

Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 226

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page, partially overlapping a vertical white line that runs from the top to the bottom of the page.

Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen

von

Reinhold Maier
Ralf Berger
Hagen Schüller

Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik
mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung
TU Dresden

unter Mitarbeit von

Andreas Heine

Lehrstuhl für die Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen
TU Dresden

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 226

bast

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

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

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

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

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

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

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die Berichte der BAST zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de/benutzung>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 82.334/2007
Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Straßen

Fachbetreuung
Markus Lerner

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-023-6

Bergisch Gladbach, August 2013

Kurzfassung – Abstract

Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen

Die Ermittlung von Grundunfallkostenraten und Quantifizierung von Zuschlägen für Landstraßenquerschnitte sind Ziel dieses Forschungsvorhabens. Die Ergebnisse sollen eine Bewertungsgrundlage im Handbuch für die Verkehrssicherheit von Straßen (HVS) darstellen.

3.600 km Landstraße aus sechs Bundesländern liegen dem Untersuchungskollektiv zugrunde. Neben dem mehrjährigen Unfallgeschehen bilden Daten der SIB und Erhebungen aus Streckenbefahrungen die Datengrundlage der Untersuchungen. Die Zuordnung der Streckenabschnitte erfolgte in Anlehnung an den Entwurf der Richtlinie für die Anlage von Landstraßen (RAL) in fünf verschiedene (Regel-)Querschnittsgruppen.

Multivariate Modelle zur Beschreibung der Unfallhäufigkeit bilden die mathematische Grundlage der Analyse. Gegenüber monokausalen Betrachtungen weisen sie den Vorteil auf, eine Vielzahl von Einflussgrößen zu erfassen sowie mögliche Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Variablen zu berücksichtigen.

Für die verschiedenen Straßenquerschnitte und Einmündungen mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen wurden jeweils drei Modelle nach Unfallschwere erstellt. Zugrunde liegende Merkmale wurden auf ihren signifikanten Erklärungsanteil zur Beschreibung der Unfallhäufigkeit geprüft und entsprechend im Modell als Zuschlag berücksichtigt. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden Funktionen zum Verlauf der Unfallrate und Unfallkostenrate erzeugt.

Grundunfallkostenraten beschreiben das fahrleistungsbezogene Unfallkostenniveau eines Netzelements, welches bei regelkonformem Ausbau der Strecke erreicht werden kann. Da in den Modellen auch Merkmale berücksichtigt sind, die kein Defizit im eigentlichen Sinne darstellen, entspricht die Höhe der UKR ohne jegliche Zuschläge einem Grundniveau. Diesem sind Zuschläge, unterteilt in Defizite und die Streckencharakteristik beschreibende Eigenschaften, zuzuordnen.

Anhand der Modelle kann nachgewiesen werden, dass verschiedene Straßenquerschnitte ein unter-

schiedliches Grundsicherheitsniveau aufweisen. Zwischen Unfallhäufigkeit und DTV besteht ein nichtlinearer Zusammenhang. Die Unfallrate bzw. Unfallkostenrate stellt somit eine vom DTV abhängige Kenngröße dar. In Abhängigkeit des Querschnitts besitzen verschiedene Merkmale einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit. Die Größenordnung der Zuschläge kann als Anteil am Grundniveau der UKR beschrieben werden. Die ermittelten Zuschläge wurden ggf. vergleichend betrachtet und im Rahmen einer plausibilisierten Bewertung der Querschnitte angepasst.

In Anlehnung an das HVS erfolgt die Darstellung der Berechnung für Grundunfallkostenraten und deren Zuschläge für Landstraßenquerschnitte. Dabei werden zwei verschiedene Ansätze vorgestellt. Die Ergebnisse für Einmündungen mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen besitzen empfehlenden Charakter.

Evaluation model for traffic safety on rural roads

This research projects is aiming at the analysis of basic accident cost rates and the quantification of surcharges for cross-sections of rural roads. The results will present a valuation basis in the German manual on the assessment of road traffic safety (HVS).

The research collective is based on 3,600 km rural roads from six federal states. In addition to perennial accident occurrences, data of the road information bases (SIB) and surveys from road inspections are the data set of the research. Road sections were allocated according to the guidelines for the construction of rural roads (RAL) in five different (typical) groups of cross-sections.

The mathematical basis of the analysis are multivariate models to describe accident frequency. Compared to monocausal considerations, they have the advantage to gather a multiplicity of actuating variables as well as to take into account possible dependencies between different variables.

For different cross-sections and t-junctions regulated by traffic signs, three models had respectively been developed according to accident severity. Underlying parameters were analyzed on the basis of their significance of clarification when describing the accident frequency and in the model

accordingly taken into account as surcharge. On the basis of these results, functions were generated on the course of the accident rate and accident cost rate.

Basic accident cost rates describe the accident cost level dependent on the vehicle mileage of a network element which can be achieved when sections are constructed compliant to rules. Since parameters which do actually not represent a deficit are also considered in the models, the rate of the accident cost rate without any surcharges equates a base level. Surcharges, divided into deficits and properties describing characteristics of sections are to be allocated to this base level.

On the basis of the models can be demonstrated that different cross-sections of roads show a different basic safety level. There is a non-linear correlation between accident frequency and the average daily traffic volume. The accident rate or accident cost rate thus represents an index dependent on the average daily traffic volume. Dependent on the cross-section, different parameters influence traffic safety. The magnitude of surcharges can be described as an accident cost rate ratio of the base level. If necessary, the determined surcharges were examined in a comparative way and adapted as part of a plausible assessment of the cross-sections.

The calculation for basic accident cost rates and its surcharges for cross-sections of rural roads are illustrated according to the HVS. Thus, two different approaches will be presented. The results for t-junctions regulated by traffic signs are of advisory nature.

Inhalt

Abkürzungen	6	3.6 Analyse Unfallgeschehen	29
1 Einleitung	7	3.6.1 Klassifizierung und Bewertung	29
1.1 Ausgangslage und Zielstellung	7	3.6.2 Beschreibung Unfallkenngößen	31
1.2 Untersuchungsablauf	7	3.7 Aufbereitung Merkmale	32
2 Erkenntnisstand	8	3.8 Unfallkollektiv	34
2.1 Regelwerke	8	4 Ergebnisse freie Strecken	36
2.1.1 Entwurf	8	4.1 Streckenkollektiv	36
2.1.2 Sicherheitsbewertung	9	4.2 Übersicht relevante Merkmale	37
2.2 Verkehrssicherheit von Entwurfselementen	9	4.3 Querschnitt 11	40
2.2.1 Querschnitt	9	4.3.1 Parameter Teilmodelle	40
2.2.2 Trassierung im Lageplan	11	4.3.2 Residuenanalyse	43
2.2.3 Trassierung im Höhenplan und räumliche Linienführung	11	4.3.3 Grundfunktionen UR	45
2.3 Ausstattung und Seitenraum	12	4.4 Querschnitt 9	47
3 Methodik	13	4.4.1 Parameter Teilmodelle	47
3.1 Datengrundlage	13	4.4.2 Residuenanalyse	49
3.1.1 Daten Abschnittscharakteristik	13	4.4.3 Grundfunktion UR	50
3.1.2 Datenerfassung Roadview	14	4.5 Querschnitt „dreistreifig“	52
3.1.3 Kreisstrukturdaten	16	4.5.1 Parameter Teilmodelle	52
3.1.4 Unfalldaten	16	4.5.2 Residuenanalyse	54
3.2 Festlegung Querschnittstypen	17	4.5.3 Grundfunktion UR	55
3.3 Abschnittsbildung	18	4.6 Querschnitt 21	57
3.3.1 Knotenpunkte	18	4.6.1 Parameter Teilmodelle	57
3.3.2 Einflussbereiche von Knotenpunkten	19	4.6.2 Residuenanalyse	59
3.3.3 Strecke	20	4.6.3 Grundfunktionen	59
3.4 Bewertung Relationstrassierung	23	4.7 Funktionen der Unfallraten für die Querschnitte	60
3.5 Statistisches Modell	24	4.7.1 Grundfunktionen	60
3.5.1 Grundlagen	24	4.7.2 Anwendungsbeispiele Modelle	62
3.5.2 Entwicklung Einzelmodell	25	4.8 Volkswirtschaftliche Bewertung	64
3.5.3 Modellprüfung	27	4.8.1 Grundfunktionen	64
3.5.4 Struktur der Modelle	28	4.8.2 Berechnung der Zuschläge	67
		4.8.3 Einschränkungen bei der Anwendung der Zuschläge	69

4.8.4	Übersicht der ermittelten Zuschläge . . .	71
4.8.5	Plausibilitätsprüfung Zuschläge	73
4.9	Vorschlag Anwendung HVS	78
4.10	Annäherungsbereiche	81
5	Ergebnisse Knotenpunkte	85
5.1	Knotenpunktkollektiv	85
5.2	Übersicht relevante Merkmale	85
5.3	VZ-geregelte Einmündungen	87
5.3.1	Parameter Teilmodelle	87
5.3.2	Residuenanalyse	88
5.3.3	Grundfunktion UR	89
5.4	Volkswirtschaftliche Bewertung	90
5.4.1	Grundfunktionen	90
5.4.2	Übersicht ermittelte Zuschläge	91
5.4.3	Einschränkungen	91
6	Abschließende Bewertung	92
6.1	Streckenabschnitte	92
6.2	Annäherungsbereiche	93
6.3	Knotenpunkte	93
7	Zusammenfassung	94
8	Literatur	95

Abkürzungen

A	Ausprägung
Akp	Anschlussknotenpunkt
$A_{UKR_{\check{A}}}$	Anteil der $zUKR_{\check{A}}$ an der $gUKR_{\check{A}}$
DTV	durchschnittlich täglicher Verkehr
EKL	Entwurfsklasse
F_G	Faktor Grenzwert
FBB	Fahrbahnbreite
FSB	Fahstreifenbreite
$gUKR_{\check{A}}$	Grundunfallkostenrate -ähnlich
$gUR_{\check{A}}$	Grundunfallrate -ähnlich
GW	Grundwert
HK	Hügeligkeit
HVS	Handbuch für die Verkehrssicherheit von Straßen
KS	Kostensatz
KSa	angepasster Kostensatz
KU	Kurvigkeit
LSA	Lichtsignalanlage
PGS	punktuelle Gefahrenstelle
Q	Straßenquerschnitt
RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen
RQ	Regelquerschnitt
RSB	Randstreifenbreite
SIB	Straßeninformationsbanken
U	Unfall
U(P)	Unfall mit Personenschaden
U(P, S)	Unfälle mit Personen- oder Sachschaden
U(LS)	sonstiger Unfall mit Sachschaden
U(SS)	schwerwiegender Unfall mit Sachschaden
UD	Unfalldichte
UKR	Unfallkostenrate
UR	Unfallrate
VZ	Verkehrszeichen
v_{zul}	zulässige Höchstgeschwindigkeit
$zUKR_{\check{A}}$	Zuschlag Unfallkostenrate -ähnlich

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Zielstellung

Die Bewertung der Verkehrssicherheit erfolgt in quantitativen Verfahren, wie z. B. der Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) über die volkswirtschaftlichen Kosten, welche durch Unfälle entstehen. Es ist das Ziel, dass durch die Ausrichtung von Planung und Betrieb von Straßen diese Kosten minimiert werden und damit ein positiver Nutzenbeitrag entsteht. Dieser wird den Investitionskosten gegenübergestellt. Diese Relation lässt die Bauwürdigkeit bzw. Sinnhaftigkeit der Veränderung einer Verkehrsanlage erkennen. Ein Teil des Gesamtnutzens, bspw. beim Umbau einer Verkehrsanlage, ergibt sich aus den Sicherheitsveränderungen und resultiert aus Unfällen, die aufgrund einer Verbesserung der Infrastruktur vermieden werden. Abgesicherte Erkenntnisse zur Sicherheitswirkung unterschiedlicher Gestaltungen und Betriebsformen von Straßen- und Verkehrsanlagen sind aber nur in unzureichender Qualität vorhanden, denn sie sind häufig älteren Datums, zu wenig differenziert oder basieren auf kleinen Untersuchungskollektiven.

Bisher existiert kein Regelwerk, welches Grundlagen und Sicherheitsgrade für die Bewertung von Straßenverkehrsanlagen in ausreichend differenziertem Maße enthält. Die EWS 97 (FGSV 1997) und der Bundesverkehrswegeplan (BMVBW 2003) ermöglichen eine pauschale Bewertung von Straßenbauvorhaben im Rahmen der Investitionsplanung. Die darin beschriebenen Verfahren sind aber sehr grob und für eine differenzierte Bewertung der Verkehrssicherheit nicht geeignet. Eine Sicherheitsbewertung von Regelquerschnitten erfolgte in den RAS-Q (FSGV 1996) und wurde in ECKSTEIN & MEEWES (2002) fortgeschrieben. Diese Bewertung wird aber immer noch als zu wenig detailliert eingeschätzt, denn weder die Ausstattung noch die Elemente der Trassierung finden Berücksichtigung in den dort angegebenen Sicherheitsgraden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes FE 03.389/2005 wurde mit dem Handbuch für die Verkehrssicherheit von Straßen (HVS) ein Verfahrensansatz entwickelt, mit Hilfe dessen die Verkehrssicherheit von Straßen für unterschiedliche Regelquerschnitte und Knotenpunktarten unter Berücksichtigung verschiedener baulicher und betrieblicher Merkmale bewertet werden kann (BARK et al. 2008). Es werden Grundunfallkostenraten – diese Beschreiben das Sicherheitsniveau eines Netzele-

ments bei regelkonformem Ausbau – von Regelquerschnitten differenziert nach zulässigen Höchstgeschwindigkeiten (nur außerorts) für Stadt- und Landstraßen sowie Autobahnen angegeben. Aus der Summe von Grundunfallkostenrate und entwurfs- und situationsbedingten Zuschlägen (auf Grundlage von Defiziten) wird die Unfallkostenrate des Netzelements ermittelt.

Mangels aussagefähiger Untersuchungen in der Vergangenheit zu den Sicherheitswirkungen und quantitativen Unfallwahrscheinlichkeiten vieler Straßenverkehrsanlagen und ihrer Elemente sind ein großer Teil der im bisherigen Entwurf des HVS angegebenen Grundunfallkostenraten sowie die dazugehörigen Zuschläge nicht ausreichend abgesichert bzw. beruhen auf einfachen Schätzungen. Hinzu kommt, dass bisherige Untersuchungen zur Ermittlung von Sicherheitsgraden mit methodischen Problemen behaftet sind.

Hinsichtlich der im Entwurf des HVS aufgeführten und bezifferten Zuschläge zu den Grundunfallkostenraten ist der wissenschaftliche Kenntnisstand für ein quantitatives Bewertungsverfahren dieser Detailtiefe noch nicht zufrieden stellend. Teilweise existieren nur Vermutungen zur Sicherheitsrelevanz und zur Sicherheitswirkung von Infrastrukturelementen. Darüber hinaus bestehen bislang nur wenige Erkenntnisse über die Wechselwirkung der mit den Zuschlägen angesprochenen Merkmale.

An dieser Stelle setzt das Forschungsprojekt an. Auf Basis eines Untersuchungskollektivs von 3.600 km Netzlänge werden Grundunfallkostenraten sowie quantifizierbare Zuschläge für Landstraßenquerschnitte abgeleitet. Dabei werden multivariate Unfallmodelle verwendet, um die bisher aufgetretenen Probleme bei der Unfallanalyse (z. B. Einfluss kurzer Längen und geringer Unfallzahlen) besser beherrschen zu können und vor allem um Interdependenzen zwischen potenziellen Einflussvariablen zu kontrollieren.

1.2 Untersuchungsablauf

Der grundlegende Teil des Forschungsprojektes war der Beschaffung von Straßendaten sowie dem Aufbau einer Datenbank von 3.600 km Landstraße gewidmet. Da die bei den Straßenbaulastträgern vorhandenen Straßeninformationsbanken (SIB) für Landstraßen nicht die benötigte Detailtiefe und Datenqualität aufweisen, mussten ergänzende Stra-

ßenmerkmale durch zusätzliche Befahrungen nacherhoben werden. Dies geschah mit einem speziell ausgerüsteten Fahrzeug, mit dem Trassierungsparameter und auf Basis einer detaillierten Bilddokumentation auch Ausstattungsmerkmale sowie Seitenraumgestaltung erhoben wurden.

Zusätzlich wurden Unfalldaten von den Ländern beschafft. Für die Untersuchung kamen ausschließlich Bundesländer infrage, welche polizeilich erhobene Unfälle in elektronischen Datenbanken vorhalten, wie bspw. EUSka, da eine manuelle Auswertung und geografische Referenzierung von Unfällen zu den Streckenparametern im notwendigen Umfang für den vorgesehenen Untersuchungsansatz nicht zu leisten waren. Auf Basis von Luftbildern und den vorhandenen Straßeninformationbanken wurden grundsätzlich geeignete Strecken für die Befahrung ausgewählt. Längen, differenziert nach den vorgenommenen Zuordnungen zu den Regelquerschnitten der neuen Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL (FGSV 2008a), wurden im Rahmen dieser Untersuchung erhoben und ausgewertet (s. Tabelle 1).

Die Daten der Befahrung wurden in das Programm RoadView eingespeist. Da allein die Trassierungsmerkmale automatisch erfasst wurden, mussten zusätzliche Charakteristiken des Straßenraumes (Breiten, Seitenraum, Ausstattung etc.) aus der Bilddokumentation der Befahrungen manuell nacherhoben werden.

Nachdem die Datenbank mit Straßen- und Unfalldaten erstellt wurde, erfolgte die Abschnittsbildung bzw. Netzeinteilung. Unter anderem wurden dazu auf Basis des Geschwindigkeitsmodells von EBERSBACH (2006) Singularitäten im Untersuchungsnetz identifiziert. Die so abgegrenzten Bereiche wurden z. B. für die Bestimmung punktueller Zuschläge herangezogen. Der restliche Teil des Untersuchungskollektivs wurde um die Knotenpunkte bereinigt und in Abschnitte außerhalb der Einflussbereiche von Streckenübergängen eingeteilt. Die Knotenpunkte und die Streckenabschnitte wurden anhand von separaten Verallgemeinerten Linearen Modellen bezüglich der Sicherheitswirkung der erhobenen Merkmale analysiert. Aus den Modellen sind die Einflüsse der Merkmale auf das Unfallgeschehen in Abhängigkeit der restlichen betrachteten Merkmale abzulesen. Auf Basis des RAL-Entwurfs (FGSV 2008a) sowie des Entwurfs des HVS (BARK et al. 2008) wurden dann (Grund-)Unfallraten für die einzelnen Regelquerschnitte aus den Modellen ab-

Querschnitt nach RAL (inklusive Querschnitte nach RAS-Q 82 und 96)	Untersuchungslänge
RQ 21 -ähnlich	200 km
RQ 15,5 -ähnlich	200 km
RQ 11,5 + -ähnlich	200 km
RQ 11 -ähnlich	2.000 km
RQ 9 -ähnlich	1.000 km
Summe	3.600 km

Tab. 1: Straßenlängen nach Untersuchungskollektiven

geleitet. Die volkswirtschaftliche Bewertung erfolgte mit angepassten Unfallkostensätzen. Ähnlich wurde auch bei der Bestimmung der Zuschläge vorgegangen. Je nach Art der Berücksichtigung der Merkmale (z. B. in Kombination mit anderen Merkmalen oder Beschreibung als Exponential- oder Potenzfunktion) musste entschieden werden, in welcher Form die Zuschläge im HVS berücksichtigt werden. Es war nicht Ziel, die vergleichsweise schwierig zu handhabenden Modelle im HVS zu verankern, sondern vereinfachte bspw. additive oder multiplikativ verknüpfte Zuschläge anzugeben.

Streckenabschnitte aus folgenden Bundesländern waren Bestandteil der Untersuchungen:

- Baden-Württemberg,
- Bayern,
- Brandenburg,
- Rheinland-Pfalz,
- Sachsen,
- Sachsen-Anhalt.

2 Erkenntnisstand

2.1 Regelwerke

2.1.1 Entwurf

Für den Entwurf von Landstraßen stehen bisher noch die RAS-L (FGSV 1995a), die RAS-Q (FGSV 1996) und die RAS-K-1 (FGSV 1988) zur Verfügung. Diese sollen durch die RAL abgelöst werden, welche, entsprechend der aktuellen Richtlinienphilosophie, alle Elemente vom Knotenpunktentwurf bis zur Lageplantrassierung in einem Regelwerk vereinen.

Bewertungsfall	Zugeordnete Querschnitte im Bestandsnetz	
RQ 21	RQ 20	RAS-Q 96
	C4m (RQ 20)	RAS-Q 82
	d4 (RQ 16)	RAS-Q 82
RQ 15,1	RQ 15,1	RAS-Q 96
RQ 11,5+	RQ 10,5 ZFS	RAS-Q 96
	RQ 9,5 ZFS	RAS-Q 96
RQ 11	RQ 10,5	RAS-Q 96
	RQ 9,5	RAS-Q 96
	b2s (RQ 14)	RAS-Q 82
	b2 (RQ 12)	RAS-Q 82
	d2 (RQ 10)	RAS-Q 82
	b2ü Zwischenquerschnitt	
RQ9	RQ 7,5	RAS-Q 96
	e2 (RQ 9)	RAS-Q 82
	f2 (RQ 7,5)	RAS-Q 82

Tab. 2: Bewertungsfälle und zugeordnete Querschnitte im Bestandsnetz (Quelle: BARK et al. 2008)

Dementsprechend werden sich kaum Querschnitte der neuen RAL im Bestandsnetz finden, sondern es ist nach einer sachgerechten und sinngemäßen Zuordnung der bestehenden zu den zukünftigen Querschnitten vorzugehen. In den Untersuchungen werden die Bewertungsfälle der Gruppen mit der Bezeichnung Q für Querschnitt und der Angabe der jeweiligen Breite, bspw. Q 9 für alle (Bestands-) Strecken, die laut RAL dem RQ 9 zugeordnet sind, angegeben (s. Tabelle 2).

Zusätzliche Regelwerke enthalten Angaben zu weiteren baulichen und betrieblichen Merkmalen der Straßengestaltung.

Dies sind einerseits alle Regelungen, welche ingenieur- und straßentechnische Aufgaben beschreiben, z. B. die RiLSA (FGSV 1992) oder die ERA (FGSV 1995b), andererseits zusätzlich die Festlegungen zur Straßenausstattung wie die RPS (FGSV 2009), die RMS (FGSV 1993), die HAV (BALD & GIESA 2003) und die RWB (FGSV 2000) oder die technische Beschreibung besonderer Bauwerke wie die RABT (FGSV 2006).

2.1.2 Sicherheitsbewertung

Regelwerke mit relevanten Informationen zur Sicherheitsbewertung existieren vorrangig im Zusammenhang mit den vier Verfahren der Sicherheitsarbeit in Deutschland. Das sind:

- die Netzanalyse – Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen – ESN (FGSV 2003b),
- das Sicherheitsaudit – Empfehlungen für den Sicherheitsaudit von Straßen – ESAS (FGSV 2002),
- die Örtliche Unfalluntersuchung – Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (FGSV 2012) und Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 2 (FGSV 2003a),
- die Verkehrsschau – Merkblatt für die Durchführung von Verkehrsschauen – MDV (FGSV 2007).

Bis auf die ESN enthält keines der Regelwerke quantitative Angaben zu Sicherheitsgraden von Infrastrukturelementen. Die Grundunfallkostenraten der ESN beziehen sich auf zweistreifige Landstraßenquerschnitte mit plangleichen Knotenpunkten. Das betrifft nahezu das gesamte Landstraßennetz. Diese Werte sind für ein Bewertungsverfahren, wie es mit dem HVS intendiert ist, nicht ausreichend differenziert und es wird nicht nachvollziehbar dargestellt, wie die Grundunfallkostenraten ermittelt wurden.

2.2 Verkehrssicherheit von Entwurfs-elementen

Ziel dieses Kapitels ist

- die Identifizierung von möglichen Einflussmerkmalen auf die Verkehrssicherheit für die Berücksichtigung in den Unfallmodellen,
- die Beschreibung der Art der Berücksichtigung der Variablen (z. B. Kategorisierung in Gruppen) und
- die Dokumentation von Einflussvariablen, welche nicht in der Untersuchung berücksichtigt werden können, um potenzielle Residuen bzw. Streubereiche der Modelle besser erklären zu können, um die eigenen Ergebnisse einordnen und validieren zu können.

2.2.1 Querschnitt

Bei folgenden Querschnittsmerkmalen wird ein Sicherheitseinfluss angenommen bzw. wurde zum Teil schon nachgewiesen:

- Fahrstreifenbreite,
- Anzahl Fahrstreifen,
- bauliche Mitteltrennung,
- Randstreifenbreite.

Das wohl am häufigsten untersuchte Merkmal ist die Fahrbahn- bzw. Fahrstreifenbreite. Sowohl monokausal als auch multivariat angelegte Untersuchungen kommen zum Ergebnis, dass mit steigender Fahrbahnbreite das Unfallrisiko (Unfallrate und Unfallkostenrate oder Anzahl Unfälle in multivariaten Unfallmodellen, siehe dazu auch Kapitel 3.2.2) sinkt.¹

Allerdings wurden vereinzelt auch von diesem Trend abweichende Ergebnisse festgestellt:

- LEUTZBACH & ZOELLMER (1989) stellen den Rückgang des Unfallrisikos nur bei einem niedrigen DTV fest, auf Strecken mit einem hohen DTV steigt die Unfallrate mit zunehmender Fahrbahnbreite.
- Bei HARWOOD et al. (2000), DIETZE et al. (2008) und FHWA (2009) ist der oben beschriebene Trend vorrangig bei hohem DTV festzustellen, also das Gegenteil der Ergebnisse von LEUTZBACH & ZOELLMER (1989).
- VIETEN et al. (2009) konnten den Einfluss nur für zweistreifige Querschnitte nachweisen. Mehrstreifige Querschnitte wie einbahnig dreistreifige und zweibahnig vierstreifige, weisen gegenüber den einbahnig zweistreifigen Querschnitten eine geringere Unfallrate auf.
- Bei PALM & SCHMIDT (1999) ergeben zwar die Querschnitte mit Fahrbahnbreiten von 7,50 und 8,00 m ein geringeres Unfallrisiko als die Fahrbahnbreiten von 7,00 und 6,00 m, trotzdem ist jeweils der 7,50 m bzw. der 6,00 m breite Querschnitt deutlich sicherer als der 8,00 m bzw. der 7,00 m breite Querschnitt.

Laut LAMM et al. (1999) ist ab einer Fahrbahnbreite von 7,00 m und laut FHWA (2009) ab ca. 7,30 m (24 ft) kein wesentlicher Sicherheitsgewinn mehr festzustellen.

Die Ergebnisse zeigen, dass

- entweder aufgrund geringer Stichprobengrößen,
- oder wegen fehlender Berücksichtigung von Einflussvariablen (confounder) – grundsätzlich (multivariat) bzw. in der jeweiligen Auswertung (monokausal) –,
- oder wegen unterschiedlich ausgeprägter Abschnittsbildungen.

Probleme bei der Interpretation und damit der Aussagefähigkeit der Ergebnisse bestehen. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass bei Unterschreitung von Mindestbreiten Sicherheitsnachteile zu erwarten sind, auch wenn deren quantitative Ausprägung noch nicht endgültig beschrieben ist.

Der Vorteil mehrstreifiger Querschnitte liegt vorrangig in der Sicherung der Überholvorgänge. Vor allem die Vorteile des Zwischenquerschnitts RQ 15,5 sind bereits bei MEEWES & MAIER (1986), in BRANNOLTE et al. (1993) und PALM & SCHMIDT (1999) dokumentiert sowie in die RAS-Q 1996 (FGSV 1996) übernommen worden. Allerdings bemerken PALM & SCHMIDT (1999), dass das Untersuchungskollektiv der einbahnig dreistreifigen Streckenabschnitte noch hohe Streubereiche bezüglich der Unfallkenngrößen aufweist, was weitere bisher nicht berücksichtigte relevante Einflussgrößen bei diesen Querschnitten vermuten lässt. Zweibahnig vierstreifigen Querschnitten wird ein leicht höheres Sicherheitsniveau gegenüber einbahnig dreistreifigen Querschnitten attestiert (BRANNOLTE et al. 1993, FGSV 1996). Die Vermutung liegt nah, dass dies vor allem auf die bauliche Mitteltrennung zurückgeführt werden kann, diese gibt bezogen auf die Unfallschwere einen hohen Sicherheitsgewinn (BRANNOLTE et al. 1993). MILTON & MANNERING (1996) kommen auf Basis von multivariaten Unfallmodellen zu dem Ergebnis, dass mit steigender Fahrstreifenanzahl die Verkehrssicherheit abnimmt. Dies wird über die häufigeren Konflikte beim Fahrstreifenwechsel begründet. FHWA (2009) gibt Abminderungsfaktoren für das Unfallrisiko für Zusatzfahrstreifen an Steigungsstrecken (AMF = 0,75) sowie für kurze vierstreifige Querschnitte (AMF = 0,65; bezogen auf zweistreifige Landstraßen) an.

Größere Randstreifenbreiten begünstigen das Sicherheitsniveau. Laut ZEGER et al. (1994), HADI et al. (1995), VOGT & BARED (1998), HARWOOD et al. (2000) sowie FHWA (2009) steigt das Unfall-

¹ u. a. BRANNOLTE et al. (1993), ZEEGER et al. (1994), HADI et al. (1995), SCHMIDT (1996), VOGT & BARED (1998), LAMM et al. (1999), HAMMERSCHMIDT (2007)

risiko mit abnehmender Breite des Randstreifens. In ZEGEER et al. (1994) zeigten sich die stärksten Einflüsse der Randstreifenbreite auf die Verkehrssicherheit bei schmalen Fahrstreifenbreiten, wenn auch bei der geringsten Breite (2,70 m) kaum ein Einfluss nachgewiesen werden konnte. Laut FHWA (2009) ist der Einfluss bei hohen Verkehrsstärken am größten.

In HARWOOD et al. (2000) und FHWA (2009) finden sich Abminderungsfaktoren für das Sicherheitsniveau, wenn die durch die Regelwerke (AASHTO Green Book) vorgegebene Querneigung nicht eingehalten wird. Dabei wird die absolute Abweichung in Prozent Querneigung als Kriterium verwendet.

2.2.2 Trassierung im Lageplan

Für folgende Elemente im Lageplan wird ein Einfluss auf die Verkehrssicherheit angenommen bzw. wurde zum Teil auch nachgewiesen:

- Kurvenradius,
- Kurvigkeit,
- Relationstrassierung.

Einem steigenden Kurvenradius wird ein höheres Sicherheitsniveau (LAMM et al. 1999, HARWOOD et al. 2000, MILTON et al. 1996, FHWA 2009) unterstellt. Dabei sind vor allem Kurvenradien von $R \leq 100$ m als kritisch anzusehen (LAMM et al. 1999, LEUTZBACH & ZOELLMER 1989) und ab ca. $R = 400$ m lässt sich keine relevante Veränderung im Sicherheitsniveau mehr feststellen. Somit besteht ein negativ exponentieller Zusammenhang zwischen Unfallrisiko und Kurvenradius.

Bei $R = 200$ liegt laut EBERSBACH (2006) auch die Grenze für hohe Geschwindigkeitsanpassungen in Kurven. Er trennt an dieser Grenze Singularitäten gegenüber den restlichen Streckenelementen ab.

DIETZE et al. (2008) verweisen darauf, dass geringe Kurvenradien nur dann sicherheitsrelevant sind, wenn auch entsprechend hohe Geschwindigkeitsänderungen damit verbunden sind. Sind enge Kurven Teil einer längeren Kurvenfolge mit vergleichsweise geringen Radien, wird der Effekt als gering eingeschätzt. Umso wichtiger erscheint vor diesem Hintergrund eine zielführende Abschnittseinteilung des Untersuchungsnetzes.

Mit steigender Kurvigkeit je Streckenabschnitt steigt auch das Unfallrisiko (VOGT & BARED 1998,

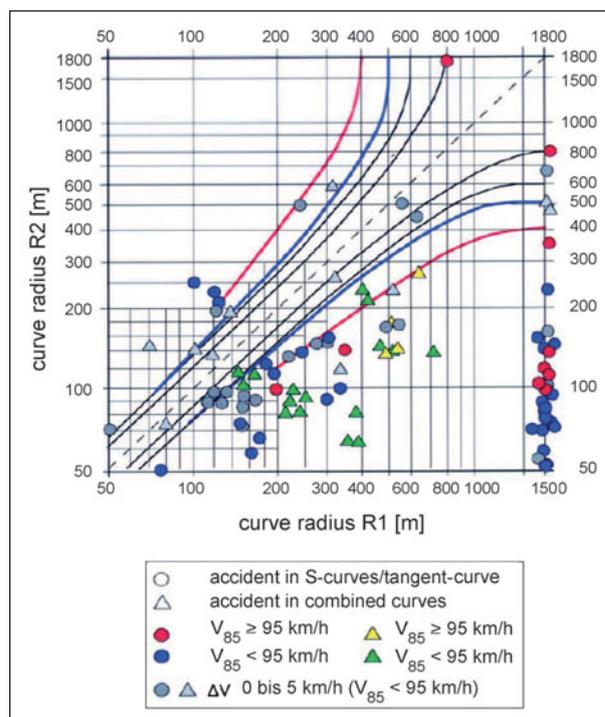


Bild 1: Unfälle in Abhängigkeit von Radienrelation und Geschwindigkeitsdifferenz (LIPPOLD 1997, Abbildung aus DIETZE et al. 2006)

LEUTZBACH & ZOELLMER 1989, LAMM et al. 1999, HAMMERSCHMIDT 2007, ZEGEER et al. 1991, TAYLOR et al. 2000). Dies ist vor allem auf den Anstieg an Fahrnfällen (Unfalltyp 1) zurückzuführen (DIETZE et al. 2008).

Die Grundlagen der Relationstrassierung wurden u. a. in LEUTZBACH & ZOELLMER (1989), LAMM et al. (1999) und LIPPOLD (1997) beschrieben. Danach sollen für einen sicheren Entwurf aufeinanderfolgende Radien möglichst ähnlich groß sein bzw. in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen. Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit bei Verstoß gegen eine ausgewogene Radienrelation sind z. B. in LIPPOLD (1997) beschrieben (s. Bild 1).

2.2.3 Trassierung im Höhenplan und räumliche Linienführung

Der Längsneigung wird ebenfalls ein Einfluss auf das Sicherheitsniveau unterstellt. Verschiedene Quellen erklären ein höheres Unfallrisiko durch eine Zunahme der Längsneigung (LEUTZBACH & ZOELLMER 1989, SCHMIDT 1996, MILTON & MANNERING 1996, VOGT & BARED 1998, HARWOOD et al. 2000, BRESSLER 2001, FHWA 2009).

Vor allem Gefällestrecken steigern das Unfallrisiko (ZEGER et al. 1992, LAMM et al. 1999). Längsneigungen unter 3 bis 4 % werden generell als unkritisch angesehen (FHWA 2009), Längsneigungen über 6 bis 7 % als sehr kritisch (LAMM et al. 1999). Allerdings existieren auch gegensätzliche Ergebnisse. So stellen LEUTZBACH & ZOELLNER (1988) einen starken Anstieg, vor allem bis 3 % Längsneigung, fest. Dies könnte u. U. mit geringeren Geschwindigkeiten in Steigungsstrecken begründet werden.

PALM & SCHMIDT (1999) unterschieden qualitativ in ebenes und hügeliges Gelände. Dabei zeigen sich Abhängigkeiten von der Fahrbahnbreite. So ist kein Einfluss der Längsneigung bei breiten und sehr schmalen zweistreifigen Querschnitten zu erkennen. Alleine bei den 7,00 und 7,50 m breiten Fahrbahnen schneiden die Strecken im ebenen Gelände günstiger ab.

Eine unfallbegünstigende räumliche Linienführung schlägt sich vor allem in geringen Sichtweiten nieder. Entweder werden Elemente der horizontalen Linienführung nicht erkannt bzw. falsch eingeschätzt (siehe z. B. HASAN et al. 2005) oder es steht kein ausreichender Raum für Überholmanöver zur Verfügung bzw. die verfügbare Länge wird ebenfalls falsch eingeschätzt.

Mit zunehmender Sichtweite verbessert sich das Sicherheitsniveau, vor allem Sichtweiten unter 100 m werden als kritisch eingeschätzt (LAMM et al. 1999). Laut KREBS & KLÖCKNER (1977) sind geringe Sichtweiten ($S \leq 100$ m) besonders in Kombination mit Kurvenradien von unter 400 m und/oder Verkehrsstärken zwischen 5.000 und 10.000 Fz/d kritisch. TRB (1987) gibt einen linearen Zusammenhang zwischen Unfallrisiko und Winkeländerung für eine 0,6 Meilen lange Kuppe an.

2.3 Ausstattung und Seitenraum

Folgende Ausstattungs- und verkehrstechnischen Elemente werden in Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit gebracht:

- zulässige Höchstgeschwindigkeit,
- Seitenraum (Hindernisse, passive Schutzsysteme etc.),
- Markierung.

Die Beschreibung des Einflusses der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist ein typischer Fall für

Wechselwirkungen zwischen den Einflussvariablen. So stellen bspw. HADI et al. (1999) fest, dass, je höher die beschriebene Höchstgeschwindigkeit liegt, desto geringer das Unfallrisiko ausfällt. Dieser Zusammenhang ist schwer nachvollziehbar, so werden höhere Geschwindigkeiten vor allem mit mehr und schwereren Unfällen assoziiert (siehe z. B. ELVIK et al. 2004). Ein Grund für diesen scheinbaren Widerspruch liegt darin, dass Straßen mit einem vergleichsweise hohen Tempolimit auch eine entsprechende großzügige Trassierung sowie eine besser Ausstattung als vergleichbare Straßen mit restriktiverer Geschwindigkeitsbeschränkung aufweisen. Dies kann dazu führen, dass die negativen Effekte aus der höheren Geschwindigkeit durch einen hochqualitativen Entwurf mehr als ausgeglichen werden. Ein weiterer Grund kann darin liegen, dass gefahrenreiche Streckenzüge entweder präventiv oder reaktiv mit Tempolimits versehen werden, das Risiko aber nicht ausreichend durch diese Maßnahme vermindert werden konnte.

Einen Nachweis für diese Vermutung geben TAYLOR et al. (2002) und TAYLOR et al. (2000). Hier wurden tatsächlich gemessene Geschwindigkeiten und Streckencharakteristika dem Unfallgeschehen gegenübergestellt. Werden die Unfälle einfach über den mittleren Geschwindigkeiten aufgetragen, ergibt sich ein negativer Zusammenhang. Dies wird von den Verfassern als „masking effect“ bezeichnet, da der eigentlich positive Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Unfallgeschehen von nicht berücksichtigten Variablen (confounder) beeinflusst wird. Um diesen Einfluss zu umgehen, werden Gruppen von Straßen mit ähnlichen Charakteristika bezüglich Gestaltung, Ausstattung und Umfeld gebildet und der Einfluss der Geschwindigkeit innerhalb dieser Gruppen (also bei konstanten Randbedingungen) untersucht. Dabei ergeben sich Zusammenhänge, wie sie vielfach vorher schon bei z. B. Vorher-Nachher-Untersuchungen nachgewiesen wurden, dass das Unfallrisiko entsprechend einer Potenzfunktion mit wachsender mittlerer Geschwindigkeit steigt. Die Gruppen wurden anhand einer Diskriminanzanalyse auf Basis folgender Variablen ermittelt:

- mittlere Geschwindigkeit (Meilen/h),
- Unfallrate (Unfälle/10⁸ Fahrzeugkilometer),
- Knotenpunktdichte (Knotenpunkte/km),
- Anschlussdichte (Anzahl private und öffentliche Grundstückszufahrten je Kilometer),

- Kurvigkeit (Anzahl Kurven je Kilometer),
- Hügeligkeit (absolute Höhenänderungen je Kilometer).

Der ungünstige Einfluss von Hindernissen im Seitenraum auf das Sicherheitsniveau – vor allem von Bäumen und Allees – ist bekannt und dokumentiert (siehe z. B. MEEWES & KULER 2001). Daraus wird auch klar, dass – wenn auch in wesentlich geringem Maße als andere feste Hindernisse – passive Schutzsysteme die Sicherheit im Vergleich zum hindernisfreien Seitenraum negativ beeinflussen.

MIAOU et al. (1996) geben ein Modell zur Abschätzung des Einflusses von frei gehaltenen Seitenräumen auf das Unfallrisiko an. Basis ist ein frei gehaltener Seitenraum von ca. 10 m. Größere Breiten resultieren in einem verbesserten, geringere freie Seitenraumbreiten in einem schlechteren Sicherheitsniveau.

Während der Einfluss von Fahrbahnmarkierungen auf die Fahrgeschwindigkeiten mehrfach untersucht wurde, sind keine Untersuchungen zum konkreten Sicherheitseinfluss von Markierungen bekannt. FHWA (2009) und PERSAUD et al. (2004) geben allerdings Ansätze zur Bewertung der Sicherheitswirkung von so genannten rumble strips, welche das Sicherheitsniveau z. B. als Markierung der Leitlinie in der Mitte der Fahrbahn verbessern können.

3 Methodik

3.1 Datengrundlage

3.1.1 Daten Abschnittscharakteristik

In der ersten Stufe der Erhebung wurden ausschließlich die Straßeninformationsbanken (SIB) der Länder analysiert. Diese Datenbanken müssten einen Großteil der für die Untersuchung relevanten Daten enthalten. Tatsächlich variiert die Datenqualität in den Bundesländern (LIPPOLD et al. 2004). Folgende Informationen konnten aus den SIB verwendet werden:

- DTV,
- Schwerverkehrsanteil,
- Anzahl Fahrstreifen,
- Querschnittsbreiten,
- Mitteltrennung,
- Höhenpunkte/Längsneigung.

Die Datenbanken lagen für den Landstraßenbereich aus folgenden Bundesländern vor. Bezugszeitraum ist Herbst 2009:

- Bayern,
- Brandenburg,
- Baden-Württemberg,
- Rheinland-Pfalz,
- Sachsen,
- Sachsen-Anhalt.

Um auch die restlichen Daten zur Trassierung, der Gestaltung des Seitenraumes und der Ausstattung zu erhalten, waren Befahrungen notwendig. Diese wurden mit dem Messfahrzeug UNO des Lehrstuhls Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen der TU Dresden durchgeführt. Folgende Daten wurden durch das Fahrzeug erhoben:

- Gradiente,
- Krümmungsband mit Angaben zur Radien sowie Geraden- und Klothoidenlängen.

Diese Daten wurden im Post-Processing automatisch generiert und in einer Datenbank abgespeichert. Eine Darstellung der Daten ist im Programmsystem RoadView möglich.

Während der Befahrung wurden ca. alle 10 m der gesamte Straßenquerschnitt und Teile des Seitenraums für beide Fahrtrichtungen fotografiert. Diese Fotos liegen als Stereobilder vor und bildeten die Grundlage für die manuellen Auswertungen.

Die nachfolgend beschriebene Datenerfassung und -aufnahme erfolgten überwiegend für Streckenabschnitte. Die Datengrundlage für Knotenpunkte enthält Kapitel 5.2.

Querschnittsbreiten

Die Aufnahme in Roadview ermöglicht es, aktuelle Querschnittsbreiten in den Bildern zu erheben und automatisch auszulesen. Folgende Angaben wurden zusätzlich aus der Fotodokumentation nachgehoben:

- Fahrstreifenbreite(n),
- Randstreifenbreite,
- Mittelstreifenbreite.

Aus diesen Breiten lassen sich folgende Querschnittsmerkmale berechnen:

- Fahrstreifenbreite

Innenrand der äußeren Markierung bis Mitte der Mittelmarkierung (wenn ein Mittelstreifen vorhanden) – oder Mitte der Markierung Fahrstreifenfentrennung zwei gleichgerichteter Fahrstreifen.

- Randstreifenbreite

Linker Rand der rechten Fahrbahnmarkierung bis äußere rechte Fahrbahnbefestigung Asphalt oder Bord – analog Fahrbahninnenseite bei zweibahnig vierstreifigen Abschnitten.

- Mittelstreifenbreite

Breite zwischen den inneren Rändern der festen Fahrbahn auf zweibahnig vierstreifigen Abschnitten.

Die Querschnittsbreiten wurden – auch zur Überprüfung der SIB-Daten – je Streckenabschnitt zweimal, nach einem Drittel und nach zwei Dritteln der Strecke gemessen. Bei Auftreten von Differenzen in der Messung > 0,2 m erfolgten eine Nachbetrachtung der betroffenen Strecke und gegebenenfalls eine Trennung in zwei Abschnitte.

Quer- und Längsneigungen

Die Informationen der Längsneigung wurden aus den SIB ausgelesen. Angaben zum Querneigungswechsel wurden aus dem ZEB-xml-Rohdatenformat entnommen. Dabei wurden den Strecken für 25 m Abschnitte die Querneigungsdaten zugeordnet. Fehlen die ZEB-Daten, wurde auf die SIB-Daten zurückgegriffen. Fehlen Daten auf einem zusammenhängenden Abschnitt von $L > 200$ m, wurde für den Streckenabschnitt auf eine Auswertung der Querneigungsdaten verzichtet. Dies galt auch für eine Bewertung der Längsneigung. In die Erfassung gingen die Anzahl der Nulldurchgänge – Querneigung mit Größe null aufgrund Wechsel der Querneigung – und der Anteil entwässerungsschwacher Zonen (ESZ) je Abschnitt ein. Die Identifikation von Abschnitten mit einer Längsneigung über dem maximalen Wert der Höchstlängsneigung nach dem Entwurf der RAL (FGSV 2008a) ist ebenfalls aus den Längsneigungsdaten abgeleitet.

Kurvigkeit

Die Kurvigkeit eines Abschnittes bestimmt sich aus der Abfolge und Größenordnung der Elemente Kreisbogen, Klothoide und Gerade. Die Bestimmung der Elemente resultiert aus der Nachtrassie-

rung der Strecken mit dem Programm CARD. Die Berechnung der Kurvigkeit ergibt sich wie folgt:

$$KU = \frac{\sum \gamma_i}{L_{\text{Abschnitt}}} \quad \text{Gl. 1}$$

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

Hügeligkeit

Die Berechnung der Hügeligkeit basiert auf den Höhenpunktdaten der Streckenabschnitte. Die Hügeligkeit entspricht dem Betrag der mittleren auf einem Streckenabschnitt vorzufindenden Längsneigung unabhängig der Fahrtrichtung.

$$HK = \frac{\sum |LN_i| \cdot L_i}{L_{\text{Abschnitt}}} \quad \text{Gl. 2}$$

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

3.1.2 Datenerfassung Roadview

Mittels der Roadview-Daten wurden weitere Ausstattungsmerkmale und Elemente des Seitenraums durch virtuelle Befahrung den einzelnen Abschnitten stationsfein zugeordnet. Es wird in linienhafte und punktuelle Merkmale unterschieden. Linienhafte Merkmale erstrecken sich über eine Länge von > 100 m, während punktuelle Merkmale auf kürzeren Längen auftreten. Dementsprechend wurden linienhafte Merkmale über einen auf die Streckenlänge bezogenen Anteil erfasst. Die Erhebung punktueller Merkmale erfolgte – mit Ausnahme zweibahniger Querschnitte – richtungsunabhängig kumulativ über die Anzahl je Kilometer.

Ein Teil der linienhaften Merkmale wurde richtungsgetreut erhoben. Im Bereich der linienhaften Vermessung gilt dies für alle Verkehrszeichen, da deren Wirkungsbereich nur für eine Fahrtrichtung gilt. Auch einige Merkmale des Seitenraumes wurden für beide Fahrtrichtungen (FR) getrennt (also beidseits) aufgenommen. Der Anteil beidseitig erfasster Merkmale wird auf die doppelte Streckenlänge des Abschnittes umgelegt. So wird gewährleistet, dass bei einem vollständigen Auftreten des Merkmals der Anteilswert von 1 nicht überschritten wird.

$$A_{M2} = \frac{\sum L_M}{2 * L_{Abschnitt}} \quad \text{Gl. 3}$$

A_{M2} Anteil Merkmal zweiseitig
 L_M Länge Merkmal
 $L_{Abschnitt}$ Länge Abschnitt

Linienhafte Merkmale, die mutmaßlich Wirkung auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer in beiden Fahrtrichtungen besitzen, wurden fahrtrichtungsunabhängig erfasst. Für einfach erfasste Merkmale ergibt sich der Anteil A aus Gleichung 4:

$$A_{M1} = \frac{\sum L_M}{L_{Abschnitt}} \quad \text{Gl. 4}$$

A_{M1} Anteil Merkmal einseitig
 L_M Länge Merkmal
 $L_{Abschnitt}$ Länge Abschnitt

Im Einzelnen wurden folgende Merkmale aufgenommen:

- Verkehrszeichen; Aufnahme von Gefahrenzeichen und Vorschriftzeichen (bspw. Z 276 StVO). Verkehrszeichen, die einen linienhaften Bezug aufweisen (bspw. Anordnung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit), wurden immer als linienhaftes Merkmal erfasst. Verkehrszeichen, die einen punktuellen/kurzen Wirkungsbereich besitzen (bspw. Z 101 StVO), wurden als punktuelles Merkmal erfasst.

Merkmale linienhafte Vermessung		
Merkmal	Aufnahme ohne FR	Aufnahme beide FR
Verkehrszeichen (v_{zul} u. a.)		x
Baumreihe ohne PSE		x
Schutteinrichtung		x
Radweg		x
Linienhafte Gefahrenstelle (LGS)		x
Markierung Überholverbot	x	
Fehlende Markierung	x	
Merkmale punktuelle Vermessung		
Punktuelle Gefahrenstelle (PGS)		
Knotenpunkt (Wegeeinmündungen)		
Verkehrszeichen (kurzer Wirkungsbereich bspw. Z 308 StVO)		
Einzelbaum		
Ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung (OGÜ)		
Bahnübergang		

Tab. 3: Kriterien der in Roadview erhobenen Merkmale nach linienhafter und punktueller Vermessung

- Schutteinrichtung; diese entspricht dem Wirkungsbereich der passiven Schutteinrichtung (PSE). Hinter passiver Schutteinrichtung wurde keine differenzierte Erhebung von Merkmalen durchgeführt.
- Baumreihe; unterschieden wurde in straßennahe Baumreihen (auf Bankett) und straßenferne Baumreihe (hinter der Entwässerungsmulde) ohne PSE. Eine Differenzierung zwischen Allee und Wald erfolgte nicht. Einzelbäume mit einem Abstand > ca. 100 m wurden unter punktuelle Gefahrenstellen berücksichtigt.
- Ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachungen (punktueller Wirkungsbereich).
- Gefahrenstelle; Hindernisse am Fahrbahnrand stellen Gefahrenstellen (ausschließlich Allee s. o.) dar. Als Hindernisse wurden Elemente erfasst, die sich unmittelbar (auf Bankett) oder in deutlicher Nähe der Fahrbahn befinden und in Anlehnung an die RPS (FGSV 2009) eine Gefährdung von Fahrzeuginsassen darstellen. Gefahrenstellen wurden nach Länge und Art zur Gruppe der punktuellen (bspw. Brückenpfeiler, Hauskante) oder linienhaften (tiefe Böschung) Gefahrenstellen zugeordnet. Je nach Vorhandensein einer Schutteinrichtung wurde unterschieden in Gefahrenstellen mit/ohne passive Schutteinrichtung. Auch kurzzeitige Verengungen des Querschnitts – bspw. angekündigt mit Z 120 oder Z 308 StVO – stellen ebenso wie Bahnübergänge punktuelle Gefahrenstellen dar.
- Linienhafte Schutzmaßnahmen; entsprechen Verkehrseinrichtung (z. B. aufgelöste Richtungstafeln Z 625 StVO).
- Markierung Überholverbot; Aufnahme bei durchgängiger Fahrstreifenbegrenzung gegenläufiger Fahrstreifen als linienhaftes Merkmal.
- Fehlende Markierung; Aufnahme bei fehlender Mittelmarkierung gilt nicht für Q 9 oder Randmarkierung.
- Gemeinsamer Geh-/Radweg; dieses Merkmal wurde zwischen Beginn und Ende eines parallel geführten Geh-/Radweges erhoben.
- Knotenpunkte; alle Knotenpunkte (ohne Aufweitung bzw. reduzierte zulässige Höchstgeschwindigkeit) sowie sonstige Einfahrten (Feldwege, Grundstückszufahrten etc.).

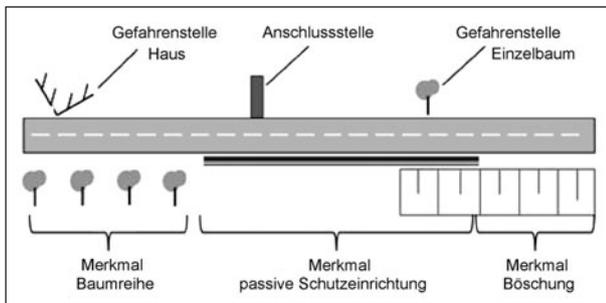


Bild 2: Beispiel Aufnahme Streckenumfeld mit Roadview

Bild 2 enthält beispielhaft die Vorgehensweise für die Aufnahme von verschiedenen Kriterien 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.

3.1.3 Kreisstrukturdaten

Neben Daten aus der baulichen Gestaltung und dem unmittelbaren Seitenraum der Strecke sollten Aussagen über das weitere Umfeld der Strecke ebenfalls berücksichtigt werden. Dass die Siedlungsstruktur einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit besitzt, zeigen MÄDER & PÖPPEL-DECKER (2001) in einer Untersuchung zur Regionalstruktur nächtlicher Freizeitunfälle.

Zur Beschreibung der Siedlungsstruktur wurden die Daten der statistischen Ämter des Bundes und der Länder (DESTATIS 2009) zur Fläche und Bevölkerungszahl der Landkreise bewertet. Als mittlerer Bezugszeitraum wurde das Jahr 2007 gewählt. Die Einteilung der Kreisstrukturtypen orientiert sich an Festlegungen von MÄDER & PÖPPEL-DECKER (2001). Es wurde in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte für Landkreise in fünf verschiedene Typen – B (hohe Dichte) bis F (geringe Dichte) – unterteilt. Landkreise im Stadtverband welche dem Typ A zugeordnet (bspw. Salzgitter) sind, waren nicht Bestandteil des Kollektivs (Tabelle 4).

3.1.4 Unfalldaten

Unfalldaten liegen in unterschiedlicher Qualität sowie unterschiedlich langen Zeiträumen vor (Tabelle 5).

Für Sachsen und Sachsen-Anhalt liegen Unfalldaten aller Kategorien georeferenziert in EUSka für den Zeitraum 2005 bis 2009 vor. Für Rheinland-

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

Tab. 4: Zuordnungskriterien Kreisstrukturtypen Landkreise (MÄDER & PÖPPEL-DECKER 2001)

	BY	BW	BB	RP	SN	ST
Zeitraum	2005 bis 2008	2005 bis 2008	2005 bis 2008	2005 bis 2008	2005 bis 2009	2005 bis 2009
Kategorie	1-4 (7)	1-4 (6)	1-4 (6)	1-6	1-6	1-6
Anzahl U	2.488	4.242	1.874	11.293	12.664	15.855
Anzahl U(P)	1.384	2.005	1.387	1.795	2040	2.481

Tab. 5: Zeiträume und Anzahl der verfügbaren Unfalldaten geordnet nach Bundesländern

Pfalz umfassen die Unfalldaten die Jahre 2005 bis 2008 im landeseigenen Datenformat.

Für Bayern liegen die Unfalldaten im Zeitraum 2005 bis 2008 georeferenziert in MapInfo vor, d. h., die Unfälle sind in einer Rasterkarte auf die Station der Strecke verortet. In Bayern unterscheidet sich die Klassifizierung der Unfälle mit ausschließlich Sachschaden von den anderen Bundesländern dadurch, dass eine zusätzliche Kategorie 7 für Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden angegeben wird. Eine Gleichsetzung dieser Kategorie 7 mit der bundesweiten Kategorie 4 ist nicht ohne weiteres möglich, da hier unterschiedliche Definitionen zugrunde liegen. Dies zeigen auch die unterschiedlichen Anteile der Kategorie 7 in Bayern und der Kategorie 4 in Deutschland an den Unfällen mit Personen- und schwerwiegendem Sachschaden (siehe hierzu auch Tabelle 6)

In Bayern werden Unfälle der Kategorie 7 als Sachschadensunfall mit Straftatbestand oder Ordnungswidrigkeit definiert (Oberste Baubehörde 2009). Die Kategorie 4 wird bundesweit durch DESTATIS (2009) ähnlich definiert, mit dem Zusatz, dass eines der Fahrzeuge nicht mehr fahrbereit ist. Die zuständige bayrische Behörde stellte für die Untersuchung der Kategorie 4 entsprechend transformierte Unfalldaten zur Verfügung.

Unfall- kategorie	Anzahl	Anteil U(P+SS)		Anteil U(P)	
		Bayern*	BRD*	Bayern*	BRD**
1	298	3 %	3 %	4 %	3 %
2	1.889	16 %	22 %	27 %	28 %
3	4.810	41 %	53 %	69 %	69 %
U(P)	6.997			100 %	100 %
7 (BY)/4 (BRD)	4.710	40 %	23 %		
U(P*SS)	11.707	100 %	100 %		
* ausgewählte LK in Bayern, Zeitraum 2005-2008 ** Quelle: DESTATIS, Zeitraum 2007					

Tab. 6: Vergleich Unfälle nach Unfallkategorie auf Landstraßen ohne BAB in Bayern und Deutschland

Für Baden-Württemberg liegen Unfalldaten des gesamten Landstraßennetzes für den Zeitraum 2005 bis 2008 als Listenexporte (inkl. Lokalisierung) aus EUSka vor. Aus den Daten lassen sich Unfälle für die Kategorien 1 bis 6 ableiten. Allerdings zeigt sich aus dem Vergleich mit den sächsischen und sachsen-anhaltinischen Unfalldaten, dass der Anteil an Kategorie-5-Unfälle an allen Unfällen wesentlich geringer ist. Aus diesem Grund werden für Baden-Württemberg nur die Unfälle der Kategorien 1 bis 4 und 6 ausgewertet. Für Brandenburg liegen die Unfalldaten in MapInfo-Relationen für die Jahre 2005 bis 2009 mit den Unfallkategorien 1 bis 4 vor.

