

Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßen- knotenpunkten

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 283

bast

Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßen- knotenpunkten

von

Andreas Bark
Dorothea Krähling
René Kutschera

Fachgebiet Straßenwesen und Vermessung
Technische Hochschule Mittelhessen
Gießen

Michael M. Baier
Reinhold Baier
Alexandra Klemps-Kohnen
Lamia Schuckließ

BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung
Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH
Aachen

Reinhold Maier
Ralf Berger
Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik
mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung
TU Dresden

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 283

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 16.0012/2009:
Bewertung der Sicherheitsbelange der Straßeninfrastruktur

Fachbetreuung:
Marco Irzik

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 978-3-95606-301-5

Bergisch Gladbach, April 2017

Kurzfassung – Abstract

Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten

Eine Zielsetzung dieses Forschungsprojekts war es, die bisher im Entwurf des „Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit“ (HVS) aus dem Jahr 2008 für Strecken und Knotenpunkte von Landstraßen und Autobahnen gesetzten Werte für Grundunfallkostenraten (gUKR) und Zuschläge zu diesen Unfallkostenraten (zUKR) bei Abweichungen vom richtliniengerechten Ausbau durch praktische Anwendung zu überprüfen und gegebenenfalls Vorschläge für erforderliche Modifikationen zu unterbreiten.

Dazu erfolgte eine beispielhafte Anwendung des standardisierten Verfahrens nach dem HVS-Entwurf 2008 zur Ermittlung von standardisierten Unfallkostenraten bei einer größeren Zahl von konkreten Planungsmaßnahmen, wobei auch die Praxistauglichkeit dieses Verfahrens beurteilt werden sollte. Darüber hinaus wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein zwischenzeitlich vorliegendes, auf der Basis von so genannten „Verallgemeinerten Linearen Modellen“ (GLM) entwickelter Ansatz zur Abschätzung von standardisierten Unfallkostenraten von Landstraßen auf das Kollektiv der Autobahnen erweitert.

Es zeigte sich, dass das standardisierte Verfahren des HVS-Entwurfs 2008 auf der Grundlage von strecken- und knotenpunktspezifischen Grundunfallkostenraten und Zuschlägen aufgrund nicht regelgerechter Planung nach einer gewissen Einarbeitungszeit für einen Planer, der Sicherheitsbewertungen durchführen soll, einfach anwendbar ist.

Die Anwendung des Verfahrens bei den ausgewählten Planungsmaßnahmen zeigte, dass sehr niedrige Unfallkostenraten von sicheren Landstraßen und Autobahnen mit dem Modellansatz ebenso wenig abgebildet werden können wie sehr hohe Unfallkostenraten, wie sie bei Unfallhäufungsstellen beobachtet werden können. Die mit den entwickelten Modellansätzen ermittelten standardisierten Unfallkostenraten haben eine relativ schmale Bandbreite. Das standardisierte Verfahrensmodell des HVS-Entwurfs 2008 ist deshalb nicht geeignet, für einzelne Netzelemente das

Unfallgeschehen zu prognostizieren, es dient vielmehr dazu, die Sicherheitswirkungen bestimmter Entwurfselemente, besser als bisher, quantitativ abzuschätzen.

Die aus den Untersuchungen resultierenden konkreten Vorschläge für die Weiterentwicklung des Verfahrens sollen dem Arbeitsausschuss 2.13 „Verkehrssicherheitsbewertung von Straßen“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) als Grundlage für die weiterführenden Beratungen dienen.

Evaluation models for traffic safety on motorways and intersections on rural roads

One strategic objective of this research project was to review the earlier draft version of the “Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit“ (HVS) 2008, which set values for accident cost rate (gUKR) for road sections and traffic intersections on rural roads and motorways, along with surcharges to these accident cost rate (zUKR) from deviations from non-compliant extensions through practical review applications and, if necessary, to submit suggestions for required modifications.

An example application of the standardized approach was drawn up based on the HVS draft 2008 to determine standardized accident cost rate using a large number of concrete planning measures, by which the practicality of this procedure could be assessed. Furthermore, a developed approach based on currently available information from “General Linear Modeling” (GLM) to estimate standardized accident cost rate on rural roads would be expanded within the framework of this research project, in order to be applied to motorways.

It was apparent that the standardized approach of the HVS draft 2008, referring to road sections and traffic intersections on and surcharges (which result due to irregular planning), can be applied by planners responsible carrying out safety assessments, after a certain training period.

The application of these procedures with selected planning steps shows that, using the model approach, very low accident cost rate on safe rural

roads and motorways can be no more effectively depicted than very high accident cost rate, as can be observed at sites of frequent accident.

The standardized accident cost rate, determined by the model approach developed, have a relatively narrow range. The standardized procedure model of the HVS draft 2008 is, therefore, not recommended for traffic accident prediction for individual traffic network elements. Instead, it can now better describe and quantitatively assess the effects on safety of specific design elements.

The concrete recommendations resulting from the examination of the continuing development of this approach should assist the working committee 2.13 „Verkehrssicherheitsbewertung von Straßen“ the Research Association for Roads and Traffic (FGSV), and be used as the basis for further consultation.

Summary

Evaluation models for traffic safety on motorways and intersections on rural roads

1 Task Definition

Until now, traffic safety of road construction measures planned for traffic safety in Germany have employed the approaches used by the EWS (draft 1997) and the BVWP 2003. In the EWS (draft 1997), accident cost rate (UKR) are given (in 1995 values) for various street types. For rural roads, there were a total of seven different cross-sections, five of which were corresponding regular cross-sections from the RAS-Q (1996 edition). In addition to these two approaches, in the RAS-Q (1996 edition) average UKR (in 1995) were given to assess the traffic safety of intersection-free sections of road. These UKR were adjusted to 2000 values using ECKSTEIN/MEEWES (2002). The approach of RAS-Q appears, based on the new guidelines for the design and alignment of rural roads (RAL 2012), to be no longer a part of the technical standards.

In previous years, a methodology has been developed with the HVS "Handbuch der Verkehrssicherheit von Straßen – Entwurf eines Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen" (BARK et al., 2008), that makes possible, on the basis of UKR for individual traffic network elements, e. g. for sections of motorways, rural roads, and urban roads, to be differentiated based on the formation of cross-sections, as well as for differentiation of traffic intersections based on the type of intersection, in order to determine a range of safety. The UKR results in a set of values for accident cost rate (gUKR) for each traffic network element, when it was built in compliance with regulations, and surcharges (zUKR) on the basis of discrepancies, as opposed to a design that complies with regulations.

These procedures use the underlying values of gUKR, as well as zUKR based on previous examinations, such as FE 82.311/2006 (Quantification of Safety Performance of Various Construction, Design Forms, and Operating Forms on rural roads, VIETEN et al., 2010) and

estimates. These are not yet considered adequately covered.

For this reason, a review and update of these parameters was necessary. New approaches to determine their scope with respect to rural roads arise from use of the FE 82.334/2007 (Assessment Model for Road Traffic Safety, MAIER et al., 2013) framework.

One objective of the current research project was to review the previously entered gUKR and zUKR data for motorways and rural roads, through a comparison with specifically observed construction procedures (UKR), and thereby test the practicality of this approach. Another objective was to expand the model approach developed within the framework of FE 82.334/2007, using the GLM, to apply to motorways. Finally, the application of GLM for the underlying collectively determined parameters should be evaluated for usability within the framework of generally applicable assessment procedures, based on HVS, and recommendations for their implementation in the continuing revision of the HVS should be submitted. The final consideration was if an HVS approach revised in this way could be integrated into the approach currently being worked on, considering in the future into a guideline called "Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen" (RWS).

2 Research Methodology

The work program encompassed many various interrelated working stages. Concerning the development of supplementary GLM, the following steps were taken:

- determination of gUKR and zUKR for motorways stretches and intersections, as well as for similarly planned intersections on rural roads, analogous to concepts developed using FE 82.334/2007 (MAIER et al., 2013), based on sufficiently large collective assessments,
- development of a practical approach based on the results of the previous steps for calculating gUKR and zUKR in a future revised HVS procedure.

Concerning the review, verification, and plausibility checks of the results (such as real actions to be carried out), the following steps are to be taken:

- selection of concrete building and und planning steps (preparation of data and quantity structures),
- determination of case-related UKR for the selected steps, based on a three-year observation of accidents (observed UKR),
- calculation of gUKR and zUKR for the applicable evaluated cases and chosen planning steps, based on GLM-based approaches for rural roads and motorways (calculated UKR),
- assessment of the applicability of the developed approach in the relevant planning stages.

These finding resulted in the:

- development of suggestions for a modification of certain characteristic properties developed within the model, with respect to their general use in HVS, and the
- checking an integration of the continually developed procedure, based on the HVS in the RWS procedure.

3 Research Results

Since the process development, based on the use of GLM for stretches and intersections of motorways, is oriented as much as possible on the corresponding process development for rural roads based on FE 82.0334/2007, the most important results of both development approaches will be presented together:

The use of GLM permitted the impact of multiple independent variables to be quantified. Therefore, using GLM – separated into categories based on the accident severity for various traffic network elements – for road sections differentiated by cross-sections (traffic intersections differentiated based on intersection type) – those characteristics e. g. influencing variables can be determined, particularly those that lead to increased accident frequency. Various data collections form the basis of the model development (witnessed accident occurrences on existing routes) from multiple research projects. For motorway elements, a survey was carried out. Based on adjusted accident cost rate, an economic evaluation of accidents occurrence over many years was produced. The structure of the model used allowed a division of

accidents into accident risk factors that cannot be influenced (underlying accident cost rate – gUKR), and a part of the risk factor that can be influenced (surcharges – zUKR). These surcharges include not only technical draft deficiencies in the strict sense (planning errors), but also safety-relevant location-related characteristics.

Determining gUKR and zUKR

For the various traffic network elements – these correspond to their description and length definition, cross-section and traffic intersection type based on the 2009 draft of the HVS – the following can be determined:

- Sections of rural roads with narrow cross-sectional widths indicate a higher gUKR than those with wider cross-sectional widths. Two-lane dual carriageways have the lowest gUKR. Unrelated to cross-sectional width, an increase in traffic density causes a reduction in the gUKR (regressive development). Due to the ease of use of the HVS, based on grading of the EKL, which is based on RAL, the cross-sectional types can be categorized relative to traffic volume category, and organized relative to the gUKR.
- The transitions of sections of rural roads at at-grade traffic intersections and local through streets have, in comparison to the adjacent open roads, a neutral or positive influence on traffic safety. These transitions create an "area of influence". The amount of influence is dependent on the type of transitions (for traffic intersections such as local through streets).
- For rural road traffic intersections with and without LSA, the gUKR and zUKR are length unrelated. Their reliability is limited by a number of underlying characteristics, such as the quite small sample size. Generally, crossings indicate a limited level of safety independent of the control type, as compared with junctions. The amount of gUKR for traffic intersections without LSA is dependent on the relation between minor and major traffic volumes.
- For sections of motorways, the small regressive connection between traffic volume and UKR is missing, in comparison to rural roads. While the type of surcharges for the various cross-section types is, as expected, only slightly

distinguishable, greater differences have been recorded for the amount of individual surcharges. While it was not possible, within the framework of the model design, to take into account the elements resulting from the siteplan and longitudinal section, the influence of horizontal and vertical alignment resulting from bendiness and hills was mapped. Both show a significant relationship to each other, and were therefore considered together in the model development. By means of application areas of cross-sections based on the RAA for the various cross-section types, differences were determined due to gUKR traffic density.

- In view of the large number of influencing factors, gUKR and zUKR could only be determined for motorway access points of the E1 and A1 type, based on RAA. The preferred calculation approach for the model takes as a basis a separate consideration of the areas of main carriageways and ramps. This makes possible a differentiated presentation and evaluation of the potential influencing factors. The evaluation of traffic intersections is length unrelated. Significant influence at the level of the gUKR is caused by the part of the traffic volume on ramps, as related to the overall traffic intensity. For BAB interchanges, a gUKR independent of traffic intensity at traffic intersections was determined.
- Access points positively influence traffic safety in both directions, upstream and downstream. The amount of influence varies in relation to cross-section type. For a safety evaluation, the access point is, therefore, to be included in the examination.
- The assessment of rural road and motorway elements (UKR_{NE}) occurs based on length-weighted examination of both elements: sections and areas of influence. The amount of UKR for areas of influence is determined by the multiplication of UKR on open roads, with a reduction factor with relation to the type of area of influence. Notwithstanding the term used in the RIN and the HBS, traffic intersections are not considered in this research to be part of the network segment, and therefore will not be included in the evaluation of the network segment. The evaluation of traffic intersections will be carried out separately.

Application of the Procedure

The application of a refined procedure based on GLM produced selected planning steps for various stretches and traffic intersections on rural roads and motorways that were made available to the road administration departments of the federal states of Baden-Württemberg, Bavaria, Hesse, Lower Saxony, North-Rhein Westphalia, and Rheinland-Palatinate.

In the first stage, all steps identified by the model were determined (e. g. deviation from the relational draft, shortfall of the minimum radius or the minimum crest radius, deviations from standard line widths for driving lanes or shoulders as well as specific danger spots in side spaces and junctions), as well as the safety-related characteristics of stretches (such as traffic circle structure/type, degrees of hilliness and/or bendiness).

Subsequently, an allocation was made of every action in the areas of open roads, influence areas and rural roads traffic intersections, as well as open roads and motorway interchanges.

For rural roads, the UKR was calculated for the individual steps based on the GLM model, both for stretches (UKR_{fS}) and for network sections (UKR_{NE}). A comparison between the calculated UKR and the observed UKR was possible only for sections and influence areas. For the traffic intersections and connected streets, there were insufficient observations in most situations affecting accident occurrences. Therefore, the model calculation of the UKR for traffic and their comparison with the calculated UKR was made using a separate collective.

For motorways, the calculation of the UKR for open roads was carried out, as insufficient information regarding observed accident occurrences for junction ramps was available.

Furthermore, the middle $UKR_{2008-2010}$ for stretches for the three-year period 2008-2010 was determined for all actions reported by federal states. The calculation of the $UKR_{2008-2010}$ was done using 2010 values.

The application of the further developed procedure for sections of rural roads shows that the calculated UKR had less model-predicted spread than the observed $UKR_{2008-2010}$, but values were

predominantly higher. In fifteen cases, the calculated UKR was greater than the observed UKR; only in five cases was it less. Observed UKR under the level of the gUKR could not be mapped using the model.

This effect also appears in the application of the procedure to rural road network sections (only stretches and influence areas). In addition, the low $UKR_{2008-2010}$ based on the GLM model could not be mapped, and the model-based $UKR_{Strecke}$ indicated a narrower spread width as the observed $UKR_{2008-2010}$.

The application of the procedure on motorway sections showed that very low UKR observed in real situations could not be mapped using the model. For motorways, the difference between the calculated $UKR_{Strecke}$ and the observed middle UKR for the years 2008-2010 was also very clear.

The application of the model-based procedure for rural road traffic intersections taken from a collective of twenty-six cases from various traffic intersection locations showed that the further developed procedure for rural road traffic intersections appeared to be fundamentally appropriate. The UKR calculations based on the model are in the middle of the range of the observed UKR in a narrow, process-related bandwidth, whereas the bandwidth of the observed UKR is significantly wider. The cause is, in addition to the general model-related characteristics, the limited number of significantly determined risk groups in the model, which also notably limited the variability of the results.

As a whole, the UKR for rural roads, motorways, and traffic intersections calculated using the model, have a narrow bandwidth. The calculation of an average effect of characteristics influencing accident occurrences using a GLM-based model leads, as expected, to clearly reduced dispersions as compared with actual observations of accidents. Neither the low UKR, which are present on safe streets, as well as with good planning; nor the high UKR network elements with notably high accident rates, were mapped.

4 Implication for Practical Application

The further developed procedure for the calculation of accident cost rate on open roads, influence areas, and traffic intersections on rural roads and motorways can be used, after a certain orientation period, by every planner responsible for carrying out safety evaluations. The enclosed example calculations can serve as assistance. However, the underlying assumptions which are part of and affect the model, which include the distinction of influence areas from similarly planned traffic intersections, entrances and exits from (partially) non-controlled traffic intersections as well as local through roads, must be followed exactly.

In comparison with a large number of previous examinations, identification and quantification of features independent from each other that affect traffic safety have been successful using the selected approach. This represents a significant increase in knowledge.

With this approach, it is possible to determine the degree of influence of various highway-typical and road-relevant characteristics from an evaluation of the model-based underlying collectives. Its use within the scope of a general application of an anticipated street HVS, is based on the assumption that the collectively determined connections used in the construction of the model are transferrable in a similar way to the entire motorway network. It clearly follows that the UKR calculated by the model only reflects the trend of the various influences on traffic safety, but does not allow drawing any conclusions regarding individual incidents. Therefore, it is not surprising that estimates determined by the UKR procedure, as compared with values observed in real situations, show much narrower spreads. This also explains that a lower UKR from very safe rural roads and motorways cannot be well mapped using the model, nor can UKR network elements with notably high accident rates.

The determined underlying accident cost rate (gUKR) appear to be relatively high. Since only in exceptional cases can a comprehensive explanation of the systematic spread of accident incidents within the model succeed, the determined gUKR very likely include some deficiencies that do not prove to be significant using the model calculation. UKR that are lower than gUKR-described levels are, due to the approach –

application of surcharges, which only lead to an increase in UKR – not representable.

The HVS draft 2008 (BARK et al., 2008) provides a separate evaluation for sections and intersections. In this context, the description appears as separate accident cost rate for these elements – a separation based on cross-sections does not necessarily need to occur, but testing of the practicability of this approach did take place. This differentiation permitted a precise economic evaluation of various actions on traffic safety, and diminished inaccuracies which arose due to cost ratios generalized across all network elements.

In this context, the recorded continual reduction in accident severity in the last few years shows the amount of gUKR determined by the model – predominantly based on existing sections and accident occurrences in the last decade – remains open for discussion. Such a trend toward a possible reduction of the gUKR levels must always be accompanied by an adjustment of the amount of the zUKR determined by the model.

Frequently occurring deficiencies in planning steps which were detected by such methods as an audit evaluation within the course of FE 82.0336/2007 (BARK, A. et al. 2010), were previously not considered as surcharges in the GLM-based procedure. These include the following deficiencies:

- shortfall of the minimum radius (previously only taken into account for cross-section Q 11 for rural roads),
- non-compliance with minimum radius and radius sequences for motorways,
- non-observance of draft threshold values for longitudinal sections (in particular minimum crest radius) for cross-sections Q 11 and Q 21 for rural roads and motorways,
- poor drainage zones for rural roads,
- insufficient sight distance for rural roads and motorways,
- insufficient lateral inclinations for rural roads and motorway,
- insufficient curve widening, such as non-compliance with vehicle path for rural roads,
- unsuitable traffic intersection types in terms of alignment of rural roads.

One goal of the HVS is to identify for planners any negative economic effects which result from planning errors. It was, therefore, within the scope of further work on the HVS to discuss whether and how this type of planning error should be incorporated into the model parameter, beyond surcharges to the gUKR.

The current results of the GLM-based procedure for the evaluation of traffic intersection are only suitable to a limited extent. This is especially the case for technical infrastructure measures used in traffic accident abatement, which have an effect on traffic safety, such as secured left-turn lanes, or the number of phases that guide pedestrians and cyclists through traffic intersection, the speed limit, as well as the recognizability and comprehensibility of this information.

The process-related UKR that are calculated using the accident model occur in relatively narrow bandwidths, whereas the bandwidth in observed UKR is significantly greater.

The procedure developed can be used as a basis for continued work by the working committee 2.13 “Verkehrssicherheitsbewertung von Straßen“, that serves the Road and Transportation Research Association. In particular, the amount of the gUKR, as well as the missing surcharges for the safety deficiencies in road planning noted above, should be checked and amended.

Regarding various collectives of traffic network elements, there is need for further research. Up to this point in time, there are only a few registered rural roads that comply with the design fundamentals for the RQ 9 based on RAL. When a valid reason for a sufficient collective exists, a separate evaluation of cross-sections is recommended. Similarly the evaluation models for the RQ 11,5+, RQ 15,5 and RQ 21 are based on a minimal volume of data, and require validation.

So far, there is no evaluation approach for either circulating traffic or entrances and exits from (single-lane) rural road.

Based on the evaluation of motorway access points, it is clear that the proposed approach in the previous HVS draft to evaluate motorway junctions would be difficult to implement. For future evaluations, the development of a new element structure (e. g. sections of four-lane motorways) should be considered.

For an evaluation of accident frequencies for various traffic network elements, in particular a collection of the implications of single (rare) influencing characteristics when determining surcharges, access to an extensive data series is essential. The information currently in the databank is, for this purpose, considered inadequate.

For an integration of the procedure into the future RWS (Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen), the developed procedure is unsuitable, due to the differentiated consideration of influencing variables (in particular planning deficiencies) in the form of surcharges to the gUKR which are more strongly oriented to the consideration of single actions in future planning stages, and therefore is too detailed for the comparative observation of networks within the preliminary investigation of planning alternatives. The standardized procedure specified in the RWS for network-related considerations is more suitable to determine potential changes in accident occurrences in the assessment of different planning alternatives, and, with access to an adequate database, leads, as a rule, to sufficiently accurate results.

Inhalt

Abkürzungen	12	4 Ermittlung der gUKR und der zUKR für Landstraßen und Autobahnen	30
1 Ausgangslage und Ziel	15	4.1 Entwicklung von GLM-basierten Verfahren	30
2 Untersuchungsmethode	16	4.1.1 Grundlagen	30
2.1 Arbeitsprogramm	16	4.1.2 Modellbildung	31
2.2 Neue Ansätze zur Ermittlung von Grundunfallkosten und Zuschlägen mithilfe GLM-basierter Verfahren	17	4.1.3 Modellprüfung	34
2.3 Auswahl der Untersuchungskollektive für die Entwicklung der GLM-basierten Verfahren	18	4.1.4 Definition Grundunfallkostenrate und Zuschläge	35
2.4 Anwendung der GLM-basierten Verfahren an konkreten Maßnahmen	19	4.1.5 Berechnung der Zuschläge	36
2.5 Nutzung der auf der Basis von GLM weiterentwickelten Verfahren des HVS in den RWS	20	4.2 Erfassung der Merkmale und Differenzierung der Kollektive für die Modellentwicklung	39
3 Bisherige Erkenntnisse	20	4.2.1 Landstraßen	39
3.1 Ansätze bisheriger Bewertungsverfahren	20	4.2.2 Autobahnen	43
3.2 Verfahrensansatz im HVS-Entwurf 2008	23	4.3 Ergebnisse Landstraßen	47
3.2.1 Beschreibung des Verfahrensansatzes	23	4.3.1 Strecken	47
3.2.2 Quantifizierung von Zuschlägen auf der Basis eigener Auditberichte	25	4.3.2 Plangleiche Knotenpunkte	53
3.3 Vorhandene Erkenntnisse zur Ermittlung von spezifischen Unfallkostenraten	26	4.3.3 Zusammenfassung	61
3.3.1 Unfallkostenrate als Kenngröße	26	4.4 Ergebnisse Autobahnen	61
3.3.2 Grundunfallkostenrate und mittlere Unfallkostenrate	27	4.4.1 Strecken	61
3.3.3 Schlussfolgerungen für das weitere Vorgehen	30	4.4.2 Anschlussstellen	75
		4.4.3 Zusammenfassung	82
		5 Anwendung des Verfahrens in den relevanten Stufen der Planung	83
		5.1 Strecken von Landstraßen und Autobahnen	84
		5.1.1 Maßnahmenauswahl	84
		5.1.2 Vorgehensweise	84
		5.1.3 Ergebnisse Landstraßen	86
		5.1.4 Ergebnisse Autobahnen	92

5.2	Anschlussstellen von Autobahnen	95
5.3	Plangleiche Knotenpunkte an Landstraßen	95
6	Vorschlag zur Integration in die RWS	104
7	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.	106
7.1	Grundsätzliches	106
7.2	Strecken von Landstraßen	108
7.3	Plangleiche Knotenpunkte an Landstraßen	110
7.4	Strecken von Autobahnen	111
7.5	Anschlussstellen an Autobahnen	112
7.6	Defizite der Planungen	112
7.7	Integration des HVS-Verfahrens in die RWS	113
8	Zusammenfassung.	114
9	Literatur	117

Anlagen

Die Anlagen zum Bericht sind im elektronischen
BAST-Archiv ELBA unter:

<http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

Abkürzungen

A_F	Abminderungsfaktor	M	Maßnahme
$A_{F,NE}$	Abminderungsfaktor Netzabschnitt	N	Anzahl der gleichartigen Abweichungen
A_{UKR}	Anteil $z_{UKR_{\check{A}}}$ an $g_{UKR_{\check{A}}}$	n	Anzahl
Akp	Anschlussknotenpunkt	Q	Querschnitt (Bewertungsfall)
B	Breite	q	Verkehrsstärke [Kfz/24h]
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke, an Knotenpunkten die Summe der Verkehrsstärken aller Zufahrten [Kfz/24h]	RFB	Richtungsfahrbahn einer Autobahn
F_G	fixer Grenzwert für Zuschlag zur A_{UKR}	RQ	Regelquerschnitt
GLM	Generalisierte Lineare Modelle	SQ	Sonderquerschnitt
g_{UKR}	Grundunfallkostenrate [€/ (1.000 Kfz · km)] bzw. [€/ (1.000 Kfz)]	U(SP)	Unfall/Unfälle mit schwerem Personenschaden
$g_{UKR_{\check{A}}}$	Grundunfallkostenrate(-ähnlich) [€/ (1.000 Kfz · km)] bzw. [€/ (1.000 Kfz)]	U(LV)	Unfall/Unfälle mit leichtem Personenschaden
$g_{UKR_{\check{A},F}}$	fixe Grundunfallkostenrate(-ähnlich) [€/ (1.000 Kfz · km)] bzw. [€/ (1.000 Kfz)]	U(P)	Unfall/Unfälle mit Personenschaden
GW	Grundwert	U(S)	Unfall/Unfälle mit Sachschaden
Kfz	Kraftfahrzeug	U(SS)	Unfall/Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden
$KS_{a,U(P)}$	angepasster Unfallkostensatz für Unfälle mit Personenschaden [€/U]	UHS	Unfallhäufungsstelle
$KS_{s,U(LS)}$	Unfallkostensatz für Unfälle mit leichtem Sachschaden [€/U]	UKR	Unfallkostenrate [€/ (1.000 Kfz · km)] bzw. [€/ (1.000 Kfz)]
$KS_{s,U(SS)}$	Unfallkostensatz für Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden [€/U]	UKR_{fS}	Unfallkostenrate freie Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]
L	Abschnittslänge [km] bzw. [m]	UKR_K	Unfallkostenrate Knotenpunkt [€/ (1.000 Kfz)]
LSA	Lichtsignalanlage	UKR_{NE}	Unfallkostenrate Netzabschnitt [€/ (1.000 Kfz · km)]
		$UKR_{K,M(i)}$	arithmetischer Mittelwert einzelner $UKR_{K,i}$ [€/ (1.000 Kfz)]
		UKR_S	Unfallkostenrate Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]
		UKR_{fS}	Unfallkostenrate freie Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]

UKR _{Strecke}	Unfallkostenrate freie Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]	zUKR _P	Summe aller Zuschläge für punktuelle Abweichungen in einer Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]
UKR _{S+K}	Unfallkostenrate Straßenzüge [€/ (1.000 Kfz · km)]	zUKR _{P,i}	Zuschlag für einmaliges Auftreten einer punktuellen Abweichung in einer Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]
UR	Unfallrate [U/(10 ⁶ Kfz · km)] bzw. [U/(10 ⁶ Kfz)]	zUKR _Z	Summe aller Zuschläge für zufahrts- spezifische Abweichungen an Knoten- punkt [€/ (1.000 Kfz)]
UR(P)	Unfallrate der Unfälle mit Personen- schaden [U(P)/(10 ⁶ Kfz · km)] bzw. [U(P)/(10 ⁶ Kfz)]		
UR(LS)	Unfallrate der Unfälle mit leichtem Sachschaden [U(LS)/(10 ⁶ Kfz · km)] bzw. [U(LS)/(10 ⁶ Kfz)]		
UR(SS)	Unfallrate der Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden [U(SS)/(10 ⁶ Kfz · km)] bzw. [U(SS)/(10 ⁶ Kfz)]		
V _{zul}	zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]		
VZ	Verkehrszeichen		
zUKR	Zuschlag zur gUKR für Abweichungen [€/ (1.000 Kfz · km)] bzw. [€/ (1.000 Kfz)]		
zUKR _Ä	Zuschlag zur gUKR _Ä für Abweichun- gen(-ähnlich) [€/ (1.000 Kfz · km)] bzw. [€/ (1.000 Kfz)]		
zUKR _K	Summe aller Zuschläge für knoten- punktspezifische Abweichungen [€/ (1.000 Kfz)]		
zUKR _{K,i}	Zuschlag für eine einzelne knoten- punktspezifische Abweichung [€/ (1.000 Kfz)]		
zUKR _L	Summe aller Zuschläge für linienhafte Abweichungen in einer Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]		
zUKR _{L,i}	Zuschlag für eine einzelne linienhafte Abweichung in einer Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]		

1 Ausgangslage und Ziel

Im November 2008 wurde die Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur verabschiedet.¹ Diese sieht eine Bewertung der Sicherheitseffekte baulicher Maßnahmen (Road Safety Impact Assessment) im transeuropäischen Straßennetz (TERN) – in Deutschland entspricht dieses im Wesentlichen dem Netz der Bundesautobahnen und einiger weniger Bundesstraßen – verbindlich vor und empfiehlt diese auch für andere Straßen. Das im deutschen Straßennetz vorhandene Unfallgeschehen mit schweren Unfällen insbesondere auf Landstraßen, spricht dafür, ein Verfahren für die Bewertung der Verkehrssicherheit vor allem auch für die Straßenkategorien unterhalb der transeuropäischen Ebene bereitzustellen.

Zur Bewertung der Verkehrssicherheit geplanter Straßenbaumaßnahmen stehen in Deutschland bislang die Verfahren der „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen“ (EWS) (FGSV, 1997) und des Bundesverkehrswegeplans (BVWP, 2003) (BMVBW, 2005) zur Verfügung. In den EWS (FGSV, 1997) sind Unfallkostenraten (UKR) zum Preisstand 1995 für verschiedene Straßentypen angegeben, für Landstraßen zu insgesamt sieben unterschiedlichen Querschnitten, von denen fünf den Regelquerschnitten der „Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte“ (RAS-Q) (FGSV, 1996) entsprechen. In diesen UKR ist das Unfallgeschehen der freien Strecke und der Knotenpunkte zusammengefasst. Im Verfahren des BVWP 2003 (BMVBW, 2005) sind ebenfalls Unfallkenngrößen für verschiedene Straßentypen, die u. a. nach infrastrukturellen Kenngrößen wie Fahrstreifenanzahl oder Vorhandensein einer baulichen Richtungstrennung differenziert werden, zugrunde gelegt. Auch hier ist das Unfallgeschehen der freien Strecke und der Knotenpunkte zusammengefasst. Neben diesen beiden Verfahren waren in den RAS-Q (FGSV, 1996) mittlere UKR (Preisstand 1995) zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von knotenpunktfreien Strecken angegeben.²

Inzwischen wurden diese UKR von ECKSTEIN/MEEWES (2002) zum Preisstand 2000 aktualisiert. Das Verfahren der RAS-Q (FGSV, 1996) ist mit Erscheinen der neuen „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen“ (RAL) (FGSV, 2012) nicht mehr Bestandteil des technischen Regelwerks.

Allen bisherigen Verfahren ist gemein, dass diese nur eine eingeschränkte Bewertung der Sicherheitseffekte ermöglichen, da die Auswirkungen einzelner Entwurfsmerkmale im Lage- und Höhenplan, der Seitenraumgestaltung oder der Straßenausstattung nicht berücksichtigt werden. Für einen Vergleich von Planungsvarianten beim Neubau von Straßen oder bei wesentlichen Änderungen an bestehenden Straßen (z. B. Fahrstreifenverengung) hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit sind diese Verfahren somit nur mit Einschränkungen geeignet.

Im Rahmen der Erarbeitung des Entwurfs eines „Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen“ (HVS) – im Weiteren als HVS-Entwurf 2008 bezeichnet – durch BARK et al. (2008) wurde ein Verfahrensansatz erarbeitet, der es ermöglicht, auf der Grundlage von UKR für einzelne Netzelemente, d. h. für Strecken von Autobahnen und Landstraßen differenziert nach dem jeweiligen Regelquerschnitt sowie für Knotenpunkte differenziert nach der jeweiligen Knotenpunktart einen Sicherheitsgrad zu bestimmen.

Die dem Verfahren des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) derzeit zugrunde liegenden Werte der Grundunfallkostenraten (gUKR) sowie die für einzelne Defizite zu berücksichtigenden Zuschläge auf die Unfallkostenrate (zUKR) basieren zu großen Teilen auf den Einschätzungen der Sicherheitseffektivität verschiedener Entwurfsparameter durch die Mitglieder der damaligen ad-hoc-Gruppe 3.0.1 „Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen“ der FGSV.

Beide Größen, gUKR und zUKR, sind daher als noch nicht ausreichend abgesichert anzusehen. Zudem wurde in einer ersten beispielhaften Anwendung des Verfahrens des HVS an realen Planungen deutlich, dass die Zuordnung dreistreifiger Landstraßenquerschnitte (abschnittsweise oder durchgängig) zu den Bewertungsfällen RQ 15,5 und RQ 11,5+ unbefriedigend war.

Des Weiteren wurden bei verschiedenen Untersuchungen zur Ermittlung des Sicherheitsniveaus von Straßenverkehrsanlagen, beispielsweise von

¹ Richtlinie 2008/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union L319/59-67.

² Die für Knotenpunkte typischen Abbiegeunfälle und Einbiege-/Kreuzen-Unfälle sind hierin nicht berücksichtigt.

BAIER et al. (2007), EBERSBACH/SCHÜLLER (2008), KÖRNER et al. (2008), die nachfolgenden methodische Probleme aufgezeigt, die im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) nicht ausreichend berücksichtigt sind. So wird beispielsweise i. d. R. bei Untersuchungen zu Sicherheitsniveaus angestrebt, Kollektive von Strecken und Knotenpunkten zu bilden, die sich lediglich bezüglich eines zu untersuchenden Merkmals (z. B. Querschnitt bei Strecken oder Knotenpunktart bei Knotenpunkten) unterscheiden. Dabei wird verkannt, dass die übrigen Einflussgrößen in weiten Bereichen streuen. Außerdem bestehen zwischen verschiedenen Einflussgrößen häufig Wechselwirkungen, die bei diesem Vorgehen ebenfalls nicht erkannt werden.

Auch wird bei Untersuchungen von Sicherheitsniveaus häufig ein linearer Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und mittlerem motorisiertem Verkehrsaufkommen, beschrieben über die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV), unterstellt, der jedoch nach Untersuchungen von HAMMERSCHMIDT (2007) nicht generell besteht.

