersuchungen bildet das Datenkollektiv aus dem FE 82.334/2007 der Bundesanstalt für Straßenwesen, welches neben Informationen aus den Straßeninformationsbanken der Länder Befahrungsdaten zu ca. 3.600 km Strecken unterschiedlicher Gestaltungen aus sechs verschiedenen Bundesländern enthält. Auf Basis der Literaturanalyse und den Randbedingungen der RAL (FGSV 2012) bzw. des HVS-Entwurfs (BARK et al. 2008) erfolgte eine Identifikation und Beschreibung von Merkmalen, denen ein Einfluss auf die Verkehrssicherheit zu unterstellen ist. Die Aufnahme verschiedener Merkmale der erhobenen Strecken, die Nachtrassierung des Lageplans, die Differenzierung der Strecken in Abschnitte gleicher Eigenschaften sowie die Klassifizierung der Querschnitte in vier Bewertungsfälle – dieser liegt eine von der Fahrbahnbreite abhängige Kategorisierung der Bestandsstrecken in die EKL nach dem Entwurf des HVS zugrunde – stellen wesentliche Schritte der Datenaufbereitung dar. Dabei entspricht die inhaltliche Einordnung des Q 11,5+ in Abhängigkeit von der Fahrstreifenanzahl in die Kollektive Q 2FS bzw. Q 3FS einer Besonderheit. Der geringe Streckenumfang schränkt die Geltung der Ergebnisse zu den Bewer-

tungsfällen einbahnig dreistreifiger und zweibahnig vierstreifiger Querschnitte ein.

Bezüglich der Einteilung von Straßenabschnitten in verschiedene Netzelemente liegen in der Literatur sehr unterschiedliche Abgrenzungen vor. Während die Differenzierung in die Elemente verkehrsbedeutender Knotenpunkt, Einflussbereich und Freie Strecke als fachlich anerkannt gilt, existieren unterschiedliche Aussagen bezüglich der Abgrenzung und Längenentwicklung der Einzelemente. In dieser Arbeit erfolgte für plangleiche Knotenpunkte die Abgrenzung des Knotenbereichs über eine Analyse der Anteilswerte knotenpunktcharakterisierender Unfalltypen. Im Ergebnis erstreckt sich der Knotenbereich 100 m vom Schnittpunkt der Achsen in die angrenzenden Zufahrten. Für Netzverknüpfungen mittels Ein- und Ausfahrtbereichen an der betrachteten Strecke wurde die maximale bauliche Ausprägung als Knotenbereich festgelegt. Knotenbereiche sind nicht Bestandteil der Bewertung. Diese Knotenpunkte, in deren Annäherung keine baulichen oder betrieblichen Veränderungen der betrachteten Zufahrten folgen, stellen als Anschlussknoten ein Merkmal der Strecke dar. Auf Basis des derzeitigen Kenntnisstandes erfolgte eine Klassifizierung der angrenzenden Einflussbereiche nach der Art des Übergangs. Die Festlegung der Länge dieser Bereiche basiert auf dem Verfahren von ECKSTEIN/MEEWES (2002). Übergänge zu Ortschaften waren ebenfalls Bestandteil der Betrachtungen. Für die verschiedenen Einflussbereiche wurden Längen zwischen 200 und 300 m ermittelt. Die verbleibende Reststrecke wurde als Freie Strecke deklariert.

Die Analyse des mehrjährig vorliegenden Unfallgeschehens wurde für Abschnitte der Freien Strecke anhand von längenproportionalen Modellen für zwei konkurrierende Ansätze durchgeführt. Um die Wirkung mutmaßlicher Merkmale konkret quantifizieren zu können, erfolgte die Differenzierung des Unfallgeschehens zum einen nach drei Unfallkategorien – U(P), U(SS) und U(LS) – zum anderen für U(P, SS) nach maßgebenden Unfalltypen – Typ 1, Typ 6 und der Zusammenfassung von Typ 2 bis 5 und 7 in „Andere“. Der Vorteil der zur Analyse gewählten GLM gründet sich aus der von anderen Einflüssen relativ unabhängigen Abschätzung von Merkmalwirkungen sowie einer Bewertung nicht normalverteilter Zielgrößen. Die erstellten (Teil-) Modelle der Freien Strecke lassen unabhängig vom Bewertungsfall folgende Aussagen zu:

- Für keines der Modelle gelang eine vollständige Erklärung der systematischen Varianz auf Basis der Poisson-Verteilung. Das $gUKR_{\bar{A}}$ -Niveau enthält noch unerklärte Merkmale, die Einfluss auf den Sicherheitsgrad

- der Strecke nehmen. Die Schätzung der Regressionskoeffizienten beruht auf Anwendung der negativen Binomialverteilung.
- Für den Ansatz nach Unfallkategorie zeigen alle Modelle einen degressiven Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit. Der Modellansatz nach Unfalltyp offenbart für die Gruppe Unfälle im Längsverkehr (Typ 6) einen progressiven Zusammenhang. Dieser ist auf die Veränderungen im Verkehrsablauf zurückzuführen. Es wurde festgestellt, dass die Anteilszusammensetzung der Unfalltypen einen Zusammenhang zur Verkehrsstärke aufweist. Aus den Gegebenheiten resultiert eine über die Verkehrsstärke abnehmende $gUKR_{\bar{\lambda}}$ -Funktion aller Bewertungsfälle nach dem Ansatz „Unfallkategorie“, während nach dem Ansatz „Unfalltyp“ der $gUKR_{\bar{\lambda}}$ -Verlauf für Q 9 und Q 2FS unter bestimmten Randbedingungen im Bereich hoher Verkehrsstärken stagniert bzw. wieder leicht steigt. Der häufig unterstellte und verwendete lineare Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit konnte nicht bestätigt werden.
 - Die volkswirtschaftliche Bewertung des Unfallgeschehens beruht auf der Anwendung querschnittsbezogener angepasster Unfallkostensätze nach Unfallkategorie für $U(P)$ bzw. nach Unfalltyp für $U(P, SS)$.
 - Identifizierte, die Verkehrssicherheit wesentlich prägende Einflussgrößen stellen Abweichungen von der Relationstrassierung, die Querschnittsbreite und das fahrbahnahe Umfeld dar. Es zeigte sich, dass weniger die Unterschreitung von Trassierungsparametern bei Einzelelementen als vielmehr unstimmmige Elementfolgen zu einer Erhöhung des Unfallgeschehens beitragen. Bezüglich der Zuschläge zur $gUKR_{\bar{\lambda}}$ ist in Defizite und von Umfeld abhängige Streckenmerkmale zu differenzieren.
 - Ferner üben verkehrstechnische Eigenschaften einen Einfluss aus. Da die Beschränkung der V_{zul} auf < 100 km/h für Q 2FS und Q 3FS eine seltene (und meist reaktive) Maßnahme darstellt, konnte eine entsprechende Wirkung nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden.
 - Die verkehrsunabhängige Größenordnung der $gUKR_{\bar{\lambda}}$ erfordert die Darstellung der Zuschläge als relative Anteilswerte. Die im Verfahren vorgesehene Multiplikation mehrerer Zuschläge berücksichtigt die mögliche Wechselwirkung von Merkmalen.
 - Der Vergleich beider Modellansätze verdeutlicht den Vorteil, den eine unfalltypenbezogene (gegenüber der kategorieabhängigen) Bewertung aufgrund des engeren Bezugs zum Verkehrsablauf und entsprechend auftretenden Unfallkonstellationen birgt. Daher wurde dieser Ansatz favorisiert und weiter betrachtet.

Die Bewertung von Streckenabschnitten erfordert die Berücksichtigung der Einflussbereiche an den Streckenübergängen. Zur Ermittlung ihrer Wirkung auf die Verkehrssicherheit erfolgte für Einflussbereiche ebenfalls eine unfalltypenfeine Analyse des Unfallgeschehens auf Basis von GLM. Unter der Voraussetzung, dass die Merkmale der Freien Strecke in ähnlicher Relation, aber in anderer Größenordnung Einfluss auf den Sicherheitsgrad nehmen, wurde das Unfallgeschehen bezüglich der Merkmale des Übergangs analysiert. Aufgrund von Einschränkungen hinsichtlich Kollektivgrößen waren Gruppierungen von Unfalltypen notwendig. Die Gegenüberstellung der modellberechneten Sicherheitskenngrößen nach den Modellen für Einflussbereiche sowie Freie Strecke erlaubte es, die Wirkung der Übergänge auf die Strecke mit Faktoren zu beschreiben. Dabei wurden die unterschiedlichen Merkmalverteilungen in den Kollektiven berücksichtigt. Für die Übergangsarten Kreisverkehr und Ein-/Ausfahrtbereich war eine Modellbildung für die Einflussbereiche nicht möglich. Anstelle der entsprechenden Modelle für Einflussbereiche wurde auf einen Vergleich mit den beobachteten Kenngrößen zurückgegriffen.

Im Ergebnis war festzustellen, dass:

- für einige Arten von Übergängen eine von der Verkehrsstärke abhängige Wirkung auf das Unfallgeschehen der angrenzenden Zufahrt vorliegt, die aus den Veränderungen des Verkehrsablaufs bei Zunahme der Verkehrsstärken resultiert,
- für Zufahrten an durch Verkehrszeichen geregelten Knotenpunkten weniger die Verkehrsregelung der Zufahrt als solche, sondern vielmehr die Größenordnung der beeinflussten Verkehrsströme – mutmaßlich der Anteil von Fahrzeugen der gegenüber der Freien Strecke deutlich die Geschwindigkeit reduziert – Wirkung auf den Sicherheitsgrad nehmen,
- der Einfluss der Übergänge Ortsdurchfahrt, durch Verkehrszeichen geregelte Knotenpunkte und Ein-/Ausfahrtbereiche überwiegend positiv ausfällt, während der sicherheitsbegünstigende Einfluss der LSA mit zunehmender Verkehrsstärke deutlich abnimmt,
- die Erkenntnis zur Größenordnung der Einflüsse für Zufahrten am Kreisverkehr aufgrund der geringen Kollektivgröße nur richtungsweisenden Charakter besitzt.

Somit liegen für die möglichen Knotenpunktarten und Übergänge zu Ortschaften nach Bewertungsfall auf Regressionsanalysen gestützte differenzierte Faktoren zu Quantifizierung des Sicherheitsniveaus gegenüber der Freien Strecke vor. Im Falle zu kleiner oder fehlender Kollektive wurde eine konservative Schätzung vorgenommen.

Im Ergebnis der Arbeit liegt ein Verfahren vor, welches die notwendigen Arbeitsschritte und Ergebnisgrößen im Zuge einer Sicherheitsbewertung von Straßenabschnitten enthält. Das Verfahren ist in mehrere Stufen, beginnend von der Netzeinteilung, über die Berechnung der Zuschläge für einzelne Abschnitte, bis zur übergreifenden Bewertung der Streckenabschnitte auf Basis von Unfallkostenraten gegliedert. Die Rückrechnung auf Unfallkosten erlaubt einen Vergleich von verkehrsstärke- und längendifferenten Varianten. Den einzelnen Arbeitsschritten liegen systematische Analysen bezüglich der Differenzierung und Abgrenzung von Netzelementen sowie der Identifikation bzw. Quantifizierung der Verkehrssicherheit beschreibender Kenngrößen auf Basis des zur Verfügung stehenden Kollektivs zugrunde. Das Verfahren versteht sich als Grundgerüst und Empfehlung für eine weitere detaillierte Entwicklung eines Bewertungsverfahrens im zukünftigen HVS.

8.2 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Das entwickelte Bewertungsverfahren stützt sich zwar auf ein repräsentatives bundesdeutsches Streckenkollektiv, jedoch steht methodisch vor Anerkennung einer allgemeinen Praxistauglichkeit die Validierung der Modelle an einem unabhängigen Datensatz aus. Dieser Schritt unterliegt den Einschränkungen, dass das Verfahren nach Möglichkeit einen aktuellen Bezug zu den Entwurfsgrundsätzen und Randbedingungen in Anlehnung an die RAL (FGSV 2012) darstellen soll. Das Untersuchungskollektiv setzt sich aber nahezu ausschließlich aus Strecken zusammen, denen die RAS-Q 82, RAS-Q 96 und RAS-L 95 als Entwurfsgrundlage dienten. Dementsprechend erfolgte eine Anpassung der $gUKR_{\bar{A}}$ und der Höhe der Zuschläge im Modell auf dieses Kollektiv von Bestandsstrecken. Zum aktuellen Zeitpunkt liegt nur eine geringe Anzahl an nach den RAL entworfenen Abschnitten vor. Eine Kalibrierung der für die Bewertungsfälle ermittelten Koeffizienten und Variablen bezüglich einer Anpassung an die EKL nach den RAL wird daher als noch nicht zuverlässig angesehen. Dies gilt insbesondere für einbahnig dreistreifige und zweibahnig vierstreifige Streckenabschnitte. Aus der vorliegenden Arbeit ergeben sich folgende Hinweise und anstehender Forschungsbedarf:

- Die erfolgte Modellbildung beruht auf einer Unterteilung des Unfallgeschehens nach Unfallkategorie bzw. Unfalltyp. Für eine deutlichere Erklärung des Zusammenhangs zwischen Defiziten und Unfallfolgen wird für ausreichend große Kollektive eine Klassifizierung des Unfallgeschehens in dominante Unfalltyp-Unfallart-Kombinationen empfohlen.
- Die volkswirtschaftliche Bewertung der Unfallfolgen beruht auf einer Anpassung der Unfallkostensätze nach Unfallkategorie bzw. der Kom-

bination mit dem Unfalltyp, getrennt für jeden Bewertungsfall. Zum Erhalt der Aussagekraft wurde auf eine Differenzierung nach Netzelement verzichtet, da dies eine Einschränkung bezüglich der exakten Bewertung der Unfallschwere nach sich gezogen hätte. Allgemein wird empfohlen, eine differenzierte Anpassung der Unfallkostensätze nach Netzelement sowie ferner nach Unfalltyp-Unfallart-Kombinationen durchzuführen. Damit wird mutmaßlich dem Aspekt geringerer Geschwindigkeiten in Annäherungsbereichen als auch allgemeinen Verschiebungen in den Unfallkonstellationen Rechnung getragen.

- Mit Blick auf ein nicht vermeidbares Grundniveau des Unfallgeschehens stellt sich die Frage, inwieweit die Ermittlung von Unfallkostensätzen auf ein Unfallgeschehen mit entsprechender Verunglücktenstruktur zurückgeführt werden sollte, welches sich ausschließlich aus einem Kollektiv wirklich richtliniengerecht gestalteter Netzelemente rekrutiert. Demgemäß wären Zuschläge mit einer anderen Schwerestruktur bzw. Unfallkostensätzen zu bewerten.
- Die gewählte Verwendung von GLM unterliegt Einschränkungen. Dies äußert sich bspw. in der Erfassung der Risikogrößen im Exponenten. Für stetige Variable setzt der Regressionskoeffizient der Modellfunktion eine monotone Entwicklung des Merkmaleinflusses voraus, welche nicht zwangsläufig diesen Bedingungen folgen muss (REURINGS et al. 2005). Der prinzipiell möglichen funktionalen Veränderung des Terms sollten immer praktische Überlegungen zugrunde liegen, die aber auch eine Reproduzierbarkeit der Eingangsgrößen zulässt.
- Die ermittelten Niveaus der „Grundunfallkostenrate -ähnlich“ und deren Zuschläge stellen ein erstes Grundgerüst für die Entwicklung eines Verfahrens zur Beschreibung der Verkehrssicherheit dar. Die ermittelten Zuschläge dienen als Richtwert zur Quantifizierung von weiteren in Frage kommenden Merkmalen. Hier besteht wesentlicher Forschungsbedarf. Die Höhe der berechneten Kenngrößen stützt sich auf die Analyse von überwiegend Bestandsstrecken und ist bei der Bewertung von Strecken, deren Trassierung den Anforderungen nach den RAL (FGSV 2012) genügt, anzupassen. Die lediglich richtungsweisenden Aussagen zu Q 3FS und Q 21 sind anhand größerer Kollektive zu verifizieren.

Letztendlich gilt festzuhalten, dass das entwickelte Verfahren eine retroperpektiv erklärende Analyse der Verkehrssicherheit darstellt. Das Berechnungsverfahren dient zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Streckenabschnitten auf Landstraßen ausschließlich verkehrsbedeutender Knotenpunkte. Es werden die Abschnitte der Freie Strecke (FS) und Einflussbereiche (EB) von Übergängen behandelt. Eine Übertragung als Prognoseverfahren ist möglich, sofern wesentliche infrastrukturelle und gesellschaftli-

che Rahmenbedingungen unverändert bleiben. Dann kann der Sicherheitsgrad eines geplanten oder bestehenden Netzelements mit dem Sicherheitsgrad eines richtliniengerechten Ausbaus verglichen werden. Mit dem Verfahren wird dabei die Bedeutung der Verkehrssicherheit durch die Berücksichtigung der Entwurfsgrundsätze und betrieblichen Merkmale verdeutlicht. Das Verfahren kann für Landstraßen der EKL 1 bis EKL 4 nach den RAL (FGSV 2012) und den nach dem Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) zugeordneten Bestandsstrecken im HVS Anwendung finden.

Vor dem Hintergrund der Handhabbarkeit immer größerer Datenmengen stellt die Verwendung multipler statistischer Verfahren eine notwendige Ergänzung in der Verkehrssicherheitsarbeit dar.

Quellen- und Literaturverzeichnis

- AASHTO. (2010). *Highway Safety Manual*. Washington D. C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Agrawal, R., & Lord, D. (2006). Effects of Sample Size on Goodness-of-Fit Statistic and Confidence Intervals of Crash Prediction Models Subjected to Low Sample Mean Values. *Transportation Research Board*, 35-43.
- Al-Kassar, B., Hoffmann, G., & Zmeck, D. (1981). *Der Einfluß der Streckenmerkmale auf die Momentangeschwindigkeit freifahrender Pkw*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 323).
- Andree, R. (1981). *Der Einfluss verkehrsregelnder Maßnahmen auf die Fahrunfälle auf Landstraßen*. Darmstadt: Fachbereich Wasser und Verkehr der Technischen Hochschule Darmstadt.
- Aurich, A. (2013). *Modelle zur Beschreibung der Verkehrssicherheit innerörtlicher Hauptverkehrsstraßennetze unter besonderer Berücksichtigung der Umfeldnutzung*. Dresden: Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Fakultät "Friedrich List", Technische Universität Dresden (Dissertationsschrift).
- Bachmann, C. (2008). *Methoden der Verkehrssicherheitsforschung im Straßenwesen - Anwendungen und Erkenntnisse*. Hannover: Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Universität Hannover (Heft 39).
- Baier, M. M. (2015). *Die neuen Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen RWS*. Bergisch Gladbach: VSVI-Seminar "Straßenentwurf und Verkehrstechnik".
- Baier, M. M., Klemps-Kohnen, A., Leu, P., & Müller, A. (2012). *Überprüfung der Verkehrssicherheit für das Linksabbiegen bei unterschiedlichen Formen der Signalisierung*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1078).
- Bakaba, J. E. (2002). *Ableitung vereinfachter Modellansätze zur Geschwindigkeitsprognose auf Außerortsstraßen auf der Grundlage der verfügbaren Variablen aus der Straßendatenbank*. Dresden: Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen, Technische Universität Dresden (Dissertationsschrift).
- Bark, A., Chales-de Beaulieu, C., Lippold, C., Heine, A., Veters, A., & Zösch, J. (2014). *Empfehlungen zur Vermeidung von Zusammenstößen mit dem Gegenverkehr auf Landstraßen (Entwurf Schlussbericht 3)*. unveröffentlicht: Technische Hochschule Mittelhessen.
- Bark, A., Kutschera, R., Baier, R., & Klemps-Kohnen, A. (2008). *Handbuch der Verkehrssicherheit von Straßen - Entwurf eines Handbuches für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS)*. unveröffentlicht: Bundesanstalt für Straßenwesen FE 03.389/2005/FGB.

- Barker, J., Farmer, S., & Nicholls, D. (1998). *Injury accidents on rural single-carriageway roads, 1994-1995: an analysis of STATS19 data*. Wokingham, Berkshire: Transport Research Laboratory (TRL 304).
- BAST. (2014). *Voraussichtliche Entwicklung von Unfallzahlen und Jahresfahrleistungen in Deutschland - Ergebnisse 2014* -. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Baum, H., Kranz, T., & Westerkamp, U. (2010). *Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland*. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft M 208).
- Becher, T., Baier, M. M., Steinauer, B., Scheuchenpflug, R., & Krüger, H.-P. (2006). *Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen - Grundlagenstudie*. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 148).
- Bella, F. (2013). *Driver perception of roadside configurations on two-lane rural roads: Effects on speed and lateral placement*. Elmont, NY: Accident Analyses and Prevention (Volume 50).
- BMVBS. (2007). *Anweisung Straßeninformationsbank ASB*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr).
- BMVBS. (2010). *Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 26/2010*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- Bortz, J. (2004). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Technische Universität Berlin, Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft.
- Bösl, B., & Spahn, V. (Februar 2010). Präventiver Schutz vor schweren Unfallfolgen. *Straßenverkehrstechnik*, S. 79-86 .
- Brannolte, U., Barth, H.-B., Schwarzmann, R., Junkers, W., & Sighthorsson, H. (1993). *Sicherheitsbewertung von Querschnitten außerörtlicher Straßen*. Bergisch-Gladbach: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 5).
- Brannolte, U., Dilling, J., Durth, W., Hartkopf, G., Meewes, V., Rohloff, M., . . . Stievermann, P. (1992). *Einsatz von Zwischenquerschnitten*. Bergisch-Gladbach: Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft 265).
- Buck, M. (1991). *Geschwindigkeitsverhalten auf einbahnigen Außerortsstraßen in Abhängigkeit von baulichen, betrieblichen und verkehrlichen Randbedingungen*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 621).
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2013). *Straßenverkehrsordnung StVO*. Bonn: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2013). *Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrsordnung VwV-StVO*. Bonn: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference (2nd Edition)*. New York: Springer.

- Butterwegge, P. (2002). *Einfluss von Oberflächennässe - paarweiser Vergleich*. Köln: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (Mitteilungen des Instituts für Straßenverkehr Köln).
- CEDR. (2014). *PRACT Predicting Road Accidents - a Transferable methodology across Europe*. unveröffentlicht: Conference of European Directors of Roads.
- Department for Transport. (kein Datum). *COBA 11 user manual*. Abgerufen am 12. November 2014 von Department for Transport: <https://www.gov.uk/government/publications/coba-11-user-manual>
- DESTATIS 2010. (2010). *Verkehr Verkehrsunfälle 2009, Fachserie 8, Reihe 7*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- DESTATIS 2013. (2013). *Verkehr Verkehrsunfälle 2012, Fachserie 8, Reihe 7*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Dohmen, R., Emde, W., Heusch, H., & Boesefeldt, J. (1989). *Unfallkosten bei der Bewertung von Straßenbauprojekten*. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr Heft 77).
- Ebersbach, D. (2006). *Entwurfstechnische Grundlagen für ein Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung des Fahrers bei der Wahl seiner Geschwindigkeit*. Dresden: Fakultät der Verkehrswissenschaften "Friedrich List" der Technischen Universität Dresden (Dissertationsschrift).
- Ebersbach, D., & Schüller, H. (2008). Praktische Anwendung und Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN) - Erfahrungen mit den Verfahren der Abschnittsbildung. *Straßenverkehrstechnik*, 515 - 527.
- Eckstein, K., & Meewes, V. (2002). *Sicherheit von Landstraßenknotenpunkten*. Köln: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Mitteilungen des Instituts für Straßenverkehr Köln, Mitteilung Nr. 40).
- Elvik, R., Christensen, P., & Amundsen, A. (2004). *Speed and road accidents: an evaluation of the Power Model*. Oslo: Institute of Transport Economics (Report No. 740/2004).
- FGSV. (1982). *Richtlinien für die Anlagen von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q 82)*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV. (1984). *Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung (RAS-L), Ausgabe 1984*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV. (1988). *Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Knotenpunkte (RAS-K) Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV. (1993). *Richtlinien für die Markierung von Straßen RMS Teil 1*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit).
- FGSV. (1995). *Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung (RAS-L), Ausgabe 1995*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

- FGSV. (1996). *Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q 96)*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV. (1997). *Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen - EWS*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV. (2002). *Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen ESAS*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV. (2003). *Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen ESN*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit).
- FGSV. (2005). *Handbuch für die Bemessung von Verkehrsanlagen (Ausgabe 2001, Fassung 2005)*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV. (2005B). *Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Entwässerung (RAS-Ew)*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV. (2006). *Empfehlungen zum Schutz vor Unfällen mit Aufprall auf Bäume*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV. (2006B). *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RASSt 06*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Arbeitsgruppe Straßenentwurf).
- FGSV. (2007B). *Merkblatt für die Durchführung von Verkehrsschauen MDV*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement).
- FGSV. (2008). *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung RIN*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (Arbeitsgruppe Verkehrsplanung).
- FGSV. (2008B). *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen RAA*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Arbeitsgruppe Straßenentwurf).
- FGSV. (2009). *Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme RPS*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement.
- FGSV. (2009B). *Merkblatt für die Übertragung des Prinzips der Entwurfsklassen nach den RAL auf bestehende Straßen (M EKLBEST), Entwurf 2009*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- FGSV. (2012). *Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Arbeitsgruppe Straßenentwurf).
- FGSV. (2012B). *Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen M UKo*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement).
- Frost, U. (1999). *Verkehrsqualität und Verkehrssicherheit auf einbahnigen Außerortsstraßen mit normal- und überbreiten Fahrstreifen*. München: Technische Universität München, Veröffentlichungen des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung.

- GDV. (1999). *Baum-Unfälle - Maßnahmen Entwicklungen 1995/1998 Empfehlungen*. Köln: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (Informationen des Instituts für Straßenverkehr).
- GDV. (2002). *Auwertung von Straßenverkehrsunfällen Teil 2; Maßnahmen gegen Unfallhäufungen*. Köln: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (Empfehlungen des Instituts für Straßenverkehr Köln, Nr. 13).
- GDV. (2003). *Auswertung von Straßenverkehrsunfällen Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypensteckkarten*. Köln: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (Empfehlungen des Instituts für Straßenverkehr Köln, Nr. 12).
- Greibe, P. (2003). Accident prediction models for urban roads. *Accident Analysis and Prevantion (Volume 35)*, 273-285.
- Gripenburg, D. (2013). *Übertragung des Prinzip der Entwurfsklassen auf das Bestandsnetz*. Köln: Kolloquium Richtlinien für die Anlage von Landstraßen.
- Hadi, M. A., Aruldas, J., Chow, L.-F., & Wattleworth, J. A. (1995). Estimating Safety Effects of Cross-Section Design fro Various Highway Types Using Negative Binomial Regression. *Transportation Research Record 1500*, 169 - 177.
- Hammerschmidt, A. (2007). *Einfluss ausgewählter Entwurfsparameter auf die Verkehrssicherheit - fortführende Untersuchungen*. Dresden: Lehrstuhl für die Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen Technische Universität Dresden (Diplomarbeit).
- Hartkopf, G. (2013). *Sicherheit durch funktionsgerechte Standardisierung von Landstraßen*. Köln: Kolloquium Richtlinien für die Anlage von Landstraßen.
- Harwood, D. W., Council, F. M., Hauer, E., Hughes, W. E., & Vogt, A. (2000). *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways*. Washington D. C.: Federal Highway Administration (Report No. FHWA-RD-99-207).
- Hauer, E., & Bamfo, J. (1997). *Two tools for finding what function links the dependent variable to the explanatory variables*. Ontario: Department of Civil Engineering.
- Hautzinger, H., Pfeiffer, M., & Spahn, V. (März 2010). Unfallauswertung für verkehrszeichengeregelte Landstraßenkreuzungen und -einmündungen. *Straßenverkehrstechnik*, S. 123-131.
- Haynes, R., Jones, A., Kennedy, V., Harvey, I., & Jewell, T. (2007). *District variations in road curvature in England and Wales and their association with road-traffic crashes*. unbekannt: Einvironment and Planning A.
- Hegewald, A., & Weber, R. (November 2008). Unfälle auf schmalen Landstraßenquerschnitten. *Straßenverkehrstechnik*, S. 679-683.
- Heideman, D. (1998). *Standstreifen und Verkehrssicherheit auf BAB*. Bergisch Gladbach: Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 55).
- Heilmann, W. (Januar 2008). Baumunfälle in Mecklenburg-Vorpommern. *Straßenverkehrstechnik*, S. 14-19.

- Heinrich, S., Pöppel-Decker, M., Schönebeck, S., & Ulitzsch, M. (2010). *Unfallgeschehen auf Landstraßen, Eine Auswertung der amtlichen Unfallstatistik*. Bergisch-Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft M 209).
- Hülsen, H., & Voß, H. (2002). *Unfallhäufungen mit Wildunfällen*. Köln: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
- Hutcheson, G., & Sofroniou, N. (1999). *The Multivariate Social Scientist - Introductory Statistics Using Generalized Linear Models*. London: Sage Publications.
- Jährig, T. (2012). *Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnigen Landstraßen*. Dresden: Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List" Technische Universität Dresden (Dissertationsschrift).
- Kamplade, J. (Heft 3 1995). Anforderungen an die Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen - Griffigkeit und Verkehrssicherheit. *Straße und Autobahn*, S. 149 - 158.
- Kathmann, T., Ziegler, H., & Thomas, B. (2009). *Straßenverkehrszählung 2005 Methodik*. Bergisch-Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 179).
- Kölle, M., & Schnüll, R. (1999). *Sicherheitseigenschaften außerörtlicher Knotenpunkte*. Bergisch-Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 67).
- Köppel, G. (1984). *Entwicklung einer Bemessung von Kurvenradius, Kurvenquerneigung und Haltesichtweite in Abhängigkeit von der Fahrbahngeometrie*. Bonn-Bad Godesberg: Bundesministerium für Verkehr (Forschungsgesellschaft für Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 429).
- Köppel, G., & Bock, H. (1979). *Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kurvigkeit*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 269).
- Krebs, H. G., & Damianoff, N. (1983). *Geschwindigkeitsverhalten bei Gefahrenzeichen, in Kurven und an Stellen mit Geschwindigkeitsbeschränkung*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 380).
- Krebs, H. G., & Klöckner, J. H. (1977). *Untersuchungen über Unfallraten in Abhängigkeit von Straßen und Verkehrsbedingungen außerhalb geschlossener Ortschaften*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 223).
- Labs, U. (1987). *Eignung, Erfassung und Auswahl psychophysiologischer Funktionsgrößen zur Ermittlung der Belastung von Kraftfahrern in Abhängigkeit von den Elementen der Straßenverkehrsanlage*. Dresden: Hochschule für Verkehrswesen "Friedrich List".
- Lamm, R., Beeck, A., Zumkeller, & K. (Dezember 1999). Analyse von Zusammenhängen zwischen Verkehrssicherheit und Straßenentwurf von Außerortsstraßen. *Straßen- und Tiefbau*, S. 6-12.
- Lamm, R., Dieterle, K., Zoellmer, J., Schlichter, H. G., & Taubmann, A. (1986). *Vergleichende Unfalluntersuchungen auf Streckenabschnitten zweibahniger Straßen mit positiven Querneigungen $q = 1,5\%$ bis $q = 2,5\%$* . Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr (Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 484).

- Lange, J. (1990). *Geschwindigkeitsdämpfende Gestaltung von Ortseinfahrten kleiner Orte und Dörfer*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 545).
- Lefering, R. (2009). *Entwicklung der Anzahl Schwerstverletzter infolge von Straßenverkehrsunfällen in Deutschland*. Bergisch Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft M 200).
- Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen. (14. Dezember 2014). *Messfahrzeug UNO*. Abgerufen am 2014. 04 12 von Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/vkw/ivs/gsa/professur/ausstattung/messfahrzeug_uno
- Lerch, T., Hammerschmidt, A., Heine, A., & Patzak, J. (2012). *Erhaltungsstrategie für Staatsstrassen im Freistaat Sachsen (Entwurf unveröffentlicht)*. Rochlitz: LIST (Gesellschaft für Verkehrswesen und ingenieurtechnische Dienstleistungen mbH) .
- Lerner, M., Berger, R., Enke, M., & Schepers, A. (2014). *Ermittlung von Kollektivgrößen zur Berechnung von Unfallkostensätzen (Arbeitspapier)*. unveröffentlicht: Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen.
- Lerner, M., Hegewald, A., Löhe, U., & Velling, H. (2009). *Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A 24*. Bergisch-Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 177).
- Lerner, M., Kranz, T., & Schepers, A. (4. Quartal 2012). Bewertung der Straßenverkehrsunfälle, Entwicklung der Unfallkosten in Deutschland 2005 bis 2010 - Unfallkostensätze 2010. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, S. 188 - 191.
- Leutzbach, W., & Zoellmer, J. (1988). *Zusammenhang zwischen der Verkehrssicherheit und den Elementen des Straßenentwurfs*. Bonn, Bad Godesberg: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 545).
- Lippold, C. (1997). *Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstraßen*. Darmstadt: Fachbereich Wasser und Verkehr Technische Universität Darmstadt (Dissertationsschrift).
- Lippold, C., & Mattheß, V. (1992). *Verfahren zur Überprüfung von passiven Schutzeinrichtungen an Straßen*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 646).
- Lippold, C., & Schulz, R. (2009). *Einfluss der Straßenseitenraumbepflanzung auf Fahrverhalten und Verkehrssicherheit*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1018).
- Lippold, C., Lehmann, T., Veters, A., Ressel, W., & Benner, A. (2011). *Entwurfshinweise zum sicheren sechsstreifigen Ausbau von Autobahnen*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1057).
- Lippold, C., Schulz, R., Krüger, H.-P., Scheuchenpflug, R., & Piechulla, W. (2007). *Orientierungssichtweite - Definition und Beurteilung*. Bonn: Bundesministerium für

Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 977).

- Lippold, C., Weise, G., & Pietsch, D. (2004). Kinematische Erfassung von Straßendaten für Straßensicherheitsbank. *Straßenverkehrstechnik, Heft 6*, 276 - 280.
- Lord, D. (2006). *Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: Examining the effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter*. Elmont, NY: Accident Analysis and Prevention (Volume 38).
- Mäder, H., & Pöppel-Decker, M. (2001). *Regionalstruktur nächtlicher Freizeitunfälle junger Fahrer in den Jahren 1997 und 1998*. Bergisch Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft M 129).
- Maher, M. J., & Summersgill, I. (1996). *A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models*. Elmont, NY: Accident Analyses and Prevention (Volume 28).
- Maier, R., & Berger, R. (2012). *Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)*. Bergisch Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 210).
- Maier, R., & Meewes, V. (Februar 1990). Fahrbahnbreite und Geschwindigkeitsverhalten. *Straßenverkehrstechnik*, S. 49-53.
- Maier, R., Berger, R., & Pohle, M. (2012B). *Risikomodelle für Landstraßen - Risikomodelle für Gemeinden*. Wien: Kuratorium für Verkehrssicherheit.
- Maier, R., Berger, R., Schüller, H., & Heine, A. (2013). *Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Straßen*. Bergisch Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 226).
- Maier, R., Meewes, V., & Neumann, V. (1999). *Baumspiegel und überwachtes Tempo 80 in Alleen*. Köln: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (Informationen des Instituts für Straßenverkehr).
- Maycock, G., & Hall, R. D. (1984). *Accidents at 4-arm roundabouts*. Corwthorne: Transport Research Laboratory (Report No. LR 1120).
- Meewes, V. (1993). *Mobile und Ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung - Auswirkung auf Verhalten und Verkehrssicherheit*. Köln: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (Mitteilungen des Instituts für Straßenverkehr Köln, Nr. 34).
- Meewes, V. (2001). *Aufprallgeschwindigkeiten, Unfälle und Unfallfolgen von Baumunfällen*. Köln: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (Mitteilungen des Instituts für Straßenverkehr Köln, Nr. 39).
- Meewes, V. (November 2005). Baumunfallbelastungen und Unfallzeiträume zu Baumunfällen. *Straßenverkehrstechnik*, S. 464-467.
- Meewes, V., & Eckstein, K. (Dezember 2000). Hohe Sicherheitsgewinne durch Vermeidung von Baum-Unfällen möglich. *Straßenverkehrstechnik*, S. 621-625.
- Meewes, V., & Gerz, U. (1975). *Zur Beschreibung des Verkehrsablaufes auf Straßen mit und ohne Richtungstrennung*. Opladen: Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen (Nr. 2529).

- Meewes, V., & Maier, R. (1986). *Modellversuch B33: "2+1" -streifige Landstraßen*. Köln: Beratungsstelle für Schadenverhütung (Mitteilung Nr. 22).
- Miaou, S.-P. (1996). *Estimating Vehicle Roadside Encroachment Frequency Using Accident Prediction Models*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory.
- Miaou, S.-P., & Lum, H. (1993). *Modelling vehicle accidents and highway geometric design relationships*. Elmont, NY: Accident Analyses and Prevention (Volume 25).
- Milton, J. C., & Mannering, F. L. (1996). *The relationship between highway geometrics, traffic related elements, and motor vehicle accidents*. Seattle: Washington State Department of Transportation.
- Oberste Baubehörde. (2010). *Verkehrs- und Unfallgeschehen auf Straßen des überörtlichen Verkehrs in Bayern - Jahresbericht 2010*. München: Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern.
- Otte, D. (2000). *Charakteristika von Unfällen auf Landstraßen*. Bergisch-Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft M 122).
- Palm, I., & Schmidt, G. (1999). *Querschnittsbreiten einbahniger Außerortsstraßen und Verkehrssicherheit und Sonderuntersuchung zum Querschnittstyp b2+1*. Bergisch-Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 64).
- 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*. Elmont, NY: Accident Analyses and Prevention (Volume 42).
- Peltola, H. (2009). *Evaluation road safety and saety effects using Empirical Bayesian method*. Seoul: The 4th. IRTAD Conference.
- Peltola, H., Rajamäki, R., & Luoma, J. (2013). *A tool for safety evaluations of road improvements*. Elmont, NY, USA: Accident Analysis and Prevention (Volume 60).
- Persaud, B. N., Retting, R. A., & Lyon, C. A. (2004). *Crash reduction following installation of centerline rumble stripes on rural two-lane roads*. Elmont, NY: Accident Analysis and Prevention (Volume 36).
- Reurings, M., Jansen, T., Eenik, R., Elvik, R., Cardoso, J., & Stefan, C. (2005). *Accident Prediction Models and Road safety Impact: a state-of-the-art*. Abgerufen am 15. 06 2012 von <http://ripcord.bast.de/>.
- Richter, T. (1993). *Entwurfsstandards für Knotenpunkte an Ortsumgehungen*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 653).
- RIPCORDER ISEREST. (2014). *RIPCORDER ISEREST*. Abgerufen am 22. Dezember 2014 von http://ripcord.bast.de/intro_dac.htm
- Sachs, L. (2004). *Angewandte Statistik, Anwendung statistischer Methoden*. Berlin: Springer Verlag.
- Schlag, B., Weller, G., & Petermann, I. (August 2007). Beitrag des visuellen Eindrucks zur Erklärung des Unfallgeschehens in Landstraßenkurven. *Straßenverkehrstechnik*, S. 401-408.

- Schmidt, G. (April 1996). Ergebnisse von Geschwindigkeits- und Unfalluntersuchungen auf zweistreifigen Landstraßen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, S. 161-169.
- Schnüll, R., & Richter, T. (1994). *Sicherheitsvergleich der Knotenpunktgrundformen Kreuzung und Rechtsversatz an Straßen außerhalb bebauter Gebiete*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 683).
- Schüller, H. (2009). *Einfluss von Fahrbahnmarkierung auf die Verkehrssicherheit*. unveröffentlicht: Professur für Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung.
- Schüller, H. (2010). *Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung*. Dresden: Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Fakultät "Friedrich List", Technische Universität Dresden (Dissertationsschrift).
- Sossoumihen, A. J. (2001). *Entwicklung eines Rahmenkonzeptes zur Bewertung der Linienführung von Außerortsstraßen nach der Zielfunktion Fahrsicherheit*. Dresden: Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List" Technische Universität Dresden (Dissertationsschrift).
- Spacek, P. (1999). *Spurverhalten und Unfallgeschehen in Kurven*. Zürich: Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau an der ETH Zürich.
- Spahn, V. (Mai 2009). Ist der Kreisverkehr sicherer als die Lichtsignalanlage? *Straßenverkehrstechnik*, S. 286-291.
- Steinauer, B., & Schuckließ, W. T. (2008). *Übergreifende Bewertung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten auf Landstraßen*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1004).
- Steinauer, B., van der Sluis, S., Platen, C., & Mayer, G. (2002). *Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 841).
- Stevens, J. P. (2002). *Applied multivariate statistics for the social sciences-SAS-SPSS, 4th edition*. Mahwah.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2000). *Using Multivariate Statistics*. Boston: Allyn & Bacon.
- Taylor, M. C., Baruya, A., & Kennedy, J. V. (2002). *The relationship between speed and accidents on rural single-carriageway roads*. Crowthorne: Transport Research Laboratory (TRL Report 511).
- Trapp, K. H. (1971). *Untersuchungen über den Verkehrsablauf auf Landstraßen*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau (Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 113).
- Unger, S. (1994). *Entwicklung eines Verfahrens zur Abschätzung des Geschwindigkeitsverhaltens von Pkw-Kraftfahrern*. Darmstadt: Technische Hochschule Darmstadt, Fachgebiet Straßenentwurf und -betrieb.
- Vieten, M., Dohmen, R., Dürhager, U., & Legge, K. (2010). *Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf*

- Landstraßen*. Bergisch-Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 201).
- Vogt, A., & Bared, J. (1998). *Accident models for two-lane rural roads: segments and intersections*. Washington D. C.: Federal Highway Administration (Report No. FHWA-RD-98-133).
- Weber, R., & Löhe, U. (2003). *Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1 Strecken mit allgemeinen Verkehr*. Bergisch-Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 109).
- Weller, G., & Dietze, M. (2011). *Self-Explaining Roads - Ansätze zur selbsterklärenden Straße in Europa*. Dresden: Verkehrsplanerisches und Verkehrsökologisches Kolloquium TU Dresden.
- Ye, Z., Zhang, Y., & Lord, D. (2011). *Goodness-of-fit testing for Accident Models with low Means*. Indianapolis: 3rd International Conference on Road Safety and Simulation.
- Zegeer, C. V., Stewart, E., Council, F., & Neumann, T. R. (1994). *Accident Relationship of Roadway Width on Low-Volume Roads*. Washington D.C.: Transport Research Record (1445 TRB, National Research Council).
- Zegeer, C. V., Stewart, R., & Council, F. R. (1991). *Safety effects of geometric improvements on horizontal curves*. Chappel Hill, North Carolina: Transportation Research Board for Presentation & Puplication.
- Zegeer, C., Hummer, J., Reinfurt, D., Herf, L., & Hunter, W. (1987). *Safety effects of cross-section design for two-lane roads - Volume I*. Washington D.C.: Federal Highway Administration.
- Zierke, B. (2010). *Sichere Gestaltung von Landstraßen durch definierte Staßentypen*. Berlin: Fakultät V - Verkehrs und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin (Dissertationsschrift).
- Zimmermann, M., von Loeben, W., Roos, R., Dietze, M., & Lippold, C. (2007). *Kontrolle und Bewertung der räumlichen Linienführung von Außerortsstraßen auf der Grundlage quantitativer Parameter*. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 960).