Die georeferenzierte Lokalisierung von Unfällen mit dem Programm EUSka basiert auf der Angabe von geodätischen Koordinaten. Damit kann der Unfall jedoch nicht unmittelbar einer Station im Streckenabschnitt zugeordnet werden und liegt unter Umständen neben der Strecke. Mit der Hilfe von Hüllkurven wurden die Unfälle im Programm MapInfo den jeweiligen Strecken zugeordnet. Eine Hüllkurvenbreite von 27,5 m beidseitigem Abstand zur Straßenachse umschließt nahezu alle Unfälle. Extreme Ausreißer aufgrund von nicht eindeutiger Lokalisierung, die nicht durch die gewählte Hüllkurve erfasst wurden, stellen ein sehr seltenes Ereignis dar und blieben in der Auswertung unberücksichtigt.

Die Projektion der Unfälle auf eine Station erfolgt über die Berechnung eines Lotfußpunktes zwischen den Koordinaten des Unfalls und dem Polygon der Strecke. Dabei wurde über ein VBA-Tool die kürzeste Distanz zwischen beiden Objekten ermittelt und der Schnittpunkt der Ordinate auf der Abszisse als Station zurückgegeben. In Abhängigkeit der Lokalisierungsgenauigkeit der Unfälle

wurde ein eindeutiger Stationsbezug der Unfälle bestimmt.

3.2 Festlegung Querschnittstypen

Die Linienführung der RQ nach den RAL (FGSV 2008a) orientieren sich an den Entwurfsklassen (EKL). Es gilt, je niedriger der Rang der EKL, desto angepasster erfolgt die Linienführung an das Gelände. Dementsprechend verändern sich die Mindestwerte für die Entwurfs Elemente des Lage- und Höhenplans.

Anhand der erhaltenen Daten sind keine direkten Rückschlüsse auf die EKL nach den RAL (FGSV 2008a) bzw. auf die Straßenkategorie und Verbindungsfunktionsstufe nach den RAS-Q (FGSV 1996) möglich. Eine Erhebung dieser Information wäre mit einem erheblichen Aufwand verbunden und war im Rahmen des Projektes nicht zu leisten. Für qualitative Aussagen hinsichtlich der Gestaltung und Betriebsform einer Straße sowie einer Vermeidung systematischer Fehler in der Modellierung sind die Kenntnisse zur Entwurfsklasse jedoch von Belang (TAYLOR et al. 2002). Dies gilt insbesondere für die RQ 11 und 9. Darüber hinaus werden im HVS (BARK et al. 2008) für verschiedene RQ unterschiedliche Merkmale aufgeführt, denen ein Einfluss auf die Verkehrssicherheit unterstellt wird. Dementsprechend ist eine Klassifizierung der Strecken im Kollektiv notwendig.

Eine Festlegung anhand der Kenntnisse des DTV ist nicht zielführend. Die Angaben des DTV beziehen sich in aller Regel auf eine Anzahl von Zählstellen im Netz. Für eine Vielzahl von Abschnitten erfolgt lediglich eine Berechnung des DTV. Unabhängig davon weisen einige Strecken entgegen den Empfehlungen zum Einsatzbereich der EKL abweichende Verkehrsaufkommen auf. Eine Zuordnung anhand der Trassierungsparameter ist ebenfalls nur bedingt möglich. Zum einen ist aufgrund der Topografie für einige Streckenabschnitte eine Bestimmung der EKL anhand der Linienführung nicht möglich, zum anderen würde diese Form der Bewertung dazu führen, dass Streckenabschnitte mit geringen Radien automatisch einer EKL mit sehr angepasster Linienführung zugeordnet werden.

Für die Untersuchungen wurde eine indirekte Zuordnung der Streckenabschnitte zu den EKL anhand der Querschnittsgestaltung vorgenommen.

Es wird unterstellt, dass sich beim Bau einer Strecke die Wahl eines Querschnittes – insbesondere die Fahrstreifenbreite – an der ursprünglichen Straßenkategorie mit entsprechenden Verkehrsaufkommen orientiert. Das Kollektiv unterteilt sich in Querschnittsgruppen (Q). Unabhängig von möglichen Defiziten in der Linienführung wurden Streckenabschnitte in der entsprechenden Querschnittsgruppe berücksichtigt. Dabei dienen die EKL nach den RAL und die Zuordnung der Bestandsstrecken zu selbigen als Orientierung folgender Gruppen:

- Q 9; einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $\leq 2,9$ m, unabhängig von dem Vorhandensein einer markierten Leitlinie/ Fahrstreifenbegrenzung,
- Q 11; einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,9$ m und keiner doppelten Fahrstreifenbegrenzungslinie, die nicht Bestandteil eines Netzknotenabschnittes sind, der einen oder mehrere einbahnig dreistreifige Abschnitte aufweist,
- Q 11,5+ 2 FS; einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,9$ m und doppelter Fahrstreifenbegrenzungslinie, wenn im betrachteten Netzknotenabschnitt einzelne einbahnig dreistreifige Abschnitte mit Überholfahrstreifen vorliegen,
- Q 11,5+ 3 FS; einbahnig dreistreifige Streckenabschnitte mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,9$ m und doppelter Fahrstreifenbegrenzungslinie, die einzeln im Netzknotenabschnitt vorliegen,
- Q 15,5; einbahnig dreistreifige Streckenabschnitte mit durchgehender wechselseitiger Folge von Überholfahrstreifen,
- Q 21; zweibahnig vierstreifige Streckenabschnitte ohne Seitenstreifen.

Der Q 11,5+ weist unabhängig von der Anzahl der Fahrstreifen keine Unterschiede für Mindestgrößen der Trassierungselemente auf. Weiterhin ist dieser Querschnitt im Bestand sehr selten vorzufinden. Um ein ausreichend großes Kollektiv einbahnig dreistreifiger Strecken zu erhalten, beinhaltet bei der Modellierung die Gruppe Q „dreistreifig“ neben dem Q 15,5 auch alle Streckenabschnitte des Q 11,5+. Dabei wurden einbahnig dreistreifige Abschnitte des Q 11,5+ dem Q 15,5 gleichgestellt. Um die Besonderheit der einbahnig zweistreifigen Abschnitte des Typs Q 11,5+ 2 FS zu berücksichtigen,

wurde diese Teilgruppe mittels einer kategorialen Variable gesondert im Kollektiv bewertet.

Als Einschränkung der Einteilung nach Querschnittsbreite ist die mögliche Zuordnung eines Abschnitts zu einem falschen Querschnitt innerhalb der Gruppen Q 9 und Q 11 zu nennen. Dies gilt, wenn Streckenabschnitte einer Straßenkategorie in ihrer Bauausführung deutlich zu schmale oder zu breite Fahrstreifenbreiten gegenüber den Regelbreiten aufweisen.

3.3 Abschnittsbildung

3.3.1 Knotenpunkte

Das Straßennetz kann in die Elemente Knotenpunkte, Annäherungsbereiche und freie Strecke unterschieden werden.

In den SIB wird das Straßennetz in Netzknoten und den dazwischenliegenden Abschnitten gegliedert. Liegen administrative Grenzen (bspw. Bezirksgrenze) auf einen Streckenabschnitt, werden diese in den SIB mit einem fiktiven Netzknoten gekennzeichnet. Diese Netzknoten entsprechen keinen wahren Netzknoten und wurden bei den Knotenpunktuntersuchungen nicht weiter betrachtet. In diesen Fällen wurde das Unfallgeschehen den angrenzenden Streckenabschnitten zugeordnet.

Neben den klassifizierten Netzknoten beinhalten Strecken eine Vielzahl weiterer nicht klassifizierter Knotenpunkte.

Weisen diese Knotenpunkte eine bauliche Veränderung in der betrachteten Richtung – bspw. Aufweitung durch separaten Linksabbiegefahrstreifen – oder eine Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf, stellen diese ebenfalls Abschnittsgrenzen dar. Dies gilt auch für Kreisverkehre und LSA-geregelte Knotenpunkte unabhängig von der baulichen Gestaltung der Zufahrt. Die Informationen wurden den Befahrungsdaten entnommen. Knotenpunkte, die keines der genannten Merkmale aufweisen, wurden als Anschlussknotenpunkte der freien Strecke berücksichtigt.

Da für nicht klassifizierte Knotenpunkte keine Daten über das Verkehrsaufkommen der untergeordneten Zufahrten vorliegen, sind lediglich klassifizierte Knotenpunkte Bestandteil der Knotenpunktmodelle. Um eine einheitliche Betrachtung zu gewährleisten, wurde für (teil-)plangleiche Knotenpunkte der Bereich mit einem Radius von 50 m ausgehend vom

Achsenschnittpunkt als Knotenpunkt definiert (VIETEN et al. 2009). Unfälle innerhalb dieses entstehenden Kreises wurden dem Knotenpunkt zugeordnet. Für (teil-)planfreie Knotenpunkte erstreckt sich der Bereich zwischen Beginn des Ausfädel- und Ende des Einfädelstreifens.

3.3.2 Einflussbereiche von Knotenpunkten

An Knotenpunkten und in deren Zufahrten (Annäherungsbereiche) tritt aufgrund möglicher baulicher Querschnittsänderungen und der verkehrlichen Restriktionen ein veränderter Verkehrsablauf auf, der sich im Fahrverhalten und der Veränderung der Unfallkenngrößen widerspiegelt (ECKSTEIN & MEEWES 2002, VIETEN et al. 2009). Die Auswirkung auf Einflusslänge und Sicherheitsgrad ist von der Verkehrsregelung in der Zufahrt abhängig. Diese Abschnitte müssen von der unbeeinflussten Strecke getrennt betrachtet werden. ECKSTEIN & MEEWES (2002) geben mittlere Einflusslängen der Knotenpunkte auf die angrenzende Strecke an. Diese wurden bei der Abschnittsbildung berücksichtigt. Unabhängig von den Einflussbereichen von Knotenpunkten stellte eine bauliche Veränderung der Strecke im Vorfeld eines Knotenpunktes das Ende eines Streckenabschnitts (freie Strecke) dar.

Für (teil-)plangleiche Knotenpunktelemente gilt der Schnittpunkt der Straßenachsen als Zentrum. Dem Knotenpunkt wurden in einem Radius von 50 m alle Unfälle zugeordnet (VIETEN et al. 2009).

Folgende Längen der Einflussbereiche wurden in Abhängigkeit der Verkehrsregelung in der Zufahrt vorgesehen:

- 300 m = wartepflichtige Zufahrt, vorfahrt geregelter Knotenpunkt mit Z 205 und Z 206 StVO,

- 300 m = LSA-geregelter Knotenpunkt.

In Annäherung an einen Kreisverkehr kann dem Verkehrsteilnehmer ein ähnliches Fahrverhalten wie in einer wartepflichtigen Zufahrt unterstellt werden. Dementsprechend wurde der Einflussbereich auf 300 m festgelegt. Für Zufahrten auf planfreie Knotenpunktelemente wurde ebenfalls eine Einflusslänge des Knotens von 300 m angenommen. Die Länge orientiert sich an dem Aufstellort der ersten Ankündigungsbake der Ausfahrt.

Gegenüber den Ergebnissen von ECKSTEIN & MEEWES (2002), welche für Z-306- StVO-geregelte Zufahrten einen Einflussbereich von 700 m Länge ermittelten, wurde für das Kollektiv ein Einflussbereich von 300 m Länge auf die angrenzende Strecke unterstellt. Die Verringerung der Länge beruht auf einer Sensitivitätsanalyse des Kollektivs, in der alle die Streckenabschnitte berücksichtigt wurden, die eine Zufahrtregelung mit Z 306 StVO aufweisen und deren anderes Streckenende durch keinen weiteren Knotenpunkt gekennzeichnet ist. Die kompletten Streckenlängen variieren zwischen 3 und 4 km.

Die Sensitivitätsanalyse beinhaltet eine schrittweise Erweiterung der Einflussbereiche Z-306-StVO-geregelter Zufahrten von 0 bis 1.000 m. In Anlehnung an ECKSTEIN & MEEWES (2002) erfolgt eine Beurteilung der Unfalldichten (UD) für U(P) und U(SS) der verbleibenden Reststrecken, die als Randbedingung abzüglich des maximalen Einflussbereichs eine Länge von $\geq 2 L < 3$ km besitzen.

Bild 3 enthält die mittlere UD für U(P, SS) und U(P) aller Streckenabschnitte ($n = 69$) für die verbleibende Strecke mit steigendem Einflussbereich des Knotenpunktes. Mit zunehmender Entfernung zum Knotenpunkt ist ein Anstieg beider Kennwerte fest-

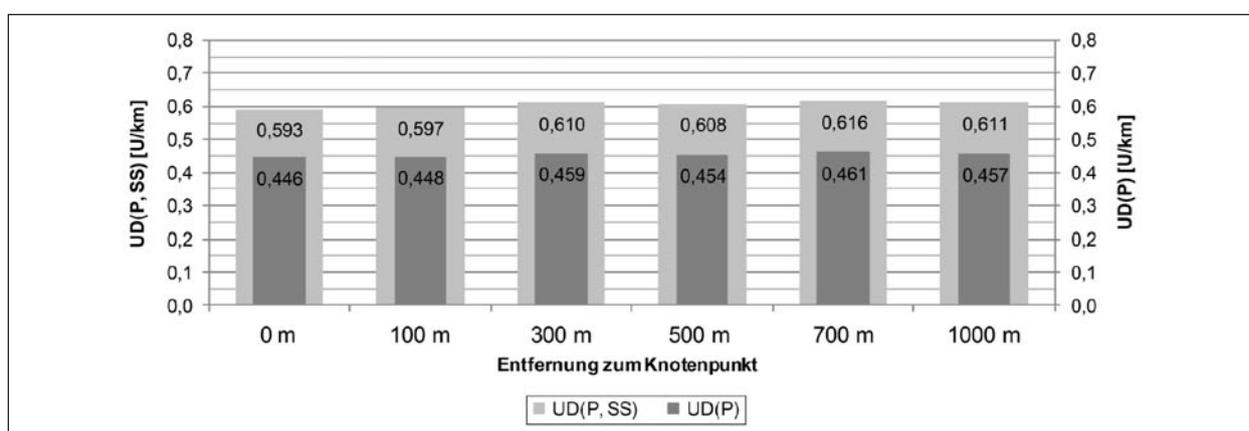


Bild 3: Entwicklung der UD der Reststrecke mit steigendem Abstand zum Knotenpunkt, Streckenabschnitte mit einer Z-306-StVO-geregelten Zufahrt

zustellen, welcher auf einen positiven Einfluss der Zufahrtsregelung des Knotenpunktes auf die angrenzende Strecke schließen lässt. Für die UD(P, SS) ist zwischen einer Entfernung von 100 m und 300 m der deutlichste Sprung festzustellen. Mit weiterer Zunahme des Einflussbereiches steigt die UD(P, SS) nur noch marginal an. Aufgrund der geringen Differenz zwischen der U(P, SS) bzw. U(P) für einen Abstand von 300 m und 1.000 m zum Knotenpunkt wird der relevante Einflussbereich durch Z-306-StVO-geregelter Knotenzufahrten auf eine Länge von 300 m festgelegt. Folgende Informationen wurden anhand der Bilder alleine für die befahrenen Zufahrten ausgewertet:

- Lage der Zufahrt am Knotenpunkt,
- Lichtsignalregelung und Vorhandensein Linksabbiegerschutz,
- Wartepflicht mit Z 205 oder Z 206 StVO,
- bauliche Elemente (Tropfen u. Ä.).

3.3.3 Strecke

Netzknotenabschnitte können durch Ortsdurchfahrten unterbrochen werden. Als Grenze für Ortsdurchfahrten gelten die Z 310 bzw. Z 311 StVO. Bereiche, die lediglich mit der Ortshinweistafel (Z 285-50 StVO) gekennzeichnet sind, wurden als außerörtliche Streckenabschnitte behandelt. Da Ortsdurchfahrten i. d. R. durch eine Änderung des Geschwindigkeitsniveaus gekennzeichnet sind, wurde für den Übergang ein Einflussbereich von 100 m berücksichtigt.

Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass folgende Einflüsse auf die Verkehrssicherheit der Streckenabschnitte von Landstraßen existieren:

- das Verkehrsaufkommen der Kraftfahrzeuge, beschrieben über den DTV, sowie die Relevanz nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer, beschrieben über die Betriebsform der Straße,
- die Veränderung des Querschnitts,
- die Geschwindigkeiten, gemessen und – da tatsächliche Geschwindigkeiten nicht in ausreichendem Umfang gemessen werden können – abgeleitet aus Trassierungsparametern (maßgeblich ist die Trassierung im Lageplan), dem Querschnitt und der zulässige Höchstgeschwindigkeit,

- die Gestaltung des Seitenraums, welche als maßgeblicher Einfluss auf die Unfallfolgen, also auf die Unfallschwere, eingeschätzt wird,
- Einflüsse, die das Überholen in kritischen Situationen begünstigen, beschrieben über Kenngrößen der räumlichen Linienführung oder auch fehlende Mitteltrennung bzw. Überholfahrstreifen, und
- entwässerungsschwache Zonen, beschrieben über die Schrägneigung i. V. m. Parametern der Straßenflächengestaltung.

Für die Strecken können unterschiedliche Kriterien der Abschnittseinteilung zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der Sicherheitsgradermittlung führen. Unter anderem liegt dies an methodischen Problemen im Zusammenhang mit der Verwendung von relativen Unfallkenngrößen wie Raten und Dichten. Dazu gehört der Einfluss von kurzen Abschnittslängen und kleinen Unfallzahlen (siehe u. a. EBERSBACH & SCHÜLLER 2008). Eine naheliegende Lösung für dieses Problem ist die Berücksichtigung längerer Streckenabschnitte. Das kann allerdings zu anderen Problemen führen, wie HAMMERSCHMIDT (2006) zeigt.

In Bild 4 ist der Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und der Unfallkostenrate (Sicherheitsgrad) für zwei Arten der Abschnittsbildung dargestellt:

- AO (außerorts)
Streckenabschnitte werden immer durch zwei Ortschaften begrenzt. Die Ortsdurchfahrten gehören nicht zum Untersuchungskollektiv.
- C.S.A. (Curve-Speed-Assistent)
Grundlage bilden die Abschnitte der AO-Abschnittsbildung. Diese wurden anhand der Kurvigkeit noch weiter differenziert in homogene

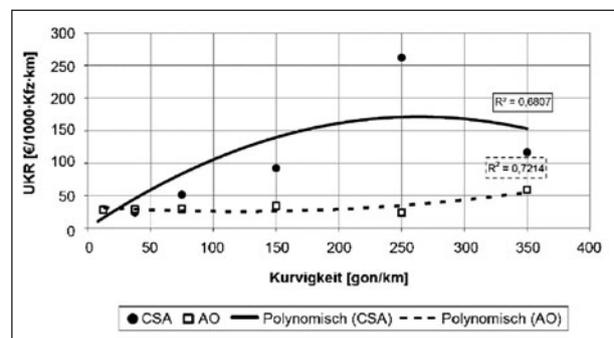


Bild 4: Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und Unfallkostenraten für zwei Methoden der Abschnittsbildung Unfalltyp 1 und 6 (aus HAMMERSCHMIDT 2006)

Abschnitte (ähnliche gleichbleibende Kurvigkeit) und Singularitäten (sehr hohe Kurvigkeit).

Während bei der ersten Methode (AO) kaum Veränderungen in der Unfallkostenrate bei ansteigender Kurvigkeit festgestellt wurden, ergibt sich – bei Ausschluss der Abschnitte mit sehr hoher Kurvigkeit aufgrund geringer Stichprobengröße – nahezu ein exponentieller Zusammenhang. Aufgrund geringer Kollektivgrößen im Bereich hoher Kurvigkeiten ist die Aussage eingeschränkt, verdeutlicht aber die Auswirkungen unterschiedlicher Methoden zur Abschnittsbildung.

Der beschriebene Einfluss aus der Abschnittsbildung kann auch mit multivariaten Modellen nicht ausgeglichen werden. Damit bekommt die Abschnittsbildung eine hohe Bedeutung bei der Ermittlung von aussagekräftigen Grundunfallkostenraten und Zuschlägen.

Ziel der Abschnitteinteilung war es, Bereiche gegeneinander abzugrenzen, welche bezüglich der Merkmalausprägungen der oben genannten Einflussbereiche homogen sind, gleichzeitig aber auch ausreichende Streckenlängen und Unfallzahlen aufweisen. Im ersten Schritt erfolgte dies vorrangig bezüglich des Verkehrsaufkommens der Kfz und der prognostizierten und zulässigen Geschwindigkeit.

Den Streckenabschnitten wurden über die SIB-Daten das Verkehrsaufkommen (DTV) und das Verkehrsaufkommen des Schwerververkehrs (DTV SV) zugeordnet. Als Bezugszeitraum wurden die Daten des Jahres 2005 gewählt. Lagen diese nicht vor, wurde – wenn vorhanden – auf die Daten des Jah-

res 2000 zurückgegriffen. Strecken, denen kein DTV zugeordnet wurde, sind nicht weiter Bestandteil der Untersuchungen. Lagen für einen Netzknotenabschnitt DTV-Werte für verschiedene aneinander grenzende Bereiche vor, wurde eine Trennung des Abschnittes vorgenommen, wenn die Werte eine Differenz größer 10 % aufwiesen.

Die prognostizierte Geschwindigkeit wurde auf Basis der Methodik und der Modelle von EBERSBACH (2006) ermittelt. Hier wurde grundsätzlich zwischen Abschnitten mit einem homogenen Geschwindigkeitsverhalten und Singularitäten unterschieden. Singularitäten sind Bereiche, in denen kurzfristig bzw. innerhalb einer geringen Längsentwicklung die Geschwindigkeit aufgrund einer engen Kurve reduziert wird bzw. eine hohe Querbeschleunigung des Fahrzeugs auftritt.

Eine Singularität wird nach folgenden zwei Kriterien definiert (EBERSBACH 2006):

- Der Radius des Elements ist kleiner als ein minimaler Radius von $R_{Smin} = 250$ m und
- die Länge des Elements muss eine Mindestlänge von $L_{Smin} = 50$ m aufweisen.

Die Mindestlänge des Elements resultiert aus dem beobachteten Fahrverhalten in kurzen Kurven. Die Fahrer vergrößern den Radius durch das „Schneiden“ der Kurve, sodass keine Anpassung der Geschwindigkeit erfolgt.

In Bild 5 ist die Methodik der Abschnittsbildung nach EBERSBACH (2006) exemplarisch anhand eines Geschwindigkeitsprofils und des Kurvigkeitsbands dargestellt. Nachfolgend beschriebene Län-

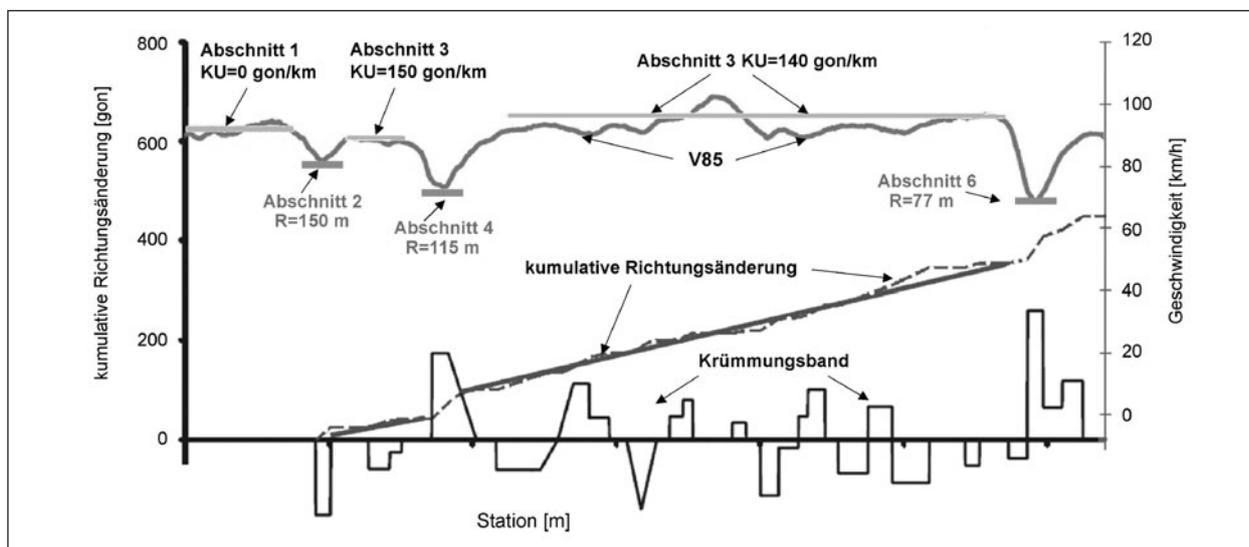


Bild 5: Methodik der Abschnittsbildung auf Basis des (prognostizierten) Geschwindigkeitsprofils nach EBERSBACH (2006)

gen der Parameter wurden in Anlehnung an EBERSBACH (2006) definiert.

Für die aktuellen Untersuchungen stellten Singularitäten keine Grenzen für Abschnitte dar, sondern wurden als weiteres beschreibendes Merkmal der Strecke im Datenkollektiv mit erfasst. Gegenüber der Untersuchung von EBERSBACH (2006) tritt eine Singularität auf, wenn der Mindestradius auf einer Länge von ≥ 50 m unterschritten wird. Die Größenordnung der Mindestradien für die jeweilige Querschnittsgruppe orientiert sich an den Angaben der RQ nach den RAL (FGSV 2008a) und sind in Kapitel 3.4 näher erläutert.

Weisen Singularitäten untereinander einen Abstand ≤ 100 m auf, wurden beide Singularitäten und der Zwischenabschnitt als ein Element (Singularität) definiert.

Der Höhe der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (v_{zul}) ist nur ein indirekter Einfluss auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit zu unterstellen. Ob und in welchem Umfang eine Herabsetzung der v_{zul} auf < 100 km/h zu einer Verringerung der gefahrenen Geschwindigkeiten führt, ist stark von der Örtlichkeit abhängig.

Es erfolgte die Unterteilung der Streckenabschnitte nach Höhe der v_{zul} . Für Abschnitte, die für die Fahrrichtungen unterschiedliche v_{zul} aufweisen, wurde die höhere angeordnete v_{zul} als maßgebend zugeordnet. Neben der Annahme, dass die höheren Geschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer in der Fahrtrichtung mit hoher v_{zul} die Unfallschwere deutlicher beeinflussen, sollten auch aussagekräftige Gruppen bezüglich der v_{zul} gewonnen werden.

Aus den Auswertungen der mittleren Unfallraten (Median) für den Q 11 wird deutlich, dass Abschnitte mit einer $v_{zul} < 70$ km/h ein höheres Sicherheitsrisiko und eine weitere Streuung der Einzelwerte aufweisen (Bild 6). Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Anordnung einer niedrigen v_{zul} in vielen Fällen eine reaktive Maßnahme kennzeichnet (ELVIK et al. 2004), denn diese Abschnitte stellen aufgrund ihrer Charakteristik oft Bereiche mit einem erhöhten Unfallrisiko dar.

Deshalb wurden Abschnitte mit einer $v_{zul} < 70$ km/h für die weiteren Betrachtungen ausgeschlossen. Die Abschnittseinteilung der freien Strecke nach dem Kriterium v_{zul} erfolgte in zwei Gruppen:

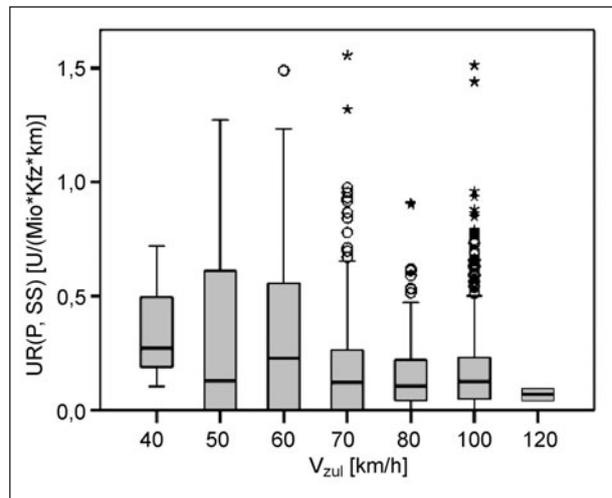


Bild 6: UR(P, SS) Q 11 bei Abschnittseinteilung nach v_{zul}

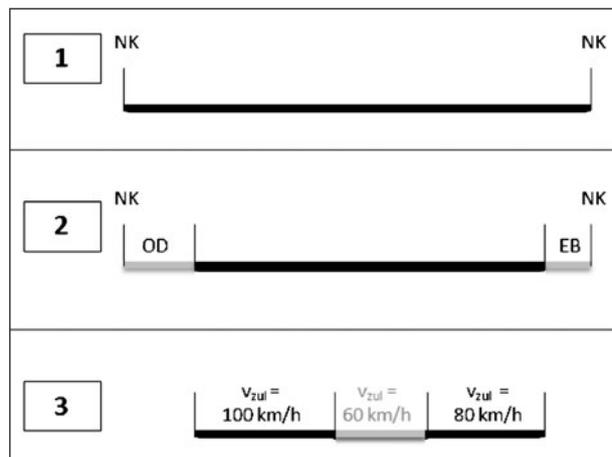


Bild 7: Arbeitsschritte zur Abschnittseinteilung freie Strecke

- $v = 100$: beinhaltet alle Bereiche mit einer v_{zul} $70 \text{ km/h} \leq v_{zul} \leq 100 \text{ km/h}$,
- $v = 120$: beinhaltet alle Bereiche mit einer $v_{zul} > 100 \text{ km/h}$.

Unterschiede der v_{zul} innerhalb eines Abschnittes wurden mit einem Anteilwert bezogen auf die Streckenlänge berücksichtigt.²

Aus den beschriebenen Randbedingungen ergibt sich die in Bild 7 dargestellte Methodik der Streckeneinteilung:

- Schritt 1: Festlegen Art relevante Netzknotenabschnitte.

² Die Modellrechnung mit einer Abschnittseinteilung nach v_{zul} zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Es erfolgte die weitere Berücksichtigung der v_{zul} als Anteilwert je Abschnitt.

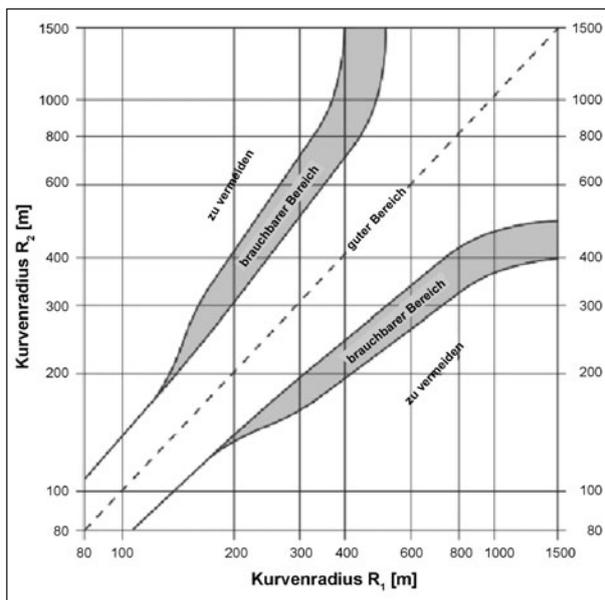


Bild 8: Radientulpe nach RAL (FGSV 2008a)

- Schritt 2: Ausschluss von Ortschaften (OD) inklusive Annäherungsbereiche sowie Ausschluss der Einflussbereiche (EB) von Knotenpunkten in Abhängigkeit der Zufahrtsregelung.
- Schritt 3: Abschnittsbildung auf Basis der v_{zul} . Ausschluss von Abschnitten mit einer $v_{zul} < 70$ km/h.

Eine weitere Unterteilung des Abschnitts erfolgte, wenn aus den Messungen der Querschnittsbreiten für die Elemente Fahrstreifenbreite oder Randstreifenbreite Differenzen von $\geq 0,2$ m vorliegen oder eine augenscheinliche Veränderung des Querschnitts festzustellen war.

3.4 Bewertung Relationstrassierung

Die Abfolge der Lage- und Höhenplanelemente ist Straßenentwurf auf eine hinreichende Erkennbarkeit des Straßenverlaufs und eine befriedigende optische Linienführung zu prüfen (FGSV 2008a). Im Bereich des Lageplans wird die Linienführung durch die Abfolge der Elemente Gerade – Kreisbogen und Kreisbogen – Kreisbogen bestimmt.

Die Reduzierung der Geschwindigkeiten im Streckenverlauf wird maßgebend durch das Verhältnis aufeinanderfolgender Kreisbogenradien bestimmt. Abfolgen mit hohen Geschwindigkeitsdifferenzen sind oft durch ein hohes Unfallgeschehen gekennzeichnet (LIPPOLD 1997). U. a. aus diesen Erkenntnissen resultiert die Radientulpe (Bild 8) in den RAL (FGSV 2008a), welche das Verhältnis auf-

einanderfolgender Kreisbogenradien bewertet. Für EKL 1 und EKL 2 soll das Verhältnis im „guten Bereich“ liegen. Abfolgen im „brauchbaren Bereich“ sind für Strecken der EKL 3 genügend, für Strecken der EKL 4 generell ausreichend.

Um einen einheitlichen Entwurfsstandard für das Grundnetz zu gewährleisten, wurde als Maßstab immer der „gute Bereich“ zugrunde gelegt. Das Festlegen von Fehlern in der Abfolge von Radien basiert auf einer vierstufigen Einteilung der Verhältniswerte nach den RAL (FGSV 2008a):

- Stufe 1: keine Abweichung,
- Stufe 2: geringe Abweichung $0 \% < \text{Abw.} \leq 10 \%$,
- Stufe 3: mittlere Abweichung $10 \% < \text{Abw.} \leq 20 \%$,
- Stufe 4: hohe Abweichung $\text{Abw.} > 20 \%$.

Ähnlich der direkten Abfolge von Radien enthalten die RAL (FGSV 2008a) Vorgaben zur zulässigen Abfolge der Elemente Gerade – Kreisbogen. Das Verhältnis Kurvenradius zu Länge der Geraden basiert ebenfalls auf der Ermittlung von Geschwindigkeitsdifferenzen, die sich beim Befahren der Elementabfolge ergeben (UNGER 1994, LIPPOLD 1997). Hohe Defizite in der Geschwindigkeit werden ebenfalls mit dem Auftreten eines erhöhten Unfallgeschehens im Kurvenbereich in Zusammenhang gebracht (BARK et al. 2008). In Anlehnung an die Bewertungsmethodik der Relation aufeinanderfolgender Kreisbogenradien (FGSV 2008a) erfolgte die Klassifizierung des Maßes der Abweichung für die Unterschreitung des Verhältnisses in den oben aufgeführten vier Stufen. Da die Anordnung von zu großen Kreisbogenradien nach Geraden lediglich im Sinne einer ausgewogenen Linienführung, weniger für die Verkehrssicherheit, ein Defizit darstellt, werden Überschreitungen in diesem Bereich nicht berücksichtigt.

Jedem Trassierungselement wurde nach aufgeführten Kriterien eine Bewertung zugeordnet. Maßgebend ist die schlechtere Bewertung eines Elements beider Fahrtrichtungen.

Die Anpassung der Strecken im Gelände nach EKL wird u. a. durch die Angabe von Mindestradien bestimmt (FGSV 2008a). Die Größenordnung orientiert sich an den angemessenen Geschwindigkeiten der EKL und der Notwendigkeit ausreichender Überholstrecken. Mit den Erkenntnissen der Un-

Querschnitt	Radius [m]	Länge [m]
Q 9	< 150	≥ 50
Q 11	< 250	
Q „dreistreifig“	< 350	
Q 21	< 350	

Tab. 7: Größenordnung Singularitäten nach Querschnittsgruppe

tersuchungen von EBERSBACH (2006) wurden Unterschreitungen des Mindestradius als Singularitäten erfasst, wenn die in Tabelle 7 aufgeführten Kriterien erfüllen sind.

Entgegen dem Entwurf der RAL (FGSV 2008a) erfolgte für Strecken, die nach RAL den RQ 15,5 zugeordnet sind, eine Festlegung des Mindestradius von ≤ 350 m, um ein ausreichend großes Datenkollektiv Q „dreistreifig“ mit homogenen Kriterien zu erhalten.

3.5 Statistisches Modell

3.5.1 Grundlagen

Nachdem die Abschnitte gegeneinander abgegrenzt wurden, erfolgte die Bewertung der Verkehrssicherheit. Bei der Wahl eines geeigneten Verfahrens wurde auf die Anwendung statistischer multivariater Modelle zurückgegriffen. Dabei spielten folgende Überlegungen eine Rolle:

In vergangenen Sicherheitsanalysen hat sich gezeigt, dass monokausale Untersuchungen, d. h. die Analyse des Sicherheitseinflusses von nur einem Merkmal, in manchen Fällen zu nicht plausiblen Ergebnissen führt. Grund dafür sind häufig Scheinkorrelation, d. h., der untersuchte Einfluss korreliert mit einer nicht berücksichtigten Variable (confounder), welche für das Ergebnis verantwortlich ist. Diesem Problem kann über unterschiedliche Ansätze begegnet werden:

- Vorher-Nachher-Vergleiche, wobei nur das untersuchte Merkmal sich ändert,
- Gleichverteilung der confounder über alle betrachteten Merkmalsausprägungen der analysierten Einflussvariable oder
- Verwendung von multivariaten statistischen Verfahren.

Der erste Ansatz ist praktisch nicht realisierbar, da dies nur Einzelfälle betrifft und somit für eine aussagekräftige Analyse keine ausreichend große Stichprobe an Unfalldaten zur Verfügung steht.

Auch der zweite Ansatz ist praktisch kaum durchführbar, da in diesem Fall eine Vielzahl an Kollektiven mit sehr geringen Besetzungsgraden bezüglich der Unfallzahlen entstehen würde.

Es bleibt damit nur der dritte Ansatz übrig, welcher gleichzeitig alle potenziellen Einflussvariablen in einem Modell vereint. Klassische Regressionsmodelle kommen hier nicht infrage, da sie von normalverteilten Zufallsgrößen ausgehen. Unfälle treten jedoch poissonverteilt auf.

Verallgemeinerte Lineare Modelle (GLM – Generalized Linear Models) kommen in solchen Fällen häufig zur Anwendung. Eine Vielzahl an Untersuchungen zur Verkehrssicherheit auf Basis dieser Modelle unterstreicht deren Relevanz. Eingeführt von MAYCOCK & HALL (1984) zur Untersuchung der Verkehrssicherheit an Kreisverkehren wurden diese Verfahren ständig weiterentwickelt (siehe bspw. MAHER & SUMMERSGILL 1996 oder WOOD 2002) und kommen in einer Vielzahl von Sicherheitsanalysen im internationalen Bereich zur Anwendung (siehe bspw. TAYLOR et al. 2002, GREIBE 2003 oder REURINGS et al. 2005, SCHÜLLER 2010).

Gleichung 5 zeigt ein Beispiel für ein mögliches Modell zur Beschreibung des Unfallgeschehens auf der freien Strecke. Die Einflussvariablen werden als Potenz- oder Exponentialfunktion im Modell berücksichtigt, damit können auch nichtlineare Zusammenhänge beschrieben werden.

$$U = a * q^{b_1} * L^{b_2} * e^{\sum_{i=3}^n b_i * x_i} \quad \text{Gl. 5}$$

- U Anzahl Unfälle im betrachteten Zeitraum
- a Konstante
- b Parameter bzw. Koeffizienten der Einflussvariablen
- q Kenngröße der Verkehrsstärke (z. B. DTV)
- L Länge des Abschnitts
- x weitere Einflussvariablen

Im Rahmen des Modellaufbaus werden Unfallzahlen beschrieben. Aus den Modellen lassen sich aber auch relative Kenngrößen wie Unfalldichte und Unfallrate ableiten, indem man z. B. einfach bei der Ermittlung der Unfalldichte für einen Abschnitt die Länge 1 km einsetzt und damit eine Unfalldichte erhält.

Verallgemeinerte Lineare Modelle sind durch drei Elemente definiert:

- die Verteilungsfunktion der abhängigen Variablen (hier: Unfälle),
- den linearen Prädiktor (die Summe der Produkte aus Parameter b_i und Einflussvariable x_i) und
- die Verknüpfungsfunktion, welche den Zusammenhang zwischen linearem Prädiktor und der abhängigen Variable herstellt.

Für die Verteilungsfunktion wird die Poissonverteilung gewählt, da Unfälle modelliert werden sollen. Unter Umständen kommt auch die negative Binomialverteilung zur Anwendung, welche methodische Vorteile gegenüber der Poissonverteilung besitzt. Dazu zählt u. a. der Umgang mit Overdispersion (Überzufälligkeit) des Modells.

Der lineare Prädiktor lässt sich in zwei verschiedene Arten von Einflussgrößen unterteilen. Einflussgrößen, die mit einer Potenzfunktion in das Modell einfließen, werden als Expositionsgrößen bezeichnet. Expositionsgrößen quantifizieren nicht das Risiko, sie dienen zur Bildung von Unfallkenngrößen, die zur Quantifizierung des Risikos herangezogen werden können. Dazu zählen i. d. R. der DTV und die Länge des Untersuchungsabschnitts. Nimmt eine der beiden Größen den Wert „null“ an, tritt kein Unfallgeschehen auf. Ein linearer Zusammenhang wird durch einen Koeffizient mit dem Wert „1“ beschrieben. Die in der Exponentialfunktion enthaltenen Variablen umfasst die Gruppe der beschreibenden Merkmale. Das Fehlen eines solchen Merkmals (Exponent gleich „null“) führt dazu, dass dieser Term in der Gleichung mit dem Faktor „1“ berücksichtigt wird und das Unfallgeschehen nicht zwangsläufig den Wert „null“ annimmt. Die Ermittlung der Parameter b_i des linearen Prädiktors erfolgt nicht wie bei der linearen Regressionsrechnung durch die Minimierung der Abweichungsquadrate, sondern anhand der Maximum-Likelihood-Methode. Die Berechnung wird mit dem Statistikprogramm SPSS vorgenommen.

Das Vorzeichen des Parameters b_i gibt Auskunft über Wirkung der Einflussgröße x_i . Ein negativer Koeffizient führt zu einer geringeren Unfallhäufigkeit mit zunehmendem Variablenwert, während das Auftreten der Kenngröße mit einem positiven Koeffizienten eine Erhöhung der Unfallanzahl bewirkt. Parameterwerte b_i von < 1 erklären für Einflussgrößen, die mit einer Potenzfunktion eingehen, einen

degressiven Kurvenverlauf. Das Unfallgeschehen nimmt mit steigender Einflussgröße unterproportional zu. Aus Parameterwerten $b_i > 1$ resultiert ein progressiver Kurvenverlauf, das Unfallgeschehen steigt überproportional zur Einflussgröße. Liegt der Wert „1“ vor, ist der Zusammenhang zwischen Unfallgeschehen und Einflussgröße proportional.

Der lineare Prädiktor des Modells in Gleichung 5 entspricht einer linearen Regressionsgleichung der Form:

$$\eta = \ln(a) + b_1 \ln(q) + b_2 \ln(L) + \sum_{i=3}^n b_i x_i \quad \text{Gl. 6}$$

Durch die Verknüpfungsfunktion, welche bei Unfallmodellen häufig einer Logarithmusfunktion entspricht (Gleichung 7) (siehe MAHER & SUMMERS-GILL 1996):

$$\ln(U) = \eta \rightarrow U = e^{(\eta)} \quad \text{Gl. 7}$$

ergibt sich das Modell in Gleichung 5.

3.5.2 Entwicklung Einzelmodell

Ziel ist es, schrittweise das Modell aufzubauen. Ausgehend vom Nullmodell – entspricht dem Mittelwert der Unfälle des Untersuchungskollektivs – werden sukzessive potenzielle Einflussvariablen in das Modell eingeführt und auf ihren Beitrag zur Verringerung der Streuung der Unfallzahlen im Untersuchungskollektiv analysiert. Es sollen alle systematischen Streuungen durch Berücksichtigung potenzieller Einflussvariablen im Modell erklärt werden, sodass nur die zufälligen Streuungen, welche aus der poissonverteilten Auftretenswahrscheinlichkeit von Unfällen resultieren, übrig bleiben. Während des Aufbaus des Modells wird immer wieder geprüft, wie stark sich die Verteilung der Unfälle im Untersuchungskollektiv einer Poissonverteilung angenähert hat. Diese Abweichung kann über verschiedene Parameter (z. B. deviance, Pearson-chi-Quadrat) beschrieben werden und gibt Auskunft über die Güte (goodness of fit) des Modells.

Im Verlauf werden nacheinander alle zur Verfügung stehenden Einflussgrößen einzeln im Modell auf ihren Erklärungsanteil geprüft. Die Einflussgröße, die den höchsten Erklärungsanteil liefert – deutlichste Verringerung der Varianz –, wird als nächste in das Modell aufgenommen. Dabei muss die Einflussgröße sowohl mit einem signifikanten Nutzen zur Erklärung des Modells beitragen (Wald-Test)

als auch die Einflussgröße selbst muss einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen aufweisen (Signifikanztest der Modelleffekte), also verschieden von „null“ sein. Ist dies der Fall, werden nach Aufnahme der Einflussgröße im Modell im folgenden Schritt alle verbliebenen Einflussgrößen erneut getestet. Dabei sind alle im Modell berücksichtigten Einflussgrößen auf Korrelationen zu prüfen. Liegen keine signifikanten Einflussgrößen mehr vor, ist das Unfallgeschehen mit den zur Verfügung stehenden Einflussgrößen erklärt bzw. es fehlen weitere erklärende Einflussgrößen.

Die Entscheidung ob eine Variable im Modell berücksichtigt wird, ist nicht nur eine Frage der Signifikanz. Einige Variablen weisen lediglich eine eingeschränkte Signifikanz auf, tragen aber wesentlich zu einer Verringerung systematischer Varianz (Anpassungsgüte) bei. In diesen Fällen ist eine Zuführung der Variable zum Modell inhaltlich zu prüfen.

Häufig können nicht ausreichend viele Merkmale zur Beschreibung der Streuung herangezogen bzw. gefunden werden. In diesem Fall gelingt keine vollständige Annäherung an die Poissonverteilung. In diesem Fall spricht man von Overdispersion (Überzufälligkeit) des Modells, was zu einer fehlerhaften Abschätzung der Parameter bzw. Koeffizienten führt. Eine Möglichkeit zur verbesserten Abschätzung bietet hier die Verwendung der negativen Binomialverteilung (MAHER & SUMMERSGILL 1996). Im Gegensatz zur Poissonverteilung wird diese ebenfalls diskrete Verteilung über zwei Parameter – Mittelwert und Streuparameter – beschrieben und bietet damit mehrere Möglichkeiten, die Verteilungsfunktion an die tatsächliche Verteilung der Unfälle im Untersuchungskollektiv anzupassen.

Die durch eine Exponentialfunktion beschriebenen Einflussgrößen eines Modells finden auf verschiedene Art und Weise Berücksichtigung:

- Kontinuierlich (stetig): Einflussgrößen mit einer hohen Anzahl an Ausprägungen (auch als metrisch benannt), die direkt Berücksichtigung finden (bspw. Kurvigkeit, Hügeligkeit), werden als kontinuierliche Variablen bezeichnet. Die Höhe des Koeffizienten b_i bestimmt die Größe (allerdings in Abhängigkeit der Bandbreite und Skalierung der Einflussvariablen) und die Art des Einflusses. Koeffizienten kleiner „1“ stehen für einen degressiv an- bzw. absteigenden Zusammenhang, Koeffizienten größer „1“ für einen progressiv an- bzw. absteigenden Zusammenhang. Ist der Koeffizient gleich „1“ liegt ein linearer Zu-

sammenhang vor. Die resultierende Größe des Einflusses der Variable ergibt sich aus dem Produkt des Koeffizienten b_i und der Größenordnung der Einflussgröße.

- Kategorial: Dabei handelt es sich um Einflussgrößen, die nach verschiedenen Faktoren unterschieden werden. Dazu zählen auch kontinuierliche Einflussgrößen mit einer geringen Anzahl an Ausprägungen. Bei kategorialen Variablen gibt der Koeffizient direkt Auskunft darüber, um wie viel sich die Unfallzahl z. B. bei Vorhandensein einer Merkmalsausprägung vergrößert oder verkleinert.

Für kategoriale Kenngrößen im Modell gilt, dass die einzelnen Faktoren untereinander auf Signifikanz zu prüfen sind (paarweise Kontraste), um innere Korrelationen auszuschließen. Prinzipiell können kontinuierliche Einflussgrößen in kategoriale umgewandelt werden. Dies ist dann zulässig, wenn die betrachtete Kenngröße nur selten oder in geringer Ausprägung vorliegt (TAYLOR et al. 2000) oder durch die Veränderung der Art eine bessere Erklärung durch das Modell erzielt wird.

Auch die Berücksichtigung von Variablen, welche im übertragenen Sinn eine Kombination stetiger und kategorialer Eigenschaften besitzen – bspw. die Vorgabe eines festen Faktors, wenn eine stetige Größe einen Grenzwert überschreitet –, ist möglich. Umwandlungen sollen, gleichermaßen wie bei der Überführung von stetigen in kategoriale Variablen, immer auf fachlichen Überlegungen beruhen.

Diese Art von Modellen kann bei größerer Stichprobe auch für verschiedene Unfallkategorien oder Unfalltypen erstellt werden. Spezifische Modelle in Abhängigkeit der Unfallschwere sind notwendig, um im Ergebnis eine volkswirtschaftliche Bewertung der Schäden durch Unfallkosten vornehmen zu können.

Vorteil dieser Modelle ist es, in Abhängigkeit verschiedener Randbedingungen – sofern sie im Modell berücksichtigt sind – den isolierten Einfluss einer Merkmalsausprägung abbilden zu können.

Das statistische Modell dient alleine einer methodisch sauberen Darstellung der Einflussfaktoren auf die Verkehrssicherheit (Unfallgeschehen). Die Verwendung des Modells im Rahmen des HVS-Verfahrens ist zwar grundsätzlich möglich, tatsächlich wird aber aus Gründen der Praktikabilität und der besseren Verständlichkeit ein vereinfachtes Verfahren favorisiert.

3.5.3 Modellprüfung

Ein ermitteltes Modell bildet immer nur annähernd die Realität ab. Nach Erstellung des Modells mit allen signifikanten Einflussgrößen sind folgende Fragen zu klären:

- Ist die Anpassung des Modells auf die Stichprobe korrekt?
- Können die erhaltenen Aussagen über die Stichprobe hinweg verallgemeinert werden?

Beispielsweise treten systematische Abweichungen bei stark voneinander abhängigen Prädiktorvariablen auf (Multikollinearität). Diese ist kritisch, wenn beide Variablen ein ähnliches Ergebnis liefern und somit austauschbar sind. In diesem Fall ist es unklar, welche der beiden Variablen für den Einfluss verantwortlich ist. Daher sind die im Modell verwendeten Einflussgrößen untereinander auf innere Abhängigkeiten (Multikollinearität) zu prüfen. Im Regelfall wird die Variable berücksichtigt, die den größten Anteil zur Erklärung der Streuung des Modells liefert.

Durch ein vollständig angepasstes Modell wird im Idealzustand in Abhängigkeit der Variablen das gleiche Unfallgeschehen wie in der Empirie ermittelt, Abweichungen im Einzelfall sind auf rein zufällige Streuungen zurückzuführen. Einflüsse der abhängigen Variablen, die nicht durch das Modell beschrieben werden können, sind in den Residuen enthalten. Im Idealfall weisen die Residuen keine systematischen, sondern nur zufällige Abweichungen auf.

Bei der Verwendung von GLM ist es üblich, auch nichtlineare Zusammenhänge zwischen verschiedenen Einflussgrößen zu berücksichtigen. Lineare Regressionen ermöglichen die Modellkontrolle anhand verschiedener Bedingungen, setzen aber auch lineare Zusammenhänge zwischen den Prädiktorvariablen (Einflussgrößen) voraus. Um dahingehend eine Bewertung zu ermöglichen, ist für GLM die Transformation der Residuen (Standardisierung) notwendig. Resultat dieser Transformation ist u. a. die Möglichkeit, Wahrscheinlichkeitsplots und standardisierte Pearson-Residuen abzubilden (TABACHNICK & FIDELL 2000).

Dabei soll die Abbildung der Residuen über Residuen- und Wahrscheinlichkeitsplots bestimmten Bedingungen genügen. Residuenplots stellen die Abweichungen zwischen modelliertem und empirischem Unfallgeschehen über eine Einflussgröße

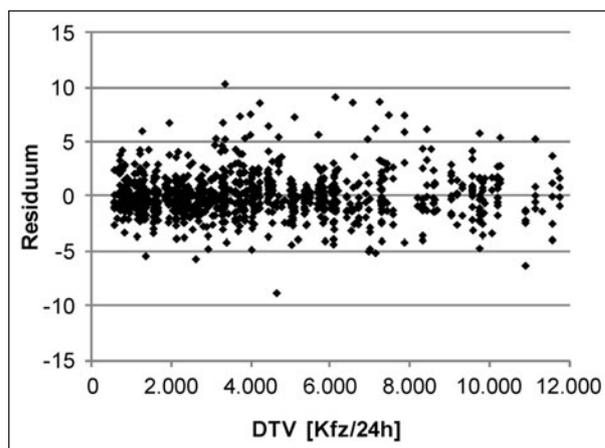


Bild 9: Beispiel eines Residuenplots für U(P) über dem DTV

dar. Homoskedastizität und Linearität sind zwei Prüfkriterien dieser Plots. Homoskedastizität beschreibt die unsystematische Verteilung der standardisierten Residuen – diese sollen normalverteilt sein – um den Mittelwert von „null“, betrachtet über eine Einflussgröße. Die Linearität beschreibt ebenfalls die Verteilung der Residuen. Linearität liegt vor, wenn aus der Verteilung der Residuen eine Struktur bzw. systematische Anordnung erkennbar wird. Bild 9 enthält einen beispielhaften Residuenplot ohne systematische Abweichungen.

Die Abbildung der standardisierten Residuen über Wahrscheinlichkeitsplots ist eine zweite Prüfmöglichkeit. Bei annähernder Normalverteilung der standardisierten Abweichungsresiduen entspricht deren Darstellung im Wahrscheinlichkeitsplot (Q-Q-Diagramm) einer Geraden entlang der Diagonalen. Die Verletzung dieser Annahme führt zu einer systematischen Abweichung im Plot. Mit Hilfe des Plots sind eine Identifikation und Analyse von Ausreißern möglich.

Das Auftragen der kumulierten Residuen über eine signifikante Einflussgröße des Modells (Cure-Plot), stellt eine weitere Möglichkeit der Modellkontrolle dar (Bild 10). Im Idealfall schwankt der Kurvenverlauf um den Wert null. Aus dem deutlichen Ansteigen oder Fallen der Funktion kann eine starke Über- bzw. Unterschätzung für einzelne Abschnitte abgelesen werden. Fällt oder steigt die Kurve über einen längeren Bereich, liegt eine systematische Abweichung der Residuen vor. In diesem Falle ist die Verwendung der betrachteten Einflussgröße zu prüfen. Die beiden Begrenzungslinien im Cure-Plot stellen einen von HAUER & BAMFO (1997) entwickelten Vertrauensbereich $\pm 2 \delta^*$ dar. Mit dessen Hilfe lässt sich überprüfen, ob die gewählte Modell-

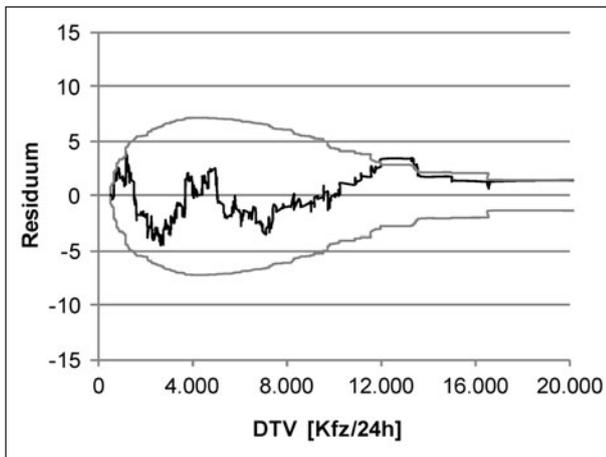


Bild 10: Beispiel eines Cure-Plots für U(SP) über dem DTV

form die betrachtete Einflussgröße über den gesamten Wertebereich ausreichend beschreibt bzw. repräsentiert. Überschreitet die Kurve der Residuen über längere Abschnitte die Grenzen, gilt dies ebenfalls als Indiz, das Modell noch einmal zu prüfen.

Verschiedene Distanzmaße und Kenngrößen bieten die Möglichkeit, diese Effekte zu bestimmen und Grenzen festzulegen.