Das Auftreten von Unfallzahlen über dem generellen Erwartungswert einer Strecke oder Besonderheiten im Unfallgeschehen, die durch lokale Gegebenheiten und Merkmale der Verkehrsanlage mitbestimmt werden (Unfallhäufungen), erhöhen die Streubereiche bei der Bestimmung von Sicherheitsniveaus. Das führt dazu, dass derartige Bereiche häufig ausgeblendet werden. Das sollte jedoch nicht sein, da an Unfallhäufungen häufig Defizite vorliegen, die im HVS über Zuschläge beschrieben werden sollen.

Zur Berücksichtigung dieser methodischen Probleme wurde im Rahmen der Weiterentwicklung des HVS mit der Untersuchung von MAIER et al. (2013) ein völlig anderer Weg beschritten. Bei diesem im internationalen Raum gebräuchlichen Vorgehen werden die Wechselwirkungen verschiedener entwurfstechnischer und verkehrstechnischer Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen durch Verwendung von multiplen Regressionsmodellen bestimmt. Im Ausland wird mittlerweile ein Großteil derartiger Analysen über so genannte „Verallgemeinerte Lineare Modelle“ (GLM) durchgeführt. Mit diesem GLM-Ansatz wurden im Rahmen der Untersuchung von MAIER et al. (2013) die gUKR und zUKR für Strecken von Landstraßen neu bestimmt und aufgrund dieser Ergebnisse Anregungen für die Weiterentwicklung des HVS gegeben.

Zielsetzung des vorliegenden Forschungsprojekts ist es deshalb, diesen neuen GLM-basierten Verfahrensansatz um Strecken und Anschlussstellen von Autobahnen sowie plangleiche Knotenpunkte von Landstraßen zu erweitern. Ein weiteres Ziel ist es, die Aussagekraft des in dieser Art weiterentwickelten Verfahrens durch einen Vergleich der Modellergebnisse mit dem in realen Maßnahmen beobachtbaren Unfallgeschehen zu überprüfen, dabei die Praxistauglichkeit des modifizierten HVS-Verfahrens in den relevanten Stufen der Planung abzuklären und darauf aufbauend das Verfahren gegebenenfalls noch einmal anzupassen.

2 Untersuchungsmethode

2.1 Arbeitsprogramm

Das Arbeitsprogramm umfasst mehrere aufeinander aufbauende Arbeitsschritte.

Bezüglich der Entwicklung der ergänzenden GLM-basierten Verfahrensansätze sind dies die folgenden Arbeitsschritte:

- Bestimmung der gUKR und zUKR für Strecken und Anschlussstellen von Autobahnen sowie für plangleiche Knotenpunkte von Landstraßen analog zu dem von MAIER et al. (2013) entwickelten Ansatz auf der Grundlage von hinreichend großen Untersuchungskollektiven sowie
- Ableitung von Vorschlägen für einen auf den Ergebnissen des vorangegangenen Arbeitsschritts beruhenden weiterentwickelten, praktikablen Verfahrensansatz zur Berechnung von gUKR und zUKR in einem überarbeiteten HVS.

Bezüglich der Anwendung des weiterentwickelten Verfahrensansatzes am Beispiel realer Maßnahmen sind dies die folgenden Arbeitsschritte:

- Auswahl von konkreten Bau- und Planungsmaßnahmen,
- Berechnung der „realen“ UKR für diese ausgewählten Maßnahmen (im Weiteren als „beobachtete UKR“ bezeichnet),
- Berechnung der gUKR und zUKR für die ausgewählten Maßnahmen auf der Grundlage der GLM-basierten Verfahren für Landstraßen und Autobahnen (im Weiteren als „berechnete UKR“ bezeichnet) und

- Prüfung der Anwendbarkeit dieses Verfahrens in den relevanten Planungsstufen.

Daraus resultieren die abschließenden Arbeitsschritte:

- Entwicklung von Vorschlägen für eine Modifikation der bei den GLM-basierten Verfahren bestimmten Kenngrößen im Hinblick auf ihre allgemeine Verwendung in einem HVS und
- Prüfung einer Integration des verbesserten Verfahrensansatzes nach dem HVS in die derzeit in Erarbeitung befindlichen „Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen“ (RWS) (ARGE RAS-W, 2014).

2.2 Neue Ansätze zur Ermittlung von Grundunfallkosten und Zuschlägen mithilfe GLM-basierter Verfahren

Unfälle können durch eine Vielzahl von baulichen und betrieblichen Merkmalen beeinflusst werden (vgl. z. B. TAYLOR/BARUYA/KENNEDY, 2002), die sich gegenseitig verstärken oder sogar auch aufheben. Ebenso können Merkmale zusammengefasst werden, wenn diese immer nur in Kombination auftreten. Bisher wurden vor allem monokausale Auswertungen zur Beschreibung eines einzelnen Merkmals durchgeführt, bei denen Sicherheitsniveaus z. B. in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite ermittelt werden, ohne dabei weitere Randbedingungen zu kontrollieren. Es ist jedoch beispielsweise möglich, dass sich die Fahrbahnbreite auf langen Geraden im flachen Land ganz anders auf die Verkehrssicherheit auswirkt als etwa in einem Gebiet mit vielen Kurven und Steigungen. Weiterhin treten in einer hügeligen bzw. bergigen Landschaft vermehrt erhebliche Längsneigungen und enge Kurvenradien auf.

Diese inneren Abhängigkeiten können insbesondere für die Bewertung von Planungsvarianten in den frühen Planungs- bzw. Bearbeitungsphasen eine Relevanz besitzen. Am Anfang einer Planung sind Details wie das Vorhandensein von Schutz Einrichtungen oder eingeschränkter Sichtfelder noch nicht bekannt, ebenso wenig wie die konkrete Lichtsignalsteuerung. Eine Bewertung eines Straßenzugs ist mit dem bisherigen Detaillierungsgrad des HVS in dieser frühen Planungsphase daher nur schwer möglich. Hier werden Annahmen zu aggregierten gUKR und zUKR benötigt.

Einen zweckmäßigen Ansatz dafür bieten beispielsweise TAYLOR/BARUYA/KENNEDY (2002) mit einer Einteilung von Landstraßen in Gruppen unterschiedlicher Charakteristik, ähnlich der Vorgehensweise mit den typischen Entwurfsituationen in den „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen“ (RASt) (FGSV, 2006). Dabei werden die Straßen anhand von Knotenpunktdichte, Kurvigkeit und der relativen Höhenänderung im Verlauf der Strecke in Gruppen unterschiedlicher Qualität eingeteilt. So werden z. B. Straßen mit langen Geraden, ohne Steigungen und mit einer geringen Knotendichte als „high quality roads“ beschrieben, welche sich durch hohe Geschwindigkeiten, aber auch ein hohes Sicherheitsniveau auszeichnen. Wie auch immer solche Gruppen oder Kollektive letztendlich aussehen, bieten sie doch Vorteile. Sie ermöglichen

- eine grobe Einschätzung des zu erwartenden Sicherheitsniveaus am Anfang der Planung, wenn nur qualitative Merkmale zur Umgebung und Linienführung einer Straße in geringem Detaillierungsgrad bekannt sind, und
- eine verbesserte Abschätzung von gUKR für unterschiedliche Straßenräume (so wird unabhängig vom gewählten Regelquerschnitt in einem hügeligen Gelände mit einer Vielzahl von Zwangspunkten häufig mit einer hohen Kurvigkeit zu rechnen sein, welche zu einem höheren Grundrisiko führt).

Die Quantifizierung derartiger Wechselwirkungen kann unter Verwendung von multiplen Regressionsmodellen realisiert werden. Im internationalen Raum wird mittlerweile der Großteil der Analysen über GLM durchgeführt (siehe u. a. TAYLOR et al., 2002; GREIBE, 2003; REURINGS et al., 2005). Diese wurden für die Bestimmung von Sicherheitsgraden auch im europäischen RIPCORDEREST-Projekt empfohlen. So kann z. B. auch ein möglicher nichtlinearer Zusammenhang zwischen dem DTV und der Unfallzahl in solchen Modellen analysiert und berücksichtigt werden. Ebenso wird die stochastische Natur von Unfällen (Wahrscheinlichkeit des Auftretens folgt einer Poisson-Verteilung) berücksichtigt, was in den bisherigen Regressionsrechnungen nicht der Fall ist, da diese von normalverteilten Häufigkeiten ausgehen.

Die GLM, auf die in den Untersuchungen zurückgegriffen wird, sind durch drei Elemente definiert. Diese sind

- die Verteilungsfunktion der abhängigen Variablen (hier die Poisson-Verteilung zur Modellierung von Unfällen),
- der lineare Prädiktor (die Summe der Produkte aus dem Parameter b_i und der Einflussvariable x_i) und
- die Verknüpfungsfunktion, welche den Zusammenhang zwischen linearem Prädiktor und der abhängigen Variable herstellt.

Ein Beispiel einer Modellformel nach MAIER et al. (2013) zeigt Gleichung 1:

$$U = a \cdot q^{b_1} \cdot L^{b_2} \cdot e^{\sum_{i=3}^n b_i \cdot x_i} \quad \text{Gl. 1}$$

mit

U Anzahl Unfälle im betrachteten Zeitraum [U]

a Konstante [-]

q Kenngröße der Verkehrsstärke, z. B. DTV [Kfz/24h]

L Länge des Streckenzugs [m] bzw. [km]

b Parameter/Koeffizienten der Einflussvariablen [-]

x weitere Einflussvariablen [-]

Für die Verteilungsfunktion wird die Poisson-Verteilung gewählt, da die Anzahl der Unfälle modelliert werden soll. Unter Umständen kommt auch die negative Binomialverteilung zur Anwendung, welche methodische Vorteile gegenüber der Poisson-Verteilung besitzt (Beschreibung der Überzufälligkeit). Die Modellparameter werden mithilfe der Maximum-Likelihood-Methode im Statistikprogramm SPSS abgeschätzt.

2.3 Auswahl der Untersuchungskollektive für die Entwicklung der GLM-basierten Verfahren

In einem ersten Schritt wurden Anzahl und Umfang der zu untersuchenden Teilkollektive an Bewertungsfällen (Strecken verschiedener Regelquerschnitte, Knotenpunkte verschiedener Knotenpunktarten) festgelegt. Daraufhin wurde bestimmt, welche der im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) aufgeführten Abweichungen zum regelgerechten Ausbau hinsichtlich ihres Einflusses auf die Verkehrssicherheit zu betrachten

sind. Ausgangspunkt hierfür bilden die Erkenntnisse aus der vorgenannten Untersuchung von MAIER et al. (2013) sowie aus der vorliegenden Untersuchung von BAIER et al. (2010) zur Überprüfung der Verkehrssicherheit für das Linksabbiegen bei unterschiedlichen Formen der Signalisierung.

Hinsichtlich der Strecken und Anschlussstellen von Autobahnen konnte auf die Straßeninformationbanken der Länder Baden-Württemberg, Brandenburg, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Sachsen-Anhalt zurückgegriffen werden. Auf dieser Basis wurde eine Vorauswahl getroffen, welche Bereiche des Straßennetzes für die Untersuchung infrage kommen. Es wurden rund 2.000 km Bundesautobahn näher analysiert. Dieser Wert stellt eine Mindestlänge aufgrund der Vielzahl an Merkmalkombinationen dar.

Im Bereich der plangleichen Knotenpunkte an Landstraßen wurde auf die Datengrundlage der Untersuchung von MAIER et al. (2013) zurückgegriffen. In dieser war eine Streckenlänge von rund 3.600 km im Landstraßennetz verschiedener Bundesländer mithilfe von Messfahrten mit dem am Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der TU Dresden vorhandenen Messfahrzeug UNO erhoben worden. Die u. a. erfassten Knotenpunkte wurden in diesem Zusammenhang nur am Rande ausgewertet. Es liegt aber eine ausführliche Datengrundlage mit Informationen zur Gestaltung und der Betriebsform von rund 130 Knotenpunkten vor, welche hier ausgewertet und analysiert wurden.

Aus der Untersuchung von BAIER et al. (2010) liegen zu 79 Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage (LSA) an einbahnigen Landstraßen in Bayern und Rheinland-Pfalz neben der Verkehrsbelastung (DTV) detaillierte Daten zu verschiedenen entwurfstechnischen und lichtsignalsteuerungstechnischen Parametern vor. Für weitere 86 bayerische und 22 rheinland-pfälzische Knotenpunkte einbahniger Landstraßen ist die Verkehrsbelastung (DTV) bekannt. Zu den Knotenpunkten in Bayern gibt es darüber hinaus Grundinformationen zur Lichtsignalsteuerung (u. a., ob beispielsweise ein Grünpfeil gemäß Zeichen 720 StVO vorhanden ist) aus den Untersuchungen von SPAHN/BÄUMLER (2007) sowie zu den Abbiegetypen nach den RAL (FGSV, 2012).

Aus den Untersuchungen von SPAHN/BÄUMLER (2007) liegen des Weiteren von 42 Knotenpunkten mit LSA an zweibahnigen Landstraßen sowie 139

Kreisverkehren die Verkehrsbelastung sowie Daten zu verschiedenen Entwurfselementen vor. Darüber hinaus liegen bei der Zentralstelle für Verkehrssicherheit der Straßenbauverwaltung in Bayern die Verkehrsbelastung sowie detaillierte Daten zu verschiedenen Entwurfselementen von rund 700 verkehrszeichengeregelten Landstraßenknotenpunkten (Knotenpunkte ohne LSA) vor. Davon sind 472 Einmündungen und 48 Kreuzungen als geeignet für vertiefende Betrachtungen anzusehen.

Anhand der vorab beschriebenen Datengrundlage konnte ein Großteil der erforderlichen Merkmale unmittelbar erfasst und ausgewertet werden. Für die Bewertung der Strecken von Autobahnen wurden zunächst alle aus den Straßeninformationsbanken ableitbaren Informationen extrahiert und aufbereitet. Wie sich in Untersuchungen von LIPPOLD et al. (2004 und 2008) gezeigt hat, stehen aus den Straßeninformationsbanken für den Bereich von Bundesautobahnen lediglich Daten hinsichtlich der Geometrie in Lage- und Höhenplan und der Ausstattung (Schutzeinrichtungen, Beschilderung usw.) in ausreichender Qualität zur Verfügung.

Zu den Knotenpunkten an Autobahnen und Landstraßen konnten eine Vielzahl an (nicht schon vorliegenden) relevanten Entwurfselementen auf der Grundlage von Luftbildern erfasst und ausgewertet werden. Dies ermöglichte es, über die bayerischen und rheinland-pfälzischen Knotenpunkte hinaus auch Knotenpunkte an Landstraßen in anderen Bundesländern, für die auf Grundlage der Messfahrten bereits Informationen zur Gestaltung und der Betriebsform vorliegen, in die Betrachtungen einzubeziehen.

Strecken und Knotenpunkte, zu denen hinreichende entwurfstechnische und Verkehrsdaten vorliegen, wurden dann in die aktuellen Untersuchungen einbezogen, wenn darüber hinaus jeweils Daten zum Unfallgeschehen für mindestens 3 Jahre zur Verfügung gestellt werden konnten. Lagen Daten für einen längeren Zeitraum vor, wurden diese nur bis zu einem Zeitraum von 5 Jahren genutzt, da für längere Zeiträume die Wahrscheinlichkeit sowohl einer Veränderung in der Verkehrsbelastung als auch bezüglich der Infrastrukturmerkmale zunimmt und generelle Trends in der Unfallentwicklung die Aussagefähigkeit der Ergebnisse mindern können.

Es liegen für Sachsen (seit 2004), Hessen, Rheinland-Pfalz und Sachsen-Anhalt (seit 2005) die Un-

falldaten aller Unfallkategorien für das gesamte Straßennetz vor. Des Weiteren stehen mehrjährige Unfalldaten der Kategorie 1 bis 4 aus den Ländern Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen und Nordrhein-Westfalen zur Verfügung.

Für alle in die Betrachtung einbezogenen Netzelemente erfolgte zunächst eine Einteilung der Strecken anhand des Querschnitts und der Knotenpunkte anhand der Knotenpunktart. Diese Teilkollektive wurden anschließend nach infrastrukturellen und betrieblichen Merkmalen weiter differenziert. So wurden die Strecken hinsichtlich ihrer Streckencharakteristik, der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (V_{zul}) und der Verkehrsbelastung unterteilt. Dabei wurden Mindestlängen – z. B. 1 km für Autobahnen – berücksichtigt, um die Aussagefähigkeit der Streckenkollektive zu gewährleisten. Abschnitte, welche diese Mindestlänge nicht aufweisen können, wurden gesondert ausgewertet. Hierzu wurden Vorschläge für den Umgang mit kürzeren Abschnitten gegeben, um diese als Hinweise für die methodische Arbeit bei Sicherheitsbewertungen in das HVS aufnehmen zu können.

Knotenpunkte (zwischen klassifizierten Straßen) der gleichen Knotenpunktart wurden hinsichtlich der V_{zul} und der Verkehrsbelastung untergliedert. Dabei wurden die Knotenpunkte und deren Einflussbereiche gesondert betrachtet. Hierbei wurde sich an den Festlegungen aus der Untersuchung von VIETEN et al. (2010) orientiert.

2.4 Anwendung der GLM-basierten Verfahren an konkreten Maßnahmen

In diesem Arbeitsschritt wurde der Verfahrensansatz zur Bewertung der Verkehrssicherheit in den relevanten Planungsstufen mit dem Ziel einer Praktikabilitäts- und Plausibilitätsprüfung angewendet. Dabei wurde geprüft, ob der bisherige Verfahrensansatz hinsichtlich des Umgangs mit linienhaften und punktuellen Abweichungen bei Strecken bzw. mit punktuellen und zufahrtbezogenen Defiziten bei Knotenpunkten sowie bezüglich der Abgrenzung von freier Strecke und Knotenpunkten einschließlich ihrer Einflussbereiche modifiziert werden soll.

Hierfür wurden konkrete Planungen von Neu-, Um- und Ausbaumaßnahmen für Autobahnen und Landstraßen aus verschiedenen Planungsstufen heran-

gezogen. Ein besonderes Augenmerk galt dabei der Zuordnung der Bewertungsfälle zu Regelquerschnitten bzw. Knotenpunktarten.

Hierfür wurden die entsprechenden Planungsunterlagen bei den zuständigen Straßenbauverwaltungen der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz sowie Saarland angefragt.

Darüber hinaus liegen am Fachgebiet Straßenwesen und Vermessung der Technischen Hochschule Mittelhessen rund 50 weitere Maßnahmen aus verschiedenen Planungsstufen vor, die ergänzend in diesem Arbeitsschritt zur Praktikabilitätsprüfung (Anwendbarkeit, Nachvollziehbarkeit) des Verfahrens herangezogen wurden. Da sich diese Maßnahmen z. T. noch in der Planung befinden oder erst vor kurzem umgesetzt wurden, war allerdings eine Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der Sicherheitsbewertung mit einem realen Unfallgeschehen anhand dieser Maßnahmen nicht möglich.

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse aus der Anwendung des Verfahrens in den relevanten Planungsstufen wurden abschließend Vorschläge für Verfahrensanpassungen erarbeitet. Dabei sollten u. a. Empfehlungen für die Zuordnung der berechneten Sicherheitsgrade zu einer Qualitätsstufe der Verkehrssicherheit (QSS) erarbeitet werden.

Abschließend wurden in Anlehnung an das „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“ (HBS) (FGSV, 2001/2009) Vorschläge zu Aufbau und Gestaltung von Formblättern für die standardisierte Anwendung des Bewertungsverfahrens entwickelt. Diese wurden ergänzt durch ausgewählte Beispielberechnungen, welche die grundlegenden Arbeitsschritte erläutern, um die praktische Anwendung des Verfahrens zu erleichtern.

2.5 Nutzung der auf der Basis von GLM weiterentwickelten Verfahren des HVS in den RWS

Im Rahmen der Erarbeitung neuer RWS werden die Berechnungsverfahren für die Nutzen- und Kostenkomponenten der EWS (FGSV, 1997) aktualisiert (ARGE RAS-W, 2014). In den neuen RWS wird zum einen ein Regelverfahren zur Anwendung bei der üblichen Datengrundlage, zum anderen ein detailliertes Verfahren bei komplexen Fragestellungen auf der Basis umfangreicher

Datengrundlage zur Verfügung gestellt. Es soll geprüft werden, ob für komplexe Fragestellungen der auf der Basis von GLM weiterentwickelte Bewertungsansatz nach dem HVS als Ergänzung zum Regelverfahren bzw. als detailliertes Verfahren verwendet werden kann.

3 Bisherige Erkenntnisse

3.1 Ansätze bisheriger Bewertungsverfahren

Zur Bewertung der Verkehrssicherheit in der Planung befindlicher Straßenbaumaßnahmen stehen in Deutschland derzeit die Verfahren der EWS (FGSV, 1997) und des BVWP 2003 (BMVBW, 2005) zur Verfügung. Für bestehende Straßen gibt es die Verfahren der Sicherheitsanalysen nach den „Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen“ (ESN) (FGSV, 2003).

In den EWS (FGSV, 1997) werden zur Bewertung der Verkehrssicherheit in Abhängigkeit der Wirkung der zu bewertenden Maßnahme zwei Berechnungsarten unterschieden. Zum einen werden Straßennetze bewertet, wobei diese Bewertung auf einer Betrachtung einzelner Netzabschnitte basiert, zum anderen werden Maßnahmen an einzelnen Strecken oder Knotenpunkten bewertet, deren gezielte Verbesserungen keine unmittelbaren Auswirkungen im weiteren Netz haben. In letzterem Fall ist die Veränderung im Unfallgeschehen lediglich über den abzuschätzenden Anteil der vermeidbaren Unfallkosten zu bewerten.

Für den Variantenvergleich von Straßenbaumaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und/oder zur Dringlichkeitsreihung verschiedener Maßnahmen innerhalb des Anwendungsbereichs der EWS (FGSV, 1997) ist i. d. R. von einer netzbezogenen Bewertung auf Basis einer Betrachtung einzelner Netzabschnitte auszugehen. Hierzu sind die Unfallkosten der einzelnen Netzabschnitte über UKR zu berechnen. Die UKR sind in den EWS (FGSV, 1997) für verschiedene Straßentypen von Außerorts- und Innerortsstraßen zum Preisstand 1995 angegeben. In diesen UKR ist das Unfallgeschehen der Strecke und der Knotenpunkte zusammengefasst. Für Autobahnen und Landstraßen werden diesen Straßentypen die entsprechenden Regelquerschnitte nach den RAS-Q (FGSV, 1996) sinngemäß zugeordnet. Darüber hinaus werden die Außerortsstraßentypen nach

weiteren streckenbezogenen Merkmalen (mit/ohne Seitenstreifen, mit/ohne Mittelstreifen) und der Führung in den Knotenpunkten (planfrei bzw. plangleich) differenziert.

In der gesamtwirtschaftlichen Bewertungsmethodik des BVWP 2003 (BMVBW, 2005) werden die Unfallschäden über Unfallraten (UR), welche die Zahl der Unfälle in Beziehung zur Verkehrsleistung setzen, und Unfallkostensätze, welche die durchschnittliche Unfallschwere angeben, erfasst. Hierbei werden Unfälle mit Personen- und Sachschaden, also U(P) und U(S), unterschieden. Die Veränderung der Unfallkosten wird mit der Nutzenkomponente „Erhöhung der Verkehrssicherheit“ quantifiziert. Eingesparte Unfallkosten ergeben sich aus der Differenz der Unfallkosten von Vergleichsfall (ohne betrachtete Maßnahmen) und Planfall (mit betrachteten Maßnahmen).

Die UR für verschiedene Straßentypen werden u. a. nach infrastrukturellen Kenngrößen wie Betriebsform (Kfz-Straße, Straße für den allgemeinen Verkehr), Fahrstreifenanzahl je Fahrtrichtung (4, 3, 2, 1 Fahrstreifen), Führung des Verkehrs im Bereich der Knotenpunkte (planfrei, plangleich), dem Vorhandensein einer baulichen Richtungstrennung und der Streckenqualität differenziert und in Form von Abbildungen dargestellt (Bild 1). Für den Sonderquerschnitt mit 2+1-Führung wird die UR dagegen unabhängig von diesen infrastrukturellen Kenngrößen ebenfalls getrennt für U(P) und U(S) angegeben. Die straßentypspezifischen UR beziehen

sich auf Netzabschnitte, d. h., in den UR ist das Unfallgeschehen der Strecke und der Knotenpunkte zusammengefasst.

Im Rahmen der „Aktualisierung von Bewertungsansätzen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen in der Bundesverkehrswegeplanung“ wurden die UR mithilfe der Unfallstatistiken des Statistischen Bundesamts auf das Jahr 2008 hochgerechnet (BVU/ITP/PLANKO, 2010). In Bild 2 sind die UR für das Jahr 2008 nach den jeweiligen Streckentypen dargestellt. Für die häufig auftretenden einstreifigen Außerorts- und Innerortsstrecken mit plangleichen Knotenpunkten wird eine weitere Unterteilung der UR nach der Straßenqualität (4. Kennziffer) vorgenommen (Bild 3).

In den RAS-Q (FGSV, 1996) waren zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Strecken für vier Regelquerschnitte von Autobahnen (RQ 35,5, RQ 33, RQ 29,5 und RQ 26) sowie den ebenfalls auf Autobahnen vorkommenden RQ 20 mittlere UKR zum Preisstand 1995 angegeben. Diese wurden von ECKSTEIN/MEEWES (2002) auf den Preisstand 2000 aktualisiert. In diesen UKR sind im Gegensatz zu den UKR aus den EWS (FGSV, 1997) die knotenpunktspezifischen Beiträge aus Abbiege- und Einbiegen-/Kreuzen-Unfällen nicht enthalten.

Weder in den EWS (FGSV, 1997) noch in der veröffentlichten Verfahrensbeschreibung zum BVWP 2003 von (BMVBW, 2005) wird explizit erläutert, für

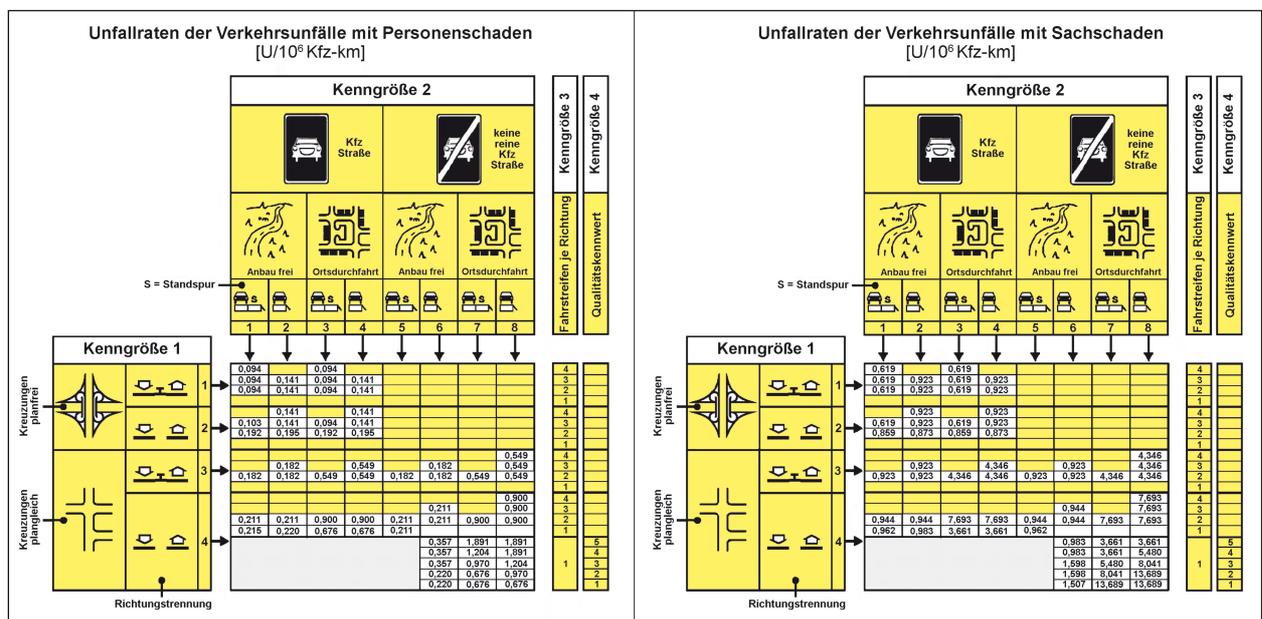


Bild 1: UR der U(P) und U(S) des BVWP 2003 (BMVBW, 2005)

welchen Ausbaustandard die angegebenen Unfallkennwerte UKR bzw. UR stehen. Somit ist nicht nachvollziehbar, ob diese für einen guten (regelwerkskonformen) Ausbau der Straßenverkehrs-

anlagen gelten, d. h., die zu erwartende Verkehrssicherheit bei einer richtliniengerechten Gestaltung beschreiben.

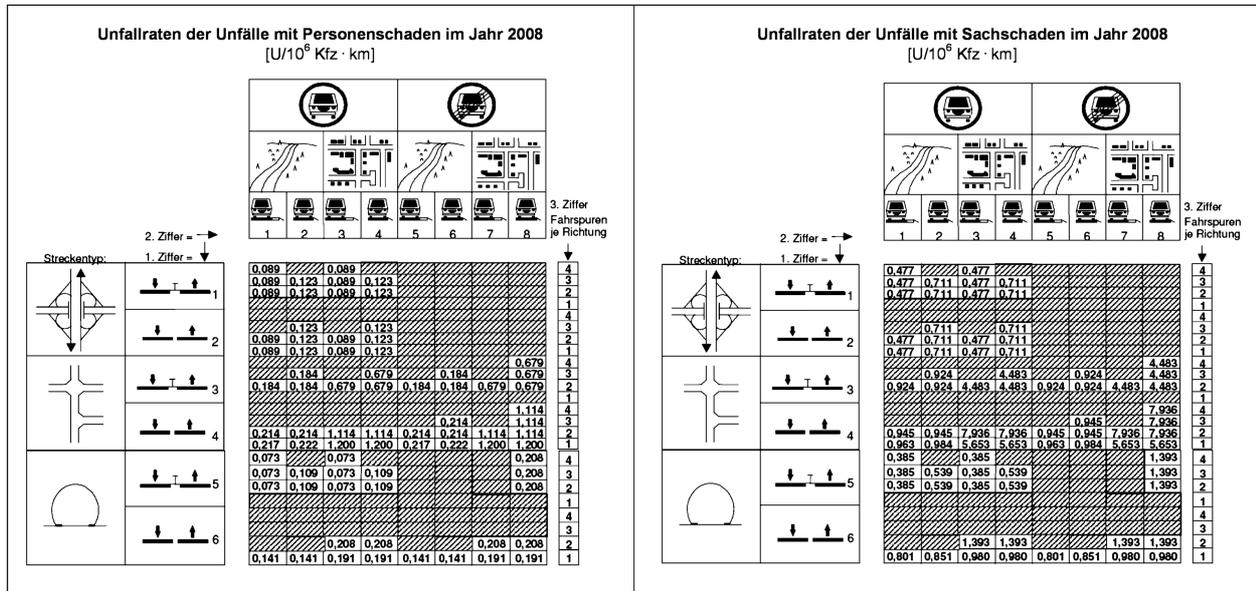


Bild 2: UR der U(P) und U(S) nach Straßentypen (BVU/ITP/PLANCO, 2010)

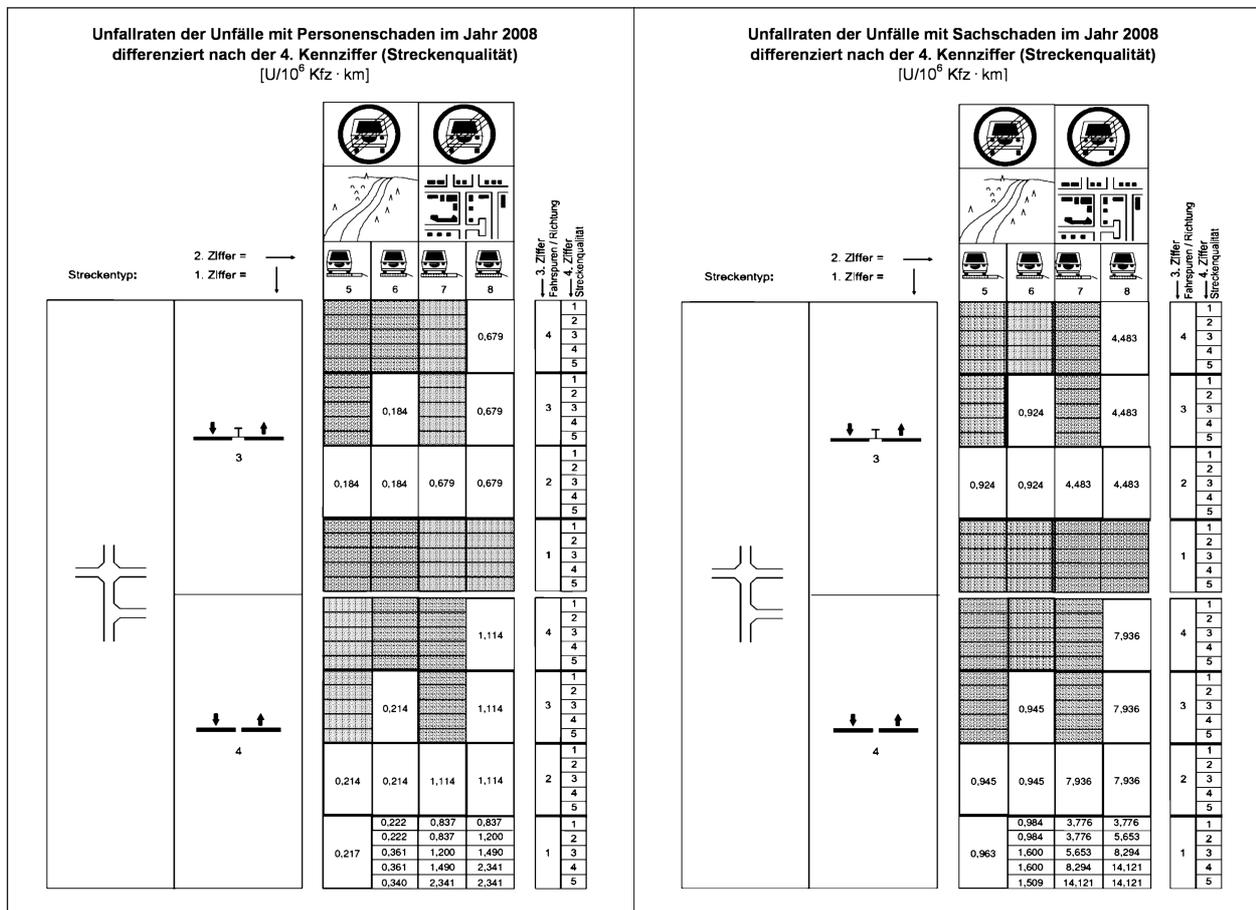


Bild 3: UR der U(P) und U(S) nach der Straßenqualität (BVU/ITP/PLANCO, 2010)

3.2 Verfahrensansatz im HVS-Entwurf 2008

3.2.1 Beschreibung des Verfahrensansatzes

Mit dem HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) wurde ein Verfahrensansatz erarbeitet, der es ermöglichen soll, auf der Grundlage von Unfallkostenraten für einzelne Netzelemente (Strecken differenziert nach dem Regelquerschnitt, Knotenpunkte differenziert nach ihrer Knotenpunktart) einen Sicherheitsgrad für eine Strecke zu bestimmen.