Verzeichnis der Anhänge

A	Querschnitte von Landstraßen nach den RAL	XXVI
B	Einordnung Bestand und Erfassung der Querschnitte	XXVIII
C	Aufnahme und Auswertung Befahrungsdaten.....	XXXII
D	Kenngrößen und Bewertung der Verkehrssicherheit	XXXIV
	D.1 Ausgewählte relative Unfallkenngrößen.....	XXXIV
	D.2 Volkswirtschaftliche Bewertung von Unfällen	XXXV
	D.3 Berechnungsgrößen im Entwurf des HVS.....	XL
E	Netzeinteilung.....	XLII
	E.1 Differenzierung Knotenpunkte	XLII
	E.2 Ermittlung räumliche Ausdehnung plangleiche Knotenpunkte ...	XLIII
	E.3 Einflussbereiche	XLV
	E.4 Räumlicher Zusammenhang Übergangsart und Einflussbereiche	LI
F	Statistische Kontrollen und Verfahren.....	LII
	F.1 Mann-Whitney-U-Test.....	LII
	F.2 4-Felder- χ^2 -Test	LIII
	F.3 Korrelation	LIV
	F.4 Regression.....	LVI
	F.5 Verallgemeinerte Lineare Modelle (GLM)	LX
G	Hinweise und Übersicht zu analysierten Variablen.....	LXVII
H	Korrelationsmatritzen.....	LXXII

H.1 Kollektive Freie Strecke	LXXII
H.2 Kollektive Einflussbereiche	LXXIV
I Parameter der Modelle Freie Strecke	LXXVI
I.1 Deskriptive Kenngrößen	LXXVI
I.2 Parameter der Teilmodelle	LXXVII
J Parameter der Modelle Einflussbereiche	LXXXVIII
J.1 Deskriptive Kenngrößen	LXXXVIII
J.2 Parameter der Teilmodelle	LXXXVIII
K Diskussion und Ableitung Größenordnung der Zuschläge	XCIV
L Vergleich Unfallkenngrößen der Einflussbereiche.....	CII
M Darstellung Bewertung Streckenabschnitt	CIX

A Querschnitte von Landstraßen nach den RAL

Tabelle A-1: Verknüpfungsmatrix zur Ableitung der Verkehrswegekategorie nach den RIN (FGSV 2008) für den Kfz-Verkehr mit Geltungsbereich der RAL (dick umrandet) (FGSV 2012)

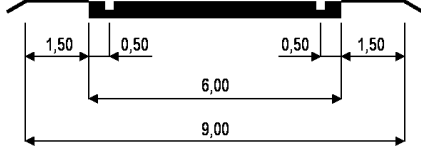
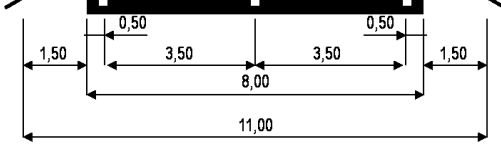
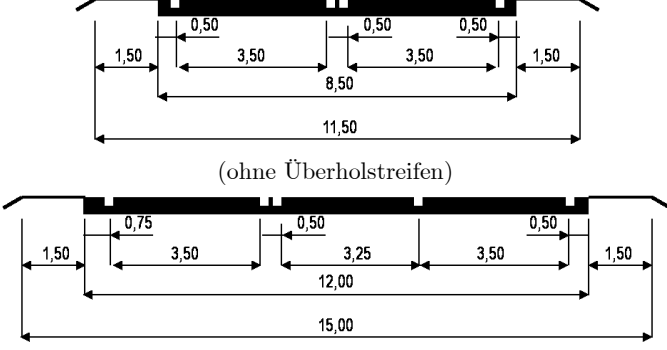
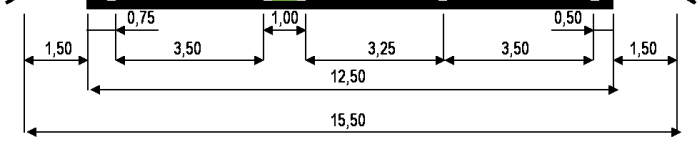
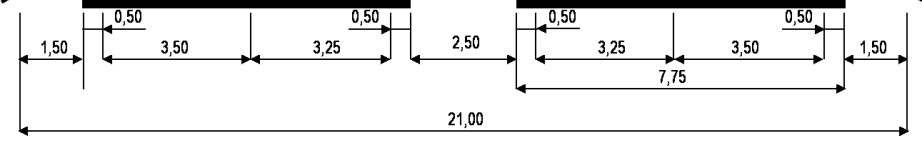
Kategoriegruppe		Auto-bahnen	Land-straßen	anbaufreie Hauptverkehrsstraßen	angebaute Hauptverkehrsstraßen	Erschließungsstraßen
kontinental	0	AS 0		-	-	-
großräumig	I	AS I	LS I		-	-
überregional	II	AS II	LS II	VS II		-
regional	III	-	LS III	VS III	HS III	
nahräumig	IV	-	LS IV	-	HS IV	ES IV
kleinräumig	V	-	LS V	-	-	ES V

AS I	vorkommend, Bezeichnung der Kategorie
	problematisch aufgrund von Konflikten aus Funktionsüberlagerungen
-	nicht vorkommend oder nicht vertretbar

Tabelle A-2: Zusammenhang zwischen Straßenkategorie, Entwurfsklasse und Regelquerschnitt sowie Anhaltswerte für Abweichungen nach RAL (FGSV 2012)

Straßen-kategorie	Ent-wurfs-klasse	Regelquerschnitt (RQ)		Verkehrsnachfrage auf dem Streckenzug DTV _{Querschnitt} [Kfz/24h]	
		Standard-anwendung	Hohe Be-lastung	Prüfung einer niederrangigen EKL	Prüfung einer höherrangigen EKL
LS I	EKL 1	RQ 15,5	RQ 21	< 12.000	
LS II	EKL 2	RQ 11,5+		< 8.000	> 15.000
LS III	EKL 3	RQ 11			> 13.000
LS IV	EKL 4	RQ 9	-		> 3.000

Tabelle A-3: Regelquerschnitte nach den RAL (FGSV 2012)

Kürzel	Darstellung RQ (Angaben in [m]) Kurzbeschreibung/Besonderheiten
RQ 9	 <ul style="list-style-type: none"> - keine Leitlinie in der Fahrbahnmitte - Randmarkierung im Strich-Lücke-Verhältnis 1:1 - Einsatz bei Verkehrsstärken bis zu ca. 3.000 Kfz/24h
RQ 11	 <ul style="list-style-type: none"> - einbahnig zweistreifiger Querschnitt - Überholen durch Benutzung des Fahrstreifens der Gegenrichtung - Fahrtrichtungstrennung durch einfache Fahrstreifenbegrenzung bzw. Leitlinie
RQ 11,5 +	 <ul style="list-style-type: none"> - einbahnig zweistreifiger Querschnitt, in Einzelabschnitten einbahnig dreistreifig - Trennung der Fahrtrichtung auf einbahnig dreistreifigen Abschnitten durch doppelte Fahrstreifenbegrenzung - doppelte Fahrstreifenbegrenzung bzw. Leitlinie in einbahnig zweistreifigen Abschnitten - ca. 20 % Streckenlänge gesicherte Überholmöglichkeit je Fahrtrichtung
RQ 15,5	 <ul style="list-style-type: none"> - durchgängig einbahnig dreistreifiger Querschnitt mit alternierenden Überholfahrstreifen je Richtung - ca. 40 % Streckenlänge gesicherte Überholmöglichkeit je Fahrtrichtung - Betrieb als Kraftfahrstraße empfohlen
RQ 21	 <ul style="list-style-type: none"> - zweibahnig vierstreifiger Querschnitt ohne Seitenstreifen für Netzabschnitte ≤ 15 km - obere Einsatzgrenze bei ca. 30.000 Kfz/24h - Betrieb als Kraftfahrstraße empfohlen

B Einordnung Bestand und Erfassung der Querschnitte

Einordnung Bestand

Die Grundlage des im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) vorliegenden Verfahrens zur Sicherheitsbewertung geplanter und bestehender Straßen auf Landstraßen bilden die aktuellen RAL (FGSV 2012). Um eine Bewertung des Bestandsnetzes zu ermöglichen, ist eine Zuordnung der Bestandsstrecken aus RAS-Q 82 (FGSV 1982) und RAS-Q 96 (FGSV 1996) zu den RQ nach den RAL notwendig. Die Querschnittsgestaltung, ferner verkehrstechnische Eigenschaften, sind maßgebend für die Klassifizierung (Tabelle B-1).

Tabelle B-1: Bewertungsfälle und zugeordnete Querschnitte im Bestandsnetz mit Angabe Fahrbahn- und Fahrstreifenbreiten (BARK et al. 2008) zu den Regelquerschnitten nach den RAL (FGSV 2012)

Bewertungsfall (Regelquerschnitt)	Zugeordnete Querschnitte im Bestandsnetz	Fahrbahnbreite [m]	Fahrstreifenbreite [m]	
RQ 21	• RQ 20	RAS-Q 96	7,0 (RiFa)	3,25 / 3,25
	• c4m (RQ 20)	RAS-Q 82	7,5 (RiFa)	3,25 / 3,25
	• d4 (RQ 16)	RAS-Q 82	13	3,00 / 3,25
RQ 15,5	• RQ 15,5	RAS-Q 96	11,5	3,75 / 3,25 / 3,50
RQ 11,5+	• RQ10,5 ZFS	RAS-Q 96	11,5	3,75 / 3,25 / 3,50
	• RQ 9,5 ZFS	RAS-Q 96	10,5	3,50 / 3,00 / 3,00
RQ 11	• RQ 10,5	RAS-Q 96	7,5	3,50
	• RQ 9,5	RAS-Q 96	6,5	3,00
	• b2s (RQ 14)	RAS-Q 82	11,0	3,75 + 1,50
	• b2 (RQ 12)	RAS-Q 82	8	3,75
	• d2 (RQ 10)	RAS-Q 82	7,0	3,25
	• b2ü Zwischenquerschnitt		10,5-11,5	5-6
RQ 9	• RQ 7,5	RAS-Q 96	5,5	2,75
	• e2 (RQ 9)	RAS-Q 82	6	3,0
	• f2 (RQ 7,5)	RAS-Q 82	5,5	2,75

Dem RQ 21 sind alle Querschnitte mit zwei Fahrstreifen je Richtung zugeordnet. Der Bestandsquerschnitt d4 stellt aufgrund seiner fehlenden bauli-

chen Mitteltrennung eine Besonderheit dar. Der RQ 15,5 unterscheidet sich durch seine durchgängigen drei Fahrstreifen von der Zusammenfassung der Querschnitte für den Bewertungsfall RQ 11,5, mit lediglich abschnittsweiser dreistreifiger Führung. Die Anwendung abschnittsweise dreistreifiger Querschnitte ist nach den RAS-Q 96 (FGSV 1996) zur Verbesserung der Verkehrsqualität an Steigungsstrecken vorgesehen. Der überwiegende Teil des Bestandsnetzes entspricht den einbahnig zweistreifigen Abschnitten. Diese sind im Bewertungsfall RQ 11 zusammengefasst. Einbahnige Querschnitte mit fehlender Fahrtrichtungstrennung durch Markierung sind im Bewertungsfall RQ 9 aggregiert.

Die im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) enthaltene Zuordnung der Bestandsquerschnitte zu Bewertungsfällen nach den EKL der RAL (FGSV 2012) stellt ein theoretisches Grundgerüst dar. In der Praxis zeigen sich bei Um-/Ausbau- und Erhaltungsmaßnahmen häufig Probleme, wenn die Regelungen der RAL (FGSV 2012) nicht vollumfänglich umgesetzt werden können. Zur Überwindung dieser Probleme wird derzeit der Entwurf eines „Merkblatt zur Übertragung des Prinzips der Entwurfsklassen auf bestehende Straßen (M EKLBEST)“ erarbeitet, welches Umsetzungsstrategien zur Anpassung des bestehenden Netzes an das Prinzip der Entwurfsklassen enthalten soll (FGSV 2009B). Die Verbindungsfunktionsstufe nach den RIN (FGSV 2008) entscheidet über die zutreffende Straßenkategorie und damit über den zukünftigen Umgang mit einer bestehenden Straße. Die Standardisierung und Wiedererkennbarkeit der EKL für den Verkehrsteilnehmer wird primär über die Längsmarkierung erreicht. Für die nicht vollumfängliche Anpassung bestehender Straßen an das Prinzip der EKL mit entsprechender Kennzeichnung, muss die betrachtete Straße verschiedene Anforderungskriterien erfüllen. Das M EKLBEST (FGSV 2009B) soll Hinweise darüber geben, welche Anpassungen der Gestaltungs- und Betriebsmerkmale dafür ggf. erforderlich sind. Weiterhin werden Fragen der Markierung erläutert.

Erfassung der Querschnitte

Die Zuordnung der Bestandsstrecken zu den RQ nach den RAL in Anlehnung an BARK et al. (2008) sowie die Auswertung bzw. Vermessung der RoadView-Bilddaten bilden die Eckpfeiler für die Zuweisung der Streckenabschnitte in verschiedene Querschnittsgruppen bzw. in Bewertungsfälle. Diese orientieren sich an der Einteilung der RQ in Anlehnung an die RAL (FGSV 2012).

Nach BARK et al. (2008) sind für Landstraßenquerschnitte in Abhängigkeit von Fahr- und Randstreifenbreite Zuschläge auf die gUKR vorgesehen.

Der Einfluss der Elemente ist durch zahlreiche Untersuchungen belegt (ZEGEER et al. 1987, VOGT/BARED 1998, MAIER et al. 2013). Deren Erfassung wird für die Sicherheitsbewertung als relevant erachtet. Da die SIB i. d. R. lediglich Angaben zu Fahrbahnbreiten enthalten, steht diese Quelle für die Ermittlung der Fahr- und Randstreifenbreiten nicht zur Verfügung. Die Stereobildaufnahme der Strecken mit dem Messfahrzeug UNO erlaubt hingegen eine räumliche Vermessung der Bilddaten. Diesbezüglich können Aussagen zu Breiten verschiedener Querschnittselemente getroffen werden. Aus VIETEN et al. (2010) ist bekannt, dass die befestigte Breite der Streckenabschnitte in Abhängigkeit verschiedener Kriterien variierten. Da eine einmalige Erfassung des Querschnitts zur Querschnittsbeschreibung eines Streckenabschnitts daher als ungenügend anzusehen ist, erfolgt eine kontinuierliche Vermessung der Querschnittselemente in Abständen von ca. 500 m. Unabhängig von der Abschnittslänge gilt, dass mindestens zwei Querschnittsmessungen erfolgen. Bei augenscheinlicher Veränderung des Querschnitts wird die Station durch den Bearbeiter notiert und die Strecke in zwei Abschnitte unterteilt. Die Aufnahmepunkte für verschiedene Querschnitte sind in Abbildung B-1 dargestellt.

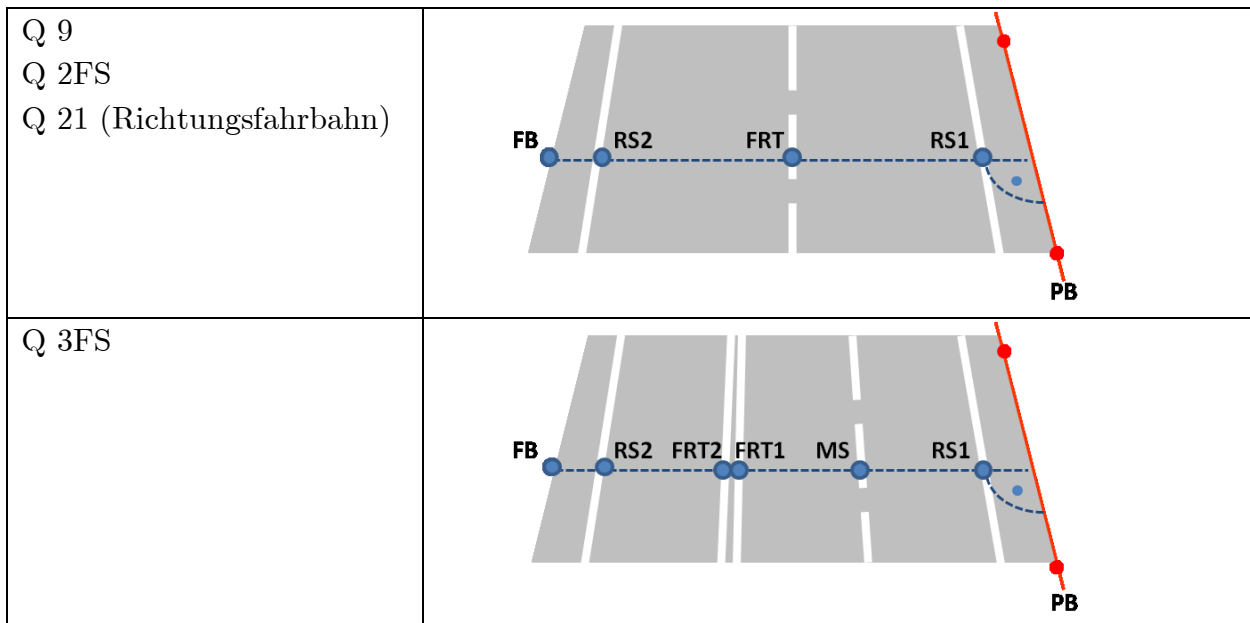


Abbildung B-1: Darstellung des Fahrzeugfolgeverhaltens nach Wiedemann (PTV, 2010)

Für alle Querschnitte gilt, dass der rechte Fahrbahnrand durch einen Polygonbezug (zwei Punkte) festgelegt wird. Dieser stellt die Abszisse dar und ermöglicht für alle innerhalb des Bereichs festgelegten Aufnahmepunkte das Lot zu fällen und somit das Abstandsmaß zum Fahrbahnrand zu bestimmen. Unter der erfüllten Voraussetzung, dass die Messquerschnitte in Geraden oder Bereichen mit großen Radien liegen – Vermeidung systematischer Fehler in der Längenmessung in Kurven durch Bewertung von Tangenten anstelle Sekanten – müssen die Aufnahmepunkte nicht zwangsläufig auf einer Ordinate liegen. Die Aufnahmegenaugkeit liegt innerhalb des De-

zimeterbereichs und wird vor dem Hintergrund der allgemeinen Schwankungen der Querschnittselemente als ausreichend angesehen. Die einzelnen Aufnahmepunkte sind wie folgt definiert:

- RS (Randstreifen): Der Randstreifen wird in der fahrbahninnenliegenden Seite erhoben. Bei kurzzeitigem Fehlen von Randstreifenmarkierungen ist eine andere Station zur Querschnittserhebung zu wählen. Bei weitläufigem Fehlen der Randstreifenmarkierung wird auf eine Aufnahme dieser verzichtet.
- FRT (Fahrtrichtungstrennung): Die Markierung der Fahrtrichtungstrennung wird bei Vorhandensein mittig aufgenommen. Fehlt diese Markierung wird die Fahrstreifenbreite aus der Breite der Randstreifenmarkierung automatisiert im Nachgang bestimmt. Bei Q 3FS werden beide Markierungen erfasst. Fehlen sämtliche Markierungen auf einbahnig (zweistreifigen) Abschnitten, ergibt sich die Fahrstreifenbreite aus der halben Fahrbahnbreite.
- MS (Mittelstreifen): Der Mittelstreifen entspricht der Fahrstreifenbegrenzung zwei gleichsinniger Fahrstreifen bei den einbahnigen Q 3FS. Die Aufnahme erfolgt mittig auf der Markierung.
- FB (Fahrbahnrand): Die linke Begrenzung der befestigten Fahrbahn wird durch das Merkmal Fahrbahnrand erhoben.

Die Aufnahme der Richtungsfahrbahnen des Q 21 erfolgt richtungsgetreunt. Die Kodierung der Punkte ist an die Erfassung einbahnig zweistreifiger Querschnitte angelehnt. Für diesen Querschnitt als auch für den Q 3FS gilt die Annahme, dass die bauliche Gestaltung der Fahrtrichtungen symmetrisch erfolgt. Zeigen beide Fahrtrichtungen deutliche Unterschiede auf, bleiben sie in der Auswertung unberücksichtigt.

Die Ermittlung der mittleren Querschnittsbreiten beruht auf einer mehrstufigen automatisierten Vorgehensweise. In einem ersten Schritt – nach Prüfung und Ausschluss nicht konsistenter Werte – erfolgt die Berechnung eines harmonischen Mittelwerts, dem die Einzelwerte gegenübergestellt werden. Bei Abweichungen außerhalb des Toleranzbereichs – für Rand- und Fahrstreifenbreite wird eine Toleranz von 0,125 m zum Mittelwert erlaubt – erhalten entsprechende Messquerschnitte einen Vermerk. Nach manueller Prüfung der Abschnitte ist festzulegen, ob die Überschreitung aufgrund fehlerhafter Dateneingabe (Fall 1) oder einer Veränderung des Querschnitts (Fall 2) beruht. In einem weiteren Schritt erfolgt für den ersten Fall die Neuberechnung des Abschnitts mit korrigierten Werten, für den zweiten Fall ist eine Abschnittsteilung und Neuberechnung durchzuführen. Abschließend werden die Abschnitte den entsprechenden Querschnittsgruppen zugeordnet.

C Aufnahme und Auswertung Befahrungsdaten

Zur Streckenaufnahme kam das Messfahrzeug UNO (Mercedes VITO als Trägerfahrzeug) des Lehrstuhls Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen der TU Dresden zum Einsatz. Mit Hilfe verschiedener Systeme zur GPS- und Wegmessung erlaubt es das Fahrzeug, sehr genaue Befahrungsrohdaten als Punktdaten – Trajektorien im 1 m Abstand – bereitzustellen, die zu einer anschließenden Nachtrassierung der Streckenabschnitte – Gradiente, Krümmungsband mit Angaben zu Radien, Klothoiden und Geraden der Strecken – in CARD herangezogen wurden. Diese Tätigkeiten erfolgten im Rahmen des FE. 82/334 der BAST (MAIER et al. 2013). Für weitere Informationen zum Messfahrzeug wird auf die Homepage des Lehrstuhls „Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen“ (2014) verwiesen.

Das CCD Farb-Stereo-Frontkamarasystem des Fahrzeugs ermöglicht die Aufnahme des vorausliegenden Straßenraums in einer 10 m Schrittweite (Abbildung C-1) und somit eine Fotodokumentation. Auf Basis der Stereobilder des Straßenraums ist die Vermessung von Elementen – Bestandteile des Querschnitts – innerhalb der Bilder mit der Software RoadView möglich. Jeder Abschnitt wurde in beide Fahrtrichtungen komplett befahren. Abschnitte mit fehlenden, lückenhaften, oder grafisch unzureichenden Daten wurden aus dem Untersuchungskollektiv entfernt.

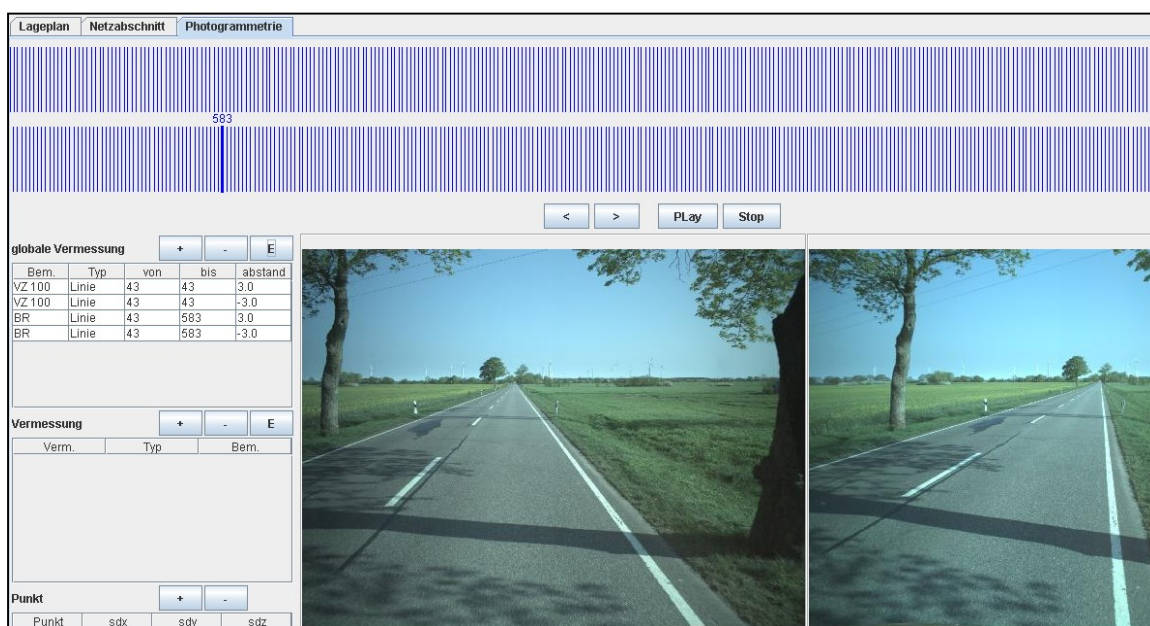


Abbildung C-1: Abwicklung Bilddaten eines aufgenommenen Streckenabschnitts im Programm RoadView

Weiterhin dient die Fotodokumentation zur Aufnahme der Streckencharakteristik, deren Merkmale in Kapitel 3.3.4 beschrieben sind. Die nachträgliche Identifikation und Lokalisierung von Merkmalen erfolgte manuell durch geschultes Personal. Diesem stand ein Aufnahmekatalog als Richtlinie zur Verfügung. Der Katalog enthält neben der allgemeinen Bedienungsbeschreibung des Programms Angaben zur allgemeinen Vorgehensweise der Datenaufnahme, Charakterisierung linienhafter und punktueller Merkmale sowie Beschreibungen zur Aufnahme der Querschnitte. Die Streckenbewertung erfolgte für beide Fahrrichtungen. Soweit nicht anders gekennzeichnet, gilt nach Verlassen der Ortsdurchfahrt eine V_{zul} von 100 km/h. Waren bei der Bewertung von Abschnitten – insbesondere bei Beginn eines Abschnitts – keine Informationen über die V_{zul} des Abschnitts zu gewinnen, wurde ebenfalls eine V_{zul} von 100 km/h unterstellt.

D Kenngrößen und Bewertung der Verkehrssicherheit

D.1 Ausgewählte relative Unfallkenngrößen

Unfalldichten (UD) stellen die Häufigkeit von Unfallereignissen bezogen auf einen Zeit- und Netzabschnitt dar (Gl. 22). Für eine bessere Vergleichbarkeit wird an Knotenpunkten die Länge mit dem Wert 1 normiert. Diese als Maßgrundlage für die Arbeit der Örtlichen Unfallkommissionen geltende Kenngröße wird in der Allgemeinheit als die wesentliche Sicherheitskenngröße zur Beschreibung der Gefährlichkeit von Verkehrsanlagen wahrgenommen (BACHMANN 2008). Die Unfallkostendichte (UKD) entsteht aus der Multiplikation von Unfallanzahlen mit den entsprechenden Kostensätzen.

$$UD_{SA} = \frac{U}{L * t} \quad \text{Gl. 22}$$

UD_{SA}	Unfalldichte für Streckenabschnitt SA [U/km]
U	Anzahl Unfälle
L	Länge Streckenabschnitt [km]
t	Betrachtungszeitraum [a]

Gegenüber der Dichte wird bei Raten die Fahrleistung – durchschnittliches Verkehrsaufkommen in einem Jahr und Abschnitt – in den Nenner aufgenommen (Gl. 23). Somit stellen Raten ein fahrleistungsbezogenes Risiko (Exposition) für das Auftreten von Unfällen dar. Häufig werden Unfallraten (UR) getrennt nach Unfällen mit Personen- und Sachschaden angegeben. Gründe für diese Unterscheidung sind neben der verschiedenen Auftretenshäufigkeit der Unfälle nach Schwere die bessere Vergleichbarkeit möglicher differenter Entwicklungen. Die volkswirtschaftlichen Kosten von Unfällen werden über die Unfallkostenrate (UKR) dargestellt (Gl. 24).

$$UR_{SA} = \frac{10^6 * U}{365 * DTV * L * t} \quad \text{Gl. 23}$$

UR_{SA}	Unfallrate für Streckenabschnitt SA [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
U	Anzahl Unfälle
L	Länge Streckenabschnitt [km]
t	Betrachtungszeitraum [a]

$$UKR_{SA} = \frac{10^3 * UK}{365 * DTV * L * t} \quad \text{Gl. 24}$$

UKR_{SA}	Unfallkostenrate für Streckenabschnitt SA [€/ (10 ³ *Kfz*km)]
UK	Unfallkosten nach Unfallschwere [€]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
U	Anzahl Unfälle
L	Länge Streckenabschnitt [km]
t	Betrachtungszeitraum [a]

D.2 Volkswirtschaftliche Bewertung von Unfällen

Für jede Unfallkategorie liegen Kostensätze vor, welche die mittleren (pauschalen) volkswirtschaftlichen Verluste eines Unfalls widerspiegeln. Zweck der monetären Bewertung ist es, den volkswirtschaftlichen Nutzen durch vermiedene Unfälle zu quantifizieren. Dabei wird nach LERNER et al. (2012) in verschiedene Bestandteile unterschieden, welche von BAUM et al. (2010) quantitativ überprüft wurden (Tabelle D-1). Für Unfälle der Kategorie 1 bis 3 bestehen die Unfallkostensätze aus einem Bestandteil für den reinen Personenschaden (Verunglücktenkostensatz) sowie dem reinen Sachschadensanteil. Letzterer liegt naturgemäß – dem Schadensbild angepasst – auch für die Unfallkategorien 4 bis 6 vor.

Da die durchschnittliche Verletzungsschwere und Verunglücktenanzahl bei einem Unfall neben der Konfliktsituation auch an örtliche Gegebenheiten gebunden ist, gibt es neben der Unterteilung nach der Unfallkategorie weitere Differenzierungsmöglichkeiten der Kostensätze, bspw. nach Ortslage, Straßenkategorie oder Unfalltyp. Seit geraumer Zeit beruht die Ermittlung der Schadenshöhe auf einer fünfjährigen Auswertung des bundesdeutschen Unfallgeschehens, festgeschrieben auf einen einheitlichen Preisstand. Die Unterschiede in der Verunglücktenstruktur bezüglich der Straßenkategorien wirken sich auf die Höhe der Unfallkostensätze untereinander aus.

Die aktuellen pauschalen Unfallkostensätze werden von der Bundesanstalt für Straßenwesen turnusweise veröffentlicht. Im „Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen M UKo“ (FGSV 2012B) finden sich die in Tabelle D-2 dargestellten aktuellen pauschalen Unfallkostensätze für Landstraßen mit dem Preisstand zum Jahre 2009.

Tabelle D-1: Struktur der Unfallkosten nach LERNER et al. (2012)

Kostenposition	Erläuterung	
	Personenschaden	Sachschaden
Humanitär	- psychische Belastung - Folgeerkrankungen	
Außermarktliche Wertschöpfung	- Ausfall oder Minderung der Arbeitsfähigkeit im Bereich Haushalt	- Ausfall oder Minderung der Arbeitsfähigkeit durch Totalschäden/Reparatur
Ressourcenausfall	- Dauer Erwerbsunfähigkeit durch stationäre Behandlung, Reha, Pflege - Minderung Erwerbsfähigkeit	- Erwerbsminderung durch Totalschäden/Reparaturdauer
Indirekte Reproduktion	- Polizei, Justiz, Versicherung - Sterbegeld/Bestattungskosten	- Polizei, Justiz, Versicherung
Direkte Reproduktion	- Kosten für med. Behandlung, Reha, Pflege - Krankentransportkosten	- Kosten für Reparatur - Wiederbeschaffungskosten - Sonstige Sachschäden

Tabelle D-2: Beschreibung der Unfallkategorien und entsprechende pauschale Unfallkostensätze für Landstraßen nach FGSV (2012B)

Schwerste Unfallfolge	Unfallkategorie	Bezeichnung/Aggregation Kostensatz KS_U [€/U]		
		U(GT)	U(SP)	U(P)
Unfall mit Getöteten	1	U(GT)	U(SP)	
Unfall mit Schwerverletzten	2	U(SV)	266.000	
Unfall mit Leichtverletzten	3	U(LV)	U(LV) 24.700	
Schwerwiegender Unfall mit Sachschaden (mindestens ein Fahrzeug ist nicht mehr fahrbereit)	4	U(SS) 17.900	U(S) 5.190	
Sonstiger Unfall mit Sachschaden (alle Fahrzeuge sind noch fahrbereit)	5	U(LS) 4.190		
Sonstiger Unfall mit Sachschaden (unter Einfluss berauschender Mittel)	6	U(SS) 17.900		

Bei der Betrachtung gesonderter Unfallkollektive kann die Verwendung von pauschalen Unfallkostensätzen aufgrund zeitlich struktureller Ab-

weichungen und besonderen strukturellen örtlichen Gegebenheiten zu Ungenauigkeiten führen (GDV 2003). Durch eine Anpassung der Unfallkostensätze ist eine exakte monetäre Bewertung des Unfallgeschehens möglich. Randbedingungen sind die Kenntnis über die Verunglücktenstruktur, Verunglücktenkostensätze und ein ausreichend großes Kollektiv an Unfällen mit Personenschaden. Die in GDV (2003) vorgeschlagene Mindestanzahl – 100 für außerorts, 400 für innerorts – steht seit jüngerer Zeit vor dem Hintergrund sinkender Unfallzahlen, insbesondere schwerster Unfallfolgen (DESTATIS 2013), in verschiedenen Fachgremien zur Überprüfung. Die Anpassung der Unfallkostensätze erfolgt lediglich für Unfälle mit Personenschaden.

Die Anpassung kann getrennt für die Unfälle mit schwerem Personenschaden und leichtem Personenschaden (Gl. 25 und Gl. 26) als auch gemeinsam für alle Unfälle mit Personenschaden (Gl. 27) erfolgen. Für die Verwendung getrennter Kostensätze nach Unfällen mit leichtem und schwerem Personenschaden gilt, dass für Innerortsstraßen mindestens 15, für Außerortsstraßen mindestens 10 Unfälle mit Personenschaden im Untersuchungskollektiv vorliegen müssen (GDV 2003). Bei geringeren Stichprobengrößen ist ein gemeinschaftlicher Kostensatz für alle Unfälle mit Personenschaden zu verwenden. Die Analyse kleiner Unfallzahlen birgt allgemein die Gefahr, dass seltener auftretende Ereignisse – wie Unfälle mit schwerem Personenschaden – die Repräsentativität des Ergebnisses aufgrund des hohen Kostensatzes für diese Unfallkategorien einschränken. Die Notwendigkeit ausreichend großer Unfallkollektive, die zur Verringerung zufälliger Schwankungen notwendig sind, wird mitunter durch eine zu geringe Anzahl von entsprechenden Netzelementen oder einem zu hohen Aufwand bei Erhebungen beschränkt.

$$KS_{a,U(SP)} = \frac{(n_{GT,U(SP)} * KS_{GT} + n_{SV,U(SP)} * KS_{SV} + n_{LV,U(SP)} * KS_{LV} + n_{U(SP)} * KS_{S,U(SP)})}{n_{U(SP)}} \quad \text{Gl. 25}$$

- $KS_{a,U(SP)}$ angepasster Unfallkostensatz für Unfälle mit schwerem Personenschaden [€]
- $n_{i,U(SP)}$ Anzahl Verunglückter nach Unfallschwere bei Unfall mit schwerem Personenschaden
- $n_{U(SP)}$ Anzahl Unfälle mit schwerem Personenschaden
- $KS_{S,U(SP)}$ Kostensatz für Sachschaden der Unfälle mit schwerem Personenschaden [€]
- KS_i Kostensatz für Verunglückte nach Unfallschwere [€]

Da in der Modellerstellung weder im Ansatz nach Schwere­kategorie als nach Unfalltypen eine Differenzierung der Unfälle mit Personenschaden vorgesehen ist – Ursache bildet das seltene Auftreten von Unfällen der Kategorie 1 und 2 –, wird von einer für U(SP) und U(LV) getrennten Anpassung der Unfallkostensätze abgesehen. Für den Ansatz nach Schwere­kategorie erfolgt die Ermittlung eines angepassten Kostensatzes $KS_{a,U(P)}$. Unfälle mit Sachschaden bleiben von einer Anpassung unberührt.

$$KS_{a,U(LV)} = \frac{(n_{LV,U(LV)} * KS_{LV} + n_{U(LV)} * KS_{S,U(LV)})}{n_{U(LV)}} \quad \text{Gl. 26}$$

$KS_{a,U(LV)}$ angepasster Unfallkostensatz für Unfälle mit leichtem Personenschaden [€]

$n_{i,U(LV)}$ Anzahl Verunglückter nach Unfallschwere bei Unfall mit leichtem Personenschaden

$n_{U(LV)}$ Anzahl Unfälle mit leichtem Personenschaden
Kostensatz für Sachschaden der Unfälle mit

$KS_{S,U(LV)}$ leichtem Personenschaden [€]

KS_{LV} Kostensatz für Leichtverletzte [€]

$$KS_{a,U(P)} = \frac{(n_{GT,U(P)} * KS_{GT} + n_{SV,U(P)} * KS_{SV} + n_{LV,U(P)} * KS_{LV} + n_{U(P)} * KS_{S,U(P)})}{n_{U(P)}} \quad \text{Gl. 27}$$

$KS_{a,U(P)}$ angepasster Unfallkostensatz für Unfälle mit Personenschaden [€]

$n_{i,U(P)}$ Anzahl Verunglückter nach Unfallschwere bei Unfall mit Personenschaden

$n_{U(P)}$ Anzahl Unfälle mit Personenschaden

KS_i Kostensatz für Verunglückte nach Schwere [€]

$KS_{S,U(P)}$ Kostensatz für Sachschaden der Unfälle mit Personenschaden [€]

Im Rahmen der Anpassung der Kostensätze nach dem Ansatz „Modelle nach Unfalltyp“ für U(P, SS), ist Gl. 25 um den Anteil der schweren Unfälle mit Sachschaden zu ergänzen. Somit wird eine monetäre Differenzierung der Unfallschwere nach Unfalltyp gewährleistet (Gl. 28). Gleichwohl führt die Ermittlung eines mittleren Kostensatzes über mehrere Unfallkategorien zu Abweichungen bei der Betrachtung der Schwerestruktur im Einzelfall

$$KS_{a,Typ} = \frac{(n_{GT,Typ} * KS_{GT} + n_{SV,Typ} * KS_{SV} + n_{LV,Typ} * KS_{LV} + \sum(n_{U,Typ,Kat j} * KS_{S,Kat j}))}{\sum n_{U,Typ,Kat j}} \quad \text{Gl. 28}$$

$KS_{a,Typ}$ angepasster Unfallkostensatz für Unfalltyp [€]

$n_{i,Typ}$ Anzahl Verunglückter des Unfalltyps nach Unfallschwere i

KS_i Kostensatz für Verunglückte nach Schwere i [€]

$n_{U,Typ, Kat j}$ Anzahl Unfälle des Typs und der Kategorie j

$KS_{S,Kat j}$ Kostensatz für Sachschaden nach Kategorie j [€]

Die Verunglücktenstruktur stellt eine Abhängige verschiedener Entwicklungen dar. Seit Mitte der 1970er Jahre ist ein kontinuierlicher Rückgang der Unfälle mit Getöteten festzustellen. Ursachen bilden zum einen gesetzliche Vorgaben, wie die Einführung des Verwarnungsgelds für Helmtragepflicht 1980 oder die Herabsetzung des Grenzwertes für Blutalkoholwerte 1998, zum anderen Veränderungen in der technischen Ausstattung der Fahrzeugflotte. Darüber hinaus trägt auch die Entwicklung von Richtlinien, bspw. als Träger moderner Entwurfsbeschreibungen oder zur Festlegung von Anforderungen an passive Schutzseinrichtungen zur Abnahme von Unfällen mit Getöteten bei. ECKSTEIN/MEEWES (2002) belegen im Zeitraum von 1975 bis 1990 eine über die Jahre in ihrer Größenordnung abnehmende Entwicklung der Unfallkostenrate für Außerortsstraßen. Bei Unfällen mit Schwerstverletzten – dazu zählen Verunglückte mit einem „Injury Severity Score“ von mindestens 9 – ist in den letzten Jahren kein eindeutiger Trend nachweisbar (LEFERING 2009). Nach einer Stagnation in den 1990er Jahren ist seit dem Jahr 2000 für Straßen Außerorts wieder ein kontinuierlicher Rückgang der Unfälle mit Personenschaden zu verzeichnen (BAST 2014).

Es zeigt sich, dass Verunglücktenkostensätze sowie weitere Unfallkenngrößen einer periodischen zeitlichen Anpassung und Aktualisierung bedürfen. Demgemäß stellen die in der Untersuchung zugrunde gelegten Verunglücktenkostensätze mit dem Bemessungsniveau des Zeitraums von 2006 bis 2010 aktuelle Kenngrößen dar (Tabelle D-3).