Der Hebelwert erlaubt Aussagen zur Hebelwirkung eines Ausreißers. Je größer der Hebelwert für einen Einzelwert ist, desto stärker wird sein Einfluss auf die Parameter des Modells. Gerade Ausreißer an den Rändern des Betrachtungsbereiches besitzen eine hohe Hebelwirkung. Für den Hebelwert gilt die Grenze nach Gleichung 8. Werte, die über diesem Bereich liegen, sind nicht kategorisch auszuschließen, sollten aber untersucht werden (STEVENS 2002).

$$Hw = \frac{3 * (k + 1)}{n} \quad \text{Gl. 8}$$

Hw Hebelwert
k Anzahl Parameter (Variablen & Konstante)
n Anzahl Fälle

Eine weitere Kenngröße ist die Cook-Distanz, welche die Auswirkungen des Ausschlusses eines Betrachtungsfalls auf die Residuen beschreibt. Indirekt wird damit auch der Einfluss auf die Parameter des Modells charakterisiert. Eine hohe Cook-Distanz lässt somit einen starken Einfluss des Einzelfalls auf das Gesamtmodell deutlich werden. Cook-Distanzen größer 1 sind zu untersuchen. In dieser Untersuchung wurde der konservativere Grenzwert in Gleichung 9 (im Regelfall kleiner und

damit strenger) verwendet (HUTCHESON & SOFRONIOU 1999).

$$Cd = \frac{4}{(n - k)} \quad \text{Gl. 9}$$

Cd Cook-Distanz
k Anzahl Parameter (Variablen & Konstante)
n Anzahl Fälle

Hebelwert und Cook-Distanz sind Prüfparameter aller aufgestellten Modelle. Da ein pauschaler Ausschluss von Einzelfällen über dem Grenzwert nicht zwangsläufig notwendig ist, erfolgte der Ausschluss von Fällen nach Einzelprüfung auffälliger Fälle. Anhand der Residuenanalyse wurden folgende Fälle näher betrachtet und ggf. ausgeschlossen:

- Überschreitung von Cook-Distanz und Hebelwert,
- deutliche Überschreitung von Cook-Distanz oder Hebelwert,
- Auffälligkeiten in Residuen oder Cure-Plots.

Neben der Prüfung des Einzelmodells ist auch eine Prüfung von Teilmodellen mit gleicher abhängiger Größe untereinander notwendig. Als Prüfgröße wird das Akaike-Informationskriterium (AIC) verwendet. Vereinfachend kann festgehalten werden, je niedriger das AIC eines Modells ist, desto besser ist das Modell. Maßgebend dabei ist nicht das absolute AIC eines Modells, sondern die Differenz zwischen zwei Modellen (BURNHAM & ANDERSON 2002). Das AIC besitzt gegenüber der Bewertung mit dem Bestimmtheitsmaß R^2 zwei Vorteile in der Modellbetrachtung. Zum einen beruht die Schätzung der Modellparameter auf der Maximum-Likelihood Methode und nicht auf einer Minimierung der Summe quadratischer Abweichung. Letztere ist Grundlage der Qualitätsbestimmung des R^2 . Weiterhin führt das Einbeziehen weiterer erklärender Variablen zu einer Erhöhung des R^2 unabhängig davon, ob dies zu einer Überanpassung des Modells führt. Um diesem Aspekt Rechnung zu tragen, beinhaltet das AIC einen Term, der eine „Strafe“ in Abhängigkeit der verwendeten Parameter darstellt (FAHRMEIR et al. 2009).

3.5.4 Struktur der Modelle

In den Modellen werden die Unfallanzahl und Unfalldichte als abhängige Größe modelliert. Das Auftreten von Unfällen unterliegt verschiedenen Gesetzmäßigkeiten. Es ist bekannt, dass Einfluss-

größen auf Unfälle unterschiedlicher Kategorien unterschiedliche Wirkung besitzen. Gegenüber U(S) treten U(P) in der Regel seltener auf. Für das Auffinden mutmaßlich signifikanter Einflussgrößen auf die Unfallschwere ist die Trennung des Unfallkollektivs nach Schwere Kategorien notwendig. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass für einige Bundesländer nicht alle Unfallkategorien vorliegen.

Unfälle der Kategorie 1 bis 3 weisen untereinander deutliche Unterschiede in der volkswirtschaftlichen Bewertung auf. Aus einer höheren Verletzungsschwere resultiert eine deutliche Zunahme der volkswirtschaftlichen Kosten. Für eine genaue monetäre Quantifizierung sicherheitsbedingter Defizite ist die Kenntnis über das räumliche und zeitliche Auftreten (Einflussgrößen) der Unfälle jeder Kategorie von Vorteil.

Jedoch stellt das Auftreten von Unfällen der Kategorie 2 und insbesondere der Kategorie 1 ein seltenes zufälliges Ereignis dar. Trotz eines vierjährigen Betrachtungszeitraums weist ein hoher Teil der Strecken kein Unfallgeschehen U(SP) auf. Aufgrund der geringen Fallzahlen würde die Aussagekraft zu Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen bei Betrachtung der einzelnen Unfallkategorien erheblich eingeschränkt. Zur Erhöhung der Aussagekraft des Modells wurden daher die Unfallkategorien 1 bis 3 zusammengefasst. Es ergeben sich folgende drei Teilmodelle nach Unfallschwere:

- U(P): Modell für alle Unfälle der Kategorie 1 bis 3, Berücksichtigung aller Bundesländer.
- U(SS): Modell für alle Unfälle der Kategorie 4 einschließlich 6, Berücksichtigung aller Bundesländer.
- U(LS): Modell für alle Unfälle der Kategorie 5, Berücksichtigung der Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt, Rheinland-Pfalz.

Aus der Addition der Ergebnisse aller drei Teilmodelle ermittelt sich das gesamte Unfallgeschehen eines Streckenabschnitts bzw. Knotenpunkts.

Aus einer Vielzahl von Untersuchungen ist der Einfluss verschiedener Merkmale auf die Verkehrssicherheit bekannt. In Abhängigkeit der Gestaltung der Strecke variieren diese Einflüsse nach Art und Größenordnung. Dieser Aspekt findet im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) als Differenzierung der Zuschläge nach den RQ Berücksichtigung.

Um differenzierte Aussagen zu den mutmaßlichen Einflussgrößen zu erhalten, wurden jeweils die drei Teilmodelle nach Unfallschwere für jede einzelne Querschnittsgruppe (Q) ermittelt.

Die Berücksichtigung aller Querschnittsgruppen mittels einer kategorialen Einteilung in einem Gesamtmodell birgt die Gefahr der „Verschleierung“ von Effekten. Selten auftretende Merkmale, die lediglich Einfluss auf Querschnitte mit einer bestimmten Charakteristik aufweisen, blieben aufgrund der Menge anderer Strecken im Kollektiv möglicherweise unentdeckt. Eine eindeutige quantitative Zuordnung dieses Merkmals zu einem separaten Querschnitt ist anhand dieser Modellstruktur nicht möglich.

3.6 Analyse Unfallgeschehen

3.6.1 Klassifizierung und Bewertung

Die Verkehrssicherheit von Netzelementen lässt sich durch Unfallanzahl und Unfallschwere beschreiben. Die Analyse des Unfallgeschehens sowie dessen monetäre Bewertung erlauben die Beschreibung eines Sicherheitsniveaus und die Einordnung der Anlage im Netz. Als wichtigste Klassifizierung der Unfallschwere dient die Einteilung des Unfallgeschehens in sechs Kategorien. Maßgebend ist die schwerste Unfallfolge, die ein Beteiligter erlitten hat (Tabelle 8).

Die Beschreibung der volkswirtschaftlichen Verluste des Unfallgeschehens erfolgt durch die Verwendung von Unfallkostensätzen (WU). Diese beinhalten u. a. den Ressourcenausfall der betroffenen Personen sowie direkte und indirekte Reproduktionskosten. Die Höhe der WU ist abhängig zum einen von der Unfallkategorie, zum anderen von der Straßenkategorie. Die Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen hat im „Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in der Unfallkommissionen M Uko“ (FGSV 2012) die auf den Preis-

Schwerste Unfallfolge	Kategorie
Unfall mit Getöteten (GT)	1
Unfall mit Schwerverletzten (SV)	2
Unfall mit Leichtverletzten (LV)	3
Schwerwiegender Unfall mit Sachschaden (SS)	4 & 6
Sonstiger Unfall mit Sachschaden (LS)	5

Tab. 8: Klassifizierung Unfallgeschehen nach Schwere

Unfallkategorie	Autobahn	Landstraße
U(P)	112.000	100.000
U(SS)	24.100	18.200
U(LS)	4.950	4.080

Tab. 9: Kostensätze KS_U in €/Unfall, Preisstand 2010 (unveröffentlicht)

stand 2009 berechneten pauschalen Unfallkostensätze angegeben. Tabelle 9 enthält die bisher unveröffentlichten Werte mit dem Preisstand von 2010. In diesem Zusammenhang wird die verwendete Abkürzung KS für Kostensatz (anstatt früher WU für Wert des Unfalls) in der Untersuchung übernommen.

Die Berechnung mit angepassten Unfallkostensätzen (KS) berücksichtigt zeitliche Veränderungen als auch Änderungen in der Verunglücktenstruktur. Voraussetzungen für eine Anpassung sind die Kenntnis über die Verunglücktenanzahl je Unfall und eine Kollektivgröße von mindestens 100 U(P) außerorts (FGSV 2003a). Die Berechnung der $KS(a)$ für U(P) erfolgt – angepasst an die Systematik des M Uko (FGSV 2012) – wie Gleichung 10 dargestellt.

$$KS_{a,U(P)} = (n_{GT} * KS_{GT} + n_{SV} * KS_{SV} + n_{LV} * KS_{LV} + n_{U(P)} * KS_{S,U(P)}) / n_{U(P)} \quad \text{Gl. 10}$$

$n_{GT/SV/LV}$	Anzahl Verunglückte nach Schwere
$KS_{GT/SV/LV}$	Kostensatz für Verunglückte nach Schwere
KS_S	Kostensatz für Sachschaden
$n_{U(P)}$	Anzahl Verunglückte nach Schwere

Tabelle 10 enthält die verwendeten Kostensätze für Verunglückte (WV), Tabelle 11 die angepassten $KS_{a,U(P)}$ sowie die Kostensätze für Unfälle mit Sachschaden. Grundlage bildet das Unfallgeschehen auf Außerortsstraßen des Zeitraums 2006 bis 2010. Die Bewertung erfolgt mit dem Preisstand von 2010, bereitgestellt durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Aufgrund der zweibahnig vierstreifigen Charakteristik des Q 21 mit überwiegend (teil-)planfreien Knotenpunkten erfolgte für diese Querschnittsgruppe eine separate Berechnung mit den Kostensätzen für Autobahnen. Da für die Querschnitte der Gruppe Q „dreistreifig“ nur geringe Kollektivgrößen zur Verfügung stehen, wurde auf separate Kostensätze zugunsten der Berechnung eines Kostensatzes gemeinsam mit dem Q 11 verzichtet.

Schwere der Verletzung	Kostensatz [€/Person]
Unfall mit Getöteten	1.044.800
Unfall mit Schwerverletzten	112.366
Unfall mit Leichtverletzten	4.433

Tab. 10: Verwendete Verunglücktenkostensätze

Kostensätze KS freie Strecke			
Querschnitt	Q 9	Q 11/„dreistr.“	Q 21
Angepasste Kostensätze U(P) [€]			
$KS_{a,U(P)}$	120.102	127.289	104.807
Kostensätze für Sachschäden [€]			
$KS_{S,U(P)}$	21.351		46.534
$KS_{S,U(S)}$	5.056		7.129
$KS_{S,U(SS)}$	18.212		24.130
$KS_{S,U(LS)}$	4.080		4.950

Tab. 11: $KS_{a,U(P)}$ und verwendete Kostensätze für Unfälle mit Sachschaden für Streckenabschnitte ohne Knotenpunkte

Die gegenüber FGSV (2012) höheren $KS_{a,U(P)}$ in Tabelle 11 resultieren aus dem Ausschluss der Knotenpunktunfälle in der Anpassung. U(P) auf freien Streckenabschnitten weisen aufgrund der höheren gefahrenen Geschwindigkeiten gegenüber Knotenpunkten eine höhere Unfallschwere auf.

Für Streckenabschnitte ohne Knotenpunkte gilt, dass Unfälle auf Q 11/„dreistr.“ durch eine hohe Verletzungsschwere der Beteiligten gekennzeichnet sind. Der Q 9 besitzt einen geringfügig niedrigeren $KS_{a,U(P)}$. Mutmaßlich liegt gegenüber dem Q 11 für den Q 9 ein verändertes Fahrverhalten vor, das eine geringe Unfallschwere zur Folge hat. Dies resultiert u. a. aus unterschiedlichen Trassierungseigenschaften der Querschnitte.

Im Vergleich der Querschnitte weist der Q 21 mit 104.807 €/U den niedrigsten $KS_{a,U(P)}$ auf. Dies scheint plausibel. Zweibahnig vierstreifige Streckenabschnitte zeichnen sich durch eine bauliche Mittelrennung der Fahrtrichtungen und durch eine höherwertigere verkehrstechnische Ausstattung der Seitenräume aus. Unfälle mit dem Gegenverkehr, die aufgrund der hohen kinetischen Energie bei einem Aufprall eine erhebliche Unfallschwere nach sich ziehen, stellen infolge der baulichen Mittelrennung mit passiven Schutzeinrichtungen auf dem

Unfallkategorie	Angepasster Kostensatz [€]
U(P)	97.847

Tab. 12: $KS_{a,U(P)}$ für Knotenpunkte mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen

Q 21 nur ein seltenes Ereignis dar. Bei dem Vergleich der hier ermittelten $KS_{a,U(P)}$ der Querschnitte mit den KS_U für Autobahnen und Landstraßen nach FGSV (2012) muss zusätzlich der Einfluss der Knotenpunkte auf die Unfallschwere berücksichtigt werden.

Der Untersuchungsumfang für Knotenpunkte ist aufgrund der zur Verfügung stehenden Kollektivgröße auf Knotenpunkte mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen an einbahnigen Strecken beschränkt. Die Größenordnung des $KS_{a,U(P)}$ liegt unter dem Niveau der einbahnigen Querschnitte. Da Knotenpunkte mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen gegenüber Knotenpunkten mit LSA ein niedrigeres Sicherheitsniveau aufweisen, wird der Einfluss der Knotenpunkte auf die KS_U deutlich (HAUTZINGER et al. 2010). Die ermittelten $KS_{a,U(P)}$ für Knotenpunkte mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen enthält Tabelle 12.

3.6.2 Beschreibung Unfallkenngrößen

Zur Beschreibung der Verkehrssicherheit von Netzelementen dient eine Vielzahl von Kenngrößen. Sie ermöglichen u. a. den Vergleich verschiedener Anlagen untereinander.

Die Unfalldichte (UD) beschreibt die Unfalldichte als Anzahl von Unfällen je Zeitraum bezogen auf die Abschnittslänge. Werden Zeitraum und Länge der Abschnitte im Modell als Offset-Variable berücksichtigt, ist die Ermittlung von Unfalldichten möglich.

$$UD = \frac{U}{(L * t)} \quad \text{Gl. 11}$$

UD Unfalldichte [U/(km*a)]

U Unfälle

L Länge Abschnitt [km]

t Bezugszeitraum [a]

Gegenüber der Unfalldichte berücksichtigen Unfallraten (UR) die Fahrleistung als Bezugsgröße. Somit stellt die Unfallrate die fahrleistungsbezogene Risikogröße für ein Unfallereignis dar.

$$UR = \frac{U * 10^6}{(DTV * L * t * 365)} \quad \text{Gl. 12}$$

UR Unfallrate [U/(10⁶ * Kfz * km)]

U Unfälle

L Länge Abschnitt [km]

t Bezugszeitraum [a]

DTV durchschnittlich täglicher Verkehr [Kfz/24h]

Mit Hilfe der Unfallkostenrate (UKR) fließen die volkswirtschaftlichen Kosten eines Unfalls in die Bewertung ein. Sie beziffern die volkswirtschaftlichen Kosten durch Verkehrsunfälle bezogen auf die Verkehrsleistung in einem Netzabschnitt.

$$UKR = \frac{UK * 10^3}{(DTV * L * t * 365)} \quad \text{Gl. 13}$$

UKR Unfallkostenrate [€/(10³ * Kfz * km)]

UK Unfallkosten [€]

L Länge Abschnitt [km]

t Bezugszeitraum [a]

DTV durchschnittlich täglicher Verkehr [Kfz/24h]

Grundunfallkostenraten (gUKR) beschreiben den Sicherheitsgrad, der bei sicherer bzw. richtliniengerechter Gestaltung einer Straßenverkehrsanlage erreicht werden kann (BARK et al. 2008). Bisher Berücksichtigung finden die Unfallkategorie 1 bis 4 und 6 (FGSV 2003b). Dabei basiert die Höhe der Grundunfallkostenraten auf einer Abminderung der Unfallkostensätze für zweistreifige Landstraßen mit plangleichen Knotenpunkten nach den EWS (FGSV 1997). Als Grundunfallkostenrate wurde von einem Expertengremium das 30%-Quantil der beobachteten Unfallkostenrate definiert. Dahinter verbirgt sich der Gedanke, dass einem Anteil des Straßennetzes eine regelkonforme Gestaltung unterstellt wird.

Es wird deutlich, dass eine empirisch belastbare Ermittlung der Größenordnung von gUKR für Landstraßen noch nicht erfolgt ist. Bisher existieren keine klaren Festlegungen, wann die Ausstattung einer Strecke als regelkonform gilt, bzw. unter welchen Bedingungen von einer sicheren Gestaltung gesprochen werden kann. Für eine Vielzahl von Merkmalen liegen nur Vermutungen und Schätzungen über deren Wirkung auf die Verkehrssicherheit vor.

Auch mit den verwendeten Modellen ist nur eine annähernde Beschreibung der gUR bzw. gUKR möglich. Es ist davon auszugehen, dass es nicht

gelingt, alle Einflussgrößen zu identifizieren. Dies kann folgende Ursachen haben:

- Die mutmaßlichen Einflussgrößen (Defizite) treten selten im Bestand auf. Eine signifikante Beschreibung der Wirkung ist nicht möglich.
- Es existieren weitere bisher unbekannte Einflussgrößen, die eine Wirkung auf das Unfallgeschehen besitzen.
- Die Wirkung einer mutmaßlichen Einflussgröße korreliert mit weiteren unbekanntem Randbedingungen.
- Die Darstellung einer Einflussgröße ist mit den verwendeten Modellen nur eingeschränkt möglich.

Aus diesem Zusammenhang werden im weiteren Verlauf der Untersuchungen Ergebnisse und Funktionen, die im weiteren Sinne der gUKR entsprechen, als Grundunfallkostenraten -ähnliche ($gUKR_{\bar{A}}$) beschrieben (Bild 11). Aufgrund der Standardabweichungen der im Modell beinhalteten Merkmale sowie der Parameterschätzung der Funktion ist die exakte Festlegung bzw. Erklärung einer Sicherheitskenngröße nur eingeschränkt möglich. Die Ergebnisse eines Modells stellen eine Schätzung der zu ermittelnden Kenngröße abhängig von der Genauigkeit der Modellparameter dar.

Nach dem Entwurf des HVS (BARK et al. 2008) setzt sich die UKR eines Netzelements aus einem vermeidbaren Anteil, entspricht den Zuschlägen (zUKR), und einem nicht vermeidbaren Anteil, der Grundunfallkostenrate (gUKR), zusammen. Die aus dem Modell ermittelte Unfallhäufigkeit lässt sich je nach Berücksichtigung der Merkmale im Prädiktor in verschiedenen Größenordnungen beschreiben:

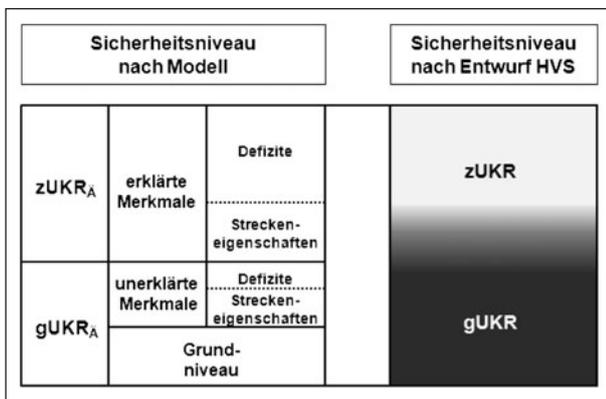


Bild 11: Zusammenhang zwischen Sicherheitsniveau und erklärenden Zuschlägen des Modells und Entwurf HVS

- Bleiben in einem Endmodell alle Einflussgrößen des exponentiellen Terms unberücksichtigt bzw. geht dieser Term mit der Größenordnung „1“ ein, entspricht die ermittelte volkswirtschaftlich bewertete Unfallhäufigkeit der $gUKR_{\bar{A}}$. Aus oben genannten Gründen ist davon auszugehen, dass die $gUKR_{\bar{A}}$ nicht dem Niveau entspricht, welches sich einstellt, wenn alle mutmaßlichen Einflussgrößen (Defizite und streckencharakteristische Eigenschaften) unberücksichtigt bleiben. Daher setzt sich die $gUKR_{\bar{A}}$ aus dem Grundniveau und einem Anteil ungeklärter Einflussgrößen zusammen.
- Einflussgrößen wie Hügeligkeit oder Bäume hinter der Entwässerungsmulde entsprechen eher einer Eigenschaft des Umfelds der Strecke (Streckeneigenschaften) und weniger einem Defizit im Sinne des HVS (BARK et al. 2008). Sie sind weder der zUKR noch der gUKR eindeutig zu zuordnen und stellen damit in der volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens eine Sonderrolle dar.
- Der Hauptanteil der Einflussgrößen eines Modells entspricht Defiziten in Betrieb und Bau eines Netzelements. Deren Auftreten führt zu einer Erhöhung der Unfallhäufigkeit und somit der UKR. Diese Einflussgrößen entsprechen der zUKR.
- Auf die Unfallhäufigkeit einflussnehmende Streckeneigenschaften und Defizite, die im Modell berücksichtigt sind, bilden in ihrer Summe die erklärenden Merkmale eines Modells.
- Gelingt in allen Teilmodellen eine vollständige Erklärung der zufälligen Streuung, liegen i. d. R. keine weiteren ungeklärten Merkmale vor. In diesem Fall entspricht das Grundniveau der $gUKR_{\bar{A}}$.

3.7 Aufbereitung Merkmale

Alle betrachteten freien Streckenabschnitte liegen in einer Datenbank zusammengefasst vor. Jedem Streckenabschnitt ist eine Vielzahl Attribute (bspw. Kurvigkeit, Anschlussknotenpunktdichte, Unfallanzahl u. w.) zugeordnet.

Speziell punktuelle Merkmale liegen lediglich als Anzahl je Streckenabschnitt vor. Um eine Vergleichbarkeit dieser Merkmale zu erzielen, erfolgt die Berücksichtigung dieser Merkmale als Dichte,

ermittelt aus dem Quotienten von Anzahl und Länge. Eine alleinige Betrachtung der Dichte birgt die Gefahr, dass für Streckenabschnitte mit einer Länge < 1 km unverhältnismäßig hohe Dichten ermittelt werden. Dies kann zu Fehlern in der Parameterschätzung im Modell führen.

Um eine einheitliche Bewertung zu gewährleisten, erfolgt eine Normierung der Dichten für Strecken mit einer Länge < 500 m. Die Dichte ergibt sich in diesen Fällen aus dem Quotienten der Anzahl eines Merkmals zur Länge von 500 m. Bild 12 verdeutlicht die Veränderung am Beispiel der Anschlussknotenpunktdichte (AKD). Ohne Normierung ergeben sich für kurze Strecken hohe Dichtewerte. Durch die Festlegung einer Mindeststreckenlänge von 500 m ist eine Verringerung der Größenordnung festzustellen. Auch für kurze Streckenabschnitte liegen die Dichtewerte nun auf dem Niveau von Abschnitten mit einer Länge > 1 km. Diese Vorgehensweise umfasst alle Merkmale, die über eine Dichte (Anzahl je Kilometer) erfasst sind:

- Merkmale aufgrund von Fehlern in den Trassierungselementen (Lage-/Höhenplan),
- Merkmale aufgrund der Streckencharakteristik (Anschlussknotenpunkte, Gefahrenstellen).

Die Berücksichtigung eines Zuschlags zu einem RQ nach HVS (BARK et al. 2008) beruht für den überwiegenden Teil der Zuschläge auf einer kategorialen Prüfung des jeweiligen Kriteriums. Die bisher angeführten Grenzen beruhen z. T. auf Überlegungen und Abschätzungen. Um einen mutmaßlichen Grenzwert zu ermitteln, können stetige Merkmale mittels Klassifizierung in kategoriale Merkmale überführt werden. In Anlehnung an den Entwurf des HVS erfolgt für stetige Variablen eine Prüfung der Anwendung im Modell als kategoriale Variable. Dabei variiert die Größenordnung der Grenze im Modell. Die Festlegung einer Grenze erfolgt durch den höchsten Erklärungsanteil der Varianz im Modell und sachlogische Überlegungen.

Weiterhin besteht bei entsprechender Begründung die Möglichkeit der Gruppierung verschiedener Variablen. Dies empfiehlt sich, wenn das Merkmal als Anzahl vorliegt – bspw. die Zusammenführung verschiedener Arten punktueller Gefahrenstellen in einer Gruppe.

Der Anteil der entwässerungsschwachen Zone (bzw. Neigung im kritischen Bereich) je Abschnitt wird aus der Überlagerung von Längs- und Quer-

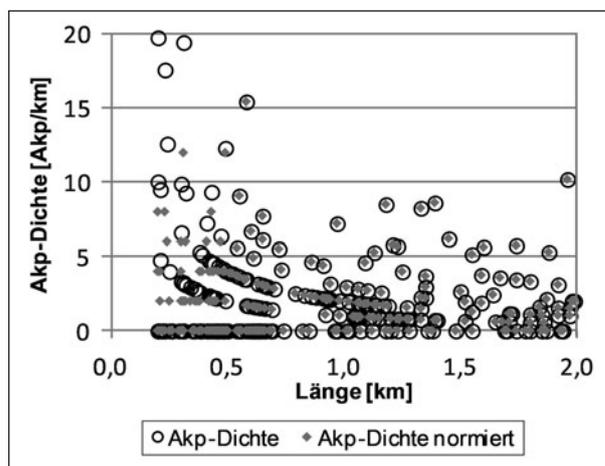


Bild 12: Beispiel der Normierung von Dichten anhand der Anschlussknotenpunktdichte für Q 9

neigung bestimmt. Anhand eines 50-m-Rasters werden beide Neigungsarten gemittelt. Entwässerungsschwache Zonen liegen vor, wenn in einem Raster der Wert der Längsneigung von 2 %, der der Querneigung von 2,5 % unterschritten wird. Der laut dem Entwurf der RAL (FGSV 2008a) in Verdunstungsstrecken geforderte Schrägneigungswert von $s = 1,5$ % wird mit einem Sicherheitszuschlag belegt.

Vom Regelwerk abweichende zu große Längsneigungen können ein Defizit im Höhenplan darstellen. Für das Unfallmodell werden anteilig die Abschnitte bestimmt, die eine zu hohe Längsneigung aufweisen. Nach dem Entwurf der RAL (FGSV 2008a) sind Längsneigungen in Abhängigkeit des RQ zwischen $s \leq 4,5$ und $s \leq 8,0$ % anzustreben. Als Grenzwert wird in Anlehnung an Tabelle 5.3-1 (FGSV 2008a) und der RAS-L (FGSV 1995a) die jeweilig zulässige Höchstlängsneigung für jeden Querschnitt festgelegt.

Bezüglich der Linienführung im Höhenplan wurde allein der Sichtschatten erfasst bzw. errechnet. Die Berechnung erfolgte mit dem Referenztool der TU Dresden nach den aktuellen Definitionen der RAL (FGSV 2008a) und HVist (FGSV 2008b). Dabei wurden Sichtschatten in der Regel in einem Stationsintervall von 20 m berechnet und dargestellt. Kritische Sichtschattenbereiche sind im Sichtschattenband daran zu erkennen, dass über mindestens 4 Stationen (entspricht einem Abschnitt von mindestens 80 m) eine Sichtschattentiefe st von mehr als 0,75 m angezeigt wird. Somit konnte der mögliche Einfluss unzureichend bemessener Kuppenhalbmesser auf die Verkehrssicherheit geprüft werden.

Liegt ein Defizit in der Relationstrassierung vor, wurde in einem weiteren Schritt das Vorhandensein flankierender verkehrstechnischer Maßnahmen (Z 103/105 bzw. Z 625 StVO) richtungsgetreunt geprüft. Die Anordnung von Maßnahmen wurde anteilig zur Streckenlänge des Defizites bewertet. Eine vollständig beidseitig angeordnete Maßnahme geht mit dem Faktor „1“, das komplette Fehlen mit dem Faktor „0“ ein.

3.8 Unfallkollektiv

Das Unfallgeschehen bildet die Zielgröße für die Anwendung der Verallgemeinerten Linearen Modelle. Dabei sollen die gewählten Strecken hinsichtlich des Unfallgeschehens in ihrer Summe der Zusammensetzung nach Unfallschwere, Unfalltyp und weiteren Kriterien annähernd einem repräsentativen Bild des Unfallgeschehens auf außerörtlichen Straßen in Deutschland entsprechen. Dies setzt die Ableitung von allgemeingültigen gUKR und deren Zuschlägen voraus.

Insgesamt fließen 48.416 Unfälle in die Untersuchungen ein. Davon sind 8.140 den Knotenpunkten zuzuordnen.

Bild 13 stellt die Verteilung der Unfallkategorien in Bezug auf die Unfälle der Kategorie 1 bis 4 getrennt nach Bundesländern und Deutschland (außerorts ohne BAB) dar. Darin enthalten sind auch Unfälle des Q 21. Bezugszeitraum sind die Jahre 2005 bis 2009. Der höchste Anteil von Unfällen der Kategorien (U.-Kat.) 1 und 2 ist in Brandenburg mit 4,1 % bzw. 26,8 % zu verzeichnen. Einen geringen Anteil von Unfällen mit schwerem Personenschaden

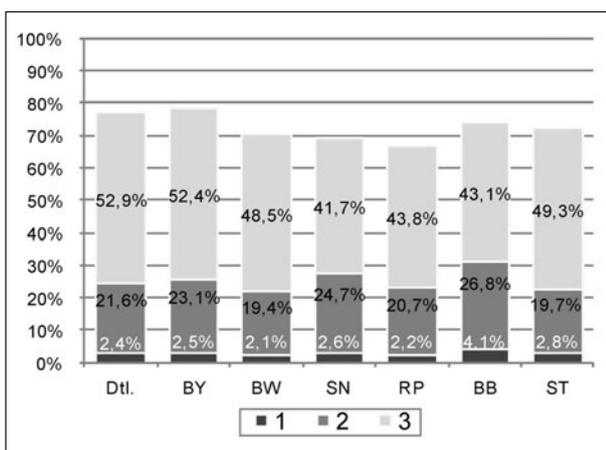


Bild 13: Mittlere Verteilung Unfallkategorie 1-3 an U.-Kat 1-4, Gesamtzeitraum 2005-2009 im Vergleich mit gesamtdeutschen Werten im gleichen Zeitraum

U(SP) weist Baden-Württemberg auf. Das geringe Niveau ist auf die Auswahl von fast ausschließlich Bundesstraßen zurückzuführen. Die ausgewählten Strecken besitzen überwiegend einen hohen Ausbaustandard.

Für ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ erfolgt der Vergleich der Anteilsätze der Unfallkategorien zwischen dem Kollektiv aller Strecken und der Grundgesamtheit mit dem *t*-Student Test für die U.-Kat. 1 bis 4. Mit einer Höhe von 2,6 % und 22,0 % unterscheiden sich die Anteile der U.-Kat. 1 bzw. 2 nicht signifikant von den Werten für Deutschland. Der Unterschied in den U.-Kat 3 und 4 ist mutmaßlich auf die Zusammensetzung des Kollektivs zurückzuführen. Bei der Streckenauswahl konnten nur Abschnitte berücksichtigt werden, für die der DTV vorliegt. Da dies für Straßen mit niedrigen Verbindungsfunktionsstufen nur selten der Fall ist, ist das Kollektiv mit diesen Strecken nur gering besetzt. Dieser Einfluss wird bei der Anwendung von GLM berücksichtigt.

Die prozentuale Verteilung der Unfalltypen des gesamten Kollektivs entspricht mit Ausnahme des Unfalltyps 6 den Werten für Deutschland und weist keine signifikanten Unterschiede auf. Dabei entfallen 38,5 % auf den Fahrnfall als größte Gruppe, gefolgt vom Typ 6 mit 25,8 %. 27,1 % sind den zusammengefassten Unfalltypen 2 und 3 zuzuordnen, welche das Unfallgeschehen an Knotenpunkten repräsentieren. Die Gruppe „Andere“ beinhaltet die Unfalltypen 4, 5 und 7.

Bild 14 zeigt die Unfalltypenverteilung in den einzelnen Bundesländern. In allen Bundesländern tritt der Unfalltyp 1 am häufigsten auf. Dies gilt beson-

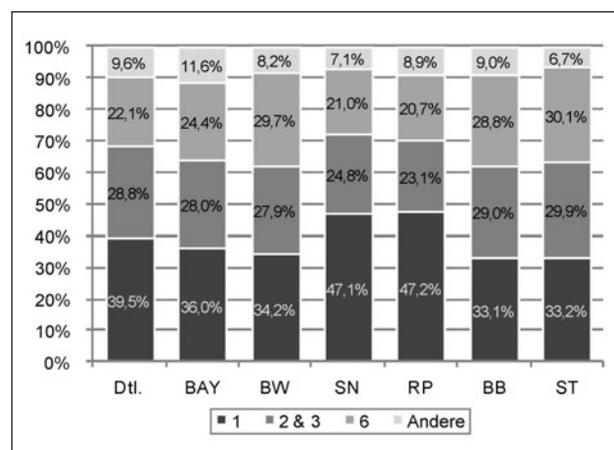


Bild 14: Mittlere Verteilung Unfalltypen an U.-Kat 1-4, Gesamtzeitraum 2005-2009 im Vergleich mit gesamtdeutschen Werten im gleichen Zeitraum

ders für die Länder Sachsen und Rheinland-Pfalz. Ursache hierfür ist die Streckenauswahl. Das Kollektiv beider Länder setzt sich aus einem großen Anteil kurviger Strecken mit niedrigem Entwurfsstandard zusammen. Zweithäufigster Unfalltyp ist der Unfall im Längsverkehr. Dessen Anteil liegt in Ländern mit einer niedrigen Siedlungsdichte auf einem höheren Niveau. In Baden-Württemberg gründet sich der Wert von 29,7 % auf der Auswahl von Strecken mit überwiegend hoher Verbindungsfunktion.

Einen mit 78,1 % hohen Anteil an U(P) weist der Unfalltyp 6 auf, obwohl das Niveau unter dem Wert für das Kollektiv von Deutschland (87,9 %) liegt. Die Verteilung der Unfallschwere der anderen Unfalltypen entspricht dem Niveau von Deutschland im gleichen Zeitraum. Die Unfalltypen 4 und 5 können wegen der geringen Zahl nicht interpretiert werden.

Neben der Betrachtung von Unfallkategorie und Unfalltyp bestimmt die Struktur der Verunglückten maßgebend die volkswirtschaftliche Bewertung von Unfällen. Das „Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1“ (FGSV 2003a) ent-

hält u. a. für einbahnige Landstraßen außerorts die Verunglücktenstruktur für U(SP).

Gegenüber den Werten aus FGSV (2003a) fällt das Risiko, bei einem U(SP) getötet oder schwerverletzt zu werden, für Deutschland geringer, für das gesamte Kollektiv ähnlich aus. Die sich seit Jahren verringernde Verletzungsschwere je Unfall (HEINRICH & PÖPPEL-DECKER 2010) spiegelt sich aufgrund des Betrachtungszeitraums in den gesamtdeutschen Zahlen wider. Die höheren Werte des Kollektivs sind auf die Streckenauswahl zurückzuführen, die u. a. einen Bestandteil von Strecken mit niedrigem Sicherheitsniveau beinhaltet.

In Bild 15 ist die Unfalltypenverteilung für die Strecken und Knotenpunkte (Radius 50 m) gegenübergestellt. Während auf Streckenabschnitten die Typen 1 und 6 überwiegen, tritt an Knotenpunkten am häufigsten der Typ 3 (Einbiegen/Kreuzen-Unfall) in Erscheinung. Der mittlere Anteil der Unfalltypen 2 und 3 auf Streckenabschnitten (18,8 %) resultiert aus nicht klassifizierten Knotenpunkten sowie kleineren Wegeeinmündungen und Grundstückzufahrten. Aus der getrennten Betrachtung der Netzelemente wird bereits ein Einfluss der Streckencharakteristik auf das Unfallgeschehen deutlich. Gegenüber den anderen Bundesländern bleibt der Unfalltyp 1 auf Streckenabschnitten für die Bundesländer Sachsen und Rheinland-Pfalz dominierend.

Die Unfallart beschreibt neben der Bewegungsrichtung der Fahrzeuge die Art der ersten Kollision oder mechanischen Ausprägung in zehn Ausprägungen. Die häufigste Unfallart auf Streckenabschnitten ist das Abkommen nach links (17,2 %) bzw. rechts

Verunglückte je 100 U(SP)	FGSV (2003a)	Dtl. (DESTATIS)	Kollektiv einbahnig
Getötete	12	11,1	12,4
Schwerverletzte	118	112,4	116,9
Leichtverletzte	44	-	48,2

Tab. 13: Vergleich Verunglücktenstruktur für Unfälle mit schwerem Personenschaden, Untersuchungszeitraum 2005-2009 mit Werten aus FGSV (2003a)

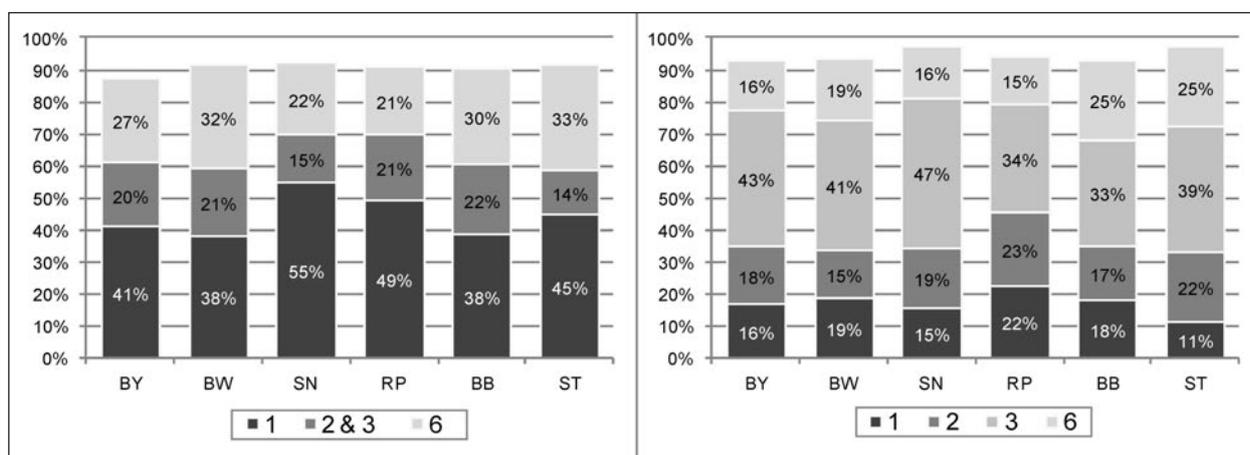


Bild 15: Mittlere Verteilung Unfalltypen an U.-Kat 1-4 für Strecke (links) und Knotenpunkte (rechts), Gesamtzeitraum 2005-2009 Untersuchungskollektiv

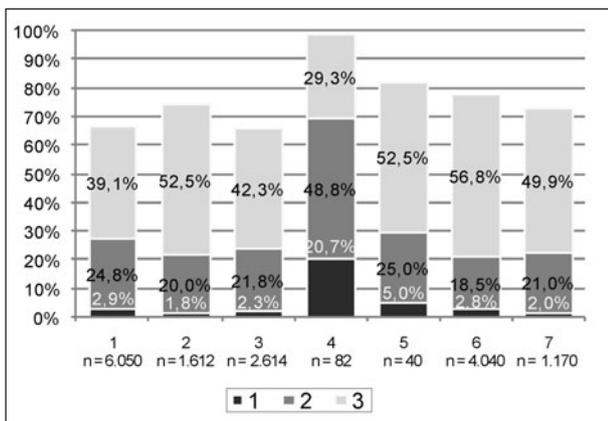


Bild 16: Anteile U.-Kat 1 bis 3 an Unfalltypen, Untersuchungszeitraum 2005-2009, U.-Kat 1-4

(25,1 %) von der Fahrbahn. 15,9 % der Fahrzeuge kollidierten mit entgegenkommenden Verkehrsteilnehmern. Das Auffahren auf haltende oder wartende Fahrzeuge ist in 12,4 % der Fälle die entsprechende Unfallart. Die schwersten Unfallfolgen weist der Unfalltyp 4 gefolgt von Typ 5 und 1 auf (Bild 16).

4 Ergebnisse freie Strecken

4.1 Streckenkollektiv

Für die Untersuchung wurden 1.408 Netzknotenabschnitte mit einer Gesamtlänge von 4.076 km befahren. Diese unterteilen sich in 1.711 Streckenabschnitte, die abzüglich der Ortsdurchfahrten und der baulich veränderten Knotenpunktbereiche eine Gesamtlänge von 3.122 km aufweisen. Die Kollektivzusammensetzung abzüglich nachträglich nicht berücksichtigter Abschnitte zeigt Tabelle 14.

Bild 18 zeigt die Streckenlängen dargestellt in einem Box-Whisker-Diagramm. Die Box-Grenzen entsprechen dem 25- und 75%-Quantil. In der Box-Mitte ist der Medianwert abgetragen. Sehr kurze Abschnittslängen basieren auf Strecken mit einer dichten Knotenpunktabfolge abzüglich der Einflussbereiche. 25 % aller Strecken des Untersuchungskollektives weisen eine Länge kleiner 650 m auf. Mit einem Median von 1,07 km sind in den Bundesländern Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg relativ kurze Abschnitte vorzufinden, während der Median in Brandenburg mit 1,92 km wesentlich höher ausfällt. Dort befindet sich mit 11,1 km auch der längste Streckenabschnitt.

Die Bildung von Abschnittsgrenzen aufgrund einer Änderung des DTV tritt im Untersuchungsnetz an fünf Stellen auf. Da im Streckenverlauf kein Grund

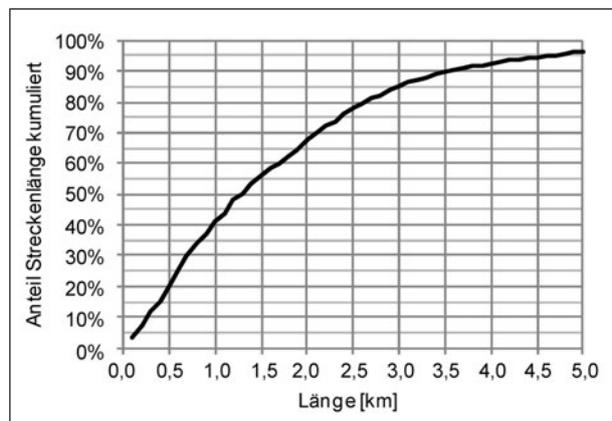


Bild 17: Kumulierte Längen aller Strecken im Kollektiv

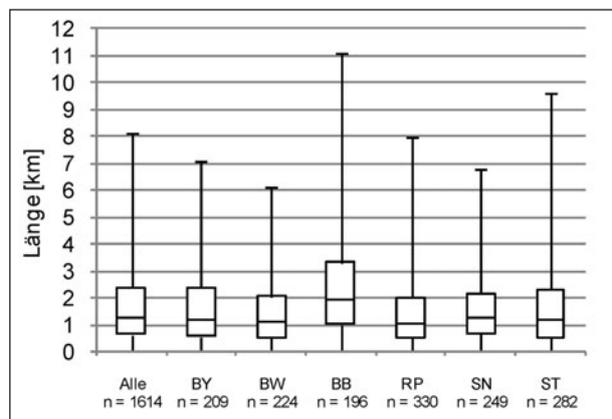


Bild 18: Längen der Streckenabschnitte nach verschiedenen Bundesländern

	BY	BW	BB	RP	SN	ST
Anzahl Abschnitte	209	224	196	330	249	282
Länge ohne Knotenpunkte und OD [km]	401,4	406,3	598,6	621,8	524,0	570,4
Länge ohne Einflussbereiche [km]	331,8	320,3	476,0	478,0	405,0	454,8

Tab. 14: Zusammensetzung Streckenkollektiv nach Bundesländern (alle Abschnitte)

für eine Veränderung festzustellen war, beruht die Änderung mutmaßlich auf Differenzen, die aufgrund des Wechsels administrativer Bereiche entstehen. In diesen Fällen wird der DTV-Wert abschnittsbezogen verwendet.

Die größte Länge freier Streckenabschnitte weist der Q 11 auf. Die Kollektive des Q „dreistreifig“ und des Q 21 fallen aufgrund der geringen Anzahl von Strecken im Netz gering aus.

Tabelle 15 enthält die Gesamtlängen der Querschnittsgruppen, die DTV-Belastungen sowie die

	Q 9	Q 11	Q „drei.“	Q 21
Gesamtlänge [km]	653	1.532	94	86
DTV Min. [Kfz/24h]	500	500	3.560	9.300
DTV Max. [Kfz/24h]	7.000	23.000	22.080	36.650
Singularität [Anzahl/km]	0,58	0,53	0,44	0,17
Kurvigkeit [gon/km]	73,5	39,2	39,3	16,9
Hügeligkeit [%]	2,38	1,47	2,76	1,28

Tab. 15: Merkmale der Querschnittsgruppen

DTV-Klassen [1.000*Kfz/24h]	Q 9	Q 11	Q „drei.“	Q 21
0 - 2	138	54		
2 - 4	71	155	4	
4 - 6	33	230	2	
6 - 8	5	121	7	
8 - 10		55	1	2
10 - 12		53	5	
12 - 14		40	2	3
14 - 16		30	13	9
16 - 18		8	11	4
18 - 20		7	6	5
20 - 22		2	3	5
22 - 24		3	1	4
24 - 26				6
26 - 28				2
28 - 30				6
> 30				10
Σ	247	758	55	56

Tab. 16: Einordnung Abschnitte nach DTV und Querschnitt

Mittelwerte der Kennwerte, die Aussagen zur räumlichen Linienführung ermöglichen. Die Länge des Q 21 ist auf Abschnitte bezogen.

Je höherrangig die EKL bzw. je breiter der als Stellvertreter für die EKL herangezogene Querschnitt, desto seltener treten Singularitäten auf den Streckenabschnitten auf. Am häufigsten sind Unterschreitungen des Mindestradius für Q 9 festzustellen. Mit Zunahme der EKL ist weiterhin eine Abnahme der Kurvigkeit zu verzeichnen. Da bei der Auswahl der Strecken für alle Kollektive auf eine heterogene Ausbildung des Merkmals der Topografie geachtet wurde, spiegelt die Darstellung die An-

wendung unterschiedlicher Grenzwerte in der Trassierung wider. Der in der Größenordnung dem Q 11 ähnliche Wert für Q „dreistreifig“ resultiert aus dem Anteil von Steigungsstrecken des Typs Q 11,5+ im Teilkollektiv. Diese Strecken sind neben einer hohen Hügeligkeit durch eine hohe Kurvigkeit gekennzeichnet. Dies verdeutlicht auch der Vergleich der Hügeligkeit für alle Kollektive.

Die Klassifizierung der in den Modellen berücksichtigten Untersuchungsabschnitte spiegelt die verschiedenen Einsatzbedingungen der Querschnitte wider (Tabelle 16). 10 Abschnitte des Q 21 weisen einen DTV > 30.000 Kfz/24h auf. Die verschiedenen Häufigkeiten im Kollektiv Q „dreistreifig“ sind mutmaßlich auf die Einteilung der Strecken in die Querschnitte Q 11,5+ und Q 15,5 zurückzuführen.

4.2 Übersicht relevante Merkmale

Zum Verständnis und besseren Interpretation der Modelle sind alle signifikanten Merkmale der Streckenmodelle aufgeführt (s. Tabelle 17). Darin enthalten sind nur Merkmale, deren Bewertung im Modell über eine Exponentialfunktion erfolgt. Neben der kategorialen Bewertung des DTV als Zuschlag bei Überschreitung eines Wertes findet die Verkehrsstärke in allen Modellen als stetige Expositionsgröße (Potenzfunktion) Berücksichtigung.

Die Signifikanz resultiert mindestens aus einem der drei Teilmodelle nach Unfallschwere eines Querschnitts. Prinzipiell sind sachlogische Kenngrößen im Modell berücksichtigt, die ein Signifikanzniveau von $\alpha < 0,05$ aufweisen. Diese Grenze ist jedoch nicht absolut festgesetzt, sodass auch Kenngrößen, die ein geringes Signifikanzniveau aufweisen, jedoch zu einer sachlogischen Klärung der Modelle beitragen, Berücksichtigung finden können.

Einige der identifizierten Merkmale unterscheiden sich in ihrer Bedeutung hinsichtlich der im HVS (BARK et al. 2008) vorgesehenen Zuschlagstabellen. Merkmale wie Kurvigkeit, Hügeligkeit u. w. beschreiben die Topografie oder das Umfeld einer Strecke, stellen aber im Rahmen der regelwerkskonformen Gestaltung einer Strecke mit den Elementen des Höhen- und Lageplans kein direktes Defizit dar. Erst bei Überschreitung eines Grenzwertes – der auf Grundlage der Mindestgrößen der Einzelelemente berechenbar ist – stellt das Merkmal ein Defizit im Sinne des HVS dar. Aufgrund der Berücksichtigung einiger dieser Größen als stetige

Variable, erklären die Unfallmodelle auch für ein geringes Niveau eine erhöhte Unfallhäufigkeit.

In Tabelle 17 als Defizit beschriebene Merkmale stellen unmittelbar eine Zuschlagsposition im Sinne des HVS dar (BARK et al. 2008).

DTV und die Gestaltung des Querschnitts beschreibende Merkmale stellen aus stetigen in kategoriale überführte Größen dar.

Das Merkmal Fehler in der Relationstrassierung (FRT) setzt sich aus der Summe der Merkmale Fehler in der Elementabfolge Kreisbogen – Kreisbogen und der Abfolge Kreisbogen – Gerade zusammen.

Die Anzahl aus Summe punktueller Gefahrenstellen (PGS) und Anschlussknotenpunkte (Akp) – Letztere besitzen die doppelten Wertigkeit – divi-

Merkmal	Einheit	Beschreibung	Messniveau	Art der Berücksichtigung
DTV	[Kfz/24h]	Durchschnittlich täglicher Verkehr	Kategorial	Defizit
FBB	[m]	Fahrbahnbreite (Breite Fahrstreifen und Randstreifen)	Kategorial	Defizit
FSB	[m]	Fahrstreifenbreite	Kategorial	Defizit
RSB	[m]	Randstreifenbreite	Kategorial	Defizit
KU	[gon/km]	Kurvigkeit; mittlere Kurvigkeit des Abschnittes	Stetig	Eigenschaft Topografie
HK	[%]	Hügeligkeit; Betrag der mittleren Steigung nach Länge gewichtet	Stetig	Eigenschaft Topografie
KHM	[Häufigkeit/km]	Kuppenhalbmesser; Dichte der Unterschreitung des Kuppenhalbmessers in Bezug auf die Haltesichtweite (Ermittlung in Anlehnung an die RAL)	Stetig	Defizit
BB	[Anteil/Abschnitt]	Baumreihe auf Bankett; Anteil am Gesamtabschnitt, der das Merkmal Baumreihe auf dem Bankett ohne passive Schutzeinrichtung aufweist	Kombination	Defizit
WS	[Anteil/Abschnitt]	Wald im Seitenraum; Anteil am Gesamtabschnitt, der das Merkmal Wald ohne passive Schutzeinrichtung aufweist	Stetig	Eigenschaft Umfeld
Teilbereich 2-streifig (TB _{2FS})	-	Teilbereich 2-streifig; Zuschlag zu Q 11,5+, wenn dieser nur zwei Fahrstreifen aufweist	Kategorial	Eigenschaft Entwurf
FRT	[Häufigkeit/km]	Fehler in Relationstrassierung; Dichte der Fehler in der Abstimmung von Lageplanelementen, Verhältnis Kreisbogen – Kreisbogen, Kreisbogen – Gerade	Stetig	Defizit
PgsAkp	[(PGS + 2 * Akp)/km]	Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknoten; Dichte beider Merkmale wobei Anschlussknoten mit der Wertigkeit von 2 eingehen	Kombination	Defizit
PGS	[PGS/km]	Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen; Dichte dieses Merkmals	Stetig	Defizit
Akp	[Akp/km]	Defizite durch Anschlussknotenpunkte; Dichte dieses Merkmals	Stetig	Defizit
MinRad	[Häufigkeit/km]	Unterschreitung Mindestradius; Kenngröße entspricht dem Auftreten von Singularitäten (definierter Mindestradius)	Stetig	Defizit
Kreisstrukturtyp	-	Kreisstrukturtypen; Bewertung über die mittlere Einwohnerdichte, Unterscheidung in 5 Typen: B: sehr verdichtet C: verdichtet D: aufgelockert E: ländlich F: sehr ländlich	Kategorial	Eigenschaft Umfeld

Tab. 17: Übersicht und Beschreibung aller als signifikant ermittelten Merkmale der Streckenmodelle

diert durch die Länge des Abschnitts ist Grundlage des Merkmals punktuelle Gefahrenstellen und Anschlussknotenpunkte (PgsAkp). In den PgsAkp und PGS sind Gefahrenstellen unabhängig dem Fehlen oder Vorhandensein von passiven Schutzeinrichtungen (PSE) zusammengefasst. Das Messniveau der PgsAkp setzt sich aus einem stetigen Einfluss des Merkmals im Bereich geringer Anzahlen und einem konstanten Einfluss im Bereich hoher Anzahlen zusammen. Der Übergang variiert in Abhängigkeit des Querschnitts und ist in den Beschreibungen der Modelle näher erläutert.

Das Defizit Baumreihe auf Bankett ohne PSE (BB) besteht ebenfalls aus einer Kombination des Messniveaus. Bis zu einem Anteil von 0,4 wird das Auftreten stetig erfasst. Über diesen Anteil hinaus ist kein weiterer signifikanter Anstieg der Unfallhäufigkeit auf Basis der Unfallmodelle festzustellen.

Die Trennung der Entwurfsmerkmale „zweistreifig“ und „dreistreifig“ für einbahnige Strecken im Kollektiv Q „dreistreifig“ erfolgt mit Hilfe des Merkmals „Teilbereich 2-streifig“. Das Kriterium stellt in diesem Zusammenhang kein Defizit dar.

Passive Fahrzeug-Rückhaltesysteme (Schutzeinrichtung) sind Bestandteil linienhaft erfasster Merkmale des Seitenraums. Unabhängig von der Ausprägung des dahinterliegenden Raumes erfolgt die Erfassung des Merkmals für die Bereiche, in denen eine passive Schutzeinrichtung vorhanden ist. Die Notwendigkeit passiver Schutzeinrichtungen ergibt sich für Bereiche, in denen eine (besondere) Gefährdung von Verkehrsteilnehmern vorliegt. Bei Vorhandensein von passiven Schutzeinrichtungen in diesen Bereichen ist davon auszugehen, dass das Unfallgeschehen gegenüber ähnlichen Bereichen ohne passive Schutzeinrichtungen durch eine veränderte Struktur der Unfallschwere gekennzeichnet ist.

Prinzipiell gilt, dass Bereiche mit hindernisfreiem Seitenraum gegenüber Abschnitten mit passiven Schutzeinrichtungen – unabhängig von Vorhandensein einer dahinterliegenden Gefahrenstelle – eine höhere Verkehrssicherheit aufweisen.

Dabei bleibt die Anzahl der Unfälle bei sonst identischen Randbedingungen nahezu konstant. Jedoch ist bei Abschnitten mit Hindernissen und passiven Schutzeinrichtungen im Seitenraum gegenüber Abschnitten mit Hindernissen ohne passive Schutzeinrichtungen eine Verschiebung der Unfallkategorien von U(SP) hin zu Unfällen mit leichtem Perso-

nenschaden bzw. Unfällen mit Sachschaden zu erwarten.

Vor diesem Hintergrund ist anzunehmen, dass das Merkmal passive Schutzeinrichtung einen positiven Einfluss – dann würde das Merkmal im Prädiktor des Modells einen negativen Koeffizienten aufweisen – auf die Verkehrssicherheit besitzt. Somit stellt das Merkmal einen Abschlag dar. Um den pragmatischen Ansatz der Ermittlung von gUKR und Zuschlägen auf Basis von Abweichungen vom regelkonformen Bau eines Netzelements nach HVS (BARK et al. 2008) zu erhalten, sollen im Modell nur Defizite berücksichtigt werden. In den weiteren Untersuchungen werden daher folgende Annahmen getroffen:

- Die gUKR stellt das erreichbare Sicherheitsniveau bei regelkonformem Ausbau einer Strecke, auch unter Berücksichtigung der Einsatzbedingungen für passive Fahrzeug-Rückhaltesysteme nach den RPS (FGSV 2009), dar.
- Für das untersuchte Streckenkollektiv wird unterstellt, dass vorhandene passive Schutzeinrichtungen den Einsatzbedingungen der RPS entsprechend aufgestellt sind. Dementsprechend handelt es sich um einen regelkonformen Ausbau der Strecke.
- Gefahrenstellen, an denen keine passiven Schutzeinrichtungen aufgestellt sind, werden – sofern sie Hindernisse im fahrbahnnahe Seitenraum darstellen – durch die Aufnahmekriterien als punktuelle oder linienhafte Gefahrenstellen ohne passive Schutzeinrichtung erfasst.