Die Unfallkostenraten für einzelne Netzelemente ergeben sich dabei aus einer Grundunfallkostenrate (gUKR) für das jeweilige Netzelement und Zuschlägen (zUKR) für Abweichungen vom richtliniengerechten Ausbau. Durch den Vergleich von Sicherheitsgraden bestehender oder geplanter Straßenverkehrsanlagen mit den jeweils erreichbaren Sicherheitsgraden bei einem richtliniengerechten Ausbau soll die Sicherheitsrelevanz verschiedener Entwurfs- und Betriebsmerkmale aufgezeigt werden. Weiterhin sollen mit dem Verfahren, neben der Notwendigkeit sicherheitsverbessernder Maßnahmen für einzelne Netzelemente die zu erwartenden Auswirkungen von Planungsvarianten auf die Verkehrssicherheit aufgezeigt werden können. Dies gilt sowohl für den Neubau als auch den Um- und Ausbau bestehender Straßenverkehrsanlagen.

Die Sicherheitsbewertung der Strecken von Autobahnen und Landstraßen orientiert sich dabei an den Regelquerschnitten der RAA (FGSV, 2008) sowie dem damals vorliegenden RAL-Entwurf 2008 (FGSV, 2008). Alle hiervon abweichenden, im Bestand vorhandenen Querschnitte werden einem dieser Regelquerschnitte (= Bewertungsfall) sinngemäß zugeordnet.

Die Zuordnung von Querschnitten im Bestandsnetz der Autobahnen und Landstraßen zu diesen Bewertungsfällen sind entsprechend der Tabelle 1 und Tabelle 2 vorzunehmen.

Für die definierten Bewertungsfälle für Regelquerschnitte sind im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) jeweils gUKR angegeben, die teilweise nochmals nach der V_{zul} differenziert sind. Diese gelten unter der Voraussetzung, dass die dem Bewertungsfall zugrunde gelegte Verkehrsanlage in allen Bau-, Gestaltungs- und Betriebsmerkmalen den Vorgaben der RAA (FGSV, 2008) bzw. dem RAL-Entwurf 2008 (FGSV, 2008) entspricht. Sicherheits-

relevante Abweichungen vom richtliniengerechten Ausbau, d. h. gegenüber den in den Richtlinien festgelegten Grenz- und Richtwerten für die jeweiligen Entwurfselemente, führen zu Zuschlägen (zUKR) auf die gUKR. Dabei wird bei Strecken zwischen zwei Arten von Zuschlägen unterschieden:

- Zuschläge für linienhafte Abweichungen ($zUKR_{L,i}$) und
- Zuschläge für punktuelle Abweichungen ($zUKR_{P,i}$).

Unter linienhaften Abweichungen werden solche verstanden, die auf der gesamten Länge einer Strecke vorhanden sind (z. B. die Abweichungen von der regelgerechten Fahrstreifenbreite). Die $zUKR_{L,i}$ für diese linienhaften Abweichungen können unmittelbar aus den entsprechenden Bewertungstabellen entnommen werden.

Bewertungsfall	Zugeordnete Querschnitte im Bestandsnetz	
RQ 43,5	–	
RQ 36	RQ 35,5 a6ms (RQ 37,5)	RAS-Q 96 RAS-Q 82
RQ 31,5	RQ 33	RAS-Q 96
RQ 31	RQ 29,5 a4ms (RQ 29)	RAS-Q 96 RAS-Q 82
RQ 28	RQ 26	RAS-Q 96
RQ 25	–	

Tab. 1: Bewertungsfälle und zugeordnete Querschnitte im Bestandsnetz von Autobahnen (BARK et al., 2008)

Bewertungsfall	Zugeordnete Querschnitte im Bestandsnetz	
RQ 21	RQ 20 c4m (RQ 20) d4 (RQ 16)	RAS-Q 96 RAS-Q 82 RAS-Q 82
RQ 15,5	RQ 15,5	RAS-Q 96
RQ 11,5+	RQ 10,5 ZFS RQ 9,5 ZFS	RAS-Q 96 RAS-Q 96
RQ 11	RQ 10,5 RQ 9,5 b2s (RQ 14) b2 (RQ 12) d 2 (RQ 10) b2ü Zwischenquerschnitt	RAS-Q 96 RAS-Q 96 RAS-Q 82 RAS-Q 82 RAS-Q 82 RAS-Q 82
RQ 9	RQ 7,5 e2 (RQ 9) f2 (RQ 7,5)	RAS-Q 96 RAS-Q 82 RAS-Q 82

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

Der Gesamtzuschlag $zUKR_L$ für sämtliche in einer Strecke vorhandenen linienhaften Abweichungen ergibt sich nach Gleichung 2:

$$zUKR_L = \sum_{i=1}^n zUKR_{L,i} \quad \text{Gl. 2}$$

mit

$zUKR_L$ Summe aller Zuschläge für linienhafte Abweichungen in einer Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]

$zUKR_{L,i}$ Zuschlag für eine einzelne linienhafte Abweichung in einer Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]

Unter punktuellen Abweichungen werden solche verstanden, die in einer Strecke nur lokal begrenzt auftreten (z. B. eine entwässerungsschwache Zone, ein Mangel in der Radienrelation). Eine punktuelle Abweichung wird je nach der Häufigkeit ihres Auftretens in einer Strecke bewertet. Die Zuschläge für punktuelle Abweichungen können deshalb erst nach Umrechnung aus den entsprechenden Bewertungstabellen entnommen werden.

Dazu ist zunächst die Anzahl aller gleichartigen punktuellen Abweichungen in einer Strecke zu bestimmen. Die in den Bewertungstabellen zusammengestellten Zuschläge $zUKR_{P,i}$ gelten jeweils für ein einmaliges Auftreten einer punktuellen Abweichung. Der Zuschlag $zUKR_P$ für sämtliche in einer Strecke vorhandenen Abweichungen ergibt sich aus der tatsächlichen Anzahl der gleichartigen punktuellen Abweichungen unter Berücksichtigung der Abschnittlänge nach Gleichung 3:

$$zUKR_P = \sum_{i=1}^n \frac{N \cdot zUKR_{P,i}}{L} \quad \text{Gl. 3}$$

mit

$zUKR_P$ Summe aller Zuschläge für punktuelle Abweichungen in einer Strecke [€/ (1.000 Kfz km)]

N Anzahl der gleichartigen Abweichungen

$zUKR_{L,i}$ Zuschlag für einmaliges Auftreten einer punktuellen Abweichung in einer Strecke [€/ (1.000 Kfz km)]

L Länge der Strecke [km]

Eine Bewertung von Knoten- und Teilknotenpunkten entsprechend dem im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) beschriebenen Verfahrens-

ansatz ist ebenfalls möglich. Für die Bewertung von Knotenpunkten werden verschiedene regelgerecht ausgebaute Knotenpunktarten – Einmündungen und Kreuzungen mit und ohne LSA sowie Kreisverkehre – bzw. Elemente planfreier Knotenpunkte (Ein-/Ausfahrten, Verflechtungsstrecken und Rampen) als Bewertungsfälle definiert und die $gUKR$ angegeben. Planfreie, teilplanfreie und teilplanfreie Knotenpunkte werden in ihre jeweiligen Teilknotenpunkte zerlegt und einem entsprechenden Bewertungsfall zugeordnet.

Für Knoten- und Teilknotenpunkte von Autobahnen und Landstraßen werden zwei Arten von Zuschlägen unterschieden:

- Zuschläge für knotenpunktspezifische Abweichungen ($zUKR_{K,i}$) und
- Zuschläge für zufahrtspezifische Abweichungen ($zUKR_{Z,i}$).

Eine knotenpunktspezifische Abweichung wird im eigentlichen Knotenpunktbereich nur einmal erfasst, ein Zuschlag dafür wird deshalb nur einmal vergeben.

Der Gesamtzuschlag $zUKR_K$ für sämtliche an einem Knotenpunkt vorhandene knotenpunktspezifische Abweichungen ergibt sich nach Gleichung 4:

$$zUKR_K = \sum_{i=1}^n zUKR_{K,i} \quad \text{Gl. 4}$$

mit

$zUKR_K$ Summe aller Zuschläge für knotenpunktspezifische Abweichungen an einem Knotenpunkt [€/ (1.000 Kfz)]

$zUKR_{K,i}$ Zuschlag für eine einzelne knotenpunktspezifische Abweichung an einem Knotenpunkt [€/ (1.000 Kfz)]

Eine zufahrtspezifische Abweichung wird für jede Zufahrt gesondert erfasst. Die Zuschläge für die zufahrtspezifischen Abweichungen können unmittelbar der entsprechenden Bewertungstabelle entnommen werden.

Der Gesamtzuschlag $zUKR_Z$ für alle zufahrtspezifischen Abweichungen an einem Knotenpunkt ergibt sich nach Gleichung 5:

$$zUKR_Z = \sum_{i=1}^n N \cdot zUKR_{Z,i} \quad \text{Gl. 5}$$

mit

$zUKR_Z$ Summe aller Zuschläge für zufahrtspezifische Abweichungen an einem Knotenpunkt [€/ (1.000 Kfz)]

N Anzahl der gleichartigen Abweichungen

$zUKR_{Z,i}$ Zuschlag für eine einzelne zufahrtspezifische Abweichung an einem Knotenpunkt [€/ (1.000 Kfz)]

Die dem Verfahren des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) zugrunde liegenden Werte der $gUKR$ sowie der $zUKR$ für den Bereich der Autobahnen und Landstraßen können als noch nicht ausreichend abgesichert angesehen werden.

3.2.2 Quantifizierung von Zuschlägen auf der Basis eigener Auditberichte

Zur Quantifizierung relevanter Zuschläge für die Sicherheitsbewertung nach dem HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) wurde eine Analyse von festgestellten Defiziten in Auditberichten, die von den Forschungsnehmern des vorliegenden Projekts erstellt wurden, durchgeführt. Hierfür wurden die in den Auditberichten erfassten Defizite den entsprechenden Abweichungen vom richtliniengerechten Ausbau gemäß der Bewertungstabellen des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) zugeordnet.

Die Analyse wurde für Planungen in verschiedenen Planungsphasen durchgeführt. Diese sind nicht Bestandteil des Kollektivs, das im vorliegenden Projekt später zur Praktikabilitäts- und Plausibilitätsprüfung verwendet wurde. Die Erfassung der sicherheitsrelevanten Defizite wurde nach den Kriterien der Bewertungstabelle des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) getrennt für Autobahnen und Landstraßen durchgeführt. Planungsmaßnahmen an Autobahnen beinhalten neben der Strecke und den Knotenpunkten der Autobahn i. d. R. auch Strecken des nachgeordneten Straßennetzes. Die für das nachgeordnete Netz (i. d. R. kreuzende Straßen) im Zuge von Autobahnplanungen festgestellten Defizite wurden getrennt erfasst und im Zuge der Auswertung an Landstraßen den entsprechenden Abweichungen vom richtliniengerechten Entwurf zugeordnet.

Die im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) zugrunde gelegten Bewertungsfälle orientieren sich

für Landstraßen an den festgelegten Regelquerschnitten des damals vorliegenden RAL-Entwurf 2008 (FGSV, 2008). Die bei den Forschungsnehmern des vorliegenden Projekts vorliegenden Auditberichte beziehen sich jedoch i. d. R. auf Planungen mit einem zum Zeitpunkt der Auditierung gültigen technischen Regelwerk, u. a. die RAS-Q (FGSV, 1996). Querschnitte, die von den Regelquerschnitten nach dem RAL-Entwurf 2008 (FGSV, 2008) und somit auch von den im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) beschriebenen Bewertungsfällen abweichen, wurden diesen entsprechend zugeordnet.

Im Rahmen der Auswertung der vorliegenden Auditberichte wurden die sicherheitsrelevanten Defizite den Abweichungen vom richtliniengerechten Ausbau entsprechend den Bewertungstabellen des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) sinngemäß zugeordnet. Dabei wurden entsprechend den Setzungen des HVS-Entwurfs 2008 die in den Auditberichten erfassten Defizite nach linienhaften und punktuellen Abweichungen unterschieden. Punktuelle Abweichungen (z. B. Radienrelationen außerhalb des brauchbaren Bereichs), die an verschiedenen Stellen einer Planung aufgetreten sind, wurden entsprechend ihrer tatsächlichen Anzahl erfasst.

Die Bereiche der Strecke und der Knotenpunkte wurden hierbei getrennt voneinander untersucht. Es zeigte sich, dass die im Audit festgestellten Sicherheitsdefizite der Strecke zu rund 70 % mit den Bewertungstabellen des HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) abgebildet werden können. Für die untersuchten Knotenpunkte liegt der Anteil bei rund 83 %. Dies verdeutlicht, dass mithilfe dieser Bewertungstabellen die Beurteilung der Verkehrssicherheit einer Maßnahme zielführend ist, allerdings kann die detaillierte Betrachtung, wie sie im Rahmen eines Sicherheitsaudits erfolgt, durch das Bewertungsverfahren des HVS nicht vollständig ersetzt werden.

Alle in den Auditberichten benannten Defizite, die keiner im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) genannten Abweichung vom richtliniengerechten Entwurf zugeordnet werden konnten, wurden als „Sonstige“ für die relevante Defizitgruppe erfasst. Hierbei stellte sich heraus, dass die Defizite „Zufahrten von Wirtschaftswegen im Zuge der freien Strecke an Landstraßen“ und „Anschlussstellendichte bei Autobahnen“ bzw. „Knotenpunktdichte an Landstraßen“ bisher nicht durch die Bewertungs-

tabellen des HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) abgedeckt sind.

Häufigste Defizite, die in den Auditberichten festgehalten wurden, sind:

- Breite des Randstreifens ($0,25\text{ m} \leq B < 0,50\text{ m}$),
- linienhafte Gefahrenstelle ohne Schutzeinrichtungen und
- Anordnung einer LSA prüfen bei Knotenpunktbelastungen mit $DTV > 5.000\text{ Kfz}/24\text{h}$.

Die Ergebnisse der Auswertungen sind exemplarisch in Bild 4 bis Bild 6 dargestellt. Bei der „Summe

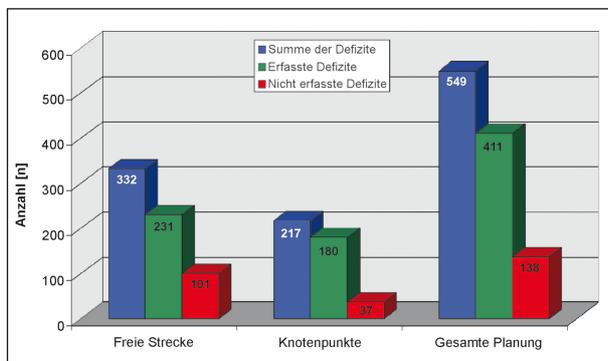


Bild 4: Zuordnung der sicherheitsrelevanten Defizite an Landstraßen

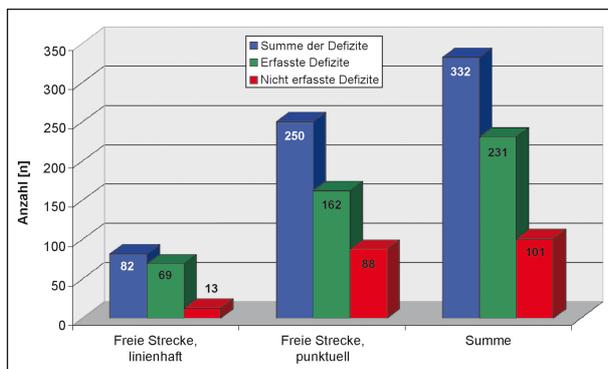


Bild 5: Linienhafte und punktuelle Defizite der Strecke an Landstraßen

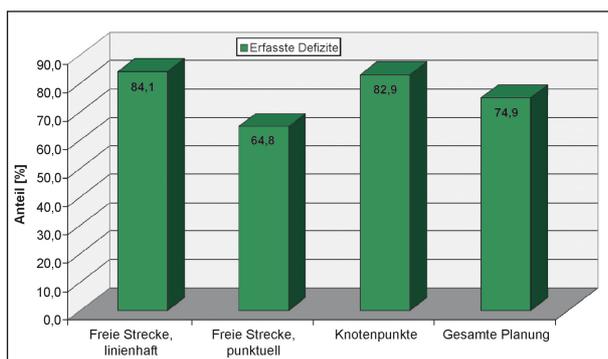


Bild 6: Anteil der erfassten Defizite an Landstraßen

der Defizite“ handelt es sich um die Defizite, die in den Auditberichten enthalten sind. „Erfasste Defizite“ ist die Bezeichnung für die Defizite, die in den Bewertungstabellen des HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) vorhanden sind.

3.3 Vorhandene Erkenntnisse zur Ermittlung von spezifischen Unfallkostenraten

3.3.1 Unfallkostenrate als Kenngröße

Für die Analysen der verschiedenen Forschungsergebnisse hinsichtlich der Ermittlung von mittleren UKR bzw. gUKR wird zunächst ein kurzer Exkurs bezüglich der UKR und deren Berechnung gegeben.

Die UKR_S für Strecken, die UKR_K für Knotenpunkte und die UKR_{S+K} für Straßenzüge sind auf die Fahrleistung bezogene Kenngrößen und beziffern die durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten durch Unfälle an einem Netzelement, bezogen auf 1.000 Kfz · km bzw. auf 1.000 Kfz-Überfahrten.³ Sie sind somit ein Maß für das fahrleistungsbezogene Risiko für ein Unfallereignis bzw. der sich dabei ergebenden Unfallfolgen

Die UKR_S für einzelne Strecken berechnet sich nach Gleichung 6:

$$UKR_S = \frac{1.000 \cdot UK_S}{365 \cdot DTV_S \cdot L_S \cdot t_S} \quad \text{Gl. 6}$$

mit

UKR_S (jährliche) Unfallkostenrate einer Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]

UK_S Unfallkosten der Strecke im Untersuchungszeitraum [€]

365 Tage pro Jahr [d/a]

DTV_S durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke der Strecke im Untersuchungszeitraum [Kfz/24h]

L_S Länge der Strecke [km]

t_S Untersuchungszeitraum der Strecke, d. h. Anzahl der betrachteten Jahre [a]

³ Als Bezugsgröße können je nach Zielsetzung entweder Kraftfahrzeugfahrleistungen oder auch Personen- oder Güterverkehrsleistungen in die Berechnung eingehen. In der Regel wird Bezug auf die Kraftfahrzeugfahrleistung genommen.

Die UKR_K für einzelne Knotenpunkte berechnet sich nach Gleichung 7:

$$UKR_K = \frac{1.000 \cdot UK_K}{365 \cdot DTV_K \cdot t_K} \quad \text{Gl. 7}$$

mit

UKR_K	(jährliche) Unfallkostenrate eines Knotenpunkts [€/ (1.000 Kfz)]
UK_K	Unfallkosten am Knotenpunkt im Untersuchungszeitraum [€]
365	Tage pro Jahr [d/a]
DTV_K	durchschnittliche tägliche Anzahl der Knotenpunktüberfahrten am Knotenpunkt im Untersuchungszeitraum [Kfz/24h]
t_K	Untersuchungszeitraum des Knotenpunkts, d. h. Anzahl der betrachteten Jahre [a]

Die UKR_{S+K} für einzelne (aus Strecken und Knotenpunkten bestehende) Straßenzüge berechnet sich nach Gleichung 8:

$$UKR_{S+K} = \frac{1.000 \cdot UK_{S+K}}{365 \cdot DTV_{S+K} \cdot L_{S+K} \cdot t_{S+K}} \quad \text{Gl. 8}$$

mit

UKR_{S+K}	(jährliche) Unfallkostenrate eines Straßenzugs [€/ (1.000 Kfz · km)]
UK_{S+K}	Unfallkosten des Straßenzugs im Untersuchungszeitraum [€]
365	Tage pro Jahr [d/a]
DTV_{S+K}	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke auf dem Straßenzug im Untersuchungszeitraum [Kfz/24h]
L_{S+K}	Länge des Straßenzugs [km]
t_{S+K}	Untersuchungszeitraum des Straßenzugs, d. h. Anzahl der betrachteten Jahre [a]

3.3.2 Grundunfallkostenrate und mittlere Unfallkostenrate

Die $gUKR$ beschreibt den Sicherheitsgrad, der bei sicherer Gestaltung einer Straßenverkehrsanlage erreicht werden kann. Dabei entspricht die „sichere Gestaltung“ dem regelwerkskonformen Ausbau. Dies bedeutet, die $gUKR$ errechnet sich als die mittlere UKR von (Elementen von) Straßenverkehrsanlagen, die allen Vorgaben der Regelwerke gerecht

werden. Da es schwierig scheint, eine entsprechend große Anzahl gleicher Netzelemente mit regelwerkskonformem Ausbau als Untersuchungskollektiv zu erhalten, werden verschiedene Wege zur Ermittlung der Grundunfallkostenrate verfolgt. Um diese unterschiedlichen Vorgehensweisen zu bewerten, werden im Folgenden verschiedene Untersuchungen zur Verkehrssicherheit analysiert, bei denen entweder mittlere UKR oder $gUKR$ ermittelt wurden.

STURM (1989) analysierte das Unfallgeschehen aus drei Jahren (1984 bis 1986) der Unfallkategorien 1 bis 6 an 42 Knotenpunkten mit LSA an einbahnigen Landstraßen über die $UKR_{K,M(i)}$, also den arithmetischen Mittelwert der einzelnen $UKR_{K,i}$. Das Unfallkollektiv umfasste 1.188 Unfälle. Bei der Berechnung über den arithmetischen Mittelwert berücksichtigte er keine Gewichtung über die Verkehrsstärke, die in jedem Knotenpunkt unterschiedlich ist. Darüber hinaus überprüfte STURM (1989) nicht, ob die Knotenpunkte regelwerkskonform ausgebaut waren.

RICHTER (1992) betrachtete sieben Knotenpunkte mit LSA im Zuge von Ortsumgehungen mit unterschiedlichen Betrachtungszeiträumen (keine Kalenderjahre, zwischen 12 und 45 Monaten) ebenfalls über die $UKR_{K,M(i)}$, also auch den arithmetischen Mittelwert der einzelnen $UKR_{K,i}$. In dieser Berechnungsart findet zusätzlich zur Verkehrsstärke der unterschiedliche Untersuchungszeitraum keine Berücksichtigung. Auch RICHTER (1992) überprüfte den regelwerkskonformen Ausbau der Knotenpunkte nicht.

ECKSTEIN/MEEWES (2002) haben Untersuchungen für verschiedene Knotenpunktarten im Zuge von zweistreifigen Außerortsstraßen mit einer einheitlichen Basis zur Berechnung der mittleren Unfallkostenrate mit Kostensätzen zum Preisstand 1995 und zum Preisstand 2000 sowie einer systematischen Betrachtung zur Berücksichtigung des Unfallgeschehens in den angrenzenden Strecken durchgeführt (bezogen auf eine Länge von jeweils 1.000 m). Das Unfallkollektiv entsprach 2.502 Unfällen. Zugrunde gelegt wurde dabei laut ECKSTEIN/MEEWES (2002) das Unfallgeschehen für einen Zeitraum von möglichst fünf Jahren, mindestens aber von drei Jahren an 121 Knotenpunkten der Unfälle der Kategorien 1-6. Tatsächlich wurde an fünf der insgesamt 19 Knotenpunkte mit LSA das Unfallgeschehen aus nur zwei Jahren zugrunde gelegt und für das Jahr 1993 die Unfälle der Kategorien 4 bis 6 abgeschätzt.

Für die Berechnung der mittleren UKR wurden von ECKSTEIN/MEEWES (2002) aufgrund der unterschiedlichen Betrachtungsräume zwei verschiedenen Mittelungsarten angewendet. Zum einen wurde die Summe der auf ein Jahr normierten Unfallkosten durch die Summe der Fahrleistungen dividiert. Bei dieser Mittelungsart werden nur die Verkehrsstärke und die Streckenlänge berücksichtigt und nicht der Betrachtungszeitraum. Zum anderen wurde die Summe der Unfallkosten während der Betrachtungszeit auf die Summe der zugehörigen Fahrleistungen während der Betrachtungszeit bezogen, um so neben Verkehrsstärke und Streckenlänge auch die Betrachtungszeit zu berücksichtigen. In Verbindung mit der Anwendung von zwei verschiedenen Berechnungen Unfallkosten – ECKSTEIN/MEEWES (2002) berechneten diese zum einen mit über Unfalltypen angepassten Unfallkostensätzen und zum anderen mit über Knotenpunkttypen angepassten Unfallkostensätzen – ergaben sich vier verschiedene Werte für die mittleren UKR. Als maßgebende mittlere UKR wurde der arithmetische Mittelwert der vier Werte gewählt.

Die Regelwerkskonformität der Knotenpunkte wurde von ECKSTEIN/MEEWES (2002) jedoch ebenfalls nicht überprüft.

Von SPAHN/BÄUMLER (2007) wie auch von SPAHN (2009) wurde das Unfallgeschehen an 139 kleinen Kreisverkehren und 188 Knotenpunkten mit LSA untersucht. Zugrunde gelegt wurden alle U(P) und U(S), insgesamt 4.329 Unfälle. Da die Untersuchungszeiträume der einzelnen Knotenpunkte zwischen den Jahren 2000 und 2004 leicht variierten, wurden die UKR wie bei ECKSTEIN/MEEWES (2000) nach zwei verschiedenen Berechnungsarten ermittelt. Auch hier wurde zum einen die Summe der auf ein Jahr normierten Unfallkosten durch die Summe der Fahrleistungen dividiert, ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Betrachtungszeiträume, und zum anderen die Summe der Unfallkosten während der Betrachtungszeit auf die Summe der zugehörigen Fahrleistungen während der Betrachtungszeit bezogen, um so neben Verkehrsstärke, Streckenlänge auch die Betrachtungszeit zu berücksichtigen. Die maßgebende UKR wurde dann als der arithmetische Mittelwert der beiden Unfallkostenraten festgelegt. Eine Überprüfung der regelwerkskonformen Ausbildung der Knotenpunkte wurde nicht durchgeführt.

MAIER/ENKE (2009) analysierten das Unfallgeschehen in 606 Ortsdurchfahrten mit und ohne

Ortsumgehungen mit einer Gesamtlänge der Ortsdurchfahrten von gut 1.500 km. Das zugrunde gelegte Unfallkollektiv umfasste Unfälle über einen Zeitraum von jeweils drei Jahren der Kategorien 1 bis 4 und der Kategorie 6. Die sonstigen Unfälle mit Sachschaden (Kategorie 5), also die U(LS), wurden abgeschätzt. Das Unfallkollektiv betrug insgesamt 23.995 Unfälle. Es wurden UKR für insgesamt 363 Knotenpunkte sowie deren Einflussbereiche und knapp 1.100 km „freie Strecke“ berechnet.

Die UKR berechneten MAIER/ENKE (2009) aus der Summe der Unfallkosten für den Betrachtungszeitraum bezogen auf die zugehörige Fahrleistung während des Betrachtungszeitraums. Hier wurden somit die unterschiedlichen Verkehrsstärken, Streckenlängen und Zeiträume berücksichtigt. Diese mittleren UKR wurden gerundet und als „pauschale UKR“ definiert, ohne zu unterscheiden, ob die untersuchten Netzelemente regelwerkskonform ausgebildet waren oder nicht.

In der Untersuchung von VIETEN et al. (2010) wurden insgesamt 796 Knotenpunkte mit 3.137 Unfällen, rund 10.500 Einflussbereiche von Knotenpunkten mit 11.001 Unfällen und rund 9.100 km freie Strecken mit 31.349 Unfällen analysiert. Als Datengrundlage wurden die Unfälle von 2002 bis 2006 für die Kategorien 1 bis 6 und teilweise nur der Kategorien 1 bis 4 herangezogen. Es wurde versucht, ein Verfahren zur Ermittlung von gUKR zu entwickeln, das als Untersuchungskollektiv sowohl regelwerkskonforme als auch nicht regelwerkskonforme Straßenelemente verwendet.

Dieses Verfahren verfolgt die These, dass die Häufigkeitsverteilung der Unfallkenngroße sich einer Normalverteilung annähert und der Erwartungswert dieser Normalverteilung der Grundunfallkenngroße entspricht. Die Normalverteilung wurde von der Häufigkeitsverteilung der Unfallkenngroße, über eine Kerndichteschätzung (Methode der „gleitenden Histogramme“) unter Berücksichtigung der Klasse der Null-Werte abgeleitet. Diese Verfahrensentwicklung beruht ausschließlich auf der Analyse der UR.

Nur bei UR handelt es sich um Ereignishäufigkeiten, die diese Auswertungen zulassen, bei UKR handelt es sich um gewichtete Größen, die nicht als Ereignishäufigkeit aufgefasst werden können. Mit diesem Verfahren wird somit eine Grundunfallrate (gUR) ermittelt, die dann mit Unfallkostensätzen in eine gUKR umgerechnet

wird. Dieses Verfahren basiert allerdings auf der Unterstellung, dass der größte Teil der betrachteten Straßen regelwerkskonform ausgebildet ist.

Im Rahmen der Erarbeitung des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) wurden differenzierte $gUKR_K$ für Knotenpunktarten außerorts auf Basis der Untersuchungen von ECKSTEIN/MEEWES (2002) und SPAHN/BÄUMLER (2007) abgeschätzt.

Die im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) angegebenen $gUKR$ für innerörtliche Knotenpunkte und Strecken wurden aus den Summenhäufigkeitslinien der $UKR_{K,i}$ und $UKR_{S,i}$ von 1.151 Knotenpunkten und 995 Strecken bestimmt. Das Unfallkollektiv bestand aus 19.359 Unfällen der Kategorien 1 bis 3 aus mindestens 3 Jahren, ergänzt um die Unfälle der Kategorie 4 aus bis zu 3 Jahren. Dabei wurde als maßgebender Wert das 30%-Quantil zur Ermittlung der Grundunfallkostenrate zugrunde gelegt.

Die Vorgehensweise der Verwendung eines gewissen Prozentsatzes aus der Gesamtverteilung der Unfallkostenraten der einzelnen Elemente, beispielsweise dem 30%-Quantil der Summenhäufigkeitslinien entsprechender Elemente wurde auch von LEMKE et al. (2006) angewendet.

BAIER et al. (2010) untersuchten insgesamt 966 Knotenpunkte mit LSA innerorts und außerorts. Das Unfallkollektiv umfasste hier 9.068 Unfälle der Kategorien 1 bis 4 aus unterschiedlichen Unfallzeiträumen (3 bis 8 Jahre). Die UKR berechnen sich auch hier aus der Summe der Unfallkosten für den Betrachtungszeitraum bezogen auf die zugehörige Fahrleistung während des Betrachtungszeitraums. Hier wurden somit die unterschiedlichen Verkehrsstärken und Zeiträume berücksichtigt.

Bei einer Gegenüberstellung der UKR aller außerörtlichen Kreuzungen mit LSA (mit und ohne Linksabbiegerschutz) mit der UKR ausschließlich der Kreuzungen mit gesicherten Linksabbiegerführungen in allen Zufahrten zeigte sich, dass letztere dem 34%-Quantil der Summenhäufigkeitslinie der $UKR_{K,i}$ aller betrachteten außerörtlichen Kreuzungen mit LSA entspricht. Die mittlere $UKR_{K,M}$ der außerörtlichen Einmündungen mit gesicherter Linksabbiegerführung in der Zufahrt der übergeordneten Straße dagegen entspricht in etwa dem 63%-Quantil der Summenhäufigkeitslinie der $UKR_{K,i}$ aller betrachteten außerörtlichen Einmündungen mit LSA.

Bei innerörtlichen Kreuzungen entspricht die $UKR_{K,M}$ derjenigen Kreuzungen mit gesicherten Linksabbiegerführungen in den Zufahrten bzw. gesicherten Linksabbiegerführungen in den Zufahrten der Haupttrichtung und anders geführten Linksabbiegern in den Zufahrten der Nebenrichtung in etwa dem 60%-Quantil der Summenhäufigkeitslinie der $UKR_{K,i}$ aller betrachteten innerörtlichen Kreuzungen mit LSA. Die $UKR_{K,M}$ der innerörtlichen Einmündungen mit gesicherter Linksabbiegerführung entspricht dem 64%-Quantil der Summenhäufigkeitslinie der $UKR_{K,i}$ aller betrachteten innerörtlichen Einmündungen mit LSA.

Der Vergleich der beiden Vorgehensweisen zur Abschätzung von Referenzwerten der $gUKR_K$ zeigt, dass ein höherer Wert als das von BARK et al. (2008) für die Bestimmung der $gUKR_K$ innerörtlicher Knotenpunkte angesetzte 30%-Quantil der Summenhäufigkeitslinien der $UKR_{K,i}$ aller entsprechenden Knotenpunkte sinnvoll erscheint. BAIER et al. (2010) scheint ein Wert im Bereich des 60%-Quantils bis 65%-Quantils geeigneter.

In der Untersuchung von MAIER et al. (2013) bilden rund 3.600 km Straßennetzlänge mit den dazugehörigen Unfällen aus 5 Jahren ohne die U(LS) der Kategorie 5 die Grundlage. Die Netzelemente werden mit separaten GLM bezüglich der Sicherheitswirkung der erhobenen Merkmale untersucht. Aus den Modellen können dann die Einflüsse der Merkmale auf das Unfallgeschehen in Abhängigkeit der restlichen betrachteten Merkmale abgelesen werden. Auf Basis des RAL-Entwurfs 2008 (FGSV, 2008) und des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) werden dann $gUKR$ aus den Modellen abgeleitet.

Basierend auf dem Nullmodell, das dem Mittelwert der Unfälle des Untersuchungskollektivs entspricht, werden sukzessive potenzielle Einflussvariablen in das Modell eingeführt und auf ihren Anteil zur Reduktion der Streuung der Unfallzahlen im Untersuchungskollektiv analysiert, sodass nur noch die zufälligen Streuungen übrigbleiben, die aus der poissonverteilten Auftretenswahrscheinlichkeit von Unfällen resultieren. Somit errechnet sich im Idealfall die $gUKR$ aus der mittleren UKR ohne Einflüsse aus den nicht regelkonformen Elementen, mit denen dann aber Zuschläge abgeleitet werden können.

3.3.3 Schlussfolgerungen für das weitere Vorgehen

Die zusammengefasste Literaturlauswertung zu den vorhandenen gUKR und mittleren UKR zeigt insgesamt, dass entweder noch keine verwertbaren Ergebnisse vorliegen, die Berechnungsmethodik nicht der Definition entsprach und/oder das Untersuchungskollektiv sowohl Netzelemente mit regelgerechtem und nicht regelgerechtem Ausbau enthielten. Dieses Untersuchungskollektiv wurde entweder direkt zur Berechnung der gUKR herangezogen oder aber zur indirekten Berechnung aus der gUR multipliziert mit dem mittleren Unfallkostensatz eines solchen Untersuchungskollektivs.