Tabelle D-3: Kostensätze für Verunglückte 2010 (MAIER et al. 2013)

Schwere der Verletzung	Kostensatz [€/Person]
Getötet	1.044.800
Schwerverletzt	112.366
Leichtverletzt	4.433

D.3 Berechnungsgrößen im Entwurf des HVS

Im Entwurf des HVS bzw. in den ESN (FGSV 2003) stellen die $gUKR$ das Sicherheitsniveau des Netzelements bei richtliniengerechtem Ausbau dar. Ist die Erfüllung dieser Maßgabe nicht möglich und treten Abweichungen zur richtliniengerechten Gestaltung auf, sind diese als spezifische Zuschläge ($zUKR$) zur $gUKR$ zu berücksichtigen. Dabei wird für Strecken in linienhafte und punktuelle Zuschläge unterschieden. Der Sicherheitsgrad SG eines Netzelements ergibt sich aus der Addition von $gUKR$ und den Zuschlägen.

$$SG = gUKR + \Delta UKR_L + \Delta UKR_P \quad \text{Gl. 29}$$

SG	Sicherheitsgrad [$\text{€}/(10^3 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$]
$gUKR$	Grundunfallkostenrate [$\text{€}/(10^3 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$]
ΔUKR_L	Summe aller Zuschläge für linienhafte Abweichungen (eines Streckenabschnitts) [$\text{€}/(10^3 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$]
ΔUKR_P	Summe aller Zuschläge für punktuelle Abweichungen (eines Streckenabschnitts) [$\text{€}/(10^3 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$]

Die Berücksichtigung von Zuschlägen erfolgt differenziert nach Entwurfsklasse bzw. Straßentyp sowie verschiedenen als maßgebend erachteten Kriterien. Die Zuschläge sind tabellarisch im Entwurf des HVS dargestellt. Methodisch ist die Addition von Zuschlägen in den Fällen vorgesehen, wenn eine entsprechende Abweichung (Defizit) vom regelwerkskonformen bestmöglichen Standard vorliegt. Die Höhe der Zuschläge ist für linienhafte Abweichungen $UKR_{L,i}$ den Bewertungstabellen direkt zu entnehmen – wobei aus der Änderung eines einzelnen Kriteriums unvermeidlich eine Abschnittstrennung resultiert. Für punktuelle Abweichungen $UKR_{P,i}$ ergibt sich die Höhe aus Anzahl der Abweichungen je Länge. Die Art der additiven Verknüpfung mehrerer Zuschläge ist als Manko im angedachten Bewertungsverfahren des HVS-Entwurfs zu benennen, da davon ausgegangen wird, dass sich mehrere Defizite in ihrer Wirkung nicht verstärken.

$$\Delta UKR_L = \sum_{i=1}^n UKR_{L,i} \quad \text{Gl. 30}$$

ΔUKR_L	Summe Zuschläge für linienhafte Abweichungen in einem Streckenabschnitt [$\text{€}/(10^3 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$]
$UKR_{L,i}$	Zuschlag für einzelne linienhafte Abweichung in einem Streckenabschnitt [$\text{€}/(10^3 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$]

$$\Delta UKR_p = \sum_{i=1}^n \frac{N * UKR_{p,i}}{L} \quad \text{Gl. 31}$$

$UKR_{p,i}$	Zuschlag für einmalig punktuelle Abweichung in einem Streckenabschnitt [€/((10 ³ Kfz*km))]
N	Anzahl der gleichartigen Abweichungen
L	Abschnittslänge
ΔUKR_p	Summe Zuschläge für punktuelle Abweichungen in einem Streckenabschnitt [€/((10 ³ Kfz*km))]

Für Knoten- und Teilknotenpunkte wird in knotenpunktspezifische ($UKR_{k,i}$) und zufahrtspezifische ($UKR_{z,i}$) Zuschläge unterschieden. Während erstgenannte Zuschläge nur einmal je Knotenpunkt vergeben werden können, stellt die Anzahl Zufahrten das Maximum der Häufigkeit zufahrtspezifischer Zuschläge dar. Zur Ermittlung des SG eines Knotenpunktes ist die Summe aller Zuschläge mit der gUKR zu addieren.

E Netzeinteilung

E.1 Differenzierung Knotenpunkte

Die Differenzierung von plangleichen Knotenpunkten in die Kategorien verkehrsbedeutende Knotenpunkte und Anschlussknotenpunkte folgt nur im geringen Maße der Klassifizierung des Straßennetzes, da dieses Kriterium keine verlässliche Aussage liefert. Das belegt die Untersuchung von VIET-EN et al. (2010).

Als verkehrsbedeutend werden in der eigenen Untersuchung Knotenpunkte definiert, die einen wesentlichen Einfluss auf den Verkehrsablauf der betrachteten Zufahrten ausüben. Dazu zählt die deutliche Verringerung der gefahrenen Geschwindigkeit (STEINAUER et al. 2008) bzw. der Verzicht von Überholmanövern durch einen Großteil der Fahrzeugführer. Dieser Einfluss ist auf betriebliche und bauliche Merkmale zurückzuführen. Aus der Kombination von Grundform und Betriebsform leiten sich die Knotenpunktart und damit die Notwendigkeit erforderlicher baulicher Veränderungen in der Zufahrt ab. Eine bauliche Veränderung der Zufahrt liegt vor, wenn eine Aufweitung der Fahrbahn aufgrund

- der Anlage eines weiteren Fahrstreifens,
- der Markierung einer Sperrfläche oder
- des Einbaus eines Fahrbahnteilers erfolgt.

Unabhängig der baulichen Gestalt der Zufahrt haben Kreisverkehre einen bedeutenden Einfluss auf die anliegenden Zufahrten. Betriebliche Merkmale, die wesentlich Einfluss auf den Verkehrsablauf nehmen, sind

- die Regelung des Knotenpunkts mit einer Lichtsignalanlage,
- die Zufahrtsregelung mit Z 205/206 StVO oder
- die Beschränkung der V_{zul} in Verbindung mit dem betrachteten Knotenpunkt.

Somit fallen unter das Kriterium Anschlussknotenpunkte alle mit Z 306 StVO geregelten Zufahrten ohne bauliche Veränderung der Zufahrt und/oder Beschränkung der V_{zul} . Ferner zählen unter den Randbedingungen zu den Anschlussknotenpunkten Netzverknüpfungen, ohne die Vorfahrt regelnde Verkehrszeichen (Grundstückszufahrten, bedeutsame Wegeanschlüsse).

Verkehrsbedeutende plangleiche Knotenpunkte stellen ein den Streckenabschnitt begrenzendes Merkmal dar. Sie sind häufig Bestandteil von Untersuchungen (ECKSTEIN/MEEWES 2002, HAUTZINGER et al. 2010). Sie entsprechen nicht zwangsläufig klassifizierten Netzknoten, sollen aber als eigenständige Netzelemente behandelt und bewertet werden. Ein-/Ausfahrtbereiche werden immer als verkehrsbedeutend angesehen.

Anschlussknoten stellen ein beschreibendes Merkmal des Streckenabschnitts dar. Sie werden in Anlehnung an TAYLOR et al. (2002) über ihre Dichte (Anzahl je Kilometer) berücksichtigt. Sie sind, in Abhängigkeit des Vorhandenseins vorfahrregelnder Verkehrszeichen, in zwei Klassen unterschieden.

E.2 Ermittlung räumliche Ausdehnung plangleiche Knotenpunkte

Eine feingliedrige räumliche Netzeinteilung erlaubt in der Regel eine genaue Abgrenzung von Elementen und Einflussbereichen. Unfälle sind seltene Ereignisse und treten poisson-verteilt auf. Das birgt bei der Betrachtung kurzer Abschnitte zum einen die Gefahr, dass das Unfallgeschehen aufgrund geringer Unfallzahlen von Zufälligkeiten geprägt wird (BACHMANN 2008). Zum anderen führt die Verwendung von längenbezogenen Expositionsgrößen (Unfall-(kosten-)raten) bei Abschnitten kleiner einem Kilometer zu einer Vervielfachung des Sicherheitsniveaus. ECKSTEIN/MEEWES (2002) berücksichtigen die Problematik geringer Unfallzahlen in ihren Untersuchungen zur Einflusslänge von Knotenpunkten dahingehend, dass in der iterativen Ermittlung die UKR_{nah} und UKR_{fern} im jeweils ersten bzw. letzten Schritt Abschnitte mit lediglich 100 m Länge nur näherungsweise betrachtet werden. Weiterhin zeigt sich, dass die Sicherheitskenngrößen im Verfahren bei geringen Kollektivgrößen Schwankungen unterliegen, die eine wie von ECKSTEIN/MEEWES (2002) beschriebene klare Entwicklung dieser Größen nicht erkennen lassen und somit eine klare Abgrenzung des Einflussbereichs erschweren.

Da die Abgrenzung des Knotenpunktbereichs in der eigenen Untersuchung auf einem Vergleich der Merkmalsausprägung verschiedener Unfalltypen beruht, sind Aussagen zu gering besetzten Kollektiven mit einer höheren Unsicherheit verbunden. Der für den Vergleich hinzugezogene χ^2 -Test nach Fisher liefert auch für sehr kleine Kollektive vertrauenswürdige Ergebnisse, allerdings bleibt das Auftreten von Unfällen bzw. die Verteilung der Unfalltypen Zufälligkeiten unterworfen. Die zweiteilige Vorgehensweise zur Abgrenzung der Knotenbereiche nach den beiden Varianten A und B

bietet die Möglichkeit, die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen. Aufgrund der feingliedrigeren Netzeinteilung unter Variante A, sind für diese Vorgehensweise unter geltenden Randbedingungen genauere Ergebnisse zur Knotenabgrenzung zu erwarten.

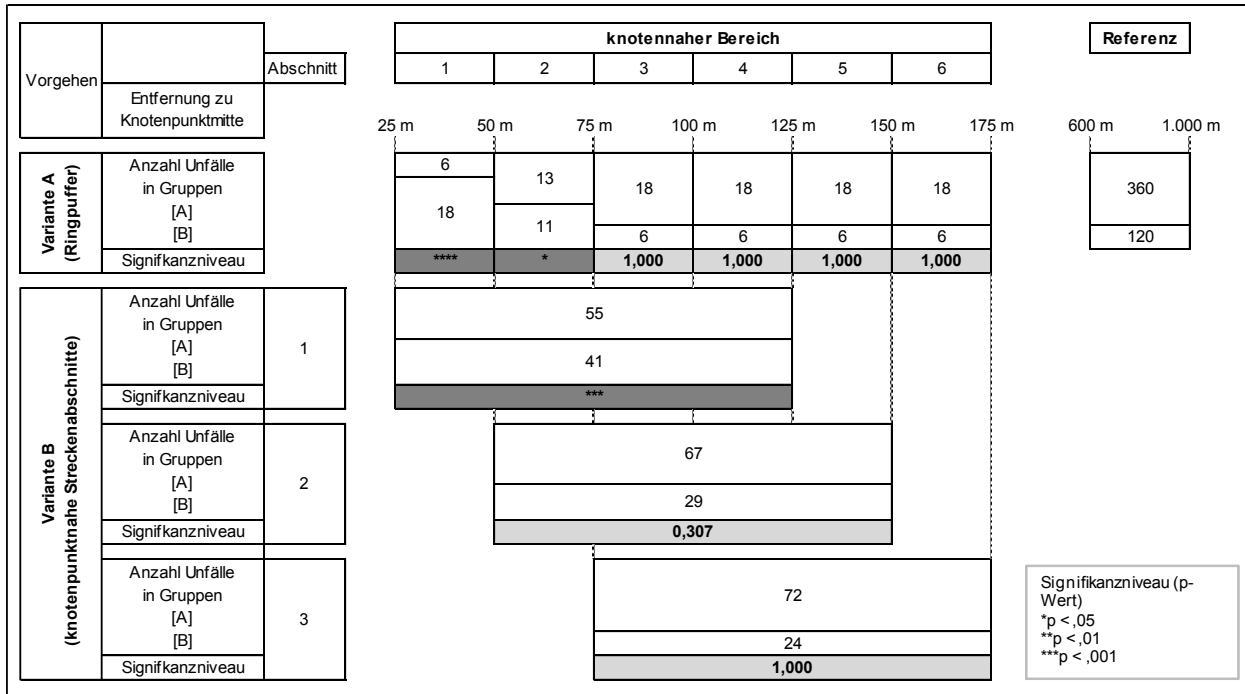


Abbildung E-1: Beispiele für Vorgehensweise zu Ermittlung des Knotenbereichs anhand Merkmalausprägung der Unfalltypen

Abbildung E-1 enthält ein Beispiel, welches die Möglichkeiten von Differenzen in der Längenabgrenzung des Knotenpunkts anhand der Varianten A und B verdeutlicht. Grundlage bildet die Prüfung der Merkmalausprägung zweier Unfallgruppen innerhalb der verschiedenen Elemente auf signifikante Unterschiede nach dem χ^2 -Test von Fisher. Die Vorgehensweise, den Knotenpunkt anhand der Variante A abzugrenzen zeigt, dass sich die Unfallgruppenverteilung für die ersten beiden Ringbereiche (1 entspricht 25 m bis 50 m, 2 entspricht 50 m bis 75 m) mit einem hohen Signifikanzniveau zum Referenzbereich unterscheidet, während ab einer Entfernung von 75 m kein Unterschied mehr vorliegt und hier die Grenze des Knotenpunktes festzulegen wäre. Eine Aggregation mit dem Unfallgeschehen des Knotenpunkt (-kernbereichs) erfolgt nicht, da dieses das gesamte Kollektiv wesentlich prägen würde.

Knotenpunktnahe Streckenabschnitte in Variante B weisen eine Länge von $L = 100$ m auf, umfassen i. d. R. eine höhere Anzahl an Unfällen und sind somit in der Aussagekraft stabiler. Für den sich unmittelbar an den Knotenpunkt anschließenden Abschnitt ist ebenfalls eine zum Referenzbereich signifikant verschiedene Merkmalausprägung der Unfalltypengruppen festzustellen. Die Zusammenfassung der Unfalltypengruppen im nächsten

knotenpunktnahen Streckenabschnitt (50 bis 150 m) verschleiert die Unterschiede im Unfallgeschehen im Bereich 50 und 75 m. Anhand der Variante B würde eine Abgrenzung des Knotenpunktes mit einer Länge von 50 m resultieren, da der Abschnitt in Stufe 2 (50 m bis 150 m) sich vom Referenzbereich nicht mehr signifikant unterscheidet. In Überlagerung der Ergebnisse mit Variante A – ausreichende Unfallzahlen vorausgesetzt – kann für das gewählte Beispiel aufgrund des hohen Signifikanzniveaus für den zweiten Ringpuffer die Festlegung des Knotenbereichs auf 75 m erfolgen.

Die Festlegung der Knotenbereiche beruht auf der Gegenüberstellung der Ergebnisse beider Varianten. Neben dem Kriterium des sich signifikant unterscheidenden Unfallgeschehens spielen auch pragmatische Überlegungen eine Rolle.

E.3 Einflussbereiche

Aus Abbildung E-2 wird die Unschärfe der Abgrenzung einzelner Streckenbereiche – insbesondere der Einflussbereiche – am Beispiel eines Knotenpunkts deutlich. Ausgehend vom Achsenschnittpunkt als Bezug, lässt sich die Beziehung zwischen Knotenpunkt und Strecke in drei Bereiche gliedern. Im unmittelbaren Knotenbereich dominieren die Gestalt und der Betrieb des Knotenpunkts das Fahrverhalten und damit die Konfliktsituationen. Unabhängig davon lässt sich ein geringer Teil des Fahrverhaltens aber auch auf die angrenzende Strecke zurückführen. Die Größenordnung dieses Anteils variiert nach der Art des Übergangs – bei Knotenpunkten nach Grund- und Betriebsform. Die Abgrenzung des Knotenpunktbereichs steht häufig unmittelbar mit dem Unfallgeschehen im Zusammenhang, wobei die Grenze nicht zwangsläufig mit dem Beginn eines wachsenden Einflusses der angrenzenden Strecke übereinstimmen muss. Der Abschnitt, in denen sich Einflüsse aus der Charakteristik des Streckenübergangs und der anschließenden Strecke dynamisch überlagern, wird allgemein als Einflussbereich definiert. Dessen Länge variiert in Abhängigkeit der Art des Übergangs. Mit wachsender Entfernung verringert sich der Einfluss des Knotenpunkts (Übergangs) bis zu dem Punkt, an dem das Fahrverhalten und die resultierenden Konfliktsituationen lediglich eine Abhängige der Strecke darstellen – entsprechende Streckenlängen vorausgesetzt. Dieser Punkt stellt den theoretischen Übergang zwischen Einflussbereich und Freier Strecke dar. Sowohl in Richtung Knotenpunkt als auch zur Freien Strecke hin, weist die Abgrenzung des Einflussbereiches aufgrund der aggregierten Betrachtung von Unfallkenngrößen Ungenauigkeiten auf. Die nicht exakte Abbildung der Elementgrenzen ist die Folge. Das iterative Verfahren nach ECK-

STEIN/MEEWES (2002) gibt die Möglichkeit, Einflussbereiche mit geringen Abweichungen ausreichend genau zu bestimmen.

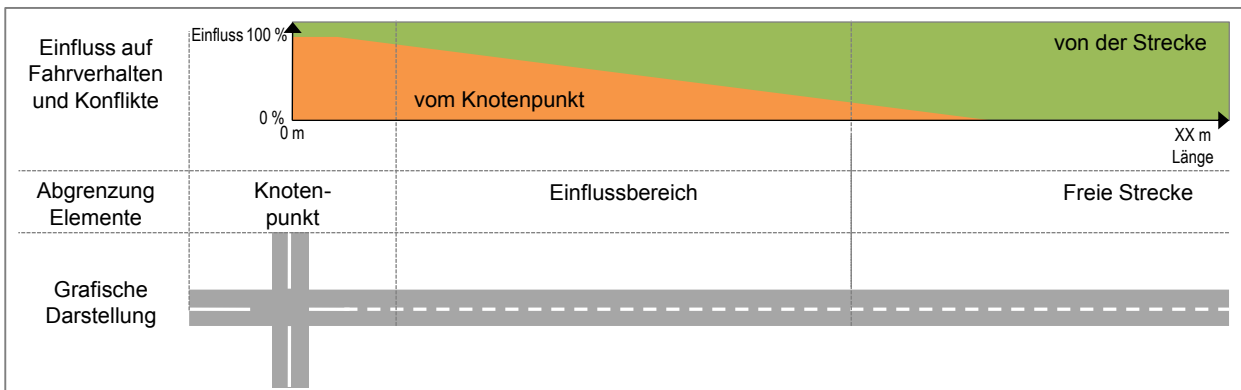


Abbildung E-2: Sinnbildliche Darstellung der gegenseitigen Beeinflussung der Elemente des Streckenübergangs und der Strecke, aus der die Abbildung des Einflussbereichs resultiert, Beispiel Knotenpunkt

Die Festlegung der Längen der Einflussbereiche für die verschiedenen Arten von Übergängen beruht daher auf diesem Verfahren. Die Abgrenzung erfolgt auf Basis der Kenngrößen der UR und UKR. Da sich auch bei umfangreichen Kollektiven nicht immer eine eindeutige Grenze zur Festlegung der Einflusslänge zeigt, werden auch pragmatische Überlegungen herangezogen. Das Verfahren dient lediglich zur Festlegung der Einflusslänge, nicht zur Quantifizierung des Einflusses. Nachfolgend sind die Kenngrößen für alle Arten an Übergängen aufgeführt. Die Festlegung der Einflusslänge orientiert sich primär an den Kenngrößen des gesamten Unfallgeschehens. Vereinfachend wird der Einflussbereich im Verfahren als Netzelement bezeichnet, auch wenn sich dieser nicht baulich definieren lässt.

			Gesamtstrecke	Abstand A zum Knotenpunktbereich [m]								
				1000 m	100	200	300	400	500	600	700	800
A (alle Unfalltypen)	UR (S) [U/(10 ^{6s} *Kfz*km)]	nah	1,71	1,51	1,62	1,62	1,68	1,62	1,68	1,64	1,63	1,67
		fern	1,71	1,74	1,74	1,76	1,74	1,81	1,77	1,90	2,05	2,08
	UR (P) [U/(10 ^{6s} *Kfz*km)]	nah	0,20	0,11	0,16	0,14	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20
		fern	0,20	0,21	0,22	0,23	0,21	0,22	0,24	0,24	0,23	0,23
	UKR [€/(10 ^{3s} *Kfz*km)]	nah	33,5	21	27	26	31	31	31	31	32	33
		fern	33,5	35	35	37	35	36	38	39	39	39
B Unfalltypen 1, 4 bis 7	UR (S) [U/(10 ^{6s} *Kfz*km)]	nah	1,67	1,49	1,60	1,60	1,65	1,60	1,65	1,60	1,59	1,63
		fern	1,67	1,69	1,68	1,70	1,68	1,74	1,70	1,83	1,99	1,98
	UR (P) [U/(10 ^{6s} *Kfz*km)]	nah	0,18	0,11	0,14	0,12	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18
		fern	0,18	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,21	0,21	0,20	0,19
	UKR [€/(10 ^{3s} *Kfz*km)]	nah	30,3	21	25	23	29	28	28	28	29	30
		fern	30,3	31	32	33	32	33	34	35	34	33

145 Zufahrten, Unfälle auf gesamter Länge L = 1.000 m; U(P) n = 233, U(S) n = 1.126

Abbildung E-3: Entwicklung der Unfallkenngrößen in der Knotenpunktzufahrt in Abhängigkeit des Abstandes A für bevorrechtigte Zufahrten an VZ-geregelten KP mit Beschränkung der V_{zul}

Abbildung E-3 dient als Beschreibungsbeispiel und enthält die Aufstellung der Unfallkenngrößen zur Ermittlung der Einflusslänge sowohl für alle (A),

als auch für die streckentypischen Unfalltypen 1 und 4 bis 7 (B). Die angeführte UKR stellt lediglich eine Vergleichsgröße mit tendenziellem Charakter zur Abschätzung der Einflusslänge dar. Die konkrete Bewertung des Sicherheitsniveaus der Einflussbereiche, welches im Bewertungsverfahren Berücksichtigung findet, ist Inhalt des Kapitels 6.

Der Einfluss auf das Sicherheitsniveau der Strecke kann aus einer Veränderung der Unfallanzahl und/oder der Unfallschwere resultieren. Sowohl für die $UR_{(S),fern}$ als auch $UR_{(P),fern}$ zeichnet sich im Beispiel bei der Betrachtung aller Unfalltypen (Fall A) ein Anstieg mit zunehmender Entfernung zum Knotenpunktbereich ab. Während sich das Niveau der $UR_{(P),fern}$ ab einem Abstand von $A = 300$ m nahezu unverändert zeigt, erfährt die $UR_{(S),fern}$ einen unregelmäßigen Zuwachs. Dem Anstieg der UKR_{fern} auf den ersten 300 m folgt vor einem kleinen Sprung bei 700 m eine Stagnation des Niveaus. Uneinheitlicher fällt die Entwicklung der UR_{fern} bei Betrachtung lediglich der streckentypischen Unfälle (Fall B) aus. Die $UR_{(P),fern}$ verändert sich mit zunehmendem Abstand A nur geringfügig, während die $UR_{(S),fern}$ tendenziell steigt. Ursachen für den weiteren Anstieg der $UR_{(S),fern}$ sind nicht bekannt. Jedoch ist zu vermuten, dass Wildunfälle – als mögliche Ursache – eher ein Merkmal längerer Strecken darstellen. Auf Basis der UKR_{fern} sind ebenfalls ab einem Abstand von $A = 300$ m nur noch geringe Veränderung des Sicherheitsniveaus festzustellen.

Auch die Größenordnung der UKR für die Gesamtstrecke bestätigt im Vergleich zu dem sich anschließenden Wert der UKR_{fern} bei einem Abstand von 100 m den positiven Einfluss des Knotenpunkts auf die Verkehrssicherheit der Zufahrt. Aus der UR- und UKR-Entwicklung beider Kollektive resultiert die Annahme, dass der Einflussbereich des Knotenpunkts auf die angrenzende Strecke auf 300 m beschränkt ist. Aus der Differenz von UKR_{fern} zu UKR_{nah} für das gesamte Unfallgeschehen mit $\Delta UKR = 11 \text{ €}/(10^3 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$ wird der positive Einfluss der Zufahrtsregelung in Verbindung mit der Beschränkung der V_{zul} deutlich. Der Sicherheitsgewinn ist für dieses Beispiel auf die Abnahme der $U(P)$, insbesondere aber der $U(S)$ in Knotennähe zurückzuführen.

Insgesamt verdeutlicht Abbildung E-3, dass trotz eines umfangreichen Kollektivs von 145 Zufahrten, die Höhe der Unfallkenngrößen deutliche Schwankungen aufweist und die Abschätzung des Einflussbereichs anhand der idealisierten Tendenz in Einzelfällen erschwert.

Folgend sind die Kenngrößen und festgelegten Längen aller Übergangsarten aufgeführt.

			Gesamtstrecke	Abstand A zur Ortstafel [m]								
				1000 m	100	200	300	400	500	600	700	800
A (alle Unfalltypen)	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,71	1,27	1,28	1,35	1,43	1,49	1,54	1,63	1,70	1,72
		fern	1,71	1,82	1,89	1,94	1,99	2,04	2,10	2,08	2,05	2,16
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,20	0,19	0,21	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28
		fern	0,20	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,32	0,31
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	33,5	30	32	37	38	39	40	43	43	44
		fern	33,5	46	47	47	48	49	47	47	50	49
B Unfalltypen 1, 4 bis 7	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,73	1,21	1,25	1,32	1,40	1,46	1,52	1,60	1,67	1,69
		fern	1,73	1,79	1,85	1,91	1,95	2,00	2,05	2,04	2,00	2,09
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,26	0,17	0,19	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26
		fern	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29	0,30	0,28	0,31	0,29
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	40,6	27	29	33	35	36	37	39	39	40
		fern	40,6	42	43	44	45	45	47	44	47	47

408 Zufahrten, U(P) = 654, U(S) = 2.201

Abbildung E-4: Entwicklung der Unfallkenngrößen für Übergangsart ODF, Festlegung der Einflusslänge auf L = 200 m

			Gesamtstrecke	Abstand A zum Knotenpunktbereich [m]								
				1000 m	100	200	300	400	500	600	700	800
A (alle Unfalltypen)	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,83	0,69	0,92	1,08	0,95	0,86	0,85	0,85	0,82	0,83
		fern	0,83	0,84	0,81	0,72	0,75	0,80	0,80	0,78	0,87	0,82
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,12	0,17	0,17	0,15	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13
		fern	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,08
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	19,1	24	26	24	23	23	22	20	20	20
		fern	19,1	19	18	17	17	16	16	16	15	15
B Unfalltypen 1, 4 bis 7	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,81	0,73	0,95	1,06	0,91	0,84	0,83	0,84	0,81	0,82
		fern	0,81	0,82	0,78	0,71	0,75	0,79	0,79	0,75	0,83	0,73
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,12	0,17	0,17	0,15	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12
		fern	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	18,4	24	25	24	23	22	22	20	19	19
		fern	18,4	18	17	16	15	14	14	15	16	15

53 Zufahrten, U(P) = 118, U(S) = 207

Abbildung E-5: Entwicklung der Unfallkenngrößen für Übergangsart KP-TPF, Festlegung der Einflusslänge auf L = 300 m

			Gesamtstrecke	Abstand A zum Knotenpunktbereich [m]								
				1000 m	100	200	300	400	500	600	700	800
A (alle Unfalltypen)	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,20	0,93	1,04	0,98	1,00	1,04	1,14	1,16	1,16	1,14
		fern	1,20	1,22	1,23	1,29	1,32	1,35	1,27	1,29	1,32	1,72
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,14	0,15	0,12	0,11	0,14	0,15	0,15	0,14	0,15	0,14
		fern	0,14	0,14	0,15	0,16	0,14	0,14	0,15	0,15	0,12	0,17
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	23,6	24	19	18	23	23	24	23	24	23
		fern	23,6	24	25	26	24	24	25	25	21	29
B Unfalltypen 1, 4 bis 7	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,14	0,89	0,96	0,92	0,92	0,99	1,08	1,10	1,11	1,08
		fern	1,14	1,17	1,19	1,24	1,28	1,29	1,23	1,24	1,25	1,64
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,12	0,14	0,11	0,10	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13	0,12
		fern	0,12	0,12	0,13	0,13	0,12	0,11	0,12	0,12	0,08	0,15
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	20,7	22	18	17	20	21	21	21	22	20
		fern	20,7	21	21	22	21	21	20	21	17	27

47 Zufahrten, U(P) = 91, U(S) = 441

Abbildung E-6: Entwicklung der Unfallkenngrößen für Übergangsart KP-LSA, Festlegung der Einflusslänge auf L = 300 m

			Gesamtstrecke	Abstand A zum Knotenpunktbereich [m]								
				1000 m	100	200	300	400	500	600	700	800
A (alle Unfalltypen)	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,64	1,48	1,60	1,72	1,62	1,53	1,53	1,46	1,45	1,43
		fern	1,64	1,65	1,64	1,60	1,65	1,74	1,79	2,05	2,37	3,49
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,29	0,12	0,15	0,22	0,24	0,22	0,22	0,23	0,28	0,27
		fern	0,29	0,30	0,32	0,31	0,31	0,35	0,43	0,43	0,30	0,43
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	43,3	22	27	36	38	35	35	35	42	40
		fern	43,3	46	48	46	47	52	61	63	49	70
B Unfalltypen 1, 4 bis 7	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,57	1,42	1,66	1,74	1,60	1,51	1,54	1,45	1,41	1,38
		fern	1,57	1,59	1,55	1,50	1,56	1,63	1,63	1,85	2,25	3,31
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,23	0,12	0,15	0,18	0,21	0,19	0,20	0,21	0,21	0,21
		fern	0,23	0,24	0,25	0,25	0,24	0,27	0,27	0,28	0,30	0,43
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	36,3	22	27	31	34	31	33	33	33	33
		fern	36,3	38	39	38	38	41	42	44	49	69

32 Zufahrten, U(P) = 44, U(S) = 125

Abbildung E-7: Entwicklung der Unfallkenngrößen für Übergangsart KP-VZ wartepflichtige Zufahrt mit Z 205 bzw. Z 206 StVO und KP-KV (Kreisverkehr), Festlegung der Einflusslänge auf L = 200 m

			Gesamtstrecke	Abstand A zum Knotenpunktbereich [m]								
				1000 m	100	200	300	400	500	600	700	800
A (alle Unfalltypen)	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,76	1,36	1,56	1,59	1,69	1,65	1,70	1,65	1,70	1,71
		fern	1,76	1,80	1,80	1,82	1,80	1,86	1,84	2,00	1,98	2,20
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,25	0,19	0,23	0,22	0,24	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24
		fern	0,25	0,26	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,28	0,31
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	39,4	30	36	35	37	37	38	38	38	38
		fern	39,4	40	40	42	41	42	43	43	44	49
B Unfalltypen 1, 4 bis 7	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,73	1,36	1,55	1,59	1,68	1,64	1,70	1,64	1,69	1,69
		fern	1,73	1,77	1,77	1,79	1,76	1,81	1,77	1,93	1,90	2,05
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,22	0,16	0,21	0,20	0,22	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22
		fern	0,22	0,22	0,22	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23	0,22	0,23
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	35,5	27	33	33	35	34	35	35	35	35
		fern	35,5	36	36	37	36	37	37	38	37	39

427 Zufahrten, U(P) = 754, U(S) = 2.868

Abbildung E-8: Entwicklung der Unfallkenngrößen für Übergangsart KP-VZ bevorrechtigte Zufahrt mit Z 306 StVO, Festlegung der Einflusslänge auf L = 300 m

			Gesamtstrecke	Abstand A zum Knotenpunktbereich [m]								
				1000 m	100	200	300	400	500	600	700	800
A (alle Unfalltypen)	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,74	1,71	1,70	1,76	1,76	1,70	1,71	1,69	1,65	1,73
		fern	1,74	1,74	1,76	1,74	1,73	1,78	1,79	1,88	2,11	1,90
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,21	0,12	0,19	0,16	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21
		fern	0,21	0,22	0,21	0,23	0,21	0,22	0,24	0,24	0,24	0,21
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	34,5	24	32	28	34	34	33	33	33	34
		fern	34,5	35	35	37	35	36	38	38	39	35
B Unfalltypen 1, 4 bis 7	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,70	1,73	1,69	1,74	1,74	1,69	1,70	1,67	1,63	1,70
		fern	1,70	1,70	1,71	1,69	1,68	1,72	1,71	1,79	2,02	1,78
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,19	0,12	0,17	0,13	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,19
		fern	0,19	0,19	0,19	0,21	0,19	0,19	0,21	0,21	0,20	0,18
	UKR [€/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	31,5	24	29	25	31	31	30	30	31	32
		fern	31,5	32	32	34	32	32	34	34	35	31

79 Zufahrten, U(P) = 152, U(S) = 729

Abbildung E-9: Entwicklung der Unfallkenngrößen für Übergangsart KP-VZ bevorrechtigte Zufahrt mit Z 306 StVO, baulicher Veränderung und Beschränkung der V_{zul}, Festlegung der Einflusslänge auf L = 300 m

			Gesamtstrecke	Abstand A zum Knotenpunktbereich [m]								
				1000 m	100	200	300	400	500	600	700	800
A Unfalltypen (alle Unfalltypen)	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,41	1,22	1,22	1,26	1,35	1,37	1,38	1,36	1,38	1,37
		fern	1,41	1,43	1,46	1,48	1,46	1,46	1,47	1,53	1,54	1,79
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,24	0,24	0,25	0,23	0,22	0,22	0,22	0,24	0,24	0,24
		fern	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,25	0,25	0,26	0,27
	UKR [E/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	36,7	35	37	34	34	34	34	36	36	36
		fern	36,7	36	37	38	39	40	38	38	39	42
B Unfalltypen 1, 4 bis 7	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,39	1,22	1,20	1,26	1,34	1,36	1,36	1,35	1,37	1,36
		fern	1,39	1,41	1,44	1,45	1,43	1,42	1,44	1,49	1,48	1,66
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,21	0,19	0,22	0,20	0,20	0,19	0,20	0,21	0,21	0,21
		fern	0,21	0,21	0,20	0,21	0,21	0,22	0,21	0,20	0,20	0,21
	UKR [E/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	32,4	29	34	31	31	31	32	33	32	32
		fern	32,4	33	32	33	33	34	34	32	32	34

147 Zufahrten, U(P) = 295, U(S) = 847

Abbildung E-10: Entwicklung der Unfallkenngrößen für Übergangsart KP-VZ bevorrechtigte Zufahrt mit Z 306 StVO, baulicher Veränderung und ohne Beschränkung der V_{zul}, Festlegung der Einflusslänge auf L = 300 m

			Gesamtstrecke	Abstand A zum Knotenpunktbereich [m]								
				1000 m	100	200	300	400	500	600	700	800
A Unfalltypen (alle Unfalltypen)	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,81	0,97	1,49	1,48	1,67	1,62	1,70	1,64	1,71	1,72
		fern	1,81	1,90	1,89	1,96	1,90	2,01	1,98	2,21	2,20	2,63
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,18	0,11	0,11	0,13	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17
		fern	0,18	0,19	0,20	0,21	0,20	0,21	0,21	0,21	0,23	0,29
	UKR [E/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	31,8	18	21	23	29	27	28	29	30	30
		fern	31,8	33	35	36	34	36	36	37	39	49
B Unfalltypen 1, 4 bis 7	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	1,77	0,89	1,44	1,44	1,63	1,57	1,66	1,59	1,66	1,69
		fern	1,77	1,87	1,85	1,91	1,86	1,97	1,94	2,20	2,21	2,55
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,16	0,11	0,11	0,12	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16
		fern	0,16	0,17	0,18	0,18	0,17	0,19	0,20	0,19	0,19	0,21
	UKR [E/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	29,0	18	20	21	26	25	25	27	28	28
		fern	29,0	30	31	32	31	33	34	34	34	39

61 Zufahrten, U(P) = 69, U(S) = 338

Abbildung E-11: Entwicklung der Unfallkenngrößen für Übergangsart KP-VZ bevorrechtigte Zufahrt mit Z 306 StVO, ohne baulicher Veränderung und Beschränkung der V_{zul}, Festlegung der Einflusslänge auf L = 300 m

			Gesamtstrecke	Abstand A zum Knotenpunktbereich [m]								
				1000 m	100	200	300	400	500	600	700	800
A Unfalltypen (alle Unfalltypen)	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	2,22	1,40	1,94	1,95	2,10	2,00	2,15	2,03	2,19	2,14
		fern	2,22	2,31	2,29	2,33	2,30	2,44	2,32	2,66	2,35	2,88
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,34	0,20	0,28	0,34	0,33	0,32	0,34	0,32	0,33	0,32
		fern	0,34	0,35	0,35	0,34	0,34	0,35	0,38	0,38	0,38	0,48
	UKR [E/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	52,5	31	45	51	51	50	52	49	51	50
		fern	52,5	55	55	53	53	55	59	60	57	74
B Unfalltypen 1, 4 bis 7	UR (S) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	2,19	1,40	1,94	1,95	2,10	2,02	2,17	2,05	2,19	2,14
		fern	2,19	2,28	2,25	2,29	2,25	2,37	2,23	2,53	2,21	2,63
	UR (P) [U/(10 ⁶ *Kfz*km)]	nah	0,30	0,18	0,27	0,32	0,32	0,30	0,31	0,29	0,30	0,29
		fern	0,30	0,31	0,31	0,29	0,29	0,29	0,28	0,32	0,30	0,34
	UKR [E/(10 ³ *Kfz*km)]	nah	47,7	30	43	49	49	47	49	46	48	47
		fern	47,7	50	49	47	47	48	45	52	48	55

140 Zufahrten, U(P) = 238, U(S) = 954

Abbildung E-12: Entwicklung der Unfallkenngrößen für Übergangsart KP-VZ bevorrechtigte Zufahrt mit Z 306 StVO, ohne baulicher Veränderung und ohne Beschränkung der V_{zul}, Festlegung der Einflusslänge auf L = 100 m (Vernachlässigung für Anschlussknotenpunkte)

E.4 Räumlicher Zusammenhang Übergangsart und Einflussbereiche

Beschreibung	Darstellung
<p>Übergang in Ortslage (Ortsdurchfahrt)</p> <ul style="list-style-type: none"> • mit Z 310 StVO „Ortstafel“ • Länge EB = 200 m 	
<p>Plangleicher Knotenpunkt</p> <ul style="list-style-type: none"> • bauliche Änderung der Zufahrt • Regelung durch LSA oder VZ, ggf. Beschränkung V_{zul} im Zusammenhang mit Knotenpunkt • fixer Knotenpunktbereich (100 m vom Schnittpunkt der Achsen) • Länge EB abhängig von Zufahrtregelung 	
<p>Plangleicher Knotenpunkt</p> <ul style="list-style-type: none"> • keine bauliche Änderung der Zufahrt • Zufahrtregelung durch LSA oder VZ mit Beschränkung V_{zul} in Zusammenhang mit Knotenpunkt • fixer Knotenpunktbereich (100 m vom Schnittpunkt der Achsen) • Länge EB abhängig von Zufahrtregelung 	
<p>Plangleicher Knotenpunkt</p> <ul style="list-style-type: none"> • keine bauliche Änderung der Zufahrt • Zufahrtregelung durch Z 306 StVO ohne Beschränkung V_{zul} in Zusammenhang mit Knotenpunkt • wenn Knotenpunkt Abschnittsgrenze darstellt fixer Knotenpunktbereich (100 m vom Schnittpunkt der Achsen), sonst Berücksichtigung als Anschlussknoten • kein EB 	
<p>Ein-/Ausfahrtbereich</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ein-/Ausfahrtbereich auf der betrachteten Strecke • variabler Knotenpunktbereich (maßgebend ist der Beginn bzw. das Ende der baulichen Veränderung) • Länge EB = 300 m 	
<p>Kreisverkehr</p> <ul style="list-style-type: none"> • fixer Knotenpunktbereich (100 m vom Schnittpunkt der Achsen) • Länge EB = 200 m 	

Abbildung E-13: Räumliche Anordnung und Entwicklung der Netzelemente in Abhängigkeit der Art des Übergangs und seinen baulichen bzw. verkehrstechnischen Randbedingungen

F Statistische Kontrollen und Verfahren

F.1 Mann-Whitney-U-Test

Beim Vergleich zweier empirischer Verteilungen sind gegenüber dem bekannten Kolmogorov-Smirnov-Test bei der Anwendung des Mann-Whitney-U-Tests weniger Voraussetzungen zu erfüllen. Dies ist u. a. der Fall, wenn die vorliegende Stichprobe nur einen geringen Umfang aufweist und die Bedingungen an eine normalverteilte Grundgesamtheit nicht erfüllt sind. Bei dem auf Ordinaldaten beruhenden Verfahren werden die zentralen Tendenzen zweier unabhängiger Stichproben bezüglich einer Rangskala geprüft (BORTZ 2004). Gemeinsam für alle Messwerte ist eine Rangreihe zu bilden, wobei die Summen der Rangplätze R beider Gruppen zur Berechnung der Prüfgröße U' herangezogen werden (Gl. 32). Maßgebend ist die kleinere der beiden Größen U . Als Kontrolle für eine korrekte Rangfolgenbildung gilt, dass die Summe beider U dem Produkt der beiden Stichprobenumfänge entsprechen muss.

$$U_i = n_i * n_j + \frac{n_i * (n_i + 1)}{2} - R_i \quad \text{Gl. 32}$$

U_i	Kritische Prüfgröße
R_i	Randsumme der Rangplätze Stichprobe i
n_i	Umfang Stichprobe i
n_j	Umfang Stichprobe j

Zwei Stichproben unterscheiden sich dann voneinander signifikant, wenn die relevante Größe U' einen kritischen U -Wert unterschreitet. Dieser kann für kleine Stichprobenumfänge (n_i und $n_j < 20$) aus Tafeln entnommen werden. Für größere Stichproben ist von einer Annäherung der U -Werte an eine Normalverteilung auszugehen. Die kritische Prüfgröße ist hierbei mit dem z -Wert der standardisierten Normalverteilung zu ermitteln (Gl. 33). Bei Auftreten von Ranggleichheit (Werte gleicher Größe) ist ein angepasster z -Wert zu ermitteln (Vergleiche BORTZ 2004).

$$z = \frac{U' - \frac{n_i * n_j}{2}}{\sqrt{\frac{n_i * n_j * (n_i + n_j + 1)}{12}}} \quad \text{Gl. 33}$$

z	z-Wert der standardisierten Normalverteilung
U'	Prüfgröße
R_i	Randsumme der Rangplätze Stichprobe i
n_i	Umfang Stichprobe i
n_j	Umfang Stichprobe j

F.2 4-Felder- χ^2 -Test

Der 4-Felder- χ^2 -Test findet Anwendung, wenn für Beobachtungen zwei Merkmalsalternativen vorliegen. Im klassischen Sinn ist darunter die vergleichende Bewertung der Merkmalskombination zweier Stichproben auf Unabhängigkeit zu verstehen. Aus der Aufstellung aller Kategorien in einer Matrix lässt sich die erwartete Häufigkeit jeder Merkmalskombination $E_{i,j}$ aus dem Produkt von Zeilen- und Spaltensumme dividiert durch die gesamte Beobachtungsanzahl ermitteln (Gl. 34). Zur Prüfung der Nullhypothese erfolgt der Vergleich des kritischen χ^2 -Werts mit dem berechneten χ^2 -Werts. Letzterer resultiert aus der Differenz zwischen beobachteten und den erwarteten Häufigkeiten, welche sich aus einer Verteilung proportional zu den Randsummen ergäbe (Gl. 35). Der kritische χ^2 -Wert ist aus den Kontingenztabellen mit einem Freiheitsgrad von $m = 1$ und einem zu wählenden Signifikanzniveau abzulesen. Überschreitet die Größenordnung des berechneten χ^2 das kritische χ^2 , so liegt ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Merkmalskombinationen vor.

$$E_{i,j} = \frac{\sum B_i * \sum B_j}{n} \quad \text{Gl. 34}$$

$E_{i,j}$	Erwartungswert der Merkmalskombination i,j
B_i	Zeilensumme der beobachteten Häufigkeiten j
B_j	Spaltensumme der beobachteten Häufigkeiten i
n	Umfang aller Beobachtungen

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \frac{(B_{i,j} - E_{i,j})^2}{E_{i,j}} \quad \text{Gl. 35}$$

χ^2	Berechneter χ^2 -Wert
$E_{i,j}$	Erwartungswert der Merkmalskombination i,j
$B_{i,j}$	Beobachtungswert der Merkmalskombination i,j

Eine Voraussetzung für die Anwendung des Tests ist in der Bedingung formuliert, dass die erwartete Häufigkeit je Feld die Größenordnung von 5 nicht unterschreiten sollte (BORTZ 2004). Bei Unterschreitung kommt die Anwendung des exakten χ^2 -Tests nach Fisher (Fisher-Yates-Test) in Frage. Dieser Test liefert auch bei einem sehr kleinen Stichprobenumfang vertrauenswürdige Ergebnisse. Resultat des Tests ist die Wahrscheinlichkeit P als eine Summe von Gliedern der hypergeometrischen Verteilung (Gl. 36). Diese entspricht der Aufstellung von Fällen, welche unter Berücksichtigung des kleinsten Produkts der Diagonalen für das am schwächsten besetzte Feld der Ausgangsmatrix, eine noch schwächere Besetzung des entsprechenden Feldes bei sonst konstanten Randsummen erlauben (SACHS 2004). Bei sehr schwach besetzten Feldern ist darauf zu achten, dass zum einen die Ergebnisse relativ grob ausfallen, zum anderen, dass die klassifizierten Einzelereignisse (bspw. Unfalltyp) unabhängig des Tests einem zufälligen Auftreten entsprechen.

$$P = \frac{(a+b)! * (c+d)! * (a+c)! * (b+d)!}{n!} * \sum_i \frac{1}{a_i! b_i! c_i! d_i!} \quad \text{Gl. 36}$$

P Wahrscheinlichkeit für schwächere Besetzung

i Tafeln mit schwächerer Besetzung

a,b,c,d Feldwerte

F.3 Korrelation

Die Korrelationsrechnung gibt Auskunft darüber, ob und in welchem Umfang stochastische Zusammenhänge (Abhängigkeiten) zwischen zwei Zufallsvariablen vorliegen. Als Kenngröße zur Beschreibung von Stärke und Richtung dient der Korrelationskoeffizient ρ . Der empirische Korrelationskoeffizient r stellt einen Schätzer für ρ dar (Gl. 37). Korrelationskoeffizienten mit $r = \pm 1$ weisen auf einen funktionalen Zusammenhang der betrachteten Größen hin, während für $r = 0$ beide Größen nicht korreliert (unabhängig) sind. Werte zwischen beiden Extremen zeugen von einem stochastischen Zusammenhang. Betragsmäßige Größenordnungen von $r \geq 0,5$ lassen auf eine deutliche Beziehung der analysierten Größen schließen. Voraussetzungen für die Anwendung des Korrelationskoeffizienten sind der lineare Zusammenhang zwischen beiden stetigen Variablen, welche nach Möglichkeit normalverteilt sind und unabhängig voneinander beobachtet wurden (SACHS 2004).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{Gl. 37}$$

r_{xy}	Empirischer Korrelationskoeffizient [-] (gepaarte Ausprägung)
x_i	Ausprägung Merkmal x für Fall i
y_i	Ausprägung Merkmal y für Fall i
\bar{x}	Mittelwert Merkmal x
\bar{y}	Mittelwert Merkmal y

Für einen empirischen Korrelationskoeffizienten einer Stichprobe ist der Nachweis zu führen, dass die ermittelte Größenordnung von r nicht ein zufälliges Ereignis der Stichprobe darstellt. Ob der ermittelte Zusammenhang auch für die Grundgesamtheit Gültigkeit besitzt, kann über einen Signifikanztest mittels der t -Verteilung geprüft werden. Für den Test gelten die oben genannten Randbedingungen der untersuchten Größen (Gl. 38). Besitzt der Betrag von $t_{\text{prüf}}$ gegenüber der zugrunde gelegten kritischen Prüfgröße t (aus der t -Verteilung) eine höhere Größenordnung, gilt, dass eine lineare Abhängigkeit zwischen beiden Größen besteht.

$$t_{\text{prüf}} = r * \sqrt{\frac{n - 2}{1 - r^2}} \quad \text{Gl. 38}$$

$t_{\text{prüf}}$	Prüfgröße t der Stichprobe
n	Stichprobenumfang
r	Korrelationskoeffizient

Zu beachten ist, dass Korrelationskoeffizienten mit deutlichem Unterschied von Null nicht zwangsläufig auf eine Verbindung der betrachteten Größen schließen lassen. Häufig korrelieren diese Größen – für die kein unmittelbarer kausaler Zusammenhang vorliegt – über ein weiteres Merkmal. Weiterhin wird die Aussagekraft des Korrelationskoeffizienten dahingehend beschränkt, dass nur lineare Zusammenhänge zwischen beiden Größen erfasst werden können.