Einige Modelle enthalten im Prädiktor das Merkmal DTV zusätzlich als kategoriale Variable. Der Festlegung der Größenordnung, ab der der DTV als Zuschlag in das Modell einfließt, liegt eine iterative Betrachtung des Grenzwertes zugrunde. Modelle, die den DTV im Prädiktor sowohl als kategoriale Variable als auch als Expositionsgröße berücksichtigen, sind durch eine Korrelation zwischen beiden Merkmalen und damit durch eine gewisse innere Abhängigkeit gekennzeichnet. Bei hoher Korrelation der Variablen untereinander kann nicht eindeutig geklärt werden, welche von beiden zur Erklärung des Modells beiträgt. Aufgrund der schrittweisen Berücksichtigung der Variablen im Modell anhand ihres Erklärungsanteils resultiert der maßgebende Einfluss des DTV auf die Unfallhäufigkeit aus dem stetigen Einfluss der Variable, welche als Potenzfunktion in das Modell eingeht

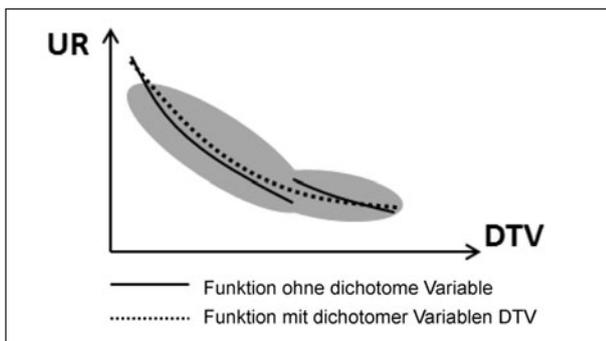


Bild 19: Prinzip Funktionsverlauf bei Berücksichtigung einer dichotomen Variablen

GLM ermöglichen die Darstellung der abhängigen Variablen als konstante Funktion über den Vertrauensbereich einer Prädiktorvariable bei sonst fixen Randbedingungen. Die Unfallhäufigkeit wird maßgebend durch den DTV mitbestimmt. Die sprunghafte Zunahme der Unfallhäufigkeit bei Überschreiten eines DTV-Wertes ist ein Konstrukt des Modells und resultiert aus der kategorialen Variablen DTV. Die Unfallhäufigkeit im Modell wird über eine Exponentialfunktion beschrieben. Die Berücksichtigung dichotomer Variablen führt zu einem Sprung der Funktion, der Anstieg bleibt jedoch unverändert (Bild 19). Damit weist diese Art der Variablen harte Restriktionen in der Beschreibung auf. Die Höhe der Veränderung spiegelt indirekt eine Veränderung der vorliegenden Daten wider und erfolgt über die Maximum-Likelihood Schätzung der Modellparameter. Um eine spätere Festlegung, ob der DTV als kategoriales Defizit einfließt oder nicht, zu ermöglichen, werden im Folgenden beide Modellvarianten vorgestellt.

Insgesamt erfolgte die Überprüfung von 80 Merkmalen und deren Kombinationen in den verschiedenen Teilmodellen.

4.3 Querschnitt 11

4.3.1 Parameter Teilmodelle

Mit über 1.500 km Länge weist der Q 11 das größte Kollektiv in den Untersuchungen auf. Dies ermöglicht eine sehr detaillierte Analyse der Merkmale des Querschnitts. Die Erstellung der Teilmodelle nach Schwere erfolgt nach der in Kapitel 3.5.2 beschriebenen Methodik. Nachfolgend sind die als signifikant ermittelten Parameter näher erläutert. Eine ausführliche Darstellung der Residuenanalyse des Q 11 verdeutlicht die Modellprüfung hinsichtlich auffälliger Streckenabschnitte. Alle Strecken wei-

sen eine Länge von $L \geq 250$ m auf und gehören der Klasse $v_{zul} = 100$ km/h an.

Die Berechnung der Modelle U(P) und U(SS) basieren auf 758, die des Modells (LS) auf 381 Streckenabschnitten. Tabelle 18 enthält die ermittelten Merkmale mit Angabe der Höhe des Koeffizienten und des Signifikanzniveaus nach dem Wald-Test. Es ist zu beachten, dass die Höhe der Koeffizienten allein – mit Ausnahme kategorial ausgeprägter Merkmale – keine Auskunft über die Einflussstärke eines Merkmals auf die Unfallhäufigkeit zulässt. Der tatsächliche Einfluss resultiert aus der Multiplikation von Koeffizient und Höhe der Merkmalsausprägung des Abschnitts. Für den Q 11 ist für U(P) hinsichtlich eines Modells mit und ohne Berücksichtigung des DTV als kategoriales Defizit zu unterscheiden. Die Modelle für U(SS) und U(LS) enthalten keine weitere Unterteilung.

Gleichung 14 enthält beispielhaft die mathematische Beschreibung des Modells U(P) ohne DTV-Kategorie, die zur Ermittlung der Unfallhäufigkeit dient. Für alle Teilmodelle liegt Überzufälligkeit vor. D. h., dass die Varianz der Modelle einen Wert > 1 aufweist und somit ein Teil der systematischen Streuung nicht vollständig mit der Poissonverteilung erklärt werden konnte. Mit Hilfe der negativen Binomialverteilung fließt ein weiterer Verteilungsparameter in die Modellschätzung ein. Damit gelingt eine bessere Anpassung der Verteilung des Modells an die Stichprobe (SCHÜLLER 2010). Alle Teilmodelle beruhen auf einer Schätzung der Parameter mit der negativen Binomialverteilung.

Für alle Teilmodelle weist der DTV – Einflussgröße mit dem höchsten Erklärungsanteil an der Varianz – zur Unfallanzahl einen nicht linearen Zusammenhang auf. Die Unfallanzahl steigt mit Zunahme des DTV degressiv. Besonders deutlich fällt dieser Zusammenhang für das Modell U(LS) aus. Damit weist der DTV im unteren Bereich einen deutlich stärkeren Einfluss auf das Unfallgeschehen auf als im oberen Bereich der betrachteten Spannweite.

FSB, RSB

Je nach baulicher Ausprägung des Querschnitts sind für die Merkmale FSB und RSB die entsprechenden Größen der Koeffizienten anzusetzen. Q 11 mit $FSB < 3,25$ m weisen gegenüber Abschnitten mit einer $FSB \geq 3,5$ m bei sonst konstanten Randbedingungen eine um 23 % höhere Unfallhäufigkeit für U(P) auf. Die Differenz resultiert

Teilmodell	U(P)				U(SS)		U(LS)	
	U(P) mit DTV-Kategorie		U(P) ohne DTV-Kategorie		Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹				
Konstante	-7,526	****	-8,077	****	-8,177	****	-2,997	****
ln (DTV)	,703	****	,769	****	,665	****	,402	****
DTV (Defizit Kategorie) (DTV > 14.000 Kfz/24h)	,290	**						
FSB < 3,25 m	,211	**	,211	**				
3,25 ≤ FSB < 3,50 m	,184	**	,171	*				
RSB < 0,50 m	,137	,184	,153	,15			,251	,108
FRT	,084	**	,091	**	,165	****		
HK	,054	**	,055	**	,075	*		
MinRad	,071	**	,069	**	,096	**		
BB (bis 0,4 stetig, dann Wert 0,4)	,537	**	,539	**			,629	**
WS	,276	**	,260	**			,372	***
PgsAkp (bis 5 stetig, dann Wert 9)	,020	**	,019	**	,030	**		
Kreistyp F					0			
Kreistyp B					,610	****		
Kreistyp C/D/E					,281	**		
AIC	2.745		2.749		1.767		2.283	
Varianz ²	1,326		1,340		1,207		3,437	
Varianz Nullmodell ²	1,944				1,537		6,368	

¹ Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten * < 0,5, ** < 0,01, *** < 0,001, **** < 0,0001
² Varianz der Modelle beruht auf der Berechnung mit Poissonverteilung.

Tab. 18: Ergebnisse der Modellrechnung Q 11

$$U(P) = e^{-8,08} * DTV^{0,77} * L * e^{(FSB+RSB+(0,09*FRT)+(0,06*HK)+(0,07*MinRad)+(0,54*BB)+(0,26*WS)+(0,02*PgsAkp))}$$

Gl. 14

$U(P)$ Anzahl der Unfälle mit Personenschaden je Jahr und Abschnitt

FSB 0,211 wenn $FSB < 3,25$ m

0,171 wenn $3,25 \leq FSB < 3,5$ m

0 wenn $FSB \geq 3,5$ m

RSB 0,153 wenn $RSB < 0,50$ m

0 wenn $RSB \geq 0,50$ m

aus der Gegenüberstellung des Koeffizienten bei der Fälle in der Exponentialfunktion (Gleichung 14). Für $FSB \geq 3,25$ m, aber kleiner als die Regelbreite nach den RAL, erklärt das Modell für $U(P)$ eine höhere Unfallhäufigkeit, die aber gegenüber $FSB < 3,25$ m geringer ausfällt. Ein signifikanter Einfluss von FSB und RSB auf die Unfallhäufigkeit von $U(SS)$ konnte mit dem Teilmodell nicht nachgewiesen werden. Das Signifikanzniveau des Merkmals RSB ist gering, bleibt aber in einem akzeptablen Rahmen. Aufgrund des gelieferten Erklärungsanteils an den Modellen bleibt die RSB Bestandteil der Modelle.

FRT, MinRad, HK

Aus einem Anstieg der Häufigkeit von FRT, Unterschreitungen des Mindestradius (MinRad) sowie einer Zunahme der Hügeligkeit (HK) resultiert ein Anstieg der Unfallhäufigkeit für $U(P)$ und $U(SS)$. Auf das Unfallgeschehen $U(LS)$ besitzen alle drei Merkmale keinen signifikanten Einfluss.

WS, BB

Ein direkter Vergleich der Merkmale WS und BB ist aufgrund der Erfassung der Anteilswerte bis zu einer Größenordnung von 0,4 möglich.

Unabhängig der Unfallkategorie, wird für das Merkmal BB eine deutlich höhere Zunahme der Unfallhäufigkeit gegenüber WS erklärt. Der Sachverhalt, dass für das Merkmal Baumreihe auf Bankett (BB) ab einem Anteilswert von 0,4 keine Zunahme von der Unfallhäufigkeit mehr festzustellen ist, resultiert aus der Modellentwicklung. Der höchste Erklärungsanteil des Merkmals am Modell wird erreicht, wenn für Strecken mit hoher Anteilsausprägung ($BB > 0,4$) eine Größenordnung von 0,4 als Maximum gesetzt wird. Demnach resultiert eine Zunahme der Unfallhäufigkeit $U(P)$ und $U(SS)$ aus einem abschnittswisen Wechsel des Merkmals in der Streckencharakteristik. Es ist zu mutmaßen, dass über einen Anteilswert des Merkmals BB in der Größenordnung von 0,4 dieses Merkmal einen prägenden Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer aufweist. Über diesen Bereich hinaus werden Zunahme des Merkmals und Unfallhäufigkeit – bei sonst konstanten Rahmenbedingungen – voneinander entkoppelt. Weiterhin ist anzunehmen, dass charakteristische Alleestrecken durch weitere verkehrstechnische und gestalterische Merkmale geprägt werden, die im Rahmen der Untersuchung nicht erfasst wurden oder signifikant in das Modell einfließen.

PgsAkp

Auch für PgsAkp erklärt das Modell mit Zunahme des Merkmals eine veränderte Wirkung auf die Unfallhäufigkeit $U(P)$ und $U(SS)$. Bis zu einer Größenordnung von 5 PgsAkp nimmt die Unfallhäufigkeit stetig zu. Über diese Grenze hinaus wirkt sich die Zunahme von PgsAkp in einem anderen Zusammenhang auf die Verkehrssicherheit aus. Für das Kollektiv Q 11 trägt der Wert 9 für alle Strecken mit $PgsAkp > 5$ km signifikant zur Erklärung des Modells (Verringerung Varianz) bei. Dabei entspricht diese Größenordnung dem Mittelwert aller Strecken mit $PgsAkp > 5$ km. Es ist zu vermuten, dass eine sehr hohe Dichte an PgsAkp im Verlauf eines Abschnitts zu einer Anpassung des Fahrverhaltens der Verkehrsteilnehmer an die gegebene Situation führt.

Kreisstrukturtyp

Der Kreisstrukturtyp besitzt im Modell $U(SS)$ signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen. Hoch verdichtete Kreise (Typ B) weisen eine höhere Unfallhäufigkeit gegenüber Kreisen mit einer geringeren Bevölkerungsdichte auf. Sehr ländlich geprägte Kreise (Typ F) weisen bei sonst konstanten Rahmenbedingungen die niedrigste Unfallhäufigkeit – daher der Faktor „null“ – auf.

DTV

Unter Berücksichtigung des DTV als kategoriales Merkmal ist für $U(P)$ ein signifikanter Unterschied für Strecken mit einer Verkehrsbelastung > 14.000 Kfz/24h festzustellen. Dieser Festlegung liegt eine iterative Betrachtung des Grenzwertes zugrunde. Aus der Höhe des Koeffizienten ergibt sich eine Zunahme der Unfallhäufigkeit um ca. 33 %. Das Teilmodell $U(P)$ mit DTV als kategoriale Variable weist gegenüber seinem Pendant eine geringfügig niedrigere Varianz auf. Der Vergleich des AIC verdeutlicht, dass die Güte beider Modelle nahezu identisch ist. Bei Differenzen des AIC kleiner 10 liegen praktisch keine Unterschiede vor. Dass der DTV gegenüber anderen signifikanten Merkmalen keine Korrelation aufweist, wird aus der nahezu identischen Größenordnung der Koeffizienten anderer Merkmale im Vergleich der beiden Modelle $U(P)$ deutlich. Somit liegt für beide Modelle eine ähnliche Beschreibung der Unfallhäufigkeit auf Grundlage der signifikanten Merkmale vor.

Vereinfachend erklären die Modelle $U(P)$ ca. 65 % der systematischen Varianz. In ähnlicher Größenordnung (ca. 61 %) liegt der Erklärungsanteil des Modells $U(SS)$. Mit ca. 55 % Erklärungsanteil fällt die Größenordnung für $U(LS)$ geringer aus. Dies ist nicht verwunderlich. $U(LS)$ unterliegen mutmaßlich einer viel höheren Anzahl an Einflüssen, welche teilweise in den Modellen nicht berücksichtigt sind. Weiterhin ist zu vermuten, dass die Aufnahme von $U(LS)$ durch die Polizei sehr stark von der Bereitschaft der Unfallbeteiligten, den Unfall zu melden, in Abhängigkeit der weiteren Gegebenheiten (Art des Schadens, Ort, Unfallzeit) variiert. Diese Verzerrungen in der Unfallaufnahme spiegelt die verbliebene hohe systematische Varianz in dem Modell $U(LS)$ wider.

Tabelle 19 enthält statistische Kenngrößen verschiedener signifikanter Merkmale. In Rheinland-Pfalz liegen vereinzelt Streckenabschnitte mit einer Randstreifenbreite von 1,75 m vor. Strecken ohne

Merkmal	Minimum	Maximum	Mittelwert
FSB [m]	2,9	4,16	3,37
RSB [m]	0	1,75	0,29
FRT [Anzahl/km]	0	5,6	0,59
PgsAkp [Anzahl/km]	0	16	2,18
HK [%]	0	9,8	1,47

Tab. 19: Deskriptive Kenngrößen der Merkmale Q 11

vorhandene Randmarkierung besitzen die Randstreifenbreite null. Interpretationen des Unfallgeschehens für Strecken, die Merkmalausprägungen außerhalb dieses Bereiches aufweisen, sind nicht zulässig.

4.3.2 Residuenanalyse

Nach der Berücksichtigung aller als signifikant ermittelter Merkmale ist das Modell auf seine Aussagefähigkeit zu überprüfen. Hinsichtlich Cook-Distanz und Hebelwerts auffällige Streckenabschnitte sind zu prüfen und ggf. aus dem Kollektiv zu entfernen. Die Schritte der Residuenanalyse sind nachfolgend für das Modell U(P) mit DTV als kategoriale Variable näher beschrieben.

Bild 20 enthält das standardisierte Abweichungsresiduum in einem Q-Q-Plot vor dem Ausschluss auffälliger Abschnitte. Aufgrund der Standardisierung sollten die Residuen im Idealfall die Merkmale einer Normalverteilung aufweisen und damit – ausgehend von einem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05-95\%$ der Werte in einem Bereich von $\pm 1,96$ Standardfehler um den Mittelwert von „null“ liegen. 38 von 753 Fällen (5 %) liegen außerhalb des Vertrauensbereiches. Vorliegende Residuen liegen nahezu alle auf der Diagonale und sind somit annähernd normalverteilt. Am oberen und unteren Ende des Betrachtungsbereiches befinden sich Fälle mit erheblichen Abweichungen zwischen beobachtetem und erwartetem Wert. Im Regelfall weisen diese Werte hohe Cook-Distanzen oder Hebelwerte auf.

In der Analyse der Einzelfälle wiesen 26 Abschnitte u. a. folgende Auffälligkeiten auf und wurden in den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen:

- Serpentinestrecke,
- sehr hoher DTV,
- Rastplätze im Seitenraum,
- $UR(P) > 1,7$.

Nach Ausschluss auffälliger Abschnitte weisen die standardisierten Abweichungsresiduen wieder annähernd eine Normalverteilung auf (Bild 21). Lediglich an den Enden der Wertebereiche sind geringe Abweichungen festzustellen. Der Anteil von Abschnitten außerhalb des Standardfehlers bleibt mit 5 % unverändert. Mit Ausschluss auffälliger Fälle sinkt die Varianz im Folgemodell. Die deutliche Reduzierung der Fälle mit drastischen Abweichungen

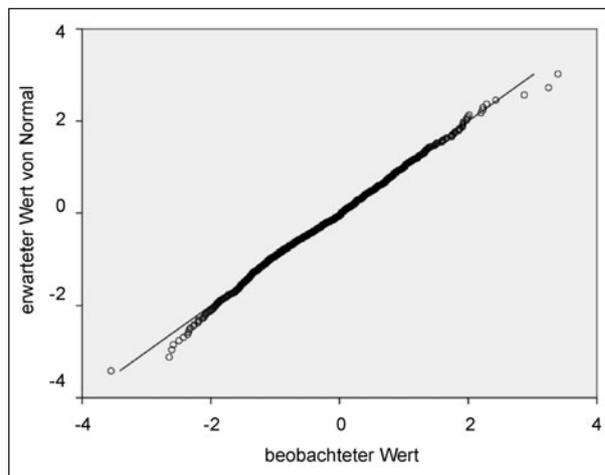


Bild 20: Standardisiertes Abweichungsresiduum für Modell Q 11 U(P) mit DTV als Kategorie vor Ausschluss auffälliger Abschnitte

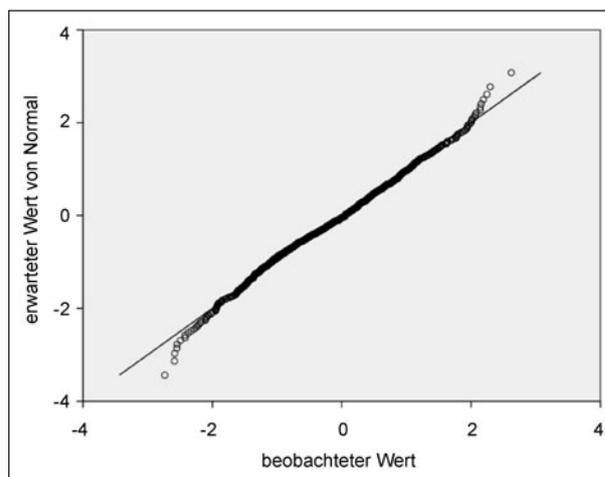


Bild 21: Standardisiertes Abweichungsresiduum für Modell Q 11 U(P) mit DTV als Kategorie nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

in den Randbereichen im Vergleich beider Fälle ist ebenfalls Indiz für eine bessere Abbildung der Stichprobe durch das Modell. Dass die standardisierten Abweichungsresiduen für U(P) annähernd Normalverteilung aufweisen, wird aus der klassifizierten Verteilung in Bild 22 deutlich.

Mit Hilfe von Residuenplots können systematische Abweichungen im Modell verwendeter Merkmale erkannt werden. Bild 23 enthält die Abbildung der Residuen über den gültigen DTV-Bereich. Die Residuen streuen über den gesamten Wertebereich unsystematisch um null. Es liegt Homoskedastizität vor. Deutlich wird die hohe Anzahl von Streckenabschnitten mit einem DTV zwischen 2.000 und 12.000 Kfz/24h. Mit Zunahme des DTV über diesen Bereich nimmt die Anzahl der Fälle deutlich ab. Die

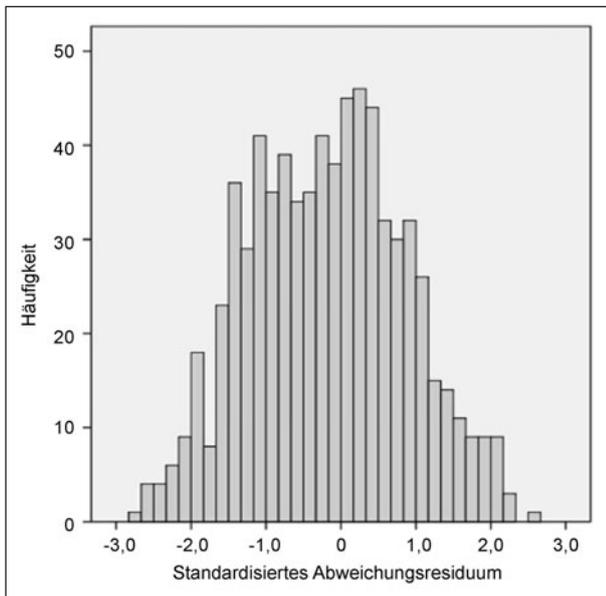


Bild 22: Verteilung klassifizierte standardisierte Abweichungsresiduen für Modell Q 11 U(P) mit DTV als Kategorie nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

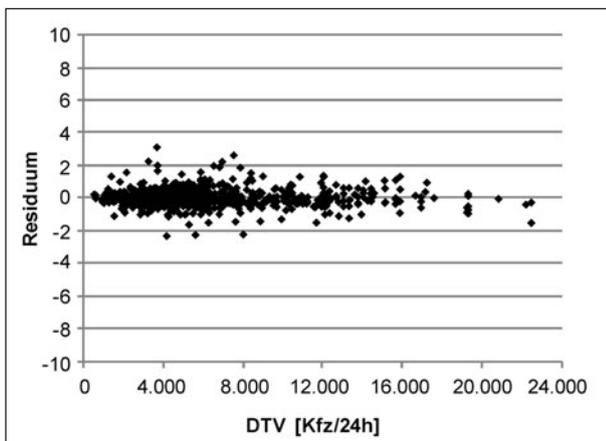


Bild 23: Residuen für Modell Q 11 U(P) mit DTV als Kategorie nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

Verteilung spiegelt die Einsatzgrenzen des Querschnitts wider. Lediglich ab einem Bereich von 22.000 Kfz/24h ist eine geringfügige systematische Abweichung (Überschätzung durch das Modell) festzustellen. Aufgrund der Rahmenbedingungen – nicht vorgesehener DTV-Bereich für den Querschnitt – und der Fallzahl ist diese Abweichung vernachlässigbar.

Das Modell U(P) zeigt keine systematischen Abweichungen der Unfallhäufigkeit in Abhängigkeit des Merkmals DTV.

Auch der Cure-Plot ermöglicht die Prüfung der Aussagegüte des Modells zu den einzelnen Parametern. In Bild 24 sind die kumulierten Residuen über

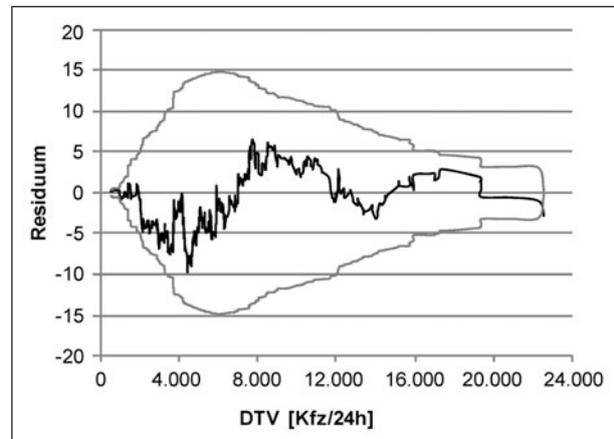


Bild 24: Cure-Plot der Residuen für Modell Q 11 U(P) mit DTV als Kategorie nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

den DTV des Q 11 dargestellt. Im Bereich von 2.000 und 4.000 Kfz/24h ist eine deutliche vertikale Veränderung des Kurvenverlaufs festzustellen. In diesen Bereichen weist eine Anzahl von Streckenabschnitten eine systematische Überschätzung (Fall der Kurve) bzw. eine Unterschätzung (Anstieg der Kurve) des Unfallgeschehens auf.

Dabei können verschiedene Ursachen für die Abweichung infrage kommen. Für einige Streckenabschnitte ist zu vermuten, dass eine Differenz zwischen tatsächlichem und in den SIB-Daten enthaltenem DTV vorliegt. Dieser Fall ist dann wahrscheinlich, wenn mehrere aneinanderfolgende Netzknotenabschnitte mit identischen DTV hohe – vom Vorzeichen identische – Residuen aufweisen. Diese möglichen Diskrepanzen – deren Auswirkung sich im Unterschied zwischen realer und erwarteter Unfallhäufigkeit ausdrückt – spiegeln sich im Modell durch hohe Residuen wider.

Für den betrachteten DTV-Bereich liegt keine Verletzung des Vertrauensbereichs $\pm 2 \delta^*$ (Hüllkurven) vor. Das Merkmal DTV wird durch das gewählte Modell ausreichend genau beschrieben. Deutliche systematische Abweichungen, welche eine neue Modellierung zur Folge hätten, liegen nicht vor.

Auch zu den Modellen U(SS) und U(LS) wurden Residuenanalysen durchgeführt. Im Kollektiv U(SS) bleiben aufgrund unterschiedlicher Merkmalskombinationen 25 Streckenabschnitte unberücksichtigt. Nach der Residuenanalyse liegen für das Modell U(LS) 341 Abschnitte vor. Ausgeschlossen sind Streckenabschnitte mit unverhältnismäßig hohen Unfallraten (UR). Der Ausschluss beruht auf einer Betrachtung der UR des Gesamtkollektivs und einzelner auffälliger Abschnitte. Diese sind beispiels-

weise durch das Vorhandensein von Rastplätzen neben der Strecke gekennzeichnet.

4.3.3 Grundfunktionen UR

Die Unfallhäufigkeit wird maßgebend durch die Größenordnung der Merkmale des Prädiktors im Modell bestimmt. Die Unfallrate kann unmittelbar aus dem Modell mittels Umstellung bestimmt werden. Da in allen Modellen die Länge im Offset-Term enthalten ist, bleibt die Abschnittslänge im Nenner der Gleichung 15 unberücksichtigt. Die abschnittsbezogene Rate resultiert aus dem Modell.

$$UR_j = \frac{(e^k * e^{\sum x_i * b_i} * 10^6)}{(365 * DTV^{(1-b_i)})} \quad \text{Gl. 15}$$

UR_j Unfallrate Modell j [$U/(10^6 * \text{Kfz} * \text{km})$]

k Konstante

x_i Merkmal i

b_i Koeffizient des Merkmals i

Die ermittelten Modelle weisen keinen linearen Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und DTV auf. Dementsprechend verändert sich die UR in Abhängigkeit des DTV. Die Abbildung von UR-Funktionen verdeutlicht diesen Zusammenhang. Die Größenordnung der UR wird darüber hinaus von der Ausprägung der als signifikant ermittelten Merkmale bestimmt. Die Darstellung der UR-Funktion ohne die als Defizit deklarierten Merkmale stellt eine Annäherung an die Grundunfallraten (gUR) dar. Die das Umfeld und die Topografie beschreibenden Merkmale besitzen ebenfalls einen Einfluss auf die UR und führen zu einer Erhöhung. Sie stel-

len aber nicht ein Defizit im Sinne des HVS (BARK et al. 2008) dar. Da diese Merkmale jedoch variieren, sind eine einheitliche Bewertung und Interpretation der gUR nur unter Ausschluss aller Defizite und weiterer Eigenschaften möglich. Die Grundfunktionen der UR enthalten keine Zuschläge aufgrund von Defiziten und weiterer Eigenschaften. Kategoriale und stetige Merkmale werden mit dem Faktor „null“ berücksichtigt. Dementsprechend handelt es sich in der Darstellung bei Strecken des Q 11 um Abschnitte, die u. a. die Merkmale FSB $\geq 3,5$ m, FRT = 0 und Kreistyp F aufweisen.

Mit Zunahme des DTV fällt die UR für U(P) und U(SS) degressiv. Im Bereich geringer Verkehrsstärken ist eine deutliche Zunahme der UR festzustellen. Der Kurvenverlauf resultiert aus der Modellfunktion. Abzüglich aller Einflüsse bewegte sich die UR(SS) für den Q 11 auf einem Niveau von $0,04 U/(10^6 * \text{Kfz} * \text{km})$.

Die Funktionen der UR(P) zeigen Unterschiede zueinander (Bild 25). Die UR(P) mit DTV als Kategorie weist im niedrigen DTV-Bereich einen höheren Anstieg auf. Ab einem DTV von ca. 4.000 Kfz/24h weist die Funktion gegenüber der UR(P) ohne DTV als Kategorie ein niedrigeres Niveau und damit eine niedrigere Unfallhäufigkeit auf. Dies ist plausibel.

Beide Teilmodelle führen eine Schätzung der Koeffizienten auf Grundlage der gesamten Spannweite des DTV durch. Dem Modell ohne DTV als Kategorie steht nur ein Parameter zur Schätzung des Einflusses des DTV zur Verfügung. Mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode erfolgt die Berechnung des Koeffizienten des DTV für diesen Parameter.

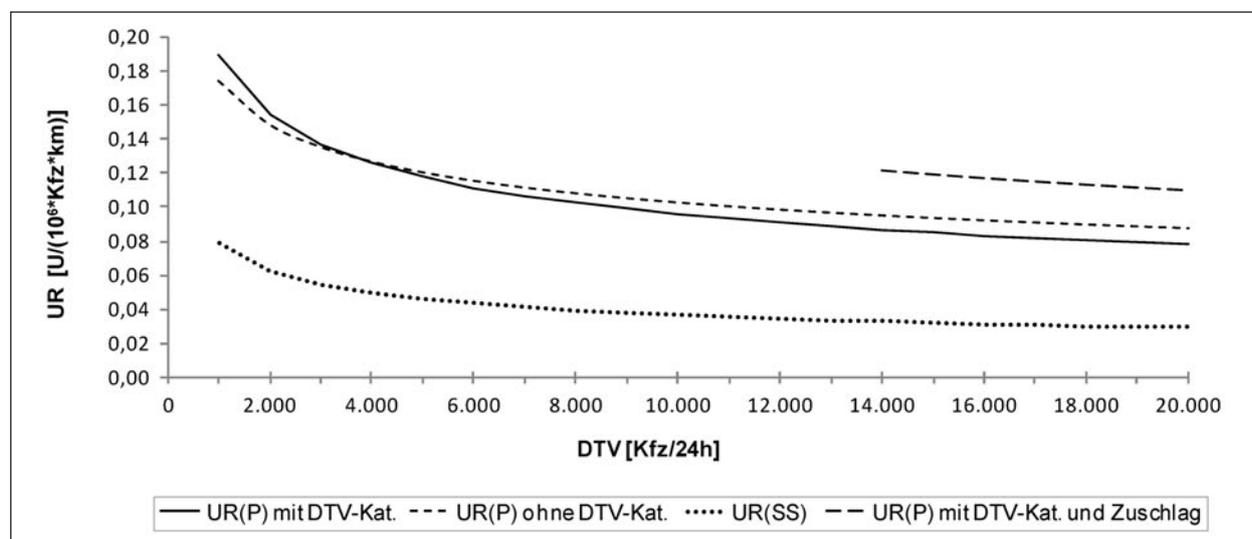


Bild 25: Grundfunktion UR U(P) mit/ohne DTV als Kategorie und U(SS) für Q 11

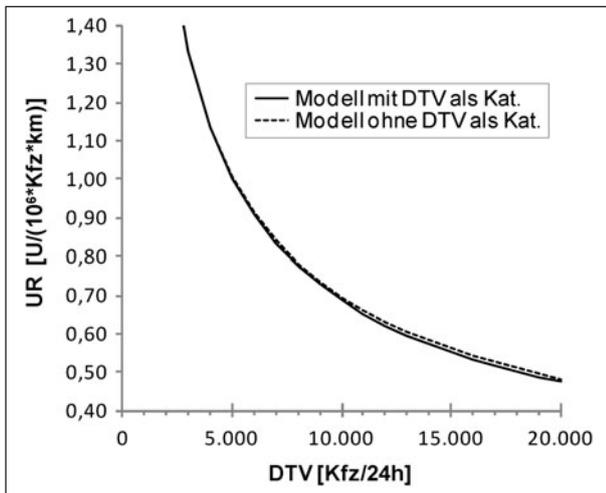


Bild 26: Grundfunktion UR mit/ohne DTV als Kat. für Q 11

Demgegenüber ist auf Grundlage der zusätzlichen kategorialen Einteilung des DTV eine genauere Schätzung des Koeffizienten für den DTV möglich. Die Funktion erhält eine bessere Anpassung. Im Bereich niedrigerer Verkehrsstärken hat dies einen stärkeren Anstieg zur Folge. Im Bereich hoher Verkehrsstärken (> 14.000 Kfz/24h) wird die Veränderung der Unfallhäufigkeit über einen Zuschlag auf die Grundfunktion berücksichtigt. Die Höhe des Zuschlags DTV beträgt ca. 40 % der Grundfunktion UR(P) mit DTV als Kategorie.

Die UR für das gesamte Unfallgeschehen resultiert aus der Addition aller drei Teilfunktionen nach Schwere. Die UR wird maßgebend durch U(LS) geprägt. Da sich deren Anteil an der UR zwischen 89 % und 77 % bewegt, fällt die Differenz zwischen beiden Kurven marginal aus. Die Grundfunktionen der UR lassen sich wie folgt darstellen:

$$UR_i = k_{UR,i} * DTV^{f_{UR,i}} \tag{Gl. 16}$$

UR_i Unfallrate Kategorie i [U/(10⁶ * Kfz * km)]

$k_{UR,i}$ Grundniveau Funktion, Kategorie i

$f_{UR,i}$ Koeffizient DTV Kategorie i

Bei Berücksichtigung des Zuschlags liegt die UR deutlich über dem Niveau der Funktion UR(P) ohne DTV als Kategorie. Der Grund für diese Differenz liegt in der geringen Anzahl von Strecken mit einem DTV > 14.000 Kfz/24h. Die Schätzung des Koeffizienten der stetigen Größe DTV beruht maßgebend auf einer Bewertung der hohen Anzahl an Strecken mit einem DTV zwischen 2.000 und 12.000 Kfz/24h. Dies spiegelt der Funktionsverlauf wider. Durch die weitere Klassifizierung des DTV mit einer

Kategorie	k_{UR}	f_{UR}
UR(P) mit DTV-Kat.	1,477	-0,297
UR(P) ohne DTV-Kat.	0,852	-0,230
UR(SS)	0,770	-0,330
UR(LS)	136,77	-0,598

Tab. 20: Parameter Grundfunktion UR Q 11

kategorialen Variablen wird die Besonderheit der Strecken mit hohem DTV deutlicher bewertet.

Die Faktoren k_{UR} und f_{UR} beschreiben den Verlauf der UR Funktionen, die sich aus der Modelldarstellung über den DTV ergeben. Der Faktor k_{UR} gibt Auskunft über das Ausgangsniveau oder Level der Funktion. Aus einem hohen k_{UR} ist prinzipiell eine hohe UR im Bereich geringer Verkehrsstärken abzuleiten. Der Kurvenverlauf wird über den Exponenten f_i des DTV beschrieben.

Folgende Sachverhalte sind für den Q 11 festzuhalten:

- Für das Kollektiv Q 11 besitzen zehn Merkmale einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen.
- Die Unfallhäufigkeit steigt mit Zunahme des DTV degressiv an.
- Strecken mit einem DTV > 14.000 Kfz/24h weisen eine höhere Unfallhäufigkeit U(P) auf.
- Für unterschiedliche v_{zul} liegen keine signifikanten Unterschiede in der Unfallhäufigkeit vor. Eine Trennung der Grundfunktion nach der v_{zul} erfolgt nicht.
- Die Unterschreitung der Regelbreiten von FSB und RSB nach RAL führt zu einer Zunahme der Unfallhäufigkeit.
- Landkreise mit hohen Bevölkerungsdichten weisen eine höhere Unfallhäufigkeit U(SS) auf.
- Defizite in der Trassierung und aufgrund von Bäumen im Seitenraum ohne passive Schutzeinrichtungen führen ebenfalls zu einer Zunahme der Unfallhäufigkeit.
- Die UR wird maßgebend durch U(LS) bestimmt.

4.4 Querschnitt 9

4.4.1 Parameter Teilmodelle

Der in der EKL 4 angesiedelte Q 9 unterscheidet sich in den Untersuchungen zum Q 11 durch die Anlage schmaler Fahrstreifen bis zu einer Breite von < 2,9 m. Für die Untersuchung der U(P) und U(SS) liegen 247 auswertbare Abschnitte mit einer Gesamtlänge von ca. 450 km vor. 165 Abschnitte umfasst das Modell U(LS). Folgende Rahmenbedingungen gelten für untersuchte Streckenabschnitte:

- DTV zwischen 500 und 7.000 Kfz/24h,
- Mindestlänge Abschnitt $L \geq 250$ m,
- Klasse der $v_{zul} = 100$ km/h.

Die Übersicht zu den signifikanten Merkmalen der verschiedenen Teilmodelle nach Schwere enthält Tabelle 21. Gleichung 17 stellt die Modellfunktion für U(SS) dar.

Auf Basis der Poissonverteilung gelingt eine nahezu vollständige Erklärung der systematischen Varianz lediglich für das Modell U(SS). Die Parameterschätzung aller anderen Teilmodelle beruht auf Anwendung der negativen Binomialverteilung.

Für den Q 9 liegen zwei Modelle U(P) mit der Unterscheidung anhand des DTV als kategoriale Variable im Modell vor. Q 9 mit einem DTV > 4.000 Kfz/24h weisen gegenüber Strecken mit geringem DTV eine Veränderung in der Unfallhäufigkeit aus. Für die Modelle U(SS) und U(LS) liegt ein solcher Zusammenhang nicht vor.

Teilmodell	U(P)				U(SS)		U(LS)	
	U(P) mit DTV-Kategorie		U(P) ohne DTV-Kategorie		Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹				
Konstante	-5,358	****	-7,179	****	-9,450	****	-4,607	****
ln (DTV)	,488	****	,742	****	,808	****	,636	****
DTV (Defizit Kategorie) (DTV > 4.000 Kfz/24h)	,506	**						
FBB > 6,00 m					,455	,068	,193	,145
FRT	,124	***	,133	***	,219	****		
HK					,111	,094		
BB (bis 0,4 stetig, dann Wert 0,4)					1,151	,051		
PgsAkp (bis 7 stetig, dann Wert 14)	,013	,20	,011	,25			,021	*
Kreistyp F							,407	**
Kreistyp B/C/D/E							0	
KHM							,272	****
AIC	677		680		413		775	
Varianz ¹	1,154		1,199		1,033		2,558	
Varianz Nullmodell ¹			1,892		1,574		4,487	

¹ Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten * < 0,5, ** < 0,01, *** < 0,001, **** < 0,0001
² Varianz der Modelle beruht auf der Berechnung mit Poissonverteilung.

Tab. 21: Ergebnisse der Modellrechnung Q 9

$$U(SS) = e^{-9,45} * DTV^{0,81} * L * e^{(FBB+(0,22*FRT)+(0,11*HK)+(1,15*BB))}$$

Gl. 17

U(SS) Anzahl der schwerwiegenden Unfälle mit Sachschaden je Jahr und Abschnitt

FBB 0,455 wenn FBB > 6,00 m
0 wenn FBB ≤ 6,00 m

L Länge [km]

DTV

Für alle Teilmodelle gilt, dass kein linearer Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und DTV besteht. Die Höhe des Koeffizienten weist für die Teilmodelle erhebliche Unterschiede auf. Der Zusammenhang zwischen der Unfallhäufigkeit und dem DTV im Modell mit DTV als Kategorie kann annähernd über eine Wurzelfunktion beschrieben werden. Die Berücksichtigung des DTV als kategoriale Variable besitzt wesentlichen Einfluss auf die Größenordnung der Koeffizienten der Expositionsgröße DTV – dieser sinkt von 0,742 auf 0,488. Diese Veränderung verdeutlicht die Korrelation zwischen den Variablen des DTV. Der deutlich degressive Anstieg des Unfallgeschehens in Abhängigkeit vom DTV im Modell U(P) mit DTV als kategorialer Variable, wird durch die Größenordnung der dichotomen Variable DTV kompensiert (vgl. Bild 30). Bezüglich der Modellgüte (AIC) liegt kein Unterschied zwischen beiden Teilmodellen U(P) vor.

FBB

Ein Einfluss der FBB auf das Unfallgeschehen resultiert aus den Modellen U(SS) und U(LS). FBB mit einer Breite $B > 6$ m weisen eine höhere Häufigkeit von Unfällen mit Sachschaden als schmalere FBB auf. Die Klassierung beruht auf einem iterativen Prozess. Die Berücksichtigung der FBB als stetiges Merkmal – welches einen höheren Erklärungsanteil im Modell erbringen würde – erfolgt nicht. Der Gebrauch der kategorialen Variable FBB beruht auf der Methodik des HVS (BARK et al. 2008), welche bei Überschreitung eines Grenzwertes einen Zuschlag vorsieht. Diese Einteilung (Klassifizierung) erscheint bei der Beurteilung der Breite von Querschnittselementen praktischer als der Einsatz einer stetigen Größe. Aufgrund der Klassifizierung der FBB weist das Merkmal ein geringeres Signifikanzniveau auf.

FRT

Das Merkmal FRT stellt eine weitere signifikante Einflussgröße der Modelle U(P) und U(SS) dar. Trotz einer sehr angepassten Linienführung von Abschnitten der EKL 4 ist im Kollektiv bei Über- oder Unterschreitung der Radienrelation bzw. Defiziten in der Abfolge von Gerade zu Kreisbogen eine Zunahme der Unfallhäufigkeit festzustellen.

HK, BB

Die Merkmale HK und BB sind lediglich Prädiktorgrößen des Modells U(SS). Die Größenordnung

Merkmal	Minimum	Maximum	Mittelwert
FBB [m]	3,5	6,4	5,66
FRT [Anzahl/km]	0	5,9	1,58
PgsAkp [Anzahl/km]	0	46	6,3
KHM [Anzahl/km]	0	2,8	0,4
HK [%]	0,01	8,6	2,38

Tab. 22: Deskriptive Kenngrößen der Merkmale Q 9

des Koeffizienten für BB wird durch die Wertigkeit des Merkmals als Anteilswert an der Strecke, welches den Wert von 0,4 nicht überschreitet, relativiert. Demzufolge ist für eine Strecke mit einer HK von 4 % eine ähnliche Zunahme der Unfallhäufigkeit zu erwarten wie für einen ebenen Abschnitt mit dem Merkmal $BB \geq 0,4$. Dies gilt bei sonst konstanten Randbedingungen. Auch für den Q 9 gilt, dass die Gliederung des Merkmals BB in einen stetigen und konstanten Bereich in der Modellierung der U(SS) zu einer Reduzierung der systematischen Streuung beiträgt. Der Übergang im Bereich von 0,4 orientiert sich an der Einteilung des Q 11.

Ein Einfluss fahrbahnnahe Bäume auf die Anzahl von U(P) konnte für das betrachtete Kollektiv nicht nachgewiesen werden. Ursachen sind in einem anderen Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer oder indirekt in der Ausprägung der die Streckencharakteristik beschreibenden Merkmale zu suchen. Es ist zu vermuten, dass das Merkmal einer schmalen FBB zu einer Verringerung der gefahrenen Geschwindigkeiten und somit zu einer geringeren Unfallschwere führt. Die Merkmale FBB und DTV weisen eine schwache Korrelation ($r = 0,36$) auf. Anhand des Zuschlags für Strecken mit einem $DTV > 4.000$ Kfz/24h ist zu vermuten, dass ein Teil der höheren Unfallhäufigkeit U(P) neben einem stärkeren Verkehrsaufkommen aus höheren gefahrenen Geschwindigkeiten aufgrund breiterer Fahrbahnen resultiert.

PgsAkp

Das Merkmal PgsAkp weist für U(P) nur einen schwach signifikanten Einfluss auf. Eindeutiger ist der Einfluss für U(LS). Der deutlichste Erklärungsanteil des Merkmals für beide Teilmodelle basiert auf einer stetigen Berücksichtigung des Merkmals bis zur einer Höhe von 9 ($Pgs + 2 \cdot Akp$)/km. Über diesen Wert hinaus wird der Faktor von 14 ($Pgs + 2 \cdot Akp$)/km – entspricht dem Mittelwert aller Strecken mit $PgsAkp > 9$ ($Pgs + 2 \cdot Akp$)/km – im Unfallmodell berücksichtigt. Abschnitte des Q 9 weisen gegenüber dem Q 11 eine dreimal höhere Dich-

te an PgsAkp. auf. Dies ist plausibel. Die Aufgabe von Strecken der EKL 4 ist neben der Verbindungsfunktion im Netz auch die Erschließung des näheren Umfelds.

Kreisstrukturtyp

Dem Modell U(LS) ist ein signifikanter Einfluss der Kreisstrukturtypen zu entnehmen. Für sehr dünn besiedelte Kreise (Kreistyp F) erklärt das Modell bei sonst konstanten Rahmenbedingungen eine höhere Unfallhäufigkeit. Eine Interpretation auf Basis der Daten ist für diesen Zusammenhang nur bedingt möglich. Es ist anzunehmen, dass der Kreistyp eine Stellvertretervariable für eine besonders im ländlichen Raum auftretende infrastrukturelle Eigenschaft oder Kenngröße des Verkehrsablaufs darstellt. Die Korrelationsmatrix weist lediglich einen leichten Zusammenhang zu häufigerem Auftreten von schmalen FBB im ländlichen Raum und FRT auf. Mutmaßlich sind sehr ländlich geprägte Kreise durch eine höhere Anzahl älterer Strecken der EKL 4 gekennzeichnet, die dementsprechende Trassierungselemente aufweisen.

KHM

Weiterer Bestandteil des Prädiktors für das Modell U(LS) ist das Merkmal Kuppenhalbmesser (KHM). Aus der Zunahme der Unterschreitungshäufigkeit der Haltesichtweite resultierte eine höhere Unfallhäufigkeit.

Auf Basis der Modellberechnung mit der Poissonverteilung erklären die Modelle U(P) ca. 80 %, das Modell U(LS) ca. 55 % der systematischen Streuung. Die Abschätzung der Koeffizienten für das Modell U(SS) beruht auf der Poissonverteilung. Für dieses Modell gelingt eine nahezu vollständige Erklärung der systematischen Streuung.

In keinem der Teilmodelle wurde die Unterschreitung des Mindestradius (Singularität) als signifikantes Merkmal identifiziert. Die Ursache dafür liegt in der Möglichkeit, für diese EKL auch Kreisbögen mit kleinen Radien einzusetzen. Daraus resultiert eine sehr angepasste Linienführung. Maßgebend für die Unfallhäufigkeit ist die Bewertung der Abfolge von Trassierungselementen des Lageplans (FRT).

4.4.2 Residuenanalyse

Der Vergleich der Cure-Plots für die Modelle U(P) verdeutlicht die Unterschiede in der Anpassungsgü-

te der Expositionsgröße DTV (Bild 27). Im Fall der Berücksichtigung des DTV als kategoriale Variable weist der Cure-Plot weniger systematische Abweichungen – insbesondere im Bereich hoher Verkehrsstärken – auf als das Pendant ohne kategoriale Berücksichtigung des DTV. Letzteres Modell weist einen deutlichen Abfall im Verlauf der Residuen ab einem DTV von ca. 2.200 Kfz/24h auf, Indiz für eine Überschätzung des Unfallgeschehens. Trotz der Parameterschätzung auf Basis aller Fälle weisen Fälle am Rand des Betrachtungsbereiches (hoher DTV) mitunter höhere Residuen auf, da der überwiegende Teil der Abschnitte einen DTV zwischen 500 und 3.500 Kfz/24h aufweist. Abschnitte mit hohen Erwartungswerten (Unfallgeschehen auf Basis des DTV) weisen zwangsläufig auch größere Streuungen auf.

Beide Teilmodelle weisen systematische Abweichungen im Bereich von ca. 1.500 Kfz/24h auf. Sowohl Fall und Anstieg des Verlaufs der Residuen sind auf die deutlichen Abweichungen einzelner Streckenabschnitte in diesem Bereich zurückzuführen. Für diese Abschnitte waren bei nachträglicher Betrachtung keine weiteren Auffälligkeiten erkennbar. Daher bleiben sie Bestandteil der Modelle U(P). Ein Grund für die Abweichungen kann in die-

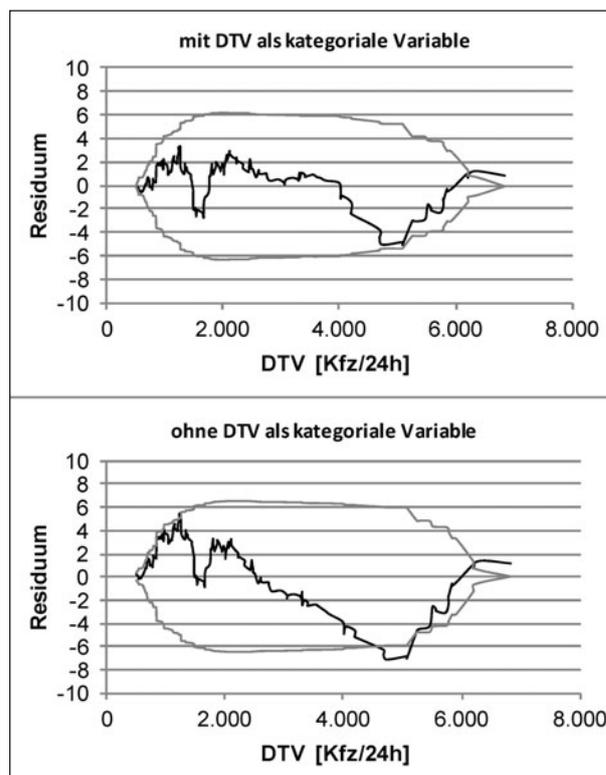


Bild 27: Cure-Plot der Residuen für Modelle Q 9 U(P) mit und ohne DTV als kategoriale Variable nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

sem Fall eine nicht exakte Angabe des DTV in den SIB darstellen.

Ein deutlicher Unterschied zum realen Verkehrsaufkommen und damit dem Unfallgeschehen spiegelt sich mitunter in hohen Residuen wider.

Eine deutlich höhere Streuung der Residuen besitzt das Modell U(LS). Die Ursachen der Streuung sind in einer Vielzahl von Einflüssen auf das Unfallgeschehen U(LS) zu suchen, die mit den zur Verfügung stehenden Merkmalen nicht vollständig geklärt werden können. Im Bereich von 1.200 Kfz/24h ist eine systematische Abweichung der Residuen ersichtlich (Bild 28). Einzelne Abschnitte weisen hohe Residuen auf. Im Bereich hoher Verkehrsstärken liegt der Verlauf der kumulierten Residuen außerhalb des Vertrauensbereiches von $\pm 2 \delta^*$. Über diesen Bereich hinaus beschreibt die gewählte Modellform das Merkmal DTV nur eingeschränkt. Da

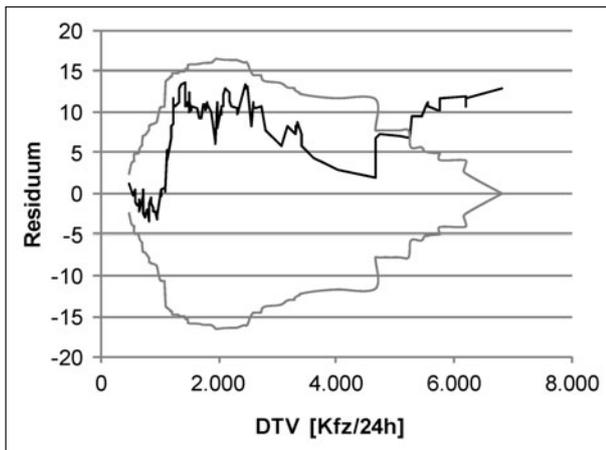


Bild 28: Cure-Plot der Residuen für Modell Q 9 U(LS) nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

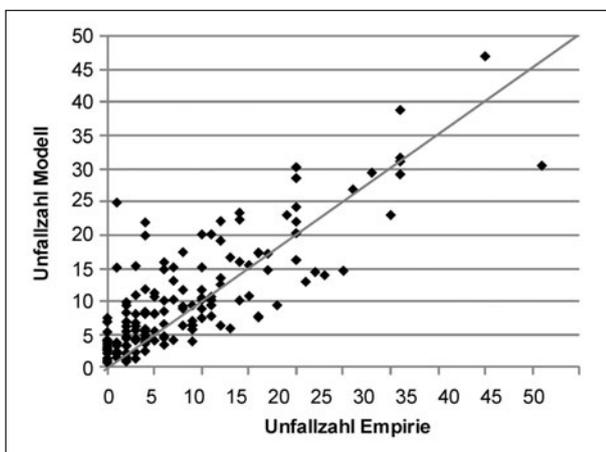


Bild 29: Gegenüberstellung beobachtetes und berechnetes Unfallgeschehen für Modell Q 9 U(LS) über einen Zeitraum von vier Jahren

eine Berücksichtigung des DTV zwangsläufig ist und in diesem Bereich nur wenige Fälle (14 Abschnitte) vorliegen, wird das Modell als maßgebend verwendet.

Ausschlüsse von Streckenabschnitten in den verschiedenen Teilmodellen des Q 9 beruhen überwiegend auf der Analyse von Cook-Distanz und Hebelwert. Ein Ausschluss beruht dabei u. a. auf folgenden Sachverhalten:

- sehr starke Hügeligkeit (HK),
- unverhältnismäßig hoher Anteil an PgsAkp,
- Serpentinestrecke.

Trotz hoher Residuen für einzelne Fälle erklärt das Modell U(LS) das Unfallgeschehen ausreichend genau. Die Gegenüberstellung beobachteter und berechneter Unfallanzahlen für das Kollektiv zeigt eine gute Übereinstimmung (Bild 29). Für Strecken mit geringen oder keinem beobachteten Unfallgeschehen ist durch das Modell eine geringfügige Überschätzung festzustellen.

Die Überschätzung beruht zum einen auf den Eigenschaften der Strecken, zum anderen auf der Poissonverteilung des Unfallgeschehens. Aufgrund der Eigenschaften wird für jeden Streckenabschnitt anhand der Parameter des Modells die Unfallanzahl bestimmt. Die Berücksichtigung des DTV in der Exposition hat zwangsläufig zur Folge, dass alle Abschnitte eine Unfallanzahl größer null aufweisen. Das poissonverteilte Auftreten von Unfällen hat für Strecken mit hohem Unfallgeschehen eine breitere Streuung zwischen Empirie und Modell zur Folge.

4.4.3 Grundfunktion UR

Die Grundfunktionen der UR weisen für die Modelle U(P) deutliche Unterschiede auf. Die Funktion mit DTV als kategorialer Variable weist ein deutlich höheres Ausgangsniveau auf (Tabelle 23).

Kategorie	k_{UR}	f_{UR}
UR(P) mit DTV-Kat.	12,91	-0,512
UR(P) ohne DTV-Kat.	2,09	-0,258
UR(SS)	0,22	-0,192
UR(LS)	27,34	-0,364

Tab. 23: Parameter Grundfunktion UR Q 9

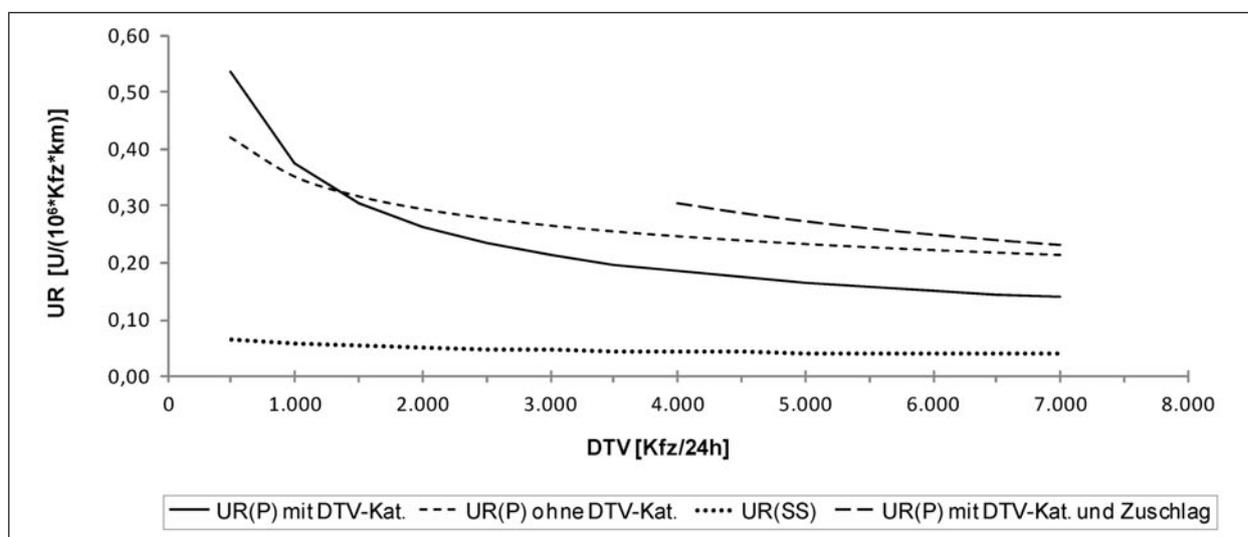


Bild 30: Grundfunktion UR U(P) mit/ohne DTV als Kategorie und U(SS) für Q 9

Die Größen des Faktors f_i basieren auf Transformation des Koeffizienten für den logarithmierten DTV ($\ln(\text{DTV})$). Ähnlich dem Q 11 besitzt die Grundfunktion für U(P) mit DTV als kategoriale Variable im Bereich geringer Verkehrsstärken einen höheren Anstieg und fällt ab einem DTV von 1.500 Kfz/24h unter das Niveau der Grundfunktion U(P) ohne DTV als kategoriale Variable. Bei Berücksichtigung des DTV als Zuschlag liegt das Niveau der UR(P) über letztgenannter Funktion (Bild 30). Gegenüber der ursprünglichen Funktion ist ein Zuwachs in der UR(P) zu verzeichnen.