4 Ermittlung der gUKR und der zUKR für Landstraßen und Autobahnen

4.1 Entwicklung von GLM-basierten Verfahren

4.1.1 Grundlagen

In den GLM wird die zu erwartende Anzahl von Unfällen in einem Zeitraum über verschiedene Einflussvariablen, die als Potenz- oder Exponentialfunktion abgebildet sind, beschrieben. Variablen, die mit einer Potenzfunktion in das Modell einfließen, werden als Expositionsgrößen beschrieben. Dazu zählen i. d. R. der DTV und die Länge des Untersuchungsabschnitts. Nimmt eine der beiden Variablen den Wert Null an, tritt kein Unfallgeschehen auf. Die durch die Exponentialfunktion dargestellten Variablen umfassen die Gruppe der beschreibenden Merkmale (Risikofaktoren). 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.

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 Poisson-Verteilung 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 (MAIER et al., 2013).

Die Anwendung von GLM erlaubt Aussagen zur Wirkung von verschiedenen Variablen auf das Unfallgeschehen, wenn sie einen signifikanten Erklärungsanteil im Modell liefern (SCHÜLLER, 2010). Dabei erfolgt die Annahme mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, welche mit dem Signifikanzniveau α eintritt.

Sind in einem Modell alle signifikanten Merkmale berücksichtigt, stellt der Erklärungsanteil der Expositionsgrößen vereinfachend beschrieben, unter Berücksichtigung von Rahmenbedingungen, die gUKR dar, während die beschreibenden Merkmale als Zuschläge zu den gUKR angesehen werden können. Dabei können die Zuschläge sowohl einen positiven als auch negativen Einfluss auf das Unfallgeschehen besitzen. Die Rahmenbedingungen ergeben sich u. a. aus den Vorgaben der RAA (FGSV, 2008) und der RAL (FGSV, 2012). Sie dienen der Einteilung der Untersuchungsstrecken in kleinere Kollektive, in denen Merkmale wie Entwurfsklasse, Betriebsform oder zulässiger DTV-Bereich berücksichtigt werden.

Mithilfe dieser Teilkollektive können nun Unfallkennwerte und vor allem gUKR ermittelt werden. Die Überprüfung der Festlegungen des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) zu den Kriterien eines richtliniengerechten Entwurfs erfolgt auch anhand der Streuung innerhalb des Teilkollektivs.

Um die Randbedingungen eines richtliniengerechten Entwurfs abgrenzen zu können, wird geprüft, ob z. B. auf die Festlegungen von BAKABA/BUTTERWEGGE (2005) zurückgegriffen werden kann. Darin werden unter einem Regelwerkverstoß all diejenigen Defizite verstanden, bei denen die Vorgaben der technischen Regelwerke nicht umgesetzt wurden. Die Defizite werden nach schwerwiegenden und übrigen Defiziten unterschieden. Unter einem schwerwiegenden Defizit werden alle Defizite verstanden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit

zu Unfallhäufungen oder zu schweren Einzelunfällen führen. Die übrigen Defizite sind Defizite, bei denen zusätzliche Unfälle nicht auszuschließen sind. Die Zuordnung der sicherheitsrelevanten Abweichungen nach den o. g. Definitionen erfolgt auf Basis der Ermittlung der Zuschläge.

Nach der Bestimmung der gUKR können die Wirkungen der Abschnitte, welche Abweichungen vom richtliniengerechten Entwurf aufweisen, in Form von Zuschlägen (zUKR) quantifiziert werden. Durch den Vergleich richtliniengerecht ausgeführter und abweichend davon ausgeführter Verkehrsanlagen (Strecken verschiedener Entwurfsklassen bzw. verschiedene Knotenpunktarten) miteinander wird in der Folge überprüft, ob die Systematik des Verfahrensansatzes nach dem HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) hinsichtlich der Verknüpfung von gUKR und zUKR plausible Ergebnisse liefert.

Des Weiteren wird auch die bisher vorgesehene Trennung zwischen punktuellen und linienhaften Defiziten bei Strecken bzw. Knotenpunkt- und fuhrtsbezogenen Defiziten bei Knotenpunkten und damit den Zuschlägen zu den gUKR überprüft und gegebenenfalls angepasst.

Für diejenigen Bewertungsfälle, für die ausreichende Erfahrungen trotz künftiger Praxisrelevanz fehlen, weil sie z. B. aus sehr neuen Richtlinien wie den neuen RAL (FGSV, 2012) folgen – zu nennen ist hier vor allem der Landstraßenquerschnitt der Entwurfsklasse (EKL) 4 – kommt ein deduktives Verfahren zum Einsatz, das auf Unfallabläufen, infrastrukturellen Eigenschaften und Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer beruht. Es werden dafür typische Defizite und daraus resultierende Unfallabläufe für zukünftige Anwendungsbeispiele (z. B. Situation bei einem RQ 7,5 als Einsatzgebiet für Querschnitte der EKL 4) dokumentiert. Aus dem Abgleich von (auch internationalen) Erfahrungen zu den neuen Querschnitten mit den hier dokumentierten Sicherheitsdefiziten können dann Verbesserungspotenziale aufgezeigt werden, die durch die Regelungen in den neuen Entwurfsrichtlinien möglich sind.

Außerdem werden vertiefende Auswertungen zur Bewertung der Unfallschwere vorgenommen. Das betrifft z. B. die Analyse der Verletztenstruktur differenziert nach Straßenkategorie gemäß den RIN (FGSV, 2008) und/oder Unfalltypen. Dies kann als Grundlage für die Anpassung von Unfallkostensätzen verwendet werden. Unter der Voraussetzung,

dass mindestens 100 U(P) für eine tiefer gehende Schwerebewertung je Merkmalskombination benötigt werden, können für die Bewertungsfälle Aussagen zur Verletztenstruktur in adäquatem Umfang abgeleitet werden; die übrigen Fälle werden durch Analogieschlüsse festgelegt.⁴

4.1.2 Modellbildung

Ziel des HVS ist es, die Ermittlung des Sicherheitsgrads eines Netzelementes getrennt für verschiedene Bewertungsfälle auf Basis von gUKR und zUKR zu ermöglichen. Die allgemeine Gliederung des Unfallgeschehens in ein nicht vermeidbares Grundniveau (gUKR) und einen vermeidbaren Anteil (zUKR) – dem in aller Regel in der Gestaltung Abweichungen zu den aktuellen technischen Regelwerken zugrunde liegen – ist maßgebend für das gewählte Verfahren und damit der Identifikation und Quantifizierung von gUKR und zUKR. Da monokausale Betrachtungsweisen einer Reihe von Einschränkungen unterliegen, erfolgt die Analyse des Unfallgeschehens mithilfe von GLM, die diese Grenzen z. T. überwinden. Grundlage bildet das von MAIER et al. (2013) beschriebene Verfahren.

In den Modellen zur Beschreibung der Unfallhäufigkeit werden lediglich Merkmale (Variablen) berücksichtigt, die signifikant zur Erklärung der Varianz – Modellgüte – beitragen. Ferner müssen die Variablenkoeffizienten in ihrer Verschiedenheit signifikant in Erscheinung treten. Als Grenze wird ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$, in pragmatischen Einzelfällen von $\alpha = 0,10$, als ausreichend angesehen.

⁴ Diese Größe von 100 Unfällen mit Personenschaden orientiert sich an den Erfordernissen einer möglichen Aussage zur Unfallschwere-Struktur und wird unabhängig von Straßenkategorie und Betrachtungszeitraum angestrebt, obwohl die Unfallschwere der verschiedenen Verkehrsanlagen unterschiedlich ist. Die Gültigkeit dieser im „Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen“ (FGSV, 2003) angegebenen Mindestgröße wird zwar derzeit im AA 2.13 „Verkehrssicherheitsbewertung von Straßen“ der FGSV im Zusammenhang mit der erforderlichen Kollektivgröße zur Anpassung von Unfallkosten diskutiert, wegen fehlender abschließender Erkenntnisse soll diese aber hier dennoch als Mindestgröße für die Festlegung von Anzahl und Umfang der jeweiligen Kollektive zur tiefergehenden Analyse der Unfallschwerestruktur zugrunde gelegt werden. Da diese Anforderung auf Grund rückläufiger Unfallschwere in den letzten Jahren eher anzuheben wäre, soll nach Möglichkeit ein größeres Kollektiv die Untersuchungsgruppe bilden.

Es wird eine schrittweise Vorwärtsselektion der Variablen – ausgehend vom Nullmodell – vorgenommen. Dabei werden alle Variablen auf ihren Erklärungsanteil geprüft. Die Variable mit dem höchsten Erklärungsanteil, die auch sachlogischen Ansprüchen genügt, wird in das Modell aufgenommen. Darauf wiederholt sich die Prozedur für die verbliebenen Variablen.

Einige Variablen weisen untereinander eine hohe Korrelation auf. Für Korrelationen $r \geq 0,7$ kann nur eine Variable im Modell berücksichtigt werden, da sonst nicht nachzuvollziehen ist, welche der Variablen den Erklärungsanteil liefert. Für diese Fälle wird in erster Linie die Variable mit dem näheren sachlogischen Bezug zu den Zuschlägen nach dem HVS-Entwurf 200 (BARK et al., 2008), in zweiter Linie diejenige mit dem höheren Erklärungsanteil im Modell berücksichtigt.

Kategoriale Größen mit mehr als zwei Merkmalausprägungen (beispielsweise Differenzierung der Fahrbahnbreite) finden nur dann im Modell Berücksichtigung, wenn sich alle Kategorien zueinander signifikant unterscheiden.

Die Überführung stetiger in kategoriale Variablen ist möglich, wenn die Variable nur in geringer Merkmalausprägung vorliegt oder durch ihre Veränderung zu einer besseren Erklärung der Signifikanz beiträgt (TAYLOR et al., 2000). Um den Bewertungscharakter des HVS – Zuschlag bei Überschreitung eines Grenzwertes – Rechnung zu tragen, ist es Ziel, möglichst kategoriale Variable in das Modell einfließen zu lassen.

In den Modellen werden die Unfallanzahl und Unfalldichte als abhängige Größen modelliert. Das Auftreten von Unfällen unterliegt verschiedenen Gesetzmäßigkeiten. Es ist bekannt, dass Einflussgrößen auf Unfälle unterschiedlicher Kategorien unterschiedliche Wirkung besitzen. Gegenüber U(S) treten U (P) i. d. R. seltener auf. Für das Auffinden mutmaßlich signifikanter Einflussgrößen auf die Unfallschwere ist die Trennung des Unfallkollektivs nach Unfallkategorien 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 mehrjährigen Betrachtungszeitraums weist ein hoher Teil der Strecken keine Unfälle mit schwerem Personenschaden, also 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 mit Personenschaden (Kategorien 1 bis 3),
- U(SS): Modell für alle Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden (Kategorie 4 einschließlich Kategorie 6),
- U(LS): Modell für alle Unfälle mit leichtem Sachschaden (Kategorie 5), Berücksichtigung der Bundesländer, für die diese Kategorie vollständig vorliegt.

Aus der Addition der Ergebnisse aller drei Teilmodelle ermittelt sich das gesamte Unfallgeschehen einer Strecke bzw. eines Knotenpunkts. Dieses bildet die Grundlage für die weitere Berechnung der Unfallkenngrößen.

Strecken von Landstraßen

Eine Berechnung von Grundunfallkostenrate(-ähnlich) ($gUKR_{\bar{\lambda}}$) und Zuschlag ($zUKR_{\bar{\lambda}}$) für Landstraßen erfolgt im Rahmen dieses Forschungsprojekts nicht. Die Festlegungen für Landstraßen beruhen auf den Ergebnissen aus MAIER et al. (2013).

Plangleiche Knotenpunkte von Landstraßen

Der Einfluss des DTV auf das Unfallgeschehen von Knotenpunkten wird insbesondere bei Knotenpunkten ohne LSA durch das Verhältnis von übergeordnetem zu untergeordnetem Strom geprägt. Daher stellt die Berücksichtigung des DTV für diese Bewertungsfälle eine besondere Anforderung in der Modellbildung dar. Prinzipiell existieren mehrere Möglichkeiten, den DTV der verschiedenen Ströme in das Modell zu implementieren. Die zwei nach-

folgend beschriebenen gängigen Varianten werden im weiteren Verlauf für Knotenpunkte ohne LSA untersucht, wobei die Wahl für eine der beiden Varianten neben einem hohen Erklärungsanteil der Einzelmodelle, der exakten Abbildung der Beobachtungswerte auch von pragmatischen Ansprüchen abhängig ist.

- In Variante 1 wird die Summe der Verkehrsstärken aller Zufahrten in der Exposition des Modells (q^b) berücksichtigt. Das Verhältnis unter- zu übergeordneter Ströme wird als Anteil in einer exponentiellen Variable ($e^{b \cdot x}$) als weitere beschreibende Größe dargestellt. Bei einem Anteilswert von Null, errechnet sich die Unfallhäufigkeit aus dem verbleibenden DTV der Haupttrichtung. Dieser Fall ist aber nur theoretischer Natur.
- Variante 2 unterscheidet sich dahingehend, dass die Summe der Verkehrsstärken aller Zufahrten getrennt für unter- und übergeordnete Ströme in der Exposition ($q_1^{b1} \cdot q_2^{b2}$) enthalten ist. Eine weitere Berücksichtigung eines Anteilswertes als exponentielle beschreibende Variable erfolgt nicht. Nolens volens führt die fehlende Verkehrsstärke bei einer von beiden Größen auch zu keinem (null) Unfallgeschehen.

Die Modellberechnung erfolgt für Knotenpunkte längenunabhängig.

Strecken von Autobahnen

Die Modellbildung für Strecken von Autobahnen beruht auf der Annahme, dass die Unfallhäufigkeit in linearem Zusammenhang zur Länge steht. Dementsprechend ist die Abschnittslänge Bestandteil des Offset-Terms der Modelle, der DTV der Richtungsfahrbahn entspricht der Exposition für die Bewertung einer Richtungsfahrbahn.

Anschlussstellen von Autobahnen

Die Modellbildung von Anschlussstellen unterscheidet sich wesentlich von der der Landstraßenknotenpunkte. Dies gründet sich auf der Gestalt der Verkehrsanlage, die sich aus den Elementen Hauptfahrbahn und Rampe zusammensetzt. Beide unterscheiden sich bezüglich des Verkehrsablaufs, weiterer Rahmenbedingungen und somit des Unfallgeschehens wesentlich voneinander. Zur Erklärung des Unfallgeschehens werden daher zwei Varianten – dargestellt in Bild 7 – als zielführend an-

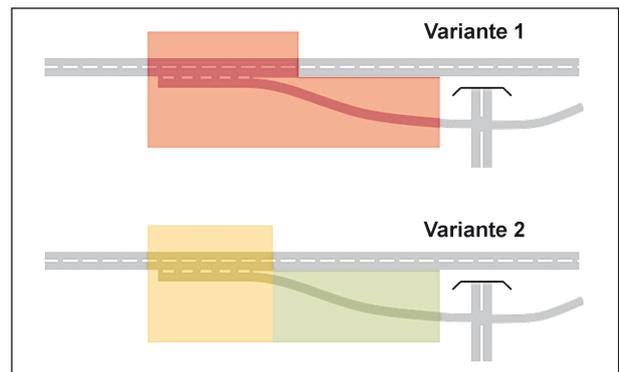


Bild 7: Darstellung der Varianten zur Modellbildung der Anschlussstellen von Autobahnen

gesehen und näher untersucht. Die endgültige Entscheidung für eine der beiden Varianten folgt den Bewertungsgrundlagen der Landstraßenknotenpunkte.

Die beiden Varianten lassen sich wie folgt beschreiben:

- Variante 1 (Gesamtmodell) umfasst die einheitliche Bewertung des Unfallgeschehens auf dem definierten Bereich der Hauptfahrbahn (Aus- bzw. Einfahrbereich) und der dazugehörigen Rampe. Als Expositionsgröße wird der DTV der Hauptfahrbahn geführt. Der DTV der Rampe wird als Anteilswert am DTV der Hauptfahrbahn als exponentielle erklärende Variable dargestellt. Da die Rampen gegenüber der Hauptfahrbahn deutlich geringere Verkehrsstärken aufweisen und deren Länge darüber hinaus stark variiert, wird lediglich die Länge der Hauptfahrbahn in den längenproportionalen Modellen im Offset-Term berücksichtigt.
- Die Berechnung der Unfallhäufigkeiten erfolgt in Variante 2 (Teilmodell) getrennt für die Elemente Hauptfahrbahn und Rampe in zwei eigenständigen Modellen, wobei die Inseispitze den/das Anfang/Ende der Rampe markiert. Der Vorteil der Trennung in zwei separate Elemente liegt in der getrennten und somit differenzierten Unfallanalyse beider Teilelemente. Für beide Modelle enthält die Exposition den DTV der Hauptfahrbahn, der DTV der Rampe wird als Anteilswert berücksichtigt. Somit besitzen beide Modelle die gleiche Exposition und erlauben eine spätere einfache Berechnung des gesamten Unfallgeschehens und der daraus resultierenden Größen eines Bewertungsfalls.

Für einen standardisierten Fall setzt sich die HVS-Bewertung einer Autobahnanschlussstelle aus vier

planfreien Elementen – bestehend aus dem Teil der Hauptfahrbahn und der dazugehörigen Rampe, auch als Äste bezeichnet – sowie ferner i. d. R. aus zwei plangleichen Teilknotenpunkten – Anschluss an das untergeordnete Netz – zusammen.

4.1.3 Modellprüfung

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 dar. Homoskedastizität und Linearität sind zwei Prüfkriterien dieser Plots.

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 Gerade entlang der Diagonalen. Die Verletzung dieser Annahme führt zu einer systematischen Abweichung im Plot. Mithilfe des Plots ist 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 8). 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. 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 Modellform die betrachtete Einflussgröße über den gesamten Wertebereich ausreichend beschreibt

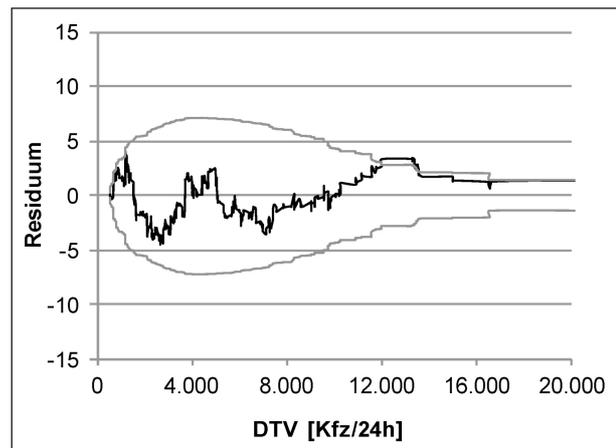


Bild 8: Beispiel eines Cure-Plots mit Vertrauensbereich

bzw. repräsentiert. Überschreitet die Kurve der Residuen über längere Abschnitte die Grenzen, gilt dies ebenfalls als Indiz, das Modell noch einmal zu prüfen.

Die Modellgüte lässt sich über weitere Prüfgrößen quantifizieren:

- Die Anpassungsgüte des Modells lässt sich über das Pearson- χ^2 darstellen. Ein Quotient aus Pearsons- χ^2 und der Anzahl der Freiheitsgrade größer Eins deutet auf eine Überdispersion im Modell hin, während Werte kleiner Eins im Fall von Unterdispersion auftreten. Im Fall eines Wertes von Eins gilt die gesamte systematische Varianz als erklärt und es verbleibt lediglich die auf die Poisson-Verteilung zurückzuführende stochastische Varianz im Modell (AURICH 2013).
- Fälle, die eine deutliche Wirkung auf das Modell (Schätzung der Regressionskoeffizienten) besitzen, weisen i. d. R. auch höhere Cook-Distanzen und Hebelwerte auf. Für die Prüfgröße Cook-Distanz sind Fälle mit einem Wert von $DC \geq 4/(n-p)$, für den Hebelwert $HW \geq 3(p+1)/n$ näher zu prüfen. Die Anzahl der betrachteten Fälle entspricht n , die Anzahl der Modellparameter p . Auffällige Werte können unter sachlogischer Begründung aus dem Kollektiv entfernt werden.
- 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, desto besser ist das Modell. Maßgebend ist

nicht das absolute AIC eines Modells, sondern die Differenz zwischen zwei Modellen (BURNHAM/ANDERSON, 2002).

4.1.4 Definition Grundunfallkostenrate und Zuschläge

Durch die Analyse einer Stichprobe des Straßennetzes ist die Aussagekraft der Modelle beispielsweise bezüglich sehr selten auftretender Defizite – trotz einer heterogenen Streckenauswahl – eingeschränkt. Gelingt keine vollständige Erklärung der systematische Varianz, entspricht das abgeleitete Niveau der Verkehrssicherheit nur einer Annäherung der später ermittelten Grundunfall(-kosten-)rate. Die Ursache liegt in der fehlenden Identifizierung weiterer einflussnehmender Merkmale. Folgende Ursachen zeichnen Verantwortung:

- 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.

Die weitere Festlegung der Unfallkenngrößen folgt dem Verfahren nach MAIER et al. (2013). Neben dem fehlenden Wissen über alle mutmaßlichen Einflussgrößen existieren bisher keine genauen Kenntnisse über das absolute Niveau der gUKR. Daher ist der Übergang zwischen gUKR und zUKR im Ansatz des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) monetär nicht eindeutig abzugrenzen. Auch mithilfe von GLM ist nur eine Annäherung an das Niveau des nicht vermeidbaren Unfallgeschehens möglich. Der Zusammenhang zwischen dem Duktus des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) und dem gewählten Modellansatz zur Beschreibung der Kenngrößen zeigt Bild 9.

Das Grundniveau des Unfallgeschehens – im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) als gUKR definiert – wird nach erfolgter monetärer Bewertung als gUKR_A beschrieben. Aufgrund der Standardabweichungen der im Modell beinhalteten Variablen

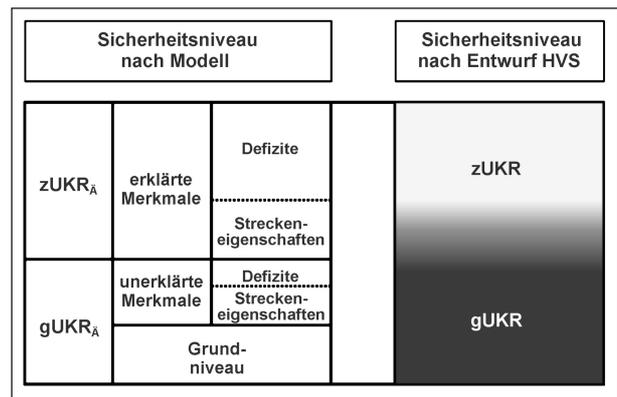


Bild 9: Zusammenhang zwischen Sicherheitskenngrößen und erklärende Zuschlägen des Modells und HVS-Entwurf 2008 von BARK et al. (2008) nach MAIER et al. (2013)

sowie der Koeffizientenschätzung in der Funktion ist die exakte Festlegung bzw. Erklärung einer Sicherheitskenngröße nur eingeschränkt möglich. Die Ergebnisse eines Modells stellen eine Schätzung der zu ermittelnden Variablen abhängig von der Genauigkeit der Modellparameter dar.

Da sich das zugrunde liegende Kollektiv fast ausschließlich auf Bestandselemente stützt, die nach den RAS-L (FGSV, 1995) bzw. RAS-Q (FGSV, 1996) geplant wurden, sind Abweichungen im Niveau der gUKR_A zu nach den RAA (FGSV, 2008) bzw. RAL (FGSV, 2012) geplanten Elementen zu erwarten.

Die aus dem Modell ermittelte Unfallhäufigkeit lässt sich nach Berücksichtigung der Variablen im Prädiktor in verschiedener Art und Weise beschreiben:

- Bleiben in einem Endmodell alle Variablen des exponentiellen Terms (Risikofaktoren) unberücksichtigt bzw. geht dieser Term mit der Größenordnung Eins ein, entspricht die ermittelte volkswirtschaftlich bewertete Unfallhäufigkeit der gUKR_A. Aus oben genannten Gründen ist davon auszugehen, dass die gUKR_A nicht dem Niveau entspricht, welches sich einstellt, wenn alle Variablen (Defizite und streckencharakteristische Eigenschaften) unberücksichtigt blieben. Daher setzt sich die gUKR_A aus dem Grundniveau und einem Anteil ungeklärter Einflussgrößen zusammen.
- Merkmale (Variable), deren Ausprägung in bestimmten Grenzen keinen Regelwerksverstoß darstellen (z. B. Kurvigkeit), entsprechen eher einer Eigenschaft des Umfelds der Strecke (Streckeneigenschaften) und weniger einem Defizit im Sinne des HVS-Entwurfs 2008 (BARK

et al., 2008). Sie sind weder den zUKR noch der gUKR eindeutig zu zuordnen und stellen damit in der volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens eine Sonderrolle dar.

- Die Risikofaktoren eines Modells entsprechen überwiegend Defiziten in Betrieb und Bau eines Netzelements. Sie besitzen einen positiven Regressionskoeffizient. Somit führt deren Auftreten zu einer Erhöhung der Unfallzahl und somit der UKR. Diese Einflussgrößen entsprechen der zUKR.
- Auf die Unfallhäufigkeit einflussnehmende Streckeneigenschaften und Defizite, die im Modell berücksichtigt sind (Risikofaktoren), bilden in ihrer Summe die erklärenden Merkmale eines Modells. Sie stellen Zuschläge dar.
- Gelingt in allen Teilmodellen eine vollständige Erklärung der zufälligen Streuung, liegen i. d. R. keine weiteren ungeklärten Merkmale vor. In diesem Fall entspricht die $gUKR_{\bar{\lambda}}$ dem Grundniveau. Es sind jedoch Einschränkungen aufgrund geringer Kollektivgrößen möglich.

4.1.5 Berechnung der Zuschläge

Im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) wird bei der Bewertung von Strecken in punktuellen ($zUKR_P$) und linienhafte ($zUKR_L$) Abweichungen unterschieden. Aufgrund der längenunabhängigen Berechnung der Unfallkenngrößen für Knotenpunkte, werden für diese nur knotenpunkt- bzw. zufahrtsspezifische Abweichungen (UKR_K und UKR_Z) angewandt.

Da mit Ausnahme des Kriteriums „Seitenraum“ linienhafte Abweichungen i. d. R. eine Trennung der Strecke nach sich ziehen, werden diese als kategoriale Zuschläge – Merkmal liegt vor bzw. Merkmal liegt nicht vor – klassifiziert. Für punktuellen Abweichungen erfolgt die Ermittlung des Zuschlags auf Basis ihrer Auftretenshäufigkeit dividiert durch die Streckenlänge.

In der Modellierung werden punktuellen Merkmale gleichwohl über die Dichte (Häufigkeit je Kilometer) abgebildet. Bei der Bewertung von Strecken ist für Kriterien, die nicht zwangsläufig zu einer Abschnittstrennung führen, eine Differenzierung hinsichtlich punktueller und linienhafter Merkmale nicht mehr notwendig. Diesbezüglich unterscheidet sich das angewendete Verfahren nach MAIER et al. (2013) vom HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008). Da die Wirkung von Variablen auf das Unfall-

geschehen durch das Modell in verschiedener Art und Weise erklärt werden kann, erfolgt eine differenzierte Darstellung der Arten von Zuschlägen. Es wird in stetige, kategoriale und kombinierte Zuschläge unterschieden.

Die im Folgenden erläuterte Definition der Zuschlagsberechnung folgt dem Vorgehen nach MAIER et al. (2013).

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 des Teilmodells $U(P)$ 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 Variable über eine Exponentialfunktion im Modell ein. Jeder Exponentialterm einer Variablen lässt sich durch Berechnung auch als Dezimalzahl (Faktor) darstellen. Für jedes Merkmal eines Teilmodells gilt:

- Weist eine Variable den Wert Null auf (Multiplikation von Regressionskoeffizient und Anzahl für stetige Merkmale), ergibt sich der Faktor Eins. In diesem „Ohne“-Fall besitzt die Variable keinen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit. Da kein Regressionskoeffizient ein negatives Vorzeichen besitzt, treten Faktoren kleiner Eins nicht auf.
- Bei der Betrachtung des „Mit“-Falls resultiert ein Faktor größer Eins aus einem Koeffizienten größer Null. Der „Mit“-Fall liegt vor, wenn eine kategoriale Variable mit einem Regressionskoeffizient größer Null besetzt wird, oder ein stetiges Merkmal einen Wert größer Null 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 Eins.

Die Division von ΣUKR_M (Summe der UKR im „Mit“-Fall) und ΣUKR_O (Summe der UKR im „Ohne“-Fall) abzüglich des Werts Eins entspricht dem Anteil der $zUKR_{\bar{\lambda}}$ an der $gUKR_{\bar{\lambda}}$, im Weiteren als A_{UKR} bezeichnet. Dieser wird nach Gleichung 9 berechnet:

$$A_{UKR} = \left(\frac{\sum UKR_M}{\sum UKR_O} - 1 \right) \quad \text{Gl. 9}$$

mit

- A_{UKR} Anteil der $zUKR_{\bar{A}}$ an der $gUKR_{\bar{A}}$ [-]
- UKR_M Unfallkostenrate „Mit-Fall“
[€/ (1.000 Kfz · km)] bzw. [€/1.000 Kfz]
- UKR_O Unfallkostenrate „Ohne-Fall“
[€/ (1.000 Kfz · km)] bzw. [€/1.000 Kfz]

Der Ermittlung von A_{UKR} liegt die Betrachtung lediglich jeweils eines Defizits zugrunde.

Die UKR-Funktion baut auf den drei Teilmodellen nach Unfallschwere auf. Dementsprechend ermittelt sich die absolute Höhe eines einzelnen $zUKR_{\bar{A}}$ am Beispiel eines Knotenpunkts aus der Funktion nach Gleichung 10:

$$zUKR_{\bar{A}} = A_{UKR} \cdot gUKR_{\bar{A}} \quad \text{Gl. 10}$$

mit

- $zUKR_{\bar{A}}$ Zuschlag zur Unfallkostenrate(-ähnlich)
[€/ (1.000 Kfz · km)] bzw. [€/1.000 Kfz]
- A_{UKR} Anteil der $zUKR_{\bar{A}}$ an der $gUKR_{\bar{A}}$ [-]
- $gUKR_{\bar{A}}$ Grundunfallkostenrate(-ähnlich)
[€/ (1.000 Kfz · km)] bzw. [€/1.000 Kfz]

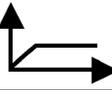
Da die Höhe der $zUKR_{\bar{A}}$ bei sonst konstanten Randbedingungen in Abhängigkeit des DTV variiert, ist die Angabe der Zuschläge mit einem feststehenden Betrag auszuschließen. Vereinfachend kann das Modell in einen Term der Grundunfallhäufigkeit – Konstante und Exposition entsprechen bei volkswirtschaftlicher Bewertung der $gUKR_{\bar{A}}$ – und einen Term der zusätzlichen Unfallhäufigkeit – Merkmale im exponentiellen Teil des Prädiktors (Risikofaktoren) – zerlegt werden. Die Höhe eines Zuschlags resultiert aus einer Veränderung der Variablen 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 eignet sich diese Größe zur Quantifizierung der Zuschläge. Sie entspricht für einzeln betrachtete Defizite dem Quotient von „Mit“- und „Ohne“- Fall abzüglich dem Wert Eins.

Je nach Berücksichtigung einer Variablen im Modell lässt sich A_{UKR} auf verschiedene Weise darstellen (Tabelle 3):

- Kategoriale Variable 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 Variablen ändert sich der Anteilswert stetiger Variablen in Abhängigkeit der Ausprägung (Häufigkeit/Höhe) des Merkmals eines Netzelements. Die Multiplikation von Grundwert (GW) und Ausprägung (A) entspricht A_{UKR} .
- Der Anteilswert von Variablen, 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 Grenzfaktor (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 %.

Der bisherige Grundgedanke des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) sieht vor, dass Zuschläge in ihrer Wirkung voneinander unabhängig sind. Um die Verkehrssicherheit eines Netzelements zu bestimmen, wird nach dem HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) die Summe aller Zuschläge addiert. Dementgegen erfolgt im Prädiktor der Modelle die multiplikative Verknüpfung der Variablen miteinander. Dies bedeutet, dass Variablen eine Abhängigkeit bzw. Wechselwirkung zueinander aufweisen. Bei Auftreten mehrerer Variablen (Zuschläge) liegt ein deutlich höheres Sicherheitspotenzial vor. Die Addition mehrerer $zUKR_{\bar{A}}$ auf Basis von A_{UKR} hätte zur Folge, dass diese Wechselwirkung unberücksichtigt bleibt.

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

Tab. 3: Verknüpfung der Einflussgrößen (Variablen) zur Ermittlung der $\Sigma zUKR_{\bar{A}}$ (MAIER et al., 2013)

Die Berechnung der UKR eines Netzelements (Beispiel Knotenpunkt) mit mehreren Zuschlägen lässt sich auf Basis der $gUKR_{\check{A}}$ nach Gleichung 11 beschreiben.

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 größer Eins. Die Terme (Zuschläge) der Exponentialfunktionen werden miteinander multipliziert.

$$UKR = \left(\frac{\sum UKR_M}{\sum UKR_O} \right) \cdot gUKR_{\check{A}} \quad \text{Gl. 11}$$

mit

- UKR Unfallkostenrate [€/(1.000 Kfz · km)]
bzw. [€/1.000 Kfz]
- UKR_M Unfallkostenrate im „Mit“-Fall
[€/(1.000 Kfz · km)] bzw. [€/1.000 Kfz]
- UKR_O Unfallkostenrate im „Ohne“-Fall
[€/(1.000 Kfz · km)] bzw. [€/1.000 Kfz]
- $gUKR_{\check{A}}$ Grundunfallkostenrate(-ähnlich)
[€/(1.000 Kfz · km)] bzw. [€/1.000 Kfz]

Dies 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 größer eins. Demzufolge können die A_{UKR} zur Berechnung der UKR multiplikativ verknüpft werden. Aus der Umstellung der Unfallfunktionen ergibt sich Gleichung 12 für die Berechnung der UKR:

$$UKR = \left(\prod_{i=1}^n (1 + A_{UKR,i}) \right) \cdot gUKR_{\check{A}} \quad \text{Gl. 12}$$

mit

- UKR Unfallkostenrate
[€/(1.000 Kfz · km)] bzw. [€/1.000 Kfz]
- A_{UKR} Anteil der $zUKR_{\check{A}}$ an der $gUKR_{\check{A}}$ [-]
- $gUKR_{\check{A}}$ Grundunfallkostenrate(-ähnlich)
[€/(1.000 Kfz · km)] bzw. [€/1.000 Kfz]

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 dem Wert 1				

Tab. 4: Beispiel zur Verknüpfung von Merkmalen zur Ermittlung der ΣA_{UKR} (MAIER et al., 2013)

Tabelle 4 verdeutlicht die Unterschiede zwischen additiver und multiplikativer Verknüpfung anhand eines Beispiels mit drei Zuschlägen. Die Addition aller drei Zuschläge führt zu einer Gesamthöhe des A_{UKR} von 0,5, während durch die Multiplikation der Einzelwerte ein Gesamtzuschlag von 0,58 ergibt. Es wird deutlich, dass Wechselwirkungen zwischen den Zuschlägen zu einer höheren Summe des A_{UKR} führen. Der multiplikative Ansatz wird als plausibel angesehen und für die weiteren Bewertungen übernommen.