In vielen Fällen sind die betrachteten Merkmale nicht normalverteilt. Die Rangkorrelation nach Spearman (r_s) bietet die Möglichkeit intervallskalierte ordinale Größen miteinander zu vergleichen. Das Verfahren findet auch bei kleinen Stichprobenumfängen Einsatz und bietet wesentliche Vorteile bei monotonen nichtlinearen Zusammenhängen (SACHS 2004). Ausgangsbasis bildet die Rangfolgenbildung mit Rangziffern jeder Beobachtung beider Merkmale, aus denen sich die Differenz jedes Rangpaares ermitteln lässt. Die Funktion kommt auch bei einem oder zwei dichotom klassifizierter

Merkmale mit geringen Abweichungen bei der Ermittlung des Korrelationskoeffizienten in Frage (SACHS 2004).

$$r_s = 1 - \frac{6 * \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \quad \text{Gl. 39}$$

r_s	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
n	Stichprobenumfang
D	Differenz der Rangplätze

F.4 Regression

Regressionen dienen dazu, Zusammenhänge zwischen zwei Merkmalen mathematisch – nach Möglichkeit genau – zu beschreiben. Die Zusammenhänge können sowohl stochastischer als auch funktionaler Natur sein. Der Korrelationskoeffizient hilft, den ermittelten Zusammenhang zu qualifizieren. Im Allgemeinen wird eine Zielgröße Y über die unabhängige Größe X beschrieben, wobei – eine Normalverteilung beider Größen vorausgesetzt – eine lineare Beziehung zwischen beiden Größen unterstellt wird, welche mittels zweier Parameter abgeschätzt wird. Die Betrachtung von lediglich zwei Variablen, X und Y , entspricht der Gruppe einfacher – häufig linearer – Regressionen (Gl. 40). Multiple Regressionen umfassen in der Regel mehrere unabhängige Variablen X_n (Prädiktoren) sowie eine Zielgröße Y .

Bei stochastischen Zusammenhängen beschreibt die Größe ε die Abweichung (Residuum) zwischen beobachtetem und berechnetem Wert. Die Summe aller Abweichungen entspricht der Restvarianz. Auf Basis der Methode der Kleinsten Quadrate oder der Maximum-Likelihood Methode erfolgt die Minimierung der Abweichungen, um eine hohe Anpassung der Funktion zu erzielen. Diesbezüglich werden die Regressionskoeffizienten der Funktion bestimmt. Für stochastische Zusammenhänge gilt, je höher die verbliebenen Residuen sind, desto geringer ist die Anpassungsgüte (quadratischer Korrelationskoeffizient bzw. Bestimmtheitsmaß) der Regressionsgeraden.

$$Y = a + b * x + \varepsilon \quad \text{Gl. 40}$$

Y	Zielgröße
x	unabhängige Größe
a	Anstieg der Funktion (additive Konstante)
b	Regressionskoeffizient
ε	Fehlerterm bei stochastischen Zusammenhängen

Mit Bezug auf stochastische Größen ist es Ziel einer jeden Regression, die Zusammenhänge zwischen der Zielgröße und der Einflussgröße über den beobachteten Bereich zu beschreiben und dabei die Abweichungen zwischen beobachteten Werten und der Funktion zu minimieren. Eine gute Beschreibung der Zusammenhänge liegt vor, wenn eine ausreichende Anpassungsgüte erzielt wird und die verbliebenen Residuen – (Differenz von beobachteter und berechneter Zielgröße) über den gesamten Beobachtungsbereich unsystematisch um den Mittelwert der Funktion streuen, wie es im unteren Teil der Abbildung F-1 der Fall ist. In diesem Fall liegt Homoskedastizität vor.

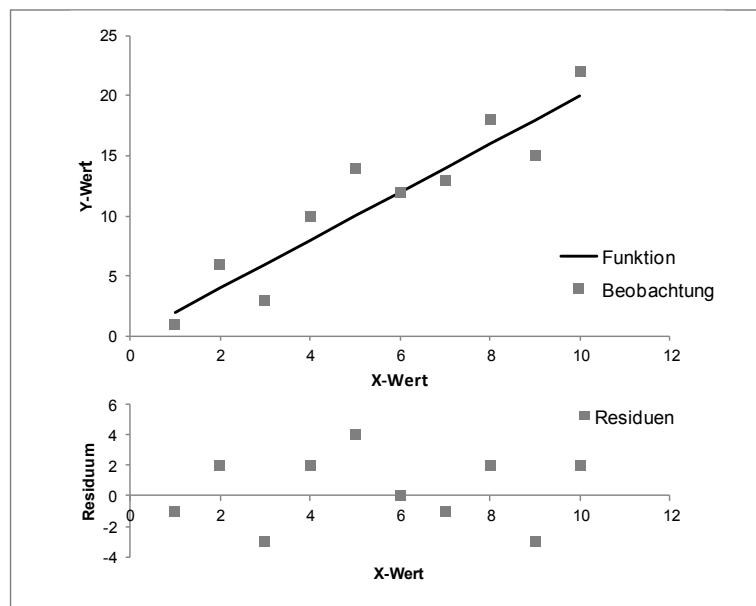


Abbildung F-1: Zusammenhang zwischen Regressionsgerade, beobachteten Werten und verbleibenden Residuen (es liegt Homoskedastizität vor)

Sind systematische Abweichungen im Verlauf der Residuen zu erkennen, ist das ein Indiz, dass die gewählte Funktion (Regression) die vorliegenden Zusammenhänge nur unzureichend beschreibt. Häufig lässt sich die Beziehung zwischen zwei Größen nicht über lineare Zusammenhänge, wohl aber über andere Funktionen – als Beispiel seien die Potenz- oder Logarithmusfunktion genannt – beschreiben. Diese gehören zur Familie der nichtlinearen Regressionsfunktionen. Auch hier gilt das Ziel, über geeignete Regressionsparameter eine Funktion zu finden, deren Resultat eine Minimierung der verbleibenden Residuen darstellt und deren Güte über den quadrierten Korrelationskoeffizienten beschrieben werden kann. Die Voraussetzung von Linearität und die dadurch notwendige Linearisierung der entsprechenden zugrunde liegenden Funktionen durch Transformation werden seit geraumer Zeit automatisiert durch gängige Statistikprogramme geboten. Darüber hinaus wird auch die Höhe der Regressionskoeffizienten über die Programme bestimmt. Die zur Anpassung der Funktion häufig verwendete Methode

der kleinsten Quadrate erfordert neben einer annähernden Normalverteilung um Null (Homoskedastizität) eine Unabhängigkeit der Residuen untereinander.

Auch bei multiplen Regressionen besteht der Wunsch, anhand einer Linearkombination einen möglichst zutreffenden Zusammenhang zwischen der Zielgröße Y und den Prädiktoren zu beschreiben (Gl. 41). Die Koeffizienten b_i beschreiben die Gewichtung mit der die jeweilige unabhängige Größe in der Vorhersage berücksichtigt wird. Es wird i. d. R. über die Methode der kleinsten Quadrate die geeignetste Linearkombination gesucht. Wesentliche Voraussetzung für die Rechnung mit mehreren Prädiktoren ist deren Unabhängigkeit zueinander. Liegt diese nicht vor spricht man von Multikollinearität, d. h., es ist nicht eindeutig nachvollziehbar, welche der betrachteten Größen zur Einflussbeschreibung wesentlich beiträgt – sie sind austauschbar. Die Schätzung der Regressionskoeffizienten wird instabil. Um diesen Effekt zu vermeiden, sollen vor der Modellerstellung die in Frage kommenden Prädiktoren auf Korrelationen zueinander geprüft werden. Es existieren keine fixen Grenzen ab wann ein nicht vertretbares Maß an Multikollinearität vorherrscht. Der Fall von $r = 0$ als auch $r = 1$ stellt ein sehr seltenes Ereignis dar. HUTCHESON/SOFRONIOU (1999) gehen bei $r \geq 0,8$ von Multikollinearität aus, AURICH (2013) verwendet bereits Beobachtungen mit $r \geq 0,5$ nur in begründeten Fällen.

$$Y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \varepsilon \quad \text{Gl. 41}$$

Y	Zielgröße
x_i	Unabhängige Größe i
a	Anstieg der Funktion (additive Konstante)
b_i	Regressionskoeffizient der Größe i
ε	Fehlerterm bei stochastischen Zusammenhängen

Eine Problematik der Methode der kleinsten Quadrate äußert sich in dem Umgang mit Ausreißern, welche basierend auf ihrer großen Abweichung – damit stärkeren Einfluss – eine wesentliche Beeinträchtigung in der Parameterschätzung darstellen können. Insbesondere in den beobachteten Randbereichen weisen diese Fälle einen wesentlichen Einfluss auf. Allgemein können diese Fälle – die Ursache ist in der Analyse des Datensatzes zu untersuchen – zu einer nicht exakten Parameterschätzung führen, sie „hebeln“ die Funktion aus (Abbildung F-2). Zur Überprüfung dieser Fälle stehen verschiedene Möglichkeiten der Kontrolle, wie die Berechnung von Hebelwert und Cook-Distanz oder grafische Abbildung der Residuen, zur Verfügung (HUTCHESON/SOFRONIOU 1999, STEVENS 2002).

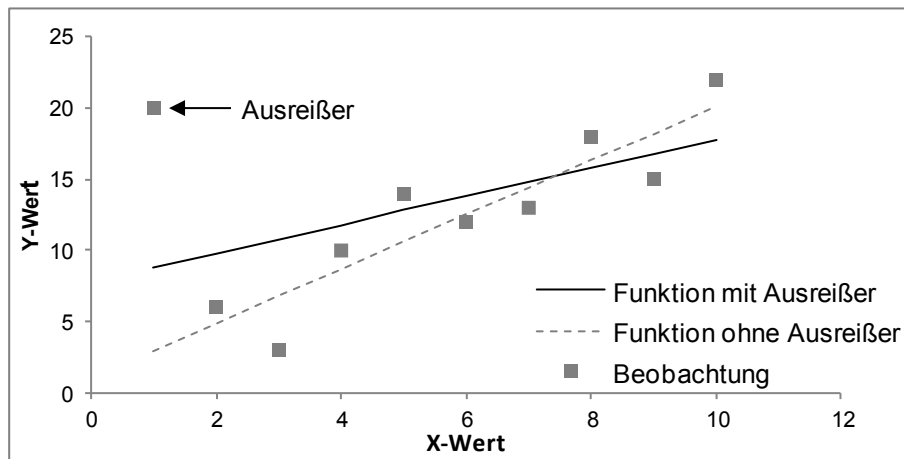


Abbildung F-2: Wirkung von Ausreißern auf die Lage der Regressionsfunktion

Der Hebelwert überprüft die Lage einer Beobachtung zur gesamten Stichprobe. Exponierte Lagen – bspw. Randlagen – werden mit einem hohen Hebelwert bedacht. Als optimal wird ein Hebelwert von Null angesehen. Als Grenzwert wird die von STEVENS (2002) definierte Überschreitung nach Gl. 43 verwendet. Fälle über diesem Grenzwert sind nicht kategorisch auszuschließen, sollten aber näher evaluiert werden

$$h_{ij} = \frac{1}{n} * \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Gl. 42}$$

h_{ij}	Hebelwert der Beobachtung i
n	Stichprobenumfang
x_i	Kovariable der Beobachtung i
y_i	Ausprägung Merkmal y für Fall i
\bar{x}	Mittelwert Merkmal x

$$HW = \frac{3 * (k + 1)}{n} \quad \text{Gl. 43}$$

HW	Hebelwert
k	Anzahl der Parameter im Modell
n	Anzahl Fälle

Die Cook-Distanz als weitere Größe beschreibt den Einfluss eines Falles auf die Schätzung der Regressionskoeffizienten. Eine hohe Cook-Distanz lässt somit einen erheblichen Einfluss des Einzelfalles auf das Modell erkennen. Die allgemeine Empfehlung, Cook-Distanzen größer dem Wert eins zu untersuchen, wird von (HUTCHESON/SOFRONIOU 1999) als zu liberal angesehen. Auf deren Festlegung zur Prüfung von Fällen mit einem Wert nach Gl. 45 wird in den Untersuchungen Bezug genommen.

$$CD = \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{\mu}_i - \hat{\mu}_{j(i)})^2}{k * MSE} \quad \text{Gl. 44}$$

CD	Cook-Distanz der Beobachtung i
k	Anzahl Modellparameter
MSE	mittlere quadratische Abweichung (mean squared error)
$\hat{\mu}_j$	geschätzter Erwartungswert von y für den Fall i
$\hat{\mu}_{j(i)}$	geschätzter Erwartungswert von y für den Fall i unter Ausschluss des Falls i

$$CD = \frac{4}{(n - k)} \quad \text{Gl. 45}$$

CD	Cook-Distanz
k	Anzahl der Parameter im Modell
n	Anzahl Fälle

F.5 Verallgemeinerte Lineare Modelle (GLM)

GLM finden im Bereich von Untersuchungen zur Verkehrssicherheit seit den 1980er Jahren Anwendung (MAYCOCK/HALL 1984, ZEGEER et al. 1987). Die Modelle unterliegen dabei einer ständigen Weiterentwicklung und werden dabei zur Lösung für verschiedene Fragestellungen herangezogen (MIAOU/LUM 1993, MAHER/SUMMERSGILL 1996, HAUER/BAMFO 1997, YE et al. 2011). Neben einer weiten Verbreitung im englischsprachigen und nordeuropäischen Raum, setzt sich deren Anwendung auch im deutschen Raum zunehmend durch (HEIDEMANN 1998, HAUTZINGER et al. 2010, SCHÜLLER 2010, AURICH 2013). Gegenüber den klassischen Regressionsmodellen besitzen sie den Vorteil, dass zwischen Zielgröße und Prädiktoren auch diskrete, schiefe und nichtlineare Beziehungen analysiert werden können.

Dieser Zugewinn an Optionen ist auf die Eigenschaften von GLM zurückzuführen, welche sich aus drei Komponenten zusammensetzen:

- Die stochastische Komponente umfasst die gewählte Verteilungsfunktion. Diese ist der exponentiellen Familie zugehörig. Aufgrund der Eigenschaften des Unfallgeschehens kommen die Poisson-Verteilung und die negative Binomialverteilung in Betracht. Es gilt, dass Unfälle über einen Betrachtungszeitraum mit einem mittleren Erwartungswert poissonverteilt auftreten (SCHÜLLER 2010).

$$\mu_i = \lambda_i * T_i \quad \text{Gl. 46}$$

μ_i	Erwartungswert
λ_i	stochastische Komponente
T	Betrachtungszeitraum

- Die systematische Komponente umfasst die über eine lineare Funktion beeinflussten Prädiktoren, daher auch linearer Prädiktor genannt. Dieser umfasst die unabhängigen Größen (Kovariablen) mit ihren Regressionskoeffizienten. Zur Abschätzung dieser, können verschiedene Verfahren wie die Methode der kleinsten Quadrate oder der Maximum-Likelihood herangezogen werden.

$$\eta = k + \sum_{i=1}^n x_i * \beta_i \quad \text{Gl. 47}$$

η	Linearer Prädiktor
x_i	Variable i
k	Konstante
β_i	Regressionskoeffizient der Variable i

- Als dritte Komponente verbindet die gewählte Verknüpfungsfunktion (Link) in Abhängigkeit der Verteilungsfunktion des Modells den linearen Prädiktor mit der abhängigen Variablen. Für poissonverteilte Zielgrößen eignet sich die Verwendung der Logarithmus- als Linkfunktion. Damit erlischt die Forderung an normalverteilte Kriteriumsvariablen und der konstanten Varianz der Residuen (SCHÜLLER 2010). Des Weiteren werden – wie bei der Betrachtung von Unfallereignissen vorausgesetzt – positive Ergebnisse sichergestellt.

$$g(\mu) = \eta \quad \text{Gl. 48}$$

$g(\mu)$	Linkfunktion g für Erwartungswert μ
η	Linearer Prädiktor

Aus der Verknüpfung der Bestandteile und des Lösen der Logarithmusfunktion durch die Umkehrfunktion e^x erhält man ein GLM in nachstehender Form. Daraus resultieren besondere Eigenschaften der Größen, die den Inhalt des Exponentialterms der Funktion darstellen. Ist die Ausprägung einer dieser Größen unbesetzt, wird deren Anteil am Modell vernachlässigt, während die Wirkung weiterer Größen unbeeinflusst im Modell Berücksichtigung finden.

$$\mu = e^\eta = e^{k + \sum x_i \cdot \beta_i}$$

Gl. 49

μ	Erwartungswert der Zielgröße
η	Linearer Prädiktor
x_i	Variable i
k	Konstante
β_i	Regressionskoeffizient der Variable i

Die Abschätzung der Regressionskoeffizienten beruht auf Anwendung der Maximum-Likelihood-Methode – welche die o. g. liberaleren Eigenschaften der GLM berücksichtigt – auf Basis der zugrunde gelegten Verteilungsfunktion der stochastischen Komponente. Dabei werden für das analysierte Kollektiv die Parametereinstellungen gesucht, welche die höchste Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Daten, wie sie in der behandelten Stichprobe vorliegen, liefern. Die Schätzung der Regressionskoeffizient erfolgt im verwendeten Statistikprogramm SPSS.

Als diskrete Verteilungen sind Poisson- und negative Binomialverteilungen ereignisorientiert, eine direkte Abbildung relativer Zielgrößen ist nicht möglich. Expositionsgrößen stellen Faktoren dar, dem eine Bezugsgröße ausgesetzt ist. Sie können die Zielgröße relativieren. Im Verkehrswesen stellt die auf einen Zeitraum (und Länge) bezogene Verkehrsleistung eines Elements eine gängige Exposition dar. In GLM kann die Exposition über zwei verschiedene Wege implementiert werden. Der Offset-Term setzt die Zielgröße in ein Verhältnis. Prinzipiell können verschiedene Größen im Offset-Term berücksichtigt werden – bei Modellen zur Erklärung der Unfallhäufigkeit ist es i. d. R. der Betrachtungszeitraum. Dementsprechend wird die Zielgröße auf einen Zeitraum (Jahr) normiert. Größen des Offset-Terms unterliegen der Einschränkung, dass sie immer linearen Einfluss besitzen. D. h., wird bspw. die Länge eines Abschnitts im Offset implementiert, wird Linearität zwischen Unfallanzahl und Länge unterstellt. Mögliche nichtlineare Beziehungen, wie es bspw. bei der Betrachtung der Länge von Streckenabschnitten von Stadtstraßen der Fall ist, werden unterdrückt (SCHÜLLER 2010, AURICH 2013). Eine andere Möglichkeit stellt die Berücksichtigung der logarithmierten Größe – Transformation abhängig von der Verbindungsfunktion – im Prädiktor der Funktion dar. Dies gilt bspw. für die Verkehrsstärke. Die Transformation führt zur der Eigenschaft, dass die Größe nicht mehr im Exponentialterm sondern als eigener Faktor mit dem Regressionskoeffizienten als Exponent aufgeführt wird. Für diese Größen gilt: In Fällen, in denen die Größe den Wert Null annimmt, ist das Ergebnis der Funktion ebenfalls Null ist. Weiterhin können nichtlineare Zu-

sammenhänge über den Regressionskoeffizienten beschrieben werden. Aus den aufgeführten Bedingungen ergibt sich folgende mögliche Form des Modells.

$$U = k * q^{\alpha_1} * L^{\alpha_2} * e^{\sum_{i=3}^i \alpha_i * x_i} \quad \text{Gl. 50}$$

U	Unfallanzahl im betrachteten Zeitraum (abhängige Variable)
k	Konstante
q	Kenngroße der Verkehrsstärke (Exposition)
L	Kenngroße der Länge des Netzelements (Exposition)
x	Einflussvariable (unabhängige Variable)
α	Regressionskoeffizient
i	Index für Einflussvariable und deren Regressionskoeffizient

Als Maß der Anpassungsgüte dient die Bewertung der Abweichung (Deviance) zwischen dem erstellten und einem vollständig erklärten Modell – letzteres besitzt die gleiche Anzahl an Parametern und Beobachtungen. In einem gut angepassten Modell wird von einer χ^2 Verteilung der Abweichungen ausgegangen. Unter dieser Annahme entspricht die Summe der Abweichungen gleich der Anzahl der Freiheitsgrade des betrachteten Modells – ermittelt aus der Subtraktion von Beobachtungen und der Anzahl der Modellparameter. Demgemäß liegt mit dem Wert Eins, als Ergebnis aus der Division von Summe der Abweichungen und Anzahl der Freiheitsgrade, eine perfekte Anpassungsgüte vor. Die Deviance wird für Poisson-Modelle wie folgt bestimmt.

$$D_{PM} = 2 * \sum_{i=1}^n \left[y_i * \log \left(\frac{y_i}{\hat{\mu}_i} \right) - y_i + \hat{\mu}_i \right] \quad \text{Gl. 51}$$

D_{PM}	Deviance für Poisson-Modell
y_i	Beobachtung
$\hat{\mu}_i$	Schätzwert des Poisson-Parameters

Eine weitere Beurteilungsgröße stellt Pearsons χ^2 dar. Aufgrund ihrer höheren Unabhängigkeit gegenüber dem Erwartungswert bietet sie Vorteile in der Bewertung der Anpassungsgüte (MAHER/SUMMERSGILL 1996). Auch in diesem Fall lässt die Division von Pearsons χ^2 und Anzahl der Freiheitsgrade des Modells Rückschluss auf die Varianz zu.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{\mu}_i)^2}{\mu_i} \quad \text{Gl. 52}$$

χ^2	Pearsons χ^2
y_i	Beobachtung
$\hat{\mu}_i$	Schätzwert des Poisson-Parameters

Die Entwicklung eines Modells folgt dem Ziel, den Teil systematischer Streuung der abhängigen Zielgröße durch beschreibende Größen vollständig zu klären, so dass nur noch die stochastische Komponente der Streuung aus der Verteilungsfunktion übrig bleibt. Die Streuung entspricht der Varianz des Modells. Die Annahme eines poisson-verteilten Unfallgeschehens legt die Anwendung von Regressionsmodellen auf Basis der Poissonverteilung nahe. Aus praktischer Sicht ist eine Berücksichtigung aller mutmaßlichen Einflussgrößen zur Modellerklärung nur schwer möglich, so dass in den Modellen u. U. ein Anteil systematischer Varianz – Streuung, die nicht auf die stochastische Komponente der Verteilungsfunktion zurückzuführen ist – unerklärt bleibt. Eine ungenügende Koeffizientenschätzung ist die Folge. Ist der Anteil systematischer Varianz nicht vollständig erklärt, besitzt die Varianz einen Wert größer Eins. In diesem Fall liegt Überzufälligkeit (Overdispersion) vor. Dafür kommen die folgenden Gründe in Frage (MAHER/SUMMERSGILL 1996):

- fehlende Variable
- fehlerhafte Variable
- ungeeignete Modellbildung

Die beiden erstgenannten Einschränkungen können aufgrund der vorliegenden Daten nur zum Teil oder mit unverhältnismäßig hohem Aufwand überwunden werden. Für die ungeeignete Modellbildung gilt: Da die Poisson-Verteilung sinnbildlich die Auftretenshäufigkeit von Unfällen an einer Stelle über die Zeit beschreibt, fehlt ihr eine Abbildung der Differenzen mehrerer Stellen untereinander, welcher sinnbildlich über die Einflussvariablen erklärt werden soll und allgemein am ehesten durch eine Gammaverteilung repräsentiert wird. Die Möglichkeit einer verbesserten Parameterschätzung bietet die Verwendung der negativen Binomial-Verteilung (neg-Bin-Modelle) (MIAOU/LUM 1993, MAHER/SUMMERSGILL 1996). Gegenüber der Poisson-Verteilung werden bei dieser ebenfalls diskreten Verteilung zwei Parameter – Mittelwert und Streuparameter – beschrieben. Durch die Abbildung der verbleibenden systematischen Varianz mit einem eigenen Parameter – Annahme, dass diese gammaverteilt ist – werden die verbliebenen Regressionskoeffizienten um diesen Anteil bereinigt. Die Varianz weist somit den Wert eins auf. Um die Vergleichbarkeit verschiedener

Modellvarianten mit negbin-Verteilung zu erhalten, kann weiterhin die Varianz der Poisson-Verteilung als Indikator herangezogen werden. Somit wird eine Quantifizierung des Erklärungsanteils der Merkmale ermöglicht. Diesbezüglich werden entsprechende Parameter in der Modellbeschreibung aufgeführt.

Unterdispersion – Varianzen kleiner eins – treten allgemein seltener auf und lassen auf ein falsch angepasstes Modell deuten. Tendenziell kann bei geringen Kollektivgrößen oder für Kollektive mit geringem Erwartungswert Unterdispersion aufgrund der Überschätzung von Modellgrößen in Erscheinung treten.

Bei der Modellerstellung gibt es zwei Verfahren um Variable (Größen) in das Modell zu integrieren. In der Vorwärtsselektion werden nacheinander alle in Frage kommenden –plausiblen – Variablen auf ihren Erklärungsanteil geprüft. Die Variable mit dem höchsten Erklärungsanteil ist in aller Regel in das Modell aufzunehmen. In der daran anschließenden Wiederholung der Prozedur erfolgt eine erneute Prüfung der verbliebenen Variablen. Das Ende der Prozedur ist erreicht, wenn keine der Variablen mehr die geforderten Gütekriterien erfüllt. In einer rückwärtsgerichteten Selektion werden zu Beginn alle Variablen im Modell betrachtet. In diesem Fall werden nacheinander alle Variablen mit unzureichendem Erklärungsanteil bzw. Güte relegiert.

Eine weitere Randbedingung bei der Variablenaufnahme stellt die Vermeidung von Multikollinearität dar. Liegen innere Abhängigkeiten zwischen zwei oder mehreren Variablen vor, stellen diese insofern ein Problem dar, dass die Variablen austauschbar sind und nicht nachvollzogen werden kann, welche nun einen kausalen Einfluss besitzt (Vergleiche F.4). Allgemein ist die Aufnahme von unabhängigen Variablen fachlich zu begründen, wenn sie einen Korrelationskoeffizienten von $r \geq 0,5$ aufweisen. Über einen Wert von $r \geq 0,7$ wird von einer gemeinsamen Betrachtung nach AURICH (2013) Abstand genommen. Gegenüber der Korrelation nach Pearson weist die Ermittlung des Korrelationskoeffizienten auf Basis von Spearman den Vorteil auf, dass die Variablen nicht zwangsläufig lineare Zusammenhänge aufweisen müssen bzw. auch ordinale Variable verglichen werden können. Es gilt die Rangkorrelation nach Spearman als Test auf Multikollinearität. Bezüglich der bei der Modellerstellung angewandten Vorwärtsselektion besteht die Gefahr, dass bei der Wahl zwischen zwei korrelierenden Variablen lediglich der höhere Erklärungsanteil bei Vernachlässigung sachlogischer Argumentation über die Aufnahme einer Variablen entscheidet. Allgemein sollte die Variablenauswahl daher auch sachlogischen Argumentationen und Abwägungen folgen.

Voraussetzung für eine eventuelle Aufnahme in das Modell ist, dass die Variable einen signifikanten Nutzen zur Erklärung der Modellgüte – Prüfung auf Verringerung der Varianz mit Hilfe des Wald-Tests (Gl. 53) – als auch einen signifikanten Einfluss auf die Zielgröße – Prüfung der Modelleffekte mit Likelihood-Ratio-Test (Gl. 54) – besitzt. Letztere gibt Auskunft, inwieweit eine Variable zu einer besseren Modellerklärung beiträgt, da aufgrund der Interaktionen mehrerer Variablen im Modell die isolierte Betrachtung einer Variablen wenig Auskunft über ihren allgemeinen Erklärungsgehalt liefert. Mit dem Test wird die Differenz der Log-Likelihoods zweier Kandidatenmodelle M1 und M2 – mit p bzw. q Parametern – auf Signifikanz geprüft, wobei M2 das komplexere Modell darstellt. Die Statistik ΔD wird gegen eine χ^2 Verteilung mit $q - p$ Freiheitsgraden getestet (AURICH 2013).

Das Akaike-Informations-Kriterium AIC eignet sich, um den modellbezogenen Nutzen aufgenommener Variablen sowie die Modelle untereinander zu prüfen. Vereinfachend gilt, je niedriger der AIC, desto besser ist das Modell, wobei nicht der absolute Wert des AIC sondern die Differenz zwischen zwei Kandidaten maßgebend ist (BURNHAM/ANDERSON 2002). Für Modelle mit einem Quotienten aus Fallanzahl und verwendeter Parameter kleiner 40 wird der Rückgriff auf die korrigierte Prüfgröße AIC_C empfohlen. Der Vergleich verschiedener Kandidatenmodelle ist nur möglich, wenn sie auf dem gleichem Kollektiv beruhen.

$$W = \frac{\hat{\beta}_i^2}{\text{Var}(\hat{\beta}_i)} \quad \text{Gl. 53}$$

W	Wald-Teststatistik
$\hat{\beta}_i$	Geschätzter Parameter
Var()	Varianz

$$\Delta D = D_{M1} - D_{M2} \quad \text{Gl. 54}$$

ΔD	Likelihood Quotientenstatistik
D_{M1}	Deviance Modellvariante 1 (ohne Kandidaten)
D_{M2}	Deviance Modellvariante 2 (mit Kandidaten)

G Hinweise und Übersicht zu analysierten Variablen

Variablen, welche in der Analyse der Freien Strecke betrachtet werden, enthalten Tabelle G-1 und Tabelle G-2. Die Merkmale liegen in sehr unterschiedlichen Ausprägungen vor. In verschiedenen Fällen ist davon auszugehen, dass nur gewisse Bereiche der Ausprägung von Merkmalen einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit besitzen.

So ist zum Beispiel allgemein anerkannt, dass eine höhere Kurvigkeit mit einer Zunahme der UR einhergeht, während Differenzen im Bereich geringer Kurvigkeiten kaum Einfluss nehmen (LEUTZBACH/ZOELLMER 1988, DOHMEN et al. 1989). Dieser allgemeine Zusammenhang besitzt innerhalb einer bestimmten Bandbreite Gültigkeit. Für Abschnitte mit sehr hohen Kurvigkeiten ist zu vermuten, dass die UR gegenüber Abschnitten mit geringen Kurvigkeiten höher ausfällt, jedoch eine weitere Steigung der Kurvigkeit kaum mehr einen Einfluss auf die Höhe der UR nimmt. Weniger die Kurvigkeit als eine unstetige Abfolge von Trassierungselementen des Lageplans und die damit verbundene notwendige Veränderung des Geschwindigkeitsniveaus bestimmen die Unfallhäufigkeit. Sehr hohe Kurvigkeiten stehen mit einer Abfolge sehr enger Radien im Zusammenhang, welche zwangsläufig eine Adaption der Geschwindigkeit erfordern (EBERSBACH) und keine hohen Differenzen der gewählten Geschwindigkeit auf einem Abschnitt mehr erlauben. Ab diesem Punkt ist auch keine deutliche Zunahme der UR mit steigender Kurvigkeit mehr zu erwarten. Ähnliches gilt im Bereich sehr geringer Kurvigkeiten. Es ist nicht auszuschließen, dass die mittlere UR auf geraden Streckenabschnitten aufgrund sehr weiter Sichtweiten und hohem Geschwindigkeitsniveau tendenziell höher liegt. Um einen möglichen Wirkungszusammenhang dieser Bereiche identifizieren zu können, erfolgte daher eine Differenzierung des Merkmals der Kurvigkeit mittels der Variable `KU_Kat_X` in fixe und stetige Bereiche.

Im Rahmen der Untersuchung stellt die Abkürzung KAT eine Klassierung von in der Regel stetigen Variablen dar. Bspw. erfolgt die Klassierung der stetigen Variable FBB für den Q 11 mit der Größe `FBB_KAT_2` in Abschnitte mit $FBB < 8,0$ m und $FBB \geq 8,0$ m. Dabei sind die Klassierungen nicht zwingend dichotom. Grundvoraussetzung der Aufnahme einer diskreten nominalen bzw. ordinalen skalierten Variablen in das Modell ist,

dass sich alle Koeffizienten der Ausprägungen signifikant zueinander unterscheiden.

Tabelle G-1: Auswahl analysierter Variable mit Ausprägung auf Freie Strecke, Teil 1

	Variable	Niveau	Einheit	Erläuterung	Ausprägung (Anzahl)
Exposition / Verkehr	Länge	metrisch	m	Abschnittslänge	100 – 9.500
	DTV	kategorial	Kfz/24h	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr	250 – 36.600
	DTV_KAT	kategorial	-	klassierte Differenzierung des DTV	-
	DTV_SV	metrisch	Kfz/24h	Durchschnittlicher Täglicher Schwerverkehr	10 – 3.900
	DTV_SV_KAT_X	kategorial	-	klassierte Differenzierung des DTV_SV	-
Querschnitt	FBB	metrisch	m	befestigte Fahrbahnbreite	4,3 – 13,0
	FBB_KAT_X	kategorial	-	Klassierte Differenzierung der Fahrbahnbreite	-
	RSB	metrisch	m	Randstreifenbreite	0 – 2,5
	RSB_KAT_X	kategorial	-	Klassierte Differenzierung der Randstreifenbreite	-
	FSB	metrisch	m	Fahrstreifenbreite	2,1 – 4,9
	FSB_KAT_X	Kategorial	-	Klassierte Differenzierung der Fahrstreifenbreite	-
	Q 11,5+ 3FS	kategorial	-	Querschnittsdifferenzierung für Kollektiv Q 3FS nach Querschnitt	-
Lageplan	KU	metrisch	gon/km	Kurvigkeit des Abschnitts	0 – 701
	KU_KAT_X	metrisch	gon/km	Klassifizierung der Kurvigkeit eines Abschnitts in fixe und stetige Bereiche	0 – 701
	Di_MR_A	metrisch	Anz./km	Dichte Unterschreitung ausschließlich Mindestradius	0 – 6,3
	Di_RTT_Bo_Bo	metrisch	Anz./km	Dichte Überschreitung des Verhältnisses Bogen – Bogen um mehr als 20 % des guten Bereichs	0 – 7,4
	Di_RTT_Bo_Ge	metrisch	Anz./km	Dichte Überschreitung des Verhältnisses Bogen – Gerade um mehr als 20 % des guten Bereichs	0 – 6,7
	Di_RTT_Su	metrisch	Anz./km	Summe von Di_RTT_Bo_Bo und Di_RTT_Bo_Ge	0 – 9,8
	Di_RTT_A_Su	metrisch	Anz./km	Summe von Dichte Abweichung Elementfolge Bogen - Bogen und Elementfolge Bogen – Gerade ohne Unterschreitung Mindestradius	0 – 5,8
	Di_RTT_MR_Su	metrisch	Anz./km	Summe von Dichte Abweichung Elementfolge Bogen - Bogen und Elementfolge Bogen - Gerade mit Unterschreitung Mindestradius	0 – 7,8
	Di_RTT_MR_SU_KAT	metrisch	Anz./km	Dichte Abweichung von der Relationstrassierung mit gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius (maximale Dichte = 3/km) für einbahnige Abschnitte	0 – 3,0
	Di_RTT_A_SU_KAT	metrisch	Anz./km	Dichte der Abweichung von der Relationstrassierung ohne gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius (maximale Dichte = 3/km) für einbahnige Abschnitte	0 – 3,0
	Di_MR_A_KAT	metrisch	Anz./km	Dichte Unterschreitung des Mindestradius (maximale Dichte = 3/km) für einbahnige Abschnitte ohne gleichzeitiger Abweichung von der Relationstrassierung vom guten Bereich um mehr als 20 %	0 – 3,0
	Di_RTT_SU_2_KAT	metrisch	Anz./km	Entspricht (3* Di_RTT_MR_SU + Di_RTT_A_SU + Di_MR_A), (maximale Dichte = 9/km)	0 – 9,0
	Di_RTT_SU_4_KAT	metrisch	Anz./km	Entspricht (2* Di_RTT_MR_SU + Di_RTT_A_SU + Di_MR_A), (maximale Dichte = 6/km)	0 – 6,0
	Di_RTT_SU_X_KAT	metrisch	Anz./km	Klassierte Differenzierung der Variablen Di_RTT_MR_SU, Di_RTT_A_SU, Di_MR_A	-
	DI_FLP_KAT	metrisch	Anz./km	Entspricht (Di_RTT_MR_SU + Di_RTT_A_SU), (maximale Dichte = 2/km)	0 – 1,2
Höhenplan	HK	metrisch	%	Hügeligkeit	0 – 10,9
	DI_HSW_70	metrisch	Anz./km	Dichte Abschnitte mit Haltesichtweite für v = 70 km/h unterschritten	0 – 4,0
	DI_HSW_100	metrisch	Anz./km	Dichte Abschnitte mit Haltesichtweite für v =100 km/h unterschritten	0 – 2,5
	Di_ESZ	metrisch	Anz./km	Dichte Abschnitte mit entwässerungsschwacher Zone	0 – 4,7
	Di_NDG	metrisch	Anz./km	Dichte Nulldurchgänge (Querneigung QN = 0 %)	0 – 9,7

Tabelle G-2: Auswahl analysierter Variable mit Ausprägung auf Freie Strecke, Teil 2

	Variable	Niveau	Einheit	Erläuterung	Ausprägung (Anzahl)
Seitenraum / Umfeld	Su_Di_Kp_VZ	metrisch	Anz./km	Dichte Anschlussknotenpunkte mit Regelung durch VZ	0 – 4,8
	Su_Di_Kp_o_VZ	metrisch	Anz./km	Dichte Anschlussknotenpunkte ohne Regelung mit VZ (Wege und Grundstückszufahrten)	0 – 11,0
	AKP	metrisch	Anz./km	Kombination aus Su_Di_Kp_VZ und Su_Di_Kp_o_VZ	0 – 12,0
	PGS	metrisch	Anz./km	Dichte punktueller Gefahrenstellen (Kombination aus dieser Kategorie zugeordneter Merkmale)	0 – 8,1
	PGSAKP_3_KAT	metrisch	Anz./km	Entspricht (Di_PGS + 3* Su_Di_Kp_VZ + Su_Di_Kp_o_VZ), (bis zu einer Dichte von 4/km stetig darüber fixer Wert 8)	0 – 4 (8)
	PGSAKP_X_KAT	metrisch	Anz./km	Klassierte Differenzierung der Variablen Di_PGS, Su_Di_Kp_VZ und Su_Di_Kp_o_VZ	-
	KST	kategorial	-	Kreisstrukturtyp	-
	KST_KAT	kategorial	-	Klassierte Differenzierung Kreisstrukturtyp	-
	LGS	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit linienhaften Gefahrenstellen (Kombination aus dieser Kategorie zugeordneter Merkmale)	0 – 1,00
	RW	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit Radweg im Seitenraum	0 – 0,75
	BR	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit Baumreihe unmittelbar auf Bankett	0 – 1,00
	Wald	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit Baumreihe nach Böschungsmulde	0 – 1,00
	Su_BR_15	metrisch	Ant./km	Kombinationen aus Merkmal BR und Wald (BR * 1,5 + Wald)	0 – 1,50
Hi_SR_X	metrisch	Ant./km	Kombinationen aus Merkmalen PSE, BR, Wald und LGS	-	
Verkehrstechnik	Vzul	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit $V_{zul} > 100$ km/h (Q 21)	0 – 1,00
	Vzul_100	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit $V_{zul} = 100$ km/h	0 – 1,00
	Z 276	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit Überholverbot durch Z 276 StVO	0 – 1,00
	Z 103/105	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit Hinweis durch Z 103/105 StVO	0 – 1,00
	MM_X	metrisch	Ant./km	Anteil verschiedener Formen von (fehlender) Mittelmarkierung	-
	RM	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit Randmarkierung (verschiedene Ausprägungen)	-
	MM_Lücke	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnittslänge mit Zeichen Z 340 StVO (Leitlinie)	0 – 1,00
	MM_KAT	kategorial	-	klassierte Differenzierung von MM	-
	MMFBB	kategorial	-	Kombination und Klassierung von Merkmalen der Markierung Fahrtrichtungstrennung und Fahrbahnbreite	-
	SP_HI	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit passiver Schutzeinrichtung hinter der sich unmittelbar Bäume oder andere Hindernisse befinden	0 – 0,50
	SP_Frei	Metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit passiver Schutzeinrichtung ohne erkennbare Gefahrenstellen in unmittelbarer Nähe	0 – 0,82
	PSE	metrisch	Ant./km	Anteil Abschnitt mit passiver Schutzeinrichtung (Σ aller Arten)	0 – 1,00

Das Symbol X in der Beschreibung der Variablen entspricht einer Vielzahl von Variationen der Klassierung und/oder Zusammenfassung von Merkmalen innerhalb einer Variablen, die zur Erklärung der systematischen Varianz in den Modellen geprüft wurden. Diese sind nicht vertiefend aufgeführt. Die Vereinigung von Merkmalen und das Festlegen von Klassen folgen dabei sachlogischen Gesichtspunkten. Eine spätere Reproduzierbarkeit einzelner Größen muss gewährleistet bleiben. Die Gruppe der Variablen „Abweichung von der Lageplantrassierung“, als auch die Gestaltung des Umfelds (AKP und PGS) beschreibende Variable, eignen sich u. U. für eine Kumulation.