Einen nahezu linearen Verlauf weist die UR(SS) auf. Das Niveau verringert sich ab einer Verkehrsstärke > 2.000 Kfz/24h nur noch unwesentlich im Bereich von $0,045 U/(10^6 * Kfz * km)$. Damit liegt sie bei Nichtberücksichtigung aller signifikanten Zuschläge in gleicher Größenordnung wie die UR(SS) für Q 11.

Auch die UR des Q 9 wird maßgebend durch die UR(LS) geprägt. Ca. 84 % der Unfälle des Q 9 – im Bereich bis 4.000 Kfz/24h – sind der Unfallkategorie 5 zu zuordnen. Die Gegenüberstellung der Grundfunktion UR für den Q 9 in Abhängigkeit des Teilmodells U(P) zeigt Unterschiede in der UR-Entwicklung (Bild 31). Im Bereich geringen Verkehrsaufkommens liegen nur marginale Unterschiede vor.

Die UR weisen einen deutlichen Anstieg für einen $\text{DTV} < 1.000$ Kfz/24h auf. Mit Zunahme des DTV geht eine Erhöhung der Differenz zwischen beiden Funktionen einher. Bis zu einem Bereich von 4.000 Kfz/24h ist der Unterschied in Betrachtung der UR gering.

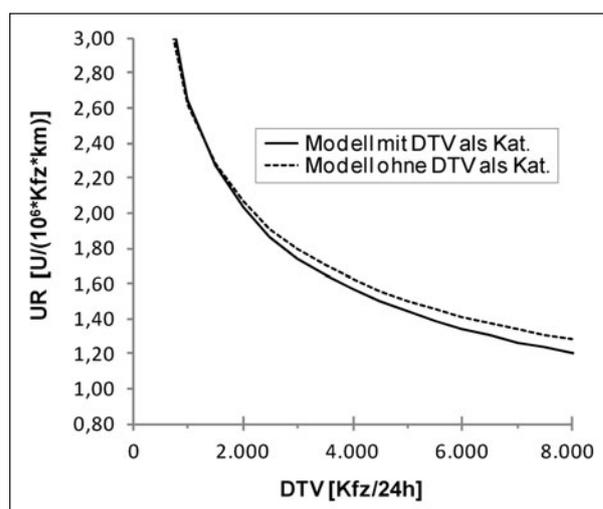


Bild 31: Grundfunktion UR mit/ohne DTV als Kat. für Q 9

Folgendes ist für den Q 9 festzuhalten: -

- Die Berechnung der Grundfunktionen und Einflusshöhe der Merkmale beruht auf einem Kollektiv, dem lediglich Bestandsstrecken nach RAS-Q 82 (FGSV 1982) und RAS-Q 96 (FGSV 1996) zugrunde liegen.
- Acht Merkmale besitzen einen signifikanten Einfluss auf die Unfallhäufigkeit des Q 9.
- Für U(P) liegen zwei Teilmodelle – Unterscheidung mit/ohne DTV als Kategorie – vor. Ab einem $\text{DTV} > 4.000$ Kfz/24h liegt eine Veränderung in der Entwicklung der U(P) bei sonst konstanten Rahmenbedingungen vor.
- In allen Teilmodellen steigt die Unfallhäufigkeit degressiv mit Zunahme des DTV.

- Auf Basis der v_{zul} ergibt sich kein signifikanter Unterschied in der Unfallhäufigkeit. Eine Trennung der Grundfunktion auf Basis der v_{zul} , wie im HVS (BARK et al. 2008) intendiert, erfolgt nicht.
- Die Abfolge von Trassierungselementen des Lageplans besitzt einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit. Für Unterschreitungen des Mindestradius ist kein signifikanter Einfluss festzustellen.
- Fahrbahnbreiten $FBB > 6,0$ m führen zu einer Zunahme von $U(S)$.
- Das Teilmodell $U(LS)$ wird durch einen verbleibenden hohen Anteil systematischer Streuung gekennzeichnet. Die Erklärungsgüte im Bereich von Verkehrsaufkommen > 5.500 Kfz/24h ist eingeschränkt.

4.5 Querschnitt „dreistreifig“

4.5.1 Parameter Teilmodelle

Das Kollektiv Q „dreistreifig“ beinhaltet Abschnitte des Q 15,5 und Q 11,5+. Zweistreifige Teilabschnitte des Q 11,5+ werden über eine kategoriale Variable gesondert bewertet. Eine weitere Trennung zwischen Q 15,5 und dreistreifigen Abschnitten des Q 11,5+ erfolgt aufgrund der geringen Kollektivgrößen nicht. Die Berechnungen der Teilmodelle $U(P)$ und $U(SS)$ basieren auf 55 Streckenabschnitten mit einer Länge von 94 km. Da die Kollektivgröße durch das Fehlen der Angaben zu Unfällen der Kategorie 5 in drei Bundesländern erheblich reduziert ist, liegt ein Unfallmodell $U(LS)$ nicht vor. Die Ermittlung der Funktion für $U(LS)$ erfolgt auf Basis einer methodischen Abschätzung. Eine Einschränkung des DTV-Bereiches liegt für kein Teilmodell vor.

Tabelle 24 enthält die Ergebnisse der Modellrechnung für $U(P)$ und $U(SS)$. Die Berechnung der $U(P)$ mit DTV als kategorialer Variable erfolgt mit Gleichung 18. Der endgültigen Parameterschätzung liegt für alle Teilmodelle die negative Binomialverteilung zugrunde. Alle Teilmodelle erklären einen sehr hohen Anteil der systematischen Varianz. Maßgebend tragen die Merkmale DTV (logarithmierte Expositionsgröße) und Hügeligkeit (HK) dazu bei.

DTV

Es liegen zwei Modelle $U(P)$ vor. Bei Berücksichtigung des DTV als kategoriale Variable erklärt das Modell $U(P)$ für Streckenabschnitte mit einem DTV

> 16.000 Kfz/24h einen schwach signifikanten Unterschied in der Unfallhäufigkeit. Zwischen beiden Teilmodellen liegt kein Unterschied in der Güte vor. 19 Abschnitte weisen ein Verkehrsaufkommen über 16.000 Kfz/24h auf.

Der degressive Zusammenhang zwischen DTV und Unfallhäufigkeit ist auch Merkmal dieser Modelle. Die Berücksichtigung des DTV als kategoriale Variable für $U(P)$ hat eine Veränderung des Koeffizienten der Expositionsgröße DTV (logarithmierte Größe) zur Folge. Das Merkmal besitzt ein geringes Signifikanzniveau. Das HVS (BARK et al. 2008) schlägt für RQ 15,5 und RQ 11,5+ Zuschläge zur gUKR bei Überschreitung einer bestimmten Verkehrsstärke vor. Ähnlich dem Q 9 und Q 11 wird für eine spätere optionale Quantifizierung dieses Einflusses das Modell $U(P)$ mit DTV als kategorialer Größe weiterhin berücksichtigt.

FSB

Eine höhere Unfallhäufigkeit für $U(LS)$ ist auf eine $FSB < 3,25$ m zurückzuführen. Die Bedingung gilt, wenn alle drei (zwei) Fahrstreifen dieses Maß unterschreiten.

FRT

Mit einem sehr hohen Signifikanzniveau ist das Merkmal FRT im Teilmodell $U(P)$ berücksichtigt. Fehler in der Abfolge von Elementen des Lageplans führen zu einer Zunahme von $U(P)$. Mit Anstieg der HK wird ceteris paribus, neben der Zunahme der $U(P)$, auch eine Zunahme der $U(SS)$ erklärt. Dieses Ergebnis steht in Zusammenhang mit den Eigenschaften im Kollektiv. Darin enthalten sind einbahnig dreistreifige Abschnitte in topografisch sehr bewegtem Gelände. Diese Abschnitte stellen Steigungsstrecken mit gesicherten Überholmöglichkeiten dar. Singularitäten (MinRad) weisen eine sehr hohe Korrelation mit dem Merkmal FRT ($r = 0,80$) auf. Daher werden Unterschreitungen des Mindestradius bereits durch das Merkmal FRT beschrieben.

BB

Einen sehr hohen Koeffizienten weist das Merkmal BB für die Modelle $U(P)$ auf. Im Kollektiv sind nur sehr wenige Abschnitte durch alleinartige Charakteristik gekennzeichnet. Liegt in diesen Bereichen ein erhöhtes Unfallgeschehen vor, wird dieses durch das Modell mit vorliegendem Merkmal erklärt. Aufgrund der Kollektivgröße kann die Grö-

Teilmodell	U(P)				U(SS)	
	U(P) mit DTV-Kategorie		U(P) ohne DTV-Kategorie		Koeffizient	Signifikanz ¹
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹		
Konstante	-13,818	****	-15,567	****	-15,370	****
ln (DTV)	,593	***	,801	****	,694	**
DTV (Defizit Kategorie) (DTV > 16.000 Kfz/24h)	0,302	,163				
FSB < 3,25 m					,406	*
FRT	,172	****	,199	****		
HK	,192	***	,155	***	,194	**
BB (bis 0,4 stetig, dann Wert 0,4)	3,198	****	3,256	****		
Akp					,148	0,15
KHM	,654	***	,744	****		
Teilbereich 2-streifig (wenn Q 11,5+ mit 2 FS)	,156	,354	,158	,370		
AIC	202		201		144	
Varianz ²	1,099		1,159		1,039	
Varianz Nullmodell ²	3,415				1,325	

¹ Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten * < 0,5, ** < 0,01, *** < 0,001, **** < 0,0001
² Varianz der Modelle beruht auf der Berechnung mit Poissonverteilung
³ korrigiertes AIC (AICC), Anwendung bei geringen Stichprobengrößen

Tab. 24: Ergebnisse der Modellrechnung „dreistreifig“

$$U(P) = e^{-13,82 * DTV^{0,59} * L * 1.000^1} * e^{(DTV_K + TB_{2FS} + (0,17 * FRT) + (0,19 * HK) + (3,20 * BB) + (0,65 * KHM))}$$

Gl. 18

$U(P)$ Anzahl der Unfälle schwerem Personenschaden je Jahr und Abschnitt

TB_{2FS} 0,156 wenn zweistreifiger Teilbereich Q 11,5+0 wenn dreistreifiger Teilbereich

DTV_K 0,302 wenn DTV > 16.000 Kfz/24h
0 wenn DTV ≤ 16.000 Kfz/24h

L Länge [km]

¹⁾ Gegenüber den Modellen für Q 9 und Q 11 wird für Q „dreistreifig“ die Länge mit dem Faktor 1.000 multipliziert

$$U(SS)^1 = e^{-15,36 * DTV^{0,69} * L * 1.000 * e^{(FSB + (0,06 * PgsAkp) + (0,20 * HK))}}$$

Gl. 19

$U(SS)$ Anzahl der Unfälle schwerem Personenschaden je Jahr und Abschnitt

FSB 0,389 wenn FSB < 3,25 m
0 wenn FSB ≥ 3,25 m

L Länge [km]

¹⁾ Gleichung beruht auf Berücksichtigung des Merkmals PgsAkp anstelle Akp und unterscheidet sich somit von Gleichung U(SS) in Tabelle 24

PgsAkp, Akp

Gegenüber den Querschnitten Q 9 und Q 11 weisen PGS nur einen schwach signifikanten Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen auf. Etwas stärker ($\alpha = 0,15$) kann dieser anhand des Modells U(SS) für Akp nachgewiesen werden. Daher wird als Defizit die Akp-Dichte (Akp) je Abschnitt berücksichtigt. Die Kombination aus Addition der Merkmale PGS und zweifacher Wertigkeit von Akp besitzt ein Signifikanzniveau nach Wald-Test von $\alpha = 0,29$. Vor dem Hintergrund einer einheitlichen Definition der Zuschläge im HVS kann im weiteren Verlauf die Verwendung des Merkmals PgsAkp für den Q „dreistreifig“ optional berücksichtigt werden. Die entsprechenden Parameter für die Funktion mit dem Merkmal PgsAkp sind Gleichung 19 zu entnehmen. Dabei entspricht das Merkmal PgsAkp einer stetigen Größe ohne Grenzwert. Tabelle 24 enthält das Teilmodell U(SS) mit den Merkmal Akp sowie den entsprechenden Koeffizienten der anderen Merkmale.

KHM

Defizite in der Ausführung der KHM haben eine Erhöhung der U(P) zur Folge. Ein signifikanter Einfluss auf U(SS) liegt nicht vor.

Benennung des Koeffizienten mit einer Ungenauigkeit behaftet sein. In diesem Fall ist für eine spätere volkswirtschaftliche Bewertung der Einfluss im Kontext mit anderen Querschnitten zu prüfen. Eine deutliche Korrelation mit anderen Merkmalen liegt für BB nicht vor.

Merkmal	Minimum	Maximum	Mittelwert
FBB [m]	7,25	12,1	9,8
FRT [Anzahl/km]	0	3,4	0,2
PgsAkp [Anzahl/km]	0	5,9	0,8
KHM [Anzahl/km]	0	1,3	0,1
HK [%]	0,1	8,0	2,7

Tab. 25: Deskriptive Kenngrößen der Merkmale Q „dreistreifig“

TB_{2FS}

Die kategoriale Kenngröße „Teilbereich 2-streifig“ (TB_{2FS}) definiert die Trennung zwischen zwei- und dreistreifigen Abschnitten. Lediglich für U(P) ist ein schwach signifikanter Zusammenhang nachzuweisen. Für größere Kollektive ist ein deutlicherer Unterschied zu vermuten. U. a. aufgrund der Unterschiede im Verkehrsablauf auf zwei- und dreistreifigen Abschnitten ist dieses Merkmal Bestandteil des Modells. Zweistreifige Abschnitte weisen ein höheres Unfallgeschehen auf. Bei sonst identischen Rahmenbedingungen steigt die Unfallhäufigkeit für U(P) – unabhängig vom Teilmodell – gegenüber dreistreifigen Abschnitten um 17 %.

4.5.2 Residuenanalyse

Ausschlüsse von Strecken aus dem betrachteten Kollektiv beruhen unter anderem auf dem überproportional hohen Auftreten von FRT oder auffälligen hohen DTV-Werten. Für beide Teilmodelle nach Schwere bleiben sechs Abschnitte unberücksichtigt.

Die Residuen des Modells U(P) streuen unsystematisch um den Wert „0“. Es liegt Homoskedastizität vor. Bild 32 zeigt weiterhin die Streuung des DTV-Bereichs für das Kollektiv. Abschnitte mit geringem DTV sind überwiegend dem Q 11,5+ zuzuordnen, während der Q 15,5 durch Abschnitte mit hohem DTV geprägt wird. Auch für das Modell U(SS) ist keine Systematik aus der Residuenverteilung abzulesen. Dabei streuen die Residuen in einem geringeren Ausmaß. Keines der beiden Modelle zeigt Auffälligkeiten im Cure-Plot in Bezug auf das Merkmal DTV.

Die Verteilung der standardisierten Abweichungsresiduen für U(SS) lässt auf eine annähernde Normalverteilung schließen. Die Wertepaare streuen um die Diagonale.

Ausreißer über den Vertrauensbereich von ±1,96 Standardabweichung stellen Einzelfälle dar. Der

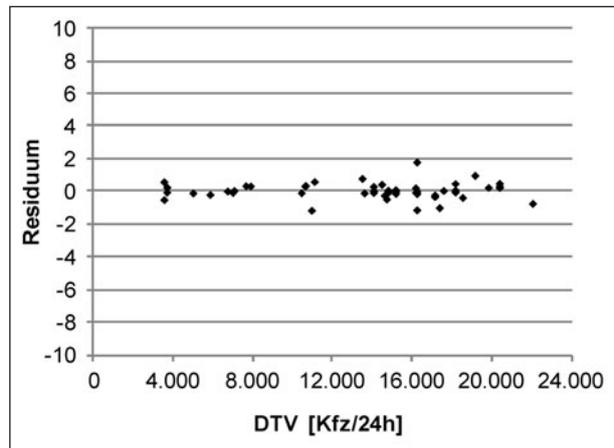


Bild 32: Residuen für Modell Q „dreistreifig“ U(P) mit DTV als Kategorie nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

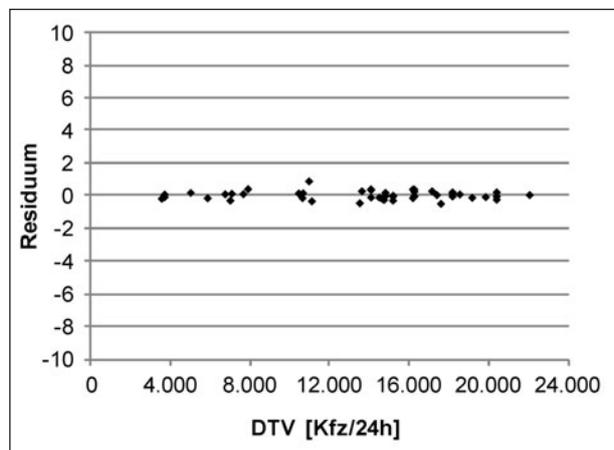


Bild 33: Residuen für Modell Q „dreistreifig“ U(SS) nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

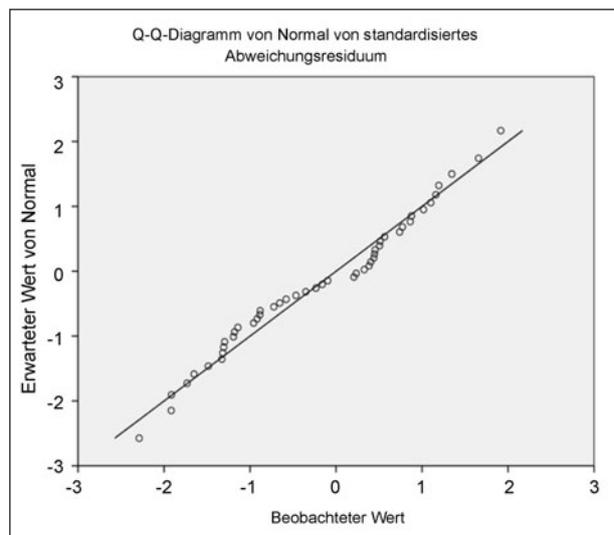


Bild 34: Verteilung der standardisierten Abweichungsresiduen für Modell Q „dreistreifig“ U(SS) nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

leicht geschwungene Verlauf der Wertepaare - gibt Aufschluss darüber, dass das Kollektiv in -

Gruppen von Strecken mit und ohne Unfallgeschehen untergliedert ist. Dementsprechend werden zwei Verteilungen durch eine Gesamtverteilung überlagert.

4.5.3 Grundfunktion UR

Während die Grundfunktionen UR(P) und UR(SS) aus den Teilmodellen abzuleiten sind, liegt ein Unfallmodell für U(LS) nicht vor. Lediglich 19 Streckenabschnitte stehen zur Analyse zur Verfügung. Zur Quantifizierung der UR(LS) an der UR für Q „dreistreifig“ erfolgt die Berechnung der Grundfunktion UR(LS) in einem zweistufigen Ablauf. Die erste Stufe umfasst die Berechnung einer Unfallratenfunktion auf Basis des vorliegenden Streckenkollektivs. In Schritt zwei erfolgt die Anpassung der Funktion auf ein theoretisches Grundunfallrateniveau.

Von den 19 Strecken finden 16 Berücksichtigung. Drei Abschnitte bleiben aufgrund auffälliger Merkmale unberücksichtigt. Die Analyse von Einzelfällen birgt gerade in Randbereichen des betrachteten Spektrums die Gefahr, dass diese wesentlichen Einfluss auf die Regression ausüben und u. U. zu einer Verzerrung der Funktion führen. Um diesen Einfluss zu minimieren, erfolgt die Zusammenfassung der Abschnitte in Klassen mit einer Breite von 2.500 Kfz/24h. Die UR jeder Klasse basiert auf Mittelwertbildung der Einzelfälle.

Die klassifizierten UR zeigen einen fallenden degressiven Verlauf über den DTV. Daten liegen für einen Bereich von 5.000 bis 22.500 Kfz/24h vor. Der Verlauf der UR kann über eine Regression mit Hilfe folgender Potenzfunktion beschrieben werden:

$$UR(LS) = 586 * DTV^{-0,717} \quad \text{Gl. 20}$$

UR - Unfallrate sonstiger Unfall mit Sachschaden
[U/(10⁶ * Kfz * km)]

Die dargestellte UR-Funktion spiegelt die mittlere zu erwartende UR nach Verkehrsaufkommen wider. Mögliche Defizite der einzelnen Strecken – die einen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit besitzen – sind ebenfalls Bestandteil der Funktion. Es ist für den Q „dreistreifig“ nicht bekannt, welche Merkmale in welcher Höhe einen Einfluss auf das Unfallgeschehen besitzen. Daher kann in diesem Zusammenhang nur eine Abschätzung des quantitativen Einflusses von Merkmalen erfolgen. Aus den Modellen U(LS) für Q 9 und Q 11 resultiert vereinfachend ein Erklärungsanteil der systematischen

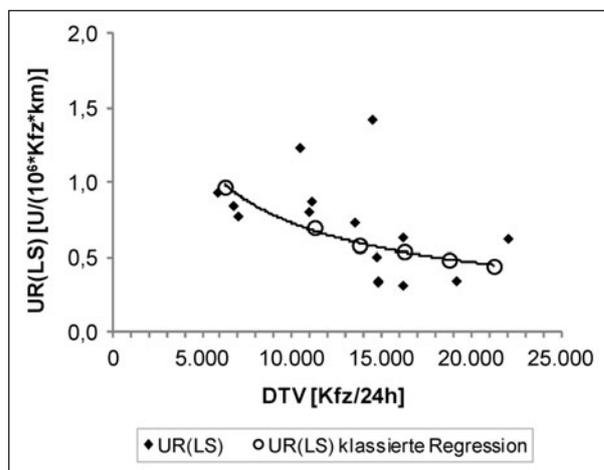


Bild 35: Klassifizierung UR(LS) für Q „dreistreifig“

Streuung von ca. 55 %. Es ist nicht auszuschließen, dass in diesen Modellen Merkmale unberücksichtigt bleiben, die vereinzelt einen negativen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit aufweisen. Desweiteren sind Merkmale enthalten, die kein unmittelbares Defizit im Sinne des HVS (BARK et al. 2008) darstellen.

Um eine quantitative Abschätzung der für Q 9, Q 11 und Q 21³ berücksichtigten Merkmale zu erzielen, erfolgt für U(LS) die Gegenüberstellung des Expositionsmodells – der Prädiktor beinhaltet neben der Konstante lediglich den DTV als erklärende Variable – mit der Funktion U(LS) des Gesamtmodells. Die Differenz zwischen beiden Funktionen spiegelt den Einfluss auf das Unfallgeschehen wider, der auf Defiziten und weiteren Eigenschaften beruht. Für Q 9 sinkt die Unfallhäufigkeit U(LS) um 55 %, für den Q 11 ebenfalls um 55 % und für den Q 21 um 75 %. Das Niveau variiert für die Querschnittsgruppen, ermöglicht aber eine Quantifizierung des Niveaus für den Q „dreistreifig“. Da eine genaue Abschätzung des Niveaus nicht möglich ist, wird eine konservative Schätzung des Grundunfallgeschehens U(LS) vorgenommen. Es wird vermutet, dass ohne Berücksichtigung aller möglichen Defizite die U(LS) für Q „dreistreifig“ auf einem Niveau von 65 % (-35 %) des Ausgangsniveaus liegen. Die Unfallhäufigkeit sinkt um 35 %. Damit liegt die Grundfunktion UR(LS) des Q „dreistreifig“ geringfügig unter dem Niveau des Q 11 (Bild 36). Diese Funktion wird in den weiteren Untersuchungen als maßgebend angenommen.

³ Anpassung UR(LS) für Q 15,5 erfolgte nach Berechnung der restlichen Querschnitte.

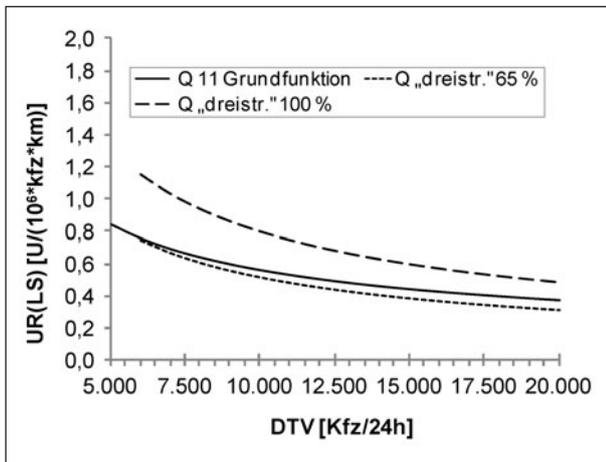


Bild 36: (Grund-)Funktion UR(LS) für Q „dreistreifig“ und Q 11

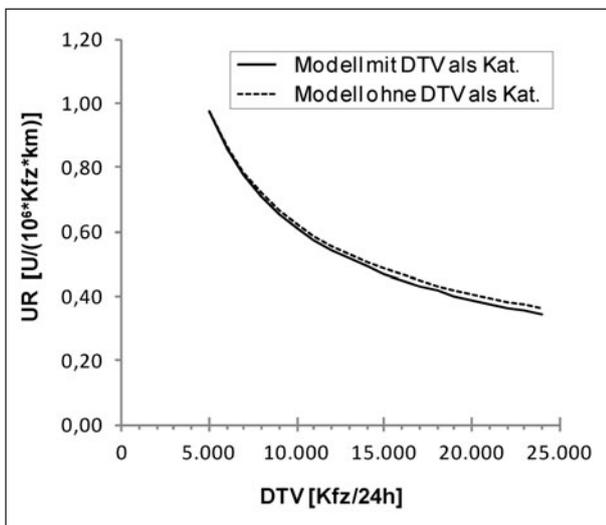


Bild 37: Grundfunktion UR mit/ohne DTV als Kat. für Q „dreistreifig“

Die Grundfunktion der Modelle U(P) und U(SS) sind in Bild 38 dargestellt. Es sind beide Teilmodelle U(P) enthalten, der Zuschlag für zweistreifige Abschnitte wird als eigene Funktion berücksichtigt. Die Gleichungen sind Tabelle 26 zu entnehmen.

Die Grundfunktion UR(P) mit DTV als kategorialer Variable weist über den gesamten gültigen Bereich gegenüber ihrem Pendant ein niedrigeres Niveau auf. Der höhere Anstieg der Funktion wird maßgebend durch die Abschnitte mit geringem DTV geprägt. Die Grundfunktion UR(P) ohne DTV als kategoriale Variable beschreibt für alle betrachteten Abschnitte das Unfallgeschehen ausreichend genau. Dies spiegelt sich in der Überlagerung beider Funktionen U(P) im Bereich hoher Verkehrsstärken wider, wenn für das Modell U(P) mit DTV-Kat. der Zuschlag berücksichtigt wird. Der Zuschlag erklärt eine Differenz von ca. 35 % der UR(P). Für U(SS) ist ein niedriges Niveau der Grundfunktion, auch gegenüber dem Q 9 und Q 11 zu verzeichnen.

Wird die Grundfunktion UR(LS) in die Betrachtung einbezogen, variiert der Anteil U(LS) an der UR in Abhängigkeit der Verkehrsstärke zwischen 84 % (niedriger DTV) und 75 %. Unterschiede aufgrund

Kategorie	k _{UR}	f _{UR}
UR(P) mit DTV-Kat.	2,733	-0,407
UR(P) ohne DTV-Kat.	0,475	-0,199
UR(SS)	0,579	-0,306
UR(LS)	381	-0,717

Tab. 26: Parameter Grundfunktion UR Q „dreistreifig“

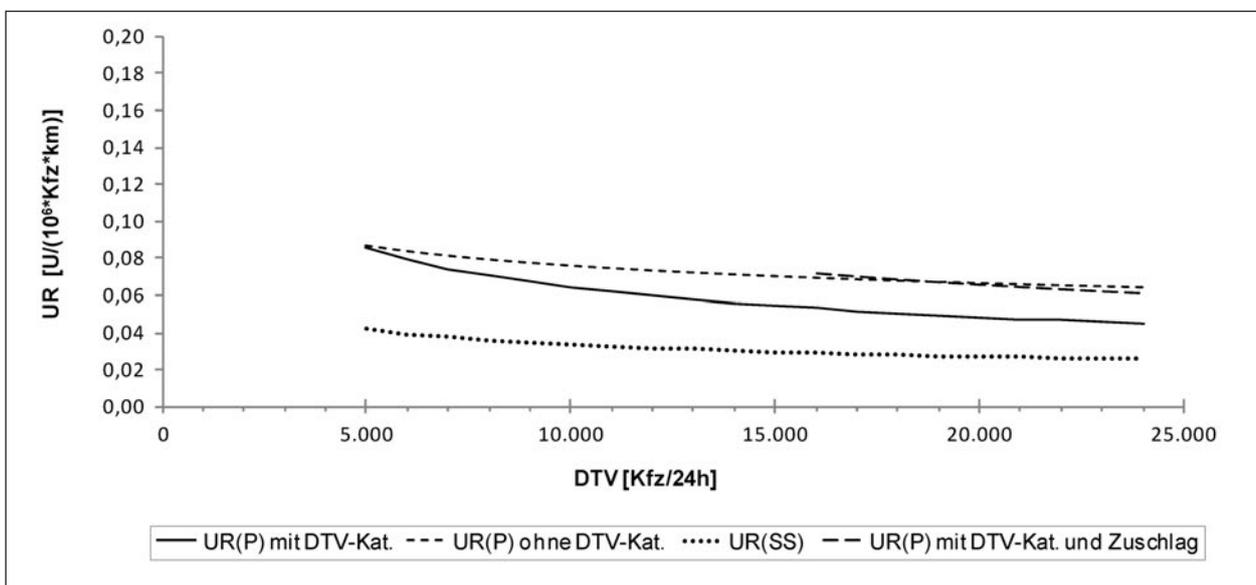


Bild 38: Grundfunktion UR U(P) mit/ohne DTV als Kategorie und U(SS) für Q „dreistreifig“

der Teilmodelle U(P) bleiben bei der Betrachtung der UR marginal. Dies gilt auch für die Betrachtung der UR nach Anzahl der Fahrstreifen. Da der Koeffizient für TB_{2FS} nur die Hälfte der Größenordnung des Koeffizienten für $DTV_{(KAT)}$ aufweist, bleibt die Wirkung auf die UR gering. Die volkswirtschaftliche Betrachtung der Unfälle spiegelt den Unterschied stärker wider.

Für das Kollektiv Q „dreistreifig“ liegt folgender Erkenntnisstand zu den Modellen vor:

- Sieben Merkmale besitzen einen signifikanten Einfluss auf die Unfallhäufigkeit des Q „dreistreifig“.
- Für U(LS) liegt kein Unfallmodell vor. Auf Basis klassifizierter UR von 19 Strecken fundiert die Berechnung einer UR-Funktion. Die Grundfunktion UR(LS) entspricht dem 65-%-Niveau der UR-Funktion. Die Anpassung berücksichtigt die Ergebnisse anderer Teilmodelle U(LS). Es liegt keine Identifikation von Merkmalen, die mutmaßlichen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit U(LS) besitzen, vor.
- Für U(P) liegen zwei Teilmodelle – Unterscheidung mit/ohne DTV als Kategorie – vor. Ab einem $DTV > 16.000$ Kfz/24h liegt eine Veränderung in der Entwicklung der U(P) bei sonst konstanten Rahmenbedingungen vor.
- Zweistreifige Abschnitte weisen gegenüber dreistreifigen Abschnitten eine um 17 % höhere Unfallhäufigkeit auf. Einbahnig dreistreifige Ab-

schnitte werden unabhängig von ihrem Querschnitt in einer Gruppe berücksichtigt. Einbahnig zweistreifige Abschnitte des Q 11,5+ werden über einen separaten Zuschlag bewertet.

- Die Verwendung des Merkmals Akp weist einen höheren signifikanten Zusammenhang gegenüber PgsAkp in den Modellen auf. Vor dem Hintergrund einer einheitlichen Definition von Zuschlägen im HVS ist aber auch die Anwendung des Merkmals PgsAkp abzuwägen.

4.6 Querschnitt 21

4.6.1 Parameter Teilmodelle

Der zweibahnig vierstreifige Querschnitt Q 21 stellt aufgrund der baulichen Fahrtrichtungstrennung eine Besonderheit der Landstraßenquerschnitte dar. Insgesamt 63 km Netzlänge, aufgeteilt auf 56 Abschnitte, liegen nach Ausschluss unzureichender Fälle dem Untersuchungskollektiv U(P) und U(SS) zugrunde. Es erfolgt eine Bewertung des Gesamtquerschnitts. Dies setzt eine identische Querschnittsgestaltung voraus. Folgende Kriterien führen zum Ausschluss:

- Abschnittslänge $L < 300$ m; aufgrund höherer zulässiger Geschwindigkeiten ist davon auszugehen, dass sich auf kürzeren Abschnitten kein homogenes Fahrverhalten einstellt.
- Keine Trennung der Fahrbahn durch baulichen Mittelstreifen; im Kollektiv liegt das Merkmal

Teilmodell	U(P)		U(SS)		U(LS)	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-13,280	***	-15,568	**	-12,005	****
ln (DTV)	,568	*	,716	0,130	,587	*
FBB < 7,75 m	,205	0,202	,355	0,310		
RSB < 0,50 m	,299	0,105			,426	****
FRT					,216	***
HK					,170	**
KU			,018	0,084		
WS					,417	**
PGS	,120	*				
AIC ³	206		129		181	
Varianz ²	1,12		1,023		1,433	
Varianz Nullmodell ²	1,35		2,373		2,73	

¹ Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten * < 0,5, ** < 0,01, *** < 0,001, **** < 0,0001
² Varianz der Modelle beruht auf der Berechnung mit Poissonverteilung
³ korrigiertes AIC (AICC), Anwendung bei geringen Stichprobengrößen
 Bemerkung: In den Modellen für Q 21 ist die Länge ebenfalls mit dem Faktor 1.000 zu multiplizieren.

Tab. 27: Ergebnisse der Modellrechnung Q 21

„keine Mittelstreifentrennung“ nur auf zwei Abschnitten vor. Eine verlässliche Bewertung des Merkmals ist daher nicht möglich. Um einen Einfluss auf das Restkollektiv auszuschließen, bleiben diese Abschnitte unberücksichtigt.

- Abschnitte ohne passive Schutzeinrichtungen im Mittelstreifen.

Im Modell U(LS) sind 36 Abschnitte berücksichtigt. Es liegen drei Teilmodelle nach Unfallschwere vor. Ein signifikanter Einfluss des DTV als kategoriale Variable ist für keines der Modelle nachweisbar.

Für das Modell U(SS) liegt bei der Berechnung mit der Poissonverteilung nahezu keine systematische Streuung mehr vor. Der Berechnung der beiden anderen Modelle liegt die negative Binomialverteilung zugrunde. Für das Modell U(P) können vereinfacht 65 %, für das Modell U(LS) ca. 75 % der systematischen Streuung erklärt werden. Aufgrund der geringen Kollektivgröße unterliegt diese Aussage jedoch Einschränkungen.

DTV

Allen Teilmodellen ist ein degressiver Anstieg der Unfallhäufigkeit mit Zunahme des DTV eigen. Für U(P) und U(LS) entspricht dieser Zusammenhang nahezu einer Wurzelfunktion.

FBB, RSB

Das Merkmal FBB ist Bestandteil der Modelle U(P) und U(SS). Für beide Teilmodelle liegt ein schwach signifikanter Einfluss des Merkmals vor. Aufgrund des Kriterienkatalogs des HVS (BARK et al. 2008) bleibt das Merkmal Bestandteil der Modelle. Für $FBB < 7,75$ m erklären beide Modelle eine höhere Unfallhäufigkeit.

Bei Unterschreitung der RSB von 0,5 m – unabhängig der Größe des Merkmals FBB – weist das Modell U(P) ebenfalls eine Erhöhung der Unfallhäufigkeit aus. FBB und RSB weisen nur eine schwache Korrelation ($r = 0,37$) auf. Das Auftreten beider Merkmale liegt im Kollektiv also relativ unabhängig voneinander vor.

FRT, HK, WS

Lediglich aus dem Modell U(LS) wird ein Einfluss der Merkmale FRT, HK und WS auf das Unfallgeschehen erklärt. Im Vergleich aller Querschnittsgruppen – für restliche Querschnitte resultiert ein Einfluss der FRT zumindest aus dem Modell U(P) –

stellt dieses Ergebnis für das Merkmal FRT eine Besonderheit dar. Mutmaßlich hat die Charakteristik des Q 21 (Trennung Fahrtrichtung, hohe Ausstattung mit passiven Schutzeinrichtung) Einfluss auf die Unfallfolgen und führt zu einer Verschiebung der Unfallschwere.

Ein Einfluss des im Kollektiv sehr selten (vier Abschnitte) auftretenden Merkmals Baumreihe auf Bankett (BB) liegt nicht vor. Da für das Merkmal Wald im Seitenraum (WS) eine signifikante Unfallhäufigkeit vorliegt, ist zu vermuten, dass das Auftreten von BB ohne passive Schutzeinrichtung zu einer mindestens ebenso deutlichen Verringerung der Verkehrssicherheit führt. Aufgrund der geringen Merkmalsausprägung bzw. der Verschleierung durch andere Merkmale ist ein Nachweis in diesem Kollektiv nicht möglich.

KU

Mit Zunahme der KU erklärt das Modell U(SS) einen Anstieg der Unfallhäufigkeit. Korrelationen zwischen KU und anderen Merkmalen der Teilmodelle liegen nicht vor. Demnach stellt die KU ein die topografischen Eigenschaften beschreibendes Merkmal dar.

PGS

Im Gegensatz zum Q „dreistreifig“ weist das Modell U(P) lediglich für PGS einen signifikanten Zusammenhang zum Unfallgeschehen auf. Dies ist plausibel. Anschlussknotenpunkte (Akp) ohne eine Veränderung der baulichen oder verkehrstechnischen Charakteristik der Strecke stellen absolute Ausnahmen des Q 21 dar. Ein Auftreten des Merkmals ist mutmaßlich mit einer Verringerung der Verkehrssicherheit verbunden. Aufgrund des Fehlens dieses Merkmals sind eine Qualifizierung und Quantifizierung nicht möglich. PGS werden über die Anzahl je Kilometer im Modell berücksichtigt.

Dass für den Q 21 gegenüber den einbahnigen Querschnitten (speziell Q 9, Q 11) nur eine geringe

Merkmal	Minimum	Maximum	Mittelwert
FBB [m]	6,1	8,3	7,2
FRT [Anzahl/km]	0	2,5	0,1
PGS [Anzahl/km]	0	8,0	0,8
KU [gon/km]	0	66,4	16,9
HK [%]	0,1	5,8	1,3

Tab. 28: Deskriptive Kenngrößen der Merkmale Q 21

gere Anzahl identifizierter Defizite vorliegt ist nahelegend. Zweibahnigen Strecken liegen durch den Anspruch einer meist sehr gestreckten Linienführung höhere Aufwände bei Planung und Bau zugrunde. Die Trassierungselemente weisen aufgrund der vorgegebenen Mindestgrenzen größere Längenentwicklungen auf. Die bauliche Trennung der Fahrtrichtung mit passiven Schutzeinrichtungen und der mutmaßlich stärkere Einsatz von Verkehrstechnik sind weitere Merkmale. Es ist anzunehmen, dass Defizite nur selten vorzufinden bzw. die Kriterien beschränkt sind. Für einen signifikanten Nachweis, dass ein selten auftretendes Kriterium einen Einfluss auf das Unfallgeschehen besitzt, ist die Analyse eines sehr großen Kollektivs notwendig. Der Einsatz des Q 21 erfolgt im Straßennetz dafür zu selten. Die im Rahmen der Untersuchung ausgewählten Strecken stellen einen repräsentativen Querschnitt des Q 21 in Deutschland dar. Daher ist anzunehmen, dass die in den Teilmodellen des Q 21 identifizierten Merkmale und deren Häufigkeit, die Grundgesamtheit der Strecken repräsentieren.

4.6.2 Residuenanalyse

In allen drei Teilmodellen sind deutliche Überschreitungen von Cook-Distanz und Hebelwert Gründe für einen Ausschluss von Fällen in der Residuenanalyse.

Die Residuen des Modells U(P) streuen unsystematisch um den Wert „0“. Es liegt Homoskedastizität vor. Aus Bild 39 ist gleichzeitig die Spannbreite des DTV für den Q 21 abzulesen. Für das Kollektiv stimmt diese annähernd mit den Forderungen aus den RAL (FGSV 2008a), die eine obere Begrenzung zweibahnig vierstreifiger Querschnitte bei einem DTV von 30.000 Kfz/24h vorsieht, überein. Für das Modell U(SS) sind nach dem Ausschluss auffälliger Werte keine Besonderheiten in den Residuenplots festzustellen.

Aufgrund der verschiedenen Aufnahmekriterien für Unfälle der Kategorie 5 in den Bundesländern und der weiteren Modelleinschränkungen liegen nach Ausschluss auffälliger Werte dem Modell U(LS) 34 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 36 km zugrunde. Gleichmaßen wie auch bei den anderen Querschnittsgruppen gilt, dass die Residuen des Modells U(LS) durch höhere Streuung gekennzeichnet sind. Die kumulierten Residuen, abgetragen über den DTV, zeigen eine deutliche Streuung (Bild 40). Ab einer Verkehrsstärke von ca. 25.000

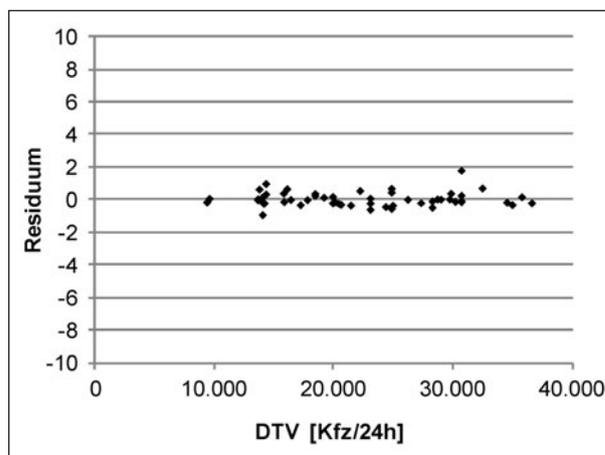


Bild 39: Residuen für Modell Q 21 U(P) nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

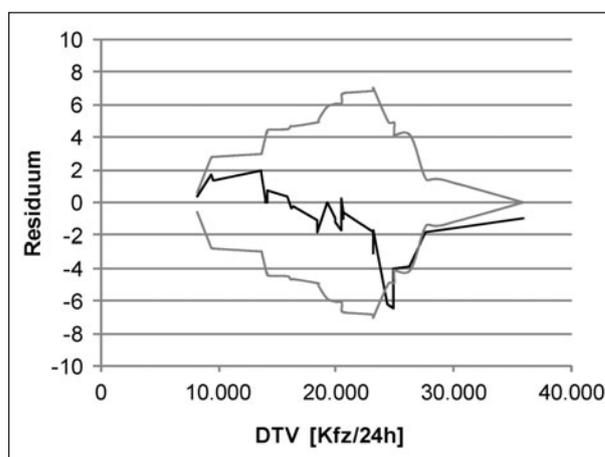


Bild 40: Cure-Plot der Residuen für Modell Q 21 U(LS) nach Ausschluss auffälliger Abschnitte

Kfz/24h überschreitet die Funktion der kumulierten Residuen den Vertrauensbereich von $\pm 2 \delta^*$ geringfügig. Das Modell erklärt die Kenngröße des DTV in diesem Bereich – 9 Streckenabschnitte – nur eingeschränkt. Für eine Beschreibung des Unfallgeschehens wird das Modell U(LS) als ausreichend genau eingestuft.

4.6.3 Grundfunktionen

Das Niveau aller UR-Funktionen nach Schwere sinkt mit zunehmender Verkehrsstärke. Für die UR(LS) ist dieser Zusammenhang besonders deutlich ausgeprägt. Für die UR(SS) gilt im betrachteten DTV-Bereich ein nahezu linearer Zusammenhang (Bild 41). Auch die UR(P) ändert sich ab einem DTV von ca. 24.000 Kfz/24h und sonst konstanten Randbedingungen nur noch geringfügig. Unabhängig von der Verkehrsstärke sind ca. 75 % der Unfälle der Kategorie 5 zuzuordnen.

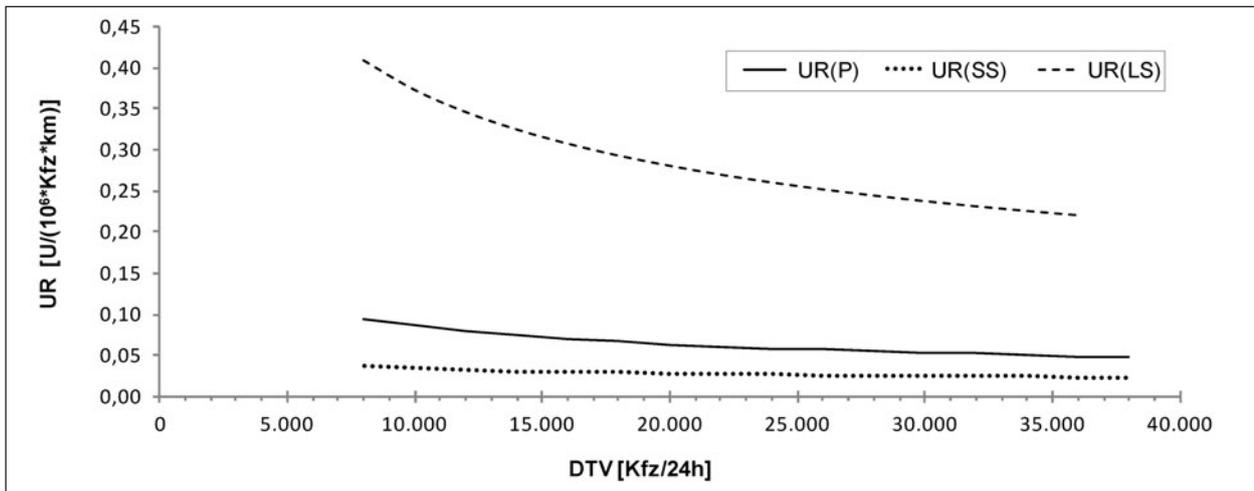


Bild 41: Grundfunktion UR nach Unfallschwere für Q 21

Kategorie	k_{UR}	f_{UR}
UR(P)	4,682	-0,434
UR(SS)	0,475	-0,285
UR(LS)	16,750	-0,413

Tab. 29: Parameter Grundfunktion UR Q 21

Folgende Sachverhalte sind für den Q 21 festzuhalten:

- Abschnitte des Q 21 ohne bauliche Mitteltrennung sind nicht Bestandteil der Untersuchungen.
- Aus den drei Teilmodellen nach Unfallschwere liegen sieben signifikante Merkmale, die Einfluss auf das Unfallgeschehen besitzen, vor. Das Modell U(SS) erklärt nahezu vollständig die systematische Streuung.
- Da aus den zur Verfügung stehenden Daten die planerisch zugrunde gelegte EKL nicht abzuleiten ist bzw. eine Differenzierung nach v_{zul} im Modell keine signifikanten Ergebnisse liefert, erfolgt keine differenzierte Abbildung von Grundfunktionen in Abhängigkeit der EKL bzw. v_{zul} wie im HVS (BARK et al. 2008) vorgesehen.
- Aus der Unterschreitung der Fahrbahnregelbreite nach den RAL (FGSV 2008a) resultiert eine Zunahme der Unfallhäufigkeit.
- Die topografischen Eigenschaften Hügeligkeit (HK) und Kurvigkeit (KU) sowie das Umfeldmerkmal Wald im Seitenraum (WS) besitzen einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen.

- Der Einfluss des Merkmals DTV wird mit dem Modell U(LS) über einen Bereich von 25.000 Kfz/24h eingeschränkt beschrieben.

4.7 Funktionen der Unfallraten für die Querschnitte

4.7.1 Grundfunktionen

Die UR-Grundfunktionen berücksichtigen keine Zuschläge aufgrund von Defiziten oder topografischen Eigenschaften. Der Koeffizient für kategoriale, stetige und kombinierte Merkmale besitzt die Größenordnung null. Maßgebenden Einfluss auf die Höhe der UR besitzt der DTV. Die Darstellung der Funktionen orientiert sich am zugrunde liegenden DTV-Bereich der Kollektive. Der Q 21 ist gemäß den Einsatzgrenzen nur bis zu einem DTV von 30.000 Kfz/24h dargestellt.

Bild 42 und Bild 43 enthalten die Grundfunktionen UR(P, SS) mit bzw. ohne DTV als Kategorie. Die Funktion des Q 21 ist identisch. Allen Querschnitten ist eine fallende UR(P, SS) mit Zunahme des DTV eigen. Im Vergleich der Grundfunktionen UR(P, SS) mit DTV als Kategorie ist Folgendes festzustellen:

- Der Q 9 weist im Bereich geringer Verkehrsstärken einen deutlichen Anstieg auf. Gleiches gilt für den Q 11. Dabei liegt die UR-Grundfunktion des Q 9 deutlich über dem Niveau des Q 11, nähert sich dieser aber mit zunehmender Verkehrsstärke an.
- Bei gleicher Verkehrsstärke weist der Q „dreistreifig“ gegenüber dem Q 11 und Q 21 die

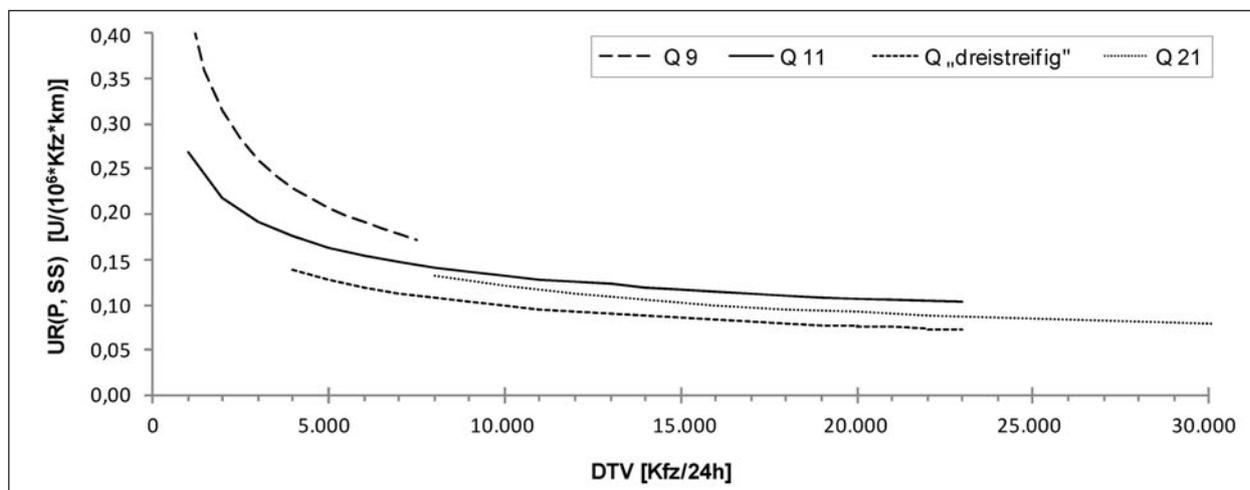


Bild 42: Grundfunktion UR(P, SS) mit DTV als Kategorie für Querschnittsgruppen

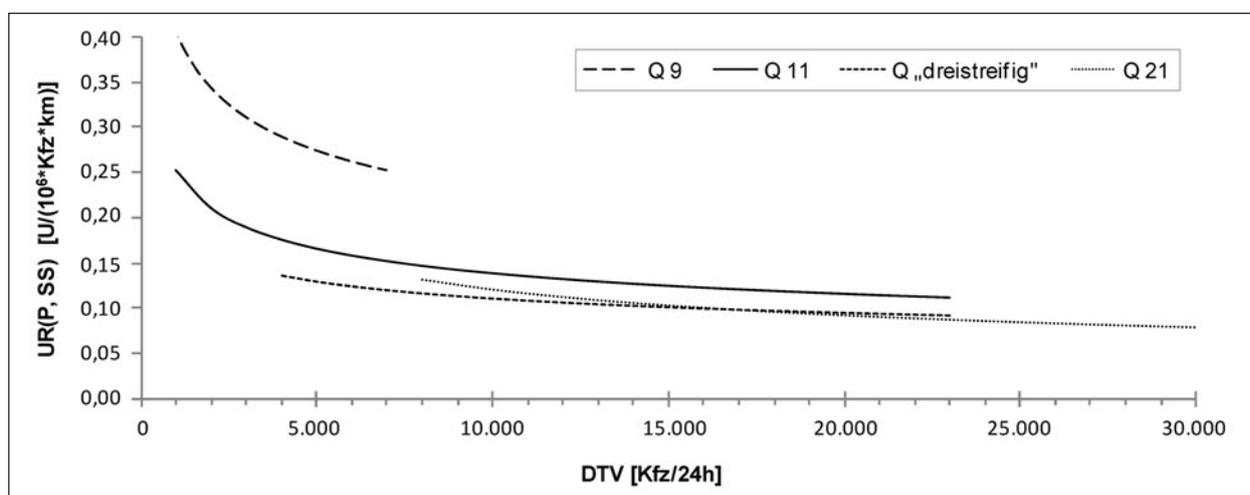


Bild 43: Grundfunktion UR(P, SS) ohne DTV als Kategorie für Querschnittsgruppen

höchste Verkehrssicherheit auf. Die UR(P, SS) unterschreitet das Niveau des Q 11 um ca. 25 %, das des Q 21 um ca. 18 %. Das Verhältnis der genannten Funktionen untereinander ändert sich in Abhängigkeit des DTV nur geringfügig.

- Mit Ausnahme des Q 21 ist für alle Querschnittsgruppen ein Zuschlag im Bereich hoher Verkehrsstärken zu berücksichtigen. Für zweistreifige Abschnitte des Q 11,5+ erhöht sich die UR(P, SS) um ca. 10 %.

Für Grundfunktionen UR(P, SS) ohne DTV als Kategorie gilt:

- Das Niveau des Q 11 liegt um ca. 39 % unter dem Niveau des Q 9 unabhängig von der Verkehrsstärke.
- Der Q „dreistreifig“ weist gegenüber dem Q 11 eine höhere Verkehrssicherheit auf. Die

UR(P, SS) liegt nahezu konstant um ca. 21 % unter dem Wert des Q 11.

- Unterhalb seiner Einsatzgrenze von 15.000 Kfz/24h (FGSV 2008a) weist der Q 21 eine gegenüber dem Q „dreistreifig“ höhere UR(P, SS) auf. Im Bereich höherer Verkehrsstärken fällt die Funktion unter das Niveau des Q „dreistreifig“.

Die Berücksichtigung des Merkmals DTV als Kategorie hat zur Folge, dass diese Grundfunktionen gegenüber den Grundfunktionen ohne DTV als Kategorie ein niedrigeres Niveau der UR(P, SS) aufweisen. Besonders deutlich fällt dieser Unterschied für den Q 9 aus.

Die Betrachtung des gesamten Unfallgeschehens – mit U(LS) – hat eine Veränderung der Funktionen zueinander zur Folge (Bild 44 und Bild 45). Die UR des Q 11 weist im Bereich geringer Verkehrsstärken einen deutlicheren Anstieg auf. Ursache ist

eine erhebliche Zunahme von U(LS). Im Bereich von 5.000 Kfz/24h ist der Unterschied der UR zwi-

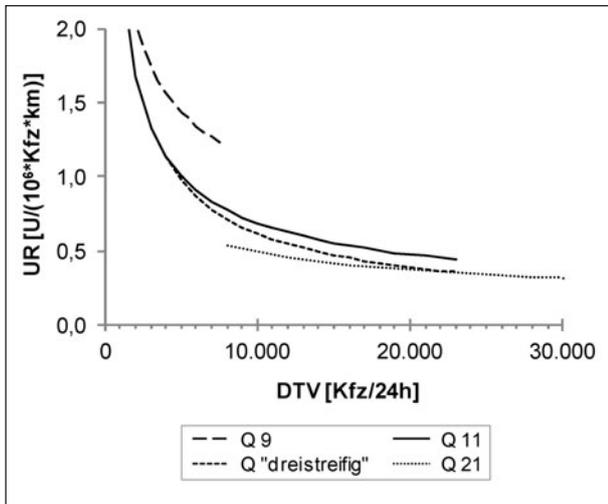


Bild 44: Grundfunktion UR mit DTV als Kategorie für alle Querschnittsgruppen

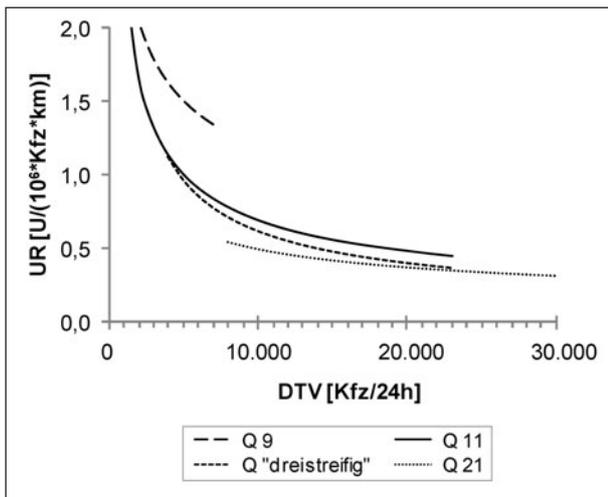


Bild 45: Grundfunktion UR ohne DTV als Kategorie für alle Querschnittsgruppen

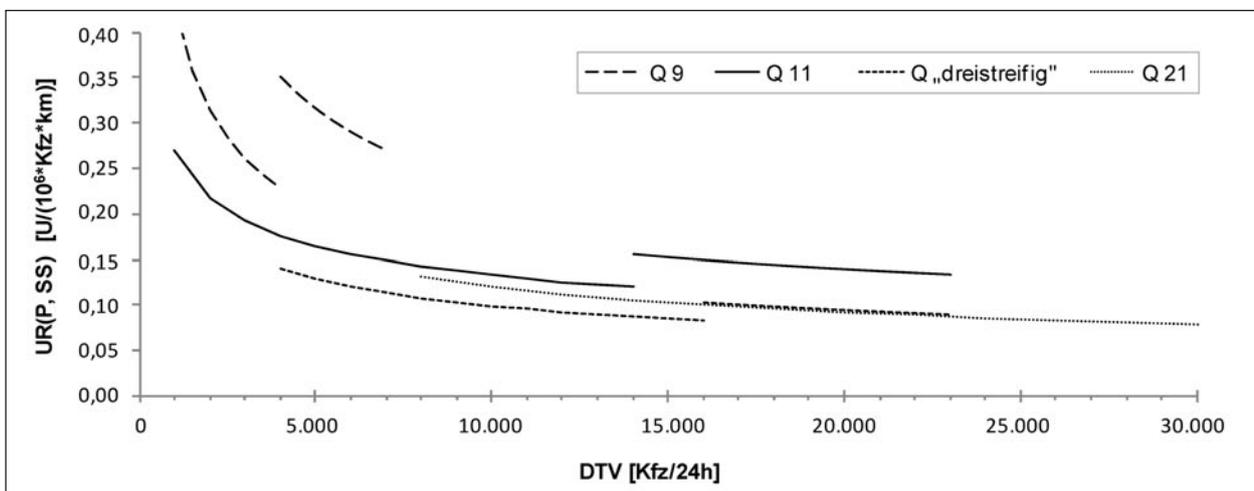


Bild 46: Grundfunktion UR(P, SS) mit DTV als Kategorie für Querschnitte bei lediglich Berücksichtigung DTV als Defizit

sehen Q 11 und Q „dreistreifig“ marginal. Mit zunehmender Verkehrsstärke weist der Q „dreistreifig“ eine höhere Verkehrssicherheit auf. Der Q 21 besitzt die niedrigste UR-Grundfunktion. Aufgrund des hohen Anteils von U(LS) am Unfallgeschehen sind die Unterschiede in der UR für die Betrachtung der Modelle mit/ohne DTV als Kategorie gering. Eine stärkere Differenzierung resultiert aus der volkswirtschaftlichen Bewertung.