Folgende Erkenntnisse zur Ermittlung der Zuschläge liegen vor:

- Gleichermäßen wie $gUKR_{\check{A}}$ stellen Zuschläge ($zUKR_{\check{A}}$) eine vom DTV abhängige Größe dar. Die Angabe eines absoluten monetären 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 Zuschlägen 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.

Aus der Form der verwendeten GLM resultieren Einschränkungen bei der Beschreibung von erklärenden Variablen (Zuschlägen). Folgende Randbedingung bestimmen die Ermittlung der Größenordnung von A_{UKR} (MAIER et al., 2013).

Für Variable 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 Zuschlagsberechnung 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 tatsächlichen (exponentiellen) und festgelegten (linearen) Einfluss zu minimieren, erfolgt die Ermittlung des A_{UKR} auf Basis linearer Regression der Anteilswerte. Maßgebend ist der Beobachtungsbereich des Merkmals.

Ein weiterer Einfluss auf die Höhe der A_{UKR} resultiert aus der verschiedenen Höhe der Regressionskoeffizienten der Expositionsgröße DTV. Bei sonst konstanten Randbedingungen weisen die Modelle nach Unfallschwere einen unterschiedlichen Anteil an der UKR, abgetragen über den DTV, auf. Das bedeutet, dass eine Veränderung der Größenordnung der A_{UKR} abgetragen über dem DTV auftritt. Dies gilt sowohl für Variablen 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 10 verdeutlicht den Zusammenhang an einem Beispiel; dargestellt sind die Entwicklung der UKR und UKR(P).

Auch für diesen Zusammenhang erfolgt eine Anpassung des Zuschlags, um eine praktikable Darstellung der A_{UKR} zu gewährleisten. Die Höhe des zugrunde gelegten Zuschlags eines Merkmals entspricht dem Mittelwert des Anteils innerhalb des DTV-Bereichs, in dem das Merkmal beobachtet wurde. Die Abweichungen gegenüber den Rand-

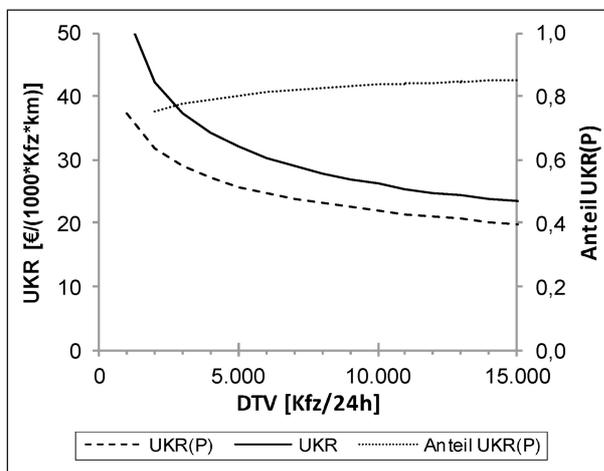


Bild 10: Beispiel Veränderung des Anteils UKR(P) an der UKR über den DTV (MAIER et al., 2013)

bereichen liegen in einem als akzeptabel angesehenen Rahmen.

4.2 Erfassung der Merkmale und Differenzierung der Kollektive für die Modellentwicklung

4.2.1 Landstraßen

Einleitend erfolgt der Hinweis, dass die Modellbildung für Landstraßenknotenpunkte und -strecken bereits im Rahmen der Untersuchung von MAIER et al. (2013) erfolgt ist. Zum besseren Verständnis der im vorliegenden Forschungsprojekt durchgeführten Arbeitsschritte bei der Modellbildung für Strecken von Autobahnen werden nachfolgend auch wichtige Festlegungen bei der Modellbildung von Landstraßenstrecken im Rahmen der Untersuchung von MAIER et al. (2013) wiederholt.

Für die Netzelemente Knotenpunkte und Strecken auf Landstraßen stehen unterschiedliche Datenkollektive zur Verfügung. Datengrundlage der Strecken bilden die einheitlichen Befahrungsdaten und Informationen der Straßeninformationsbanken (SIB) aus der Untersuchung von MAIER et al. (2013). Das Kollektiv für die Bewertung von Knotenpunkten setzt sich darüber hinaus aus Daten der Untersuchungen von VIETEN et al. (2010) und BAIER et al. (2010) sowie ausgewählten Daten von HAUTZINGER et al. (2010) zusammen.

Die Datenqualität der SIB für Landstraßen variiert in Abhängigkeit des Bundeslands und auch der Straßenklasse (Bundes- oder Landesstraßen). Die alleinige Analyse der SIB für eine Bewertung des Unfallgeschehens und der Ableitung von g_{UKR} und deren Zuschlägen wird daher in MAIER et al. (2013) als nicht ausreichend angesehen. Um weitere Daten zur Trassierung, der Gestaltung des Seitenraums und der Ausstattung zu erhalten, wurden von MAIER et al. (2013) Befahrungen sämtlicher Strecken des Kollektivs mit einem Messfahrzeug absolviert. Die Aufbereitung der Daten mittels Post-Processing in einer Bilddatenbank (Roadview) erlaubt die nachträgliche virtuelle Analyse und Auswertung der Strecke.

Neben den Merkmalen, die eine Klassifizierung der Entwurfsparameter für Querschnitt, Lage- und Höhenplan ermöglichen, werden darüber hinaus auch Umfeldeigenschaften und Charakteristika des näheren Seitenraums berücksichtigt.

In Anlehnung an die EKL der RAL (2012) wurden den Bestandsstrecken Bewertungsfälle (Querschnitte) zugeordnet, deren Kategorisierung auf Basis der Querschnittsgestaltung erfolgt. Nach folgenden Querschnitten wird unterschieden:

- Q 9: einbahnig zweistreifige Strecken mit einer Fahrstreifenbreite $\leq 2,90$ m, unabhängig des Vorhandenseins einer markierten Leitlinie/Fahrstreifenbegrenzung.
- Q 11: einbahnig zweistreifige Strecken mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,90$ m und keiner doppelten Fahrstreifenbegrenzungslinie, die nicht Bestandteil eines Netzknotenabschnitts sind, der einen oder mehrere einbahnig dreistreifige Abschnitte aufweist.
- Q 11,5+ 2 FS: einbahnig zweistreifige Strecken mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,90$ m und doppelter Fahrstreifenbegrenzungslinie, wenn im betrachteten Netzknotenabschnitt einzelne einbahnig dreistreifige Abschnitte mit Überholfahrstreifen vorliegen.
- Q 11,5+ 3 FS: einbahnig dreistreifige Strecken mit einer Fahrstreifenbreite $> 2,90$ m und doppelter Fahrstreifenbegrenzungslinie, die einzeln im betrachteten Netzknotenabschnitt vorliegen.
- Q 15,5: einbahnig dreistreifige Strecken mit durchgehender wechselseitiger Folge von Überholfahrstreifen.
- Q 21: zweibahnig vierstreifige Strecken ohne Seitenstreifen.

Aus pragmatischen Gründen erfolgte eine Zusammenfassung des Q 15,5 und Q 11,5+ im Kollektiv „Q dreistreifig“, wobei Abschnitte des Q 11,5+ mit nur zwei Fahrstreifen kategorial getrennt einbezogen wurden.

Für weitere Informationen zur Aufnahme einzelner Merkmale und den betrachteten Unfallkollektiven sei auf MAIER et al. (2013) verwiesen.

Prinzipiell sind bei der Bewertung von Landstraßen die Netzelemente Knotenpunkt und Strecke – letztere untergliedert in Einflussbereich und freie Strecke – zu unterscheiden.

Das Unfallgeschehen in einem Radius von 50 m um den Schnittpunkt der Straßenachsen plangleicher Knotenpunkte ist direkt dem Knotenpunkt zugeordnet. Für planfreie Teilknotenpunkte wird der

Knotenbereich durch die maximale bauliche Ausdehnung des Knotenpunkts begrenzt. In Anlehnung an die Untersuchung von ECKSTEIN/MEEWES (2002) wird der Verkehrsregelung in der Zufahrt eines Knotenpunkts ein Einfluss auf die angrenzende Strecke unterstellt. Der Einflussbereich ist für alle Zufahrtstypen auf 300 m festgelegt (MAIER et al., 2013). Der Übergang zu Ortsdurchfahrten ist durch einen 100 m langen Einflussbereich gekennzeichnet.

Knotenpunkte, die weder eine Veränderung des Querschnitts aufweisen, noch eine Reduzierung der V_{zul} , sind über das streckenbeschreibende Merkmal „Anschlussknotenpunkt“ erfasst und stellen kein abschnittsbildendes Element dar (ELVIK et al., 2004).

Strecken

Knotenpunkte, in deren Vorfeld eine bauliche Änderung der Strecke erfolgt (beispielsweise eine Aufweitung in Folge eines Linksabbiegestreifens), Ortsdurchfahrten, Veränderungen des DTV größer 10 % und bauliche Veränderungen des Querschnitts sind Kriterien der Abschnittsbildung.

Freie Strecken mit einer Länge von $L \geq 100$ m bilden die Grundlage der Modellrechnung. Abschnitte mit einer $V_{zul} < 70$ km/h sind aufgrund ihrer besonderen Charakteristik nicht Bestandteil der Untersuchung.

Eine Übersicht relevanter erfasster Merkmale ist Tabelle 5 zu entnehmen.

Knotenpunkte

Das Kollektiv zur Bewertung der Knotenpunkte von Landstraßen rekrutiert sich aus verschiedenen Untersuchungen. Diesbezüglich liegen Einschränkungen in der Datenqualität vor, sodass nicht alle mutmaßlich im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) aufgeführten Defizite analysiert werden können. Folgende Randbedingungen gelten:

- Die räumliche Ausdehnung der Knotenpunkte ist aufgrund der aggregierten Form der Unfalldaten mit einem Radius von 150 m zum Schnittpunkt der Achsen festgelegt.
- Für das Kollektiv der Knotenpunkte ohne LSA (VZ-geregelt) können nur eingeschränkt bauliche Kenngrößen zur Analyse verwendet werden.

Merkmal	Einheit	Beschreibung	Messniveau	Art der Berücksichtigung
DTV	[Kfz/24h]	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke	kategorial	Defizit
FBB	[m]	Fahrbahnbreite: Summe 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 (Mindestlänge 100 m, an Böschungsmulde anschließend)	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 (Überschreitung des guten Bereichs des Radienverhältnisses nach RAL um mehr als 20 %), Kreisbogen – Gerade	stetig	Defizit
PGS	[PGS/km]	Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen: Dichte dieses Merkmals (Einzelobjekte in unmittelbarer Nähe Fahrbahnrand bzw. auf Bankett, dazu zählen Masten, Bäume, Häuser, Widerlager)	stetig	Defizit
Akp	[Akp/km]	Defizite durch Anschlussknotenpunkte: Dichte dieses Merkmals (Wegeinmündungen und Knotenpunkte ohne bauliche Änderung der Strecke)	stetig	Defizit
PgsAkp	[(PGS+2 · Akp)/km]	Defizite durch punktuelle Gefahrenstellen oder Anschlussknotenpunkte: Dichte beider Merkmale wobei Anschlussknotenpunkte mit der Wertigkeit von 2 eingehen	Kombination	Defizit
MinRad	[Häufigkeit/km]	Unterschreitung Mindestradius: Kenngröße entspricht dem Auftreten von Singularitäten (in Anlehnung an Kriterien der RAL)	stetig	Defizit
Kreis strukturtyp	-	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. 5: Übersicht und Beschreibung aller Merkmale mit Wirkung auf das Unfallgeschehen nach MAIER et al. (2013)

- Die Kollektivgröße der Knotenpunkte mit LSA fällt gering aus. Eine detaillierte Analyse maßstablicher Einflussgrößen ist daher deutlich eingeschränkt.
- Kreisverkehre und planfreie Teilknotenpunkte auf Landstraßen können aufgrund geringer Kollektivgrößen nicht zu einer Bewertung herangezogen werden.
- Für alle Knotenpunkte wird das Kriterium des räumlichen Ortsbezugs nach HAUTZINGER et al. (2010) übernommen. Knotenpunkte gelten als ortsnah, wenn mindestens eine der Zufahrten eine Entfernung zur nächsten Ortschaft von weniger als 300 m aufweist.
- Das Kriterium Kurvenlage ist an keinen festgelegten Grenzwert gekoppelt und beruht auf einer subjektiven Einschätzung. Dieses gilt nur für die Hauptrichtung an verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten.

Eine Übersicht relevanter erfasster Merkmale an Knotenpunkten ist Tabelle 6 zu entnehmen.

Insgesamt stehen die in Tabelle 7 aufgeführten Kollektive aus den sechs Bundesländern

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

zur Verfügung. Da der überwiegende Teil der Fälle aus Bundesländern stammt, in deren Unfallstatistik die Unfallkategorie 5 nur eingeschränkt oder überhaupt nicht berücksichtigt wird, setzen sich die

Grundform	Regelung	
	LSA	VZ
Einmündung	30	572
Kreuzung	50	76

Tab. 7: Kollektivgrößen Knotenpunkte nach Grundform und Regelungsart

Merkmal	Einheit	Beschreibung	Messniveau	Ausprägung	
				Minimum	Maximum
DTV	[Kfz/24h]	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke	stetig	450	28.100
DTV_HS	[Kfz/24h]	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des übergeordneten Hauptstroms	stetig	320	25.100
DTV_NS	[Kfz/24h]	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des untergeordneten Nebenstroms	stetig	25	6.200
DTV_A	[-]	Quotient von DTV_NS und DTV_HS	stetig	0,01	1,97
FBT	[-]	fehlender Fahrbahnsteiler; fehlender Fahrbahnsteiler in mindestens einer der untergeordneten Zufahrten	kategorial		
Kurve	[-]	Knotenpunkt liegt in einer Kurve (Streckenverlauf des Hauptstroms)	kategorial		
SW	[-]	Schnittwinkel: Winkel der Achsen zueinander (regelkonform bei Winkel $80 \text{ gon} \leq \text{SW} \leq 120 \text{ gon}$)	kategorial		
DIRA	[-]	Dreiecksinsel für Rechtsabbieger: Vorhandensein von (mindestens) einer Dreiecksinsel	kategorial		
SLFS	[-]	separater Linksabbiegerfahrstreifen nicht vorhanden	kategorial		-
PAS	[-]	Parallelaufstellung in untergeordneter Zufahrt: Aufnahme, wenn parallele Aufstellung durch Markierung ermöglicht	kategorial		
Lage	[-]	Ortslage: Knotenpunkt mehr als 300 m von Ortschaft entfernt	kategorial		
GF	[-]	Grundform: Differenzierung zwischen Einmündung und Kreuzung bei Knotenpunkten mit LSA, Zuschlag wenn Form einer Kreuzung entspricht	kategorial		

Tab. 6: Analytierte grundlegende Merkmale und ihre Ausprägung für Knotenpunkte von Landstraßen

Bewertungsfälle der Landstraße nur aus den Teilmodellen U(P) und U(SS) zusammen. Die geringe Kollektivgröße der Knotenpunkte mit LSA erfordert eine gemeinsame Modellbildung, die Grundform wird dabei mit ein kategorialen Variable abgebildet.

Für Knotenpunkte aus dem Datenpool von HAUTZINGER et al. (2010) und der Untersuchung von BAIER et al. (2010) liegen Unfalldaten aus einem Zeitraum von 2000 bis einschließlich 2007 vor. Der Zeitraum der Daten aus der Untersuchung von MAIER et al. (2013) umfasst die Jahre 2004 bis 2009. Die erfassten Merkmale für Knotenpunkte sind in Tabelle 6 enthalten. Für Knotenpunkte mit LSA wurden darüber hinaus die Signalisierungsarten – mit und ohne Linksabbiegerschutz – analysiert.

4.2.2 Autobahnen

Grundlage für die Beurteilung von Strecken und Knotenpunkten auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen – nachfolgend als Autobahnen bezeichnet – bilden die Informationen aus den SIB der Länder u. Ä. Datenbanken. Aus diesen Quellen, die für bestimmte Merkmale eine hohe Datenqualität aufweisen, können folgende Daten richtungsbezogen abgeleitet werden:

- Querneigung,
- Längsneigung,
- DTV (zusätzlich DTV des Schwerverkehrs),
- Kurvigkeit,
- V_{zul} ,
- Aufteilung des Querschnitts (Elemente),
- Hindernisse im Seitenraum (wenn Merkmal geführt wird).

Arbeitsstellen längerer Dauer (Arbeitsstellen mit Verkehrsführung nach Regelplänen D I und D II der RSA (1995) und einer zeitlich geschlossenen Anordnung größer einem Monat) wurden über eine Abfrage der Behörden ebenfalls aufgenommen und führten gegebenenfalls zum Ausschluss bestimmter Strecken.

Für die Bewertung liegen Daten aus sechs Bundesländern vor:

- Baden-Württemberg,
- Brandenburg,

- Hessen,
- Nordrhein-Westfalen,
- Sachsen und
- Sachsen-Anhalt.

Unfalldaten aus elektronischen Unfalldatenbanken (EUSka o. Ä.) liegen über einen Zeitraum von fünf Jahren oder länger vor (Tabelle 8). Der ausgewertete Zeitraum jeder einzelnen Strecke variiert in Abhängigkeit des Auftretens von Arbeitsstellen. Dies wird über den Offset-Term im Modell berücksichtigt. Sind für betrachtete Netzknotenabschnitte Arbeitsstellen mit einer Dauer länger einem Monat dokumentiert, wird dieser Zeitraum – inklusive des sich in diesem Zeitraum ereigneten Unfallgeschehens – ausgeschlossen. Stellt das Resultat einer Arbeitsstelle eine deutliche Veränderung der Streckencharakteristik dar, wird der Zeitraum ab Beginn des Umbaus ausgeschlossen. Netzknotenabschnitte mit verbliebenen Zeiträumen von weniger als einem Jahr werden nicht mit betrachtet.

Das Unfallgeschehen von Parkplätzen und Raststätten ist nicht Bestandteil der Bewertung von Strecken. Um eine irrtümliche Zuordnung der Unfälle in der Streckenbewertung zu vermeiden, werden jegliche Anlagen von Parkplätzen und Raststätten von Beginn des Aus- bis Ende des Einfahrbereichs ausgeschlossen und nicht mit bewertet. Es gilt die Annahme, dass der Anteil Aus- und Einfahrender so gering ist, dass für die Übergänge zur freien Strecke die Betrachtung eines separaten Einflussbereichs nicht notwendig ist.

Wie bereits in Kapitel 4.1 beschrieben, erfolgt eine stufenweise Differenzierung des Netzes anhand drei verschiedener Kriterien.

Die erste Differenzierung nach Anlagenart unterscheidet die Netzelemente in die Bereiche Knoten-

Bundesland	Zeitraum (Jahr)		Unfälle der Kategorien
	von	bis	
BB	2005	2009	1 bis 4 (und 6)
BW	2004	2008	1 bis 4 (und 6)
HE	2005	2009	1 bis 6
NW	2005	2009	1 bis 4 (und 6)
SN	2004	2009	1 bis 6
ST	2004	2009	1 bis 6

Tab. 8: Unfalldaten in den einzelnen Bundesländern für Autobahnen und autobahnähnliche Straßen

punkte, freie Strecke, Einflussbereiche und Zwischenstrecken. Einflussbereiche umfassen die Bereiche vor und nach Knotenpunkten, Zwischenstrecken zwischen den einzelnen Knotenpunktelementen (Aus- und Einfahrt), die gegenüber der freien Strecke einen veränderten Verkehrsablauf (Geschwindigkeit, Fahrstreifenwahl) erwarten lassen. Die Differenzierung der Elemente folgt fahrbahnfein. Dabei werden folgende Annahmen getroffen:

- Mit Beginn des ersten Ausfahrbereichs eines Knotenpunkts endet ein 500 m langer stromaufwärts liegender Einflussbereich, der die höhere Belastung des rechten Fahrstreifens aufgrund möglicher Fahrbahnwechsel berücksichtigt. Die gewählte Länge orientiert sich an der Vorwegweisung mit Zeichen 449 StVO.
- Dem Ende eines Einfahrbereichs folgt ein Einflussbereich mit einer Länge von 300 m. Diese Einteilung beruht u. a. auf Überlegungen zum fahrdynamischen Verhalten der Fahrzeuge, welche auf der Hauptfahrbahn einfahren und eine gewisse Länge zum Beschleunigen benötigen. Weiterhin ist davon auszugehen, dass auf der Hauptfahrbahn befindliche Fahrzeuge für ein- fahrende Fahrzeuge kooperativ den Fahrstreifen wechseln.
- Strecken mit einer Länge kleiner 1,1 km zwischen Ein- und Ausfahrbereich von zwei aufeinanderfolgenden Knotenpunkten weisen keinen Anteil freier Strecke auf. Grundlage bildet die Untersuchung von BETZ (2008), die auf diesen Abschnitten eine veränderte Belegung der Fahrstreifen feststellte.
- Abschnitte zwischen Ein- und Ausfahrbereich von Rampen werden der Zwischenstrecke zugeordnet.

In einer weiteren Unterteilung erfolgt die Zuordnung der Abschnitte zu den Regelquerschnitten für Autobahnen nach den RAA (FGSV, 2008) bzw. den RAS-Q (FGSV, 1996). Maßgebend ist die aus den SIB ermittelte Summe der Fahrstreifenbreite (FSB). Ebenfalls berücksichtigt wird das Vorhandensein oder Fehlen eines Seitenstreifens. Darauf werden die Merkmale DTV (Richtungsfahrbahn) und V_{zul} zugeordnet. Unterscheidet sich die V_{zul} innerhalb eines Abschnitts wird eine weitere Trennung vorgenommen. Die summierte Fahrstreifenbreite wird aus dem längengewichteten Mittel mit einer Toleranz von 0,25 m ermittelt. Da für die Verkehrs-

Querschnitt nach RAA	Anzahl Fahrstreifen	Σ FSB [m]	Länge [km]	Kollektiv
RQ 28	2	< 7,25	207	Q 28
RQ 31	2	< 9,00	1.140	Q 31
RQ 36	3	< 12,75	911	Q 3/4 FS
RQ 43,5	4	\geq 12,75	43	

Tab. 9: Bewertungsfälle für EKA 1 und EKA 2 nach den RAA (FGSV, 2008) und entsprechende Kollektive der Untersuchung

sicherheit primär das Fehlen oder Vorhandensein eines Seitenstreifens von Bedeutung ist, wird eine mit 1,00 m höhere Differenz der Einzelwerte akzeptiert.

Die in der Untersuchung enthaltenen Bewertungsfälle des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) für die Regelquerschnitte nach den RAA (FGSV, 2008), deren Besetzungsgrad und die gewählten Kollektive sind Tabelle 9 zu entnehmen. Strecken der EKA 3 (Stadtautobahnen) sind nicht Bestandteil des Verfahrens.

Am häufigsten vertreten sind Bestandsstrecken, die den RQ 31 und RQ 36 zuzuordnen sind. Die geringe Kollektivgröße des RQ 28 als auch des RQ 43,5 verdeutlicht die relativ seltene Auftretenshäufigkeit dieser Querschnitte im Bestandsnetz. Aus diesem Grund erfolgt die Bildung eines gemeinsamen Kollektivs „Q 3/4 FS“ in dem die enthaltenen Querschnitte durch eine kategoriale Größe getrennt vorliegen. Darüber hinaus werden zur Bewertung auch die separaten Kollektive Q 28 und Q 31 herangezogen. Diese Bewertungsfälle umfassen auch Bestandsstrecken nach den RAS-Q (FGSV 1996).

Strecken

Für die erzeugten Strecken erfolgt eine Analyse und Zuordnung der Daten aus den SIB, wobei die aufgeführten Zuschläge für linienhafte und punktuelle Abweichungen berücksichtigt werden. Dazu zählt die Überprüfung der übergeordneten Kriterien

- Verkehrsbelastung,
- Querschnitt,
- Lage- und Höhenplan,
- Querneigung,
- V_{zul} und
- Seitenraum.

Das Kollektiv der gewonnenen Strecken mit den beschreibenden Merkmalen sowie dem zugeordneten Unfallgeschehen bildet die Grundlage für die Anwendung der Modelle.

Eine Veränderung des Fahrverhaltens erfolgt bei hohen Geschwindigkeiten über entsprechende Distanzen. Gerade für kurzzeitig auftretende Randbedingungen ist zu vermuten, dass sich diese nur beschränkt in einer Veränderung des Fahrverhaltens widerspiegeln. Daher werden nur Strecken mit einer Länge von $L \geq 500$ m berücksichtigt.

Geschwindigkeitsbeschränkungen stellen häufig reaktive Maßnahmen in unfallauffälligen Bereichen dar. Daher sind Abschnitte mit geringen V_{zul} mitunter durch eine höhere Unfallhäufigkeit und -schwere gekennzeichnet (MAIER et al., 2013, und ELVIK et al. 2004). Diesbezüglich enthält das Kollektiv nur Strecken mit einer $V_{zul} \geq 100$ km/h. Abschnitte mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) werden separat dargestellt.

Entwässerungsschwache Zonen (ESZ) liegen auf 100-m-Abschnitte betrachtet vor, wenn die Schrägeneigung den Wert von 1 % unterschreitet.

Ballungsräume umfassen Agglomerationen mit mehr als 400.000 Einwohnern. Diesbezüglich weisen alle Strecken in unmittelbarer Nähe bis zu einem Umkreis von etwa 15 km des Stadtkerngebiets diese Eigenschaft auf.

Da Informationen über die Größenordnung von Lageplanelementen nicht für alle Bundesländer vorliegen, erfolgt – um ein einheitliches Bewertungsdesign zu gewährleisten – die Auswertung der Lage- und Höhenparameter auf Basis der ZEB-Rasterdatenbank. Grundlage dieser Datenbank bildet die Ableitung geometrischer Größenordnung (Kurvigkeit, Querneigung usw.), abgebildet in 100-m-Schritten, beruhend auf Befahungsdaten mit einem Messfahrzeug. Als Einschränkung ist die irreduktible Darstellung der einzelnen Elemente des Lage- und Höhenplans zu nennen. Vor diesem Hintergrund kann keine Bewertung von Elementfolgen im Lage- und Höhenplan erfolgen. Kurvigkeit und Hügeligkeit stellen in Annäherung ein Äquivalent dar.

Anschlussstellen

Ebenfalls Bestandteil der Untersuchungen sind Aus- und Einfahrbereiche zweibahniger Strecken mit anschließender Rampe an teilplanfreien Kno-

tenpunkten (Anschlussstellen). Nach dem HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) erfolgt für diesen Fall eine getrennte Betrachtung der Aus- und Einfahrbereiche. Die anschließende Rampe soll zu gleichen Teilen dem Aus- und Einfahrbereich bzw. dem plangleichen Teilknotenpunkt zugeordnet. Für letzteren ist das Bewertungsverfahren für Landstraßen zu verwenden. Vor dem Hintergrund der einheitlichen räumlichen Abgrenzung plangleicher Knotenpunkte erscheint die flexible Längenzuordnung der Rampe in der Bewertung als nicht zielführend. Da Rampen mitunter eine sehr kurze Längenentwicklung aufweisen, ist auch eine separate Betrachtung ebenfalls als nicht praktikabel einzustufen. Daher wird folgender Ansatz verfolgt:

- Rampen werden den entsprechenden Ein- und Ausfahrbereich der übergeordneten Fahrbahn zugeordnet.
- Die Rampe endet im Bereich des plangleichen Teilknotens 50 m vor dem Schnittpunkt der Achsen zwischen Rampe und untergeordneter Strecke.
- Der gewählte Ansatz erlaubt eine konsistente Bewertung der Aus- und Einfahrten bezüglich der Bewertung für Landstraßenknotenpunkte nach dem HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008).

Systeme planfreier Anschlüsse bzw. Autobahnkreuze/-dreiecke werden aufgrund ihrer Komplexität und individuellen Gestaltungen nicht betrachtet.

Bild 11 verdeutlicht den gewählten Bewertungsansatz. Der Einflussbereich des Knotenpunkts auf die stromaufwärts liegende Strecke endet mit Beginn des Ausfahrbereichs. Aus pragmatischen Gründen wird der Übergang 25 m vor dem baulichen Beginn des Ausfahrstreifens festgelegt. Der definierte Ausfahrbereich erstreckt sich auf der Hauptfahrbahn Richtung stromabwärts bis 25 m nach der Inselfspitze. Die Rampe erstreckt sich von Beginn

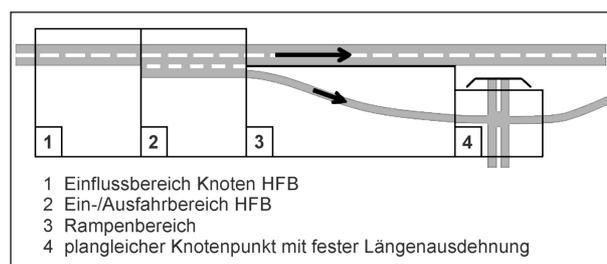


Bild 11: Darstellung Bestandteile und Umfeld teilplanfreier Knotenpunkt (Beispiel: Ausfahrbereich einer Anschlussstelle)

der Inselspitze bis 50 m vor den Schnittpunkt der Achsen mit den untergeordneten plangleichen Teilknoten. Analog gilt die Abgrenzung für Einfahrbereiche.

Der Bereich zwischen Aus- und Einfahrbereich ist als Zwischenstrecke definiert. In der Auswertung finden lediglich Rampensysteme an Aus- und Einfahrten der Typen A1 und E1 nach den RAA (FGSV, 2008) mit direktem Rampenanschluss ohne weitere innere Verzweigungen an das nachgeordnete Netz Berücksichtigung (Bild 12). Die Trennung der Elemente Ein- und Ausfahrbereich der Hauptfahrbahn (HFB) sowie der Rampe erlaubt eine differenzierte Zuordnung und spätere Bewertung des Unfallgeschehens bezüglich verschiedener Einflussfaktoren.

Die Datenqualität der SIB für Rampen ist sehr diffizil. Viele relevante Merkmale liegen in unzureichender Qualität oder gar nicht vor. Die Ermittlung des DTV erfolgte durch eine Umlegungsrechnung

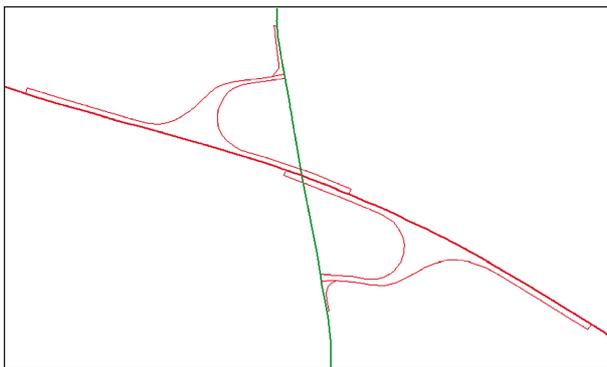


Bild 12: Darstellung einer Anschlussstelle mit zulässiger Rampenführung

welche durch die Bundesanstalt für Straßenwesen zur Verfügung gestellt wurde. Daher stellt der DTV eine Näherung an die realen Werte dar. Folgende weitere Einschränkungen gelten:

- Der DTV der Hauptfahrbahn umfasst den gesamten Verkehr des Knotenpunkts und beinhaltet den DTV der Rampe.
- Da die Berechnung des DTV der Rampe auf einem allgemeinen Umlegungsverfahren gründet, sind nicht plausible Verkehrsstärken auszuschließen. Als Maximum wird ein Quotient der Verkehrsstärken von Rampe zu Hauptfahrbahn von 40 % akzeptiert.
- Aufgrund der Geometrie (Schleppkurven) variiert die Fahrbahnbreite von Rampen auf wenigen Metern deutlich. Die Festlegung der Querschnittsmerkmale (Fahrbahnbreite usw.) ist für Rampen daher nicht möglich.
- Gleichermaßen ist die Beurteilung von Radien- bzw. Elementfolgen nur sehr eingeschränkt möglich. Daher wird die Linienführung der Rampen in die Führungsformen direkt, halbdirekt und indirekt unterschieden.
- Aussagen zur Höhe der V_{zul} liegen nur für den Bereich der Hauptfahrbahn vor.
- Informationen zu Quer- und Längsneigungen der Rampen stehen in nur so wenigen Fällen zur Verfügung, dass diese Kriterien nicht berücksichtigt werden können.

Insgesamt stehen nach Ausschluss nicht verwertbarer Fälle 266 standardisierte Rampen aus vier

Merkmal	Einheit	Beschreibung	Messniveau	Ausprägung	
				Minimum	Maximum
DTV _{RI}	[Kfz/24h]	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke auf Richtungsfahrbahn	stetig	3.500	72.500
SVA	[-]	Anteil Schwerverkehr am DTV	stetig	0,01	0,30
FSB	[m]	Fahstreifenbreite: Summe über alle Fahstreifen	kategorial	6,65	15,25
SSB	[m]	Seitenstreifenbreite: rechte Fahrbahnseite	kategorial	0,25	7,6
RSB	[m]	Randstreifenbreite: linke Fahrbahnseite	kategorial	0,2	1,85
HK	[%]	Hügeligkeit: Betrag der längengewichteten mittleren Steigung	stetig	0,01	5,44
KU	[gon/km]	Kurvigkeit: mittlere Kurvigkeit	stetig	0,1	55,0
ESZ	[Anteil/Abschnitt]	Anteil der entwässerungsschwachen Zone	stetig	0,0	0,38
V _{zul}	[-]	Höhe der V_{zul}	kategorial	-	
BR	[-]	Ballungsraum: Agglomerationen mit einer Einwohnerzahl > 400.000 EW	kategorial		

Tab. 10: Analytierte grundlegende Merkmale und ihre Ausprägung für Strecken von Autobahnen

Merkmal	Einheit	Beschreibung	Messniveau	Ausprägung	
				Minimum	Maximum
DTV	[Kfz/24h]	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke auf Hauptfahrbahn	stetig	3.500	63.600
DTV_R	[Kfz/24h]	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke auf Rampe	stetig	300	12.200
DTV_A	[-]	Quotient von DTV_R und DTV	stetig	0,01	0,4
SVA	[-]	Anteil des Schwerverkehrs am DTV	stetig	0,01	0,30
DTV_V	[-]	Quotient von DTV und DTV-werktags	stetig	0,16	0,35
LN_HFB	[%]	Längsneigung Hauptfahrbahn: Betrag der nach Länge gewichteten mittleren Steigung	stetig	-4,8	4,6
KU	[gon/km]	Kurvigkeit der Hauptfahrbahn: mittlere Kurvigkeit	stetig	0,0	49,1
L_HFB	[m]	Länge der Hauptfahrbahn	stetig	50	750
R_Typ	[-]	Rampentyp	kategorial	-	
R_F	[-9	Rampenführung	kategorial		
Vzul_HFB	[-]	Höhe der V_{zul} der Hauptfahrbahn	kategorial		
BR	[-]	Ballungsraum: Agglomerationen mit einer Einwohnerzahl > 400.000 EW	kategorial		

Tab. 11: Analyisierte grundlegende Merkmale und ihre Ausprägung für Anschlussstellen

Bundesländern für die Modellierung zur Verfügung.