In der Datenaufnahme liegt eine feingliedrige Differenzierung für die Merkmale passive Schutz Einrichtung (PSE bzw. Fahrzeugrückhaltesysteme) und Fahrbahnmarkierung – sowohl für die Rand- als auch Mittelmarkierung – vor. Für PSE stand das Ziel im Vordergrund – neben einer allgemeinen Wirkungsanalyse – eine mögliche Differenzierung des Merkmals nach Gestaltung des rückwärtigen Raumes zu erzielen. Dies führt zur der allgemeinen Trennung in die Unterkategorien SP_HI und SP_frei.

Verschiedene Varianten nominalskaliertes Zusammenfassungen liegen für den Kreisstrukturtyp KST vor.

Die Kategorisierung der Anschlussknotenpunkte trennt in „mit Regelung durch Verkehrszeichen versehene Netzverknüpfungen (Kp_VZ)“ sowie als bedeutend eingestufte „Anschlüsse von Wegen und Grundstückzufahrten (Kp_o_VZ)“ ohne Regelung durch Verkehrszeichen. Es ist bekannt, dass die Kategorisierung letztgenannter Gruppe im erheblichen Maße subjektiven Einschätzungen unterliegt und eindeutige Randbedingungen allein aus den Befahrungsdaten nicht abzuleiten sind. Als Anhaltspunkte werden daher die Asphaltierung der unmittelbaren Zufahrten als auch der Eindruck einer relativ regelmäßigen Befahrung herangezogen.

Eine Besonderheit stellt auch die Variable „MM_LÜCKE“ dar, die sich aus den verschiedenen Arten der Fahrbahnmarkierung rekrutiert. Die Variable umschreibt den Anteil der Strecke, an denen das Überholen in eine oder beide Fahrtrichtung durch die Markierung mit Z 296 „einseitige Fahrstreifenbegrenzung“ bzw. Z 340 „Leitlinie“ erlaubt ist. Die Aufnahme des entsprechenden Verkehrszeichens Z 276 „Überholverbot“ erfolgt unabhängig. Im Rahmen der Untersuchungen liegen auch Merkmale vor, welche die Kombination von markierten und durch Verkehrszeichen angeordneten Überholverbot beschreiben.

Generell werden Verkehrszeichen für beide Fahrtrichtungen getrennt erfasst. Ihr Geltungsbereich (stationsbezogene Aufnahme) erstreckt sich von Anordnung bis zur Aufhebung der Vorschriftzeichen durch entsprechende Äquivalente. Der Wirkungsbereich von Gefahrenzeichen wird anhand der Streckencharakteristik über objektive und subjektive Merkmale bestimmt und quantifiziert. In Fällen, in denen Restriktionen der V_{zul} für bestimmte Verkehrsteilnehmerarten oder Wetterbedingungen in der Regel nur auf einen kleinen Anteil des jährlichen Verkehrsvolumens beschränkt sind, bleiben diese in der Aufnahme unberücksichtigt. Gleiches gilt für zeitliche Beschränkungen, es sei denn, die Beschränkung erfolgt zu Tageszeiten, an denen der Großteil des Verkehrsaufkommens abgewickelt wird. Der Wirkungsbereich des Z 103 und Z 105 StVO wird anhand des Streckenverlaufs festge-

legt. Wenn nicht anders beschrieben, gilt die Annahme einer V_{zul} von 100 km/h.

Die kombinierte Variable MMFBB, die Informationen zu Fahrbahnbreite und zur Trennung der Fahrtrichtungen durch Leitlinienmarkierung für den Q 9 beinhaltet, entspricht z. T. einem Stellvertreter für Bestandsquerschnitte nach RAS-Q 82 (FGSV 1982) und RAS-Q 96 (FGSV 1996). Dabei wird in Abschnitte, die eine FBB $\leq 6,0$ m und eine Mittelmarkierung zur Trennung der Fahrtrichtungen besitzen sowie Abschnitte mit einer FBB $> 6,0$ m unabhängig des Vorliegens einer Mittelmarkierung in einer Gruppe, gegenüber der Gruppe von Abschnitten die diese Kriterien nicht aufweisen, unterschieden.

Der besondere Stellenwert fahrbahnnaher Bäume bezüglich ihrer Wirkung auf die Unfallschwere ist bekannt (MEEWES 2001, HEGEWALD/WEBER 2008). Der Einfluss auf die Unfallschwere nimmt mit zunehmendem Abstand der Bäume deutlich ab. Weiterhin ist bekannt, dass die Gestaltung des Seitenraums so erfolgen soll, dass das Abkommen von der Fahrbahn nicht zu schweren Unfallfolgen führt (FGSV 2012). Diesbezüglich soll der Seitenraum nach Möglichkeit frei von Hindernissen sein. Ist dies nicht zu gewährleisten, sind Fahrzeugrückhaltesysteme erforderlich. Bäume und Baumreihen auf dem Bankett stellen eine wesentliche Verletzung dieser Forderungen dar, während Bäume im weiteren Seitenraum kein unmittelbares Defizit der Strecke repräsentieren. Zur Gewährleistung dieser Unterschiede bei möglichen Unfallfolgen wird in fahrbahnahe – auf dem Bankett angeordnet – und fahrbahnferne – hinter der Böschungsmulde, aber mindestens nicht auf dem Bankett – Standorte von Bäumen unterschieden. In beiden Fällen liegt eine Trennung durch Fahrzeugrückhaltesysteme zur Fahrbahn nicht vor. Bei Vorhandensein von Fahrzeugrückhaltesystemen erfolgt eine separate Kategorisierung selbiger (siehe oben). Eine Differenzierung zwischen Wald und Allee erfolgt nicht. Da der Übergang zwischen Allee und Einzelbaum nicht anhand eines Wertes zu fixieren ist und die festgelegte Einteilung für Alleen nach MEEWES (2005) als zu feingliedrig angesehen wird, gilt der Grenzwert für linienhafte Merkmale. Ein Baumbesatz mit Abständen größer ca. 100 m wird daher über punktuelle Gefahrenstellen (Einzelbaum) erfasst.

Die Vorgehensweise und Randbedingungen zur Aufnahme der den Querschnitt beschreibenden Merkmale ist unter Anhang B näher beschrieben.

I Parameter der Modelle Freie Strecke

I.1 Deskriptive Kenngrößen

Prinzipiell ist mit der Zunahme des Ausbaustandards – primär beschrieben über die befestigte Fahrbahnbreite – eine Abnahme des Unfallrisikos über alle Schwerekategorien festzustellen (Tabelle I-1). Während der Q 9 im Vergleich der einbahnigen Querschnitte unabhängig der Schwere die höchsten mittleren Unfallraten aufweist, sind diese für Q 3FS am niedrigsten. Die besonders niedrigen UR des Q 21 sind u. a. auf den hohen Ausbaustandard und die bauliche Trennung der Fahrtrichtungen zurückzuführen. Die Modelle nach Unfalltyp spiegeln die Abnahme des Unfallratenniveaus in Abhängigkeit des Bewertungsfalles wider. Insbesondere für den Typ 1 Fahrurfall ist eine deutliche Reduzierung der $UR_{(P, SS)}$ festzustellen (Tabelle I-2).

Gegenüber den restlichen Unfalltypen bleibt der Anteil der Fahrurfälle mit 53 bis 60 % unabhängig der betrachteten Bewertungsfälle nahezu konstant und stellt die dominierende Unfallkonstellation der Freien Strecke dar.

Tabelle I-1: Deskriptive Kenngrößen Grundkollektive Modelle der Freien Strecke nach Schwerekategorie

Bewertungsfall	Modell nach Schwere	Anzahl Unfälle	Anzahl Abschnitte	Länge [km]	Ø UD [U/km]	Ø UR [U/(10 ⁶ Kfz*km)]	DTV Bereich [Kfz/24h]
Q 9	U(P)	827	352	505	1,63	0,36	500 – 6.900
	U(SS)	293	354	597	0,49	0,13	
	U(LS)	2.783	232	309	9,00	2,66	
Q 2FS	U(P)	2.801	853	1.271	2,20	0,23	500 – 17.600
	U(SS)	989	872	1.288	0,76	0,09	
	U(LS)	9.802	455	657	14,92	1,71	580 – 17.600
Q 3FS	U(P)	265	65	94	2,82	0,12	3.560 – 22.080
	U(SS)	111	65	94	1,18	0,08	
	U(LS)	547	25	31	17,64	1,27	6.400 – 22.080
Q 21	U(P)	267	79	86	3,10	0,08	9.400 – 36.650
	U(SS)	140	76	80	1,75	0,04	
	U(LS)	818	48	46	17,7	0,47	9.300 – 35.800
EBMS	U(LS)	4.561	188	255	17,88	1,09	5.600 – 18.000

Tabelle I-2: Deskriptive Kenngrößen Grundkollektive Modelle der Freien Strecke nach Unfalltyp U(P,SS)

Bewertungsfall	Modell nach Unfalltyp	Anzahl Unfälle	Anzahl Abschnitte	Länge [km]	Ø UD [U/km]	Ø UR [U/(10 ⁶ Kfz*km)]	DTV Bereich [Kfz/24h]
Q 9	1	660	339	499	1,32	0,30	500 – 6.900
	6	257	342	501	0,51	0,09	
	A	182	338	499	0,36	0,11	
Q 2FS	1	1.502	696	1.094	1,37	0,17	500 – 17.600
	6	889	687	1.081	0,82	0,08	
	A	764	684	1.078	0,71	0,07	
Q 3FS	1	177	50	80	2,21	0,12	580 – 17.600
	R	118	50	80	1,47	0,07	
Q 21	1	232	78	86	2,69	0,06	9.400 – 36.650
	R	172	84	85	2,02	0,05	

Die gegenläufige Entwicklung von UD und UR über alle Querschnitte verdeutlicht den unterproportionalen Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit. Der Zunahme der UD auf breiteren Querschnitten steht eine Abnahme der UR gegenüber – ein Zusammenhang der durch VIETEN et al. (2010) bestätigt wird.

I.2 Parameter der Teilmodelle

Bewertungsfall		Q 9											
Teilmodell		U(P)				U(SS)				U(LS)			
Modellname		3.3.12				3.0.9				3.5.22			
Krit.	Variable	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b			
EX	Konstante	-15,348	****	,645	****	-15,539	****	,914	****	-10,175	****	,409	****
	ln (DTV)	,853	****	,082	****	,804	****	,114	****	,429	****	,054	****
LP	DI_RTT_MR_SU_KAT	,156	***	,047	**	,202	**	,072	**				
	DI_RTT_A_SU_KAT	,139	**	,051	**	,154	,065	,084	*				
VT	MMFBB (wenn Fall 2)	,436	**	,167	**					,296	**	,111	**
SR	SU_DI_KP_O_VZ	,069	*	,027	*					,065	**	,024	**
	SU_BR_15									,210	*	,092	*
HP	DI_HSW_100									,179	**	,064	**

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung I-1: Bewertungsfall Q 9, Modelle nach Schwerekatgorie

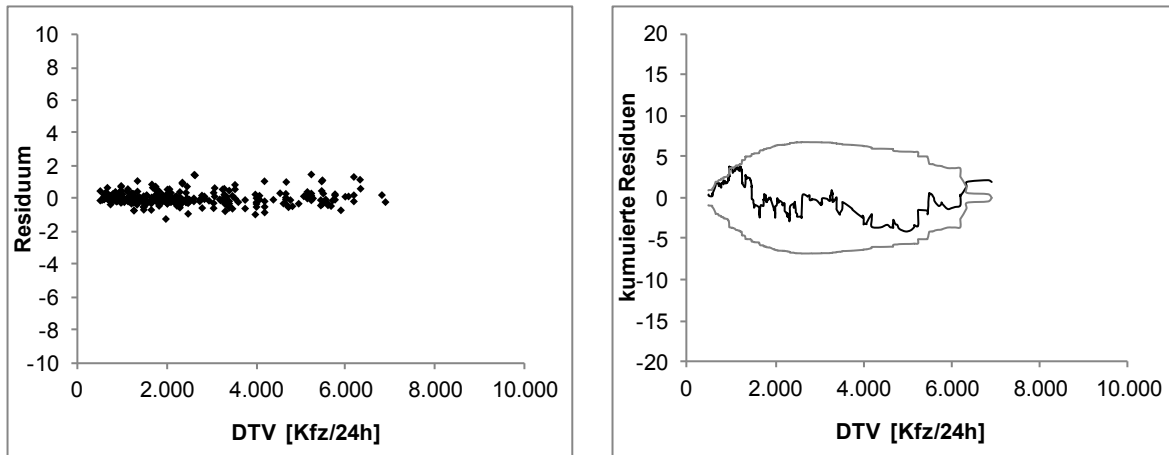


Abbildung I-2: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 9 Teilmodell U(P) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

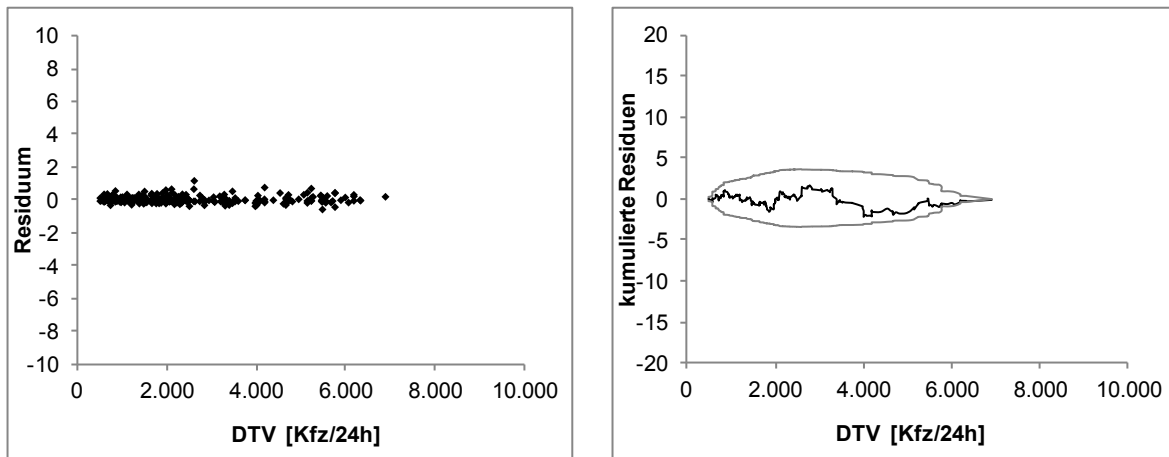


Abbildung I-3: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 9 Teilmodell U(SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

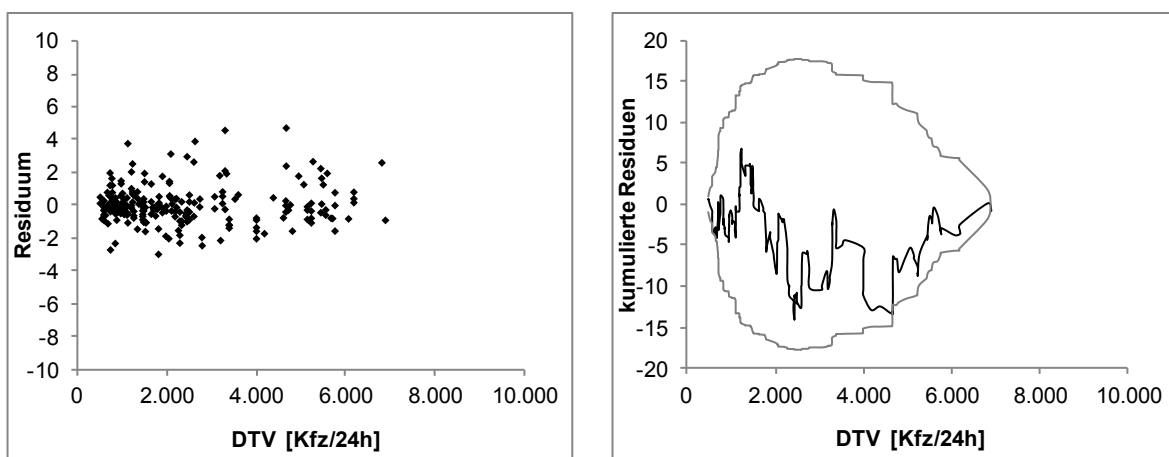


Abbildung I-4: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 9 Teilmodell U(LS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

Bewertungsfall		Q 9											
Teilmodell		Typ 1				Typ 6				Typ A			
Modellname		1.0.2				1.1				1.0			
Krit.	Variable	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-14,578	****	,753	****	-21,073	****	1,161	****	-13,567	****	1,193	****
	ln (DTV)	,674	****	,091	****	1,398	****	,135	****	,482	**	,154	**
LP	DI_RTT_MR_SU_KAT	,276	****	,053	****								
	DI_RTT_A_SU_KAT	,179	**	,058	**								
	DI_MR_A_KAT					,265	*	,105	**				
SR	SU_DI_KP_VZ									,674	****	,141	***
	SU_DI_KP_O_VZ	,073	*	,037	*								
	SU_BR_15	,191	,097	,115	,098								
VT	MMFBB (wenn Fall 2)	,585	**	,184	***								
	vzul_100 (Anteil v _{zul} = 100 km/h)					,933	*	,315	*				

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung I-5: Bewertungsfall Q 9, Modelle nach Unfalltyp

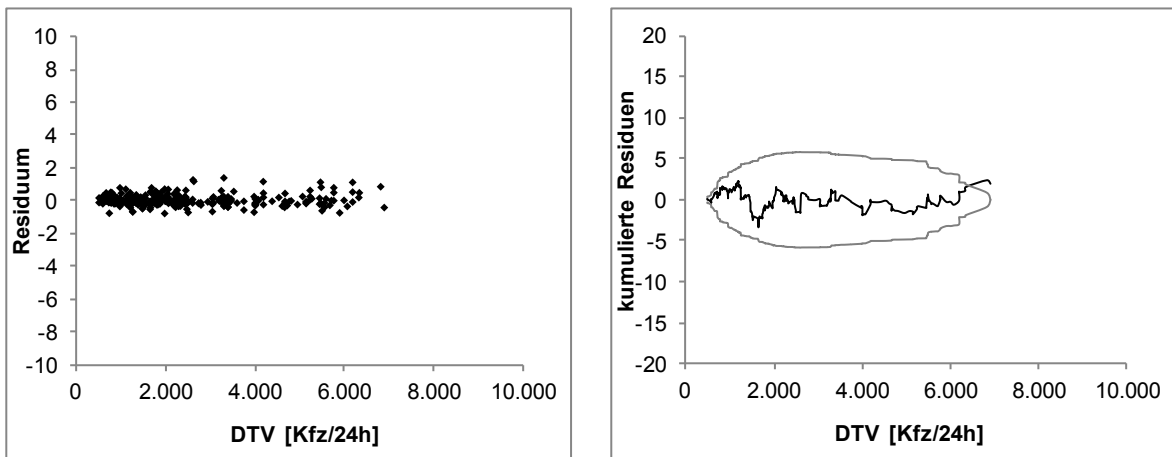


Abbildung I-6: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 9 Teilmodell Unfalltyp 1 U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

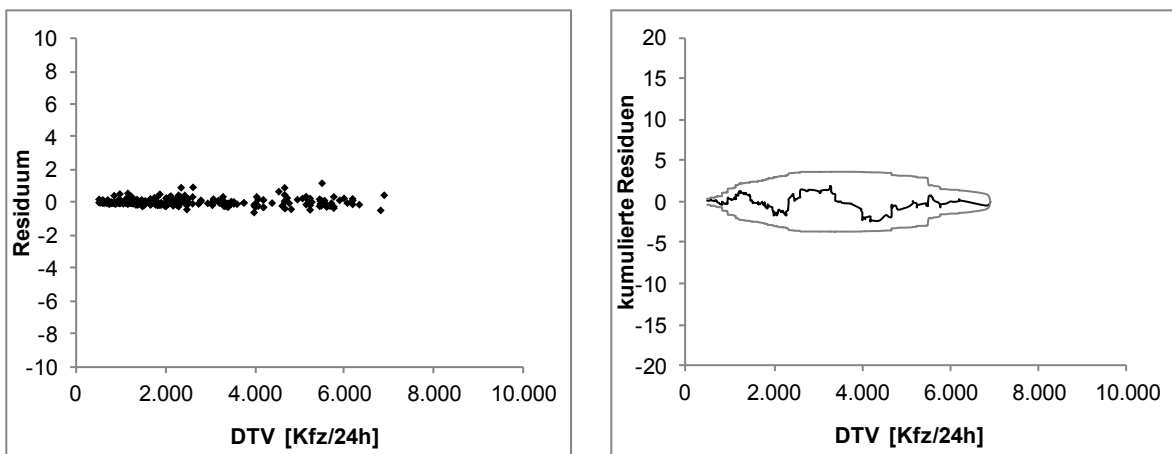


Abbildung I-7: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 9 Teilmodell Unfalltyp 6 U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

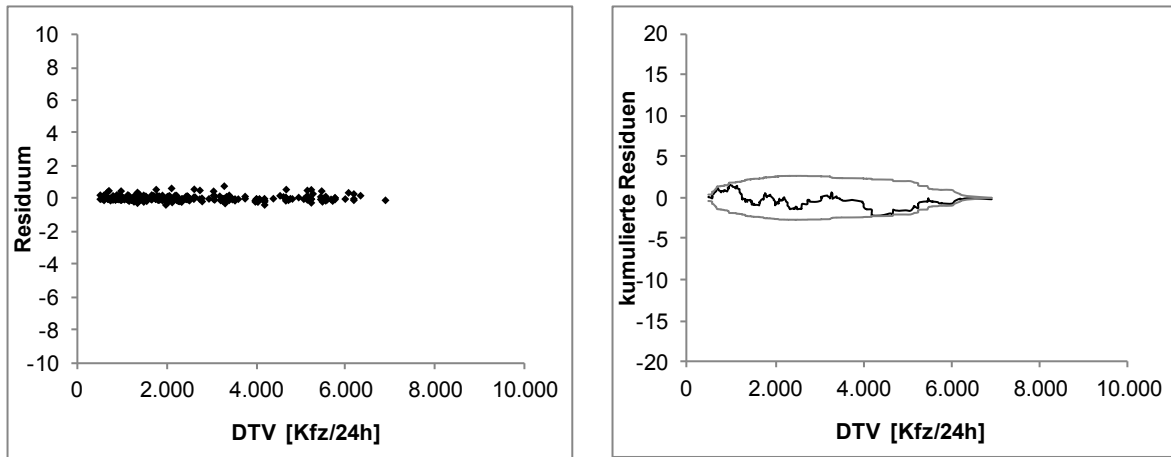


Abbildung I-8: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 9 Teilmodell Unfalltypgruppe A U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

Bewertungsfall		Q 2FS											
Teilmodell		U(P)			U(SS)			U(LS)					
Modellname		4.1.14			3.2			1.4					
Krit.	Variable	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b			
EX	Konstante	-15,187	****	,503	****	-15,810	****	,703	****	-10,872	****	,349	****
	ln (DTV)	,764	****	,049	****	,752	****	,076	****	,535	****	,037	****
LP	DI_RTT_SU_2_KAT	,071	****	,012	****	,121	****	,018	****				
	DI_MR_A_KAT					,113	,053	,058	,074				
QS	FSB_KAT (FSB < 3,5 m)	,209	***	,054	***								
	RSB_KAT (RSB < 0,5 m)	,253	*	,116	*								
	FBB_KAT_2 (FBB < 8,0 m)					,250	*	,100	*	,270	**	,063	**
HP	HK	,044	*	,018	*	,078	**	,029	*	,055	****	,013	****
SR	PGSAKP_3_KAT	,025	**	,008	**	,025	,075	,014	,087				
	SU_BR_15	,134	*	,067	*					,234	****	,059	**
VT	MM_Lücke	,247	*	,118	*								

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; **** p < 0,0001

Abbildung I-9: Bewertungsfall Q 2FS, Modelle nach Schwerekatgorie

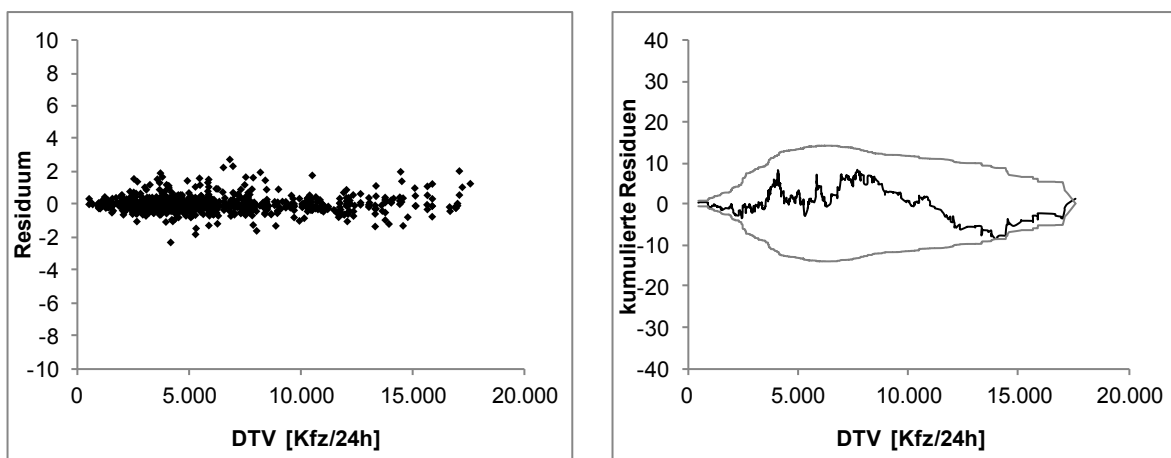


Abbildung I-10: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 2FS Teilmodell U(P) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

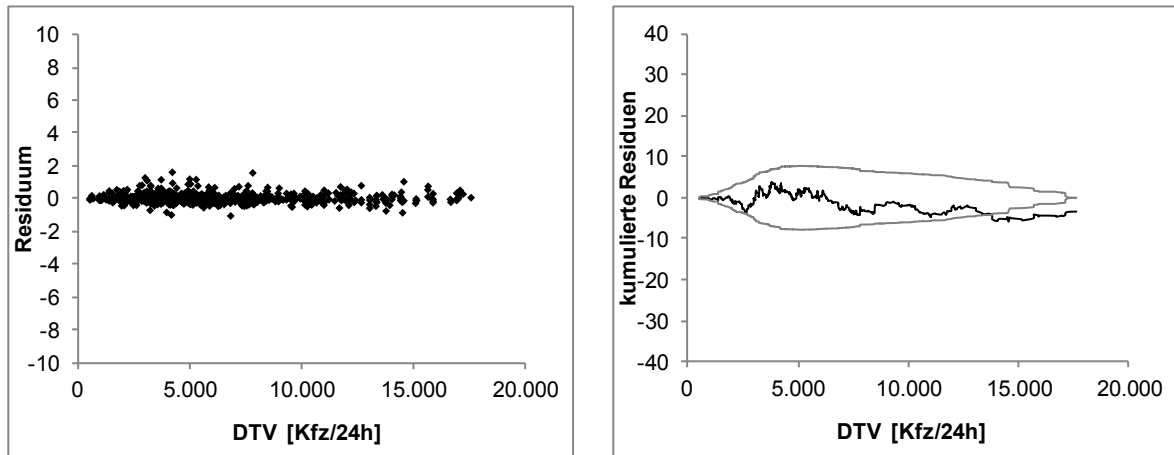


Abbildung I-11: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 2FS Teilmodell U(SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

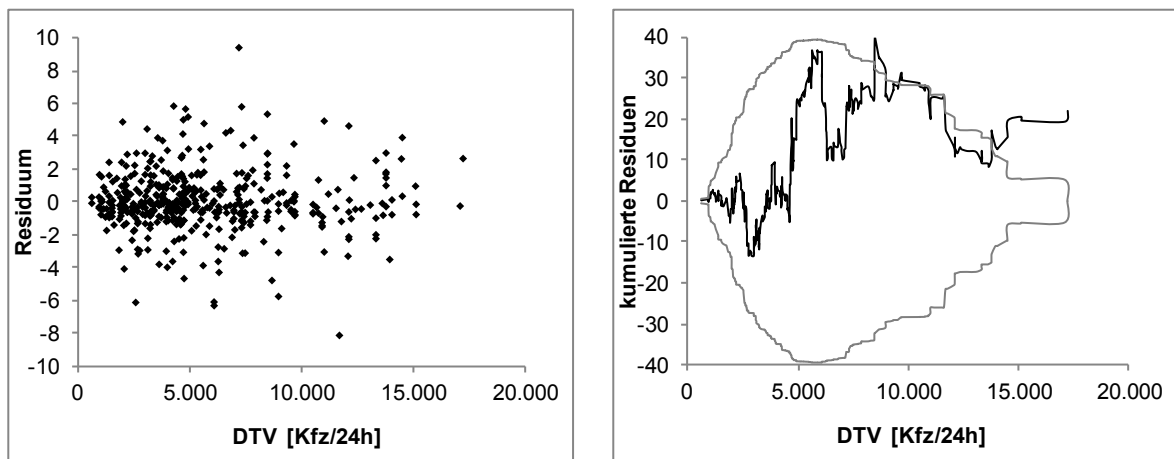


Abbildung I-12: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 2FS Teilmodell U(LS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

Bewertungsfall		Q 2FS											
Teilmodell		Typ 1			Typ 6				Typ A				
Modellname		1.1.4			3.1				1.0				
Krit.	Variable	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-13,894	****	,610	****	-19,175	****	,737	****	-16,728	****	,758	****
	ln (DTV)	,575	****	,066	****	1,147	****	,080	****	,830	****	,082	****
LP	DI_RTT_SU_4_KAT	,212	****	,190	****								
QS	FBB_KAT_2 (FBB < 8,0 m)	,263	**	,099	**	,294	**	,103	**	,532	****	,120	*****
HP	HK	,071	**	,025	**					,063	****	,013	*****
SR	SU_DI_KP_VZ	,145	*	,065	*					,057	,056	,029	,072
	PGSAKP_3_KAT												
	SU_BR_15	,227	*	,087	*								
VT	MM_Lücke					,392	*	,190	*				

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung I-13: Bewertungsfall Q 2FS, Modelle nach Unfalltyp

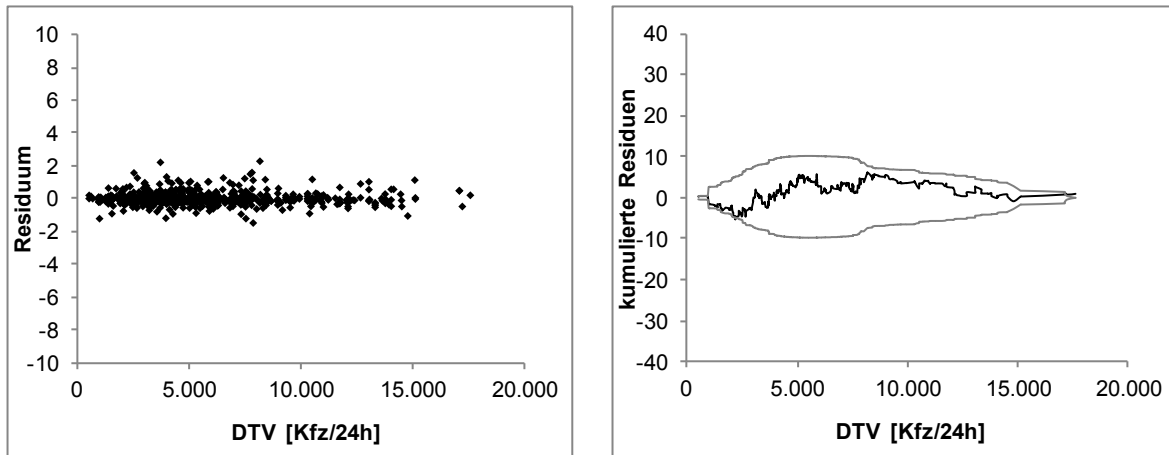


Abbildung I-14: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 2FS Teilmodell Unfalltyp 1 U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

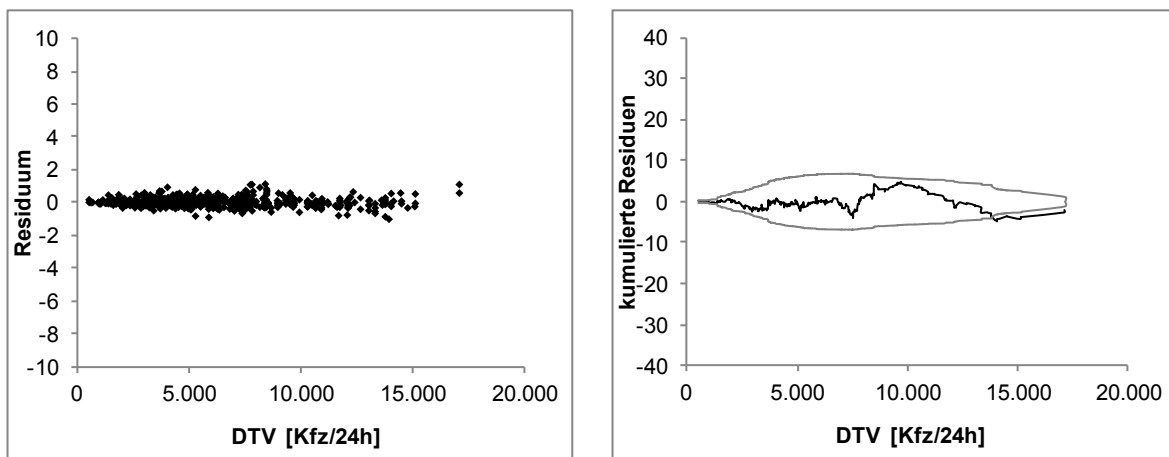


Abbildung I-15: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 2FS Teilmodell Unfalltyp 6 U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

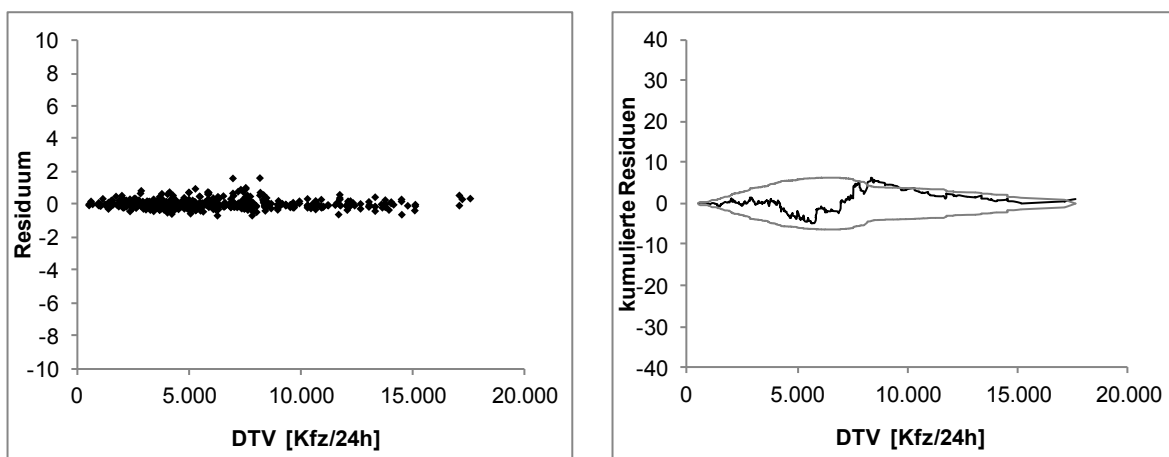


Abbildung I-16: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 2FS Teilmodell Unfalltypgruppe A U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

Bewertungsfall		Q 3FS											
Teilmodell		U(P)				U(SS)				EBMS U(LS)			
Modellname		1,5				1,0				V2.2			
Krit.	Variable	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a		Std.-fehler	p ^b
EX	Konstante	-15,129	****	1,751	****	-14,494	****	2,390	****	-10,810	****	1,139	****
	ln (DTV)	,758	****	,185	****	,582	*	,244	,066	,524	****	,122	****
QS	Q 11,5+ 3FS	,518	*	,212	*								
LP	KU	,008	*	,003	*								
HP	HK					,238	****	,060	**	,093	***	,025	**
SR	SU_BR_15									,252	**	,089	*

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; **** p < 0,0001

Abbildung I-17: Bewertungsfall Q 3FS, Modelle nach Schwerekatgorie

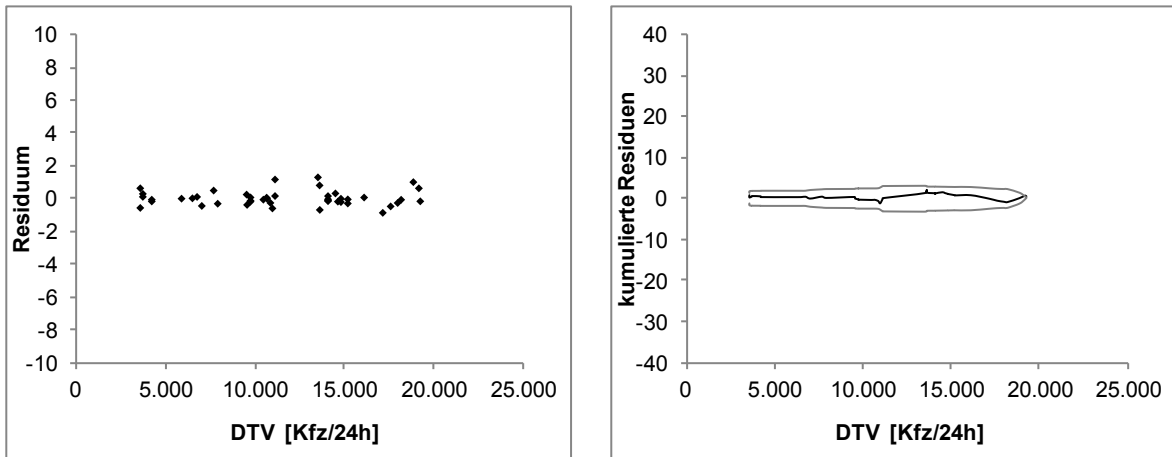


Abbildung I-18: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 3FS Teilmodell U(P) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

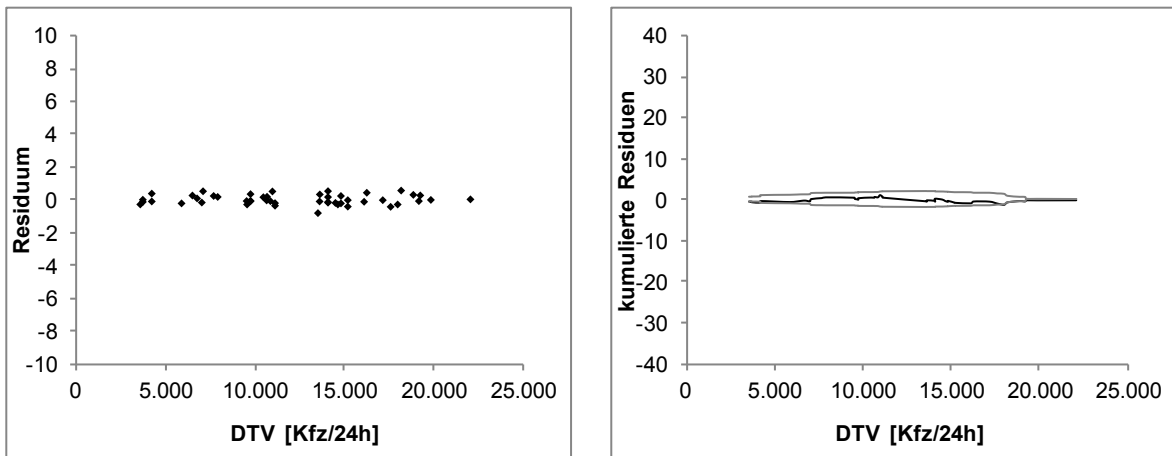


Abbildung I-19: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 3FS Teilmodell U(SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

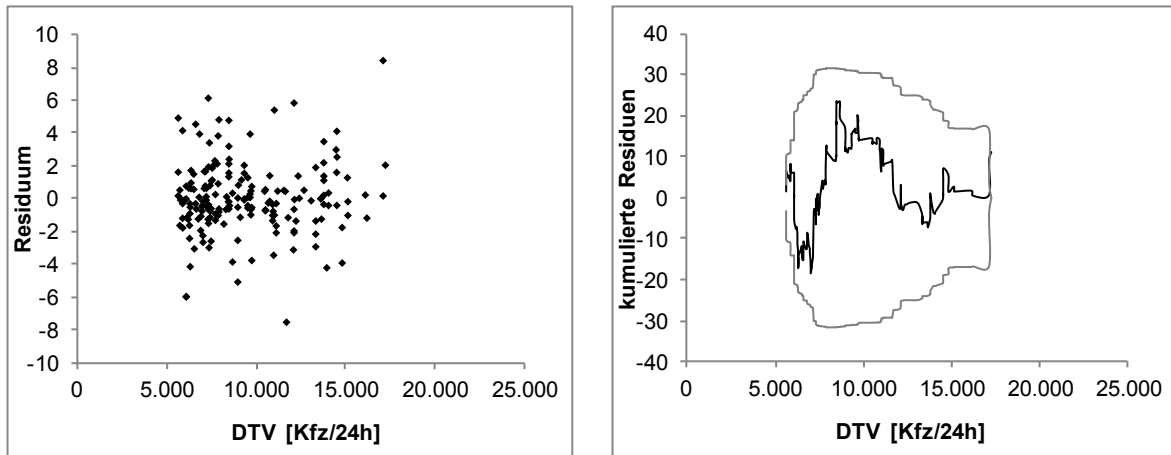


Abbildung I-20: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 3FS Teilmodell EBMS U(LS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