4.7.2 Anwendungsbeispiele Modelle

Mit Hilfe der Unfallmodelle ist eine Ermittlung der Verkehrssicherheit für verschiedene Merkmalskombinationen gegeben. Dies ermöglicht einen Vergleich der Verkehrssicherheit von Querschnitten bei unterschiedlichen Randbedingungen. Die Ergebnisse besitzen Gültigkeit, wenn die gewählten Merkmale in ihrer Größenordnung die Spannweite des zugrunde liegenden Kollektivs nicht überschreiten. Nachfolgend ist die Anwendung der Modelle zur Ermittlung der Verkehrssicherheit anhand von Beispielen auf Basis der UR(P, SS) beschrieben.

Der Zuschlag DTV ist für die Modelle mit DTV als Kategorie zwangsläufig zu berücksichtigen. Dies führt zu einer Verschiebung der Funktionen in Bereichen hoher Verkehrsstärken (Bild 46). Im Vergleich der Querschnitte zeigt der Q 9 – resultierend aus dem Teilmodell U(P) – den deutlichsten Unterschied. Die derartig klare Zunahme der Verkehrsunsicherheit resultiert aus der Modellvorschrift und entspricht einer vereinfachten Darstellung (Vergleiche Kap. 4.2). Deutlich wird, dass der Einsatz des Q 9 über eine Verkehrsstärke von 4.000 Kfz/24h nicht zu empfehlen ist. Für den Q 11 und Q „dreistreifig“ fällt die Differenz für die UR(P, SS) geringer

aus. Es wird deutlich, dass bei diesen Randbedingungen – keine Berücksichtigung weiterer Defizite oder Eigenschaften – der Q 11 gegenüber dem Q „dreistreifig“ und Q 21 ab einem DTV von 14.000 Kfz/24h eine deutlich höhere UR(P, SS) aufweist.

Der quantitative Einfluss eines Defizits oder einer Eigenschaft unterscheidet sich aufgrund der Modellparameter in den Querschnittsgruppen. Die Berücksichtigung eines Zuschlags hat für die Querschnittsgruppen eine verschiedene quantitative Entwicklung der Verkehrssicherheit zur Folge. Bei der Addition von Teilmodellen – bspw. U(P) und U(SS) – bleibt die Unfallschwere unberücksichtigt. Aus der Darstellung von UR(P, SS) ist kein Rückschluss möglich, aus welchem der Teilmodelle eine Zunahme der Unfallhäufigkeit resultiert.

Bild 47 stellt die UR(P, SS) der Querschnittsgruppen mit DTV als Kategorie und einer Hügeligkeit HK = 2 % dar. Der Q 21 weist zudem eine Kurvigkeit (KU) von 30 gon/km auf. Der Einfluss der HK auf die Unfallhäufigkeit des Q 9 ist unter gegebenen Bedingungen marginal. Das Niveau der UR(P, SS) bleibt für diesen Querschnitt gegenüber dem Fall HK = 0 % (Bild 46) nahezu unverändert, während für den Q 11 eine Erhöhung der UR(P, SS) um ca. 12 % festzustellen ist. Somit verringert sich die Differenz zwischen beiden Querschnitten. Einen hohen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit besitzt die HK für den Q „dreistreifig“. Gegenüber der UR-Grundfunktion weist der Querschnitt eine Zunahme der UR(P, SS) um 46 % auf. Dies hat zur Folge, dass Q 11, Q „dreistreifig“ und Q 21 für einen DTV < 14.000 Kfz/24h sehr ähnliche UR(P, SS) aufweisen. Aufgrund des Zuschlags DTV weist der Q „dreistreifig“ ab einem DTV von 14.000 Kfz/24h

gegenüber dem Q 11 eine höhere Verkehrssicherheit auf. Für hohe Verkehrsaufkommen besitzt der Q 21 die niedrigste Unfallhäufigkeit U(P, SS).

Da die Hügeligkeit bis zu einer bestimmten Größenordnung kein Defizit im eigentlichen Sinne, sondern eine topografische Eigenschaft darstellt, WERDEN der Einfluss der Trassierungsparameter auf die Linieneinführung der Strecke und damit indirekt der Einsatzbereich der Entwurfsklassen (EKL) deutlich.

Eine sehr gestreckte Linieneinführung für den EKL 1 führt gegenüber einer Linieneinführung der EKL 4 i. d. R. zu einer Verringerung der Hügeligkeit. Ausnahme bilden Abschnitte mit ausschließlich Steigungsstrecken.

In Bild 48 sind die UR(P, SS) ohne DTV als Kategorie des Q 11 dem Q 9 unter verschiedenen Bedingungen gegenübergestellt. Für alle Funktionen

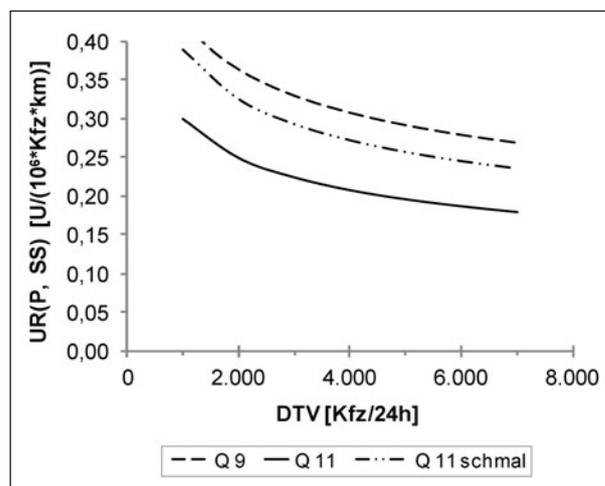


Bild 48: Funktion UR(P, SS) ohne DTV als Kategorie für Q 9 und Q 11, HK = 3 % für alle Q und FSB < 3,25 m und RSB < 0,5 m für Q 11 schmal

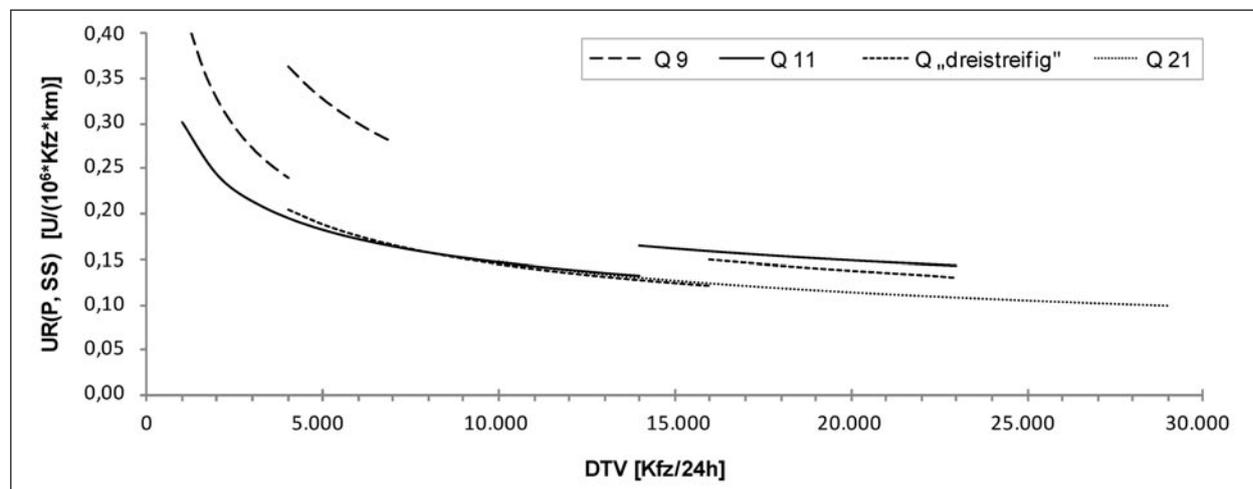


Bild 47: Funktion UR(P, SS) mit DTV als Kategorie für Querschnitte bei Berücksichtigung der Zuschläge DTV, HK = 2 % für alle Q und KU = 30 gon/km für Q 21

gilt eine Hügeligkeit $HK = 3\%$. Ceteris paribus liegt die UR(P, SS) des Q 11 um ca. 32 % unter dem Niveau des Q 9. Gilt die Annahme, dass der Q 11 eine $FBB < 3,25\text{ m}$ und eine $RSB < 0,5\text{ m}$ – also eine deutlich zu schmale bauliche Ausprägung – aufweist, liegt die UR(P, SS) des Q 11 nur noch um ca. 10 % unter dem Niveau des Q 9. Die UR(P, SS) des Q 11 (schmal) nähert sich aufgrund der Besonderheiten dem Q 9 an. Ungeachtet dessen, dass beide Querschnitte nun eine ähnliche bauliche Gestaltung aufweisen, weist der Q 9 eine höhere Unfallhäufigkeit auf. Das ist plausibel. Beide Kollektive unterscheiden sich hinsichtlich der Trassierungsparameter für Lage- und Höhenplanelemente deutlich (FGSV 2008a). Q 9 weisen gegenüber Q 11 i. d. R. eine angepasste Linienführung auf. Es ist zu vermuten, dass weitere Eigenschaften, die nicht über die zur Verfügung stehenden Merkmale abgebildet werden können, Einfluss auf die Verkehrssicherheit besitzen. Die Unterschiede in der Unfallhäufigkeit spiegeln sich über die Größenordnung der Konstante k und des Koeffizienten der Expositionsgröße DTV in der Modellfunktion und damit im Kurvenverlauf der UR-Grundfunktion wider.

Folgende Restriktionen gelten für die Anwendung der Modellfunktionen allgemein:

- Die Funktionen besitzen Gültigkeit für Streckenabschnitte außerhalb des Einflussbereichs von Knotenpunkten mit einer Länge $L \geq 250\text{ m}$.
- Die Höhe der ermittelten Koeffizienten der verschiedenen Merkmale beruht auf einer Schätzung der Funktionen mit der negativen Binomialverteilung. Im Rahmen der Modellgenauigkeit und des poissonverteilten Auftretens von Unfällen bestehen Differenzen zwischen berechnetem und tatsächlichem Unfallgeschehen.
- Die Aussagekraft der Modelle ist auf den Verkehrsstärkenbereich der verwendeten Abschnitte beschränkt. Extrapolationen über diesen Bereich hinaus sind nicht zulässig.
- Die Spannweite der Zuschläge ist ebenfalls durch die beobachteten Werte begrenzt.

Weiterhin ist der deutliche Anstieg der UR-Grundfunktionen für Q 9 und Q 11 im Bereich geringer Verkehrsstärken zwischen 500 und 2.000 Kfz/24h zu diskutieren. Dieser resultiert aus der Schätzung der Modellparameter. Für alle Teilmodelle nach Schwere gilt, dass die Modelle das Merkmal DTV mit ausreichender Genauigkeit – keine Überschrei-

ung des Vertrauensbereiches $\pm 2\delta^*$ – beschreiben. Hohe UR im Bereich geringer Verkehrsstärken sind unmittelbar auf die Berechnung der UR aus dem Quotient von Unfallanzahl und Fahrleistung zurückzuführen. Strecken mit geringem DTV weisen somit ein hohes Unfallrisiko auf.

Für Strecken mit geringem Verkehrsaufkommen gilt, dass absolut kleine Differenzen zwischen tatsächlichen und in den Daten vorliegenden Verkehrsaufkommen – wenn keine unmittelbaren Zähl-daten vorliegen – bereits eine verhältnismäßig große Schwankung der Unfallkenngrößen nach sich ziehen. Diese Differenzen entstehen aus zufälligen Fehlern, führen jedoch aufgrund des steilen Anstiegs der Funktionen zu hohen Abweichungen zwischen berechneter und tatsächlicher UR bzw. UKR.

Da Zähl-daten für Streckenabschnitte mit sehr geringem Verkehrsaufkommen überwiegend auf Schätzungen beruhen, wird eine Berechnung der UR und daraus resultierender Kenngrößen für einen Bereich mit einem $DTV < 1.000\text{ Kfz}/24\text{h}$ nicht empfohlen. Streckenabschnitte mit einem geringeren Verkehrsaufkommen sollten deshalb pauschal mit einem DTV von 1.000 Kfz/24h berechnet werden.

4.8 Volkswirtschaftliche Bewertung

4.8.1 Grundfunktionen

Die UKR-Grundfunktionen ($gUKR_{\bar{\lambda}}$) resultieren aus der monetären Bewertung des Unfallgeschehens eines Streckenabschnitts nach den Teilmodellen der Unfallschwere. Die $gUKR_{\bar{\lambda}}$ lässt sich aus der Addition der Teilmodelle wie folgt ableiten (s. Gleichung 21).

$$gUKR_{\bar{\lambda}} = \sum \frac{(e^{k_i} * e^{\sum x_i * b_i} * 10^6) * kSA_i}{(365 * DTV^{(1-b_i)})} \quad \text{Gl. 21}$$

$gUKR_{\bar{\lambda}}$ Grundunfallkostenrate -ähnlich
[€/ (1.000 * Kfz * km)]

k_i Konstante des Teilmodells i

x_i Einflussgröße i

b_i Koeffizient der Einflussgröße i

kSA_i Kostensatz nach Unfallschwere für Teilmodell i

DTV Durchschnittlich täglicher Verkehr

Die Funktionen der $gUKR_{\bar{A}}$ in Abhängigkeit des DTV lassen sich nach Gleichung 22 beschreiben.

$$gUKR_{\bar{A}} = k_{UKR} * DTV^{f_{UKR}} \quad \text{Gl. 22}$$

$gUKR_{\bar{A}}$ Grundunfallkostenrate -ähnlich
[€/ (1.000 * Kfz * km)]

k_{UKR} Grundniveau Funktion

f_{UKR} Koeffizient DTV i

Gegenüber den UR-Grundfunktionen werden die $gUKR_{\bar{A}}$ wesentlich durch U(P) geprägt. Grund ist der deutlich höhere Kostensatz $KS_{a,U(P)}$ im Vergleich zu den $KS_{U(SS)}$ und $KS_{U(LS)}$. Bild 49 und Bild

50 enthalten die UKR-Grundfunktionen mit bzw. ohne DTV als Kategorie.

Für die UKR-Grundfunktionen mit DTV als Kategorie gilt, dass der Q „dreistreifig“ die niedrigste UKR aufweist. Der Q 21 besitzt ein annähernd gleiches Sicherheitsniveau. Die Differenz der UKR zwischen diesen beiden Querschnitten ändert sich im gesamten betrachteten Bereich nur unwesentlich. Der Q „dreistreifig“ weist gegenüber dem Q 11 eine mit Anstieg des DTV zunehmend höhere Differenz der UKR auf. Das niedrigste Sicherheitsniveau besitzt der Q 9. Es ist zu berücksichtigen, dass die Funktionen keine Zuschläge beinhalten.

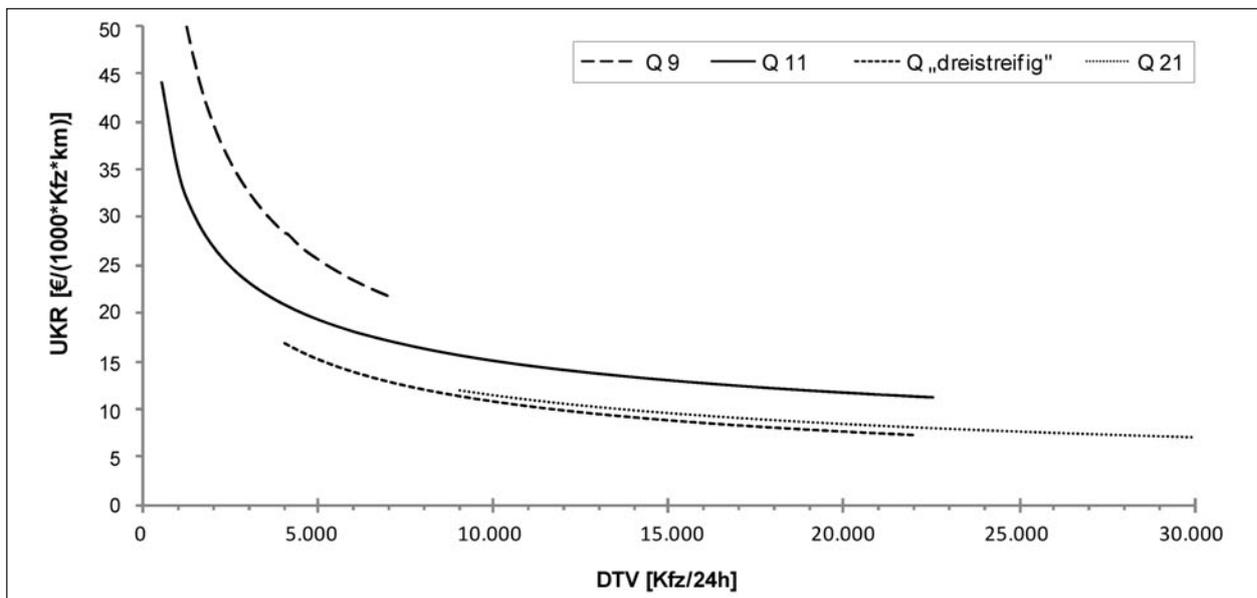


Bild 49: Grundfunktion UKR mit DTV als Kategorie

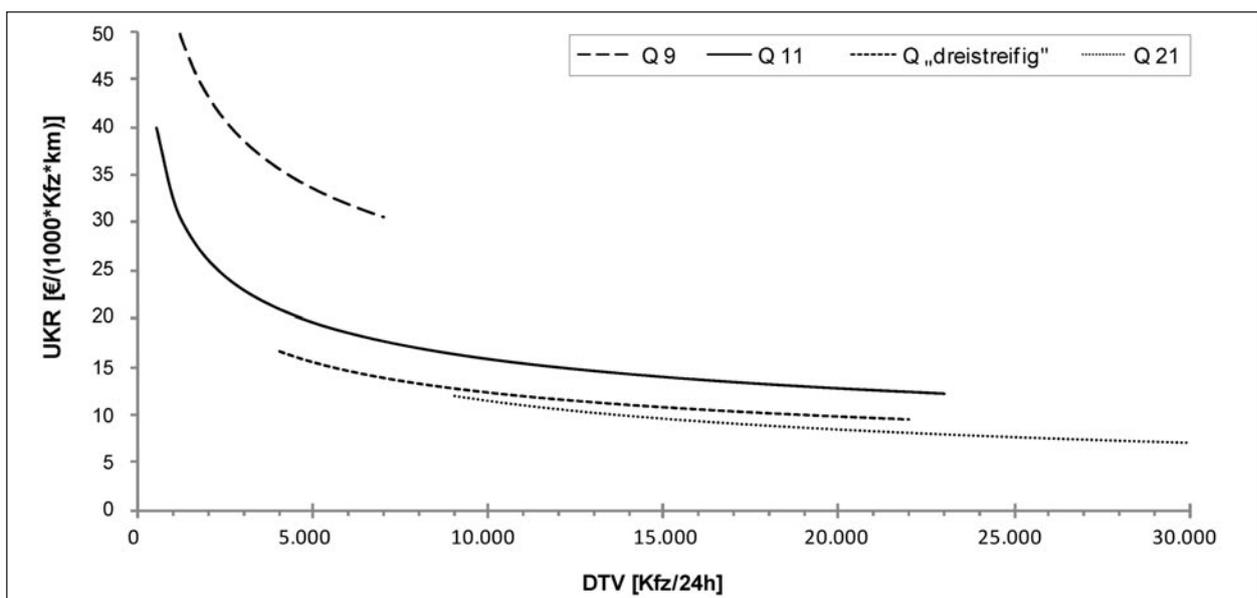


Bild 50: Grundfunktion UKR ohne DTV als Kategorie

Funktionen mit DTV als Kategorie		
Querschnitt	k_{UKR}	f_{UKR}
Q 9	1506	-0,479
Q 11	408	-0,358
Q „dreistreifig“	883	-0,478
Q 21	545	-0,420
Funktionen ohne DTV als Kategorie		
Q 9	348	-0,275
Q 11	270	-0,308
Q „dreistreifig“	265	-0,333
Q 21	545	-0,420

Tab. 30: Parameter UKR-Grundfunktion

Da für den Q 21 keine Veränderung der Funktion aufgrund des DTV als Kategorie auftritt, bleibt der Funktionsverlauf in Bild 50 identisch. Alle anderen Querschnitte weisen im dargestellten Bereich ein höheres Niveau der UKR-Grundfunktion auf. Somit besitzt der Q 21 bei der Betrachtungsweise der Funktionen ohne DTV als Kategorie das höchste Verkehrssicherheitsniveau. Mit einer gegenüber dem Q 11 um ca. 22 % niedrigeren UKR des Q „dreistreifig“ bleibt die Differenz zwischen beiden Querschnitten nahezu unverändert. Für den Q 9 erhöht sich das Niveau der UKR-Grundfunktion erheblich.

Der Zuschlag DTV als Kategorie – bei Betrachtung der Funktionen mit DTV als Kategorie – besitzt einen erheblichen Einfluss auf das Niveau der UKR und hebt die mutmaßlichen Einsatzbereiche der Querschnitte deutlich hervor. Bei einem DTV > 4.000 Kfz/24h weist der Q 9 gegenüber dem Q 11 ein deutlich geringeres Sicherheitsniveau auf. Im Bereich zwischen 14.000 und 16.000 Kfz/24h weist der Q „dreistreifig“ gegenüber dem Q 11 eine deutlich geringere UKR auf. Im Bereich hoher Verkehrsstärken stellt sich eine ähnliche Differenz zwischen beiden Querschnitten wie im Bereich geringer Verkehrsstärken ein. Aus der Betrachtung wird deutlich, dass bei Berücksichtigung des DTV als Kategorie – Merkmal stellt einen zwingenden Zuschlag dar – der Q 21 im Bereich hoher Verkehrsstärken die niedrigste UKR-Grundfunktion aufweist. Das hohe Sicherheitsniveau dieses Querschnitts resultiert neben einer geringen Unfallhäufigkeit aus einer geringeren Unfallschwere (Bild 51).

UKR-Grundfunktionen beinhalten keine Zuschläge aufgrund von Defiziten oder streckenspezifischen Eigenschaften. Deren Auftreten führt zu einer Änderung der UKR. Die $g_{UKR_{\bar{A}}}$ bildet die Basis der

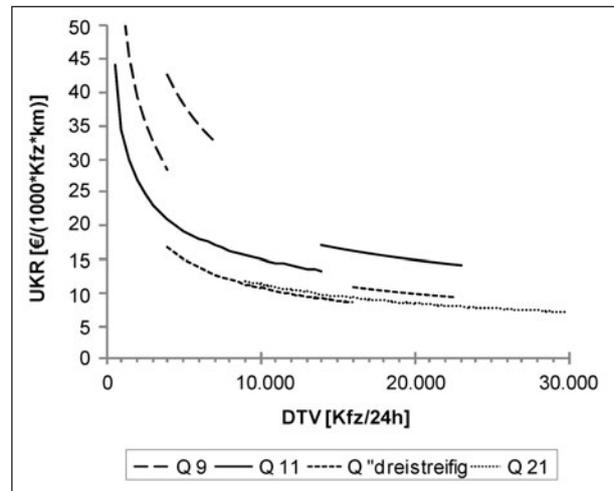


Bild 51: Funktion $g_{UKR_{\bar{A}}}$ mit DTV als Kategorie für Querschnittsgruppen bei Berücksichtigung des Zuschlags DTV

volkswirtschaftlichen Bewertung eines Netzelements. Sie spiegelt das zu erwartende Grundniveau wider. Entgegen der Definition der Grundunfallkostenrate in den ESN (FGSV 2003b) entspricht die $g_{UKR_{\bar{A}}}$ nicht dem Unfallkostenniveau, das bei einem richtliniengerechten Ausbau des Netzelements zu erwarten wäre.

Folgende Sachverhalte sind aus den bisherigen Arbeitsschritten festzuhalten:

- Die $g_{UKR_{\bar{A}}}$ stellt eine vom DTV abhängige Größe dar, aber zwischen $g_{UKR_{\bar{A}}}$ und DTV besteht kein linearer Zusammenhang. Die $g_{UKR_{\bar{A}}}$ weist mit zunehmendem DTV einen negativ degressiven Verlauf auf.
- Die Querschnitte weisen Unterschiede in der $g_{UKR_{\bar{A}}}$ auf. Die Höhe der Differenz resultiert aus Unfallzahl und Bewertung der Unfallschwere. Den niedrigsten $KS_{a,U(P)}$ und damit die geringste Unfallschwere bei den Unfällen mit Personenschaden werden für den Q 21 ermittelt.
- Die $g_{UKR_{\bar{A}}}$ entsprechen nicht den g_{UKR} nach HVS. Während nach Definition des HVS streckencharakteristische Merkmale innerhalb der zulässigen Parameter (bspw. Kurvigkeit) oder komplett (bspw. Wald im Seitenraum) einem Bestandteil der g_{UKR} entsprechen, stellen diese Merkmale im Unfallmodell eigene Einflussgrößen dar und können volkswirtschaftlich quantitativ bewertet werden.
- Die $g_{UKR_{\bar{A}}}$ enthält mutmaßlich einen Anteil ungeklärter Merkmale, die einen Einfluss auf die

Verkehrssicherheit haben, aber in den Modellen nicht berücksichtigt werden konnten.

- Der Funktionsverlauf der $gUKR_{\bar{A}}$ mit Ausnahme des Q 21 ist abhängig davon, welches Modell für die Sicherheitsbetrachtung (mit/ohne DTV als kategoriale Variable) verwendet wird.
- Mit Ausnahme des Q 21 gilt, je höher der DTV desto höher der Anteil der UKR(P) an der $gUKR_{\bar{A}}$. Für den Q 21 bleibt das Verhältnis unabhängig von der Verkehrsstärke konstant.

Der Zusammenhang zwischen $gUKR_{\bar{A}}$ und DTV, verdeutlicht, dass die Angabe einer vom Verkehrsaufkommen unabhängigen $gUKR$, wie bisher im HVS vorgesehen, zu erheblichen Einschränkungen führt. Gerade im Bereich geringer Verkehrsstärken weist die $gUKR_{\bar{A}}$ eine starke Abhängigkeit vom DTV auf. Berechnungen mit einer vom DTV unabhängigen $gUKR$ führen zu einer größeren Streuung zwischen erwarteten und tatsächlich eintretenden Unfallkosten(-raten) eines Netzelementes. Dies gilt insbesondere in den Randbereichen der Einsatzgrenzen eines Querschnitts.

Die Anwendung einer Funktion zur Berechnung der $gUKR_{\bar{A}}$ bietet im Rahmen der Modellgenauigkeit die Möglichkeit, die zu erwartenden Unfallkosten (-raten) eines Netzelements mit höherer Genauigkeit zu bestimmen. Grundlage für die Bestimmung der $gUKR_{\bar{A}}$ für verschiedene Querschnitte bildet die Funktion der Gleichung 22 mit den Parametern aus Tabelle 30. Der Vergleich von Querschnitten mit gleichem Verkehrsaufkommen untereinander ist möglich. Eine Interpretation der Verkehrssicherheit zwischen Abschnitten mit unterschiedlicher Verkehrsstärke ist nicht zulässig. In den weiteren Untersuchungen wird die $gUKR_{\bar{A}}$ als eine vom DTV abhängige Größe berücksichtigt.

4.8.2 Berechnung der Zuschläge

Das HVS (BARK et al. 2008) unterscheidet in Zuschläge für linienhafte ($UKR_{L,i}$) und punktuelle ($UKR_{P,i}$) Abweichungen bei Streckenabschnitten von Landstraßen. Maßgebend für die Ermittlung einer Abweichung vom richtliniengetreuen Ausbau sind die jeweiligen Grenzwerte der EKL. Während linienhafte Abweichungen unmittelbar zur Berechnung des Zuschlags zu verwenden sind, ergibt sich der Zuschlag für punktuelle Abweichungen aus der Summe aller Abweichungen dividiert durch die Streckenlänge.

Mit Ausnahme des Kriteriums Seitenraum enthalten die Zuschlagstabellen des HVS für Streckenabschnitte nur kategoriale Zuschläge. Dabei wird in „Abweichung liegt vor“ bzw. „Abweichung liegt nicht vor“ unterschieden. Stetige Einflüsse von Merkmalen werden über die längenbezogene Anzahl punktueller Abweichungen erfasst.

In den angewandten Modellen werden alle punktuellen Merkmale über Dichten (Häufigkeit je km) berücksichtigt. Eine Differenzierung hinsichtlich punktueller und linienhafter Abweichungen ist daher nicht mehr notwendig. Da die Merkmale der Modelle auf verschiedene Art und Weise Einfluss auf das Unfallgeschehen nehmen, erfolgt eine differenzierte Berechnung der Zuschläge. Dahingehend wird in stetige, kategoriale und kombinierte Zuschläge unterschieden.

Ziel ist es, eine Zuschlagstabelle anhand der in den Unfallmodellen ermittelten Merkmale (streckencharakteristische Eigenschaften und Defizite) zu erstellen. Grundlage bilden die Zuschlagstabellen nach HVS. Randbedingung ist eine genaue Quantifizierung der Zuschläge unter Berücksichtigung eines anwenderfreundlichen Verfahrens zur Ermittlung der $zUKR_{\bar{A}}$.

Allgemein ergibt sich die Wertigkeit eines Zuschlags bzw. Merkmals im Modell anhand der Höhe des Koeffizienten der einzelnen Teilmodelle nach Unfallschwere sowie der Addition aller drei Teilmodelle. Merkmale, die signifikant zur Erklärung der Teilmodelle U(P) beitragen, besitzen aufgrund der volkswirtschaftlichen Bewertung der Unfälle mit Kostensätzen gegenüber Merkmalen, die nur in den Teilmodellen U(SS) und U(LS) vorzufinden sind, einen höheren Einfluss auf die UKR.

Mit Ausnahme der Expositionsgröße DTV fließen Merkmale über eine Exponentialfunktion im Modell ein. Jeder Exponentialterm eines Merkmals lässt sich durch Berechnung auch als Dezimalzahl (Faktor) darstellen. Für jedes Merkmal eines Teilmodells gilt:

- Weist ein Merkmal den Wert „0“ auf (Multiplikation von Koeffizient und Anzahl für stetige Merkmale), ergibt sich der Faktor „1“. In diesem „Ohne“-Fall besitzt das Merkmal keinen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit. Da kein Koeffizient ein negatives Vorzeichen besitzt, treten Faktoren < 1 nicht auf.

- Bei der Betrachtung des „Mit“-Falles resultiert ein Faktor > 1 aus einem Koeffizienten größer null. Der „Mit“-Fall liegt vor, wenn ein kategoriales Merkmal mit einem Koeffizienten größer null besetzt wird oder ein stetiges Merkmal einen Wert > 0 annimmt.
- Die anteilige Erhöhung der Unfallhäufigkeit eines Teilmodells bei sonst konstanten Randbedingungen ermittelt sich aus der Division der Ergebnisse von „Mit“- und „Ohne“-Fall abzüglich des Werts „1“.

Die UKR-Funktion baut auf den drei Teilmodellen nach Unfallschwere auf. Dementsprechend ermittelt sich die absolute Höhe eines einzelnen $zUKR_{\bar{A}}$ aus der Funktion in Gleichung 23. Die Division von ΣUKR_M und ΣUKR_O abzüglich dem Wert „1“ entspricht dem Anteil der $zUKR_{\bar{A}}$ an der $gUKR_{\bar{A}}$, im Weiteren als A_{UKR} bezeichnet. Der Ermittlung von A_{UKR} liegt die Betrachtung lediglich jeweils eines Defizits zugrunde.

$$zUKR_{\bar{A}} = \left(\frac{\Sigma UKR_M}{\Sigma UKR_O} - 1 \right) * gUKR_{\bar{A}} = \Sigma UKR_M - \Sigma UKR_O$$

Gl. 23

$zUKR_{\bar{A}}$ - Zuschlag Grundunfallkostenrate -ähnlich
[€/ (1.000 * Kfz * km)]

UKR_M - Unfallkostenrate „Mit“-Fall Modelle nach Schwere

UKR_O - Unfallkostenrate „Ohne“-Fall Modelle nach Schwere

$gUKR_{\bar{A}}$ Grundunfallkostenrate -ähnlich
[€/ (1.000 * Kfz * km)]

Da die Höhe der $zUKR_{\bar{A}}$ bei sonst konstanten Randbedingungen in Abhängigkeit des DTV variiert, ist die Angabe der Zuschläge mit einem feststehenden Betrag auszuschließen. Vereinfachend kann das Unfallmodell in einen Term der Grundunfallhäufigkeit – Konstante und Exposition entsprechen bei volkswirtschaftlicher Bewertung der $gUKR_{\bar{A}}$ – und einen Term der zusätzlichen Unfallhäufigkeit – Merkmale im exponentiellen Teil des Prädiktors – zerlegt werden. Die Höhe eines Zuschlags resultiert aus einer Veränderung der beschreibenden Merkmale und deren Auswirkung auf Unfallhäufigkeit und somit Unfallkosten. Die Grundunfallhäufigkeit bleibt unverändert. Die Veränderung wird durch A_{UKR} beschrieben. Als relative Größe weist A_{UKR} unabhängig von der Verkehrsstärke die gleiche Größenordnung auf. Daher eig-

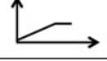
net sich diese Größe zur Quantifizierung der Zuschläge.

Je nach Berücksichtigung eines Merkmals im Modell lässt sich A_{UKR} auf verschiedene Weise darstellen:

- Kategoriale Merkmale weisen einen unveränderlichen A_{UKR} auf. Dieser entspricht dem Grundwert (GW). Die Größenordnung von A_{UKR} ist abhängig vom Koeffizienten des betrachteten Merkmals.
- Gegenüber kategorialen Merkmalen ändert sich der Anteilswert stetiger Einflussgrößen in Abhängigkeit der Ausprägung (Häufigkeit/Höhe) des Merkmals eines Netzelements. Die Multiplikation von Grundwert (GW) und Ausprägung (A) entspricht A_{UKR} .
- Der Anteilswert von Merkmalen, deren Einfluss auf die Unfallhäufigkeit eine Kombination aus stetigen und kategorialen Größen darstellt, wird im stetigen Bereich entsprechend o. g. Verfahren ermittelt. Bei Erreichen des Grenzwertes wird der entsprechende Faktor (F_G) angesetzt

Der Grundwert (GW) entspricht der Auftretenshäufigkeit (Ausprägung) von einem „Defizit“ je Kilometer bzw. einem Anteil des Merkmals auf dem Netzabschnitt von 100 %. Die Funktionen zur Ermittlung von A_{UKR} sind in Tabelle 31 dargestellt.

Der bisherige Grundgedanke des HVS sieht vor, dass Zuschläge in ihrer Wirkung voneinander unabhängig sind. Um die Verkehrssicherheit eines Netzelements zu bestimmen, wird die Summe aller Zuschläge ΔUKR_L und ΔUKR_P zur $gUKR$ addiert (BARK et al. 2008). Im Prädiktor der Unfallmodelle erfolgt die multiplikative Verknüpfung der Einflussgrößen miteinander. Dies bedeutet, dass Einflussgrößen eine Abhängigkeit bzw. Wechselwirkung zueinander aufweisen. Bei Auftreten mehrerer Einflussgrößen (Defizite) liegt ein deutlich höheres Sicherheitspotenzial vor. Die Addition mehrerer

Art des Zuschlags	Darstellung	Funktion
kategorial		$A_{UKR} = GW$
Stetig		$A_{UKR} = GW * A$
Kombination		$A_{UKR} = GW * A$ (stetiger Bereich) $A_{UKR} = F_G$ (fixer Bereich)

Tab. 31: Verknüpfung der Einflussgrößen zur Ermittlung der $\Sigma zUKR_{\bar{A}}$

$zUKR_{\check{A}}$ auf Basis von A_{UKR} hätte zur Folge, dass diese Wechselwirkung unberücksichtigt bleibt.

Die Berechnung der UKR eines Netzelements mit mehreren Defiziten lässt sich – mit Berücksichtigung der $gUKR_{\check{A}}$ – nach Gleichung 24 beschreiben.

$$UKR = \left(\frac{\sum UKR_M}{\sum UKR_O} \right) * gUKR_{\check{A}} \quad \text{Gl. 24}$$

- UKR Unfallkostenrate [€/ (1.000 * Kfz * km)]
- UKR_M Unfallkostenrate „Mit“-Fall für Abschnitt mit Defizit i (Modelle nach Unfallschwere)
- UKR_O Unfallkostenrate „Ohne“-Fall für Abschnitt ohne Defizit i (Modelle nach Unfallschwere)
- $gUKR_{\check{A}}$ Grundunfallkostenrate -ähnlich [€/ (1.000 * Kfz * km)]

Da die Grundunfallhäufigkeit eines Netzelements (Konstante und Exposition) unverändert bleibt, resultiert die Höhe der Unfallhäufigkeit aus der Differenz des Exponentialterms – entspricht Zuschlägen, die über die Exponentialfunktion erfasst werden – des Unfallmodells im „Mit“- und „Ohne“-Fall. Der Wert des Quotienten aus „Mit“- und „Ohne“-Fall ist bei Auftreten von Defiziten immer > 1 . Die Terme (Zuschläge) der Exponentialfunktionen werden miteinander multipliziert. Das bedeutet, dass für einen Abschnitt mit mehreren Defiziten die Summe der Zuschläge aus einer Multiplikation der Einzelzuschläge (Produktsumme der einzelnen Exponentialterme) resultiert. Die Lösung jedes Exponentialterms (wenn Zuschlag vorhanden) ist ebenfalls immer > 1 . Demzufolge können die A_{UKR} zur Berechnung der UKR multiplikativ verknüpft werden. Aus der Umstellung der Unfallfunktionen ergibt sich für die Berechnung der UKR Gleichung 25.

$$UKR = \left(\prod_{i=1}^n (1 + A_{UKR,i}) \right) * gUKR_{\check{A}} \quad \text{Gl. 25}$$

- UKR Unfallkostenrate [€/ (1.000 * Kfz * km)]
- $A_{UKR,i}$ Anteil $zUKR_{\check{A},i}$ an $gUKR_{\check{A}}$
- $gUKR_{\check{A}}$ Grundunfallkostenrate -ähnlich [€/ (1.000 * Kfz * km)]

Tabelle 32 enthält eine beispielhafte Gegenüberstellung, welche die Unterschiede zwischen der Addition und Multiplikation von A_{UKR} verdeutlicht. Für eine fiktive Strecke mit drei Defiziten ergibt sich aus der Addition der A_{UKR} ein Gesamtanteil der Zu-

Anwendung	ΣA_{UKR}	A_{UKR} für Merkmal		
		X	Y	Z
Addition	0,50	0,1	0,2	0,2
Multiplikation	0,58*	1,1	1,2	1,2

* abzüglich Wert 1

Tab. 32: Beispiel der Verknüpfung von Merkmalen zur Ermittlung der ΣA_{UKR}

schläge zur $gUKR_{\check{A}}$ von 0,50. Aus einer Multiplikation der A_{UKR} ergibt sich ein Anteil von 0,58. Damit weist der zweite Fall einen höheren Zuschlag auf. Wechselwirkungen zwischen mehreren Defiziten, die im Falle einer Addition unberücksichtigt blieben, sind somit Bestandteil der volkswirtschaftlichen Bewertung eines Netzelements.

Folgende Erkenntnisse zur Ermittlung der Zuschläge liegen vor:

- Gleichermaßen wie $gUKR_{\check{A}}$ stellen Zuschläge ($zUKR_{\check{A}}$) eine vom DTV abhängige Größe dar. Die Angabe eines absoluten Wertes als Zuschlag aufgrund eines Defizits ist unpräzise.
- Der Anteil A_{UKR} als relative Größe beschreibt unabhängig vom Verkehrsaufkommen den Unterschied zwischen $gUKR_{\check{A}}$ und UKR eines Netzelements.
- Aus der Interpretation der Modelle wird deutlich, dass Wechselwirkungen zwischen Defiziten auftreten. Zur Ermittlung der Summe aller Zuschläge eines Netzelements sind die Einzelanteile A_{UKR} miteinander zu multiplizieren. Eine Addition der A_{UKR} hätte eine Unterschätzung der UKR zur Folge.

4.8.3 Einschränkungen bei der Anwendung der Zuschläge

Aufgrund der Modellfunktion des linearen Prädiktors der GLM ist die Genauigkeit der Zuschläge (A_{UKR}) mit Einschränkungen behaftet. Die Wirkung von Merkmalen, die signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen besitzen, wird in den Unfallmodellen über eine Exponentialfunktion beschrieben.

Für Merkmale mit stetigem Einfluss gilt, dass die Höhe des Einflusses mit Anstieg der Ausprägung des Merkmals exponentiell zunimmt. Dies hat zur Folge, dass sich der ermittelte A_{UKR} in Abhängigkeit der Auftretenshäufigkeit eines Merkmals geringfügig verändert. Um eine einfache Handhabung der Zu-

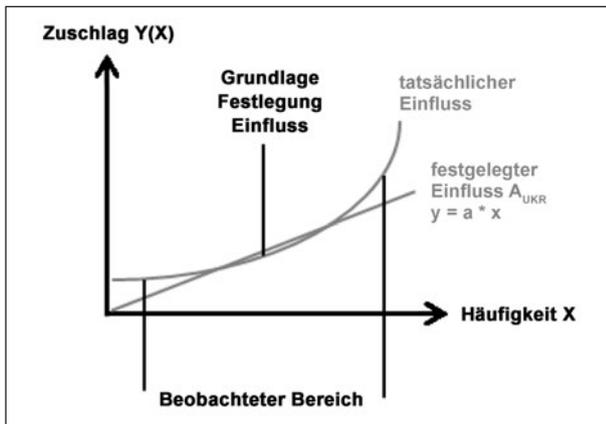


Bild 52: Beispiel Veränderung des Einflusses einer stetigen Größe aufgrund Exponentialfunktion gegenüber linearer Annahme

schlagsberechnung im zukünftigen HVS zu gewährleisten, wird die Berechnung des A_{UKR} aus den Bestandteilen Grundwert (GW) und Ausprägung (A) als ausreichend angesehen. Die Ermittlung der A_{UKR} beruht somit auf einem linearen Einfluss des Merkmals. Um die Diskrepanz zwischen tatsächlichem (exponentiellem) und festgelegtem (linearem) Einfluss zu minimieren, erfolgt die Ermittlung des A_{UKR} auf Basis linearer Regression der Anteilswerte. Maßgebend war der Beobachtungsbereich des Merkmals (Bild 52). Die Höhe des Zuschlags entspricht dem Anstieg der linearen Funktion. Bei deutlicher Bündelung der betrachteten Fälle in einem Teil des beobachteten Bereiches erfolgt nach Prüfung eine manuelle Korrektur des A_{UKR} .

Ein weiterer Einfluss auf die Höhe der A_{UKR} resultiert aus den verschiedenen Kurvenverläufen der UKR-Grundfunktionen nach Unfallschwere. Bei sonst konstanten Randbedingungen weisen die Modelle für die einzelnen Unfallkategorien einen unterschiedlichen Anteil an der UKR abgetragen über den DTV auf. Das bedeutet, dass eine Veränderung der Größenordnung des A_{UKR} eines Merkmals abgetragen über DTV auftritt. Dies gilt sowohl für Merkmale, die in allen als auch nur in einem oder zwei der Teilmodelle einen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit besitzen. In allen Fällen resultiert die Änderung der A_{UKR} aus den unterschiedlichen Beiträgen der Teilmodelle nach Unfallschwere an der UR bzw. UKR.

Bild 53 verdeutlicht den Zusammenhang an einem Beispiel. Dargestellt ist die Entwicklung der UKR und UKR(P). Mit Zunahme des DTV nimmt der Anteil der UKR(P) an der UKR ebenfalls zu. Dies gilt mit Ausnahme des Q 21 für alle Querschnitte. So

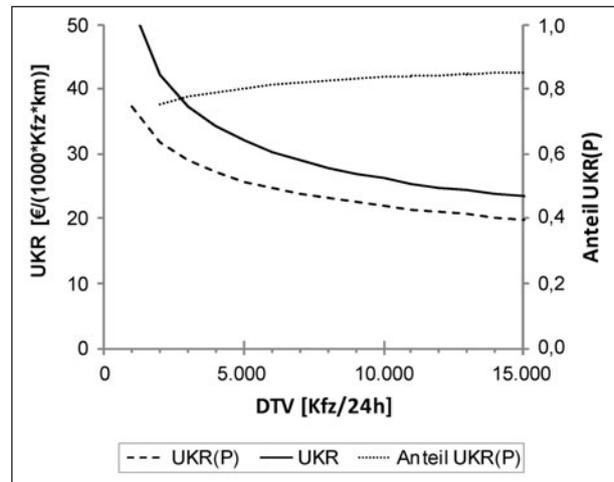


Bild 53: Beispiel Veränderung des Anteils UKR(P) an der UKR über den DTV

beträgt im Beispiel der Anteil der UKR(P) an der UKR bei einem DTV von 3.000 Kfz/24h 78 %, bei einem DTV von 10.000 Kfz/24h sind es 84 %. Für einen Zuschlag, der lediglich aus dem Modell $U(P)$ resultiert, gilt, dass der Anteil des Zuschlags an der UKR(P) unverändert bleibt, jedoch an der UKR zunimmt.

Auch für diesen Zusammenhang erfolgt eine Anpassung des Zuschlags, um eine anwenderfreundliche Berechnung des A_{UKR} zu gewährleisten. Die Höhe des zugrunde gelegten Zuschlags eines Merkmals entspricht dem Mittelwert des Anteils innerhalb des DTV-Bereiches, in dem das Merkmal beobachtet wurde. Die Abweichungen gegenüber den Randbereichen liegen in einem als akzeptabel angesehenen Rahmen.

Aus den Betrachtungen wird deutlich, dass die volkswirtschaftliche Bewertung der Zuschläge zur $g_{UKR_{\check{A}}}$ nur eine Annäherung an die tatsächliche Größenordnung darstellt. Vor dem Hintergrund eines anwenderfreundlichen Verfahrens zur Bestimmung von $g_{UKR_{\check{A}}}$ und $z_{UKR_{\check{A}}}$, stellt der gewählte Ansatz zur Ermittlung der $z_{UKR_{\check{A}}}$ trotz der aufgeführten Einschränkungen eine hinreichend genaue Berechnungsgrundlage dar.

Bei Ermittlung der $z_{UKR_{\check{A}}}$ speziell für die Merkmale Baumreihe auf Bankett (BB) und Wald im Seitenraum (WS) gilt, dass der Anteil lediglich aus den Abschnitten ohne Anlage von passiven Fahrzeug-Rückhaltesystemen resultiert. Eine Überlagerung, auch beider genannter Merkmale, ist nicht zulässig.

Einflüsse auf Grundlage von Defiziten in der Entwässerung konnten nicht nachgewiesen werden.

Merkmale die diese Problematik beschreiben, korrelieren in vielen Modellen im geringen Maß mit dem Merkmal HK.

4.8.4 Übersicht der ermittelten Zuschläge

Nachfolgend sind für die Querschnitte Berechnungsvorschrift und Höhe der A_{UKR} der einzelnen Merkmale aufgeführt. Die A_{UKR} liegen mit Ausnahme des Q 21 unterschieden in Modelle – weiterführend als Varianten bezeichnet – mit und ohne DTV als kategoriales Merkmal vor.

Zuschläge Q 9

Aus dem Vergleich der Grundwerte zwischen beiden Varianten sind leichte Unterschiede ersichtlich (Tabelle 33). Die Variante ohne DTV als kategoriale Variable weist für fünf von sieben Merkmalen einen niedrigeren Grundwert auf. Lediglich die Höhe des Merkmals FBB bleibt identisch. Das Merkmal FRT besitzt einen höheren Grundwert. Ursache hierfür liegt in geringen Korrelationen ($r \neq 0$) zwischen den Merkmalen und dem Merkmal DTV als Kategorie. Lediglich für das Merkmal FBB besteht keine Korrelation. Aufgrund der geringen Korrelationen der Variablen untereinander schätzt das GLM für die Parameter geringfügig unterschiedliche Koeffizienten. Diese Differenz spiegelt sich in der Unfallhäufigkeit und somit in den A_{UKR} wider.

Für die Variante der UKR-Berechnung mit DTV als kategoriale Variable weist der Zuschlag DTV mit einem Grundwert $GW = 0,5$ die höchste Größenordnung auf. Strecken mit einem DTV höher 4.000 Kfz/24h weisen bei sonst konstanten Randbedingungen eine um 50 % höhere UKR auf. Ebenfalls einen hohen Grundwert (GW) weist das Merkmal FRT mit 12 bzw. 13,5 % je nach Variante auf. Dies entspricht beispielhaft bei einer Häufigkeit von 2 FRT/km einem Zuschlag von 24 % zur $g_{UKR\check{A}}$. Aus einer Fahrbahnbreite $B > 6,00$ m resultiert ein Zuschlag von 6 %. Bei der Betrachtung ist zu berücksichtigen, dass die Höhe der A_{UKR} nur Gültigkeit besitzt, wenn das Merkmal als einzelner Zuschlag vorliegt.

Beispielhaft soll für die Variante DTV ohne Kategorie ein Streckenabschnitt bewertet werden, der folgende Eigenschaften aufweist:

- Fahrbahnbreite $B > 6,00$ m,
- Anteil Baumreihe auf Bankett $BB = 0,5$,
- Hügeligkeit $HK = 3$ %.

Kriterium	Berechnung A_{UKR} [-]	Höhe GW [-]	
		mit DTV-Kat.	ohne DTV-Kat
DTV > 4.000 Kfz/24h	GW	0,5	-
Fehler in Relationstrassierung (FRT) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,12	0,135
Fahrbahnbreite FBB > 6,00 m	GW	0,06	0,06
Hügeligkeit (HK) [%]	GW*A	0,008	0,006
Kuppenhalbmesser unterschritten (KHM) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,08	0,05
Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknoten [(PGS+Akp ²)/km] bis 7 stetig, dann Wert 14	GW*A	0,015	0,013
	F _G	0,21	0,182
Baumreihe auf Bankett [Anteil/Abschnitt] bis 0,4 stetig, dann Wert 0,4	GW*A	0,06	0,045
	F _G	0,024	0,018
Kreistyp F (sehr ländlich)	GW	0,09	0,075

Tab. 33: Höhe der Grundwerte (GW) für Q 9

Aus den gegebenen Werten ermittelt sich die Summe der Zuschläge nach Gleichung 26.

$$\sum A_{UKR} = ((1 + 0,06) * (1 + 0,045 * BB) * (1 + 0,006 * HK)) - 1 \quad \text{Gl. 26}$$

HK Hügeligkeit

BB Baumreihe auf Bankett

Da für das Merkmal BB ab einer Höhe $> 0,4$ der Faktor von 0,4 als fest angenommen wird, ergibt sich aus dem Produkt der Merkmale ein A_{UKR} – zusätzlich des Wertes 1 – von 1,0985. Die Summe des A_{UKR} entspricht 0,0985 (ca. 9,6 %).

Zuschläge Q 11

Für den Q 11 liegen die meisten Merkmale zur Erklärung von Zuschlägen vor. Die Höhe der A_{UKR} unterscheidet sich zwischen den Varianten für die Merkmale RSB und FSB. Die Unterschiede sind marginal. Den höchsten Grundwert weist das Merkmal DTV als Kategorie mit $GW = 0,28$ auf. Für schmale Abschnitte des Q 11 mit Elementbreiten unter der Regelbreite nach den RAL (FGSV 2008a) gilt eine deutlich höhere UKR. Sowohl die Unterschreitung der FSB als auch die der RSB weisen einen von der Dimension ähnlichen Grundwert auf. Dass Querschnitte mit $FSB < 3,25$ m gegenüber

Querschnitten mit $3,25 \leq \text{FSB} < 3,50$ m einen höheren Grundwert aufweisen, ist plausibel.

Bei Baumreihen unmittelbar am Fahrbahnrand ohne passive Schutzeinrichtungen ergibt sich gegenüber Bäumen (Wald), die weiter zurückgesetzt im Seitenraum vorzufinden sind, ein höheres Unfallrisiko bzw. eine höhere Unfallschwere. Dies spiegelt sich in den Grundwerten mit 0,6 bzw. 0,3 wider. Für Streckenabschnitte in Landkreisen des Typs B sind bei sonst konstanten Randbedingungen gegenüber sehr ländlichen Kreisen des Typs F um ca. 3,5 % höhere UKR vorzufinden. Das UKR-Niveau für ländliche bis verdichtete Kreistypen ordnet sich zwischen beiden Fällen ein.

Fehler in der Relationstrassierung – deutliche Abweichung bei nacheinander folgenden Radien oder der Abfolge von Radius und Gerade – weisen höhere fahrleistungsbezogene Unfallkosten auf, als es für die Unterschreitung des Mindestradius (Min-Rad) der Fall ist.

Kriterium	Berechnung A_{UKR} [-]	Höhe GW [-]	
		mit DTV-Kat.	ohne DTV-Kat
DTV > 14.000 Kfz/24h	GW	0,28	-
Fehler in Relationstrassierung (FRT) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,1	0,1
Unterschreitung Mindestradius [Häufigkeit/km]	GW*A	0,07	0,07
Hügeligkeit (HK) [%]	GW*A	0,07	0,07
Fahstreifenbreite $3,25 \leq \text{FSB} < 3,50$ m	GW	0,17	0,16
Fahstreifenbreite FSB < 3,25 m	GW	0,2	0,2
Randstreifenbreite RSB < 0,50 m	GW	0,17	0,18
Baumreihe auf Bankett [Anteil/Abschnitt] bis 0,4 stetig, dann Wert 0,4	GW*A	0,6	0,6
	F_G	0,24	0,24
Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknoten [(PGS+Akp*2)/km] bis 5 stetig, dann Wert 9	GW*A	0,02	0,02
	F_G	0,18	0,18
Kreistyp B (sehr verdichtet)	GW	0,035	0,035
Kreistyp C/D/E (verdichtet bis ländlich)	GW	0,014	0,014
Anteil Wald Seitenraum [Anteil/Abschnitt]	GW*A	0,3	0,3

Tab. 34: Höhe der Grundwerte (GW) für Q 11

Das Merkmal „Defizit durch punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknoten“ (PgsAkp) besitzt einen Grundwert von 0,02. Bis zu einem Wert von fünf PgsAkp je Kilometer wird die Dichte mit dem Grundwert multipliziert, um den A_{UKR} zu bestimmen. Weisen Strecken eine höhere Dichte des Merkmals auf, entspricht der A_{UKR} dem Wert F_G mit 0,18.

Die Verhältnisse der Grundwerte gleichartiger oder ähnlicher Merkmale (bspw. FBB) zueinander sind plausibel und nachvollziehbar.

Zuschläge Q „dreistreifig“

Für den Q „dreistreifig“ liegen acht Kriterien in der Variante mit DTV als kategorialer Variable vor. Dabei weist der Grundwert dieses Merkmals mit 0,28 die gleiche Höhe wie für den Q 11 auf.