Eine Übersicht für alle erfassten Merkmale der Strecken und Anschlussstellen von Autobahnen enthalten Tabelle 10 und Tabelle 11.

4.3 Ergebnisse Landstraßen

4.3.1 Strecken

Zum besseren Verständnis der im vorliegenden Forschungsprojekt durchgeführten Arbeitsschritte bei der Modellbildung werden nachfolgend auch die wichtigen Ergebnisse der Modellbildung für Strecken von Landstraßen im Rahmen der Untersuchung von MAIER et al. (2013) dargestellt.

Der volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens von Landstraßen liegen die gemittelten Verunglückten- und Sachschadenkostensätze der Bundesanstalt für Straßenwesen aus den Jahren 2006 bis 2010 bezogen auf den Preisstand 2010 zugrunde (LERNER et al., 2012). Angepasste Unfallkostensätze (KS_a) für U(P) liegen für die einzelnen Querschnitte vor. Aufgrund des zweibahnig vierstreifigen Charakters des Q 21 werden für die Ermittlung der Unfallkostensätze für diesen Querschnitt die Kostensätze für Sachschadenunfälle von Autobahnen verwendet (Tabelle 12). Die geringe Anzahl U(P) im Kollektiv „Q dreistreifig“ ist

Unfallkostensätze [€]			
Kategorie	Q 9	Q 11 „Q dreistreifig“	Q 21
$KS_{a,U(P)}$	120.102	127.289	104.807
$KS_{s,U(SS)}$		18.212	24.130
$KS_{s,U(LS)}$		4.080	4.950

Tab. 12: Verwendete Unfallkostensätze für Querschnitte von Landstraßen

Ursache für den mit dem Q 11 gemeinsam ermittelten Unfallkostensatz.

Freie Strecke

Aus MAIER et al. (2013) liegen Funktionen für den Verlauf der gUKR in Abhängigkeit des Querschnitts vor. Diese resultieren aus der Addition der einzelnen gUKR der Modelle nach Unfallschwere, dargestellt über den betrachteten Verkehrsstärkebereich. Für alle Querschnitte gilt, dass zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit ein regressiver Zusammenhang vorliegt, d. h., die Unfallhäufigkeit steigt gegenüber der Verkehrsstärke unterproportional an. Dieser Effekt variiert nach Querschnitt und Unfallschwere. Daraus resultiert eine über die Verkehrsstärke abnehmende Höhe der gUKR. Für U(LS) des „Q dreistreifig“ liegt aufgrund einer geringen Kollektivgröße nur eine Approximation an die Grundunfallhäufigkeit mittels Regression vor.

Der Verlauf der gUKR über die Verkehrsstärke lässt sich über Gleichung 13 beschreiben:

$$gUKR_{\bar{A}} = k_{UKR} \cdot DTV^{f_{UKR}} \quad \text{Gl. 13}$$

mit

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

k_{UKR} Grundniveau der Funktion [-]

DTV durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
[Kfz/24h]

f_{UKR} Regressionskoeffizient für DTV

Der Vorteil einer Funktion zur Beschreibung der $gUKR_{\bar{A}}$ liegt in der stetigen Abbildung des Kurvenverlaufs. Bei der Interpretation der Kurvenverläufe für die $gUKR_{\bar{A}}$ in Bild 13 ist zu beachten, dass alle Zuschläge mit der Größenordnung Null eingehen. Die Funktionsparameter für die einzelnen Querschnitte sind Tabelle 13 zu entnehmen.

Folgende Sachverhalte sind für die $gUKR_{\bar{A}}$ freier Strecken festzustellen:

- Die $gUKR_{\bar{A}}$ stellt prinzipiell eine vom DTV abhängige Größe dar. Die $gUKR_{\bar{A}}$ weist einen regressiven Verlauf auf.

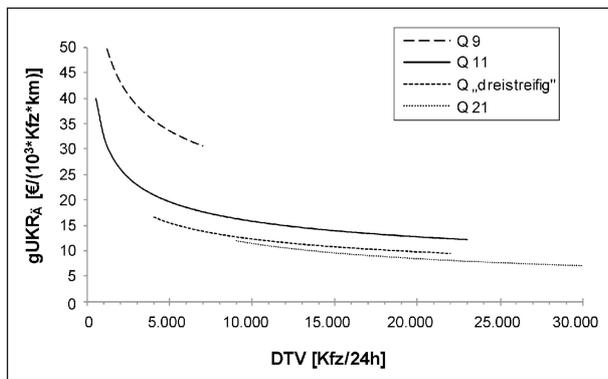


Bild 13: $gUKR_{\bar{A}}$ mit stetigen Funktionen für Landstraßenquerschnitte (MAIER et al., 2013)

Querschnitt	Anzahl FS	Faktoren		DTV-Bereich [Tsd. Kfz/24h]	
		k_{UKR}	f_{UKR}	von	bis
Q 9	andere	348	-0,275	0,5	7
Q 11	2	270	-0,308	0,5	23
Q 11,5+	2/3	265	-0,333	3,5	22
Q 15,5	3	265	-,0333	3,5	22
Q 21	4	545	-0,420	9,5	36

Tab. 13: Parameter für stetige $gUKR_{\bar{A}}$ -Funktionen der einzelnen Querschnitte Landstraße (MAIER et al. 2013)

- In Bereichen sehr niedriger Verkehrsstärken ist der deutliche Anstieg der $gUKR_{\bar{A}}$ -Funktion u. a. durch die Modellfunktion der GLM geprägt. Da Zählraten für Strecken mit sehr geringer Verkehrsbelastung überwiegend auf Schätzungen beruhen, wird eine Berechnung der $gUKR_{\bar{A}}$ mit gegebener Funktion für einen DTV von weniger als 1.000 Kfz/24h als nicht praktikabel angesehen. Unter dieser Grenze wird die Berechnung mit einem pauschalen Wert empfohlen.
- Trotz einem gegenüber dem Q 11 niedrigeren $KS_{a,U(P)}$ weist der Q 9 die niedrigste Verkehrssicherheit auf. Diese resultiert aus einer gegenüber den anderen Querschnitten hohen UR.
- Die Querschnitte weisen Unterschiede in der $gUKR_{\bar{A}}$ 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 besitzt der Q 21. Mutmaßliche hohe Geschwindigkeiten werden durch den hohen Ausbaustandard (Richtungstrennung, passive Schutzeinrichtungen) überkompensiert.

Für nur wenige Teilmodelle gelingt eine vollständige Erklärung der systematischen Varianz. Die Schätzung der Regressionskoeffizienten beruht auf der negativen Binomialverteilung. Die $gUKR_{\bar{A}}$ enthält daher einen Anteil ungeklärter Merkmale, die einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben, aber in den Modellen nicht berücksichtigt werden konnten.

Ziel des HVS ist es, dem Anwender praktikable und anschauliche Verfahren zur Bewertung von Netzelementen zur Verfügung zu stellen. Um einen einfachen Umgang zu ermöglichen, sind die Hürden für eine Anwendung gering zu halten. Vor diesem Hintergrund liegt eine vereinfachende Darstellung der $gUKR$ nahe. Daher erfolgt die Abbildung von fixen $gUKR$ ($gUKR_{\bar{A},F}$) auf Basis der Ergebnisse aus MAIER et al. (2013) und den Randbedingungen der RAL (FGSV, 2012).

Die dargestellten $gUKR_{\bar{A}}$ -Funktionen zeichnen sich durch einen deutlichen Anstieg im Bereich geringer Verkehrsstärken aus. Dies resultiert zum einen aus dem Untersuchungsdesign, zum anderen aus einem niedrigen DTV, der als Expositionsgröße ein hohes Unfallrisiko zur Folge hat. Daher verbietet sich insbesondere für Querschnitte der EKL 3 und EKL 4 nach den RAL (FGSV, 2012) die Verwendung einer pauschalen $gUKR$ über den gesamten Verkehrsstärkebereich. Mit dem Blickwinkel auf die

Aussagekraft der Ergebnisse ist es naheliegend, dass eine Abstufung der $gUKR_{\bar{A}}$, erfolgen muss, die im Bereich geringer Verkehrsstärken gegenüber Bereichen mit hohen Verkehrsstärken enger gefasst ist.

In den RAL (FGSV, 2012) werden für Landstraßen unterschiedlicher Kategorie abgestufte EKL – verknüpft mit verschiedenen Regelquerschnitten – vorgegeben. Darüber hinaus gibt es aber Anhaltswerte für eine Prüfung, ob in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke statt der für eine Straßenkategorie regelmäßig vorgesehenen EKL eine Auf- oder Abstufung der EKL möglich ist (Tabelle 14).

Neben den o. g. Randbedingungen liegen der endgültigen Klassifizierung der $gUKR_{\bar{A},F}$ auch die Mengengerüste der Querschnitte zugrunde. Die Höhe der $gUKR_{\bar{A},F}$ wird auf dem gewichteten Mittel des DTV der Einzelabschnitte im Kollektiv ermittelt.

In Anlehnung an die Empfehlungen der RAL (FGSV, 2012) wird für den Q 9 eine Abstufung im Bereich von 3.000 Kfz/24h vorgenommen. An dieser Stelle ist eine deutliche Änderung im Verlauf der Summenhäufigkeitslinie festzustellen (Bild 14). Verkehrsstärken über diese Grenze hinaus treten

verhältnismäßig selten auf und stellen eine Besonderheit dar.

Der Q 11 weist eine weite Spannweite des DTV auf (Bild 14). Ab einem Bereich von etwa 8.000 Kfz/24h ist ein verflachender Verlauf der Summenlinie zu verzeichnen. Nur ein Viertel der Strecken weisen höherer Verkehrsstärken auf, Abschnitte mit einem DTV > 15.000 Kfz/24h stellen die Ausnahme dar. Mit Blick auf die Einsatzgrenzen des Q 9 und Q 21 nach den RAL (FGSV, 2012) erfolgt eine Abstufung des Q 11 im Bereich von 3.000 Kfz/24h und 15.000 Kfz/24h. Die Verteilung des Verkehrsaufkommens wird mit einer weiteren Stufe bei 8.000 Kfz/24h berücksichtigt.

Das Kollektiv „Q dreistreifig“ setzt sich aus den Q 11,5+ und Q 15,5 zusammen. Für den „Q dreistreifig“ wird die Stufe für die Abwertung der EKL bei 8.000 Kfz/24h übernommen. Gegenüber dem Einsatzbereich des Q 21 wird das Kollektiv ebenfalls mit einer Stufe bei 15.000 Kfz/24h abgegrenzt.

Für den Q 21 mit einer relativ stetigen Verteilung (Bild 14), wird die Stufe bei 15.000 Kfz/24h ebenfalls übernommen.

Es ergeben sich die in Tabelle 15 dargestellten kaufmännisch gerundeten $gUKR_{\bar{A},F}$. Im Bereich geringer Verkehrsstärken weisen die Q 9 und Q 11 eine höherer Differenz der $gUKR_{\bar{A},F}$ zueinander auf. Sowohl für den Q 11 und den „Q dreistreifig“ als auch für den „Q dreistreifig“ und den Q 21 gilt, dass die Differenz zwischen den Querschnitten unabhängig der Verkehrsstärke konstant bleibt, wobei für letztgenannte Beziehung die niedrigsten absoluten Differenzen zu verzeichnen sind.

Das Gesamtbild der $gUKR_{\bar{A},F}$ kann als harmonisch und praktikabel angesehen werden. Damit stehen für freie Strecken auf Landstraßen für das HVS anwendbare verifizierte $gUKR$ zur Verfügung.

Straßenkategorie	DTV _{Querschnitt} [Kfz/24h]	
	Prüfung einer niederrangigen EKL	Prüfung einer höherrangigen EKL
LS I	< 12.000	–
LS II	< 8.000	> 15.000
LS III	–	> 13.000
LS IV	–	> 3.000

Tab. 14: Anhaltswerte zu einer Auf- oder Abstufung der EKL in Abhängigkeit des DTV nach den RAL (FGSV, 2012)

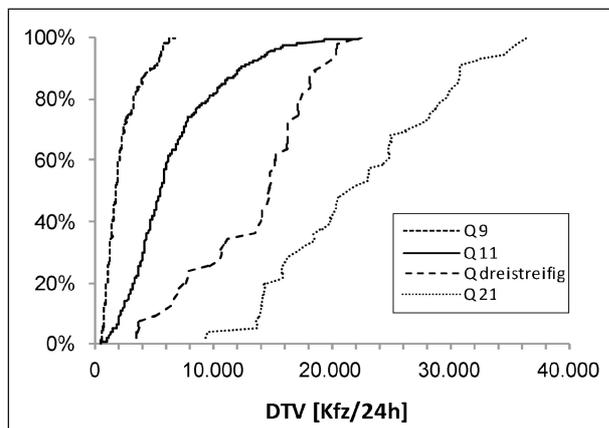


Bild 14: Summenhäufigkeit des DTV nach Querschnitt

DTV [Tsd. Kfz/24h]		$gUKR_{\bar{A},F}$ [€/ (1.000 Kfz · km)]			
von	bis	Q 9	Q 11	„Q dreistreifig“	Q 21
–	≤ 3	46	26	–	–
> 3	≤ 8	34	19	15	–
> 8	≤ 15	–	15	11	10
> 15	–	–	14	10	8

Tab. 15: $gUKR_{\bar{A},F}$ für freie Strecken auf Landstraßen in Abhängigkeit von Verkehrsstärke und Querschnitt

Einflussbereiche

Einflussbereiche stellen Übergänge zwischen freien Strecken und Knotenpunkten – mit baulicher Veränderung – bzw. Ortsdurchfahrten dar. Es ist bekannt, dass Knotenpunkte i. d. R. einen positiven Einfluss auf die UKR der angrenzenden Strecke ausüben (vgl. ECKSTEIN/MEEWES, 2002, und VIETEN et al., 2010).

Von MAIER et al. (2013) wurden Einflussbereiche an Knotenpunkten pauschal mit einer Länge von 300 m, Einflussbereiche zu Ortsdurchfahrten mit 100 m definiert. Für die Berechnung einer netzabschnittsbezogenen UKR_{NE} , sind die einzelnen Teilabschnitte längengewichtet zu bewerten (Bild 15).

Die Differenz zwischen UKR_{NE} und $UKR_{Strecke}$ wird durch den Anteil freier Strecke bestimmt. Je länger ein Netzabschnitt, desto geringer ist ceteris paribus die Differenz beider Größen. Für sehr lange Netzabschnitte können die Einflussbereiche zur Ermittlung der UKR_{NE} aus praktischer Sicht vernachlässigt werden. Diese ist abhängig von der Höhe der UKR für die Einflussbereiche. MAIER et al. (2013) legen auf Grundlage des Untersuchungskollektivs und Analogieschlüssen zu den Erkenntnissen von ECKSTEIN/MEEWES (2002) und VIETEN et al. (2010) Abminderungsfaktoren (A_F) für die Einflussbereiche fest. Deren Länge und Höhe des A_F variiert in Abhängigkeit der Art des Übergangs (Tabelle 16). Für alle Einflussbereiche gilt, dass diese gegenüber der freien Strecke eine höhere Verkehrssicherheit aufweisen. Für die Aus- und Einfahrbereiche von einbahnigen Landstraßen liegen bisher keine Erkenntnisse vor. Daher wird keine Wirkung der Aus- und Einfahrbereiche auf die angrenzende Strecke unterstellt und für planfreie bzw. teilplanfreie Knotenpunkte kein Einflussbereich berücksichtigt. Die freie Strecke schließt an den Beginn/Ende der größten baulichen Ausprägung des Knotenpunkts an. Für Zufahrten zu Kreisverkehren liegen keine aussagekräftigen Kollektive zugrunde. Vor dem Hintergrund, dass sich das Fahrverhalten in Zufahrten zu Kreisverkehren von wartepflichtigen Zufahrten nur gering unterscheidet, wird von einer ähnlichen Wirkung ausgegangen.

Der Abminderungsfaktor des Netzabschnitts ($A_{F,NE}$) berechnet sich aus den längengewichteten A_F der Einzelbereiche nach Gleichung 14:

$$A_{F,NE} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{F,i} \cdot L_i)}{L} \tag{Gl. 14}$$

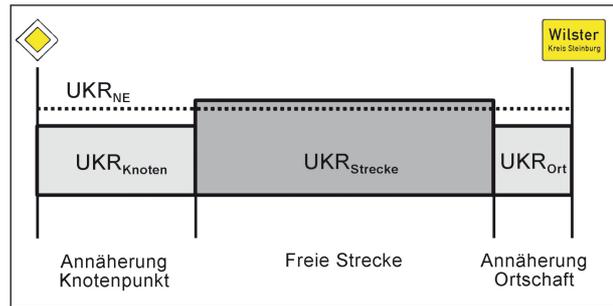


Bild 15: Zusammenhang zwischen UKR_{NE} und den UKR der Teilelemente eines Netzabschnitts (MAIER et al., 2013)

Element	Länge [km]	Abminderungsfaktor A_F [-]
Freie Strecke	variabel	1
Einfluss Ortschaft	0,1	0,83
Einfluss Knotenpunkt	LSA	0,3
	VZ bevorrechtigt	0,3
	VZ wartepflichtig	0,3
	Kreisverkehr	0,3

Tab. 16: Abminderungsfaktoren A_F für einzelne Streckenelemente (MAIER et al., 2013)

mit

- $A_{F,NE}$ Abminderungsfaktor des Netzabschnitts [-]
- n Anzahl der Elemente im Netzabschnitt
- $A_{F,i}$ Abminderungsfaktor des Elements i [-]
- L_i Länge des Elements i [km]
- L Länge des Netzabschnitts [km]

Der $A_{F,NE}$ entspricht der prozentualen Abweichung (Abminderung) der Kenngrößen UKR_{NE} und UKR_{fS} zueinander. Die Anzahl der Teilelemente ist abhängig von der Art des Streckenübergangs sowie der Gesamtlänge der freien Strecke.

Die UKR_{NE} ergibt sich damit nach Gleichung 15:

$$UKR_{NE} = UKR_{fS} \cdot A_{F,NE} \tag{Gl. 15}$$

mit

- UKR_{NE} Unfallkostenrate des Netzabschnitts [€/(1.000 Kfz · km)]
- UKR_{fS} Unfallkostenrate der freien Strecke [€/(1.000 Kfz · km)]

$A_{F,NE}$ Abminderungsfaktor des Netzabschnitts [-]

Die Höhe von $A_{F,NE}$ entscheidet über die weitere Bewertung der Strecke. Folgende Grenzwerte können die Bewertung einer Strecke definieren:

- Die Berechnung der Netzabschnitte mit einem Anteil der freien Strecke $L < 500$ m (sehr kurze Abschnitte) beinhaltet in Gleichung 14 lediglich die Terme der Annäherungsbereiche. Dementsprechend verringert sich in der Berechnung die Gesamtlänge L um den Anteil der freien Strecke.
- Für $A_{F,NE} < 0,975$ gilt, dass die UKR_{NE} zur Bewertung der Strecke zu verwenden ist (Gleichung 15).
- Beträgt $A_{F,NE} \geq 0,975$, so kann die Differenz zwischen UKR_{fS} und UKR_{NE} vernachlässigt werden. Dabei handelt es sich um (sehr) lange Strecken. Die UKR_{fS} entspricht dabei der UKR_{NE} .

Mithilfe der A_F ist eine Bewertung von Strecken inklusive der Wirkung von Einflussbereichen auf den Sicherheitsgrad möglich. Bezüglich der Einflüsse von Zufahrten an Kreisverkehren und planfreien Teilknotenanschlüssen besteht weiterer Forschungsbedarf.

Zuschläge

Die Art und Höhe der Zuschläge entspricht den in MAIER et al. (2013) ermittelten Größen der Variante mit stetigem Verlauf – ohne DTV als kategoriale Variable – der $gUKR_{\bar{\alpha}}$. Tabelle 17 enthält die Übersicht aller identifizierten Zuschläge.

Hellgrau hinterlegte Flächen stellen Fälle mit geringen Diskrepanzen – Höhe des Grundwerts im Vergleich gegenüber anderen Bewertungsfällen – 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 folgte dabei pragmatischen Gesichtspunkten.

Für die Unterschreitung des Kuppenhalbmessers ist ebenso wie für das Vorhandensein von Bäumen auf dem Bankett für den „Q dreistreifig“ wohl von

einer gegenüber vom Modell ermittelten geringeren Wirkung der Merkmale auf die Verkehrssicherheit auszugehen. Ursache bildet der geringe Umfang der Merkmale im Kollektiv. Unabhängig der erfolgten Residuenanalyse ist nicht auszuschließen, dass weitere nicht berücksichtigte Einflüsse mit den genannten Merkmalen korrelieren, welche somit z. T. einen Stellvertreter darstellen.

Der Kreisstrukturtyp stellt für mehrere Bewertungsfälle eine Zuschlagsgröße dar. Die Wirkung der verschiedenen Strukturtypen ist dabei nicht einheitlich und variiert. Modelltheoretisch trägt der Kreisstrukturtyp als Stellvertretervariable zur Erklärung des Unfallgeschehens bei. Jedoch ist aus praktischer Sicht nicht zu klären, welche konkreten Einflüsse eine Veränderung des Unfallgeschehens bedingen. Daher gilt die Empfehlung, in der Anwendung des zukünftigen HVS auf die Aufnahme des Kreisstrukturtyps zu verzichten.

Verschiedene Merkmale (Fahrstreifenbreite, Unterschreitung des Mindestradius, usw.) stellen nur für einzelne Bewertungsfälle einen Zuschlag dar. Es ist anzunehmen, dass einige für den Q 11 ermittelte Zuschläge gleichwohl eine Wirkung auf Abschnittendes „Q dreistreifig“ besitzen, auch wenn diese aufgrund der geringen Kollektivgröße nicht nachzuweisen sind. Diese Felder sind in Tabelle 17 mit „k. A.“ gekennzeichnet, während Felder für die kein Einfluss eines Merkmals zu erwarten ist, mit einem waagerechten Strich (–) gekennzeichnet sind.

Der Q 9 und der Q 21 unterscheiden sich hinsichtlich Verkehrsablauf und Gestaltung der Verkehrsanlage wesentlich von den restlichen Querschnitten. Daher erscheint die Identifikation anderer Merkmale als Zuschlag plausibel. Eine Übernahme von Merkmalen, die für Q 11 und „Q dreistreifig“ einen Zuschlag darstellen, ist daher besonders zu prüfen, auch wenn davon auszugehen ist, dass beispielsweise zu schmale Fahrstreifenbreiten auf dem Q 21 ebenfalls eine negative Wirkung auf die Verkehrssicherheit besitzen. Dementgegen kann das Merkmal „Anschlussknotenpunkte“ für den Q 21 unberücksichtigt bleiben, da das Auftreten von Knotenpunkten im Regelfall zu einer deutlichen Veränderung der Streckencharakteristik und damit Teilung in mehrere Strecken führt.

Die Differenzen in der Höhe der Zuschläge zwischen dem Q 9 und dem Q 11 erklärt sich u. a. aus der differentiellen Streckencharakteristik (Trassierungsgrundlagen) beider Querschnitte und der damit beim Befahren verbundenen Erwartungs-

Kriterium	Berechnung A _{UKR} [-]	Höhe GW [-]			
		Q 9	Q 11	„Q dreistreifig“	Q 21
Fehler in Relationstrassierung (FRT) [Häufigkeit/km]	GW · A	0,135	0,1	0,17	0,06
Unterschreitung Mindestradius [Häufigkeit/km]	GW · A	k. A.	0,07	k. A.	k. A.
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	k. A.	0,3 (0,6)	k. A.
Fahrbahnbreite FBB > 6,00 m	GW	0,06	–	–	–
Fahrbahnbreite FBB < 7,75 m	GW	–	–	–	0,2
Fahrstreifenbreite 3,25 m ≤ FSB < 3,50 m	GW	–	0,16	k. A.	k. A.
Fahrstreifenbreite FSB < 3,25 m	GW	–	0,2	0,025	k. A.
Randstreifenbreite RSB < 0,50 m	GW	–	0,18	k. A.	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	k. A.	0,3	k. A.	0,07

Erläuterung: Für Zellen mit – besitzt Merkmal kein Einfluss, für Zellen mit k. A. liegen keine signifikanten Zusammenhänge vor

Tab. 17: Höhe der (angepassten) Grundwerte (GW) für Bewertungsfälle freie Strecke (Variante ohne DTV als kategoriale Variable) von Landstraßen (MAIER et al., 2013)

haltung der Verkehrsteilnehmer. Querschnitte des Q 9 weisen gegenüber dem Q 11 häufig eine an die Topografie stark angepasste Linienführung auf. Daher ist die Wirkung des Merkmals Hügeligkeit deutlich geringer ausgeprägt bzw. konnte der Einfluss für das Merkmal „Unterschreitung des Mindestradius“ nicht signifikant nachgewiesen werden. Folglich weist ein Q 11 mit zu schmalen Fahr- und Randstreifenbreiten nicht zwangsläufig das Sicherheitsniveau eines Q 9 auf. Erst aus der deutlichen Abwandlung des Q 11 durch eine Veränderung der

Entwurfsmerkmale – Defizite im Lageplan, höhere Kurvigkeit, schmale Querschnittsgestaltung – gelingt eine Approximation an den Q 9. Dass Defizite in der Linienführung auch beim Q 9 das Unfallgeschehen beeinflussen, verdeutlicht das identifizierte Merkmal „Fehler in der Relationstrassierung“.

Darüber hinaus tragen weitere Einflussgrößen wie das reale Geschwindigkeitsniveau oder die Unfallschwere zu einer Differenzierung der Querschnitte untereinander bei (TAYLOR et al., 2002).

4.3.2 Plangleiche Knotenpunkte

Die anhand des Unfallkollektivs – Radius 150 m vom Schnittpunkt der Achsen – ermittelten $KS_{a,U(P)}$ unterscheiden sich hinsichtlich der Regelungsart am Knotenpunkt deutlich. Knotenpunkte mit LSA weisen einen gegenüber verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten (Knotenpunkte ohne LSA) nahezu halb so hohen $KS_{a,U(P)}$ auf. Die Diskrepanz in der Unfallschwere ist mutmaßlich auf das unterschiedliche Geschwindigkeitsniveau in Annäherung an den Knotenpunkt und die zeitliche Trennung nicht verträglicher Ströme zurückzuführen. In Zufahrten an Knotenpunkten mit LSA sollte i. d. R. eine Beschränkung der V_{zul} auf 70 km/h erfolgen.

Auch die Betrachtung der relevanten Unfalltypen für U(P, SS) zeigt differenziert nach Grundform und Regelungsart deutliche Unterschiede (Bild 16). Verkehrszeichengeregelte Knotenpunkte weisen i. d. R. einen höheren Anteil des Unfalltyps 3 (Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle) auf. Der Anteil der Fahr-unfälle ist unabhängig von der Regelungsart an Kreuzungen gegenüber Einmündungen geringer. Während hier für verkehrszeichengeregelte Knotenpunkte der Unfalltyp 3 überwiegt, tritt an Knotenpunkten mit LSA am häufigsten der Unfalltyp 2 (Abbiegeunfälle) auf.

Mit Ausnahme der verkehrszeichengeregelten Kreuzungen weisen alle ortsfernen Kollektive gegenüber ihrem ortsnahen Pendant ein geringe höhere UKR auf (Bild 17). Unabhängig davon weisen verkehrszeichengeregelte Kreuzungen eine sehr geringe Verkehrssicherheit auf, während das Niveau für verkehrszeichengeregelte Einmündungen und Kreuzungen mit LSA ähnlich ist. Eine Differenzierung der Knotenpunkte mit LSA nach Führung des Linksabbiegers erfolgt aufgrund der geringen Kollektivgröße nicht. Allgemein eine hohe Verkehrssicherheit weisen ortsnah Knotenpunkte mit LSA auf. Einmündungen mit LSA sind im Vergleich der Kollektive als die sicherste Art der Knotengestaltung zu nennen. Die Ergebnisse spiegeln die Erkenntnisse von ECKSTEIN/MEEWES (2002) wider. Ein Vergleich mit den Untersuchungen von HAUTZINGER et al. (2010) erübrigt sich hinsichtlich der hohen Kollektivüberlagerung. Auch VIETEN et al. (2010) ermitteln für verkehrszeichengeregelte Kreuzungen – wenn auch aufgrund einer anderen räumlichen Abgrenzung auf einem geringeren Niveau – mit Abstand sehr hohe UKR, während Knotenpunkte eine niedrige UKR mit LSA

Unfallkostensätze [€]		
Kategorie	LSA	VZ
$KS_{a,U(P)}$	55.499 n = 1.605	103.196 n = 2.411
$KS_{s,U(SS)}$	18.212	
$KS_{s,U(LS)}$	4.080	

Tab. 18: Verwendete Unfallkostensätze für Querschnitte von Landstraßen

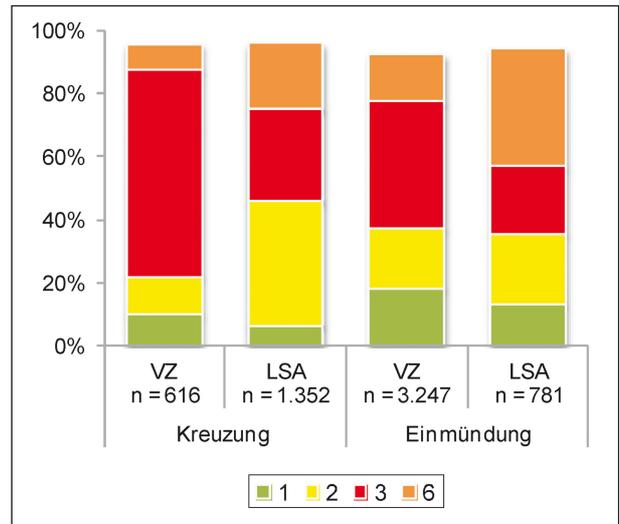


Bild 16: Verteilung der Unfalltypen für U(P, SS) der Knotenpunkte nach Grundform und Regelungsart

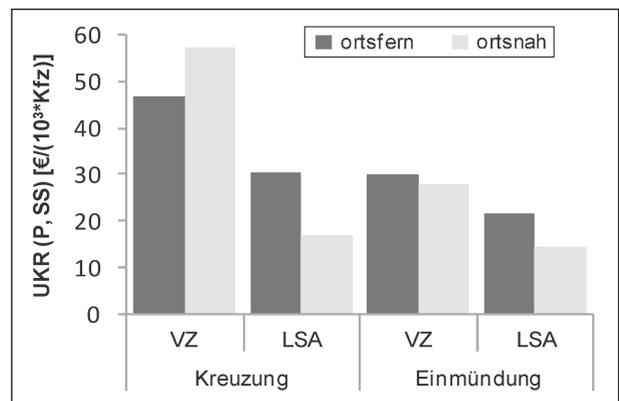


Bild 17: Mittlere beobachtete UKR(P, SS) an Knotenpunkten nach Grundform und Regelungsart (getrennt nach Ortsbezug)

aufweisen. Daher repräsentiert das Kollektiv die allgemeinen Gegebenheiten.

Verkehrszeichengeregelte Einmündungen

Mit 572 Fällen stellen die verkehrszeichengeregelten Einmündungen das größte Kollektiv dar. Damit bietet das Kollektiv die Möglichkeit auch selten auftretende Merkmale bezüglich ihrer Wirkung auf

die Verkehrssicherheit zu analysieren. Es liegen zwei Modellvarianten in Abhängigkeit der Implementierung des DTV vor. Unabhängig von der gewählten Variante treten die gleichen Merkmale signifikant in Erscheinung. Für die Modelle U(P) und U(SS) tragen neben dem DTV jeweils drei Merkmale zur Erklärung der Varianz bei.

Alle in Tabelle 19 dargestellten Regressionskoeffizienten basieren auf einer Berechnung mit der negativen Binomialverteilung. Da eine vollständige Erklärung der systematischen Varianz auf Basis der Poisson-Verteilung nicht gelingt, beinhaltet das Grundniveau der Unfallhäufigkeit noch unerklärte Merkmale.

Mit den Modellen der Variante 2 gelingt für beide Schwere Kategorien eine geringfügig bessere Erklärung der Varianz. Etwa 77 % der systematischen Streuung können über die ermittelten Variablen abgebildet werden. Unabhängig von der Variante weisen die Residuenplots des Modells U(P) mit zunehmender Verkehrsstärke einen Anstieg des Streubereichs auf. Diesbezüglich ist für Knotenpunkte mit einem hohen DTV mit größeren Abweichungen zu den Beobachtungswerten zu rechnen. Da für gegebene Kollektive keine weiteren Merkmale zu Erklärung des Unfallgeschehens herangezogen werden können, ist das Fehlen von Homoskedastizität auf nicht verfügbare erklärender

Variablen bezüglich des Verkehrsablaufs zurückzuführen. Eine Verletzung des Vertrauensbereichs des Cure-Plots liegt für Verkehrsstärken größer 20.000 Kfz/24h vor, wobei nur ein Bruchteil der Knotenpunkte solche Verkehrsstärken aufweist. Daher sind die Modelle auf dieses Maximum zu beschränken. Aus Bild 18 wird trotz der Einschränkungen eine repräsentative Erklärung der Beobachtungswerte am Beispiel des Modells U(P) der Variante 2 deutlich. Lediglich im Bereich sehr hoher Unfallzahlen werden die beobachteten Werte durch das Modell unterschätzt. Da diese Stellen i. d. R.