Bewertungsfall		Q 3FS							
Teilmodell		Typ 1			Typ R				
Modellname		1.1			1.1				
Krit.	Variable	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b		
EX	Konstante	-16,243	****	1,710	****	-17,443	****	1,990	****
	ln (DTV)	,823	****	,180	****	,989	****	,216	***
QS	Q 11,5+ 3FS	,360	*	,181	,070				
LP	DI_MR_A_KAT				,277	,069	,157	,089	
HP	HK	,162	**	,580	**				
SR	SU_BR_15	,871	*	,365	*				

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung I-21: Bewertungsfall Q 3FS, Modelle nach Unfalltyp

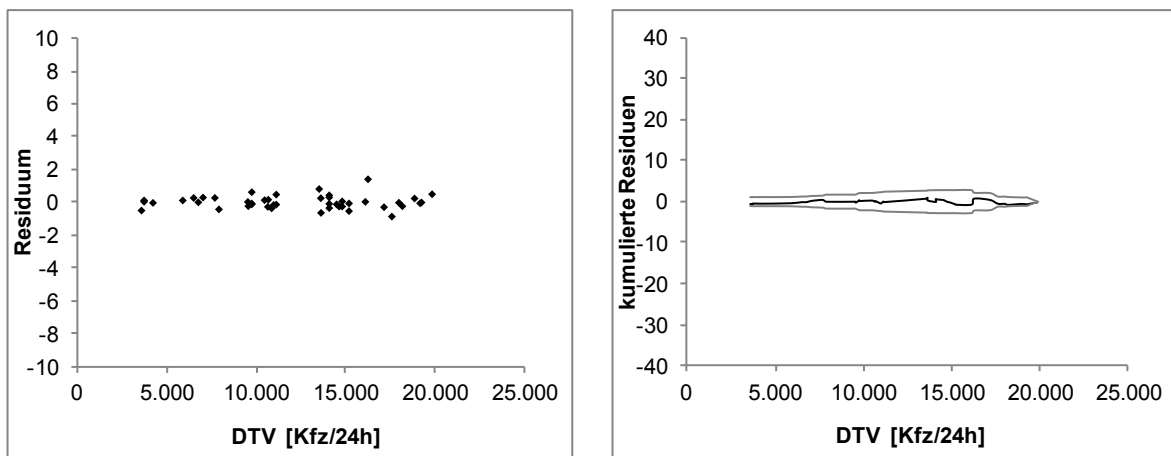


Abbildung I-22: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 3FS Teilmodell EBMS U(LS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

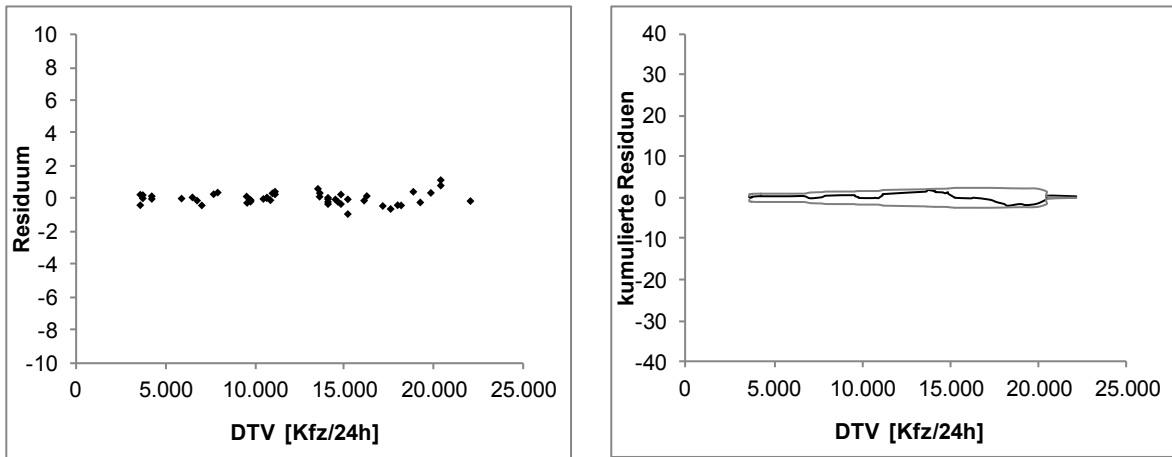


Abbildung I-23: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 3FS Teilmodell Unfalltypgruppe R U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

Bewertungsfall		Q 21											
Teilmodell		U(P)			U(SS)			U(LS)					
Modellname		1.1			1			1.3					
Krit.	Variable	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b			
EX	Konstante	-16,855	****	2,872	****	-16,154	***	4,143	****	-10,915	****	2,026	****
	ln (DTV)	,910	**	,282	***	,786	,059	,417	*	,506	*	,209	*
VT	Vzul (Anteil Vzul > 100 km/h)	,319	*	,158	,060								
LP	DI_FLP_KAT								,265	***	,071	*	
QS	FBB_KAT (FBB <7,75 m)	,377	,069	,208	,092								
	RSB_KAT (rechte RSB < 0,5 m)								,351	**	,111	**	
HP	KU					,019	*	,008	**				

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung I-24: Bewertungsfall Q 21, Modelle nach Schwerekatgorie

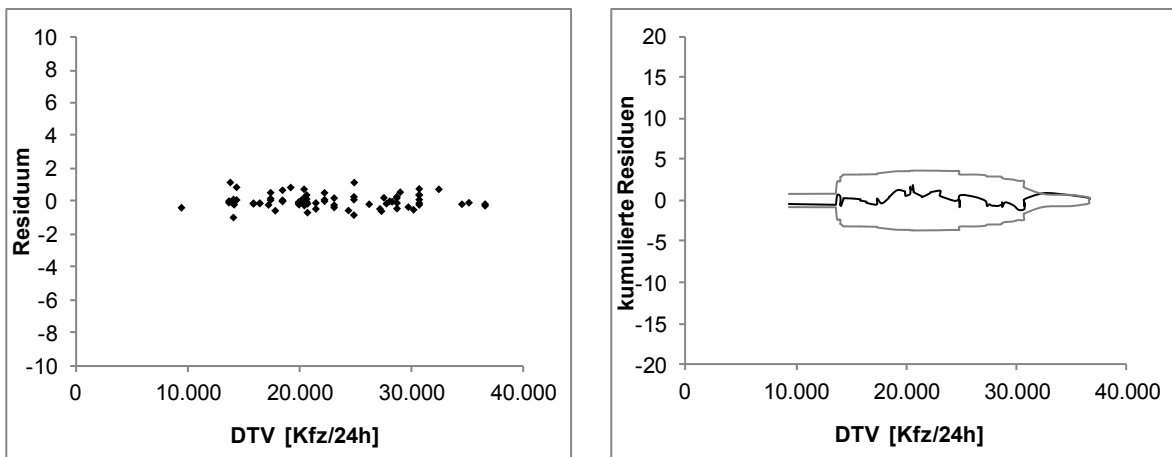


Abbildung I-25: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 21 Teilmodell U(P) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

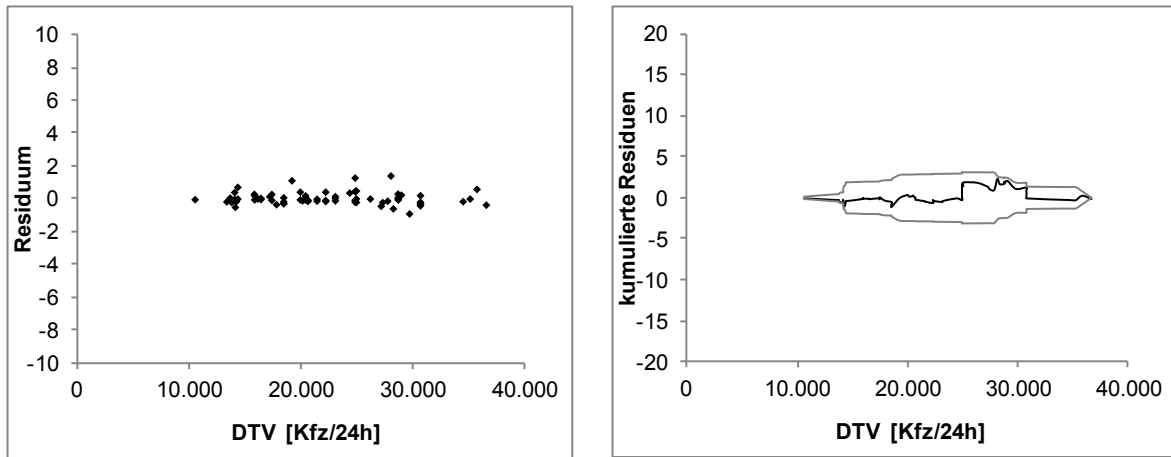


Abbildung I-26: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 21 Teilmodell U(SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

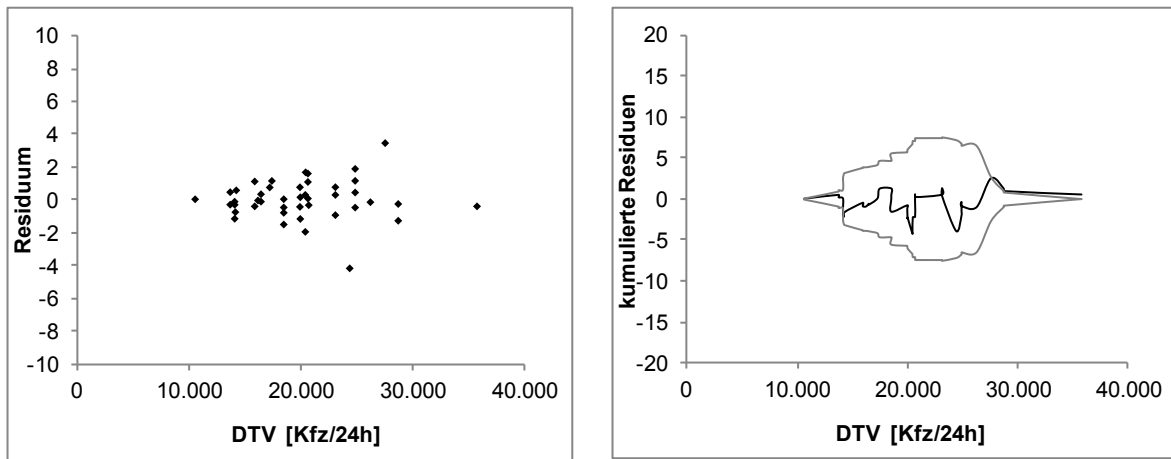


Abbildung I-27: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 21 Teilmodell U(LS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

Bewertungsfall		Q 21							
Teilmodell		Typ 1			Typ R				
Modellname		1.0			2.0				
Krit.	Variable	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b		
EX	Konstante	-14,613	****	2,878	****	-13,977	****	2,728	****
	ln (DTV)	,680	*	,293	*	,503	,067	,275	,078
VT	Vzul (Anteil Vzul > 100 km/h)					,700	****	,162	****
QS	FBB_KAT (FBB <7,75 m)					,973	****	,193	**
LP	KU	,019	**	,006	**				

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung I-28: Bewertungsfall Q 21, Modelle nach Unfalltyp

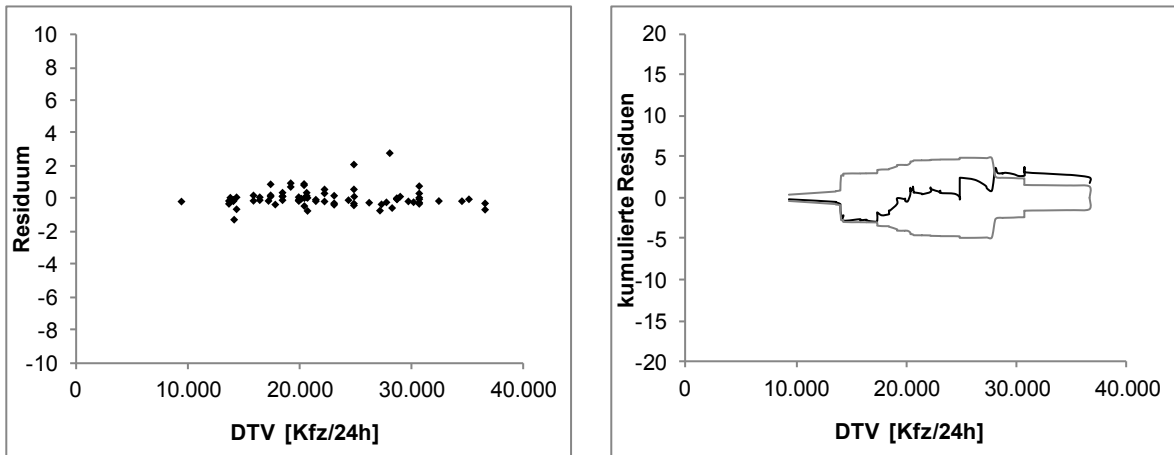


Abbildung I-29: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 21 Teilmodell Unfalltyp 1 U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

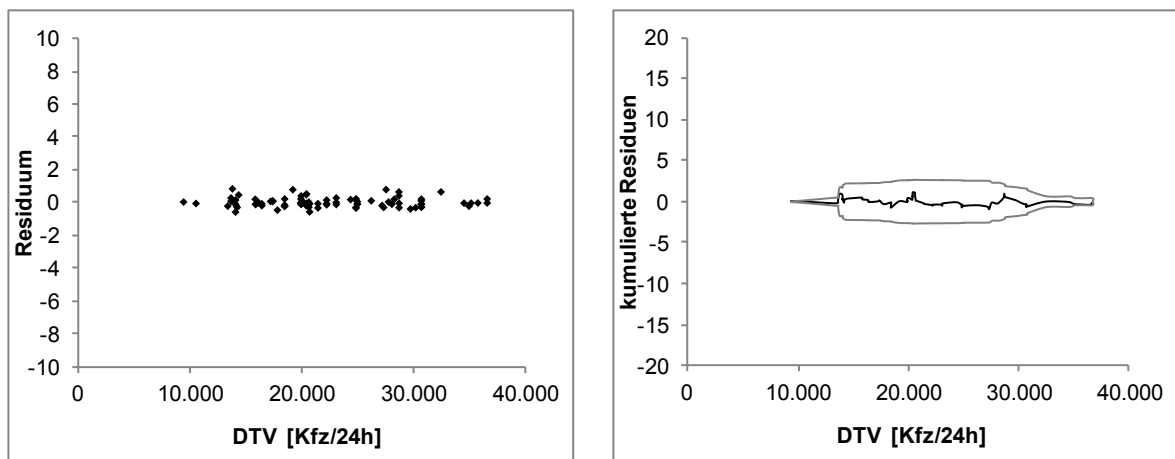


Abbildung I-30: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Bewertungsfall Q 21 Teilmodell Unfalltypgruppe R U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

J Parameter der Modelle Einflussbereiche

J.1 Deskriptive Kenngrößen

Tabelle J-1: Deskriptive Kenngrößen Grundkollektive Modelle der Einflussbereiche

Art des Übergangs	Teilmodell	Anzahl U(P, SS)	Anzahl Abschnitte	Länge [km]	Ø UD [U/km]	Ø UR [U/(10 ⁶ Kfz*km)]	DTV Bereich [Kfz/24h]
KP-VZ	Typ 1	119	453	131,1	0,91	0,10	500 – 12.600
	Typ R	141	538	156,5	0,90	0,09	
	U(LS)	920	274	79	11,64	1,53	
KP-LSA	Typ 6	76	150	45	1,69	0,07	3.200 – 24.900
	Typ V	90	150	45	2,00	0,10	
	U(LS)	422	86	25,8	16,36	0,94	
ODF Q 9	Typ 1	51	275	55	0,93	0,24	500 – 6.900
	Typ R	42	235	47	0,89	0,19	
	U(LS)	208	174	34,8	5,98	1,69	
ODF Q 2FS	Typ 1	95	390	78	1,21	0,16	500 – 15.000
	Typ R	90	451	90,2	1,00	0,11	
	U(LS)	457	247	49,4	9,25	1,13	

J.2 Parameter der Teilmodelle

Bewertungsfall	KP-VZ											
	Typ 1			Typ R			U(LS)					
Teilmodell	2			1			2					
Modellname	2			1			2					
	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b			
Konstante	-13,785	****	1,455	****	-16,638	****	,146	****	-10,669	****	,505	****
ln (DTV)	,579	**	,170	**	,937	****	,167	****	,536	****	,060	****
GF_1 (EL oder ER)	,426	,067	,232	,081					,145	,093	,087	,098

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung (Ausnahme Typ R), Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung J-1: Übergangsart KP-VZ, Modelle nach Unfalltyp

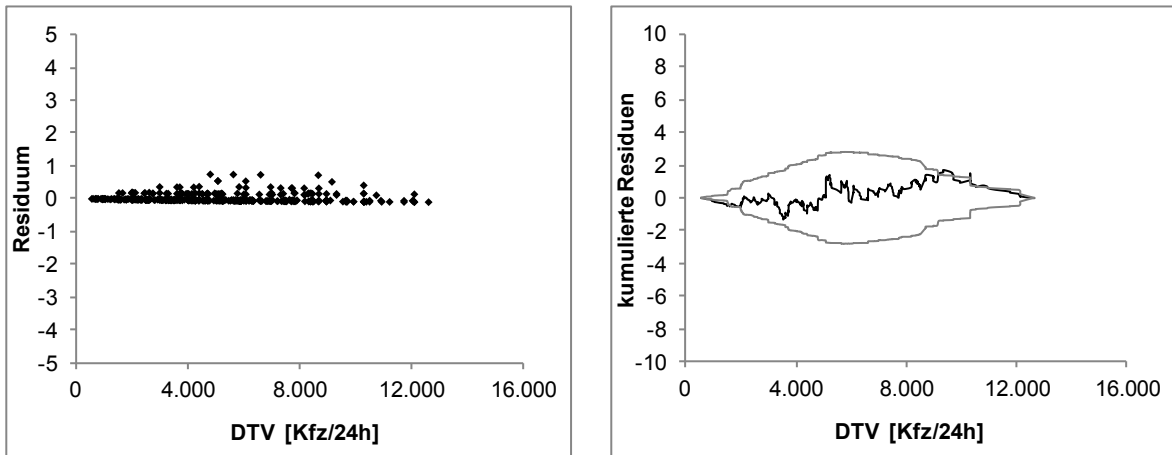


Abbildung J-2: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangsart KP-VZ Teilmodell Unfalltyp 1 U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

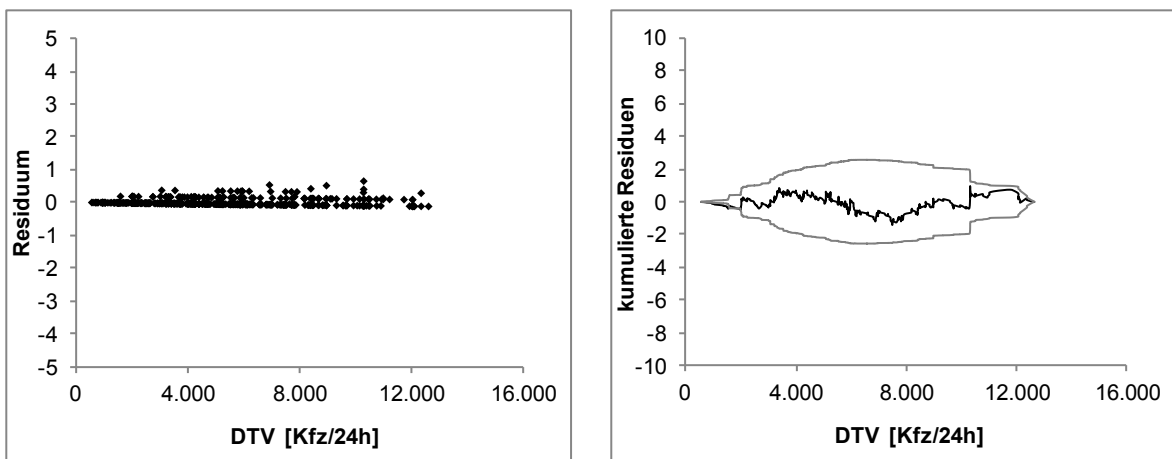


Abbildung J-3: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangsart KP-VZ Teilmodell Unfalltypgruppe R U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

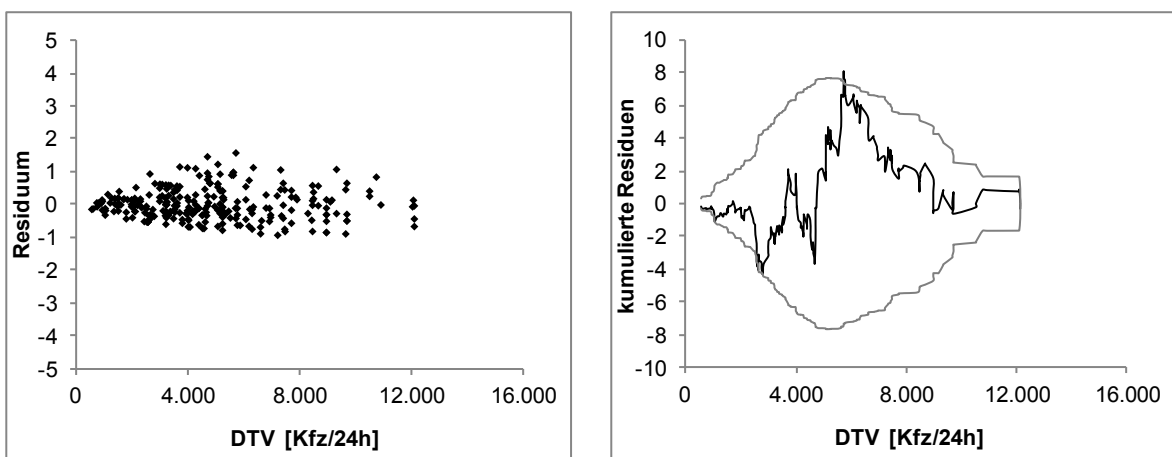


Abbildung J-4: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangsart KP-VZ Teilmodell U(LS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

Bewertungsfall	KP-LSA											
	Typ 6				Typ V				U(LS)			
Teilmodell	1				1				1.1			
Modellname	1			1			1.1					
	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b			
Konstante	-21,706	****	2,780	****	-14,510	****	1,880	****	-10,086	****	1,524	****
ln (DTV)	1,463	****	,293	****	,719	****	,200	***	,467	****	,125	****
ER (Einmündung rechts)									,338	*	,135	*
Verteilungsparameter (NegBin-M.)	0,48			0,84			0,12					

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung J-5: Übergangsart KP-LSA, Modelle nach Unfalltyp

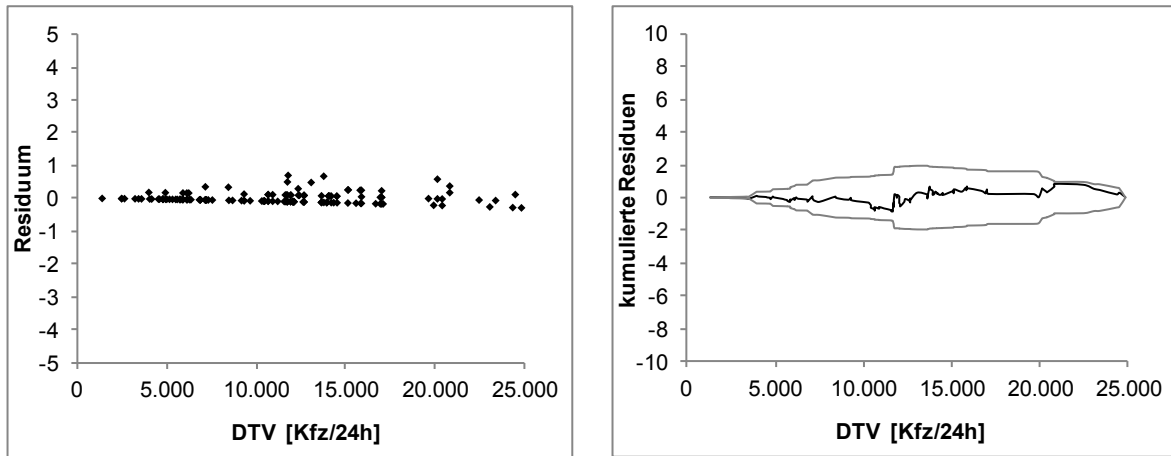


Abbildung J-6: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangsart KP-LSA Teilmodell Unfalltyp 6 U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

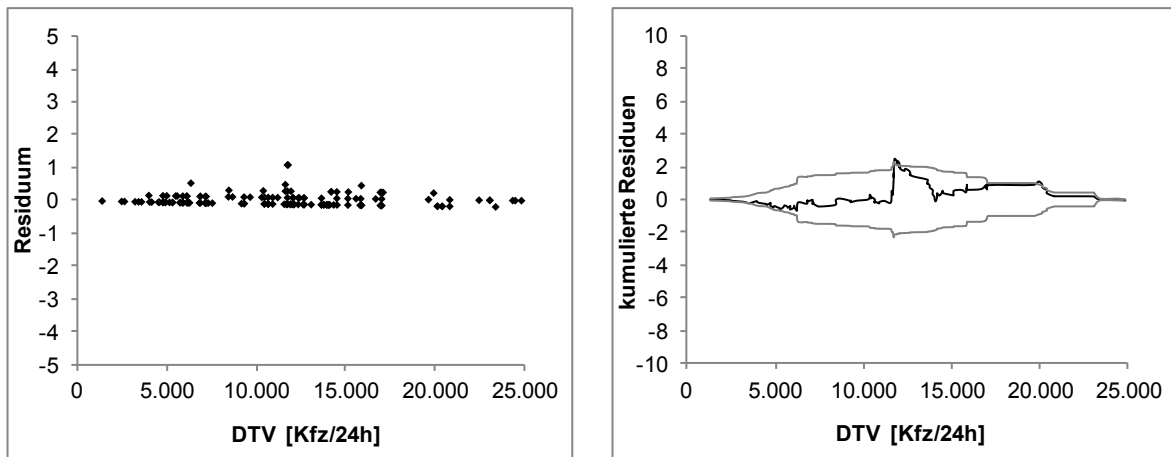


Abbildung J-7: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangsart KP-LSA Teilmodell Unfalltypgruppe V U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

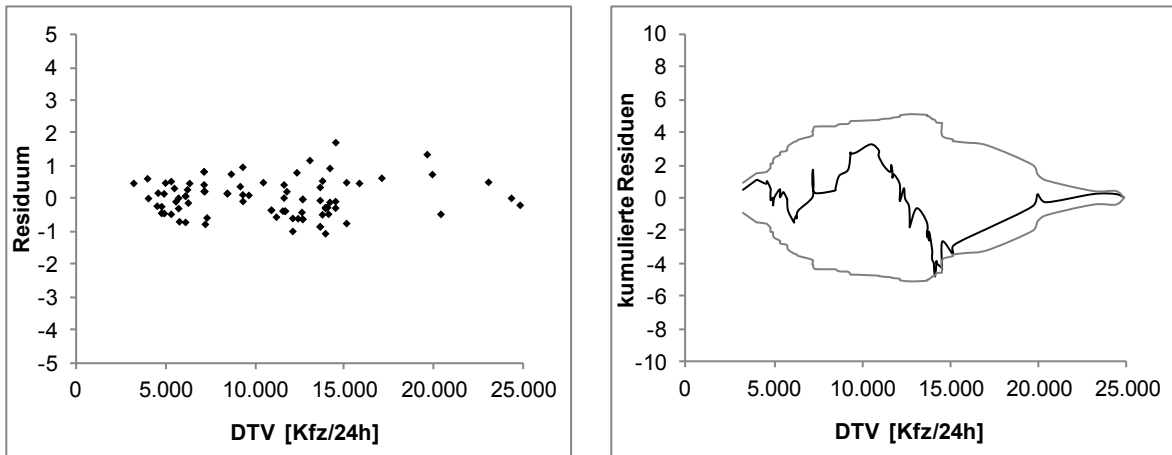


Abbildung J-8: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangsart KP-LSA Teilmodell U(LS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

Bewertungsfall	ODF Q 9											
	Typ 1			Typ R			U(LS)					
Teilmodell	1			1			1					
Modellname	1			1			1					
	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b			
Konstante	-12,913	****	1,980	****	-15,480	****	2,921	****	-10,907	****	,883	****
ln (DTV)	,552	*	,051	*	,814	*	,374	*	,547	****	,115	****
Verteilungsparameter (NegBin-M.)	0,4			0,43			0,24					

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung J-9: Übergangsart ODF Q 9, Modelle nach Unfalltyp

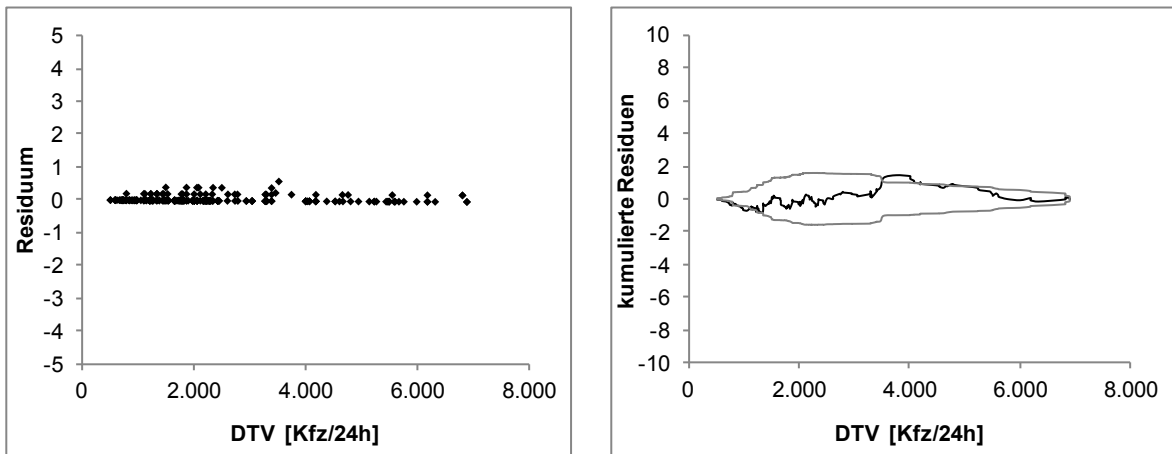


Abbildung J-10: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangsart ODF Q 9 Teilmodell Unfalltyp 1 U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

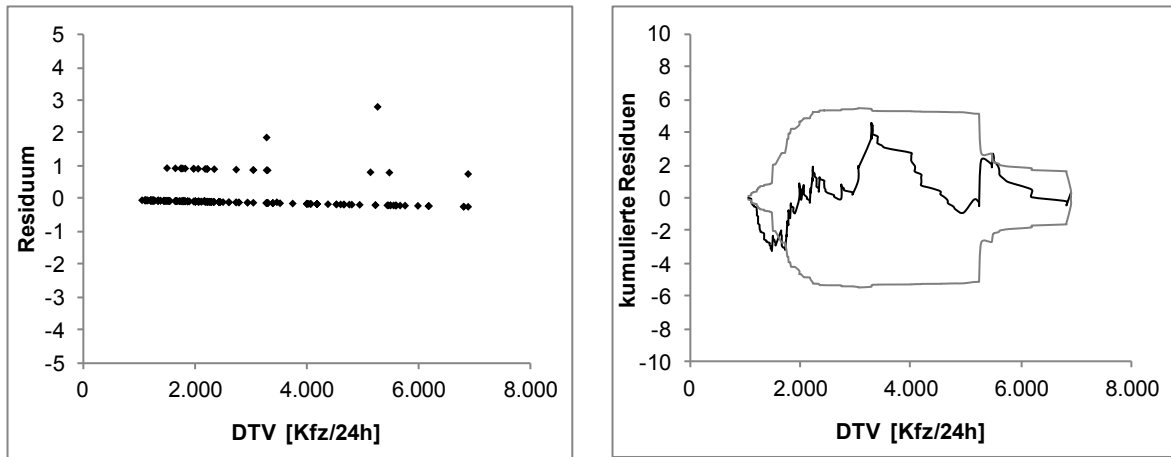


Abbildung J-11: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangstyp ODF Q 9 Teilmodell Unfalltypgruppe R U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

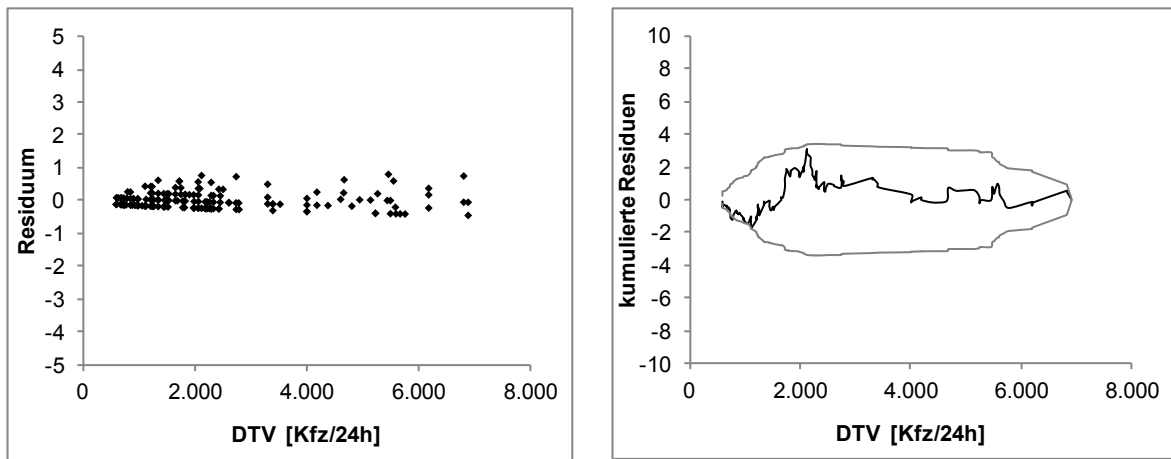


Abbildung J-12: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangstyp ODF Q 9 Teilmodell U(LS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

Bewertungsfall	ODF Q 2FS											
	Typ 1			Typ R			U(LS)					
Teilmodell	1			1			1					
Modellname	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b	Koeffizient ^a	Std.-fehler	p ^b			
Konstante	-12,761	****	,164	****	-13,032	****	,143	****	-11,218	****	,698	****
ln (DTV)	,516	**	,192	**	,531	***	,167	**	,585	****	,083	****
Verteilungsparameter (NegBin-M.)	0,5			-			0,21					

^a Schätzung basiert auf Rechnung mit neg. Binomialverteilung (Ausnahme Typ R), Wald-Test der Koeffizienten
^b Signifikanzniveau der Modelleffekte (Likelihood-Ratio-Test)
 Maß der Güte: * p < 0,05; ** p < 0,01, *** p < 0,001, **** p < 0,0001

Abbildung J-13: Übergangstyp ODF Q 2FS, Modelle nach Unfalltyp

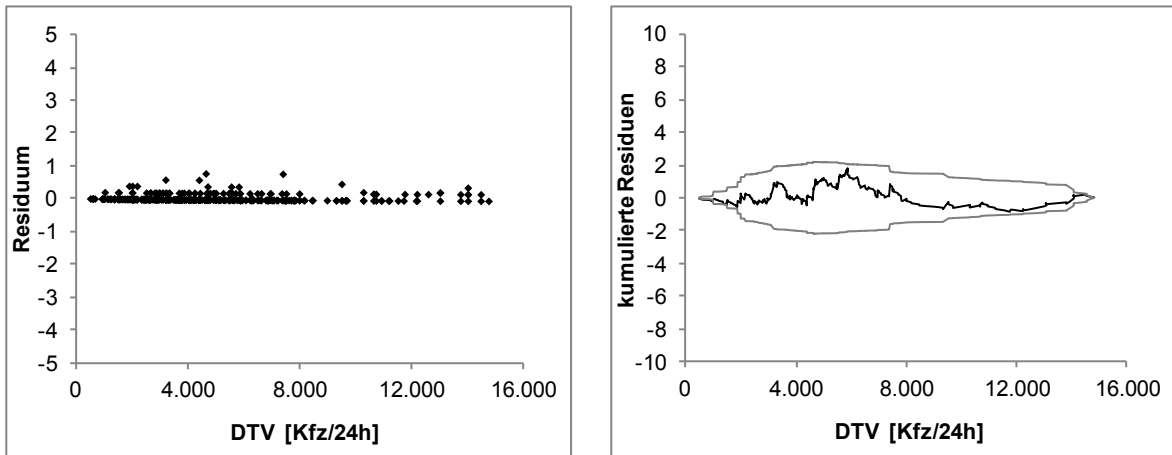


Abbildung J-14: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangsart ODF Q 2FS Teilmodell Unfalltyp 1 U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

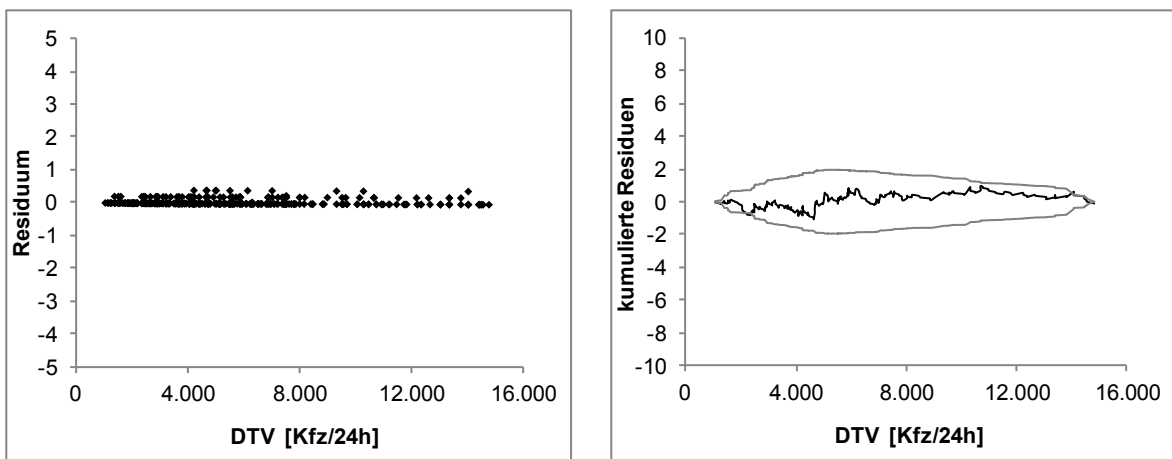


Abbildung J-15: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangsart ODF Q 2FS Teilmodell Unfalltypgruppe R U(P, SS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

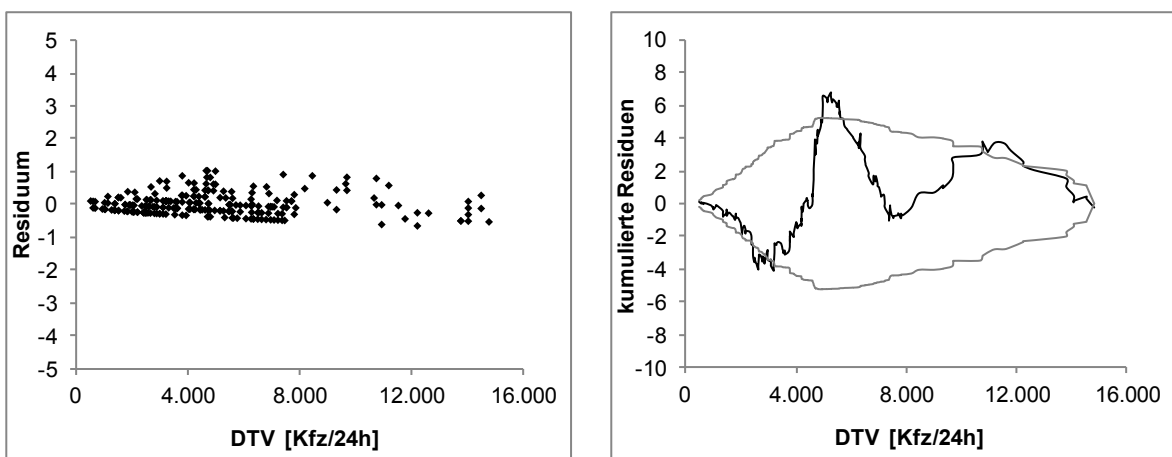


Abbildung J-16: Verteilung der standardisierten Devianzresiduen (linkes Diagramm) und Cure-Plot der kumulierten Response-Residuen (rechtes Diagramm) für Übergangsart ODF Q 2FS Teilmodell U(LS) über den beobachteten Verkehrsstärkebereich

K Diskussion und Ableitung Größenordnung der Zuschläge

Nach der in Kapitel 3.5.3 beschriebenen Vorgehensweise lässt sich die Wirkung der Zuschläge auf die Verkehrssicherheit als Anteilswert (A_{UKR}) an der $g\text{UKR}_{\bar{A}}$ in Abhängigkeit der verschiedenen Zuschlagskategorien darstellen. Die nach zentralen Kriterien geordneten Zuschläge sind für die verschiedenen Bewertungsfälle nachfolgend aufgeführt. Die Beschreibung der Zuschläge stellt eine Überführung der Modellvariablen in eine Zuschlagsmatrix eines möglichen Bewertungsverfahrens dar. Modellvariable, die eine Kombination mehrerer Merkmale repräsentieren, sind anhand der jeweiligen Wirkungszusammenhänge in ihre Einzelmerkmale zerlegt. Dies erlaubt eine separate Darstellung einzelner Größenordnungen von Zuschlägen.