Einen sehr hohen Grundwert und damit einen deutlichen Einfluss auf die Verkehrssicherheit besitzt das Merkmal „Baumreihe auf Bankett“ (BB). Da im Kollektiv lediglich drei von 55 Strecken dieses Merkmal besitzen, ist die Aussagekraft zur Höhe der BB auf die Verkehrssicherheit trotz des hohen Signifikanzniveaus im Modell eingeschränkt. Zwei Ursachen stellen einen möglichen Grund für diesen hohen Einfluss dar. Weisen diese Abschnitte ein hohes Unfallgeschehen auf, dessen Ursache aber aus anderen Merkmalen resultiert, ermittelt das Mo-

Kriterium	Berechnung A_{UKR} [-]	Höhe GW [-]	
		mit DTV-Kat.	ohne DTV-Kat
DTV > 16.000 Kfz/24h	GW	0,28	-
Fehler in Relationstrassierung (FRT) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,15	0,17
Hügeligkeit (HK) [%]	GW*A	0,16	0,15
Fahstreifenbreite FSB < 3,25 m	GW	0,03	0,025
Teilbereich 2-streifig	GW	0,13	0,13
Baumreihe auf Bankett [Anteil/Abschnitt] bis 0,4 stetig, dann Wert 0,4	GW*A	2,8	3,0
	F_G	1,12	1,2
Defizite durch Anschlussknoten [Akp/km]	GW*A	0,015	0,015
Kuppenhalbmesser unterschritten (KHM) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,6	0,6

Tab. 35: Höhe der Grundwerte (GW) für „dreistreifig“

dell für das Merkmal BB einen hohen Zusammenhang und somit einen hohen Koeffizienten des Merkmals. Der Einfluss wird fälschlicherweise dem Merkmal BB zugeordnet, das verantwortliche Merkmal bleibt unentdeckt. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass das ermittelte höhere Unfallgeschehen auf diesen Abschnitten auch im Zusammenhang mit dem Merkmal BB steht. Aufgrund des seltenen Auftretens des Merkmals und des hohen ermittelten Grundwerts wird die Wirkung auf die Verkehrssicherheit vermutlich überschätzt. Dementsprechend muss ein niedriger Einfluss des Merkmals BB angenommen werden.

Einbahnig zweistreifige Abschnitte des Q 11,5+ weisen gegenüber einbahnig dreistreifigen Abschnitten eine um ca. 13 % höhere UKR auf.

Ein ähnlicher Zusammenhang wie für das Merkmal BB besteht für das Merkmal „Kuppenhalbmesser unterschritten“ (KHM). Die Höhe des Grundwertes beträgt 0,6.

Die Höhe des Zuschlags „Fehler in der Relationstrassierung“ (FRT) entspricht mit 0,15 bei sonst konstanten Randbedingungen nur einem Viertel des Zuschlags KHM.

Zuschläge Q 21

Für den Q 21 resultieren hohe Zuschläge zur $g_{UKR_{\check{A}}}$ aus den die Querschnittsgestaltung beschreibenden Merkmalen Fahrbahnbreite (FBB) und Randstreifenbreite (RSB). Da beide kategoriale Merkmale unabhängig voneinander zu betrachten sind, gilt, dass für einen Streckenabschnitt, dessen schmale FBB $< 7,75$ m aus einer RSB $< 0,50$ m resultiert, beide Zuschläge zur Berechnung der UKR anzusetzen sind.

Der Grundwert des Merkmals FRT unterscheidet sich zu den anderen Querschnitten nur unwesentlich. Unabhängig vom Querschnitt führen FRT zu einer Erhöhung des Unfallgeschehens. Die Relation der entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten – beschrieben durch fahrleistungsabhängige Unfallkosten – in Bezug zur $g_{UKR_{\check{A}}}$ weist für alle Querschnitte eine ähnliche Größenordnung auf.

Der geringe Grundwert der Kurvigkeit (KU) basiert auf der Einheit [gon/km] des Merkmals. Der Mittelwert der Kurvigkeit aller Strecken im Kollektiv beträgt 16,9 gon/km.

Je weiterer punktueller Gefahrenstelle pro Kilometer – unabhängig davon, ob diese mit passiven

Kriterium	Berechnung A_{UKR} [-]	Höhe GW [-]
Fehler in Relationstrassierung (FRT) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,06
Hügeligkeit (HK) [%]	GW*A	0,025
Fahrstreifenbreite FSB $< 7,75$ m	GW	0,2
Randstreifenbreite RSB $< 0,50$ m	GW	0,33
Kurvigkeit (KU) [gon/km]	GW*A	0,0025
Anteil Wald Seitenraum [Anteil/Abschnitt]	GW*A	0,07
Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen [PGS/km]	GW*A	0,1

Tab. 36: Höhe der Grundwerte (GW) für Q 21

Schutzeinrichtungen abgegrenzt sind oder nicht – steigt der A_{UKR} im Verhältnis zur $g_{UKR_{\check{A}}}$ um 10 %. Da Anschlussknotenpunkte ohne bauliche Veränderung der Zufahrt und Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen im Kollektiv eine absolute Ausnahme darstellen und der Betrieb eines (teil-)plangleichen Knotens mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen an Strecken des Q 21 nach dem Entwurf der RAL (FGSV 2008a) nicht empfohlen wird, stellt dieses Merkmal kein zu klassifizierendes Defizit der Untersuchung dar.

Gegenüber Q 11 und Q „dreistreifig“ fällt die Bedeutung der Hügeligkeit (HK) für die Höhe der $z_{UKR_{\check{A}}}$ gering aus. Die Ursache liegt mutmaßlich in der sehr gestreckten Linienführung der Strecken dieses Querschnitts.

4.8.5 Plausibilitätsprüfung Zuschläge

Für eine konsistente Größenordnung der A_{UKR} in einer Zuschlagstabelle aller Querschnitte sind die A_{UKR} ähnlicher und identischer Merkmale verschiedener Querschnitte untereinander zu prüfen. Dabei steht die Plausibilitätsprüfung der Grundwerte im Vordergrund. Es erfolgen die Kontrolle und ggf. Anpassung der Grundwerte unter praktischen Gesichtspunkten.

Die Überprüfung erfolgt für die Zuschlagstabellen nach den Varianten DTV mit und ohne kategoriale Variable. Die Zuschläge des Q 21 sind in beiden Varianten identisch. Tabelle 37 enthält die Gegenüberstellung der Grundwerte aller Querschnitte für die Variante mit DTV als kategoriale Variable. Hell-

Kriterium	Berechnung A _{UKR} [-]	Höhe GW [-]			
		Q 9	Q 11	Q „dreistr.“	Q 21
DTV > 4.000 Kfz/24h	GW	0,5	-	-	-
DTV > 14.000 Kfz/24h	GW	-	0,28	-	-
DTV > 16.000 Kfz/24h	GW	-	-	0,28	-
Fehler in Relationstrassierung (FRT) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,12	0,1	0,15	0,06
Unterschreitung Mindestradius [Häufigkeit/km]	GW*A		0,07		
Hügeligkeit (HK) [%]	GW*A	0,008	0,07	0,16	0,025
Kurvigkeit (KU) [gon/km]	GW*A	-	-	-	0,0025
Kuppenhalbmesser unterschritten (KHM) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,08		0,3 (0,6)	
Fahrbahnbreite FBB > 6,00 m	GW	0,06	-	-	-
Fahrbahnbreite FBB < 7,75 m	GW	-	-	-	0,2
Fahrstreifenbreite 3,25 ≤ FSB < 3,50 m	GW	-	0,17		
Fahrstreifenbreite FSB < 3,25 m	GW	-	0,2	0,03	
Randstreifenbreite RSB < 0,50 m	GW	-	0,17		0,33
Teilbereich 2-streifig [-]	GW	-	-	0,13	-
Baumreihe auf Bankett [Anteil/Abschnitt] bis 0,4 stetig, dann Wert 0,4	GW*A	0,06	0,6	1,0 (2,8)	
	F _G	0,024	0,24	0,4 (1,12)	
Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknoten [(PGS+Akp*2)/km] bis 7 stetig, dann Wert 14	GW*A	0,015	-	-	-
	F _G	0,21	-	-	-
Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknoten [(PGS+Akp*2)/km] bis 5 stetig, dann Wert 9	GW*A	-	0,02	-	-
	F _G	-	0,18	-	-
Defizite durch Anschlussknotenpunkte [Akp/km]	GW*A	-	-	0,015	-
Defizite durch punktuelle Gefahrenstelle [PGS/km]	GW*A	-	-	-	0,1
Kreisstrukturtyp F (sehr ländlich)	GW	0,09	-	-	-
Kreisstrukturtyp B (sehr verdichtet)	GW	-	0,035	-	-
Kreisstrukturtyp C/D/E (verdichtet bis ländlich)	GW	-	0,014	-	-
Anteil Wald Seitenraum [Anteil/Abschnitt]	GW*A		0,3		0,07

Erläuterung: Für Zellen mit [-] besitzt Merkmal keinen Einfluss, für leere Zellen liegen keine signifikanten Zusammenhänge vor.

Tab. 37: Höhe der angepassten und originalen Grundwerte (GW) für Querschnitte, Variante mit DTV als kategoriale Variable

grau hinterlegte Flächen stellen Fälle mit geringen Diskrepanzen dar. Für dunkelgrau hinterlegte Flächen gilt, dass eine Anpassung aufgrund der Differenzen in den Grundwerten fachlich als sinnvoll erachtet wird. Aufgeführt sind in diesen Feldern die angepassten und in Klammern dargestellt die originalen Modellwerte.

Eine manuelle Anpassung der Zuschläge ist mit einer Distanzierung zu den Ergebnissen der Modelle verbunden. Die Anpassung folgt dabei pragmatischen Gesichtspunkten.

Der Grundwert des Merkmals Baumreihe auf Bankett (BB) erhöht sich in Abhängigkeit des Querschnitts. Der negative Einfluss von BB auf die Verkehrssicherheit ist für den Q „dreistreifig“ am höchsten, während der Einfluss für den Q 9 am geringsten ausfällt. Für alle Querschnitte gilt, dass ab einem Anteilswert von 0,4 der Faktor 0,4 anzusetzen ist. Aufgrund der sehr angepassten Linienführung und des mutmaßlich geringeren Geschwindigkeitsniveaus ist zu vermuten, dass auf Q 9 die Unfallfolgen geringer als auf Q 11 ausfallen. Dafür spricht ebenfalls, dass das Merkmal BB für den Q 9 signifikant im Teilmodell U(SS), für den Q 11 im Teilmodell U(P) vorliegt.

Für den Q „dreistreifig“ erklärt ebenfalls das Teilmodell U(P) eine höhere Unfallhäufigkeit des Merkmals BB. Jedoch erscheint der Grundwert im Hinblick auf die geringe Merkmalausprägung im Kollektiv sehr hoch. Es ist zu vermuten, dass das Merkmal BB zu einem Teil eine Stellvertretervariable für einen weiteren Einfluss darstellt. Für Strecken des Q „dreistreifig“ – insbesondere den Q 15,5 – sind nach dem Entwurf der RAL (FGSV 2008a) gegenüber dem Q 11 eine sehr gestreckte Linienführung und eine höhere planerisch angemessene Geschwindigkeit vorgesehen. Vor diesem Hintergrund ist zu vermuten, dass die Q „dreistreifig“ gegenüber dem Q 11 eine höhere Unfallschwere für Unfälle mit Aufprall auf Baum aufweisen. Um diesem Aspekt Rechnung zu tragen, wird für das Merkmal BB des Q „dreistreifig“ ein Grundwert (GW) von 1,0 angesetzt. Somit ergibt sich ein F_G von 0,4.

Auch für das Merkmal KHM des Q „dreistreifig“ gilt die Annahme, dass nur ein Teil der erhöhten Unfallhäufigkeit direkt auf das Merkmal zurückzuführen ist. Das Merkmal ist sehr selten im Streckenkollektiv vertreten. Der Grundwert KHM liegt für den Q „dreistreifig“ deutlich über dem Wert Q 9. Da aufgrund der Trassierungsparameter und weiterer

Randbedingungen auf Streckenabschnitten des Q „dreistreifig“ gegenüber dem Q 9 mutmaßlich ein höheres Geschwindigkeitsniveau vorliegt, scheint der höhere Grundwert des Q „dreistreifig“ plausibel. ZIMMERMANN et al. (2007) stellen in ihren Untersuchungen zur Kontrolle und Bewertung der räumlichen Linienführung auf Außerortsstraßen fest, dass an vielen Stellen das erhöhte Unfallgeschehen aus einer Überlagerung von Mängeln der räumlichen Linienführung und Defiziten im Lageplan resultiert. Dennoch konnte der Nachweis erbracht werden, dass verdeckte Kurvenanfänge eine Erhöhung der Unfallhäufigkeit nach sich ziehen. Weitere Einflüsse auf das Unfallgeschehen resultieren auch aus dem Umfeld der Straße (ZIMMERMANN et al. 2007).

LEVIN (1991) weist in seinen Untersuchungen nach, dass Kuppen gegenüber Strecken ohne Höhenplankrümmung ein doppelt so hohes Unfallrisiko besitzen, jedoch ein Zusammenhang zur Größe des Kuppenhalbmessers nicht nachzuweisen ist. Die Unfallschwere der Unfälle an Kuppen liegt um $\frac{2}{3}$ über dem Wert der freien Strecke. Zurückzuführen ist die Zunahme auf einen Anstieg der Unfalltypen 1 und 6.

Da in den Modellen der Sichtnachweis lediglich aus einer Kontrolle der Parameter des Höhenplans resultiert, ist ein Einfluss weiterer Merkmale (verdeckter Kurvenbeginn) im Merkmal KHM nicht auszuschließen. Daher ist zu vermuten, dass das Merkmal KHM besonders für den Q „dreistreifig“ zum Teil eine Stellvertretervariable darstellt. Der ermittelte Grundwert des Merkmals KHM entspricht mutmaßlich nicht der tatsächlichen Größenordnung. Da für Strecken des Q „dreistreifig“ das Überholen im Gegenverkehr verkehrsrechtlich unterbunden wird, ist die Wirkung der KHM auf die Erhöhung des Unfallrisikos geringer einzuschätzen. Daher wird auf Basis der Erkenntnisse von LEVIN (1991) unterstellt, dass der Grundwert des Merkmals KHM für Q „dreistreifig“ eine Höhe von ca. 0,3 aufweist. Die restliche Differenz erklärt sich aus anderen Einflussfaktoren.

Das Merkmal Hügeligkeit (HK) weist für den Q „dreistreifig“ gegenüber den anderen Querschnitten einen hohen Grundwert auf. Einbahnig dreistreifige Steigungsstrecken des Q 11,5+ sind im Kollektiv überproportional vorhanden. 25 von 55 Strecken weisen eine $HK > 3\%$ auf. Da der Betrag von mittlerer Längsneigung und absoluter Längsneigung (HK) identisch ist, handelt es sich bei diesen Ab-

schnitten um reine Steigungsstrecken. Weiterhin weisen Hügeligkeit und Kurvigkeit mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,37$ einen schwachen Zusammenhang auf. Es liegt nahe, dass das Merkmal Hügeligkeit damit auch zu einem Teil das Merkmal Kurvigkeit erklärt. Mit Bezug auf die Zusammensetzung des Kollektivs ist dieser Zusammenhang bei der Bewertung des Merkmals Hügeligkeit zu berücksichtigen. Gegebenenfalls ist eine Anpassung (Abminderung) des Grundwerts vorzunehmen.

Inhaltlich sind die Zuschläge aufgrund der Kreisstrukturtypen für Q 9 und Q 11 zu diskutieren. Während der Kreisstrukturtyp F für den Q 9 einen Zuschlag aufweist, stellt dieser für den Q 11 den sichersten Kreisstrukturtyp dar. Das niedrigste Sicherheitsniveau weisen sehr verdichtete Landkreise des Typs B auf. Die Berücksichtigung des Merkmals Kreisstrukturtyp resultiert für Q 11 aus dem Modell U(SS), für den Q 9 aus dem Modell U(LS). Obwohl für den Q 11 zwischen DTV und Kreisstrukturtyp nur eine sehr schwache Korrelation von $r = 0,22$ vorliegt, besitzen Strecken in Kreisen des Typs B im Durchschnitt einen doppelt so hohen DTV wie Strecken in Kreisen des Typs F. Demnach repräsentiert der Kreisstrukturtyp zum Teil das mittlere Verkehrsaufkommen der Strecken. Hohe Verkehrsaufkommen haben eine Zunahme der U(SS) zur Folge. Jedoch sind noch andere nicht bestimmte Gründe zu vermuten, die eine Differenzierung der UKR nach Kreisstrukturtyp zur Folge haben.

Auch für den Q 9 gilt, dass Streckenabschnitte mit dem Merkmal Kreisstrukturtyp F gegenüber den restlichen Kreisstrukturtypen im Durchschnitt einen geringeren DTV aufweisen. Jedoch fällt die Differenz mit 2.200 gegenüber 2.900 Kfz/24h trotz einer Korrelation von $r = 0,31$ deutlich geringer aus. Ab-

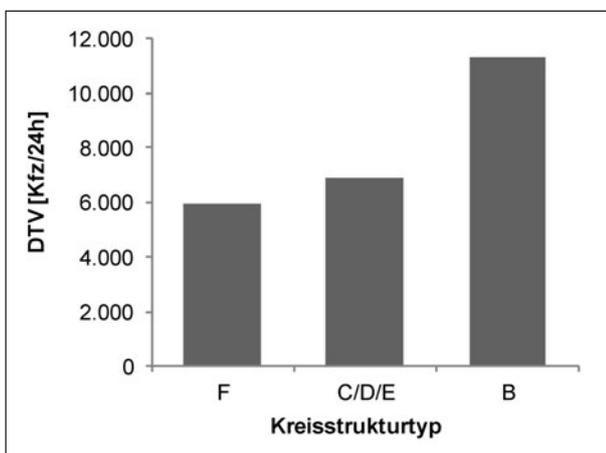


Bild 54: Mittlerer DTV nach Kreisstrukturtypen für Q 11

hängigkeiten zu weiteren signifikanten Merkmalen der Unfallmodelle liegen nicht vor. Es ist anzunehmen, dass die erhöhte Unfallhäufigkeit für den Kreisstrukturtyp F aus den Strukturmerkmalen des Kreises oder weiteren im Modell nicht berücksichtigten Merkmalen stammt.

Im Vergleich zum Q 11 fällt der Grundwert des Merkmals $FSB < 3,25$ m mit 0,03 für Q „dreistreifig“ niedrig aus. Unabhängig von der Erklärung des Modells ist zu vermuten, dass die Verringerung der Querschnittselemente FSB und RSB für Q „dreistreifig“ zu einer ähnlichen Zunahme der Unfallhäufigkeit wie für den Q 11 führt. Aufgrund unterschiedlicher Trassierungsparameter – gestreckte Linienführung für Q 11,5+ und Q 15,5 – sollten die Zuschläge eine gegenüber dem Q 11 geringere Höhe aufweisen. Im weiteren Verlauf sind für diesen Fall die Zuschläge des Modells berücksichtigt.

Ebenfalls eine Anpassung der Grundwerte (GW) erfolgte für die Zuschlagstabelle der Variante ohne DTV als kategoriale Variable. Dabei wurde für den Q „dreistreifig“ den Grundwerten der Merkmale BB und KHM die gleiche Größenordnung wie der Variante mit DTV als kategoriale Variable zugeordnet. Die Höhe aller anderen Grundwerte entspricht den Ergebnissen der Modelle. Eine Übersicht enthält Tabelle 38.

Folgende Sachverhalte gelten für die Plausibilitätsprüfung der Zuschläge nach Querschnitten:

- Die Höhe von Grundwerten selten auftretender streckencharakteristischer Merkmale (bspw. BB, KHM für Q „dreistreifig“) ist mutmaßlich auch auf den Einfluss anderer Merkmale zurückzuführen. Die in den Modellen ermittelten Merkmale stellen somit zum Teil eine Stellvertretervariable dar. Die Höhe des Grundwertes ist daher vor dem Hintergrund einer pragmatischen Anwendung der Zuschläge anzupassen.
- Für verschiedene, aber sehr ähnliche Querschnitte liegen zu bestimmten Merkmalsausprägungen (bspw. $FSB < 3,25$ m) nur für einzelne Querschnitte signifikante Einflüsse aus den Unfallmodellen vor. Besonders für den Q 11,5+ und Q 15,5 ist aufgrund der geringen Kollektivgröße anzunehmen, dass über die ermittelten Merkmale hinaus weitere Einflüsse existieren, die zu einer Erhöhung der Unfallhäufigkeit führen. Vor diesem Hintergrund ist die Verwendung entsprechender weiterer – hier nicht bestimmbarer – Zuschläge zu prüfen.

Kriterium	Berechnung A _{UKR} [-]	Höhe GW [-]			
		Q 9	Q 11	Q „dreistr.“	Q 21
Fehler in Relationstrassierung (FRT) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,135	0,1	0,17	0,06
Unterschreitung Mindestradius [Häufigkeit/km]	GW*A		0,07		
Hügeligkeit (HK) [%]	GW*A	0,006	0,07	0,15	0,025
Kurvigkeit (KU) [gon/km]	GW*A	-	-	-	0,0025
Kuppenhalbmesser unterschritten (KHM) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,05		0,3 (0,6)	
Fahrbahnbreite FBB > 6,00 m	GW	0,06	-	-	-
Fahrbahnbreite FBB < 7,75 m	GW	-	-	-	0,2
Fahrstreifenbreite 3,25 ≤ FSB < 3,50 m	GW	-	0,16		
Fahrstreifenbreite FSB < 3,25 m	GW	-	0,2	0,025	
Randstreifenbreite RSB < 0,50 m	GW	-	0,18		0,33
Teilbereich 2-streifig [-]	GW	-	-	0,13	-
Baumreihe auf Bankett [Anteil/Abschnitt] bis 0,4 stetig, dann Wert 0,4	GW*A	0,045	0,6	1,0 (3,0)	
	F _G	0,018	0,24	0,4 (1,2)	
Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknoten [(PGS+Akp*2)/km] bis 7 stetig, dann Wert 14	GW*A	0,013	-	-	-
	F _G	0,182	-	-	-
Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknoten [(PGS+Akp*2)/km] bis 5 stetig, dann Wert 9	GW*A	-	0,02	-	-
	F _G	-	0,18	-	-
Defizite durch Anschlussknotenpunkte [Akp/km]	GW*A	-	-	0,015	-
Defizite durch punktuelle Gefahrenstelle [PGS/km]	GW*A	-	-	-	0,1
Kreisstrukturtyp F (sehr ländlich)	GW	0,075	-	-	-
Kreisstrukturtyp B (sehr verdichtet)	GW	-	0,035	-	-
Kreisstrukturtyp C/D/E (verdichtet bis ländlich)	GW	-	0,014	-	-
Anteil Wald Seitenraum [Anteil/Abschnitt]	GW*A		0,3		0,07

Erläuterung: Für Zellen mit [-] besitzt Merkmal keinen Einfluss, für leere Zellen liegen keine signifikanten Zusammenhänge vor.

Tab. 38: Höhe der angepassten und originalen Grundwerte (GW) für Querschnitte, Variante ohne DTV als kategoriale Variable

- Für alle leeren Zellen in Tabelle 37 und Tabelle 38 gilt, dass ein mutmaßlicher Einfluss des Merkmals auf die Verkehrssicherheit existiert, aber im Rahmen der Modellerstellung nicht nachgewiesen werden konnte. Der Einfluss dieser Merkmale ist ggf. mit weiteren Untersuchungen zu quantifizieren. Für Merkmale, deren Zellen mit einem waagerechten Strich belegt sind, kann ein Einfluss auf die Verkehrssicherheit des jeweiligen Querschnitts nach diesen Ergebnissen ausgeschlossen werden.

- Das Merkmal Kreisstrukturtyp stellt eine das Umfeld der Strecke beschreibende Eigenschaft dar. Eine eindeutige Identifikation, auf welcher Grundlage eine Erhöhung des Unfallgeschehens in den verschiedenen Kreisstrukturtypen erfolgt, ist bislang nicht möglich.

4.9 Vorschlag Anwendung HVS

Aus den verwendeten Unfallmodellen nach Querschnitt und der volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens können $g_{UKR_{\check{A}}}$ und $z_{UKR_{\check{A}}}$ und damit die in Abhängigkeit der Gestaltung zu erwartende UKR eines Streckenabschnitts berechnet werden.

In einem ersten Schritt erfolgt die Berechnung der $g_{UKR_{\check{A}}}$ auf Basis des zu erwartenden DTV und der Faktoren k_{UKR} und f_{UKR} des jeweiligen Querschnitts (Gleichung 22). In einem zweiten Schritt wird die $UKR_{Strecke}$ eines Abschnitts aus der Multiplikation der $g_{UKR_{\check{A}}}$ mit der Produktsumme der $z_{UKR_{\check{A}}}$ (A_{UKR}) berechnet (Gleichung 25). Mit der $UKR_{Strecke}$ für den Planfall und der $g_{UKR_{\check{A}}}$ für den Idealfall lassen sich die vermeidbaren volkswirt-

schaftlichen Kosten berechnen, die sich bei einem regelkonformen Ausbau der Strecke gegenüber dem betrachteten Planfall ergeben.

Um eine Sicherheitsbewertung der Streckenabschnitte von Landstraßen im Sinne einer Orientierung an den Regelquerschnitten nach den RAL (FGSV 2008a) zu gewährleisten, erfolgt eine separate Betrachtung des Q 11,5+. Dieser weist dem Q 15,5 entsprechende $g_{UKR_{\check{A}}}$ und $z_{UKR_{\check{A}}}$ auf. Einbahnig zweistreifige Abschnitte sind mit einem Zuschlag zu bewerten.

Eine Trennung des Sicherheitsniveaus auf Basis der EKL oder v_{zul} , wie im Entwurf des HVS (BARK et al. 2008), erfolgt nicht. Die ermittelten $g_{UKR_{\check{A}}}$ gelten für zugrunde gelegte Querschnitte bei einer Beschränkung der v_{zul} mit Ausnahme des Q 21 von $70 \leq v \leq 100$ km/h. Für den Q 21 beträgt der gültige Bereich der v_{zul} $70 \leq v \leq 120$ km/h. Abschnitte ohne Geschwindigkeitsbeschränkung sind nicht Bestandteil des Untersuchungskollektivs.

Tabelle 39 und Tabelle 40 enthalten einen Vorschlag für die Berechnung der $g_{UKR_{\check{A}}}$ im HVS, unterschieden in die Varianten mit und ohne DTV als

Bewertungsfall	Anzahl Fahrstreifen	Berechnung $g_{UKR_{\check{A}}}$ [€/(10 ³ Kfz*km)]	Faktoren		Einsatzbereich DTV	
			k_{UKR}	f_{UKR}	Untergrenze [Kfz/24h]	Obergrenze [Kfz/24h]
Q 21	4	$g_{UKR_{\check{A}}} = k_{UKR} * DTV^{f_{UKR}}$	545	-0,420	9.500	36.500
Q 15,5	3		883	-0,478	3.500	22.000
Q 11,5+	2/3				3.500	22.000
Q 11	2		408	-0,358	500	23.000
Q 9	andere		1.506	-0,479	500	7.000

Tab. 39: Vorschlag Berechnung der $g_{UKR_{\check{A}}}$ -Streckenabschnitte von Landstraßen, Variante mit DTV als kategoriale Variable

Bewertungsfall	Anzahl Fahrstreifen	Berechnung $g_{UKR_{\check{A}}}$ [€/(10 ³ Kfz*km)]	Faktoren		Einsatzbereich DTV	
			k_{UKR}	f_{UKR}	Untergrenze [Kfz/24h]	Obergrenze [Kfz/24h]
Q 21	4	$g_{UKR_{\check{A}}} = k_{UKR} * DTV^{f_{UKR}}$	545	-0,420	9.500	36.500
Q 15,5	3		265	-0,333	3.500	22.000
Q 11,5+	2/3				3.500	22.000
Q 11	2		270	-0,308	500	23.000
Q 9	andere		348	-0,275	500	7.000

Tab. 40: Vorschlag Berechnung der $g_{UKR_{\check{A}}}$ -Streckenabschnitte von Landstraßen, Variante ohne DTV als kategoriale Variable

kategoriale Variable. Die aufgeführten DTV-Grenzwerte entsprechen den Modellgrenzen der jeweiligen Kollektive. Diese sind ggf. im Rahmen der Einsatzgrenzen nach RAL (FGSV 2008a) anzugeben. Für Streckenabschnitte mit einem DTV < 1.000 Kfz/24h wird die pauschale Berechnung der Unfallkenngrößen mit einem DTV von 1.000 Kfz/24h empfohlen.

Für alle Querschnitte sind die Faktoren k_{UKR} und f_{UKR} zur Berechnung der $g_{UKR\bar{A}}$ angegeben. Q 15,5 und Q 11,5+ liegen die gleichen Faktoren zugrunde.

Tabelle 41 und Tabelle 42 enthalten eine Aufschlüsselung, wie die Berechnung der UKR auf Basis der A_{UKR} erfolgen kann. Graue leere Zellen sind ggf.

Kriterium	Berechnung UKR [€/10 ³ Kfz*km]	Berechnung $A_{UKR,i}$ [-]	$UKR_{Strecke} = \left(\prod_{i=1}^n (1 + A_{UKR,i}) \right) * g_{UKR\bar{A}}$ Höhe GW [-]				
			Q 9	Q 11	Q 11,5+	Q 15,5	Q 21
Verkehrs - belastung	DTV > 4.000 Kfz/24h	GW	0,5	-	-	-	-
	DTV > 14.000 Kfz/24h	GW	-	0,28	-	-	-
	DTV > 16.000 Kfz/24h	GW	-	-	0,28	0,28	-
Trassierung	Fehler in Relationstrassierung (FRT) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,12	0,1	0,15	0,15	0,06
	Unterschreitung Mindestradius [Häufigkeit/km]	GW*A		0,07			
	Kuppenhalbmesser unterschritten (KHM) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,08		0,3	0,3	
Querschnitt	Fahrbahnbreite FBB > 6,00 m	GW	0,06	-	-	-	-
	Fahrbahnbreite FBB < 7,75 m	GW	-	-	-	-	0,2
	Fahrstreifenbreite 3,25 ≤ FSB < 3,50 m	GW	-	0,17			
	Fahrstreifenbreite FSB < 3,25 m	GW	-	0,2	0,03	0,03	
	Randstreifenbreite RSB < 0,50 m	GW	-	0,17			0,33
Betriebsform	Teilbereich 2-streifig [-]	GW	-	-	0,13	-	-
Seitenraum und Netz - struktur	Punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknotenpunkte [(PGS+2*Akp)/km] bis 7 stetig, dann Wert 14	GW*A	0,015	-	-	-	-
		F_G	0,21	-	-	-	-
	Punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknotenpunkte [(PGS+2*Akp)/km] bis 5 stetig, dann Wert 9	GW*A	-	0,02	-	-	-
		F_G	-	0,18	-	-	-
	Anschlussknotenpunkte [Akp/km]	GW*A	-	-	0,015	0,015	-
	Punktuelle Gefahrenstellen [PGS/km]	GW*A	-	-	-	-	0,1
Eigen- schaften Strecke	Baumreihe auf Bankett [Anteil/Abschnitt] bis 0,4 stetig, dann Wert 0,4	GW*A	0,06	0,6	1	1	
		F_G	0,024	0,24	0,4	0,4	
	Kreisstrukturtyp F	GW	0,09		-	-	-
	Kreisstrukturtyp B	GW	-	0,035	-	-	-
	Kreisstrukturtyp C/D/E	GW	-	0,014	-	-	-
	Hügeligkeit [%]	GW*A	0,008	0,07	0,16	0,16	0,025
Kurvigkeit [gon/km]	GW*A	-	-	-	-	0,0025	
Anteil Wald Seitenraum [Anteil/Abschnitt]	GW*A		0,3			0,07	

Erläuterung: GW = Grundwert; A = Ausprägung; F_G = Faktor Grenze; [-] = kein Einfluss vorhanden

Tab. 41: Grundwerte (GW) der Zuschläge für Abweichungen nach Querschnitt, Variante mit DTV als kategoriale Variable

	Berechnung UKR [€/ (10 ³ Kfz*km)]	$UKR_{Strecke} = \left(\prod_{i=1}^n (1 + A_{UKR,i}) \right) * g_{UKR_A}$					
Kriterium	Abweichung vom richtliniengerechten Ausbau	Berechnung $A_{UKR,i}$ [-]	Höhe GW [-]				
			Q 9	Q 11	Q 11,5+	Q 15,5	Q 21
Trassierung	Fehler in Relationstrassierung (FRT) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,135	0,1	0,17	0,17	0,06
	Unterschreitung Mindestradius [Häufigkeit/km]	GW*A		0,07			
	Kuppenhalbmesser unterschritten (KHM) [Häufigkeit/km]	GW*A	0,05		0,6	0,6	
Querschnitt	Fahrbahnbreite FBB > 6,00 m	GW	0,06	-	-	-	-
	Fahrbahnbreite FBB < 7,75 m	GW	-	-	-	-	0,2
	Fahrstreifenbreite 3,25 ≤ FSB < 3,50 m	GW	-	0,17			
	Fahrstreifenbreite FSB < 3,25 m	GW	-	0,2	0,025	0,025	
	Randstreifenbreite RSB < 0,50 m	GW	-	0,18			0,33
Betriebsform	Teilbereich 2-streifig [-]	GW	-	-	0,13	-	-
Seitenraum und Netz- struktur	Punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknotenpunkte [(PGS+2*Akp)/km] bis 7 stetig, dann Wert 14	GW*A	0,013	-	-	-	-
		F _G	0,182	-	-	-	-
	Punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknotenpunkte [(PGS+2*Akp)/km] bis 5 stetig, dann Wert 9	GW*A	-	0,02	-	-	-
		F _G	-	0,18	-	-	-
	Anschlussknotenpunkte [Akp/km]	GW*A	-	-	0,015	0,015	-
	Punktuelle Gefahrenstellen [PGS/km]	GW*A	-	-	-	-	0,1
Baumreihe auf Bankett [Anteil/Abschnitt] bis 0,4 stetig, dann Wert 0,4	GW*A	0,045	0,6	1	1		
	F _G	0,018	0,24	0,4	0,4		
Eigen- schaften Strecke	Kreisstrukturtyp F	GW	0,075	-	-	-	-
	Kreisstrukturtyp B	GW	-	0,035	-	-	-
	Kreisstrukturtyp C/D/E	GW	-	0,014	-	-	-
	Hügeligkeit [%]	GW*A	0,008	0,07	0,15	0,15	0,025
	Kurvigkeit [gon/km]	GW*A	-	-	-	-	0,0025
	Anteil Wald Seitenraum [Anteil/Abschnitt]	GW*A		0,3			0,07

Erläuterung: GW = Grundwert; A = Ausprägung; F_G = Faktor Grenze; [-] = kein Einfluss vorhanden

Tab. 42: Grundwerte (GW) der Zuschläge für Abweichungen nach Querschnitt, Variante ohne DTV als kategoriale Variable

über weitere Untersuchungen mit Grundwerten (GW) zu besetzen. Für graue Zellen, die einen waagerechten Strich enthalten, gilt, dass für das Merkmal für den jeweiligen Querschnitt kein Einfluss auf die Verkehrssicherheit ermittelt werden konnte. Die Ordnung der Merkmale erfolgt nach übergeordneten Kriterien.

- Das Kriterium Verkehrsbelastung liegt nur für die Variante mit DTV als kategoriale Variable

vor. Darin enthalten sind alle Zuschläge in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung eines Querschnitts.

- Zuschläge aufgrund von Defiziten in der Trassierung von Höhenplan und Lageplanelementen umfasst das Kriterium Trassierung.
- Zuschläge aufgrund von Abweichungen in der Gestaltung der Querschnittelelemente Fahrstreifen

fenbreite, Randstreifenbreite sowie Fahrbahnbreite sind Bestandteil des Kriteriums Querschnitt.

- Das Kriterium Betriebsform beinhaltet den Zuschlag für einbahnig zweistreifige gegenüber einbahnig dreistreifigen Abschnitten des Q 11,5+.
- Unter dem Kriterium Seitenraum und Netzstruktur sind alle diejenigen Defizite zusammengefasst, die das Auftreten von Hindernissen im fahrbahnnahen Seitenraum sowie von Anschlussknotenpunkten beschreiben. Das Merkmal „Punktuelle Gefahrenstellen und Anschlussknotenpunkte“ liegt getrennt für Q 9 und Q 11 im Kollektiv vor. Ursache ist die unterschiedliche Klassifizierung des Merkmals in einen stetigen und fixen Bereich. Prinzipiell ist eine Darstellung des Merkmals auch in einer Zeile möglich. Dabei sind die Grenzen der Klassifizierung separat anzugeben.
- Im Kriterium Eigenschaften Strecke sind alle Merkmale zusammengefasst, die im Rahmen der Grenzwerte kein Defizit im eigentlichen Sinne darstellen.

4.10 Annäherungsbereiche

Das vorgestellte Verfahren zur Bewertung der Verkehrssicherheit auf Streckenabschnitten ist auf Abschnitte außerhalb von Annäherungsbereichen begrenzt. Annäherungsbereiche definieren überwiegend den Einflussbereich streckenbegrenzender Elemente auf den eigentlichen Streckenabschnitt. Dazu zählen neben der von der Zufahrtsregelung eines Knotenpunkts abhängigen Länge auch Abschnitte im Vorfeld von Ortsdurchfahrten.

Nach dem HVS (BARK et al. 2008) erfolgt eine Netzbetrachtung getrennt für die Elemente Knotenpunkt und Strecke, wobei ausgehend vom Achsenmittelpunkt 150 m Länge der angrenzenden Strecken dem Knotenpunkt zuzuordnen sind. Darüber hinaus ist auch eine individuelle Abgrenzung möglich. In den Untersuchungen ist das Unfallgeschehen innerhalb eines Radius von 50 m dem Element Knotenpunkt zugeordnet.

Mit Ausnahme wartepflichtiger Knotenpunktzufahrten wird in ECKSTEIN & MEEWES (2002) für alle Arten von Knotenpunktzufahrten ein positiver Einfluss (Rückgang UR und Unfallschwere) auf die angrenzenden Streckenabschnitte angenommen. Die

Einflusslänge ist abhängig von der Art der Verkehrsregelung in der Zufahrt. Aus diesen Ergebnissen und der durchgeführten Sensitivitätsanalyse ist der Einflussbereich von Knoten mit 300 m festgelegt.

Es liegen keine Erkenntnisse vor, ob und in welcher Form eine Veränderung der Verkehrssicherheit an Übergängen zu Ortsdurchfahrten eintritt. Aufgrund der Abnahme der gefahrenen Geschwindigkeiten ist ein Rückgang der Unfallschwere zu vermuten. Der Einflussbereich ist pauschal mit einer Länge von 100 m fixiert.

Für beide Übergangsarten liegen Bereiche vor, die durch die bisherige Definition der Netzelemente nicht in der Bewertung berücksichtigt sind. Für eine vollständige Bewertung des Netzes sind die Annäherungsbereiche dem Netzelement Streckenabschnitt zuzuordnen und deren Einfluss auf die Bewertung zu definieren. Bild 55 zeigt schematisch die Veränderung der UKR in den Bereichen Annäherung Knotenpunkt – freie Strecke – Annäherung Ortschaft. Im Beispiel stellen eine bevorrechtigte Zufahrt (Z 306 StVO) und eine Ortsdurchfahrt die Grenzen eines Streckenabschnitts dar.

Es gilt für beide Annäherungsbereiche, dass a priori die jeweilige UKR unter dem Niveau der UKR für den freien Streckenabschnitt liegt. Die Differenz zwischen Annäherungsbereichen und freier Strecke wird maßgebend durch das Sicherheitsniveau der Teilelemente geprägt. Streckenabschnitte mit einer hohen Anzahl an Defiziten weisen gegenüber den Annäherungsbereichen höhere Differenzen auf, als es für regelkonform ausgebaute Streckenabschnitte gilt. Gleichermaßen können Defizite im Annäherungsbereich zu einer Verringerung der UKR-Differenz führen. Für große Kollektive entspricht diese Änderung einer zufälligen in beide Richtungen auftretenden Schwankung.

Die für das gesamte Netzelement geltende Unfallkostenrate (UKR_{NE}) ergibt sich aus den längenge-

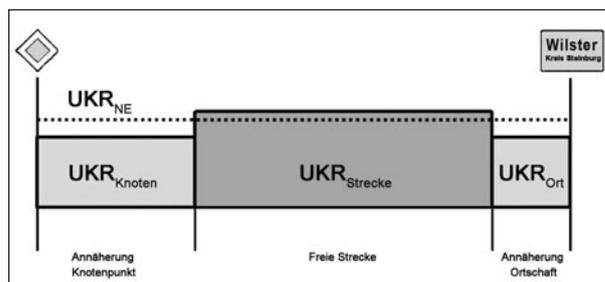


Bild 55: Höhe UKR für Netzelement, Trennung nach Teilelementen

wichteten UKR der Teilelemente. Im dargestellten Beispiel liegt die UKR_{NE} unter dem Niveau der $UKR_{Strecke}$. Einfluss auf die Differenz beider Größen haben die Art der Übergänge, das Sicherheitsniveau der Teilelemente sowie die Länge des betrachteten Streckenabschnitts. Je länger ein Netzabschnitt, desto geringer ist ceteris paribus die Differenz. Für sehr lange Abschnitte gilt, dass der Unterschied zwischen UKR_{NE} und $UKR_{Strecke}$ praktisch an Bedeutung verliert.

Für sehr kurze Streckenabschnitte mit geringem Anteil freier Strecke ist zu vermuten, dass aufgrund des vorausschauenden Fahrverhaltens für den Bereich der freien Strecke das Niveau der $UKR_{Strecke}$ nicht erreicht wird. Grund ist die geringere Unfallschwere aufgrund niedrigerer gefahrener Geschwindigkeiten. Dies gilt in den Untersuchungen mutmaßlich für freie Streckenabschnitte mit einer Länge $L < 250$ m, die nicht Bestandteil der Modelle sind. Die Länge dieses Einflusses ist an weitere Randbedingungen wie bspw. Höhe der v_{zul} gekoppelt.

Folgende zwei Varianten kommen für die Bewertung von Streckenabschnitten infrage. Dabei erfolgt die Berechnung der $UKR_{Strecke}$ jeweils für den gesamten Netzabschnitt, wenn dieser keine baulichen Veränderungen (Aufweitung im Bereich von Knotenpunkten) aufweist.

Variante 1 stellt einen pragmatischen Ansatz dar. Unabhängig von der Länge des Streckenabschnitts bleibt der Einfluss der Annäherungsbereiche unberücksichtigt. Zur Bewertung wird daher lediglich die ermittelte $UKR_{Strecke}$ herangezogen. Somit entspricht die UKR_{NE} der $UKR_{Strecke}$. Dies hat für kurze Abschnitte eine tendenzielle Überschätzung der UKR zur Folge.

Variante 2 beinhaltet in Abhängigkeit der Streckenlänge die Berechnung der UKR_{NE} auf Basis der gewichteten Anteile der UKR eines Streckenabschnitts. Dabei wird dem Gedanken Rechnung getragen, dass die Zahl der Unfälle in Annäherungsbereichen geringfügig rückläufig ist und eine Verschiebung der Anteile innerhalb der Kategorien eintritt. Dabei ist in folgende Fälle zu unterscheiden:

- sehr kurze Streckenabschnitte, auf denen die $UKR_{Strecke}$ nicht erreicht wird,
- mittellange Streckenabschnitte, auf denen die $UKR_{Strecke}$ erreicht wird und eine Berechnung der UKR_{NE} praktikabel erscheint, und

Regelung	UKR(P, S) DM/ (10 ³ Kfz * km)		$\Delta UKR(P, S)$ [%]	Länge [km]
	nah	fern		
wartepflichtig	(72)	(51)	(+41)	0,3
signalgeregelt	25	53	-53	0,3
bevorrechtigt ohne OGÜ	22	42	-48	0,7
planfrei	29	49	-41	0,5

Tab. 43: Einflusslängen und Unfallkostenraten für durch Knotenpunkte beeinflusste Streckenabschnitte (ECKSTEIN & MEEWES 2002)

- sehr lange Streckenabschnitte auf denen Unterschiede zwischen UKR_{NE} und $UKR_{Strecke}$ praktisch nicht von Relevanz sind.

Zur Ermittlung der UKR_{Knoten} und UKR_{Ort} sind Kenntnisse zur Höhe des Einflusses notwendig. Auf Basis von U(P, S) ermittelten ECKSTEIN & MEEWES (2002) einen Rückgang der UKR an Knotenpunkten in Abhängigkeit der Zufahrtregelung zwischen 40 und 53 %, der UR – ausschließlich der bevorrechtigten Zufahrten mit OGÜ – zwischen 5 und 18 %. Für wartepflichtige Zufahrten wird kein Einfluss angegeben. Die mittlere Unfallschwere der Einflussbereiche (nah) liegt in allen Kollektiven deutlich unter der freien Strecken (fern). Diese Differenz resultiert aus einer Zunahme der U(S) bzw. einer Abnahme der U(P).

Demgegenüber ermittelten VIETEN et al. (2009) keinen eindeutigen Trend für den Einfluss von Knotenpunkten auf wartepflichtige Zufahrten. Mit zunehmender Fahrbahnbreite nimmt der positive Einfluss ab. Dabei wird das Kollektiv von Querschnitten mit schmalen Fahrbahnbreiten geprägt. Im Mittel aller wartepflichtigen Zufahrten ist ein stärkerer Rückgang der UR gegenüber der UKR festzustellen. Dies lässt auf eine Veränderung in der Struktur der Unfallschwere schließen. Untersucht wurden lediglich die Unfallkategorien 1 bis 4. Bevorrechtigte und signalisierte Zufahrten am Knotenpunkt weisen ebenfalls einen Rückgang der UR und UKR auf.

Bevorrechtigte Zufahrten auf einbahnig drei- und vierstreifigen Strecken weisen im Vergleich zur freien Strecke eine höhere UKR auf. In Bezug auf eine Fahrbahnbreite von 7,5 m und einen DTV von ca. 6.500 Kfz/24h ergibt sich für die UKR eine prozentuale Abminderung zwischen 16 und 26 %.

Einen positiven Einfluss plangleicher VZ-geregelter Knotenpunkte auf die angrenzende Strecke ermit-

Regelung Zufahrt/ Bereich	Unfallkategorie Anteile [%]		Unfalltypen Anteile [%]	
	U(P)	U(S)	1 & 6	Andere
freie Strecke	14,9	85,1	41,2	58,8
bevorrechtigt	12,8	87,2	35,5	64,5
signalgeregelt	14,0	86,0	55,5	44,5
wartepflichtig	18,8	81,2	41,3	58,7
Ann. Ortschaft	13,6	86,4	43,5	56,5

Tab. 44: Verteilung Unfallkategorie und Unfalltypen nach Teilelementen der Strecke und Regelung der Zufahrt an Knotenpunkten, Kat. 1 bis 6, Typ 1 bis 7

telte SCHENK (2007). Gründe sind die Abnahme der Unfallschwere bei nahezu unveränderter Unfallrate.

Im Untersuchungskollektiv ist eine ähnliche, wenn auch geringere Verschiebung der Unfallkategorien im Bereich von Annäherungsbereichen festzustellen (Tabelle 44). Die Betrachtung der Bundesländer, in denen alle Unfallkategorien vorliegen, ermöglicht eine detailliertere Aussage zur Verteilung der Unfälle nach Kategorie. Dabei wurde auf Basis aller Strecken, die einen freien Streckenanteil von $L \geq 500$ m aufweisen, das Unfallgeschehen analysiert.

Der Anteil der U(P) an U(P, S) für Annäherungsbereiche – inklusive Ortschaften, jedoch ohne Zufahrten mit Wartepflicht – liegt mit 13 % um 2 % unter dem Wert der freien (unbeeinflussten) Strecken. Die Differenz resultiert aus dem Einfluss der Knotenpunkte mit bevorrechtigten Zufahrten, da für signalisierte Zufahrten gegenüber den freien Strecken der Anteil U(P) nur einen Rückgang von ca. 1 % aufweist. Für wartepflichtige Zufahrten ist ein deutlicher Anstieg des Anteils U(P) zu verzeichnen. Da diesem Kollektiv jedoch nur 138 Unfälle – davon 26 U(P) – angehören, ist die Aussagekraft eingeschränkt.

Mit Ausnahme der Annäherung an Ortschaften weisen alle Bereiche gegenüber der freien Strecke in der Unfalltypenverteilung einen geringeren Anteil des Typs Fahr Unfall auf. Der höhere Anteil der Unfalltypen 1 & 6 für signalgeregelte und wartepflichtige Zufahrten resultiert aus einer Zunahme der Unfälle im Längsverkehr.

In Annäherungsbereichen liegt eine Veränderung der Unfallschwere- und Unfalltypenverteilung gegenüber der freien Strecke vor. Maßgebend sind

die Regelung der Zufahrt am Knotenpunkt und die Annäherung an Ortschaften. Da in der Bewertung eines Streckenabschnitts Defizite auch im Bereich der Annäherungsbereiche zu erfassen sind, erklärt sich die Differenz zwischen der UKR der freien Strecke und den Annäherungsbereichen zum Teil aus einem unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveau.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von ECKSTEIN & MEEWES (2002) und VIETEN et al. (2009) sollen für Variante 2 folgende Sachverhalte gelten:

- Annäherungsbereiche (Einflussbereiche) an Knotenpunkten und Übergänge zu Ortschaften weisen gegenüber freien Strecken eine veränderte Struktur der Unfallschwere und Unfalltypenverteilung auf.
- Aus den Quellen resultieren unterschiedliche Aussagen zum Einfluss von Knotenpunkten auf wartepflichtige (Z 205 und Z 206 StVO) einbahnige Zufahrten. Aus dem Untersuchungskollektiv wird bei der Unfallschwere eine Verschiebung der U(S) zu U(P) deutlich (Tabelle 44). Daher wird folgenden Aspekten Rechnung getragen: Für U(P) wird auf Kosten der U(LS) ein Zuwachs von 1 %, für U(SS) von 4 % angenommen. Allen Unfallkategorien wird ein Rückgang der UR um 18 % unterstellt (VIETEN et al. 2009). Die Einflusslänge beträgt 300 m.
- Für Zufahrten zu Kreisverkehren liegen keine aussagekräftigen Kollektive vor. Vor dem Hintergrund, dass sich das Fahrverhalten in Zufahrten zu Kreisverkehren von wartepflichtigen Zufahrten nur gering unterscheidet, wird von einer ähnlichen Veränderung des Unfallgeschehens ausgegangen.
- Plangleiche bevorrechtigte ohne OGÜ und signalgeregelte einbahnige Zufahrten besitzen eine Einflusslänge von 300 m. Dabei gilt, dass gegenüber der freien Strecke eine Verlagerung der U(P) (-2 %) und der U(SS) (-2 %) zu den U(LS) stattfindet. Darüber hinaus liegt die UR(P, S) in diesem Bereich um 15 % unter dem Niveau der freien Strecke. Dieser Rückgang trifft für alle Unfallkategorien im gleichen Umfang zu. Der Einfluss wird über die UKR_{Knoten} berücksichtigt.
- Für Annäherungsbereiche an Ortschaften (Z 310 StVO) mit einer Länge von 100 m gilt

ebenfalls, dass eine Verlagerung der U(P) (-1 %) und U(SS) (-2 %) zu U(LS) erfolgt. Unabhängig von der Unfallkategorie sinkt die UR(P, S) um 10 %. Die Veränderung wird über die Kenngröße UKR_{Ort} berücksichtigt.

- Aufgrund der geringen Kollektivgröße zweibahrig vierstreifiger Strecken sind Aussagen zu Einflussbereichen von Knotenpunkten auf Streckenabschnitte des Q 21 nicht möglich.

Aus der Verteilung der Unfallschwere⁴ und der volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens ergibt sich die in Tabelle 45 dargestellte Abminderung der UKR-Elemente.

Der Abminderungsfaktor des Netzelements ($A_{F,NE}$) berechnet sich aus den längengewichteten A_F der Einzelbereiche (Gleichung 27). Der $A_{F,NE}$ entspricht der prozentualen Abweichung (Abminderung) der Kenngrößen UKR_{NE} und $UKR_{Strecke}$ zueinander. Die Anzahl der Teilelemente ist abhängig von der Art des Streckenübergangs sowie der Gesamtlänge der freien Strecke.

$$A_{F,NE} = \left(\frac{\sum_{n=1}^i (A_{F,i} * L_i)}{L} \right) \quad \text{Gl. 27}$$

$A_{F,NE}$ Abminderungsfaktor Netzelement

L_i Länge Teilelement i

L Länge Netzabschnitt

$A_{F,i}$ Abminderungsfaktor Teilelement i

Element		Länge [km]	Abminderungsfaktor A_F [-]
Strecke	freie Strecke	variabel	1
	Annäherung Ortschaft	0,1	0,83
Annäherung Knotenpunkt	LSA	0,3	0,73
	VZ bevorrechtigt	0,3	0,73
	VZ wartepflichtig	0,3	0,90
	Kreisverkehr	0,3	0,90

Tab. 45: Abminderungsfaktoren A_F für UKR-Elemente

$$UKR_{NE} = UKR_{Strecke} * A_{F,NE} \quad \text{Gl. 28}$$

UKR_{NE} - Unfallkostenrate Netzelement [€/(10³ Kfz * km)]

$UKR_{Strecke}$ - Unfallkostenrate freie Strecke [€/(10³ Kfz * km)]

$A_{F,NE}$ - Abminderungsfaktor Netzelement

Die Höhe von $A_{F,NE}$ entscheidet über die weitere Bewertung des Streckenabschnittes. Folgende Grenzwerte definieren die Bewertung eines Streckenabschnitts:

- Die Berechnung der Netzabschnitte mit einem Anteil der freien Strecke $L < 500$ m (sehr kurze Abschnitte) beinhaltet in Gleichung 27 lediglich die Terme der Annäherungsbereiche. Dementsprechend verringert sich in der Berechnung die Gesamtlänge L um den Anteil der freien Strecke.
- Beträgt $A_{F,NE} \geq 0,975$ (97,5 %), so kann die Differenz zwischen $UKR_{Strecke}$ und UKR_{NE} vernachlässigt werden. Dabei handelt es sich um (sehr) lange Streckenabschnitte. Dabei variiert die Streckenlänge in Abhängigkeit der Art der Übergänge.
- Für $A_{F,NE} < 0,975$ gilt, dass die UKR_{NE} zur Bewertung der Strecke zu verwenden ist (Gleichung 28).

Variante 1 und 2 stellen Möglichkeiten der Bewertung eines Streckenabschnitts (Netzelements) dar. Während in Variante 1 Einflüsse der Übergänge von Streckenenden auf die Verkehrssicherheit unberücksichtigt bleiben, bietet Variante 2 die Möglichkeit, eine Anpassung anhand der entsprechenden Streckencharakteristik vorzunehmen. Aufgrund unterschiedlicher Ergebnisse zur Größenordnung der Einflüsse von Knotenpunkten auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden Strecken, insbesondere der wartepflichtigen Zufahrten, stellen die ermittelten Abminderungsfaktoren keine exakten Werte dar. Methodisch ist Variante 2 zur Bewertung von Streckenabschnitten der Variante 1 vorzuziehen.

⁴ Berechnung beruht auf Verteilung der Unfallraten nach Schwere für einen Q 11 mit DTV = 8.000 Kfz/24h ohne weitere Defizite und den entsprechenden Kostensätzen.

5 Ergebnisse Knotenpunkte

5.1 Knotenpunktkollektiv

Die Erfassung der Merkmale von Landstraßenknotenpunkten war ebenfalls Bestandteil der Streckenaufnahme. Die Aufnahme beschränkte sich jedoch auf Knotenpunkte, die im Verlauf der aufgenommenen Strecken vorzufinden sind. In der Erfassung konnten lediglich Knotenpunkte berücksichtigt werden, die

- klassifizierte Netzknoten darstellen,
- außerhalb von Ortschaften liegen,
- eine (teil-)plangleiche Grundform besitzen,
- keine Netzknoten aufgrund administrativer Grenzen repräsentieren,
- an denen alle anschließenden Strecken klassifizierte Netzknotenabschnitte darstellen und
- an denen für alle angrenzenden Netzknotenabschnitte das Verkehrsaufkommen bekannt ist.

Diese Kriterien schränken das Kollektiv an Knotenpunkten deutlich ein (Tabelle 46). Lediglich Einmündungen mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen (VZ) weisen eine umfangreiche Kollektivgröße auf. Insgesamt stehen nur 22 signalisierte Knotenpunkte zur Verfügung. Um die Repräsentativität der Modelle zu gewährleisten, beschränken sich die Untersuchungen auf Einmündungen mit Vorfahrtregelung durch VZ.

Mit ca. 56 % liegt der überwiegende Teil der VZ-geregelten Einmündungen im Bundesland Rheinland-Pfalz. Der hohe Anteil resultiert aus einer sehr umfangreichen Datenbank zum Verkehrsaufkommen, welche auch eine Vielzahl von Kreis- und Gemeindestraßen beinhaltet. 18 % der Knotenpunkte sind in Sachsen verortet, der Rest verteilt sich in gleichen Teilen auf die weiteren Bundesländer.

Grundform	Regelung	Anzahl
Einmündung	VZ	176
	LSA	15
Kreuzung (4-armig)	VZ	32
	LSA	7
Kreisverkehr	-	8

Tab. 46: Kollektivgrößen Knotenpunkte nach Art der Regelung und Grundform

Für das Kollektiv beträgt die mittlere UR(P) 0,08 U/(10⁶ Kfz * km). Das Unfallrisiko für U(SS) fällt um die Hälfte niedriger aus. Für U(LS) liegt das Niveau der UR bei 0,22 U/(10⁶ Kfz * km).

5.2 Übersicht relevante Merkmale

Die aufgenommenen Merkmale für Knotenpunkte basieren auf den SIB der Länder, u. a. dargestellt als geografische Karten im GIS MapInfo, Orthobildern und den Befahungsdaten mit dem Messfahrzeug. Bezüglich VZ-geregelter Knotenpunkte wurden folgende Merkmale erfasst (Tabelle 47):

- DTV-Verhältnis
Anteilswert des DTV der untergeordneten Zufahrt am Gesamtverkehrsaufkommen des Knotenpunkts.
- Schnittwinkel
Der Schnittwinkel beschreibt den Winkel der Achsen zueinander. Es erfolgte eine Klassifizierung in rechtwinklige Einmündungen – Schnittwinkel $80 \text{ gon} < \alpha < 120 \text{ gon}$ – sowie schiefwinklige Einmündungen, welche die oben aufgeführten Kriterium nicht erfüllen.
- Bauliche Elemente
Das Fehlen oder Vorhandensein eines Fahrbahnteilers in der untergeordneten Zufahrt sowie die Anordnung einer Dreiecksinsel für den Rechtsabbieger stellen Kriterien der baulichen Elemente dar.
- Zufahrt in Kurve
Merkmal wird vergeben in Abhängigkeit, wie viele Zufahrten in einer deutlichen Krümmung liegen. Dem Merkmal liegt kein Grenzwert zugrunde. Die Festlegung erfolgt augenscheinlich durch Betrachtung der Luftbilder sowie der Befahungsdaten.
- Fahrstreifen
Die Aufnahme von Fahrstreifenanzahl und -aufteilung erfolgt separat für jede Zufahrt.
- Verkehrsregelung
Unterscheidung der Verkehrsregelung in der untergeordneten Zufahrt nach Art der Vorfahrtgewährung (Z 205 bzw. Z 206 StVO).