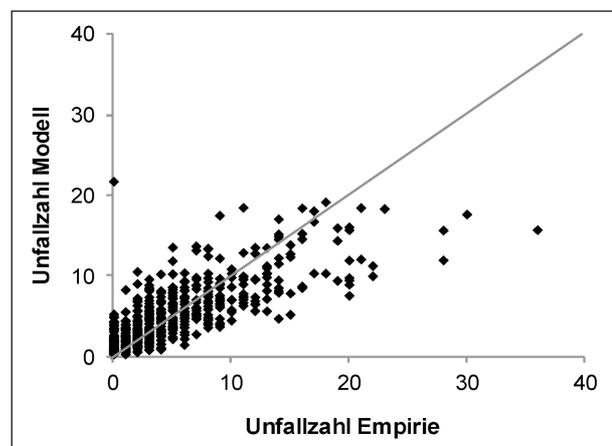


Bild 18: Gegenüberstellung modellierte und beobachtete U(P) für verkehrszeichengeregelte Einmündungen (Variante 2)

Teilmodell	U(P)				U(SS)			
	Variante 1 (Q ^b)		Variante 2 (Q ₁ ^{b1} *Q ₂ ^{b2})		Variante 1 (Q ^b)		Variante 2 (Q ₁ ^{b1} *Q ₂ ^{b2})	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-10,128	****	-8,802	****	-11,654	****	-10,264	****
ln (DTV)	1,036	****	–	–	1,150	****	–	–
DTV_A	0,852	****	–	–	0,871	****	–	–
ln (DTV_HS)	–	–	0,575	****	–	–	0,659	****
ln (DTV_NS)	–	–	0,443	****	–	–	0,477	****
Lage (von Ortschaft entfernt)	0,258	****	0,262	****	–	–	–	–
DIRA (vorhanden)	0,223	***	0,189	***	0,342	****	0,303	****
SLFS (fehlt)	0,173	*	0,194	**	0,220	*	0,238	**
Kurve (in Kurvenlage)	–	–	–	–	0,316	****	0,292	****
AIC	2.532		2.520		2.202		2.193	
Varianz ²	1,825		1,811		1,754		1,728	
Varianz Nullmodell ²	4,634				4,083			

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

Tab. 19: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Modelle verkehrszeichengeregelte Einmündungen

Unfallhäufungen darstellen, kann dem Modell eine gute Eignung attestiert werden.

Für Variante 1 gilt, dass für U(P) das Unfallgeschehen eine nahezu lineare Abhängigkeit zur Verkehrsstärke aufweist, während für U(SS) ein leicht progressiver Zusammenhang festzustellen ist. Mit einer Zunahme des Anteils des untergeordneten Verkehrsstroms (Nebenstrom) geht für beide Modelle eine Zunahme der Unfallhäufigkeit einher. Für U(P) als auch U(SS) besitzt in Variante 2 der Hauptstrom gegenüber dem Nebenstrom eine tendenziell stärkere Wirkung auf das Unfallgeschehen.

Da alle weiteren erklärenden Variablen als kategoriale Größen berücksichtigt sind, lässt sich deren Wirkungsgrad unmittelbar aus der Höhe des Regressionskoeffizienten ablesen.

Zu einer Erhöhung der Unfallhäufigkeit von U(P) und U(SS) tragen das Vorhandensein einer Dreiecksinsel für Rechtsabbieger (DIRA) als auch das Fehlen eines separaten Fahrstreifens für Linksabbieger (SLFS) bei.

Das Kriterium der Lage besitzt lediglich Wirkung auf U(P). Dies erscheint plausibel, da ortsfernen Knotenpunkten tendenziell ein höheres Geschwindigkeitsniveau auf den Zufahrten zu unterstellen ist, welches eine höhere Unfallschwere nach sich zieht.

Der Anschluss einer Strecke im Kurvenbereich der Hauptfahrbahn – unabhängig auf welcher Seite – erklärt eine höhere Unfallhäufigkeit für U(SS).

Verkehrszeichengeregelte Kreuzungen

Für das 73 Fälle umfassende Kollektiv verkehrszeichengeregelter Kreuzungen zeigen weitaus weniger Variablen einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen. Dies ist neben der fehlenden Anzahl von Merkmalen auch auf die geringe Kollektivgröße zurückzuführen (Tabelle 20).

Gleichermaßen beruht die Schätzung der Regressionskoeffizienten auf der Anwendung der negativen Binomialverteilung. Auch in diesem Falle gelingt auf Basis der Poisson-Verteilung keine vollständige Erklärung der systematischen Varianz, für U(P) etwa 48 %, für U(SS) etwa 45 %. Aus den Residuenplots sind keine auffälligen Abweichungen zu entnehmen. Die Modelle besitzen Aussagekraft bis zu einem DTV von 13.000 Kfz/24h.

Während bei Variante 1 das Unfallgeschehen U(SS) mit Zunahme der Verkehrsstärke ein leicht progressives Verhältnis aufweist, stellt sich dieses bei Variante 2 konträr – steigend degressiver Verlauf – dar. Auch wirkt sich der Anteil des Nebenstroms auf die U(P) deutlicher aus.

Auch für Variante 2 unterscheidet sich die Wirkung von Haupt- und Nebenstrom auf die Unfallhäufig-

Teilmodell	U(P)				U(SS)			
	Variante 1 (Q ^b)		Variante 2 (Q ₁ ^{b1} *Q ₂ ^{b2})		Variante 1 (Q ^b)		Variante 2 (Q ₁ ^{b1} *Q ₂ ^{b2})	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-10,371	****	-9,351	****	-6,739	****	-5,934	****
ln (DTV)	1,144	****	–	–	0,653	****	–	–
DTV_A	0,559	*	–	–	0,383	*	–	–
ln (DTV_HS)	–	–	0,633	****	–	–	0,239	0,081
ln (DTV_NS)	–	–	0,530	****	–	–	0,420	*
FBT (fehlt)	0,317	*	0,372	*	–	–	–	–
Kurve (in Kurvenlage)	–	–	–	–	0,517	*	0,487	*
AIC	391		389		315		314	
Varianz ²	2,537		2,497		2,024		1,974	
Varianz Nullmodell ²	3,872				2,821			

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

Tab. 20: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Modelle bei verkehrszeichengeregelten Kreuzungen

keit. Während U(P) deutlicher durch die Fahrzeuge des Hauptstroms erklärt werden, ist dies für U(SS) durch den Nebenstrom der Fall. Hohe Geschwindigkeiten im Hauptstrom zeichnen überwiegend für eine deutliche Unfallschwere bei Unfällen des Typs 3 (Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle) verantwortlich.

Weiterhin für das Sicherheitsniveau prägend ist das Merkmal Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt. Das Fehlen des Merkmals Fahrbahnteiler in mindestens einer der untergeordneten Zufahrten führt zu einer Zunahme der Unfallhäufigkeit. Die signifikante Wirkung lediglich für dieses Kollektiv ist nachvollziehbar. Gegenüber verkehrszeichengeregelten Einmündungen wird die Kreuzung in den untergeordneten Zufahrten nicht durch das hinter dem Knotenpunkt liegende Straßenumfeld (Wegweisung, Bewuchs, usw.) verdeutlicht. Insbesondere bei fehlender Anordnung eines Tropfens und widrigen Begleitumständen, verringert sich die Erkennbarkeit der Kreuzung. Gleichmaßen wie bei den Einmündungen führt die Anlage der Kreuzung im Kurvenbereich der übergeordneten Strecke ebenfalls zu einer Zunahme von U(SS).

Das Lagekriterium besitzt auf Basis des Kollektivs keinen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen.

Knotenpunkte mit LSA

Da für Knotenpunkte mit LSA nur der DTV des gesamten Knotenpunkts vorliegt, erfolgt keine Differenzierung nach Haupt- und Nebenstrom. Aufgrund der lichtsignalgeregelten zeitlichen Trennung der Verkehrsströme ist diese Vorgehensweise

auch pragmatisch nachvollziehbar. 80 Knotenpunkte bilden das Modellkollektiv (Tabelle 21).

Von allen untersuchten Knotenpunktarten liegt für diese Regelungsart der geringste Anteil erklärter Varianz – 38 % für U(P) und 22 % für U(SS) – auf Grundlage der Poisson-Verteilung vor. Da für Knotenpunkte mit LSA aus der Untersuchung von BAIER et al. (2010) detaillierte Informationen über die Knotenpunktelemente vorliegen, ist die geringe Kollektivgröße von 80 Fällen als Ursache für eine nicht ausreichende Identifikation der Merkmale zu nennen. Eine Trennung des Kollektivs nach der Knotenpunktgrundform ist daher auch nicht möglich. An dieser Stelle besteht weiterer Forschungsbedarf. Die Residuen- und Cure-Plots der Modelle weisen keine Verletzung der Rahmenbedingungen auf. Daher bieten die Modelle in Rahmen der Möglichkeiten über den betrachteten Verkehrsstärkebereich von 4.300 Kfz/24h bis 26.800 Kfz/24h gute Erklärungen des Unfallgeschehens.

Die Unfallhäufigkeit für U(P) und U(SS) weist zur Verkehrsstärke einen degressiven Zusammenhang auf. Drei Merkmale erklären das Unfallgeschehen für U(P).

Der Zuschlag für die Grundform Kreuzung gegenüber Einmündungen ist plausibel, auch wenn das Signifikanzniveau der Variable gering ausfällt. Aus pragmatischen Gesichtspunkten legitimiert sich die Berücksichtigung. Eine deutlichere Wirkung auf das Unfallgeschehen wird durch das Vorhandensein von Dreiecksinseln für Rechtsabbieger in der Hauptrichtung und eine ortsferne Lage des Knotens erklärt. Das Lagekriterium ist neben dem DTV das

Teilmodell	U(P)		U(SS)	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-7,873	****	-7,519	**
ln (DTV)	0,806	****	0,700	*
GF(Kreuzung)	0,217	0,069	–	–
DIRA (vorhanden)	0,398	**	–	–
LAGE (von Ortschaft entfernt)	0,351	**	0,440	*
AIC	460		370	
Varianz ²	2,842		3,488	
Varianz Nullmodell ²	3,930		4,145	

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

Tab. 21: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Modelle bei Knotenpunkten mit LSA

Einziges für U(SS) signifikant erklärendes Merkmal. Das erhöhte Unfallgeschehen bei Vorhandensein einer Dreiecksinsel wurde auch in der von ROOS et al. (2013) durchgeführten Untersuchung zur sicherheitstechnischen Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen festgestellt.

Festlegung der $gUKR_{\lambda}$

Zur Ableitung der $gUKR_{\lambda}$ für verkehrszeichengeregelte Knotenpunkte stehen zwei Varianten zur Auswahl, welche sich bezüglich der Implementierung des DTV voneinander unterscheiden. Modelle der Variante 2 ermöglichen die getrennte Analyse der Verkehrsströme und liefern tendenziell höhere Erklärungsanteile. Aus der Addition der volkswirtschaftlich bewerteten Unfälle für die Modelle U(P) und U(SS) lässt sich der Verlauf der UKR über den betrachteten Verkehrsstärkebereich darstellen. Die

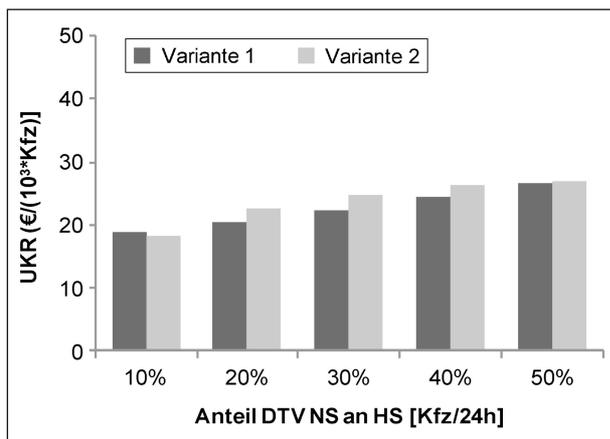


Bild 19: Entwicklung der berechneten UKR in Abhängigkeit des Anteils DTV Nebenstrom bei konstanten DTV_{KP} für verkehrszeichengeregelte Einmündungen

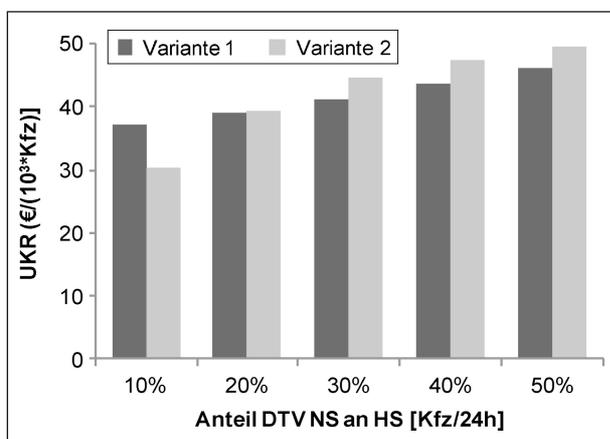


Bild 20: Entwicklung der berechneten UKR in Abhängigkeit des Anteils DTV Nebenstrom bei konstanten DTV_{KP} für verkehrszeichengeregelte Kreuzungen

Gegenüberstellung der UKR für unterschiedliche Anteile des untergeordneten Verkehrsstroms erlaubt ceteris paribus – DTV des Knotenpunkts (DTV_K) bleibt konstant – einen Vergleich beider Varianten.

Da der Anteilswert des DTV-Verhältnisses in Variante 1 (q^b) im exponentiellen Term der weiteren erklärenden Variablen berücksichtigt wird, weist die Zunahme der UKR sowohl für Einmündungen (Bild 19) als auch Kreuzungen (Bild 20) einen progressiven Verlauf auf. Demgegenüber nimmt die UKR für Variante 2 ($q_1^{b1} \cdot q_2^{b2}$) degressiv zu.

Die divergierenden Entwicklungen bedingen im Bereichen sehr niedriger und sehr hoher Anteilswerte deutliche Unterschiede. Insbesondere für einen sehr geringen Anteil des untergeordneten Stroms an verkehrszeichengeregelten Kreuzungen weist Variante 2 gegenüber Variante 1 deutlich geringere UKR aus. Für den mittleren Anteilswert der Beobachtungen – 26 % für Einmündungen und 42 % für Kreuzungen – beschreiben beide Varianten ein sehr ähnliches Niveau der UKR.

Da für Variante 2 bei geringer Verkehrsstärke des untergeordneten Stroms deutlich geringere UKR zu verzeichnen sind, erscheint diese Variante aus sachlogischen Überlegungen geeigneter um die Verkehrssicherheit an Knotenpunkten zu beschreiben. Daher beruht im Weiteren die Ermittlung der $gUKR_{\lambda}$ und $zUKR_{\lambda}$ verkehrszeichengeregelter Knotenpunkte auf Variante 2. Für Knotenpunkte mit LSA entspricht die $gUKR_{\lambda}$ dem Mittelwert des Kollektivs für den Anteil vom Neben- am Hauptstrom.

Bleiben alle weiteren erklärenden Variablen unberücksichtigt entspricht dieses Niveau nach Definition der $gUKR_{\lambda}$, wobei für verkehrszeichengeregelte Knotenpunkte eine Definition der Minima der Nebenstromverkehrsstärke festzulegen ist. Da die Anlage von Knotenpunkten per se das Aufkommen von Verkehrsströmen in allen Zufahrten nach sich zieht, entspricht der Fall von Null Fahrzeugen in der untergeordneten Zufahrt nur theoretischer Natur. Diesbezüglich wird als Minimum ein Anteil von 2,5 % des Nebenstroms im Verhältnis zum Hauptstrom berücksichtigt.

In Bild 21 sind die Entwicklung der $gUKR_{\lambda}$ über den betrachteten Bereich der Verkehrsstärken für einen Knotenbereich mit $R = 150$ m aufgetragen. Knotenpunkte mit LSA unterscheiden sich von den verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten durch eine

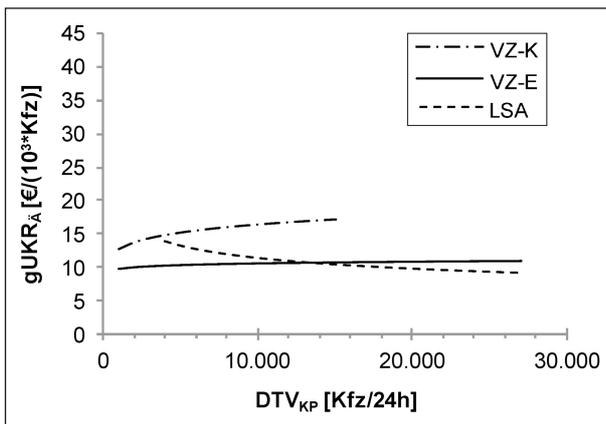


Bild 21: $gUKR_{\bar{A}}$ für Landstraßenknotenpunkte nach Variante 2 mit DTV_A von 2,5 %

Abnahme der $gUKR_{\bar{A}}$ bei zunehmenden DTV , wobei sich das Niveau der Knotenpunkte mit LSA im Bereich hoher Verkehrsstärken nur gering von denen der verkehrszeichengeregelten Einmündungen unterscheidet. Kreuzungen mit LSA erhalten gegenüber Einmündungen einen Zuschlag. Die höchste $gUKR_{\bar{A}}$ besitzen verkehrszeichengeregelte Kreuzungen. Da jedoch nur ein geringer Anteil des Verkehrsaufkommens dem untergeordneten Strom zugeordnet ist, entspricht die Höhe der $gUKR_{\bar{A}}$ von verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten nur einer theoretischen Größe. Mit Ausnahme des Bereichs geringer Verkehrsstärken zeichnen sich alle Kollektive durch eine relative von der Verkehrsstärke unabhängige $gUKR_{\bar{A}}$ aus.

Der geometrischen Abgrenzung der Knotenpunkte liegen die Zwangspunkte der Datenerhebung zugrunde. Für eine einheitliche Bewertung von Streckenzügen ist die räumliche Abgrenzung von freien Strecken und Einflussbereichen stringent umzusetzen. Um eine Mehrfach- und damit Überbewertung einzelner Teilbereiche auszuschließen, ist mit Blick auf die Vorgehensweise zur Netzeinteilung in der Untersuchung von MAIER et al. (2013) eine Anpassung der räumlichen Abgrenzung der Knotenpunkte (bisher 50 m) notwendig. Diesbezüglich sind die Sicherheitskenngrößen anzupassen. Auf Basis ausgewählter Knotenpunkte aus der Untersuchung von MAIER et al. (2013) – hier liegt das Unfallgeschehen mit einer hohen Genauigkeit stationsbezogen vor – erfolgt die Differenzierung des Unfallgeschehens getrennt nach U(P) und U(SS) bezüglich des Abstands zum Schnittpunkt der Achsen. Für mögliche Lokalisierungsungenauigkeiten wird eine zufällige Fehlerverteilung unterstellt. Betrachtet wird das Unfallgeschehen in einem Radius von $R = 50$ m und $R = 150$ m um den

Kollektiv	Anzahl Knotenpunkte	Anteil U(P) [%]	Anteil U(SS) [%]
VZ-geregelte Einmündung	163	0,68	0,58
VZ-geregelte Kreuzung	54	0,91	0,74
Einmündung mit LSA	28	0,80	0,73
Kreuzung mit LSA			

Tab. 22: Abminderungsfaktoren zur Ermittlung $gUKR_{\bar{A}}$ für Knotenpunkte mit $R = 50$ m

Achsenschnittpunkt. Aus dem Quotient beider Unfallkollektive lassen sich die Abminderungsfaktoren getrennt für U(P) und U(SS) in einer guten Annäherung bestimmen. Unter der Voraussetzung, dass die Teilbereiche durch keine grundlegende Veränderung der Unfallschwere gekennzeichnet sind, lassen sich die Faktoren auf die einzelnen Schwere Kategorien der $gUKR_{\bar{A}}$ übertragen.

Die in Tabelle 22 nach Grundform und Regelungsart getrennt vorliegenden Abminderungsfaktoren weisen deutliche Unterschiede auf. Der Anteil von U(SS) fällt gegenüber den U(P) im inneren Knotenbereich geringer aus. Unfälle sind an verkehrszeichengeregelten Kreuzungen gegenüber den Einmündungen häufiger im unmittelbaren Knotenbereich verortet. Aufgrund der geringen Kollektivgröße erfolgt für Knotenpunkte mit LSA eine gemeinsame Analyse.

Gleichermaßen wie bei den Strecken besteht für die Abbildung der $gUKR$ und $zUKR$ von Knotenpunkten im HVS das Ziel, dies in einer verständlichen und pragmatischen Art und Weise funktional darzustellen und damit Hemmnisse zu reduzieren. Vor diesem Hintergrund erfolgt die Ermittlung fixer $gUKR$ ($gUKR_{\bar{A},F}$) die auf den bisherigen Ergebnissen fußen.

Der einheitliche Verlauf der $gUKR_{\bar{A}}$ für Knotenpunkte mit LSA über den beobachteten Verkehrsstärkebereich und die fehlende Differenzierung der Verkehrsströme erlaubt eine unkomplizierte Ermittlung der $gUKR_{\bar{A},F}$ auf Basis des mittleren DTV (13.000 Kfz/24h) des Kollektivs. Unter Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren für die räumliche Ausdehnung und dem Zuschlag für die Grundform Kreuzung ergeben sich für Knotenpunkte mit LSA die in Tabelle 23 dargestellten $gUKR_{\bar{A},F}$.

Die Darstellung einer nach Grundform getrennten $gUKR_{\bar{A},F}$ für Knotenpunkte mit LSA steht aus praktischer Sicht außer Frage. Jedoch beruht die

Modellschätzung – Regressionskoeffizienten der Variablen – auf dem Gesamtkollektiv aller Anlagen. Auf Grundlage der multiplikativen Verknüpfung der Variablen bedingt die Ermittlung der $gUKR_{\check{A},F}$ für Kreuzungen die dementsprechend notwendigen Variablen. Das Herauslösen des Zuschlags „Grundform“ zur Darstellung einer eigenen $gUKR_{\check{A},F}$ für geregelte Kreuzungen mit LSA hat zur Folge, dass der Zuschlag „Grundform“ sinnbildlich nur noch über eine Addition mit weiteren Zuschlägen verknüpft wird. Diese Vorgehensweise hat eine geringfügig systematische Unterschätzung der UKR für Kreuzungen mit LSA und weiteren Defiziten zur Folge. Aus modelltheoretischer Sicht führt daher die Berechnung der UKR für Kreuzungen mit LSA auf Basis der $gUKR_{\check{A},F}$ für Einmündungen mit LSA, verbunden mit dem Zuschlag „Grundform entspricht Kreuzung“ zu Ergebnissen, die näher an der beobachteten Größenordnung liegen.

Demgegenüber ist die Darstellung von $gUKR_{\check{A},F}$ für verkehrszeichengeregelte Knotenpunkte vom Verhältnis unter- und übergeordneter Ströme abhängig. Unabhängig der Höhe, stellt der untergeordnete Verkehrsstrom kein Defizit, sondern ein Merkmal des Knotenpunkts dar, welcher die Größenord-

Kollektiv	$gUKR_{\check{A},F}$ [€/1.000 Kfz]	
	R = 50 m	R = 150 m
Einmündung mit LSA	8	10
Kreuzung mit LSA	10	13

Tab. 23: $gUKR_{\check{A},F}$ U(P,SS) für Knotenpunkte mit LSA

nung des Sicherheitsgrades wesentlich bestimmt. Vor diesem Kontext erscheint die Definition einer einheitlichen $gUKR_{\check{A},F}$ als invariabel.

Auf Basis der UKR-Bewertung der Modelle und der Abminderungsfaktoren lassen sich für verschiedene Verhältnisse unter- und übergeordneter Ströme $gUKR_{\check{A},F}$ ermitteln und in einer Matrix darstellen. Diese dienen als Grundlage für spätere Bewertungsfälle. Kombinationen und Spannbreite des DTV werden durch sachlogische Randbedingungen beschränkt. Für verkehrszeichengeregelte Einmündungen gilt ein Verhältnis von unter- zu übergeordneter Strom von $DTV_A = 0,6$, für Kreuzungen von $DTV_A = 1,0$ als obere Grenze. Tabelle 24 und Tabelle 25 beinhalten die ermittelten $gUKR_{\check{A},F}$.

Bei der Interpretation der $gUKR_{\check{A},F}$ Entwicklungen ist auf die Veränderungen der Randbedingungen DTV_K und Verkehrsstärkeverhältnis (DTV_A) zu achten. Allgemein gelten folgende Sachverhalte:

- Basiert die Zunahme der Verkehrsstärke des DTV_{KP} ausschließlich auf der Verkehrsstärke der untergeordneten Zufahrt, bedingt dies eine Erhöhung der $gUKR$ für verkehrszeichengeregelte Knotenpunkte.
- Bei konstanter Verkehrsstärke der untergeordneten Zufahrt führt eine Erhöhung des DTV_{KP} auf Basis der übergeordneten Zufahrten an VZ-geregelten Knotenpunkten zu einer Abnahme der $gUKR_{\check{A},F}$.
- Bei konstantem Verkehrsstärkeverhältnis ist für verkehrszeichengeregelte Einmündungen bei

$gUKR_{\check{A},F}$ VZ-geregelte Einmündung (R = 50 m) [€/10 ³ Kfz]							
DTV-Verhältnis		Σ DTV übergeordnete Zufahrten [Kfz/24h]					
		1.000	2.500	5.000	7.500	10.000	12.500
DTV untergeordnete Zufahrten [Kfz/24h]	500	16	14	11	10	9	8
	1.000		16	14	12	11	10
	1.500		17	15	14	13	12
	2.000			16	15	14	13
	2.500				16	15	14
	3.000			17		16	15
	3.500				17		16
	4.000						16
	4.500					17	
	5.000						17

Tab. 24: $gUKR_{\check{A},F}$ -Matrix für verkehrszeichengeregelte Einmündungen

gUKR _{Ä,F} -VZ-geregelte Kreuzung (R = 50 m) [€/10 ³ Kfz]							
DTV-Verhältnis		Σ DTV übergeordnete Zufahrten [Kfz/24h]					
		1.000	2.500	5.000	7.500	10.000	12.500
DTV untergeordnete Zufahrten [Kfz/24h]	500	33	28	23	20	18	16
	1.000	35	34	30	27	25	23
	2.000		38	37	35	33	31
	3.000			40	39	38	36
	4.000			41	42	41	39
	5.000			42	43	42	42
	6.000					43	43
	7.000					44	44

Tab. 25: gUKR_{Ä,F}-Matrix für verkehrszeichengeregelte Kreuzungen

Zunahme des DTV_{KP} eine geringfügig Zunahme der gUKR_{Ä,F} zu verzeichnen.

- Für verkehrszeichengeregelte Kreuzungen geht mit der Zunahme des DTV_K bei konstantem Verkehrsstärkeverhältnis eine Zunahme der gUKR_{Ä,F} einher.
- Bei abweichenden Verkehrsstromverhältnissen ist zwischen den Werten zu interpolieren.

Zuschläge

Die im exponentiellen Term der Modelle berücksichtigten erklärenden Variablen (Risikofaktoren) stellen Zuschläge zur gUKR_Ä dar. Auf Grundlage des in Kapitel 4.1.5 beschriebenen Verfahrens erfolgt die Ermittlung der A_{UKR} für einzelne Merkmale. Da lediglich kategoriale Merkmale in den Knotenpunktmodellen enthalten sind, ist eine Anpassung der A_{UKR} lediglich bezüglich des Verhältnisses von U(P) zu U(SS) notwendig. Weiterhin entsprechen die in Tabelle 26 dargestellten Grundwerte (GW) den A_{UKR}.

Die Größenordnung der A_{UKR} für LSA-geregelte Knotenpunkte basiert auf dem für Kreuzungen und Einmündungen einheitlichen Modellansatz. Dementsprechend ermittelt sich die UKR für Kreuzungen aus einem separaten Zuschlag. Die Höhe der UKR eines Bewertungsfalles errechnet sich mit Gleichung 12 (vgl. Kapitel 4.1.5).

Die Anlage von Knotenpunkten in Kurvenbereichen der Hauptrichtung führt für verkehrszeichengeregelte Knotenpunkte zu einem geringfügig höheren Unfallgeschehen. Ob ein Knotenpunkt erheblich von einer Ortschaft entfernt ist wirkt sich auf das Unfallgeschehen an verkehrszeichengeregelten Kreuzungen überhaupt nicht, an Knotenpunkten mit LSA besonders deutlich aus. Eine Korrelation mit anderen Merkmalen besteht nicht, daher ist diese Ausprägung entweder auf die speziellen Eigenschaften des Kollektivs zurückzuführen oder das Merkmal stellt eine Stellvertretergröße bisher nicht berücksichtigter Eigenschaften dar. Ein fehlender separater Linksabbiegestreifen führt an verkehrszeichengeregelten Einmündungen in gleicher Grö-

Zuschlagskriterium	Höhe GW [-]		
	VZ (Einmündung)	VZ (Kreuzung)	LSA
Fehlende(r) Fahrbahnsteiler in untergeordneter Zufahrt	–	0,41	–
Knotenanschluss im Kurvenbereich der übergeordneten Richtung	0,03	0,045	–
(Mindestens eine) Dreiecksinsel für Rechtsabbieger vorhanden	0,23	–	0,41
separater Linksabbiegestreifen fehlt	0,22	–	–
Knotenpunkt erheblich von Ortschaft entfernt (L > 300 m)	0,27	–	0,44
Grundform entspricht Kreuzung	–	–	0,22

Tab. 26: Höhe der Grundwerte (GW) für Bewertungsfälle Knotenpunkte von Landstraßen

ßenordnung zu einer Erhöhung des Unfallgeschehens wie das Vorhandensein einer Dreiecksinsel für Rechtsabbieger. Inwieweit das Fehlen dieser Eigenschaften für das Kollektiv verkehrszeichen geregelter Kreuzungen auf eine geringe Kollektivgröße oder weitere Randbedingungen zurückzuführen ist kann nur gemutmaßt werden. Zusammenfassend stellt die Summe der Kriterien plausible Einflussgrößen (Zuschläge) auf die Verkehrssicherheit von Landstraßenknotenpunkten dar.

4.3.3 Zusammenfassung

Die Untersuchung von MAIER et al. (2013) liefert die Datengrundlage für die Ermittlung von gUKR und zUKR für Strecken von Landstraßen. Für Knotenpunkte liegen Daten aus verschiedenen Forschungsprojekten vor, woraus eine notwendige Anpassung des Untersuchungsdesigns folgt. Folgende Sachverhalte liegen vor:

- Die Bewertung von außerörtlichen Verkehrsanlagen erfolgt getrennt für die Elemente Knotenpunkt, Einflussbereich und freie Strecke.
- Mit Ausnahme planfreier Anschlüsse umfassen Knotenpunkte eine räumliche Abgrenzung von $R = 50$ m ausgehend vom Achsenschnittpunkt. Planfreie (Teil-)Knotenpunkte bzw. -anschlüsse sind nach ihrer räumlichen Ausdehnung abzugrenzen.
- An den eigentlichen Knotenpunktbereich ($R = 50$ m) schließt sich der Einflussbereich an. Die geringe Anzahl planfreier Anschlüsse im Untersuchungskollektiv lässt Aussagen zu einem Einflussbereich für diese Anschlussform nicht zu. Daher wird für planfreie Anschlüsse derzeit kein Einflussbereich definiert. Für Zufahrten zu plangleichen Knotenpunkten wurde für den Einflussbereich einheitlich eine Länge von $L = 300$ m festgelegt. Für Zufahrten zu Ortsdurchfahrten wurde für den Einflussbereich eine Länge von $L = 100$ m festgelegt.
- Die Wirkung der Einflussbereiche auf die Verkehrssicherheit variiert in Abhängigkeit der Betriebsform des Knotenpunkts. Bezüglich der genauen Wirkung – insbesondere für Einflussbereiche an (teil-)planfreien Anschlüssen und Kreisverkehren besteht weiterer Forschungsbedarf.
- Für freie Strecken liegen verschiedene Bewertungsfälle getrennt nach Querschnittsgestaltung in Anlehnung an die Regelquerschnitte nach

den RAL (FGSV, 2012) vor. Grundlage bildet das Unfallgeschehen aller Unfallkategorien.

- Für freie Strecken existieren abgestufte $gUKR_{\bar{A},F}$ für verschiedene Verkehrsstärkebereiche. Aus einer Zunahme der Verkehrsstärke resultiert eine Abnahme der $gUKR_{\bar{A},F}$.
- Zur Ermittlung der UKR eines Bewertungsfalls ist die Summe der Zuschläge $zUKR_{\bar{A}}$ mit der $gUKR_{\bar{A},F}$ zu multiplizieren.
- Die Zuschläge $zUKR_{\bar{A}}$ werden über Anteilswerte A_{UKR} beschrieben. Mehrere Zuschläge sind über Multiplikation zusammenzuführen.
- Der Bewertung eines Netzabschnitts zwischen zwei Knotenpunkten liegt die längengewichtete Berücksichtigung der UKR der Einzelelemente (freie Strecke, Einflussbereich und Knotenpunkt) zugrunde. Die Höhe der UKR für Einflussbereiche basiert auf einem Abminderungsfaktor (gegenüber der freien Strecke).
- Für Landstraßenknotenpunkte liegen Bewertungsfälle für die Regelungsarten mit und ohne LSA vor. Die volkswirtschaftliche Bewertung beruht auf der Auswertung der $U(P, SS)$.
- Das Kollektiv der Knotenpunkte mit LSA weist nur eine geringe Größe auf. Trotz einer Vielzahl berücksichtigter Merkmale liegen nur wenig identifizierte Einflussgrößen vor.
- Das Kollektiv der verkehrszeichengeregelten Knotenpunkte LSA umfasst nur eine geringe Anzahl an Merkmalen. Es ist zu vermuten, dass – neben den im Modell berücksichtigten – weitere Merkmale Einfluss auf die Verkehrssicherheit besitzen (vgl. HAUTZINGER et al., 2010)
- Für die Bewertungsfälle der Knotenpunkte liegen $gUKR_{\bar{A},F}$ vor. Diese sind für verkehrszeichengeregelte Knotenpunkte nach dem Verhältnis unter- und übergeordneter Verkehrsströme differenziert. Für Knotenpunkte mit LSA Regelung existiert eine $gUKR_{\bar{A},F}$.
- Sämtliche Zuschläge für Knotenpunkte besitzen kategorialen Charakter.

4.4 Ergebnisse Autobahnen

4.4.1 Strecken

Für Strecken von Autobahnen erfolgte die Berechnung angepasster Unfallkostensätze $KS_{a,U(P)}$ für $U(P)$ nach Bewertungsfällen getrennt. Gegen eine

differenzierte Betrachtung der Unfallkostensätze nach U(SP) und U(LV) spricht die geringe Unfallzahl – insbesondere der U(SP) – der betrachteten Strecken, welche zu Einschränkungen in der Modellinterpretation führen (MAHER/SUMMERS-GILL, 1996). Darüber zeigten differenzierte Modellrechnung mit U(SP) und U(LV) gegenüber einer einheitlichen Betrachtung mit U(P) nur geringe qualitative Unterschiede. Die ermittelten Kostensätze in Tabelle 27 beruhen auf den von LERNER et al. (2012) ermittelten Verunglückten- und Sachschadenkostensätze für die Unfallstruktur der Jahre 2006 bis 2010 mit dem Preisstand 2010.

Die Höhe der $KS_{a,U(P)}$ der Bewertungsfälle reflektieren die Divergenzen in der Verunglücktenstruktur. Das Risiko bei einem U(SP) auf dem Q 36 tödlich zu verunglücken ist gegenüber dem Q 28 oder Q 43,5 um 40 % erhöht. Ursächlich hierfür sind die unterschiedlichen Anteile der Abschnitte mit einer Beschränkung der V_{zul} . Höhere Geschwindigkeiten stehen im engen Kontext mit einer Zunahme der Unfallschwere. So beträgt der Anteil der Streckenlänge mit Beschränkung der V_{zul} für die Q 28 und Q 43,5 rund 73 % bzw. 57 %, für die Q 31 und Q 36 hingegen nur 32 % bzw. 37 %. Somit beinhaltet die volkswirtschaftliche Bewertung mit Kostensätzen z. T. einen Erklärungsanteil des Merkmals Geschwindigkeit.