Die Bewertungsfälle Q 9 und Q 2FS sind durch eine wesentliche Veränderung der Anteile der Unfalltypen über den DTV gekennzeichnet. Diese Veränderungen besitzen Einfluss auf die Größenordnung einiger Variablen und erfordern eine Anpassung der Größenordnung der Grundwerts (GW) an die Verkehrsstärke (Vergleiche Kapitel 3.5.3, Abbildung 3-14). Von einer Anpassung sind Variablen betroffen, deren Anteilswert über den beobachteten Verkehrsstärkebereich um eine Größenordnung größer 5 % schwankt. Die Berechnung erfolgt nach Gl. 55. Dabei stellt der Grundwert – der in den nachfolgenden Tabellen als Prozentwert angegeben wird – einen Anteilswert dar. Für kategoriale Zuschläge entspricht der Grundwert dem A_{UKR} . Für stetige Zuschläge ist der Grundwert mit der Merkmalausprägung (A) zu multiplizieren. Der Grundwert wird als Anteilswert in der Berechnung berücksichtigt. Zur Erklärung der Variablen (-namen) wird auf Tabelle 5-3 (Kapitel 5.1) verwiesen. Übersteigt für kombinierte Zuschläge die Merkmalausprägung A den oberen Grenzwert (F_G) ist selbiger anstelle von A zu verwenden. Zur Erklärung der beschriebenen Variablen wird auf Anhang G, Tabelle G-1 und Tabelle G-2 verwiesen.

$$GW = \frac{b * DTV + c}{100} \quad \text{Gl. 55}$$

GW	Grundwert [-]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
b/c	Funktionsparameter

Q 9

Tabelle K-1 zeigt für den Q 9 die auf Basis der Teilmodelle ermittelten Zuschläge mit dem jeweiligen Berechnungsansatz zur Ermittlung von A_{UKR} sowie die Höhe des Grundwerts (GW), darüber hinaus für kombinierte Variable den Grenzwert (F_G). Für vom DTV abhängige Zuschläge sind anstelle dessen die Funktionsparameter nach Gl. 55 aufgeführt. Ein negativer Parameter b steht mit einer Abnahme von A_{UKR} bei steigender Verkehrsstärke in Verbindung. Um einen Vergleich der Zuschläge zu gewährleisten, ist für vom DTV abhängige Merkmale die relative Höhe der A_{UKR} in Klammern mit Bezug auf den Median des beobachteten DTV im Kollektiv dargestellt. Bei schiefen Verteilungen repräsentiert der Median gegenüber dem arithmetischen Mittel den Erwartungswert deutlicher. Die Zuschlagstabelle des Q 9 gründet auf dem g_{UKR_A} -Niveau mit $V_{\text{zul}} = 70 \text{ km/h}$.

Die Zuschläge für Abweichungen in der Lageplantrassierung beruhen auf unabhängigen Variablen. Aus der in Kapitel 3.5.2 beschriebenen Randbedingung, dass über eine Anzahl von drei Abweichungen je Kilometer hinaus, keine weitere Wirkung auf den Sicherheitsgrad aufgrund der Adaption des Fahrverhaltens zu erwarten ist, wird eine Anpassung der Merkmale in der Gesamtbetrachtung notwendig. Es gilt daher: Überschreitet die Summe der Defizite im Lageplan die Dichte von drei Abweichungen je Kilometer, sind nur die drei Abweichungen mit dem höchsten GW enthaltenen Zuschlag maßgebend für die Festlegung des zu verwendenden F_G .

Die Modellvariable MMFBB lässt sich in zwei von der Verkehrsstärke abhängige Zuschläge – mit gleicher Größenordnung differenzieren. Inwiefern diese die Bestandsstrecken charakterisierenden Merkmale einen Rückschluss auf die Größenordnung des Sicherheitsgrades von Abschnitten, die nach den Entwurfskriterien der EKL 4 (RQ 9) gebaut werden erlauben, ist aufgrund eines fehlenden Vergleichskollektivs nicht erklärbar.

Die Höhe des Zuschlags „öffentlicher Straßen- und Wegeanschlüsse“ übertrifft den Zuschlag „Anschlüsse von Grundstückzufahrten/landwirtschaftliches Wegenetz“ deutlich. Das Bestandsnetz zeigt eine im Mittel vierfach höhere Dichte nicht öffentlicher Wegeanschlüsse auf.

Aus der Kombination der Variable „SU_BR_15“ leitet sich ein um den Faktor 1,5 höherer A_{UKR} für fahrbahnrandnahe Bepflanzung auf dem Bankett gegenüber hinter dem Bankett ab.

Tabelle K-1: Höhe und Art der differenzierten Zuschläge für Q 9 (1.850 Kfz/24h)

Kriterium	Beschreibung	Berechnung A_{UKR} [-]	Höhe GW / F_G [%]	Parameter	
				b	c
Lageplan	Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade außerhalb des brauchbaren Bereichs <i>mit</i> gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius [Häufigkeit/km]* Bis 3 stetig, dann F_G, dieser entspricht $A = 3$	$A * GW$	12		
		F_G	36		
	Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade außerhalb des brauchbaren Bereichs <i>ohne</i> gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius [Häufigkeit/km]* Bis 3 stetig, dann F_G, dieser entspricht $A = 3$	$A * GW$	7		
		F_G	21		
	Unterschreitung des Mindestradius, Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade innerhalb des regulären Bereichs [Häufigkeit/km]* Bis 3 stetig, dann F_G, dieser entspricht $A = 3$	$A \frac{(DTV * b + c)}{100}$	(4)	0,0013	1,78
		$F_G \frac{(DTV * b + c)}{100}$			
Höhenplan	Unterschreitung des Kuppenhalbmessers [Häufigkeit/km]	$A * GW$	4		
Querschnitt	Fahrbahnbreite FBB > 6 m [-]	$\frac{(DTV * b + c)}{100}$	(38)	-0,0012	40,3
Seitenraum	Anschlüsse öffentlicher Straßen und Wege [Häufigkeit/km]	$A \frac{(DTV * b + c)}{100}$	(20)	-0,0015	22,9
	Anschlüsse Grundstückzufahrten / landwirtschaftliches Wegenetz [Häufigkeit/km]	$A * GW$	4,5		
	linienhafte fahrbahnahe Bepflanzung (Bäume) auf dem Bankett ohne Schutteinrichtung [Anteil/km]	$A * GW$	20		
	linienhafte fahrbahnahe Bepflanzung(Bäume) hinter Böschungsmulde ohne Schutteinrichtung [Anteil/km]	$A * GW$	13		
Verkehrstechnik	$V_{zul} = 100$ km/h [Anteil/km]	$A \frac{(DTV * b + c)}{100}$	(22)	0,0072	8,09
	Trennung Fahrtrichtung mit Mittelmarkierung bei Fahrbahnbreite FBB < 6 m	$\frac{(DTV * b + c)}{100}$	(38)	-0,0012	40,3

*) Die maximale Dichte aus der Summe an Defiziten im Lageplan entspricht 3 Defiziten je Kilometer. Liegt eine höhere Dichte aus der Kombination mehrerer Defizite vor, so sind die drei Abweichungen mit dem höchsten Grundwert (GW) maßgebend für die Festlegung des zu verwendenden Grenzwerts F_G .

Das Merkmal „ $V_{zul} = 100$ km/h“ weist über den beobachteten Verkehrsstärkebereich die größte Veränderung auf. Beträgt A_{UKR} bei einem DTV von 1.000 Kfz/24h lediglich 14 %, so steigt die Größenordnung bis zu einem DTV von 7.000 Kfz/24h auf einen Anteil auf ca. 52 % an. Die Anordnung einer (abschnittswisen) $V_{zul} = 70$ km/h – das Merkmal ist 24 % der Streckenabschnitte zugeordnet – ist nicht mit der Verkehrsstärke korreliert.

Q 2FS

Das Kollektiv Q 2FS umfasst elf Zuschläge (Tabelle K-2). Die Darstellung der Zuschläge des Kriteriums Lageplan beruht auf der Extraktion der Variable $DI_RTT_SU_4_KAT$. Aufgrund der differenzierten Gewichtung zeichnen sich Zuschläge auf Basis der „Abweichung von der Radienrelation mit Unterschreitung des Mindestradius“ gegenüber den anderen Merkmalen durch eine um den Faktor 2 höhere Wirkung auf den Sicherheitsgrad aus. Die Größenordnung A_{UKR} weist eine Abhängigkeit von der Verkehrsstärke auf, wobei der Einfluss der Zuschläge mit wachsender Verkehrsstärke an Bedeutung verliert. Die Ursache gründet sich auf die steigende Anzahl an Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern. Es gelten die gleichen Bedingungen zur Verwendung von F_G , wie sie für den Q 9 definiert sind.

Eine Besonderheit stellt der Zuschlag „Dichte Anschlussknotenpunkte mit Regelung durch VZ“ ($SU_DI_KP_VZ$) dar. Dieser wird im Teilmodell für Unfalltyp 1 als separate Variable, als auch im Teilmodell Unfalltyp „Andere“ integriert in der Variable $PGS_AKP_3_KAT$ dargestellt. Die differente Variablendeklaration (stetig bzw. kombiniert) führt zu einer nicht kontinuierlichen Entwicklung des Zuschlags bei steigender Merkmalausprägung, welche bei einer Dichte von $1,33\text{ }SU_DI_KP_VZ / \text{km}$ einen Sprung der Anteilswerte zur Folge hat. Dieser erscheint aus praktischer Sicht wenig plausibel, eher ist mit einer stetigen Entwicklung zu rechnen. Die Abgrenzung zwischen stetigem und fixem Bereich beruht auf dem Erklärungsanteil der Variable im Modell, welche für diese Kombination das Maximum repräsentiert. Aus der Ermittlung des Zuschlagsgrundwerts (GW) von 9 % anhand des Kollektivmittelwerts folgt, dass die Höhe des Zuschlags für $SU_DI_KP_VZ$ im Bereich geringer Dichten die Modellergebnisse mit marginalen Abweichungen repräsentiert. Im Bereich hoher Dichten ($> 1,33\text{ }SU_DI_KP_VZ / \text{km}$) liegt eine Unterschätzung vor (Abbildung K-1). Da lediglich 5 % der Abschnitte Dichten über diese Grenze hinaus aufweisen und ferner davon auszugehen ist, dass eine hohe Knotenpunktdichte ebenfalls zu einer Adaption des Fahrverhaltens auf dem Streckenabschnitt und damit zu einer unterproportionalen Zunahme des Unfallgeschehens führt, wird der ermittelte stetige GW für KP_VZ als praktikabel angesehen.

Die Festlegung des Grenzwerts der Dichte aus der Addition der Merkmale „Dichte Anschlussknotenpunkte ohne Regelung durch VZ“ und „Punktuelle Gefahrenstellen“, der über die Verwendung von F_G entscheidet, leitet sich ebenfalls aus der kombinierten Modellvariable $PGS_AKP_3_KAT$ ab. Von allen Abschnitten des Q 2FS weisen 13 % bezüglich beider Merkmale eine höhere Dichte als 4 Stellen je Kilometer auf.

Tabelle K-2: Höhe und Art der differenzierten Zuschläge für Q 2FS (5.270 Kfz/24h)

Kriterium	Beschreibung	Berechnung A_{UKR} [-]	Höhe GW / F_G [%]	Parameter	
				b	c
Lageplan	Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade außerhalb des brauchbaren Bereichs <i>mit</i> gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius [Häufigkeit/km]* Bis 3 stetig, dann F_G, dieser entspricht $A = 3$	$A \frac{(DTV * b + c)}{100}$ $F_G \frac{(DTV * b + c)}{100}$	(17)	-0,0004	19,85
	Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade außerhalb des brauchbaren Bereichs <i>ohne</i> gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius [Häufigkeit/km]* Bis 3 stetig, dann F_G, dieser entspricht $A = 3$	$A \frac{(DTV * b + c)}{100}$ $F_G \frac{(DTV * b + c)}{100}$	(8,5)	-0,0002	9,92
	Unterschreitung des Mindestradius, Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade innerhalb des regulären Bereichs [Häufigkeit/km]* Bis 3 stetig, dann F_G, dieses entspricht $A = 3$	$A \frac{(DTV * b + c)}{100}$ $F_G \frac{(DTV * b + c)}{100}$	(8,5)	-0,0002	9,92
Höhenplan	Hügeligkeit [%]	$A * GW$	5		
Querschnitt	Fahrbahnbreite FBB < 8 m [-]	GW	39		
Seitenraum	Anschlüsse öffentlicher Straßen und Wege [Häufigkeit/km]	$A \frac{(DTV * b + c)}{100}$	(9)	-0,0001	9,58
	Anschlüsse Grundstückzufahrten / landwirtschaftliches Wegenetz [Häufigkeit/km]** Bis 4 stetig, dann F_G, dieser entspricht $A = 8$	$A * GW$ F_G	1 8		
	Punktuelle Gefahrenstellen [Häufigkeit/km]** Bis 4 stetig, dann F_G, dieser entspricht $A = 8$	$A * GW$ F_G	1 8		
	linienhafte fahrbahnnahe Bepflanzung (Bäume) auf dem Bankett ohne Schutteinrichtung [Anteil/km]	$A \frac{(DTV * b + c)}{100}$	(21)	-0,0006	24,37
	linienhafte fahrbahnnahe Bepflanzung (Bäume) hinter Böschungsmulde ohne Schutteinrichtung [Anteil/km]	$A \frac{(DTV * b + c)}{100}$	(14)	-0,0004	16,25
Verkehrstechnik	Markierung mit Leitlinie Z 340 StVO bzw. einseitiger Fahrstreifenbegrenzung Z 296 StVO [Anteil/km]	$A \frac{(DTV * b + c)}{100}$	(12,5)	0,0007	8,36

*) Die maximale Dichte aus der Summe an Defiziten im Lageplan entspricht 3 Defiziten je Kilometer. Liegt eine höhere Dichte aus der Kombination mehrerer Defizite vor, so sind die drei Abweichungen mit dem höchsten Grundwert (GW) maßgebend für die Festlegung des zu verwendenden Grenzwerts F_G .

***) Die maximale Dichte aus der Summe der Seitenraummerkmale Anschlüsse Grundstückzufahrten und punktuelle Gefahrenstellen entspricht 4 Stellen je Kilometer. Liegt eine höhere Dichte aus der Kombination beider Seitenraummerkmale vor, so ist der Grenzwert $F_G = 8 \%$ zu verwenden.

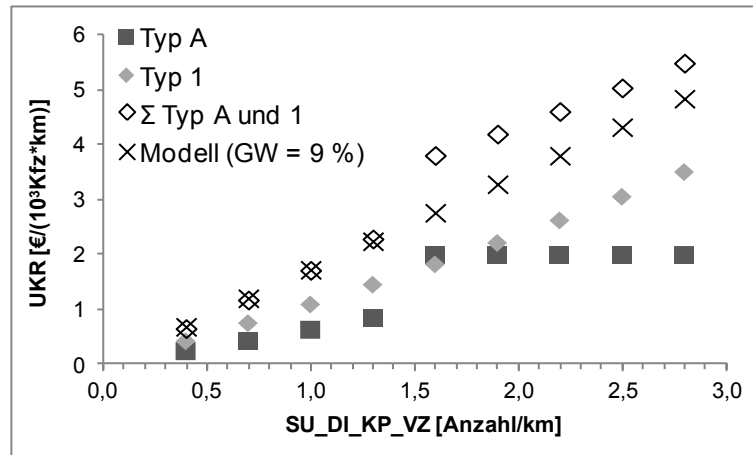


Abbildung K-1: Entwicklung der zUKR für Variable „Anschlussknotenpunkte mit vorfahrregelnden Verkehrszeichen (SU_DI_KP_VZ)“ in Abhängigkeit der Teilmodelle Ansatz nach Unfalltyp und des zugrunde gelegten GW = 9 %, bei einem DTV von 5.300 Kfz/24h

Das dem Kriterium Querschnitt zugeordnete Merkmal „FBB < 8 m“ prägt unabhängig anderer identifizierter Merkmale den Sicherheitsgrad besonders deutlich. Ähnlich dem Q 9 differenziert der Zuschlag mutmaßlich in ältere schmale Bestandsstrecken sowie Strecken, die in ihrer Querschnittsgestaltung den Entwurfsgrundsatz des RQ 11 im Regelfall in Anlehnung in die RAL (FGSV 2012), mit einer Fahrbahnbreite von FBB = 8,0 m entsprechen. Die Abnahme der $UR_{U(P, SS)}$ in Abhängigkeit der Querschnittsbreite, nachgewiesen im Untersuchungskollektiv als auch in VIETEN et al. (2010) (Tabelle 5-1, Kapitel 5.1), bestätigt die Relevanz dieses Merkmals.

Der dem Kriterium Verkehrstechnik zugeordnete Zuschlag der „Markierung mit Leitlinie ...“, stellt das einzige von der Verkehrsstärke abhängige Merkmal dar, dessen A_{UKR} mit Zunahme des DTV ebenfalls einen Zuwachs erfährt.

Q 3FS

Für den Q 3FS liegen fünf Zuschläge geordnet nach vier Kriterien vor. Lediglich der Zuschlag „Unterschreitung des Mindestradius“ stellt ein Defizit im engeren Sinne dar. Das Fehlen weiterer, die Trassierung im Lageplan beschreibender Größen – wie sie im für Q 9 und Q 2FS vorliegen – lässt vermuten, dass der Zuschlag „Unterschreitung des Mindestradius“ lediglich einen Teil der einflussnehmenden Größen im Lageplan darstellt. Die beobachtete Verteilung des Merkmals „linienhafte fahrbahnahe Bepflanzung (Bäume) auf dem Bankett..“ lässt eine abgesicherte Aussage der Zuschlagsgröße nur bis zu einem Anteilswert von 0,31 zu. Da lediglich vier von 50 Abschnitten dieses Merkmal aufweisen, besteht die Möglichkeit, dass das Merkmal mit einem weiteren – im Datensatz nicht erfassten – Merkmal korreliert und dessen Wirkung in Teilen als Stellvertretergrößen abbildet.

Tabelle K-3: Höhe und Art der differenzierten Zuschläge für Q 3FS (13.570 Kfz/24h)

Kriterium	Beschreibung	Berechnung	Höhe GW /
		A_{UKR} [-]	F_G [%]
Lageplan	Unterschreitung des Mindestradius, Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade innerhalb des regulären Bereichs [Häufigkeit/km] Bis 3 stetig, dann F_G, dieser entspricht $A = 3$	$A * GW$	14
		F_G	42
Höhenplan	Hügeligkeit [%]	$A * GW$	9
Querschnitt	Querschnitt Q 11,5+ 3FS [-]	GW	15
Seitenraum	linienhafte fahrbahnahe Bepflanzung (Bäume) auf dem Bankett ohne Schutteinrichtung [Anteil/km]	$A * GW$	54
	linienhafte fahrbahnahe Bepflanzung (Bäume) hinter Böschungsmulde ohne Schutteinrichtung [Anteil/km]	$A * GW$	36

Q 21

Zweibahnig viertstreifige Querschnitte weisen i. d. R. sehr großräumige Elementfolgen und damit eine gestreckte Linienführung auf. Dies lässt eine Anpassung des Grenzwerts F_G für die Überschreitung der Defizite im Lageplan sinnvoll erscheinen. Der die Radienrelation betreffende Zuschlag des Kriteriums Lageplan leitet sich aus der Modellvariable DI_FLP_KAT ab. Diese beinhaltet Abweichung von der Relationstrassierung, sowohl ohne als auch mit Unterschreitung des Mindestradius mit gleicher Gewichtung. Da letztgenanntes Merkmal nur auf einem Streckenabschnitt vorliegt, ist eine Verallgemeinerung statistisch nicht abgesichert und auf Basis der Modellergebnisse abzulehnen (Tabelle K-4).

Eine Zuschlagstabelle, in welcher sowohl das Merkmal FBB_KAT (aus Teilmodell Typ R) als auch RSB_KAT (aus Teilmodell U(LS)) gemeinsam enthalten sind, erscheint vor dem Hintergrund, dass die RSB einen Bestandteil der FBB darstellt, nicht plausibel. Im untersuchten Kollektiv liegt kein Fall vor, indem eine – in Anlehnung an die RAL (FGSV 2012) – reguläre Fahrbahnbreite ($FBB \geq 7,75$ m) mit zu geringer Summe der Fahrstreifenbreite ($SU_FSB < 6,75$ m) auf Kosten von hohen Randstreifenbreiten ($RSB \geq 0,5$ m) kompensiert wird. Weiterhin weisen RSB und SU_FSB keine Korrelation zueinander auf ($\rho = -0,22$), während die Variablen FFB und SU_FSB auf hohem Niveau korrelieren ($\rho = -0,84$). Diese Annahmen sind Voraussetzung für das Ersetzen der Variable FBB_KAT zugunsten von SU_FSB_KAT . Dieser Zuschlag wird vergeben, wenn die Summe der Fahrstreifen eine Breite von 6,75 m unterschreitet. Die Höhe des GW für

den kategorialen Zuschlag wird von FBB_KAT übernommen. Diese Umstellung ermöglicht einen praxisnahen und nachvollziehbaren Umgang mit den Zuschlagstabellen für den Q 21.

Tabelle K-4: Höhe und Art der differenzierten Zuschläge für Q 21 (21.100 Kfz/24h)

Kriterium	Beschreibung	Berechnung A_{UKR} [-]	Höhe GW / F_G [%]
Lageplan	Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade außerhalb des brauchbaren Bereichs <i>ohne</i> gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius [Häufigkeit/km] Bis 2 stetig, dann F_G, dieser entspricht $A = 2$	$A * GW$	8
	Kurvigkeit [gon/km]	$A * GW$	1,2
	Querschnitt		
Querschnitt	Summe der Fahrstreifen $\Sigma FSB < 6,75$ m [-]	GW	32
	rechte Randstreifenbreite $RSB < 0,50$ m [-]	GW	11
Verkehrstechnik	$V_{zul} > 100$ km/h [Anteil/km]	$A * GW$	20

Auch hier gilt die Vermutung, dass dieses Merkmal zur Trennung der Q 21 nach der Querschnittsgestaltung einer Kategorisierung nach älteren Bestandsstrecken des RQ 20 nach den RAS-Q 96 (FGSV 1996) – $\Sigma FSB = 6,5$ m, ebenfalls mit einem 0,5 m breiten rechten (und linken) Randstreifen ausgestattet – und dem RQ 21 nach den RAL (FGSV 2012) entspricht.

Die mit einem $GW = 0,2$ beschriebene Größenordnung des Zuschlags „ $V_{zul} > 100$ km/h“ fällt etwas geringer, als die in MAIER/BERGER (2012) ermittelte Differenz der UKR zwischen Abschnitten mit einer V_{zul} von 100 bzw. 120 km/h, aus. Prinzipiell wird aber der Einfluss der V_{zul} auf den Sicherheitsgrad des Q 21 bestätigt.

Aussagen zur Kurvigkeit sind bis zu $KU = 71$ gon/km durch Beobachtungen abgesichert.

L Vergleich Unfallkenngrößen der Einflussbereiche

Abbildung L-1 verdeutlicht die Beziehung beobachteter und modellberechneter UKR_{EB} am Beispiel der Übergangsart KP-VZ für E/K des Bewertungsfalls Q 2FS. Für die beobachteten UKR_{EB} ist eine deutliche Gruppierung der Fälle auf mehreren Ebenen festzustellen. Dies ist auf besondere Eigenschaften der EB und der Berechnung der UKR zurückzuführen.

Die Normierung des Unfallgeschehens bei der Berechnung der UKR auf einen Kilometer setzt eine – nicht zutreffende – räumliche Gleichverteilung der Unfälle voraus. Das Auftreten von Unfällen stellt ein seltenes diskretes Ereignis dar, welches mit Hilfe der Poisson-Verteilung annähernd beschrieben werden kann. Diesbezüglich liegt eine Kategorisierung (Abstufung) der Zielgröße in eine beschränkte Anzahl möglicher Zustände (Anzahl Unfälle) vor. Für alle Übergangsarten weisen die EB Längen deutlich unter einem Kilometer auf. Die Bewertung sehr kurzer Abschnitte führt daher durch die Längennormierung – Berücksichtigung der Länge im Nenner der Funktion – zu einer Überbewertung (Vervielfachung) der absoluten Höhe betroffener Unfallkenngrößen. Während dieser Effekt bei der Betrachtung der UR lediglich eine Niveauverschiebung zur Folge hat, resultiert aus der volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens eine deutlichere Klassifizierung des UKR-Niveaus. Ursache bilden die unterschiedlichen Größenordnungen der Unfallkostensätze. Dieser Zusammenhang ist unabhängig des bewerteten Netzelements – auch für Abschnitte der FS – allgemein gültig.

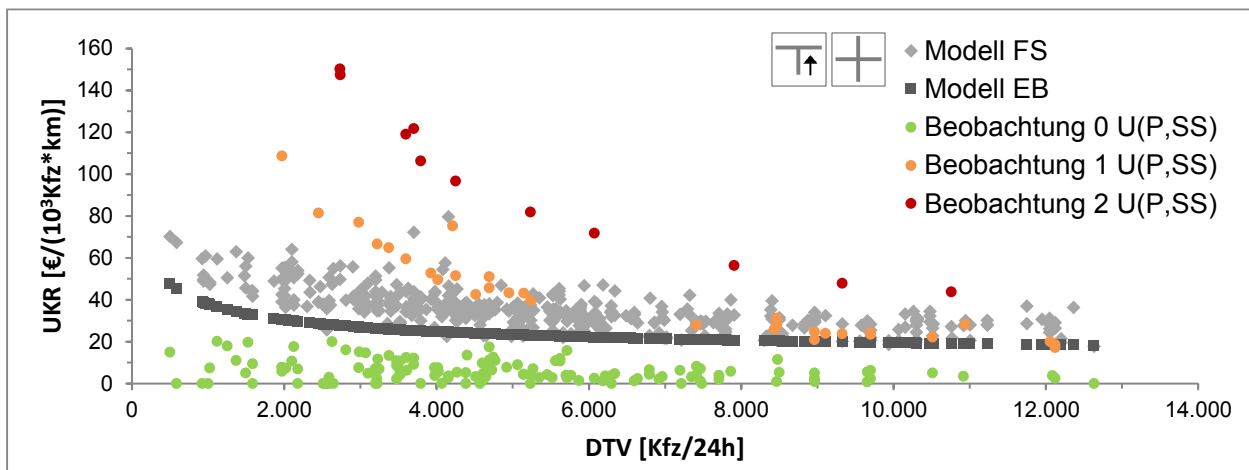


Abbildung L-1: Zusammenhang zwischen den nach Modell FS und Modell EB berechneten und den beobachteten UKR_{EB} am Beispiel der Übergangsart KP-VZ E/K (Q 2FS)

Im dargestellten Beispiel weist der überwiegende Teil der EB im mehrjährigen Betrachtungszeitraum keine beobachteten U(P, SS) auf. Die bis zu einer Höhe von ca. 20 €/ (10³Kfz*km) auftretenden Schwankungen der UKR in dieser Gruppe beruhen auf den U(LS). Die für U(P, SS) nach Unfalltypen (-gruppen) angepassten Unfallkostensätze haben für Abschnitte, in denen mindestens 1 U(P, SS) vorliegt, ein deutlich höheres Niveau der UKR_{EB} zur Folge. Da die Verkehrsstärke im Nenner fahrleistungsbezogener Unfallkenngrößen geführt wird, ist ceteris paribus mit deren Zunahme eine Verringerung des Niveaus der UKR_{EB} festzustellen. Die auf Basis der Modelle FS und EB berechneten UKR_{EB} stellen ein stetiges Niveau der Kenngröße in Abhängigkeit der Randbedingungen dar. Die Streuung der UKR_{EB} nach dem Modell FS beruht dabei auf der mit Zuschlägen behafteten Charakteristik der Einzelelemente.

Da das angewendete Modell zwangsläufig einen verkehrsstärkeabhängigen Erwartungswert für U(P, SS) ermittelt, liegen beide modellberechneten UKR_{EB}-Niveaus verfahrensbedingt über dem Niveau der Beobachtungen des Teilkollektives mit keinem U(P, SS). Aus dem Beispiel gehen die Vorteile hervor, die ein Vergleich lediglich modellberechneter Unfallkenngrößen zur Ermittlung der FEB bietet. Zum einen wird die Abbildung von nicht diskreten UR und UKR bezüglich eines Elements ermöglicht, zum anderen wird der überproportionale Einfluss möglicher Extremwerte auf den Mittelwert unterbunden.

Die Höhe der nach den Modellen FS und EB berechneten UKR_{EB} ist von der Verkehrsstärke abhängig. Durch eine Regression lässt sich der Verlauf mit einer Funktion beschreiben (Gl. 56). Die nach Art des Übergangs und Modellansatz getrennten Funktionswerte enthält Tabelle L-1. Da sich für die UKR_{EB} nach Modell EB per se ein stetiger Verlauf ergibt, ist lediglich das Bestimmtheitsmaß für die Betrachtung der Regression zwischen Modellfunktion FS und den Einzelwerten angegeben. Das ΔUKR_{EB} aus den Modellen FS und EB entspricht dem FEB. Dessen Größenordnung lässt sich, wie in Tabelle L-1 rechte Spalte aufgeführt, ebenfalls als Funktion über die Verkehrsstärke beschreiben.

$$UKR_{EB,i} = m * DTV^n$$

Gl. 56

UKR _{EB}	Unfallkostenrate des Einflussbereichs nach Modell i [€/ (10 ³ Kfz*km)]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
m, n	Modellparameter [-]

Tabelle L-1: Regressionsparameter zu Abbildung der UKR_{EB} , Berechnung nach Modellen FS und EB und resultierende FEB-Funktion nach Art des Übergangs

Art des Übergangs			Modell FS Regressionsparameter für UKR_{EB} [-]		Bestimmtheitsmaß Funktion Modell FS [-]	Modell EB Regressionsparameter für UKR_{EB} [-]		resultierende FEB-Funktion [-]	
Art	Bewertungsfall	Unterkategorie	m	n	R^2	m	n	m	n
ODF	Q 9	-	306	-0,25	0,65	659	-0,37	2,15	-0,123
	Q 2FS	-	545	-0,33	0,56	1581	-0,47	2,90	-0,142
KP-LSA	Q 2FS		352	-0,28	0,42	49	-0,08	0,14	0,198
						68	-0,11	0,19	0,170
KP-VZ	Q 9		170	-0,18	0,37	305	-0,31	1,79	-0,135
						452	-0,33	2,66	-0,158
	Q 2FS		582	-0,34	0,52	260	-0,28	0,45	0,052
						398	-0,31	0,68	0,025

Nachfolgende Abbildungen enthalten sowohl Einzelwerte als auch – als Linie dargestellt – die Regressionsgeraden der UKR_{EB} für Modell FS und Modell EB. Für Übergangsarten, denen keine Modellerstellung für EB möglich war, enthalten die Abbildungen anstelle der Modellwerte EB die beobachteten UKR_{EB} des Kollektivs.

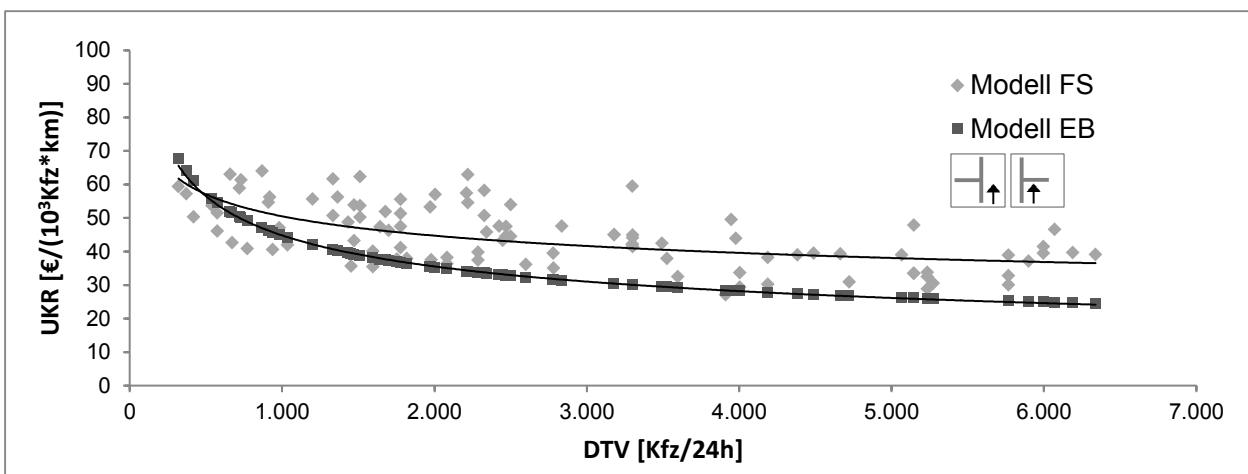


Abbildung L-2: Übergangsart KP-VZ Q 9, Grundform ER/EL, Gegenüberstellung der nach den Modellen FS und EB berechneten UKR_{EB}

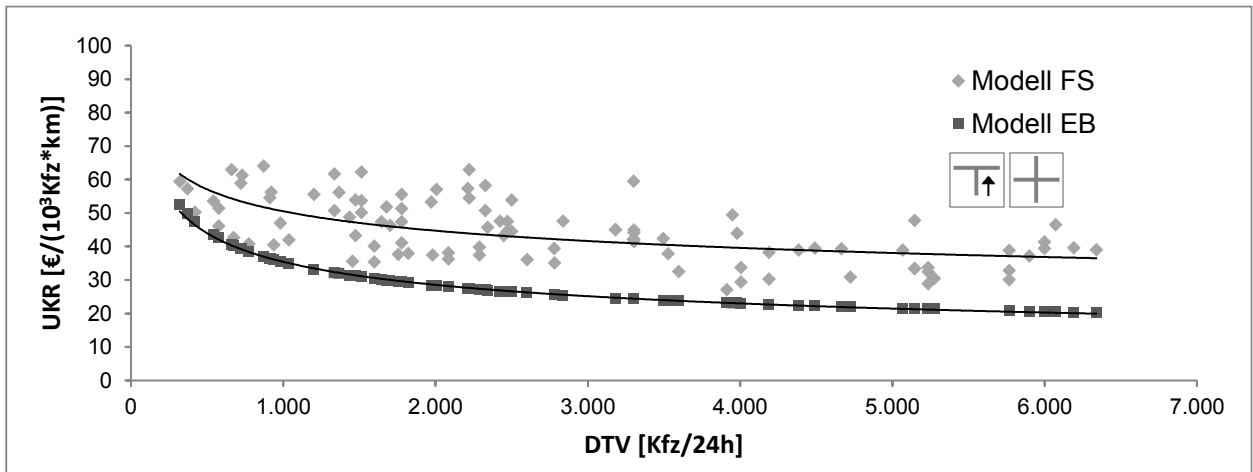


Abbildung L-3: Übergangsart KP-VZ Q 9, Grundform E/K, Gegenüberstellung der nach den Modellen FS und EB berechneten UKR_{EB}

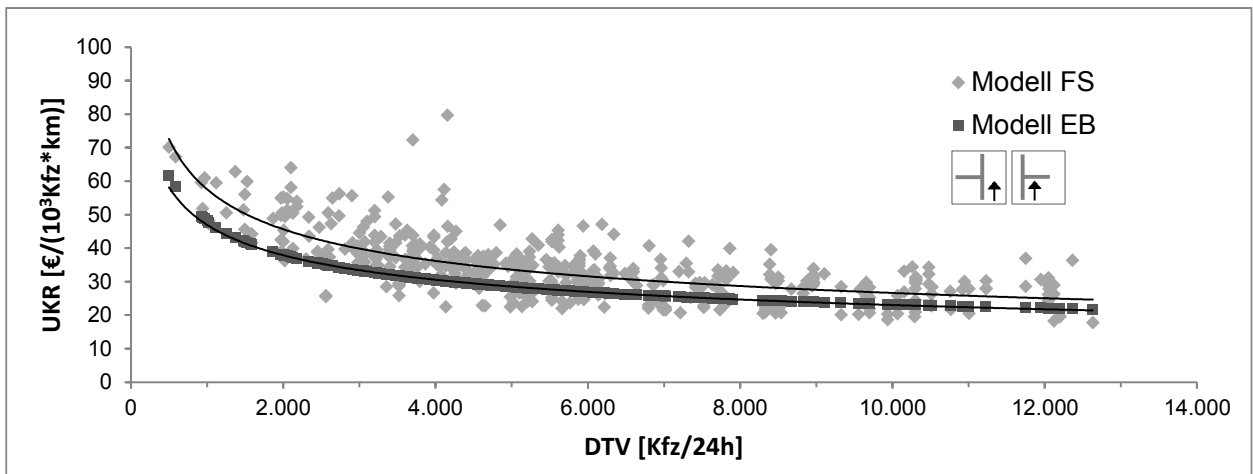


Abbildung L-4: Übergangsart KP-VZ Q 2FS, Grundform ER/EL, Gegenüberstellung der nach den Modellen FS und EB berechneten UKR_{EB}

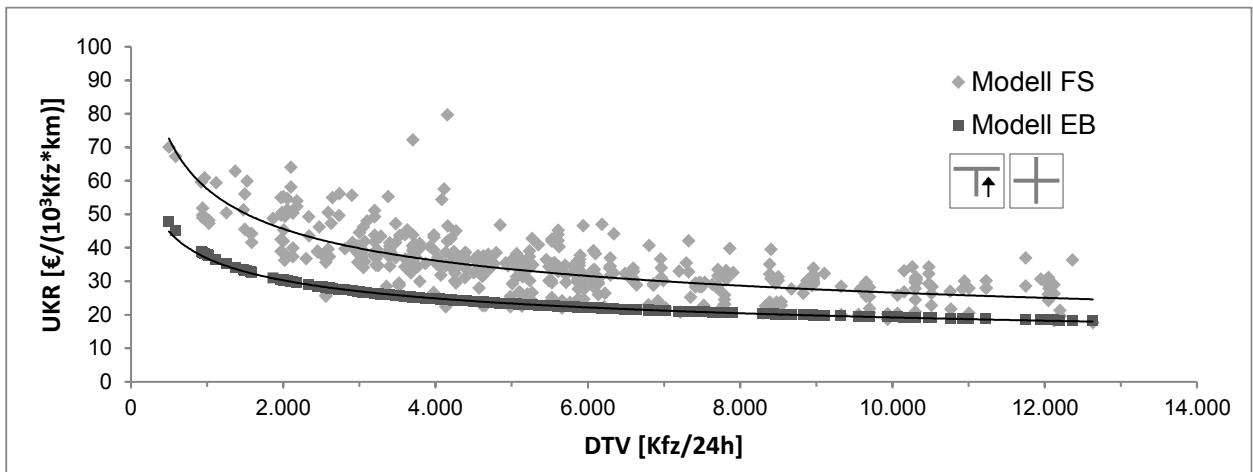


Abbildung L-5: Übergangsart KP-VZ Q 2FS, Grundform E/K, Gegenüberstellung der nach den Modellen FS und EB berechneten UKR_{EB}

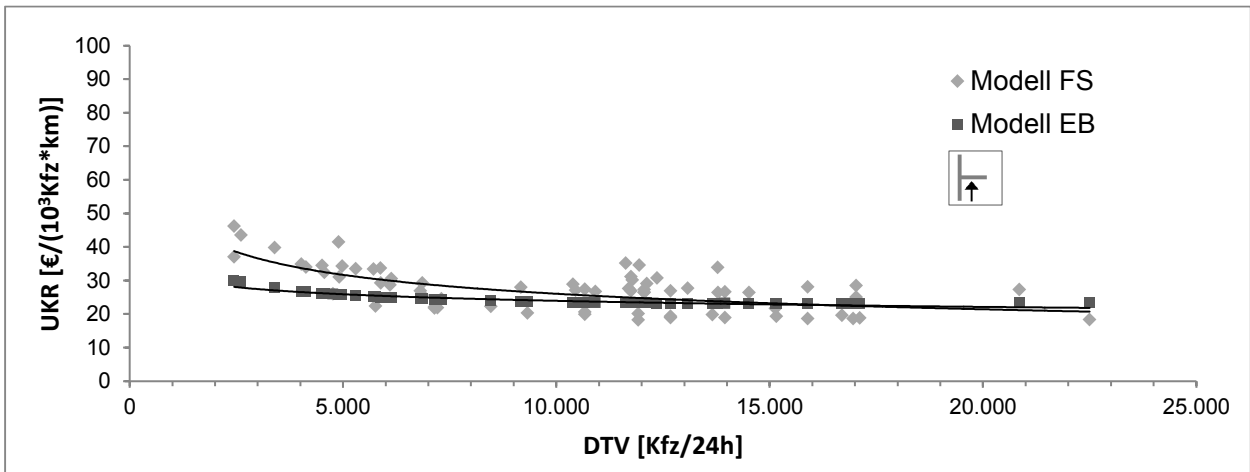


Abbildung L-6: Übergangsart KP-LSA (Q 2FS), Grundform ER, Gegenüberstellung der nach den Modellen FS und EB berechneten UKR_{EB}

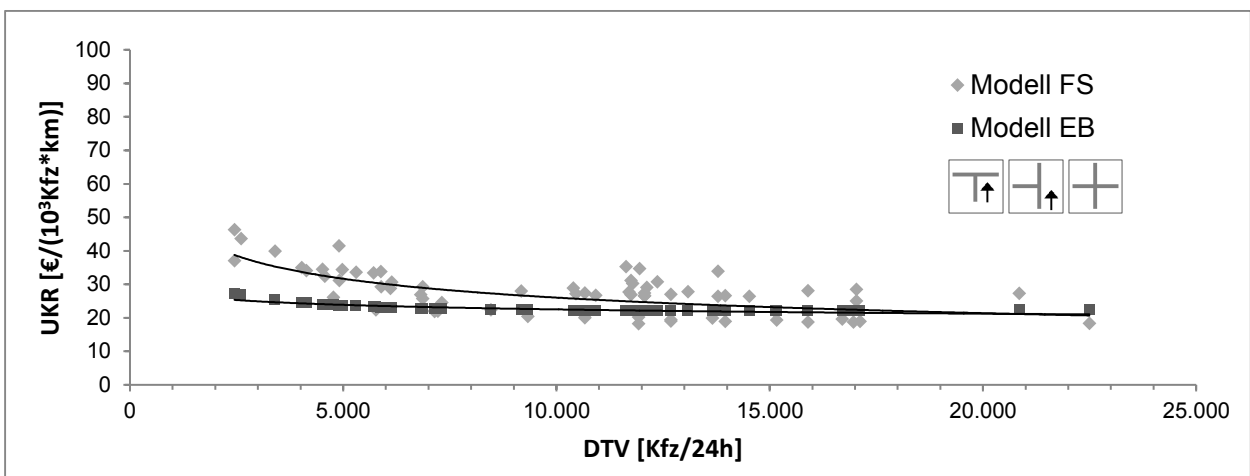


Abbildung L-7: Übergangsart KP-LSA (Q 2FS), Grundform EL/E/K, Gegenüberstellung der nach den Modellen FS und EB berechneten UKR_{EB}

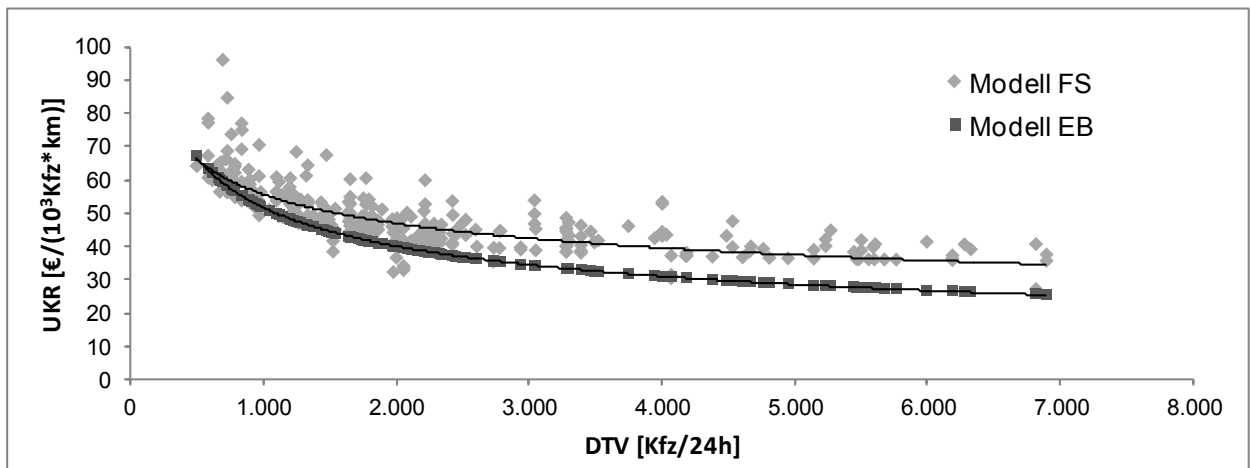


Abbildung L-8: Übergangsart ODF Q 9, Gegenüberstellung der nach den Modellen FS und EB berechneten UKR_{EB}