Da nicht für alle Zufahrten Informationen zur v_{zul} vorlagen, bleibt das Merkmal v_{zul} bei der Datenaufnahme und Analyse unberücksichtigt. Alle signifikanten Merkmale der verschiedenen Teilmodelle, welche als Exponentialterm im Prädiktor des Modells vorliegen, sind in Tabelle 47 dargestellt. Der DTV des Knotenpunkts fließt über eine Potenzfunktion in alle Teilmodelle ein. Das Merkmal DTV_{UZ} entspricht dem Anteil des DTV der untergeordneten Zufahrt am gesamten Verkehrsaufkommen des Knotenpunkts und stellt die einzig stetige Variable in den Teilmodellen dar. Er beschreibt eine Eigenschaft des Knotenpunkts und weniger ein Defizit im eigentlichen Sinne. Jedoch ist dieses Merkmal ab einem bestimmten Anteil als Defizit zu betrachten. Ab diesem Bereich gilt, dass andere Betriebs- oder Grundformen (bspw. Regelung mit LSA) einen deutlich sicheren Verkehrsablauf ermöglichen.

Weisen eine oder beide Zufahrten der Hauptrichtung am Knotenpunkt eine deutliche Krümmung der Trassierung im Lageplan auf, wird dieser Aspekt über das kategoriale Merkmal KZHR (Krümmung Zufahrt Hauptrichtung) erfasst.

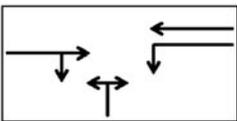
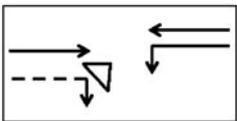
Für das Kollektiv liegen unterschiedliche Gruppeneinteilungen in Abhängigkeit der Fahrstreifenanzahl und -aufteilung vor. In Anlehnung an die Entwurfs-

kriterien plangleicher Einmündung nach dem Entwurf der RAL (FGSV 2008a) ist eine standardisierte Variante als regulär definiert. Diese beinhaltet

- die separate Führung des Linksabbiegers in der Hauptrichtung,
- einen Mischfahrstreifen für Rechtsabbieger und Geradeausfahrer in der entgegengesetzten Hauptrichtung und
- einen Mischfahrstreifen (keine Parallelaufstellung möglich) für Einbieger in der untergeordneten Zufahrt.

Abweichungen dieser Kombination werden über das Merkmal FS_{nreg} berücksichtigt. Knotenpunkte mit abknickender Vorfahrt sind kein Bestandteil der Untersuchungen.

Unabhängig von der Kategorisierung der Fahrstreifenanzahl und -aufteilung nach Merkmal FS_{nreg} beinhaltet das Merkmal DRLF die Konstellation der Führung des Rechtsabbiegers mit Dreieckinsel in Kombination mit einem Linksabbiegestreifen. Da diese Gestaltung nach dem Entwurf der RAL (FGSV 2008a) eine zulässige Art der baulichen Gestaltung darstellt, handelt es sich bei diesem Merkmal um eine Eigenschaft der Gestaltung.

Merkmal	Einheit	Beschreibung	Messniveau	Art der Berücksichtigung
DTV_{UZ}	[Anteil]	Anteil des durchschnittlich täglichen Verkehrs der untergeordneten Zufahrt am Gesamtverkehrsaufkommen des Knotenpunkts	Stetig	Eigenschaft Verkehrsablauf
KZHR	[-]	Zufahrt der Hauptrichtung in Kurve; eine oder beide Zufahrten der Hauptrichtung weisen eine deutliche Krümmung im Lageplan auf	Kategorial	Defizit
FS_{nreg}	[-]	Fahrstreifenaufteilung nicht regulär; wenn Abweichungen in Fahrstreifenanzahl und -aufteilung von folgendem Muster vorliegen: 	Kategorial	Defizit
DRLF	[-]	Kombination von Dreieckinsel für Rechtsabbieger und separaten Fahrstreifen für Linksabbieger wie in folgendem Muster: 	Kategorial	Eigenschaft Gestaltung
LAFS	[-]	Fehlender separater Linksabbiegerfahrstreifen	Kategorial	Defizit

Tab. 47: Übersicht und Beschreibung aller relevanten Merkmale der Modelle für Einmündungen

Aufgrund des Merkmals LAFS (fehlender Linksabiegestreifen) ist darauf zu verweisen, dass eine Kombination der Defizite FS_{nreg} und DRLF nicht möglich ist.

5.3 VZ-geregelte Einmündungen

5.3.1 Parameter Teilmodelle

Dem Kollektiv liegen 144 Knotenpunkte für die Modelle U(P) und U(SS) sowie 125 Knotenpunkte – aufgrund der Datenverfügbarkeit für Unfälle der Ka-

DTV-Klassen [1.000 * Kfz/24h]	VZ-geregelte Einmündung
0 - 2	13
2 - 4	25
4 - 6	26
6 - 8	23
8 - 10	18
10 - 12	15
12 - 14	14
14 - 16	4
16 - 18	4
18 - 20	2
Σ	144

Tab. 48: Klassierung DTV VZ-geregelte Einmündung

tegorie 5 – für das Modell U(LS) zugrunde. Die Ermittlung signifikanter Einflüsse auf das Unfallgeschehen ist an das Verfahren für Streckenabschnitte angelehnt. Insgesamt sind 32 Merkmale in den Untersuchungen berücksichtigt. Ein DTV < 20.000 Kfz/24h (Knotenüberfahrten) ist weitere Randbedingung. Die Länge geht ohne Dimension mit dem Wert „1“ in das Modell ein.

Für alle Teilmodelle liegt Überzufälligkeit vor, die endgültige Schätzung der Parameter beruht auf der Anwendung der negativen Binomialverteilung (Tabelle 49). Für das Teilmodell U(SS) liegen neben der Expositionsgröße DTV keine erklärenden Variablen im Modell vor. Mögliche Ursachen sind:

- zu geringes Unfallgeschehen,
- zu geringe Kollektivgröße oder
- das Fehlen von eindeutigen Einflüssen, die zu einer Erhöhung der Unfallhäufigkeit führen können.

Daher besitzt das Teilmodell U(SS) in Bezug auf die Definition einer Grundfunktion nur geringe Aussagekraft. Zwischen der Häufigkeit von U(P), U(SS) und dem DTV besteht ein positiv degenerativer Zusammenhang. Für U(LS) gilt ein linearer Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und DTV.

Teilmodell	U(P)		U(SS)		U(LS)	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-9,724	****	-9,604	****	-10,686	****
ln (DTV)	,840	****	,814	***	1,056	****
DTV _{UZ}	2,262	**			3,330	***
KZHR					,362	,057
FS _{nreg}	,347	,096				
DRLF	1,036	****			,676	**
LAFS					,256	,195
AIC	344		230		466	
Varianz ²	1,128		1,170		2,093	
Varianz Nullmodell ²	1,657		1,291		3,862	

1 Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung, Wald-Test der Koeffizienten * < 0,5, ** < 0,01, *** < 0,001, **** < 0,0001
2 Varianz der Modelle beruht auf der Berechnung mit Poissonverteilung.

Tab. 49: Ergebnisse der Modellrechnung VZ-geregelte Einmündungen

$$U(P) = e^{-9,72} * DTV^{0,84} * e^{((2,26 * DTV_{UZ}) + FS_{nreg} + DRLF)} \quad \text{Gl. 29}$$

U(P) Anzahl der Unfälle mit Personenschaden je Jahr und Knoten

DTV_{UZ} Anteil DTV des untergeordneten Stroms am gesamten DTV des Knotenpunkts

FS_{nreg} Fahrstreifenaufteilung nicht regulär
 0 wenn regulär
 0,347 wenn nicht regulär

DRLF Kombination Dreieckinsel Rechtsabbieger und separater Fahrstreifen Linksabbieger
 0 wenn nicht vorhanden
 1,036 wenn vorhanden

Sowohl der DTV als Expositionsgröße als auch das Merkmal DTV_{UZ} für die Teilmodelle U(P) und U(LS) liefern die höchsten Erklärungsanteile an systematischer Streuung. Der hohe Koeffizient des Merkmals DTV_{UZ} beruht auf der Berücksichtigung der Größe als Anteilswert. Der Mittelwert im Kollektiv beträgt 0,11. Anteile des untergeordneten Verkehrsstroms von über 25 % am Gesamtverkehrsaufkommen stellen eine Seltenheit dar. Damit repräsentiert der DTV_{UZ} eine wichtige beschreibende Kenngröße der Verkehrssicherheit von VZ-geregelten Knotenpunkten.

Da mit Ausnahme des DTV_{UZ} alle Merkmale kategoriale Größen darstellen, ist der Einfluss der weiteren Merkmale auf die Unfallhäufigkeit innerhalb der Teilmodelle miteinander vergleichbar. Für das Teilmodell U(P) gilt, dass bei sonst konstanten Randbedingungen das Auftreten des Merkmals DRLF – 10 % aller Knotenpunkte weisen dieses Merkmal auf – gegenüber dem Merkmal FS_{nreg} zu einer dreimal so hohen Zunahme der Unfallhäufigkeit führt.

Auch im Teilmodell U(LS) besitzt das Merkmal DRLF den höchsten Koeffizienten und somit einen hohen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit.

Obwohl das Merkmal LAFS im Modell U(LS) ein geringes Signifikanzniveau aufweist, ist es aus inhaltlichen Gesichtspunkten Bestandteil des Modells.

5.3.2 Residuenanalyse

Neben der deutlichen Überschreitung von Cook-Distanz und Hebelwerten führen Auffälligkeiten aufgrund sehr hoher DTV_{UZ} zu Ausschlüssen von Fällen in der Residuenanalyse.

Für Residuen des Modells U(P) liegen keine systematischen Abweichungen für das zu beschreibende

Merkmal DTV vor. Aus dem Cure-Plot ist zu entnehmen, dass der Verlauf der kumulierten Residuen den Vertrauensbereich von ± 2δ* auch nach Ausschluss auffälliger Werte im Bereich geringer Verkehrsstärken überschreitet (Bild 56). Aufgrund

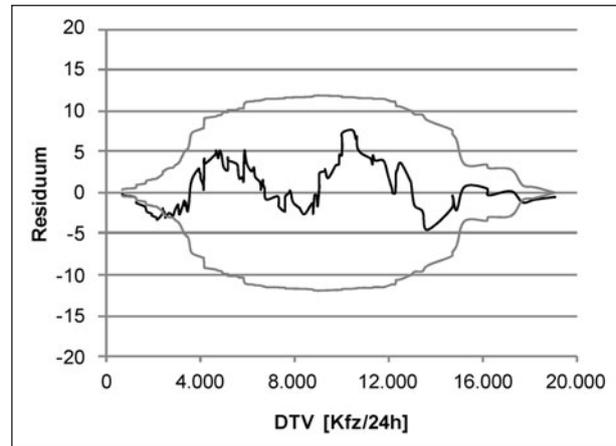


Bild 56: Cure-Plot der Residuen für Modell U(P) nach Ausschluss auffälliger Knotenpunkte

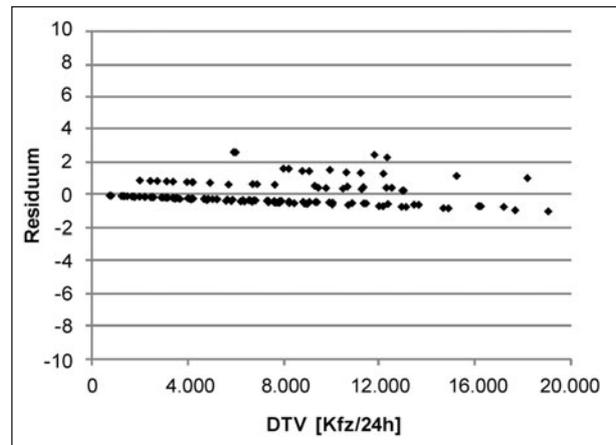


Bild 57: Residuenplot für Modell U(SS) nach Ausschluss auffälliger Knotenpunkte

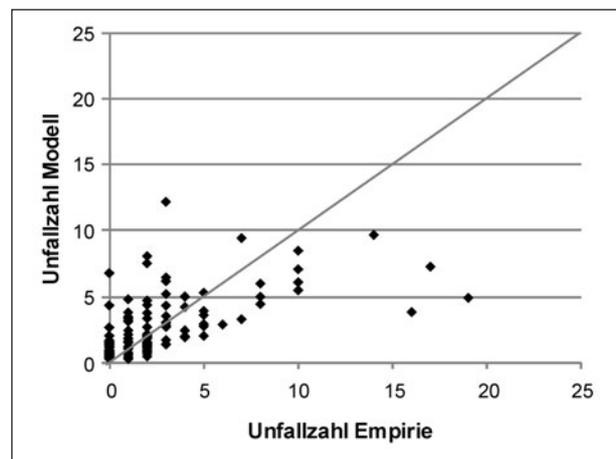


Bild 58: Gegenüberstellung beobachtetes und berechnetes Unfallgeschehen für Modell U(LS)

der Geringfügigkeit der Überschreitung beschreibt das Modell die Einflussgröße DTV für U(P) ausreichend genau.

Eine lediglich befriedigende Anpassung gelingt für das Teilmodell U(SS). Ursachen hierfür sind unter anderem sehr geringe Unfallanzahlen im Kollektiv. Kein Knotenpunkt wies im Betrachtungszeitraum mehr als 3 Unfälle auf. In 72 % der Fälle ereignete sich kein U(SS). Diese Konstellation zieht eine Verzerrung der Erklärungsanteile nach sich.

Aus dem Residuenplot für das Modell U(SS) in Bild 57 wird eine systematische Verteilung der Residuen im Bereich kleiner null deutlich. Für Fälle mit einem negativen Residuum liegt im gesamten DTV-Bereich eine geringe Überschätzung des tatsächlichen Unfallgeschehens durch das Modell vor. Die Unterschätzung des tatsächlichen Unfallgeschehens tritt aufgrund der Struktur der Unfallzahlen im Kollektiv seltener auf, fällt aber deutlicher aus. Die Aussagekraft des Modells zur Kenngröße DTV ist daher eingeschränkt.

Eine bessere Modellbeschreibung des DTV liegt für das Modell U(LS) vor. Der Vertrauensbereich $\pm 2\delta^*$ wird im betrachteten Bereich nicht überschritten.

5.3.3 Grundfunktion UR

Gleichermaßen wie für Streckenabschnitte ist die UR durch Umstellung und Erweiterung der Unfallmodelle zu berechnen. Da für die Knotenpunktmodelle die Länge dimensionslos mit dem Wert „1“ in der Offset-Variablen des Modells Berücksichtigung findet, entspricht die Unfallratenfunktion der Gleichung 15 in Kapitel 4.3.3. Die Einheit entspricht $U/(10^6 \cdot \text{Kfz})$.

Die UR für U(P) und U(SS) weisen ein nahezu identisches Niveau auf. Mit zunehmendem DTV tritt nur eine sehr geringe Veränderung der UR(P) und UR(SS) ein, die ab einem DTV von ca. 10.000 Kfz/24h vernachlässigt werden kann. Aufgrund des Koeffizienten der Expositionsgröße DTV weist die UR(LS) mit Zunahme des DTV ein geringfügig steigendes Niveau auf (Bild 59). Auch für diese Kategorie gilt, dass eine Veränderung der UR(LS) für Verkehrsstärken > 10.000 Kfz/24h praktisch nicht mehr vorliegt. Der Anteil der UR(LS) an der Grundfunktion UR steigt im Bereich geringer Verkehrsstärken an und erreicht im Bereich höherer Verkehrsstärken einen Anteil von ca. 62 %. Der Kurvenverlauf der UR(SS) im Bereich von $0,04 U/(10^6 \text{ Kfz} \cdot \text{km})$ verdeutlicht, dass der Mittelwert des Kollektivs durch das Modell sehr gut repräsentiert wird. Die Faktoren der Einzelfunktionen enthält Tabelle 50.

Folgendes gilt es für VZ-geregelte Knotenpunkte festzuhalten:

- Aus den Teilmodellen U(P) und U(LS) liegen fünf Merkmale vor, die einen signifikanten Einfluss auf die Unfallhäufigkeit besitzen.

Kategorie	k_{UR}	f_{UR}
UR(P)	0,164	-0,160
UR(SS)	0,185	-0,186
UR(LS)	0,063	0,058

Tab. 50: Parameter Grundfunktion UR, VZ-geregelte Einmündung

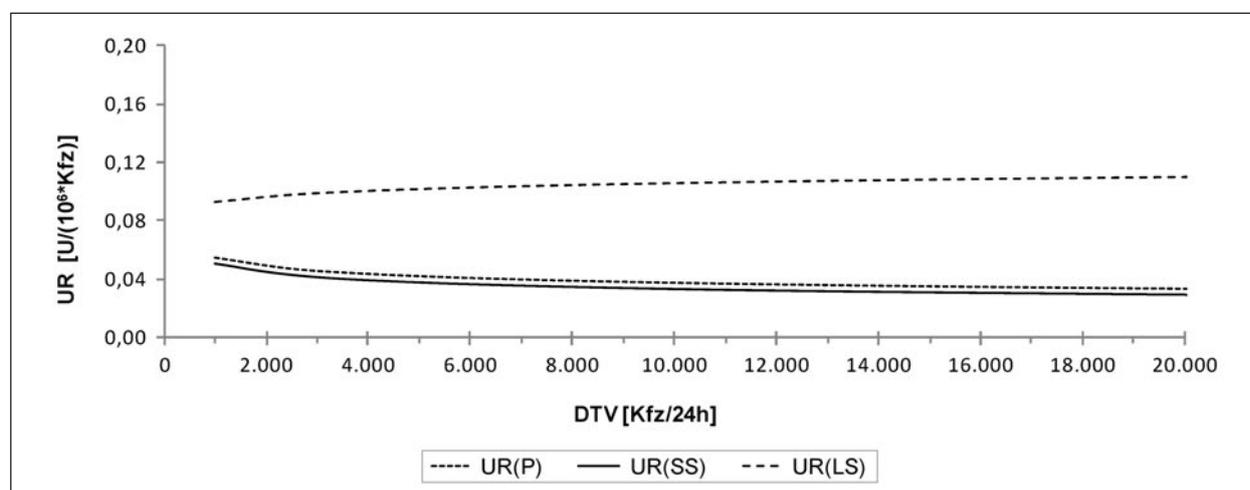


Bild 59: Grundfunktion UR, VZ-geregelte Einmündung

- Für U(SS) liegen aus dem Kollektiv keine erklärenden Merkmale vor. Über das Modell wird die Einflussgröße DTV nur ungenügend erklärt.
- Ab einem DTV von 10.000 Kfz/24h ist praktisch keine Veränderung der UR festzustellen.
- Das Merkmal DTV_{Uz} stellt ein wichtiges die Unfallhäufigkeit beschreibendes Merkmal dar.
- Die Kombination von Dreieckinsel für Rechtsabbieger und separater Führung der Linksabbieger auf einem Linksabbiegestreifen weist eine Zunahme der Unfallhäufigkeit auf.
- Es ist zu vermuten, dass weitere Merkmale existieren, die einen negativen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit besitzen (HAUTZINGER et al. 2010).

5.4 Volkswirtschaftliche Bewertung

5.4.1 Grundfunktionen

Für die monetäre Bewertung der Knotenpunkte liegt für U(P) der entsprechend angepasste Kostensatz (Tabelle 12) zugrunde. Die KS für U(SS) und U(LS) entsprechen denen für Streckenabschnitte. Die Addition der UKR-Funktionen aller drei Teilmodelle ohne Berücksichtigung aller Zuschläge ergibt die UKR-Grundfunktion ($gUKR_{\check{A}}$).

Die $gUKR_{\check{A}}$ stellt für VZ-geregelte Knotenpunkte nur ein theoretisches Niveau der Verkehrssicherheit dar. Aufgrund der Berücksichtigung des Merkmals DTV_{Uz} – in der Praxis ist $DTV_{Uz} > 0$ – liegt die ermittelte UKR immer über dem Niveau der $gUKR_{\check{A}}$. Das Merkmal DTV_{Uz} stellt kein Defizit im eigentli-

chen Sinne dar. Für die Ermittlung der $gUKR_{\check{A}}$ gelten die in Tabelle 51 angegebenen Parameter.

$$gUKR_{\check{A}} = k_{UKR} * DTV^{f_{UKR}} \tag{Gl. 30}$$

$gUKR_{\check{A}}$ Grundunfallkostenrate -ähnlich
[€/ (1.000 * Kfz)]

k_{UKR} Grundniveau Funktion

f_{UKR} Koeffizient DTV

Auch für VZ-geregelte Einmündungen gilt, dass die $gUKR_{\check{A}}$ durch Merkmale, die im Teilmodell U(P) signifikant in Erscheinung treten, aufgrund des höheren $KS_{a,U(P)}$ geprägt werden. Da der Anteil der U(P) an der $gUKR_{\check{A}}$ ca. 78 % beträgt, wird der Kurvenverlauf deutlich durch die Funktion des Teilmodells U(P) gekennzeichnet. Somit weist die Funktion $gUKR_{\check{A}}$ einen negativ degressiven Verlauf auf (Bild 60). Der Anstieg im Bereich geringer Verkehrsstärken ($DTV < 2.000$ Kfz/24h) resultiert aus der Funktion des Modells. Aus praktischer Sicht gilt die Aussage, dass über einen DTV von ca. 7.000 Kfz/24 h das Verhältnis zwischen DTV und Unfallhäufigkeit einen linearen Zusammenhang aufweist.

In Bild 60 sind die Funktionen der $gUKR_{\check{A}}$ und der UKR für den Mittelwert des DTV_{Uz} des Kollektivs (11 %) gegenübergestellt. Dabei entspricht letztgenannte Funktion eher der zu erwartenden UKR einer VZ-geregelten Einmündung ohne Defizite.

Kategorie	k_{UKR}	f_{UKR}
Einmündung VZ	18	-0,146

Tab. 51: Parameter UKR-Grundfunktion VZ-geregelte Einmündungen

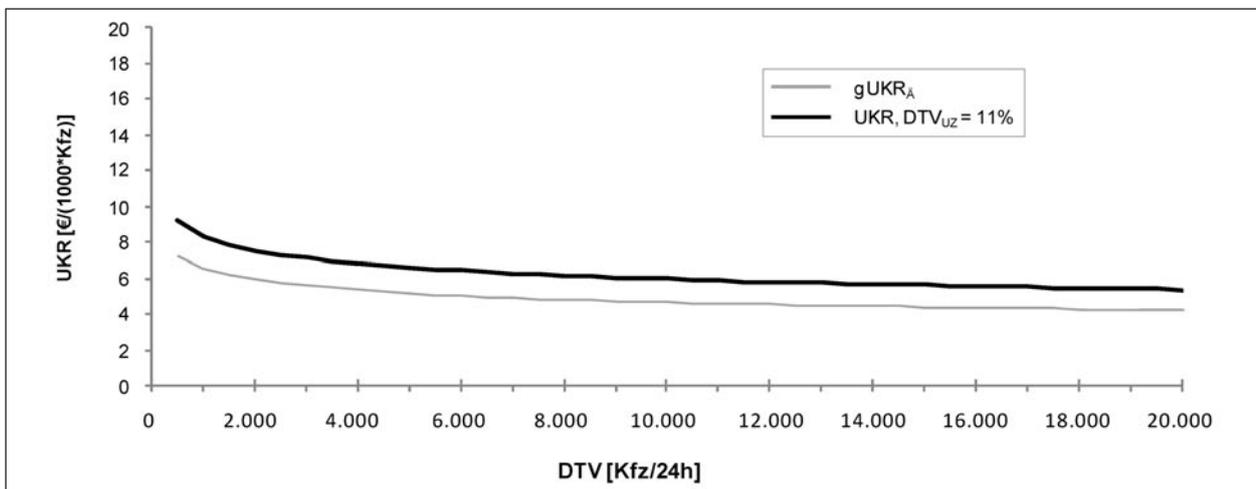


Bild 60: (Grundfunktion) UKR, VZ-geregelte Einmündung

5.4.2 Übersicht ermittelte Zuschläge

Das Verfahren zur Berechnung der Zuschläge für VZ-geregelte Knotenpunkte ist mit dem in Kapitel 4.8.2 beschriebenen Vorgehen identisch (Gleichung 31). Aus Tabelle 52 sind die Grundwerte der Merkmale sowie die Berechnung des A_{UKR} abzulesen.

Das Merkmal DTV_{UZ} stellt den einzigen stetigen Zuschlag dar. Alle weiteren Merkmale stellen dichotome Faktoren zur $gUKR_{\bar{A}}$ dar und sind somit in ihrer Wertigkeit untereinander vergleichbar. Eine geringe Erhöhung der UKR resultiert aus dem Defizit KZHR mit einem Faktor von 5 %. Eine ähnliche Größenordnung weist das Merkmal LAFS auf. Fehlt für einen Knotenpunkt ein Linksabbiegestreifen (LAFS), ist gleichzeitig ein Zuschlag aufgrund der Abweichung zum regelkonformen Bau des Knotens (FS_{nreg}) anzusetzen. Diesbezüglich gilt, dass das Fehlen eines Linksabbiegestreifens (FS_{nreg}) einen Sonderzuschlag für die nicht regelkonforme Ausprägung von Fahrstreifenanzahl und -aufteilung am Knotenpunkt nach RAL (FGSV 2008a) darstellt.

Eine hohe Verkehrsunsicherheit erklärt das Merkmal DRLF. Aus der volkswirtschaftlichen Bewertung der Ergebnisse des Unfallmodells abgeleitet, weisen Knotenpunkte mit diesem Merkmal eine um mehr als doppelt so hohe UKR im Vergleich zu Knotenpunkten ohne dieses Merkmal auf.

$$UKR = \left(\prod_{i=1}^n (1 + A_{UKR,i}) \right) * gUKR_{\bar{A}} \quad \text{Gl. 31}$$

Kriterium	Berechnung A_{UKR} [-]	Höhe GW [-]
DTV_{UZ} – Anteil DTV untergeordnete Zufahrt am DTV-Knotenpunkt [Anteil]	GW*A	2,5
Von den Entwurfsgrundlagen abweichende Fahrstreifenanzahl und -aufteilung FS_{nreg}	GW	0,35
Fehlender separater Linksabbiegerfahrstreifen LAFS	GW	0,04
Eine oder beide übergeordnete Zufahrt(en) in Kurve KZHR	GW	0,05
Kombination separater Linksabbiegerfahrstreifen und Dreieckinsel Rechtsabbieger DRLF	GW	1,5

Tab. 52: Höhe der Grundwerte für VZ-geregelte Einmündungen

UKR Unfallkostenrate [€/(1.000 * Kfz)]

$A_{UKR,i}$ Anteil $zUKR_{\bar{A},i}$ an $gUKR_{\bar{A}}$

$gUKR_{\bar{A}}$ Grundunfallkostenrate -ähnlich [€/(1.000 * Kfz)]

Damit stellt das Merkmal DRLF den prägenden Einfluss der Zuschläge dar. Mutmaßliche Ursache ist die augenscheinlich zügige Trassierung des Fahrstreifens für Rechtsabbieger. In 10 von 26 Fällen stand dem Rechtsabbieger partiell ein eigener Fahrstreifen zur Verfügung. Da die Analyse der Knotenpunkte im Projekt nicht den Hauptbestandteil der Untersuchungen darstellt, liegen keine genauen Kenntnisse über die Größenordnung der Abbiegeradien vor.

5.4.3 Einschränkungen

Obwohl dem Untersuchungskollektiv 144 Knotenpunkte zugrunde liegen, ist davon auszugehen, dass verschiedene in der Örtlichkeit vorzufindende bauliche Ausprägungen nicht oder selten im Kollektiv vorzufinden sind. Da lediglich Knotenpunkte im Verlauf der befahrenen Streckenabschnitte untersucht wurden, liegt eine Ursache u. a. in der Auswahl der Knotenpunkte. Weiterhin wird die Kollektivgröße für eine Identifikation von selten auftretenden Merkmalen (Einflussgrößen) als zu gering angesehen. Gegenüber Streckenabschnitten weisen Knotenpunkte eine Vielzahl von Merkmalen und Merkmalskombinationen auf, die zu einer Veränderung des Unfallgeschehens beitragen. Daher stellt die ermittelte UKR-Grundfunktion nur eine Annäherung ohne die Berücksichtigung aller Merkmale dar.

In ihren Untersuchungen überprüften HAUTZINGER et al. (2010) den Zusammenhang zwischen Unfallrate und baulichen und verkehrsrechtlichen Elementen des Knotenpunkts. Auf Basis von 518 VZ-geregelten Einmündungen ermittelten HAUTZINGER et al. (2010) folgende weitere signifikante Einflüsse, die bei einer volkswirtschaftlichen Bewertung von Knotenpunkten Berücksichtigung finden sollten:

- fehlender Fahrbahnteiler in der Nebenrichtung,
- separater Fahrstreifen Rechtseinbieger,
- Fahrbahnbreite der Nebenrichtung,
- Beschränkung der v_{zul} .

Neben dem ermittelten direkten proportionalen Zusammenhang zwischen DTV und Unfallhäufigkeit geht aus den Untersuchungen von HAUTZINGER et al. (2010) hervor, dass das Unfallgeschehen mit Anstieg des Anteils des Nebenstroms an der Gesamtverkehrsbelastung zunimmt. Der dort ermittelte Zuwachs zur UR(P) von 1,5 % im Verhältnis zum DTV weist eine ähnliche Größenordnung wie im Teilmodell U(P) auf (2,2 %).

Auf die Prüfung von Plausibilitäten weiterer Zuschläge wird aufgrund der Randbedingungen für das Kollektiv verzichtet. Die ermittelten Ergebnisse stellen keine verallgemeinerbaren Aussagen zur Quantität der $gUKR_{\bar{\lambda}}$ und deren Zuschläge dar und besitzen daher nur richtungsweisenden bzw. empfehlenden Charakter.

6 Abschließende Bewertung

6.1 Streckenabschnitte

In Anlehnung an die Querschnitte nach den EKL der RAL (FGSV 2008a) liegen für fünf verschiedene Landstraßenquerschnitte Angaben zur volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens (UKR) vor.

Grundlage der Untersuchung bilden die Befahrungsdaten von ca. 3.600 km Landstraße, verteilt auf sechs Bundesländer und verschiedene Straßenquerschnitte. Neben der Nachtrassierung der Streckenabschnitte und manuellen Erhebungen aus den Befahrungsdaten, bilden Daten aus den SIB der Länder und das Unfallgeschehen Grundlage des Mengengerüsts.

Auf Basis der erhobenen Daten erfolgte die Bestimmung von Grundunfallkostenraten und Zuschlägen mit Hilfe statistischer Methoden. Der volkswirtschaftlichen Bewertung liegen das Unfallgeschehen mehrjähriger Zeiträume des Unfallkollektivs sowie die (Verunglückten-)Kostensätze für Deutschland Preisstand 2010 zugrunde. Für Strecken und Knotenpunkte wurden angepasste Kostensätze für U(P) bestimmt.

Mit Anwendung von generalisierten linearen Modellen (GLM) erfolgten die Qualifizierung und Quantifizierung von Einflussgrößen auf die Unfallhäufigkeit. Einflussgrößen, für die im linearen Prädiktor des Modells (Merkmale) positive Koeffizienten nachgewiesen wurden, erklären eine Zunahme des Unfallgeschehens und stellen somit Zuschläge dar. Blei-

ben diese Zuschläge im Modell unberücksichtigt bzw. gehen mit der Größenordnung „null“ ein, entspricht das Unfallgeschehen dem zu erwartenden Grundniveau eines Netzabschnitts. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Grundniveau dem Sicherheitsgrad von Straßen entspricht, der bei regelkonformem Ausbau einer Straße zu erreichen ist. Dieses kann annähernd über die Grundunfalldichte oder die Grundunfallrate als eine fahrleistungsbezogene Risikogröße beschrieben werden. Die Bewertung der volkswirtschaftlichen Kosten dieser Unfälle entspricht der Grundunfallkostenrate ($gUKR_{\bar{\lambda}}$).

Für fünf Landstraßenquerschnitte konnten verschiedene Merkmale, die einen signifikanten Einfluss auf die Unfallhäufigkeit besitzen, identifiziert werden. Dabei wurden der Q 11,5+ und Q 15,5 in einem Kollektiv Q „dreistreifig“ betrachtet. Einbahnig zweistreifige Abschnitte des Q 11,5+ weisen eine höhere Unfallhäufigkeit auf. Unterschiede zwischen einbahnig dreistreifigen Abschnitten des Q 11,5+ und des Q 15,5 liegen im Modell nicht vor.

Folgende wesentliche Erkenntnisse liegen aus den Modellen vor:

- Für vier verschiedene Querschnittsgruppen wurden – mit Ausnahme des Q 15,5 – jeweils drei Modelle nach Unfallschwere erstellt. Die Darstellung der UR-Grundfunktionen beruht auf der Addition aller drei Teilmodelle. Die Grundfunktionen sind Basis der volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens mit UKR.
- Unabhängig vom Querschnitt weist die UR einen nichtlinearen Zusammenhang zum Verkehrsaufkommen auf. Mit Zunahme des DTV steigt die Unfallhäufigkeit degressiv an, d. h. die Unfallrate sinkt. Daraus resultiert die Darstellung der $gUKR_{\bar{\lambda}}$ als eine vom DTV abhängige Funktion.
- Mit Ausnahme des Q 21 gilt, dass das Merkmal DTV über die Expositionsgröße hinaus als kategoriales Merkmal im linearen Prädiktor des Modells berücksichtigt werden kann. Dass bedeutet, in Abhängigkeit des Querschnitts sind hohe Verkehrsaufkommen mit einem Zuschlag zu belegen. Da die $gUKR_{\bar{\lambda}}$ -Funktionen einen stetigen Verlauf aufweisen, stellt der DTV als kategoriale Variable lediglich einen Zuschlag dar, der eine Einsatzgrenze u. a. aus betrieblicher Sicht definiert. Als Diskussionsansatz werden im Ergebnis zwei Varianten der $gUKR_{\bar{\lambda}}$, mit und ohne DTV als kategoriale Variable, vorgestellt.

- Die Querschnitte besitzen unterschiedliche $gUKR_{\bar{A}}$. Die höchste $gUKR_{\bar{A}}$ besitzt der Q 9 gefolgt vom Q 11. Q „dreistreifig“ und Q 21 weisen ein ähnliches Niveau der $gUKR_{\bar{A}}$ auf. Die niedrige $gUKR_{\bar{A}}$ des Q 21 resultiert u. a. aus einer geringen Unfallschwere.
- Die als Zuschläge $zUKR_{\bar{A}}$ zur $gUKR_{\bar{A}}$ ermittelten Merkmale entsprechen unterschiedlicher Natur. Die Eigenschaften der Strecke und des Umfelds beschreibenden Merkmale stellen innerhalb der Grenzwerte kein Defizit im eigentlichen Sinne dar, führen jedoch zu einer Erhöhung der Unfallhäufigkeit. Als Defizit definierte Merkmale stellen Zuschläge aufgrund von Abweichungen zum regelkonformen Ausbau dar.
- Zuschläge sind in kategoriale, stetige und kombinierte Merkmale unterschieden. Der Grundwert GW – welcher bei stetigen Merkmalen mit der Ausprägung A zu multiplizieren ist – entspricht dem A_{UKR} , welcher das Verhältnis von UKR zur $gUKR_{\bar{A}}$ darstellt. $zUKR_{\bar{A}}$ entsprechen somit einem partiellen Anteilswert zur $gUKR_{\bar{A}}$.
- U. a. besitzen folgende Merkmale maßgebend einen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit von Streckenabschnitten:
 - Fehler in der Relationstrassierung,
 - Hügeligkeit,
 - Elemente des Querschnitts,
 - Hindernisse im fahrbahnnahen Seitenraum.
- Die abgesicherte Anwendung der $gUKR_{\bar{A}}$ -Funktionen sowie der signifikanten Merkmale ist auf den empirisch den Modellen zugrunde liegenden Bereich im Kollektiv beschränkt.
- Für eine Vielzahl der Teilmodelle liegt keine vollständige Erklärung der systematischen Streuung vor. Die Schätzung der Parameter erfolgte mit der negativen Binomialverteilung. Es ist anzunehmen, dass über die ermittelten Merkmale hinaus weitere Merkmale existieren, die einen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit besitzen. Gründe für eine fehlende Identifikation können das seltene Auftreten des Merkmals, fehlende beschreibende Eigenschaften, Korrelationen mit weiteren Merkmalen oder eine in diesem Zusammenhang zu geringe Kollektivgröße darstellen.

Die $zUKR_{\bar{A}}$ der verschiedenen Querschnitte wurden zusammengefasst und deren Größenordnung

plausibilisiert. Für Landstraßenquerschnitte liegen Berechnungsverfahren zur Ermittlung der $gUKR_{\bar{A}}$ sowie der $zUKR_{\bar{A}}$ vor. In Abhängigkeit der Randbedingungen DTV und der zu erwartenden baulichen und verkehrsrechtlichen Eigenschaften eines Streckenabschnitts kann somit die zu erwartende UKR bestimmt werden.

6.2 Annäherungsbereiche

Annäherungsbereiche (Einflussbereiche) stellen das Bindeglied zwischen Knotenpunkten bzw. Ortsdurchfahrten und den freien Strecken dar. Die Verkehrssicherheit unterliegt in diesen Bereichen den Einflüssen der Übergänge. Überwiegend sind Annäherungsbereiche durch eine Verringerung der Unfallschwere gekennzeichnet. Jedoch existieren bisher keine exakten Aussagen zur Quantität der Einflüsse. Annäherungsbereiche sind Bestandteil des Netzelements Strecke. Für eine umfassende Analyse der Netzstruktur nach dem HVS (BARK et al. 2008) sind Annäherungsbereiche in der Bewertung zu berücksichtigen.

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse und der Quellen weiterer Forschungen wurden zwei Varianten zur volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens auf dem gesamten Streckenabschnitt entwickelt. Grundlage bildet die Berechnung der $UKR_{Strecke}$ für den gesamten Netzabschnitt.

Variante 1 stellt einen pragmatischen Ansatz dar. Der Einfluss der Annäherungsbereiche bleibt unberücksichtigt. Für die Bewertung wird lediglich die $UKR_{Strecke}$ verwendet.

Die Bewertung des Streckenabschnitts in Variante 2 beruht auf einer längengewichteten Ermittlung der UKR für freie Strecken und ggf. Annäherungsbereichen. Für Annäherungsbereiche liegen in Abhängigkeit der Art des Übergangs unterschiedliche Abminderungsfaktoren zur UKR der freien Strecke vor. Variante 2 stellt methodisch das zu favorisierende Verfahren dar. Jedoch sollte die Größenordnung der Abminderungsfaktoren auf Basis weiterer Untersuchungen überprüft werden.

6.3 Knotenpunkte

Die Auswertung basiert auf den Knotenpunkten, die im Zuge der Befahrungsdaten mit aufgenommen wurden. Insgesamt standen 238 Knotenpunkte zur Verfügung, von denen letztendlich 144 durch Ver-

kehrszeichen geregelte Einmündungen in den weiteren Untersuchungen berücksichtigt wurden. Ähnlich dem Verfahren für Streckenabschnitte erfolgte die Identifikation von signifikanten Einflussgrößen auf die Unfallhäufigkeit anhand von statistischen Modellen nach Unfallschwere. Darauf aufbauend wurden UR- und UKR-Grundfunktionen abgeleitet. Da für die Knotenpunkte nur eingeschränkt Datenmaterial zur Verfügung stand, konnten nicht alle Merkmale hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Unfallhäufigkeit geprüft werden. Folgende Erkenntnisse liegen vor:

- Die $gUKR_{\bar{\lambda}}$ stellt eine vom DTV abhängige degressiv fallende Größe dar. Aufgrund einer nur geringen Veränderung der $gUKR_{\bar{\lambda}}$ ab einem DTV von 7.000 Kfz/24h, kann in diesem Bereich aus praktischer Sicht von einer unveränderlichen $gUKR_{\bar{\lambda}}$ ausgegangen werden.
- Für das Teilmodell U(SS) konnten keine Einflussfaktoren auf die Unfallhäufigkeit identifiziert werden.
- Aus den Modellen gehen fünf Merkmale hervor, die einen signifikanten Einfluss auf die Unfallhäufigkeit aufweisen. Neben dem DTV des Knotenpunkts stellt der Anteil des untergeordneten Stroms am Gesamtverkehrsaufkommen eine maßgebende Einflussgröße dar.
- Das Vorhandensein eines freien (zügig) geführten Rechtsabbieger- mit Dreieckinsel in Kombination mit einem Linksabbiegefahrstreifen erklärt eine deutliche Erhöhung des Unfallgeschehens und somit der UKR.

Die ermittelten Einflüsse entsprechen zum Teil den Erkenntnissen von HAUTZINGER et al. (2010), die ebenfalls die Verkehrssicherheit an durch Verkehrszeichen geregelten Einmündungen untersuchten. Knotenpunkte unterscheiden sich gegenüber Streckenabschnitten durch eine Vielzahl von Kombinationen baulicher und verkehrsrechtlicher Möglichkeiten. Für eine Identifikation insbesondere selten auftretender Merkmale bzw. Defizite ist ein umfangreiches Kollektiv an Daten und Knotenpunkten notwendig.

7 Zusammenfassung

Auf Basis eines Untersuchungskollektivs von 3.600 km Landstraße wurden Grundunfallkostenraten – beschreiben das Sicherheitsniveau bei regelkonformem Ausbau eines Netzelements – sowie quantifizierbare Zuschläge (auf Grundlage von Defiziten) abgeleitet. Dabei kamen multivariate Modelle zur Beschreibung des Unfallgeschehens zum Einsatz, um die bisher aufgetretenen Probleme bei der Unfallanalyse (z. B. Einfluss kurzer Längen und geringer Unfallzahlen) besser zu berücksichtigen sowie Korrelationen zu identifizieren und auszuschließen.

Für fünf verschiedene Straßenquerschnittstypen wurden UKR-Grundfunktionen sowie Zuschläge auf Grundlage der Streckencharakteristik sowie Abweichungen vom regelkonformen Ausbau für Streckenabschnitte ermittelt. Für die Bewertung wurden zwei Varianten auf Basis der ermittelten Zuschläge vorgestellt.

Da für die Ermittlung der $gUKR_{\bar{\lambda}}$ und deren Zuschläge zu einem überwiegendem Teil Strecken des Bestandsnetzes Grundlage des Kollektivs bildeten, wird mittelfristig eine Überprüfung der Ergebnisse auf Basis der RQ nach den RAL empfohlen. Dies gilt insbesondere für den neuen Regelquerschnitt für die EKL 4, den RQ 9.

Im Bewertungsverfahren für Streckenabschnitte können Einflussbereiche in Abhängigkeit der Annäherungsbereiche berücksichtigt werden. Für die gesicherte Identifikation und Quantifizierung der Einflüsse von Annäherungsbereichen besteht weiterer Forschungsbedarf.

Eine volkswirtschaftliche Bewertung der Verkehrssicherheit von Knotenpunkten liegt nur für durch VZ geregelte Einmündungen vor. Dabei stellt der DTV der untergeordneten Zufahrt am gesamten Verkehrsaufkommen des Knotenpunkts ein wichtiges die Verkehrssicherheit beschreibendes Merkmal dar. Aufgrund der eingeschränkten Kollektivgröße sind Aussagen zur Grundunfallkostenrate nicht möglich. Aus der Vielzahl von baulichen und verkehrstechnischen Merkmalen an Knotenpunkten ergibt sich die Forderung nach umfangreichen Kollektivgrößen, um die Höhe der UKR und der Zuschläge zu ermitteln.

Mit der Darstellung von UKR-Grundfunktionen und deren Zuschlägen stellt das Forschungsprojekt einen wesentlichen Beitrag zur Bewertung der Verkehrssicherheit auf Streckenabschnitten von Landstraßen dar.

8 Literatur

- BARK, A.; KUTSCHERA, R.; BAIER, R.; KLEMPSKOHNEN, A. (2008): Handbuch der Verkehrssicherheit von Straßen – Entwurf eines Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen. Aachen/Gießen (unveröffentlichter Schlussbericht zum FE 03.389/2005/FGB)
- BRANNOLTE, U.; BARTH, H.-B.; SCHWARZMANN, R.; JUNKERS, W.; LIU, Y.; SIGTHORSSON, H. et al. (1993): Sicherheitsbewertung von Querschnitten außerörtlicher Straßen. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Berichte der BAST, Verkehrstechnik, Heft V 5)
- BREßLER, A. (2001): Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf an Steigungsstrecken – Kriterien für Zusatzfahrstreifen. Bochum: Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum (Schriftenreihe, Heft 24)
- Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen (2003): Bundesverkehrswegeplan 2003. Berlin: BMVBW
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. (2002): Model selection and Multi-Model inference, A practical Information – Theoretic Approach. Fort Collins: Colorado State University
- DIETZE, M.; EBERSBACH, D.; LIPPOLD, Ch.; MALLSCHÜTZKE, K.; GATTI, G.; WIECZIENSKY, A. (2008): Safety Performance Function. Schlussbericht zum RIPCORD-ISEREST-Projekt – URL: <http://ripcord.bast.de> (05.06.2008)
- EBERSBACH, D. (2006): Entwurfstechnische Grundlagen für ein Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung des Fahrers bei der Wahl seiner Geschwindigkeit. Dresden: Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, (Dissertationsschrift)
- EBERSBACH, D.; SCHÜLLER, H. (2008): Praktische Anwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN) – Erfahrungen mit den Verfahren der Abschnittsbildung. In: Straßenverkehrstechnik, 52 (9), S. 515-527
- ECKSTEIN, K.; MEEWES, V. (2002): Sicherheit von Landstraßen-Knotenpunkten. Köln: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) – Institut für Straßenverkehr Köln (ISK), 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 (TOI report 740/2004) – URL: <http://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%D81%20rapporter/2004/740-2004/740-2004.pdf> (05.04.2006)
- FAHRMEIR, L.; KNEIB, T.; LANG, S. (2009): Regression/Modelle, Methoden und Anwendungen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- Federal Highway Administration (2009): Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) – Engineers Manuals – URL: <http://www.ihsdm.org> (17.12.2009)
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1982): Richtlinie für die Anlage von Straßen (RAS) – Teil: Querschnitte (RAS-Q). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1988): Richtlinie für die Anlage von Straßen (RAS) – Teil: Plangleiche Knotenpunkte (RAS-K-1). Köln: FGSV-Verlag (Stand der Korrekturen 2001)
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1992): Richtlinie für Lichtsignalanlagen (RiLSA). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1993): Richtlinie für die Markierung von Straßen – Teil 1: Abmessung und geometrische Anordnung. Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1995a): Richtlinie für die Anlage von Straßen (RAS) – Teil: Linienführung (RAS-L). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1995b): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 95). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1996): Richtlinie für die Anlage von Straßen (RAS) – Teil: Querschnitte (RAS-Q). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1997): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – EWS. Köln: FGSV-Verlag

- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2000): Richtlinie für die wegweisende Beschilderung außerhalb von Autobahnen (RWB). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2001): Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 2: Maßnahmen gegen Unfallhäufungen. Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2002): Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen – ESAS. Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2003a): Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypensteckkarten. Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2003b): Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen – ESN. Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2006): Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2007): Merkblatt für die Durchführung von Verkehrsschauen – MDV. Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2008a): Richtlinie für die Anlage von Landstraßen – RAL. Entwurf 03/2008
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2008b): Hinweise zur Visualisierung von Entwürfen für außerörtliche Straßen – Hvist. Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2009): Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012): Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen – M Uko. Köln: FGSV-Verlag
- GREIBE, P. (2003): Accident prediction models for urban roads. In: *Accid. Anal. & Prev.*, 35, S. 273-285
- HADI, M. A.; ARULDHAS, J.; CHOW, L.-F.; WATTLEWORTH, J. A. (1995): Estimating Safety Effects of Cross Section Design for Various Highway Types Using Negative Binomial Regression. In: *Transportation Research Record 1500*. TRB, Washington, D.C. (S. 169-177)
- HAMMERSCHMIDT, A. (2006): Einfluss ausgewählter Entwurfsparameter auf das Unfallgeschehen. Dresden: Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ (Studienarbeit am Lehrstuhl für die Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen)
- HAMMERSCHMIDT, A. (2007): Einfluss ausgewählter Entwurfsparameter auf die Verkehrssicherheit – fortführende Untersuchungen. Dresden: Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ (Diplomarbeit am Lehrstuhl für die Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen)
- 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. Report No. FHWA-RD-99-207. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- HAUER, E.; BAMFO, J. (1997): Two tools for finding what function links dependent variable to the explanatory variables. University of Toronto, Department of Civil Engineering, Toronto, Ontario.
- HAUTZINGER, H.; PFEIFFER, M., SPAHN, V. (2010): Unfallauswertungen für verkehrszeitlich geregelte Landstraßenkreuzungen und -Einführungen. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, Heft 3/2009, S. 123-131
- HEIDEMANN, D.; BÄUMER, M.; HAMACHER, R.; HAUTZINGER, H. (1998): Standstreifen und Verkehrssicherheit auf BAB. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Berichte der BAST, Verkehrstechnik, Heft V 55)
- HEINRICH, S.; PÖPPEL-DECKER, G. (2010): Unfallgeschehen auf Landstraßen – Eine Auswertung der amtlichen Unfallstatistik. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Berichte der BAST, Verkehrstechnik, Heft M 209)

- HUTCHESON, G. D.; SOFRONIOU, N. (1999): Introductory Statistics Using Generalized Linear Models. The Multivariate Social Scientist, London/Thousand Oaks/New Dehli, 1999
- KREBS, H. G.; KLÖCKNER, H. J. (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)
- LAMM, R.; BECK, A.; ZUMKELLER K. (1999): Analyse von Zusammenhängen zwischen Verkehrssicherheit und Straßenentwurf auf Außerortsstraßen. In: Straßen- und Tiefbau; Heft 12, S. 6-12
- LEUTZBACH, W.; BAUMANN, J. (1989): Zusammenhang zwischen der Verkehrssicherheit und den Elementen des Straßenentwurfs. Bonn-Bad Godesberg: Bundesministerium für Verkehr (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 545)
- LEVIN, C. (1991): Differenzierte Kuppenhalbmesser. Bonn-Bad Godesberg Bundesministerium für Verkehr (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 600)
- LIPPOLD, C. (1997): Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstraßen. Darmstadt: Fachbereich Wasser und Verkehr der TU Darmstadt (Dissertationsschrift)
- LIPPOLD, C.; WEISE, G.; PIETSCH, D. et al. (2004): Kinematische Erfassung von Straßendaten für die Straßeninformationsbank (SIB) In: Straßenverkehrstechnik, Heft 6, S. 276-280
- MÄDER, H.; PÖPPEL-DECKER, M. (2001): Regionalstruktur nächtlicher Freizeitunfälle junger Fahrer in den Jahren 1997 und 1998. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Berichte der BAST, Mensch und Sicherheit, Heft M 129)
- MAHER, M. J.; SUMMERSGILL, I. (1996): A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models. In: *Accid. Anal. & Prev.*, 28 (3), S. 281-296
- MAYCOCK, G.; HALL, R. D. (1984): Accidents at 4-arm roundabouts. Crowthorne: Transport Research Laboratory (Laboratory report LR1120)
- MEEWES, V.; KULER, H. (2001): Abstand von Bäumen zum Fahrbahnrand. Köln: Verkehrstechnisches Institut der Deutschen Versicherer (Mitteilung Nr. 39 des Institutes für Straßenverkehr Köln)
- MEEWES, V.; MAIER, R. (1986): Modellversuch B33: „2+1“-streifige Landstraßen. Köln: Beratungsstelle für Schadenverhütung (Mitteilung Nr. 22)
- MILTON, J. C.; MANNERING, F. L. (1996): The relationships between highway geometrics, traffic related elements and motor vehicle accidents. Seattle: Washington State Department of Transportation in cooperation with FHWA
- Oberste Baubehörde im Bayrischen Staatsministerium des Inneren (2006): Verkehrs- und Unfallgeschehen auf Straßen des überörtlichen Verkehrs in Bayern – Jahresbericht 2005. München: Oberste Baubehörde
- Oberste Baubehörde im Bayrischen Staatsministerium des Inneren (2009): Verkehrs- und Unfallgeschehen auf Straßen des überörtlichen Verkehrs in Bayern – Jahresbericht 2008. München: Oberste Baubehörde
- PALM, I.; SCHMIDT, G. (1999): Querschnittsbreiten einbahniger Außerortsstraßen und Verkehrssicherheit. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Berichte der BAST, Verkehrstechnik V 64)
- REURINGS, M.; JANSSEN, T.; EENINK, R.; ELVIK, R.; CARDOSO, J.; STEFAN, C. (2005): Accident Prediction Models and Road safety Impact assessment: a state-of-the-art. Schlussbericht zum Ripcord-Iserest-Projekt – URL: [http://ripcord.bast.de/\(05.06.2008\)](http://ripcord.bast.de/(05.06.2008))
- SCHENK, M. (2007): Sicherheitsanalyse von Knotenpunkten im Außerortsstraßennetz. Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ (Studienarbeit am Lehrstuhl für die Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen)
- SCHMIDT, G. (1996): Ergebnisse von Geschwindigkeits- und Unfalluntersuchungen auf zweistreifigen Landstraßen. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 42 (4), S. 161-169
- SCHÜLLER, H. (2010): Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstra-

- ßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung. Dresden: In: Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, TU Dresden, Heft 12/2010.
- Statistisches Bundesamt DESTATIS (2009): Verkehrsunfälle 2008. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- STEVENS, J. P. (2002): Applied multivariate statistics for the social sciences-SAS-SPSS, 4th edition, Mahwah 2002
- 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)
- TAYLOR, M. C.; LYNAM, D. A.; BARUYA, A. (2000): The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents. Crowthorne: Transport Research Laboratory (TRL Report 421)
- Transportation Research Board (1987): Designing safer roads – Practices for resurfacing, restoration and rehabilitation. Washington D.C.: TRB National research council (Special Report 214)
- UNGER, S. (1994): Entwicklung eines Verfahrens zur Abschätzung des Geschwindigkeitsverhaltens von Pkw-Kraftfahrern. Darmstadt: Vertiefungsarbeit am Fachgebiet Straßenentwurf und -betrieb der Technischen Universität Darmstadt
- VIETEN, M.; DOHMEN, R.; DÜRHAGER, U. (2009): Quantifizierung der Sicherheitswirkung verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen. Neuss: Ingenieurgesellschaft Stolz mbH (Entwurf des Schlussberichts)
- VOGT, A.; BARED, J. (1998): Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections. Washington, D.C.: Report No. FHWA-RD-98-133. Federal Highway Administration
- WOOD, G. R. (2002): Generalised linear accident models and goodness of fit testing. In: *Accid. Anal. & Prev.*, 34 (4), S. 417-427
- ZEGEER, C. V.; STEWART, R.; COUNCIL, F.; NEUMAN, T. R. (1994): Accident relationships of roadway width on low-volume roads. In: *Transportation Research Record 1445*, TRB, National Research Council, Washington, D.C.
- ZEGEER, C. V.; TWOMEY, J. M.; HECKMAN, M. L.; HAYWARD, J. C. (1992): Safety Effectiveness of Highway Design Features, Volume II: Alignment. Washington D.C: Federal Highway Administration (FHWA-RD-91-045)
- ZIMMERMANN, A.; LOEBEN, W.; LIPPOLD, C.; ROOS, R. (2007): Kontrolle und Bewertung der räumlichen Linienführung von Außerortstraßen auf der Grundlage quantitativer Parameter. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 960)

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Kofmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cyra € 16,50
- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Belastung an Straßen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, Becker, Richter, Schmidt € 29,00
- V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw
Schulze, Hübel € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen € 26,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn
Hausmann € 14,50

- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50

- V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00

- V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00

- V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00

- V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00

- V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst
Badelt, Moritz € 17,00

- V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes
Kirschfink, Aretz € 16,50

2010

- V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00

- V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM₁₀-Belastung an Straßen
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50

- V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Lank, Steinauer, Busen € 29,50

- V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008
Fitschen, Nordmann € 27,00
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

- V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme
Gärtner, Egelhaaf € 14,00

- V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen
Klöckner € 14,50

- V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50

- V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen
Londong, Meyer € 29,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

- V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen € 16,00

- V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008
Lensing € 16,50

- V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50

- V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2006/2007
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

- V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen**
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz,
Sommer, Wermuth € 18,00
- V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen**
Vieten, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

2011

- V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM₁₀-Belastung**
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann,
Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00
- V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit**
Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50
- V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM₁₀-Belastung**
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009**
Fitschen, Nordmann € 27,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN**
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50
- V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen**
Becker € 16,00
- V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten**
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50
- V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2008/2009**
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

2012

- V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)**
Maier, Berger € 18,50
- V 211: Innliegende Linkseinfädeltstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete**
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00
- V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen**
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00
- V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB**
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00
- V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren**
Schmellekamp, Tegethof
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 215: Stauprävention auf BAB im Winter**
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00
- V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)**
Lippold, Weise, Jähig € 17,50
- V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen**
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase,
Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

- V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalösungen**
Hausmann € 16,00
- V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter**
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

2013

- V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie**
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00
- V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen**
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50
- V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS**
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil,
Rehberger € 19,50
- V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010**
Fitschen, Nordmann € 16,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50
- V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2**
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00
- V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst**
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50
- V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen**
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.