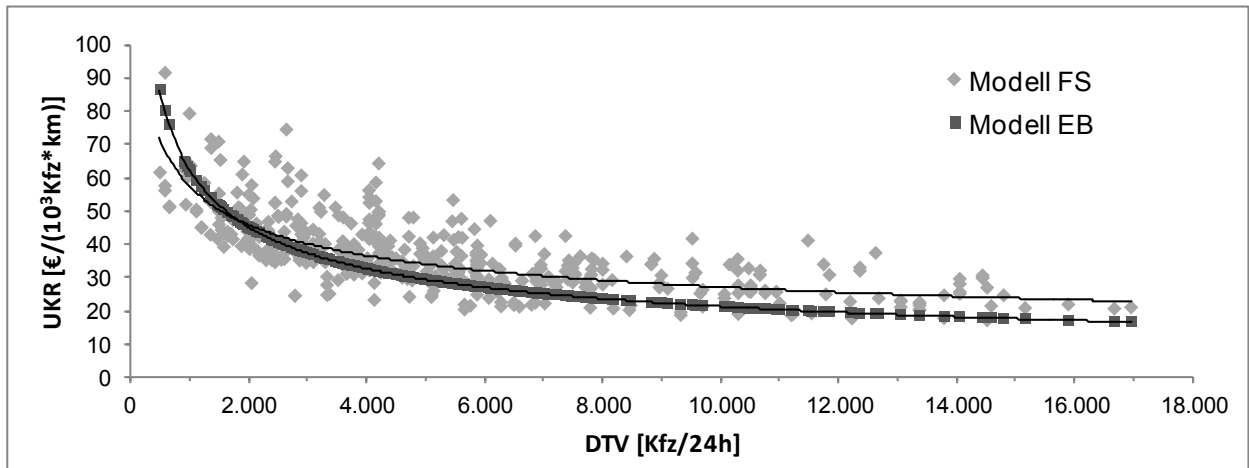


Abbildung L-9: Übergangsart ODF Q 2FS, Gegenüberstellung der nach den Modellen FS und EB berechneten UKR_{EB}

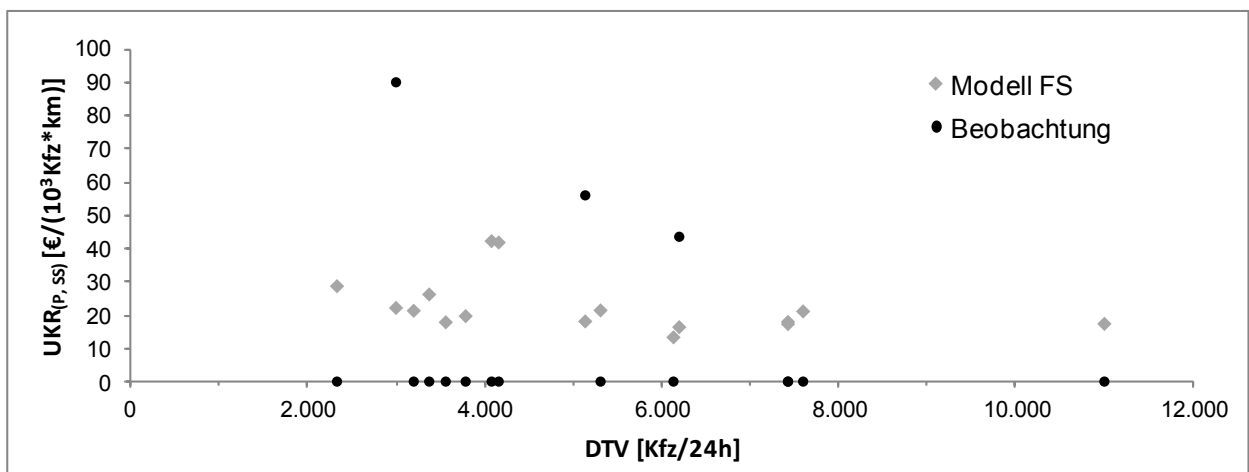


Abbildung L-10: Übergangsart KP-KV (Q 2FS), Gegenüberstellung der nach dem Modell FS berechneten und beobachteten $UKR_{(p,ss),EB}$

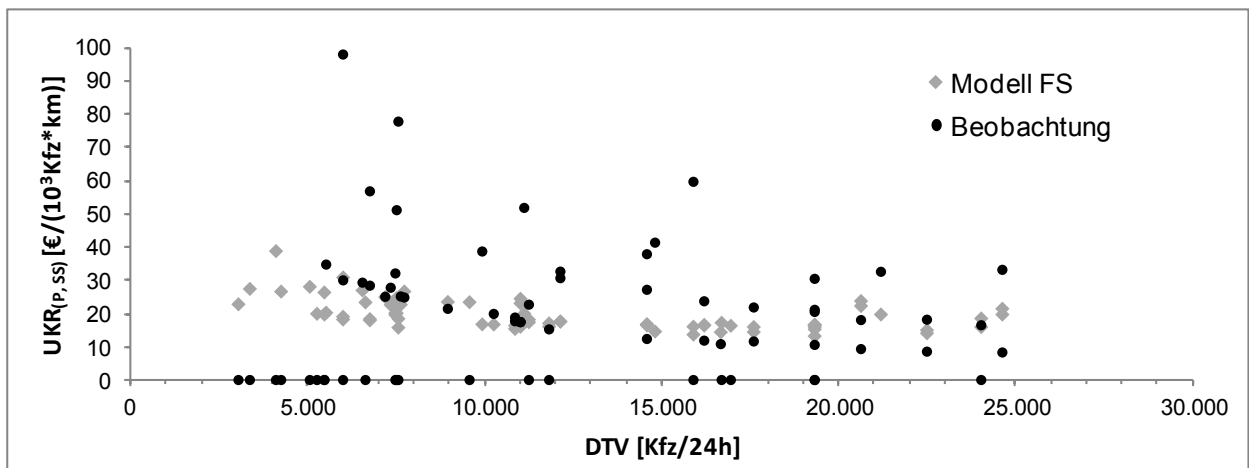


Abbildung L-11: Übergangsart KP-TPF (Q 2FS), Gegenüberstellung der nach dem Modell FS berechneten und beobachteten $UKR_{(p,ss),EB}$

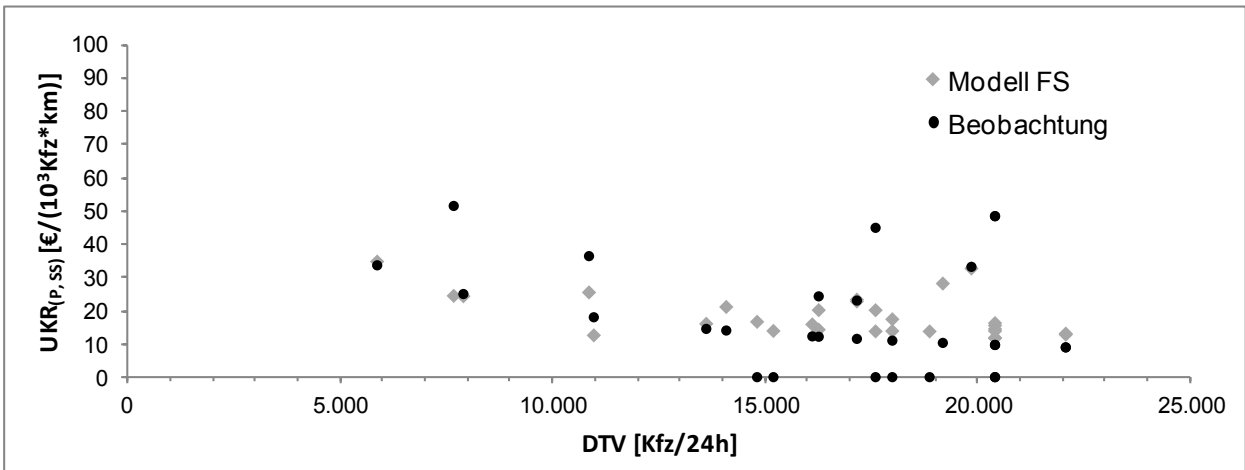


Abbildung L-12: Übergangsart KP-TPF Q 3FS, Gegenüberstellung der nach dem Modell FS berechneten und beobachteten $UKR_{(p,ss),EB}$

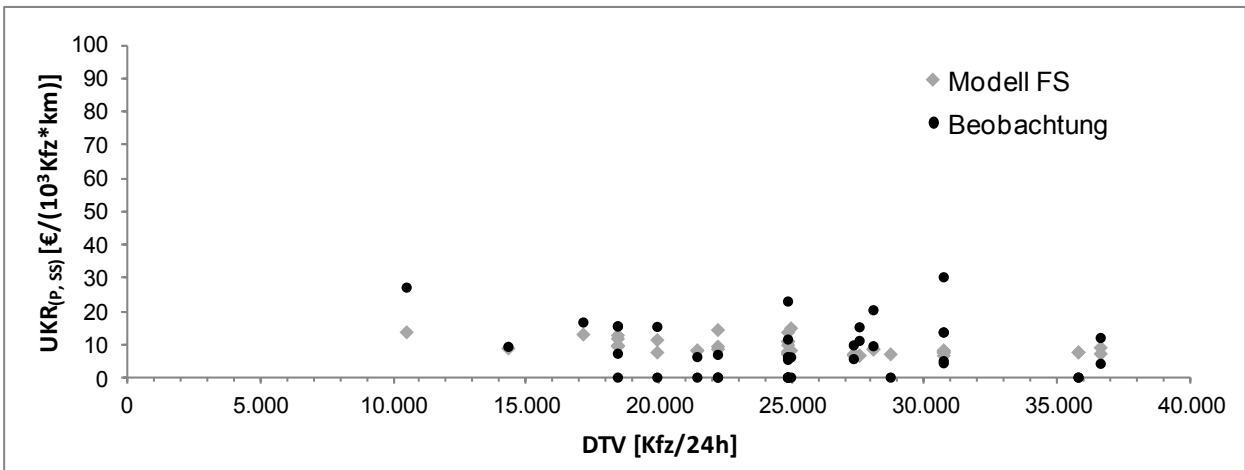


Abbildung L-13: Übergangsart KP-KV Q 21, Gegenüberstellung der nach dem Modell FS berechneten und beobachteten $UKR_{(p,ss),EB}$

M Darstellung Bewertung Streckenabschnitt

Allgemein

Das Berechnungsverfahren dient zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Streckenabschnitten auf Landstraßen ausschließlich verkehrsbedeutender Knotenpunkte. Es werden die Abschnitte der Freie Strecke (FS) und Einflussbereiche (EB) von Übergängen behandelt. Es wird der Sicherheitsgrad eines geplanten oder bestehenden Netzelements mit dem Sicherheitsgrad eines richtliniengerechten Ausbaus verglichen. Mit dem Verfahren wird die Bedeutung der Verkehrssicherheit durch die Berücksichtigung der Entwurfsgrundsätze und betrieblichen Merkmale verdeutlicht. Das Verfahren gilt für Bestandstrecken, die nach den RAS-Q 96 bzw. RAS-L 95 trassiert sind. Diese können nach dem Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) den EKL 1 bis EKL 4 nach den RAL (FGSV 2012) zugeordnet werden. Zur Bewertung von Streckenabschnitten nach den RAL (FGSV 2012) sind Anpassungen einzelner Parameter notwendig.

Im Bewertungsverfahren beschreibt die Unfallkostenrate des Streckenabschnitts UKR_{SA} den Sicherheitsgrad eines Bewertungsfalls. Zusammen mit den Unfallkosten UK_{SA} stellen sie die Zielgrößen der Bewertung dar. Beide Kenngrößen eignen sich zum Vergleich verschiedener Untersuchungsfälle. Weisen die Untersuchungsfälle Unterschiede in der Verkehrsstärke auf, sind lediglich die UK_{SA} zum Vergleich heranzuziehen. Die UKR_{SA} umfasst die Bestandteile der „Grundunfallkostenrate -ähnlich $gUKR_{\bar{A}}$ “ und den jeweiligen für den Bewertungsfall spezifischen Zuschlägen $zUKR_{\bar{A}}$. Zuschläge werden über den Anteilswert der $zUKR_{\bar{A}}$ an den $gUKR_{\bar{A}}$, entspricht dem A_{UKR} , beschrieben. Zuschläge umfassen zum einen Abweichungen von einem richtliniengerechtem Ausbau des zugrunde liegenden Bewertungsfalls (Defizite), zum anderen allgemeine Streckeneigenschaften. Es wird in kategoriale, stetige und kombinierte Zuschläge unterschieden. Ändern sich Streckeneigenschaften die kategorialen Zuschlägen entsprechen, ist der betrachtete Streckenabschnitt zu teilen. Das Verfahren zur Berechnung der UKR_{SA} sieht mehrere aufeinander folgende Arbeitsschritte vor, die sich in vier wesentliche Vorgänge differenzieren lassen:

- Netzeinteilung
- Berechnung UKR_{VSA}
- Berechnung UKR_{EB} und Prüfung Streckenabschnitt
- Berechnung UKR_{SA} und UK_{SA}

Das Verfahren mit den Berechnungen zu den einzelnen Arbeitsschritten ist in Abbildung M-1 enthalten. Die Eingangsgrößen für das Verfahren stellen die Planunterlagen bzw. Kenntnisse zu den Parametern der Bestandsstrecke dar. Dazu zählen die Angaben zu:

- Verkehrsstärke
- Regelquerschnitten
- Lage- und Höhenplänen
- Beschilderungs- und Markierungspläne
- Landschaftliche Begleitpläne

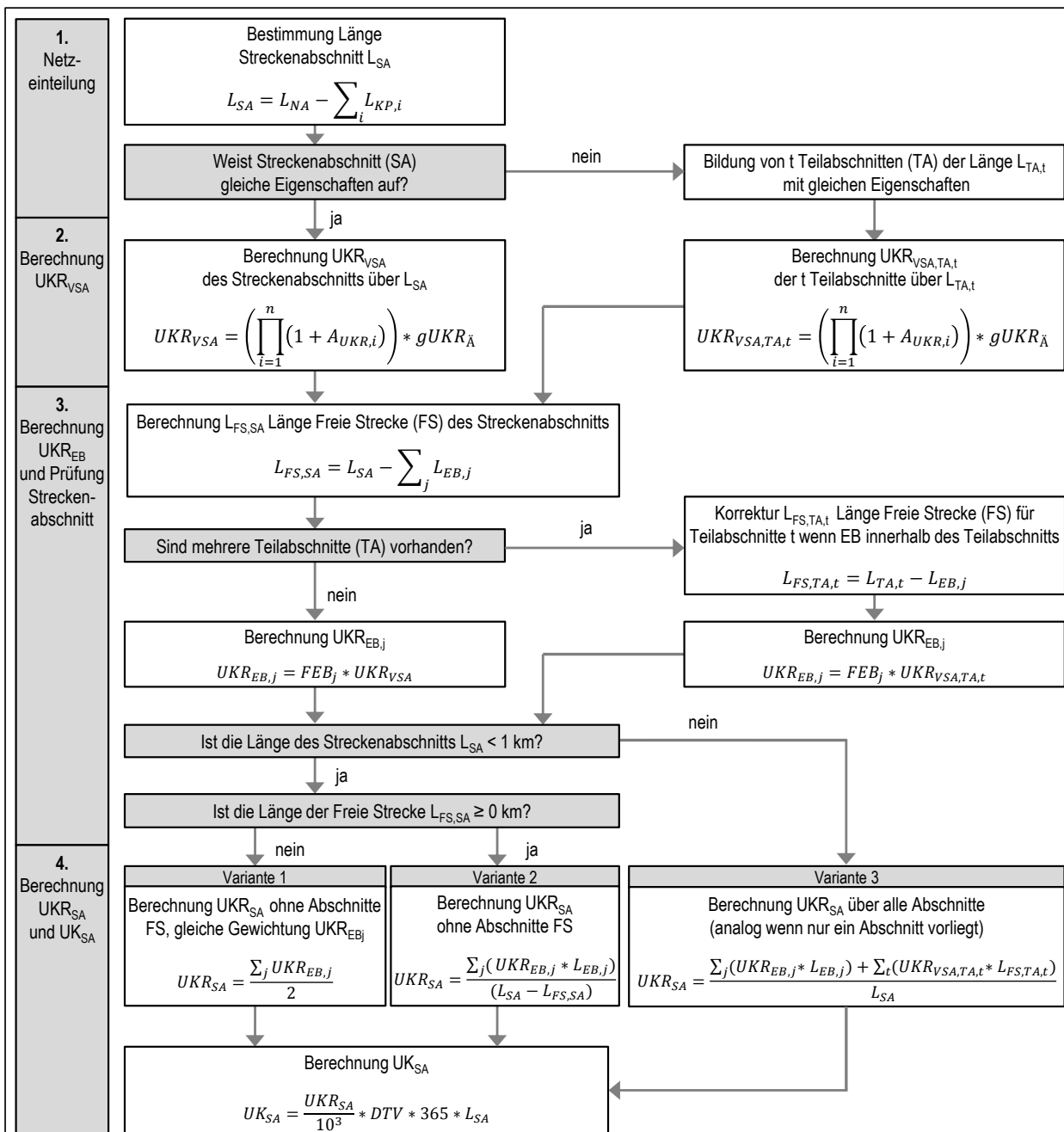


Abbildung M-1: Verfahren zur Berechnung von UKR_{SA} und UK_{SA} eines Streckenabschnitts

Im Vorfeld der Bewertung ist ein Bewertungsfall (Querschnitt) auszuwählen. Die Wahl für Streckenabschnitte im Bestandsnetz richtet sich nach der Fahrstreifenanzahl sowie der befestigten Breite (Fahrbahnbreite) des Querschnitts in Tabelle M-1. Die Einteilung ist an den RQ der RAL orientiert. Im weiteren Verfahren sind die für den Bewertungsfall beschriebenen Zuschläge maßgebend.

Tabelle M-1: Bezeichnung und Abgrenzung der Bewertungsfälle nach dem Querschnitt

Bezeichnung Bewertungsfälle		Pendant RAL	Abgrenzung
Q 9		RQ 9	<ul style="list-style-type: none"> - Einbahnige (zweistreifige) Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $\leq 2,9$ m bei vorhandenem Randstreifen (unabhängig des Vorhandenseins einer markierten Leitlinie/Fahrstreifenbegrenzung) - Einbahnige (zweistreifige) Streckenabschnitte mit einer Fahrbahnbreite $\leq 6,2$ m bei fehlendem Randstreifen
Q 11	2 FS	RQ 11	- Einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,9$ m bei vorhandenem Randstreifen bzw. einer Fahrbahnbreite $> 6,2$ m bei fehlendem Randstreifen
Q 11,5+ 2FS		RQ 11,5+	- Einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,9$ m, wenn im betrachteten Netzknotenabschnitt ein separat einbahnig dreistreifiger Abschnitt mit Überholfahrstreifen vorliegt
Q 11,5+ 3FS	3 FS		- Einbahnig dreistreifige Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,9$ m, wenn Überholfahrstreifen im Netzknotenabschnitt separat vorliegen
Q 15,5		RQ 15,5	- Einbahnig dreistreifige Streckenabschnitte mit durchgehender wechselseitiger Folge von Überholfahrstreifen im Netzknotenabschnitt
Q 21		RQ 21	- Zweibahnig vierstreifige Streckenabschnitte ohne Seitenstreifen

Netzeinteilung

Wird der betrachtete Straßenabschnitt SA durch verkehrsbedeutende Knotenpunkte unterbrochen, sind diese Knotenpunkte von der Bewertung auszuschließen. Als verkehrsbedeutend gelten Knotenpunkte die eine bauliche Veränderung der Zufahrt aufweisen und/oder

- die Regelung des Knotenpunkts mit einer Lichtsignalanlage,
- die Zufahrtsregelung mit Z 205/206 StVO und/oder

- die Beschränkung der V_{zul} in Verbindung mit dem betrachteten Knotenpunkt erfolgt.

Die Länge des betrachteten Streckenabschnitts L_{SA} resultiert aus der Subtraktion der ggf. vorhandenen Knotenpunktbereiche L_{KP} nach Tabelle M-2 von der zugrunde liegenden Länge des Netzabschnitts L_{NA} (Gl. 57)

$$L_{SA} = L_{NA} - \sum_i L_{KP} \quad \text{Gl. 57}$$

L_{SA}	Länge Streckenabschnitt [km]
L_{NA}	Länge Netzabschnitt [km]
L_{KP}	Länge Knotenpunktbereiche i [km]

Tabelle M-2: Abgrenzung der Knotenpunktbereiche L_{KP} nach baulicher Grundform

Bauliche Grundform	Länge Knotenbereich L_{KP} in der Zufahrt ausgehend vom Schnittpunkt der Achsen
Ein/ Ausfahrtbereich	Unabhängig der Fahrtrichtung bestimmt die maximale bauliche Längenausdehnung der Ein-/Ausfahrtbereiche den Knotenbereich
plangleicher (Teil-) Knotenpunkt	100 m

Streckenabschnitte sind anschließend bezüglich ihrer Eigenschaften zu prüfen. Die Streckenabschnitte müssen gleichbleibende Eigenschaften aufweisen. Tritt ein maßgebender Wechsel der in Tabelle M-3 beschriebenen Eigenschaften auf einer Länge von $L \geq 100$ m auf, ist der Streckenabschnitt in Teilabschnitte t der Länge $L_{TA,t}$ mit gleichen Eigenschaften zu gliedern. Ebenfalls eine Abschnittsteilung ist vorzunehmen, wenn die Bedingungen des Querschnitts aus Tabelle M-1 über- oder unterschritten werden. Abschnitte sollen eine Länge von mindestens $L = 100$ m haben. Teilabschnitte mit Längen $L_{TA} < 100$ m sind mit dem längeren Nachbarteilabschnitt zusammenzufassen.

Tabelle M-3: Kriterien zur Bildung von Teilabschnitten

Bewertungsfall	Kriterium
Q 9	<ul style="list-style-type: none"> • Unter- oder Überschreitung der Fahrbahnbreite FBB = 6,0 m • Bei Fahrbahnbreiten $FBB < 6,0$ m beginnt oder endet eine Fahrstreifenmittellmarkierung
Q 2FS	<ul style="list-style-type: none"> • Unter- oder Überschreitung der Fahrbahnbreite FBB = 8,0 m
Q 21	<ul style="list-style-type: none"> • Unter- oder Überschreitung der Summe Fahrstreifenbreite $\Sigma FSB = 6,75$ m • Unter- oder Überschreitung der rechten Randstreifenbreite RSB = 0,5 m
Unabhängig vom Bewertungsfall	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung der Anzahl der Fahrstreifen

Berechnung UKR_{VSA}

Weist ein Netzabschnitt gleichbleibende Eigenschaften auf, wird die vorläufige Unfallkostenrate des Streckenabschnitts UKR_{VSA} auf Basis der Streckenmerkmale über die Länge L_{SA} ermittelt. Für Teilabschnitte erfolgt die Berechnung der $UKR_{VSA,TA}$ entsprechend der jeweiligen Länge L_{TA} des Teilabschnitts. Die $UKR_{VSA,TA,t}$ beschreibt den berechneten Sicherheitsgrad des Teilabschnitts t auf seine Länge $L_{TA,t}$.

Es ist die Grundunfallkostenrate (-ähnlich) $gUKR_{\bar{A}}$ für den Bewertungsfall auf Basis der Verkehrsstärke nach Tabelle M-4 für die betrachteten Abschnitte zu berechnen.

Tabelle M-4: $gUKR_{\bar{A}}$ der Bewertungsfälle

Bewertungsfall	$gUKR_{\bar{A}} = k_{UKR} * DTV^{f_{UKR}}$		$gUKR_{\bar{A}} = k_{UKR} * DTV^{f_{UKR}} + h_{UKR} * DTV$		
	k_{UKR}	f_{UKR}	k_{UKR}	f_{UKR}	h_{UKR}
Q 9			442,8	-0,377	0,0005
Q 2FS			242,1	-0,299	0,0001
Q 3FS	61,1	-0,152			
Q 21	378,9	-0,403			

Danach sind die Zuschläge zur $gUKR_{\bar{A}}$ jedes betrachteten Abschnitts zu ermitteln. Grundlage bilden die kategoriale Zuschläge nach Tabelle M-5 sowie stetige und kombinierte Zuschläge nach Tabelle M-7. Die Höhe der Zuschläge werden über den Anteilswert A_{UKR} auf Basis der Grundwerte GW beschrieben. Die Formeln zur Berechnung des A_{UKR} sind in für kategoriale Zuschläge in Tabelle M-5, für stetige und kombinierte Zuschläge der

Tabelle M-7 in Tabelle M-6 aufgeführt. Die allgemeine Berechnung der UKR_{VSA} für Streckenabschnitte und $UKR_{VSA,TA}$ beruht auf der Multiplikation der $gUKR_{\bar{A}}$ mit der Produktsomme der ermittelten Zuschläge (Gl. 58). Für Zuschläge die über ihre Dichte berücksichtigt werden, gilt: Ist $L_{SA} < 500$ m bzw. $L_{TA,t} < 500$ m, wird zur Berechnung des A_{UKR} betroffener Zuschläge für L_{SA} bzw. $L_{TA,t}$ eine virtuelle Länge von $L_{SA} = 500$ m bzw. $L_{TA,t} = 500$ m angesetzt.

$$UKR_{VSA} = UKR_{VSA,TA,t} = \left(\prod_{i=1}^n (1 + A_{UKR,i}) \right) * gUKR_{\bar{A}} \tag{Gl. 58}$$

UKR_{VSA} vorläufige Unfallkostenrate Streckenabschnitt [€/((10³Kfz*km))]

$UKR_{VSA,TA,t}$ vorläufige Unfallkostenrate Streckenabschnitt, Teilabschnitt t [€/((10³Kfz*km))]

$gUKR_{\bar{A}}$ Grundunfallkostenrate (-ähnlich) [€/((10³Kfz*km))]

$A_{UKR,j}$ Anteilswert $zUKR_{\bar{A}}$ an $gUKR_{\bar{A}}$ für Merkmal i [-]

Tabelle M-5: Grundwert (GW) und Berechnungsform für kategoriale Zuschläge der Bewertungsfälle zur Bestimmung der $A_{UKR,i}$

Kriterium	Beschreibung Zuschlag	Q 9		Q 2FS		Q 3FS		Q 21	
		GW [%]	G	GW [%]	G	GW [%]	G	GW [%]	G
Querschnitt	Fahrbahnbreite FBB > 6,0 m [-]	(38)	2						
		b = -0,0012 c = 40,3							
	Fahrbahnbreite FBB < 8,0 m [-]			39	1				
	Querschnitt Q11,5+ 3FS [-]					15	1		
	Summe der Fahrstreifen Σ FSB < 6,75 m [-]							32	1
Rechte Randstreifenbreite RSB < 0,50 m [-]							11	1	
Verkehrstechnik	Trennung der Fahrtrichtungen mit Mittelmarkierung bei einer Fahrbahnbreite FBB < 6,0 m [-]	(38)	2						
		b = -0,0012 c = 40,3							
GW	Grundwert								
G	Anzuwendende Gleichung zur Berechnung von $A_{UKR,i}$								
b/c	Parameter der Funktion verkehrsstärkeabhängiger Zuschläge								
Gleichung 1		Gleichung 2							
$A_{UKR,i} = GW$		$A_{UKR,i} = \frac{(b * DTV + c)}{100}$							

Die UKR_{VSA} / $UKR_{VSA,TA}$ stellen eine Hilfsgröße zur Ermittlung der UKR_{SA} dar. Eine Differenzierung in Abschnitte des EB und der FS erfolgt an dieser Stelle nicht, sofern keine Notwendigkeit hinsichtlich differenter Streckeneigenschaften (siehe Arbeitsschritt Netzeinteilung) besteht.

Tabelle M-6: Anzuwendende Gleichungen zur Berechnung stetiger und kombinierter Zuschläge

Gleichung 1	Gleichung 2
$A_{UKR,i} = A \frac{(b * DTV + c)}{100}$	$A_{UKR,i} = \begin{cases} A \frac{(b * DTV + c)}{100}, & \text{für } A \leq F_G \\ F_G \frac{(b * DTV + c)}{100}, & \text{für } A > F_G \end{cases}$
Gleichung 3	Gleichung 4
$A_{UKR,i} = A * GW$	$A_{UKR,i} = \begin{cases} A * GW, & \text{für } A \leq F_G \\ F_G, & \text{für } A > F_G \end{cases}$

Tabelle M-7: Grundwert (GW) und Berechnungsform für stetige und kombinierte Zuschläge der Bewertungsfälle

Kriterium	Beschreibung Zuschlag	Q 9			Q 2FS			Q 3FS			Q 21			
		A	GW F _G [%]	G	A	GW F _G [%]	G	A	GW F _G [%]	G	A	GW F _G [%]	G	
Lageplan	Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade außerhalb des brauchbaren Bereichs mit gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius [Häufigkeit/km]*	≤3	12	4	≤3	(17)	2							
	>3	36	>3		(51)									
					b = -0,0004 c = 19,85									
	Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade außerhalb des brauchbaren Bereichs ohne gleichzeitiger Unterschreitung des Mindestradius [Häufigkeit/km]*	≤3	7	4	≤3	(8,5)	2				≤2	8	4	
>3	21	>3	(25,5)					>2	16					
				b = -0,0002 c = 9,92										
Unterschreitung des Mindestradius, Radienrelation bzw. Radius im Anschluss an Gerade innerhalb des regulären Bereichs [Häufigkeit/km]*	≤3	(4)	2	≤3	(8,5)	2	≤3	14	4					
>3	(12)	>3		(25,5)	>3		42							
		b = -0,0013 c = 1,78		b = -0,0002 c = 9,92										
Kurvigkeit [gon/km]											1,2	3		
Höhenplan	Unterschreitung des Kuppenhalbmessers [Häufigkeit/km]			4	3									
	Hügeligkeit [%]					5	3	9	3					
Seitenraum	Anschlüsse öffentlicher Straßen und Wege [Häufigkeit/km]			(20)	1	(9)	1							
			b = -0,0015 c = 22,9		b = -0,0001 c = 9,58									
	Anschlüsse Grundstückzufahrten / landwirtschaftliches Wegenetz [Häufigkeit/km]			4,5	3	≤4	1	4						
	>4			8										
	Punktuelle Gefahrenstellen [Häufigkeit/km]					≤4	1	4						
>4			8											
Linienhafte fahrbahnnahe Bepflanzung (Bäume) auf Bankett ohne Schutteinrichtung [Anteil/km]			20	3	(21)	1	54	3						
						b = -0,0006 c = 24,37								
Linienhafte fahrbahnnahe Bepflanzung (Bäume) hinter Böschungsmulde ohne Schutteinrichtung [Anteil/km]			13	3	(14)	1	36	3						
						b = -0,0004 c = 16,25								
Verkehrstechnik (Ausstattung)	V _{zul} = 100 km/h [Anteil/km]			(22)	1									
			b = 0,0072 c = 8,09								20	3		
	V _{zul} > 100 km/h [Anteil/km]													
Markierung Fahrtrichtungstrennung mit Leitlinie Z 340 StVO oder einseitiger Fahrstreifenbegrenzung Z 296 StVO [Anteil/km]					(12,5)	1								
						b = 0,0007 c = 8,36								
GW	Grundwert													
F _G	Grenzwert													
A	Anteilswert als Grenze zwischen stetiger und fixer Größenordnung des Zuschlags													
G	Anzuwendende Gleichung zur Berechnung von A _{UKR,i} nach Tabelle M-6													
b/c	Parameter der Funktion verkehrsstärkeabhängiger Zuschläge													
*	Liegen mehr als 3 Defizite in der Lageplantrassierung vor, sind die 3 Defizite mit dem höchsten GW in der Rechnung zu verwenden													

Berechnung UKR_{EB} und Prüfung Streckenabschnitt

Die Länge der Freien Strecke eines betrachteten Streckenabschnitts $L_{FS,SA}$ berechnet sich aus der Längendifferenz vom Streckenabschnitt L_{SA} und der Summe der Einflussbereiche L_{EB} (wenn vorhanden) nach Gl. 59. Die Längen der Einflussbereiche L_{EB} sind Tabelle M-8 zu entnehmen

$$L_{FS,SA} = L_{SA} - \sum_i L_{EB,j} \quad \text{Gl. 59}$$

$L_{FS,SA}$	Länge der Freien Stecke auf Streckenabschnitt [km]
L_{SA}	Länge Streckenabschnitt [km]
$L_{EB,j}$	Länge der Einflussbereiche j

Ist der Streckenabschnitt in mehrere Teilabschnitte gegliedert, ist die Länge der Freien Strecke jedes Teilabschnitts $L_{FS,TA}$ nach Gl. 60 zu bestimmen. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass ein Bereich des Teilabschnitts den Einflussbereichen zuzurechnen ist.

$$L_{FS,TA,t} = L_{TA,t} - L_{EB,j} \quad \text{Gl. 60}$$

$L_{FS,SA,t}$	Länge der Freien Stecke auf Teilabschnitt t [km]
$L_{TA,t}$	Länge Teilabschnitt t [km]
$L_{EB,j}$	Länge der Einflussbereiche j

Die $UKR_{EB,j}$ werden aus dem Produkt des Faktors des Einflussbereichs FEB und den $UKR_{VSA}/UKR_{VSA,TA}$ berechnet (Gl. 61). Die FEB sind nach der Art des Übergangs und des zugrunde liegenden Bewertungsfalls zu wählen (Tabelle M-9). Für die Berechnung einiger der FEB ist die Verkehrsstärke des betrachteten Streckenabschnitts maßgebend.

$$UKR_{EB,j} = \begin{cases} FEB_j * UKR_{VSA}, & \text{wenn keine Teilabschnitte} \\ FEB_j * UKR_{VSA,TA,t}, & \text{wenn mehrere Teilabschnitte} \end{cases} \quad \text{Gl. 61}$$

$UKR_{EB,j}$	Unfallkostenrate des Einflussbereichs j [$\text{€}/(10^3\text{Kfz}*\text{km})$]
UKR_{VSA}	vorläufige Unfallkostenrate Streckenabschnitt [$\text{€}/(10^3\text{Kfz}*\text{km})$]
$UKR_{VSA,TA,t}$	vorläufige Unfallkostenrate Streckenabschnitt, Teilabschnitt t [$\text{€}/(10^3\text{Kfz}*\text{km})$]
FEB_j	Faktor Einflussbereich j [-]

Tabelle M-8: Längen der Einflussbereiche L_{EB} nach der Art des Übergangs

Art des Übergangs	Grundform/ Zufahrtregelung	L_{EB} [km]
Ortsdurchfahrt (Z 310 StVO)	-	0,2
Ein-/Ausfahrtbereich	Ein-/Ausfädeln	0,3
Plangleicher (verkehrsbedeutender) (Teil-) Knotenpunkt	Kreisverkehr	0,3
	LSA	
	Z 306 StVO	
	Z 205 / 206 StVO	0,3

Tabelle M-9: FEB nach der Art des Übergangs und Bewertungsfall

Art des Übergangs		FEB für Bewertungsfälle [-]				
		Q 9	Q 2FS	Q 3FS	Q 21	
Ortschaft (ODF)		$2,15 * DTV^{-,123}$	$2,90 * DTV^{-,142}$	-	-	
Knotenpunkt	VZ		0,65	0,69	-	-
			0,82	0,84	-	-
	LSA		0,68*	$0,14 * DTV^{,198}$	-	0,90*
			0,75*	$0,19 * DTV^{,170}$	-	0,95*
	Kreisverkehr (KV)		0,58*	0,58**	-	-
	Ein-/Ausfahrtbereich (TPF)		-	0,95	0,89	0,88

* Grundform nach RAL (FGSV 2012) möglich, Schätzung der FEB, Größenordnung nicht abgesichert
** Größenordnung FEB berechnet aber nicht abgesichert

Die Vorgehensweise bei der Berechnung von UKR_{SA} ist abhängig von der Länge des betrachteten Streckenabschnitts L_{SA} und der Länge der Freien Strecke $L_{FS,SA}$. Mit einer Prüfung beider Längen wird die maßgebende Berechnungsvariante bestimmt.

Berechnung UKR_{SA} und UK_{SA}

Sind $L_{SA} < 1$ km und $L_{FS,SA} < 0$ km, wird die UKR_{SA} nach Gl. 62 berechnet (Variante 1).

$$UKR_{SA} = \frac{\sum_j UKR_{EB,j}}{2} \quad \text{Gl. 62}$$

UKR_{SA} Unfallkostenrate des Streckenabschnitts [€/((10³Kfz*km))]

$UKR_{EB,j}$ Unfallkostenrate des Einflussbereichs j [€/((10³Kfz*km))]

Ist $L_{SA} < 1$ km aber $L_{FS,SA} \geq 0$ km, wird die UKR_{SA} nach Gl. 63 berechnet (Variante 2).

$$UKR_{SA} = \frac{\sum_j (UKR_{EB,j} * L_{EB,j})}{(L_{SA} - L_{FS,SA})} \quad \text{Gl. 63}$$

UKR_{SA}	Unfallkostenrate des Streckenabschnitts [€/((10 ³ Kfz*km))]
$UKR_{EB,j}$	Unfallkostenrate des Einflussbereichs j [€/((10 ³ Kfz*km))]
$L_{EB,j}$	Länge Einflussbereich j [km]
$L_{FS,SA}$	Länge Freie Strecke, Streckenabschnitt [km]
L_{SA}	Länge Streckenabschnitt [km]

Ist $L_{SA} > 1$ km ergibt sich die UKR_{SA} nach Gl. 64 (Variante 3).

$$UKR_{SA} = \begin{cases} \frac{\sum_j (UKR_{EB,j} * L_{EB,j}) + (UKR_{VSA} * L_{FS,SA})}{L_{SA}}, & \text{keine Teilabschnitte} \\ \frac{\sum_j (UKR_{EB,j} * L_{EB,j}) + \sum_t (UKR_{VSA,TA,t} * L_{FS,TA,t})}{L_{SA}}, & \text{mehrere Teilabschnitte} \end{cases} \quad \text{Gl. 64}$$

UKR_{SA}	Unfallkostenrate des Streckenabschnitts [€/((10 ³ Kfz*km))]
$UKR_{EB,j}$	Unfallkostenrate des Einflussbereichs j [€/((10 ³ Kfz*km))]
$UKR_{VSA,TA,t}$	vorläufige Unfallkostenrate Streckenabschnitt, Teilabschnitt t [€/((10 ³ Kfz*km))]
UKR_{VSA}	vorläufige Unfallkostenrate Streckenabschnitt [€/((10 ³ Kfz*km))]
$L_{EB,j}$	Länge Einflussbereich j [km]
$L_{FS,TA,t}$	Länge Freie Strecke, Teilabschnitt t [km]
$L_{FS,SA}$	Länge Freie Strecke, Streckenabschnitt [km]
L_{SA}	Länge Streckenabschnitt [km]

Aus der UKR_{SA} lassen sich die Unfallkosten des betrachteten Abschnitts (UK_{SA}) nach Gl. 65 ermitteln.

$$UK_{SA} = \frac{UKR_{SA}}{10^3} * DTV * 365 * L_{SA} \quad \text{Gl. 65}$$

UK_{SA}	Unfallkosten des Streckenabschnitts [€]
UKR_{SA}	Unfallkostenrate des Streckenabschnitts [€/((10 ³ Kfz*km))]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
L_{SA}	Länge Streckenabschnitt [km]

Bisher sind in dieser Schriftenreihe folgende Hefte erschienen:

Heft 1/1996:

KNÖBEL, M.; WERMUTH, M.; ACKERMANN, K.; FÖRSCHNER, G.: System repräsentativer Verkehrsbefragung 1994 (SrV Abschlusskolloquium)

Heft 2/1996:

RICHTER, F.; BECKER, U.; ELSEL, E.: Emissionsabschätzung einer Ausfallstraße in Dresden

Heft 3/1997:

LOHSE, D.; SCHNEIDER, R.: Vergleichende Untersuchung der aggregierten und disaggregierten Verkehrsplanungsmodelle in der Deutschen Demokratischen Republik und der Bundesrepublik Deutschland unter Berücksichtigung vorhandener Daten aus Verkehrszählungen und Befragungen

Heft 4/1997:

LÄTZSCH, L.: Die Wirkungsweise deterministischer und stochastischer Modelle zur Umlegung des individuellen Kraftfahrzeugverkehrs bei Straßennetzberechnungen

Heft 5/1997:

LOHSE, D.; TEICHERT, H.; DUGGE, B.; BACHNER, G.: Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen - Verkehrsnachfragemodellierung -

Heft 6/1999:

KNOTE, T.; KORN, J.; LÄTZSCH, L.; RINGEL, R.; SCHNABEL, W.: Bewertung des Verkehrsablaufes auf städtischen Hauptverkehrsstraßen - gezeigt am Beispiel der Reisezeitmessung in der Stadt Dresden

Heft 7/2003:

KNOTE, T.: Die Kapazität von Nebenströmen auf städtischen Vorfahrtknoten

Heft 8/2004:

SCHILLER, C.: Integration des ruhenden Verkehrs in die Verkehrsangebots- und Verkehrsnachfragemodellierung

Heft 9/2006:

DUGGE, B.: Ein simultanes Erzeugungs-, Verteilungs-, Aufteilungs- und Routenwahlmodell (EVA-U)

Heft 10/2007:

SCHILLER, C.: Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte der Raum- und Infrastrukturplanung

Heft 11/2008:

WITTWER, R.: Raumstrukturelle Einflüsse auf das Verkehrsverhalten - Nutzbarkeit der Ergebnisse großräumiger und lokaler Haushaltsbefragungen für makroskopische Verkehrsplanungsmodelle

Heft 12/2010:

SCHÜLLER, H.: Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung

Heft 13/2012:

WINKLER, C.: Ein integriertes Verkehrsnachfrage- und Bewertungsmodell – Ansatz einer Synthese von Mikroökonomie und Verkehrsplanung

Heft 14/2013:

AURICH, A.: Modelle zur Beschreibung der Verkehrssicherheit innerörtlicher Hauptverkehrsstraßennetze unter besonderer Berücksichtigung der Umfeldnutzung

Heft 15/2014:

SCHMOTZ, M.: Bemessungsverfahren für Minikreisverkehre und einstreifige Kreisverkehre

Heft 16/2014:

WITTMER, R.: Zwangsmobilität und Verkehrsmittellorientierung junger Erwachsener: Eine Typologisierung

Heft 17/2016:

BERGER, R.: Modelle zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Landstraßen