Unfallkostensätze [€]				
Kategorie	Q 28	Q 31	Q 36	Q 43,5
$KS_{a,U(P)}$	118.168 n = 702	143.854 n = 5.137	139.982 n = 5.440	103.008 n = 451
	140.765			
$KS_{s,U(SS)}$	24.130			
$KS_{s,U(LS)}$	4.950			

Tab. 27: Verwendete Unfallkostensätze für freie Strecken von Autobahnen nach Querschnitten

Verunglücktenstruktur [Verunglückte/100 U(SP)]			
Q	GT	SV	LV
28	9,1	115,3	45,0
31	13,7	126,6	61,7
36	15,0	125,1	63,0
43,5	9,1	114,3	79,2
Ø Kollektiv	13,9	125,0	61,7
FGSV 2003	12	123	64

Tab. 28: Verunglücktenstruktur für freie Strecken von Autobahnen nach Querschnitten

Mit Ausnahme der Getöteten (GT) entspricht der Mittelwert des Gesamtkollektivs dem Niveau der gesamtdeutschen Werte, die im „Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen“ (FGSV, 2003) angegeben sind (Tabelle 28). Dass das Kollektiv eine tendenziell ungünstigere Verunglücktenstruktur aufweist, ist auf den Ausschluss der Knotenpunktbereiche – diese weisen eine geringere Unfallschwere auf – zurückzuführen.

Freie Strecke allgemein

Aus Tabelle 29 wird deutlich, dass sich die mittleren empirischen UKR der freien Strecken mit Ausnahme des Q 43,5 nur geringfügig unterscheiden. Tendenziell weisen Querschnitte des Q 28 gegenüber dem Pendant des Q 31 eine höhere UKR auf. Die Differenz zwischen Q 31 und Q 36 ist marginal. Die gegenüber dem Q 31 höhere UR(P) des Q 28 wird durch den niedrigeren $KS_{a,U(P)}$ sowie eine geringere Häufigkeit von Unfällen mit Sachschaden kompensiert. Die geringe UKR des Q 43,5 ist neben dem niedrigen $KS_{a,U(P)}$ auf eine niedrige UR(S) zurückzuführen. Bei der Interpretation der Zahlen ist zu beachten, dass bei der Abbildung der Kenngrößen die Merkmalsverteilung weiterer Einflüsse (V_{zul} , fehlender Seitenstreifen) unberücksichtigt ist.

Die Verteilung der Unfalltypen U(P, SS) spiegelt eine kontinuierliche Veränderung der überwiegenen Konfliktsituationen in den Querschnittskollektiven wider (Bild 22). Während auf zweistreifigen Querschnitten am häufigsten der Fahrnfall (Unfalltyp 1) in Erscheinung tritt, verlagert sich die typische Konfliktsituation mit der Anzahl der Fahrstreifen hin zu Unfällen im Längsverkehr (Unfalltyp 6). Der Anteil der restlichen Unfalltypen bleibt unverändert. Mutmaßlich führen höhere Verkehrsaufkommen und damit auch häufigere Interaktionen zu einer Zunahme der Unfälle im Längsverkehr, während der Fahrnfall eher auf unangepasste

Querschnitt	Q 28	Q 31	Q 36	Q 43,5
UR [U/(10 ⁶ Kfz · km)]				
UR(P)	0,078	0,067	0,072	0,073
UR(SS)	0,052	0,064	0,063	0,036
UR(LS)	0,414	0,495	0,409	0,182
UKR [€/(1.000 Kfz · km)]				
UKR	12,6	13,6	13,7	9,3

Tab. 29: Beobachtete UR und UKR für freie Strecken von Autobahnen nach Querschnitten

Geschwindigkeiten zurückzuführen ist. Die Verteilung entspricht bekannten Erkenntnissen (z. B. von LIPPOLD et al., 2011).

Das betrachtete Spektrum der Verkehrsstärken spiegelt den Einsatzbereich der Querschnitte nach den RAA (FGSV, 2008) wider (Bild 23). Verkehrsstärken – betrachtet wird die Richtungsfahrbahn – größer 20.000 Kfz/24h sind im Kollektiv des Q 28 selten vertreten, während beim ebenfalls zweistreifigen Q 31 durchaus Verkehrsstärken bis etwa 40.000 Kfz/24h vorzufinden sind. Eine breitere Streuung der Verkehrsstärken weist der dreistreifige Q 36 auf, wobei vereinzelt auch deutlich unter dem Einsatzbereich des Querschnitts liegende Verkehrsstärken zu verzeichnen sind. Mit wenigen Ausnahmen liegen für den Q 43,5 erwartungsgemäß Verkehrsstärken im Bereich sehr hoher Belastungen vor.

Das seltene Auftreten des Q 43,5 im Bestand ist der Grund für eine gemeinsame Betrachtung mit dem

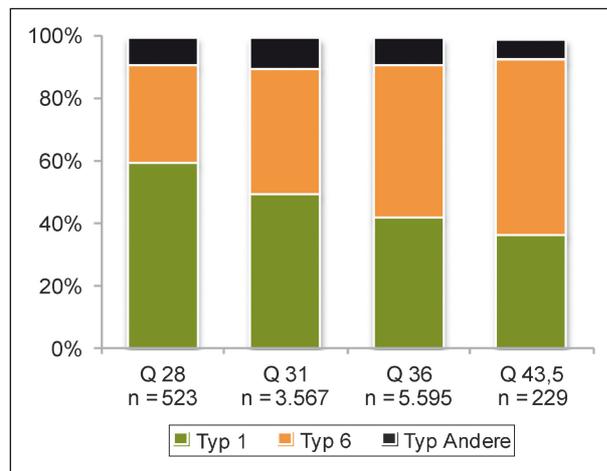


Bild 22: Verteilung der Unfalltypen der U(P,SS) auf der freien Strecke von Autobahnen nach Querschnitten

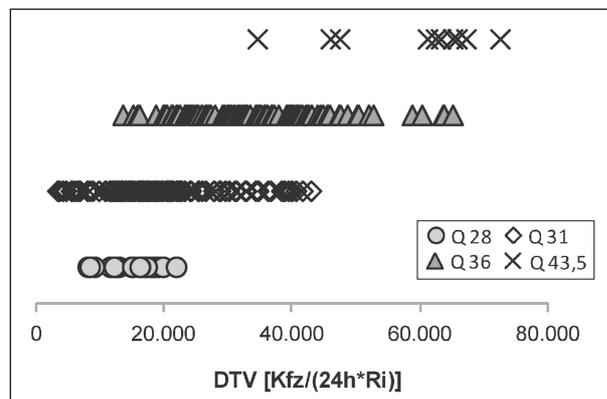


Bild 23: Betrachteter Verkehrsstärkebereich der freien Strecke von Autobahnen nach Querschnitten

Q 36 in einem Kollektiv. Beide Querschnitte sind über eine kategoriale Variable getrennt berücksichtigt. Da für den Q 28 das Kollektiv der U(LS) ebenfalls nur einen geringen Umfang aufweist, erfolgt eine gemeinsame Bewertung der U(LS) mit dem Q 31, ebenfalls kategorial getrennt. Im Folgenden sind die Modelle der einzelnen Querschnitte getrennt für Variante 1 – Aufnahme der Variablen Kurvigkeit oder Hügeligkeit – und Variante 2 – Wechselwirkung zwischen beiden Variablen – aufgeführt. Für keines der Modelle gelingt eine vollständige Erklärung der Varianz mit der Poisson-Verteilung. Daher beruht die Schätzung der Regressionskoeffizienten auf der negativen Binomialverteilung.

Q 28

Die Modellbildung für U(P) und U(SS) beruht auf der Auswertung von 84 Fällen (Tabelle 30). Für U(P) liefert die Variable Hügeligkeit in Variante 1 einen gegenüber dem Modell mit Wechselwirkung höheren Erklärungsanteil auf Basis der Poisson-Verteilung. Ceteris paribus führen beide Betrachtungsweisen zu einer Veränderung der verbliebenen Variablen. Gegenüber Variante 1 liegt zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke in Variante 2 ein nahezu linearer Zusammenhang vor. Darüber hinaus verliert die Variable V_{zul} geringfügig an Wirkung, zeigt aber einen deutlichen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit. Der deutlich niedrigere Koeffizient für die Variablenkombination Hügeligkeit und Kurvigkeit gründet sich auf der Multiplikation beider Variablen. Die Korrelation zwischen beiden Variablen mit einem Korrelationskoeffizient von $r = 0,45$ ist modelltheoretisch noch als unkritisch anzusehen. Der Erklärungsanteil der systematischen Varianz variiert zwischen 68 % (Variante 1) und 57 % (Variante 2). Anhand des Akaike-Informationskriteriums (AIC) unterscheiden sich beide Varianten des Modells U(P) hinsichtlich ihrer Güte jedoch nur marginal.

Für U(SS) ist ein deutlich degressiver Verlauf für die Unfallhäufigkeit – diese kommt einer Wurzelfunktion nahe – in Abhängigkeit der Verkehrsstärke festzustellen. Dabei weist die Expositionsgröße DTV nur ein befriedigendes Signifikanzniveau auf. Beide Modelle sind aufgrund einer getrennten Residuenanalyse nicht direkt miteinander vergleichbar. In Variante 1 liegt ein weiterer Fallausschluss vor. Gleichmaßen wie bei den U(P) wird mit der fehlenden Beschränkung der V_{zul} eine höhere Unfallhäufigkeit erklärt. Daraus resultiert für höhere V_{zul} eine Zunahme der U(P,SS).

Teilmodell	U(P)				U(SS)			
	Variante 1 (HK oder KU)		Variante 2 (HK*KU)		Variante 1 (HK oder KU)		Variante 2 (HK*KU)	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-9,499	****	-10,469	****	-7,096	**	-6,569	*
ln (DTV _{Ri})	0,806	****	0,948	****	0,533	0,059	0,495	0,07
HK	0,320	****	–	–	–	–	–	–
KU	–	–	–	–	0,062	***	–	–
HK*KU	–	–	0,008	*			0,022	****
V _{zul} (freigegeben)	0,428	**	0,319	*	0,277	0,083	0,54	***
AIC	304		310		260		277	
Varianz ²	1,372		1,507		1,011		1,201	
Varianz Nullmodell ²	2,166				1,644		1,852	

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

Tab. 30: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Modelle für Q 28

Bei separater Betrachtung der Lage- und Höhenplangrößen ergibt sich für das Modell bei Verwendung der Kurvigkeit eine bessere Güte. Die Kombination beider Variablen hat ebenfalls eine hohe Modellgüte zur Folge.

Weitere signifikant erklärende Variablen sind anhand des Kollektivs nicht abzuleiten. Der hohe Erklärungsanteil der Varianz ist eher Indiz für eine geringe Fallzahl im Kollektiv als für eine Identifikation aller einflussnehmenden Merkmale. Es ist anzunehmen, dass bei größerem Kollektivumfang weitere Merkmale extrahiert werden können.

Q 31

Mit den berücksichtigten 442 Fällen stellt der Q 31 das größte Kollektiv der Strecken auf Autobahnen (Tabelle 31). Für U(P) und U(SS) liegt eine getrennte Bewertung der Lage- und Höhengrößen vor. Bei einer Einzelbetrachtung zeigt sich ähnlich dem Q 28, dass die Streuung der U(P) besser durch die Variable Hügeligkeit, die U(SS) mit der Variable Kurvigkeit erklärt wird. Beide Variablen weisen mit $r = 0,6$ im Kollektiv eine signifikante Korrelation auf.

Die beiden Varianten des Modells U(P) sind durch einen leicht degressiven Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke gekennzeichnet. Neben den (Höhen- und) Lageplangrößen stellt das Merkmal „Ballungsraum“ die einzig weitere erklärende Variable dar. Mutmaßlich

repräsentiert diese Größe ein verändertes Fahrverhalten – und damit ein höheres Geschwindigkeitsniveau – für Bereiche außerhalb von Ballungsräumen. Diese weisen eine höhere Unfallhäufigkeit auf.

Variante 2 weist gegenüber Variante 1 eine höhere Modellgüte für U(P) – geringere Reststreuung und AIC – auf.

Weitaus mehr auf die Unfallhäufigkeit einflussnehmende Variable liegen in den Varianten des Modells U(SS) vor. Der Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke entspricht im Verlauf annähernd denen der U(P). Der Vergleich der Variablen „V_{zul}“ und „Ballungsraum“ – beides kategoriale Variablen ohne Korrelation miteinander – zeigt, dass letztgenannte Größe gegenüber der V_{zul} einen deutliche höheren Einfluss auf die Unfallhäufigkeit der U(SS).

Daraus resultiert die Annahme, dass die Veränderung des allgemeinen Fahrverhaltens in Bereichen außerhalb von Ballungsräumen eine höhere Wirkung auf die Unfallhäufigkeit besitzt, als dass eine Veränderung allein auf die Beschränkung der V_{zul} zurückzuführen wäre. Ebenfalls ein geringerer Sicherheitsgrad liegt auf Strecken mit Seitenstreifenbreiten SSB < 2,25 m vor.

Die ermittelte Breite beruht auf einem iterativen Prozess, bei dem eine Kategorisierung des stetigen Merkmals und die Prüfung des Erklärungsan-

Teilmodell	U(P)				U(SS)			
	Variante 1 (HK oder KU)		Variante 2 HK*KU)		Variante 1 (HK oder KU)		Variante 2 HK*KU)	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-10,634	****	-10,304	****	-11,323	****	-11,176	****
ln (DTV _{Ri})	0,944	****	0,915	****	0,905	****	0,896	****
HK	0,127	**	–	–	–	–	–	–
KU	–	–	–	–	0,013	0,058	–	–
HK*KU	–	–	0,005	***	–	–	0,006	**
BR (außerhalb)	0,381	*	0,404	**	1,112	****	1,077	****
V _{zul} (freigegeben)	–	–	–	–	0,411	****	0,435	****
SSB (< 2,25 m)	–	–	–	–	0,331	*	0,269	0,064
ESZ	–	–	–	–	4,127	*	4,802	**
AIC	1.711		1.700		1.779		1.773	
Varianz ²	1,389		1,383		2,137		2,109	
Varianz Nullmodell ²	2,068				3,375			

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

Tab. 31: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Modelle für Q 31

teils im Modell erfolgte. Die berechnete Breite erscheint plausibel, da Pannenfahrzeuge bei größeren Breiten ohne wesentliche Behinderung des fließenden Verkehrs auf dem befestigten Seitenstreifen abgestellt werden können. Bei dem Merkmal ESZ handelt es sich um eine stetige Variable, bei der der Streckenanteil mit vorhandenem Defizit mit dem Regressionskoeffizienten multipliziert wird.

In beiden Modellvarianten gelingt eine Erklärung von etwa 53 % der systematischen Streuung, wobei für Variante 2 tendenziell eine höhere Modellgüte zu verzeichnen ist.

Modell U(LS) 2 FS

Aus Tabelle 32 sind die Variablen und Regressionskoeffizienten für die beiden Varianten des Modells U(LS) 2 FS – 212 Fälle für U(P, SS) liegen vor – zu entnehmen. Ursache der getrennten Betrachtung bildet das fehlende Vorhandensein des Q 28 innerhalb von Ballungsräumen. In Variante 1 stellen die Merkmale „Ballungsraum“ sowie „Querschnitt (Q 28)“ als dichotome Variablen den Inhalt des Modells dar. Variante 2 umfasst eine Zusammenfassung beider Merkmale in einer kategorialen Variablen mit folgenden Ausprägungen:

- Q 31 außerhalb von Ballungsräumen,
- Q 31 innerhalb von Ballungsräumen und
- Q 28.

Variante 1 erlaubt modelltheoretisch die Ermittlung der Unfallhäufigkeit für den Q 28 innerhalb von Ballungsräumen obwohl diese Beobachtungswerte fehlen. Die Wirkungsquantifizierung resultiert ausschließlich aus dem Teilkollektiv des Q 31. Die Variablendefinition in Variante 2 entspricht daher eher den Beobachtungswerten. Beide Modellvarianten erklären unter Hinzunehmen der Zuschläge eine nahezu identische Unfallhäufigkeit. Das zeigen u. a. die erklärte Varianz und das AIC. Die Höhe der Regressionskoeffizienten der Konstante als auch des DTV ist identisch. Die Größenordnung der Variable „Ballungsraum“ in Variante 1 entspricht in Variante 2 exakt dem der Variable „Q 31 außerhalb von Ballungsräumen“. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen entspricht auch die Verknüpfung der Zuschläge „Q 28“ und Lage „außerhalb von Ballungsräumen“ in Variante 1 nahezu dem Regressionskoeffizienten für den Zuschlag „Q 28“ in Variante 2. Ursache ist die Unabhängigkeit der Variablen Querschnitt und Ballungsraum.

Teilmodell	U(LS)		U(LS)	
	Variante 1		Variante 2	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-5,576	****	-5,576	****
ln (DTV _{RI})	0,598	****	0,598	****
Q 28	0,539	****	–	–
BR (außerhalb)	0,697	****	–	–
SSB (< 2,25 m)	0,369	***	0,369	***
RSB (< 0,50 m)	0,230	*	0,230	*
Q 28	–	–	1,237	****
Q 31 außerhalb BR	–	–	0,697	****
AIC	1.484		1.484	
Varianz ²	3,156		3,156	
Varianz Nullmodell ²	7,223			
¹ Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung Wald-Test der Koeffizienten * < 0,5, ** < 0,01, *** < 0,001, **** < 0,0001 ² Varianz der Modelle beruhen auf der Berechnung mit Poisson-Verteilung				

Tab. 32: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Modell U(LS) 2 FS

Aus der Randbedingung, dass nur geringe Differenzen zwischen den Entwurfparametern des Q 28 und Q 31 vorliegen, erscheint ein ähnliches Fahrverhalten auf beiden Querschnitten naheliegend. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass Q 28 innerhalb von Ballungsräumen gegenüber ihrem Pendant außerhalb von Ballungsräumen einen höheren Sicherheitsgrad aufweisen. Daher wird im weiteren Verlauf die Variante 1 als maßgebend angesehen.

Weitere Einflussgrößen stellen die Seitenstreifenbreite und die Randstreifenbreite – entspricht dem linken Fahrbahnrand – dar. Erstgenannte besitzt von beiden eine höhere Wirkung auf die Unfallhäufigkeit.

Q 3/4 FS

Die Kollektive beinhalten eine gemeinsame Bewertung drei- und vierstreifiger Querschnitte. Von 381 bewerteten Fällen sind 20 dem Q 43,5 zugeordnet. Für alle Modelle liegt ein degressiver Verlauf der Unfallhäufigkeit über der Verkehrsstärke vor. Der relative Kurvenverlauf (Anstieg) ist dabei unabhängig der Schwereklasse (Tabelle 33 und Tabelle 34).

Die Korrelation zwischen Kurvigkeit und Hügeligkeit fällt auf geringem Niveau ($r = 0,3$) signifikant aus.

Für U(P) wird ein Unterschied im Sicherheitsniveau beider Querschnitte nur aus Variante 1 deutlich. Für diese Betrachtungsweise zeigt der Q 43,5 eine höhere Unfallhäufigkeit auf. Aufgrund des geringen Signifikanzniveaus ist diese Differenzierung labil. In Variante 2 ist kein Unterschied im Sicherheitsniveau nachweisbar. Gleichmaßen entfällt das Merkmal ESZ. Schmale Seitenstreifenbreiten treten im Kollektiv sehr selten auf. Es ergibt sich ein signifikanter Unterschied für SSB < 2,00 m. Dies bestätigt die Erkenntnisse aus dem Kollektiv des Q 31, obgleich dort nur ein Einfluss auf die U(SS) vorliegt. Beide Modellvarianten unterscheiden sich hinsichtlich der Güte nur sehr gering.

Für U(P) liegt der Erklärungsanteil beider Modellvarianten bei rund 50 %. Die Modellvarianten für U(SS) erreichen mit 48 % ein etwa gleiches Niveau.

Ähnlich dem Q 31 tragen auch für diese Schwereklasse mehr Variablen zur Erklärung der Unfallhäufigkeit bei. Die kategorialen Variablen Ballungsraum, V_{zul} und SSB besitzen eine sehr ähnliche Größenordnung. Der Einfluss von ESZ fällt gegenüber dem Q 31 etwas geringer aus. Die Ausprägung des Merkmals RSB – befestigter linker Fahrbahnrand inklusive Fahrstreifenmarkierung – ist aus praktischer Sicht auf die Auffälligkeit von Breiten größer 0,75 m zu begrenzen. RSB < 0,25 m treten sehr selten auf und sind mutmaßlich auf

Teilmodell	U(P)				U(SS)			
	Variante 1 (HK oder KU)		Variante 2 (HK*KU)		Variante 1 (HK oder KU)		Variante 2 (HK*KU)	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-7,551	****	-8,270	****	-8,676	****	-8,370	****
ln (DTV _{Ri})	0,695	****	0,772	****	0,715	****	0,706	****
HK	0,089	*	–	–	–	–	–	–
KU	–	–	–	–	0,026	****	–	–
HK*KU	–	–	0,005	*	–	–	0,019	****
SSB (< 2,00 m)	0,437	*	0,383	*	–	–	–	–
Q 43,5	0,174	0,201	–	–	–	–	–	–
ESZ	1,222	0,088	–	–	3,144	*	3,109	*
BR (außerhalb)	–	–	–	–	0,243	**	0,204	*
V _{zul} (freigegeben)	–	–	–	–	0,217	**	0,220	**
RSB (< 0,25 m oder > 0,75 m)	–	–	–	–	0,221	***	0,247	**
AIC	1,778		1,779		1,845		1,850	
Varianz ²	1,821		1,859		2,270		2,317	
Varianz Nullmodell ²	2,697				3,457			
¹ Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung Wald-Test der Koeffizienten * < 0,5, ** < 0,01, *** < 0,001, **** < 0,0001 ² Varianz der Modelle beruhen auf der Berechnung mit Poisson-Verteilung								

Tab. 33: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Q 3/4 FS für Modelle U(P) und U(SS)

Teilmodell	U(LS)		U(LS)	
	Variante 1 (HK oder KU)		Variante 2 (HK*KU)	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-5,902	****	-6,176	****
ln (DTV _{Ri})	0,681	****	0,713	****
HK	0,125	****	–	–
HK*KU	–	–	0,008	**
Q 43,5	- 0,413	****	- 0,436	****
SVA (> 15 %)	0,285	**	0,322	**
AIC	1,025		1,033	
Varianz ²	2,712		3,049	
Varianz Nullmodell ²	4,200			
¹ Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung Wald-Test der Koeffizienten * < 0,5, ** < 0,01, *** < 0,001, **** < 0,0001 ² Varianz der Modelle beruhen auf der Berechnung mit Poisson-Verteilung				

Tab. 34: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Q 3/4 FS für Modell U(LS)

fehlerhafte Daten in den SIB zurückzuführen. RSB über 0,75 m treten häufig auf, rund 45 % der betrachteten Strecken sind durch diese Ausprägung gekennzeichnet (Bild 24).

Die Erklärungsgüte der Variante 1 mit Poisson-Verteilung ist für U(LS) mit 48 % gegenüber 38 % in der Variante 2 höher. Dies spiegelt sich auch im geringen AIC bei der Betrachtung der Modellbildung auf Basis der negativen Binomialverteilung wider.

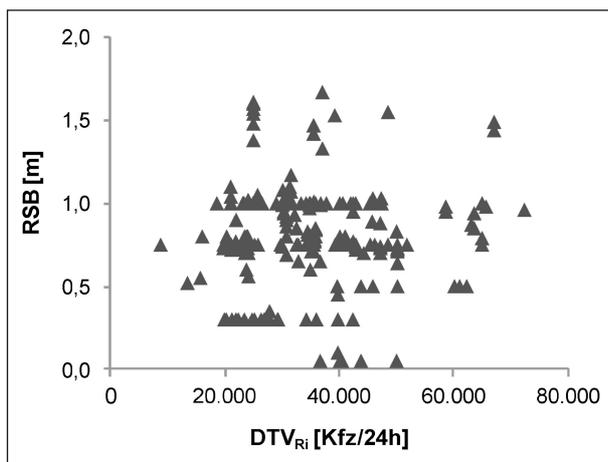


Bild 24: Verteilung der Randstreifenbreiten im Kollektiv Q 3/4 FS

Für Variante 1 trägt die Hügeligkeit zu einer höheren Erklärung der Varianz bei. Auffällig ist, dass der Q 43,5 gegenüber dem Q 36 eine deutlich niedrigere Unfallhäufigkeit aufzeigt. Aufgrund der übergreifenden Merkmalstruktur – vgl. auch Modell U(P) – weist diese Variable einen negativen Koeffizienten auf. Weiterhin wird durch die Modelle für Strecken mit einem Schwerverkehrsanteil (SVA) über 15 % eine Zunahme der U(LS) erklärt.

Aus den nach der Querschnittsauswahl differenzierten Modellen sind folgende Sachverhalte festzuhalten:

- Der Vergleich der Varianten zur Berücksichtigung der Lage- und Höhenplangrößen (Kurvigkeit und Hügeligkeit) zeigt je nach Bewertungsfall und Unfallschwere unterschiedliche Tendenzen. Ein einheitlicher Trend zur besseren Erklärung des Unfallgeschehens ist mit keiner der beiden Varianten zu erzielen.
- Insgesamt ist für Variante 1 festzustellen, dass U(P) unabhängig des Querschnitts deutlicher mit der Variable Hügeligkeit, U(SS) mit der Variable Kurvigkeit erklärt werden. Darüber hinaus zeigt nur Variante 1 einen Unterschied in der Unfallhäufigkeit für U(P) zwischen drei- und vierstreifigen Querschnitten – wenn auch auf schwachem Signifikanzniveau – auf.
- Da anhand innerer Korrelationen nicht eindeutig festzulegen ist, ob Kurvigkeit oder Längsneigung bzw. Hügeligkeit zur Erklärung des Unfallgeschehens beitragen, bietet Variante 2 einen möglichen Lösungsansatz. Diese ist jedoch durch das Auftreten des Null-Falls bei einer von beiden Variablen – keine Kurvigkeit oder Hügeligkeit – limitiert.

- Der Identifikation von Einflussgrößen auf die Unfallhäufigkeit der U(LS) liegt für den Q 28 und den Q 31 ein gemeinsames Modell zugrunde. Die volkswirtschaftliche Bewertung der Sicherheit erfolgt auf Basis des Grundniveaus für beide Querschnitte getrennt.

Festlegung der $gUKR_{\bar{A}}$

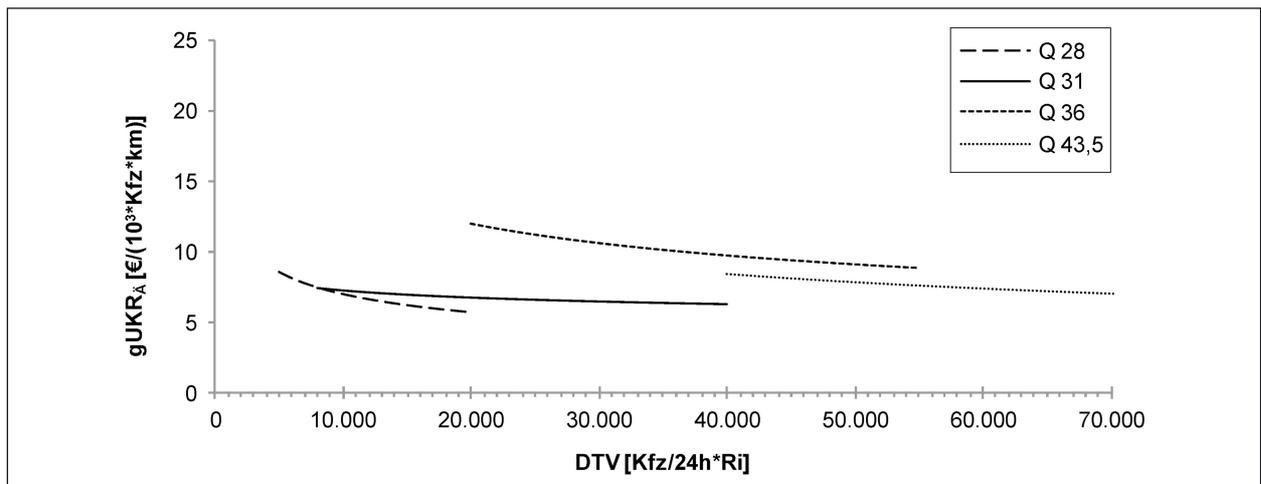
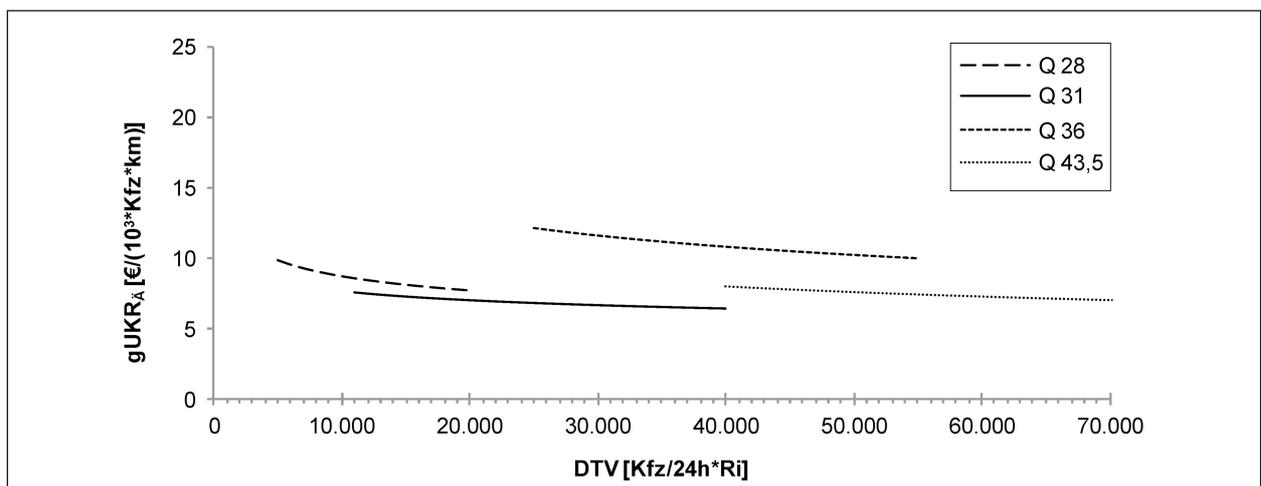
Beide dargestellten Modellvarianten weisen Vor- und Nachteile auf. Vor dem Hintergrund einer einheitlichen und konsistenten Bewertung bietet Variante 2 aufgrund der konstanten Integration der Merkmale Hügeligkeit und Kurvigkeit einen entscheidenden Vorteil. Daher erfolgt für Variante 2 als Vorzugsvariante eine detailliertere Ergebnisdarstellung und Anpassung der $gUKR_{\bar{A}}$. Wesentliche Erkenntnisse werden auch für Variante 1 dokumentiert.

Der Verlauf der $gUKR_{\bar{A}}$ über die betrachteten Verkehrsstärken ist für Variante 1 dem Bild 25, für Variante 2 dem Bild 26 zu entnehmen.

Variante 1 zeichnet sich durch eine niedrigere $gUKR_{\bar{A}}$ für den Q 28 sowie eine geringere Differenz zwischen dem Q 36 und dem Q 43,5 aus. Da für beide letztgenannten Querschnitte gemeinsame Modellkollektive zugrunde liegen, verlaufen die Kurven beider Querschnitte im gleichen Verhältnis zueinander. Da für Variante 2 eine Differenzierung zwischen dem Q 36 und dem Q 43,5 für U(P) nicht erfolgt, weist der vierstreifige Querschnitt aufgrund des geringen $KS_{a,U(P)}$ und einer niedrigeren UR(LS) ein gegenüber dem Q 36 noch höheres Verkehrssicherheitsniveau auf.

Die Ermittlung der $gUKR_{\bar{A}}$ auf Basis zweier Varianten zeigt für den Q 28 die deutlichsten Unterschiede. Während für Variante 1 gilt, dass der Q 28 einen deutlich regressiven Verlauf der $gUKR_{\bar{A}}$ aufweist und nur im Bereich sehr geringer Verkehrsstärken ein höheres Niveau als der Q 31 besitzt, so zeigt sich in Variante 2, dass die $gUKR_{\bar{A}}$ des Q 28 im gesamten beobachteten Verkehrsstärkebereich über dem Niveau des Q 31 liegt und der Kurvenverlauf sich im Gesamtbild harmonischer einbindet. Aus sachlogischer Sicht erscheint der Kurvenverlauf in Variante 2 besser geeignet, um das Sicherheitsniveau der Querschnitte zueinander zu beschreiben.

Bei der Betrachtung der $gUKR_{\bar{A}}$ ist zu berücksichtigen, dass prägende Merkmale der Bestandsstrecken, wie „ V_{zul} = freigegeben“ oder „Abschnitt

Bild 25: $g_{UKR_{\bar{A}}}$ für freie Strecken von Autobahnen (Variante 1)Bild 26: $g_{UKR_{\bar{A}}}$ für freie Strecken von Autobahnen (Variante 2)

außerhalb von Ballungsräumen“, nicht mit einfließen. Insbesondere für zweistreifige Querschnitte ist die UKR deutlich von der Ausprägung dieser Merkmale geprägt.

Auch für freie Strecken von Autobahnen folgt die Festlegung von fixen $g_{UKR_{\bar{A},F}}$ dem Gedanken, einem späteren HVS-Verfahren eine praktikable und einheitliche Methodik zur Verfügung zu stellen. Die gegenüber den freien Strecken von Landstraßen weniger fallend verlaufenden $g_{UKR_{\bar{A}}}$ in Variante 2 lassen eine Abstufung der $g_{UKR_{\bar{A},F}}$ rein auf dem Kurvenverlauf verzichtbar erscheinen. Die Festlegung der $g_{UKR_{\bar{A},F}}$ in Tabelle 35 beruht daher in Anlehnung an die Abgrenzung der Einsatzbereiche der Regelquerschnitte gemäß den RAA (FGSV 2008).

Der Q 28 stellt als autobahnähnlicher Querschnitt das Bindeglied zwischen dem Landstraßenquer-

Querschnitt	Anzahl FS	Faktoren k_{UKR}	DTV-Bereich [Tsd. Kfz/24h und Ri]		
			f_{UKR}	von	bis
Variante 1					
Q 28	2	95	-0,283	8	22
Q 31	2	20	-0,111	3	43
Q 36	3	249	-0,306	13	65
Q 43,5	4	212	-0,305	34	72
Variante 2					
Q 28	2	32	-0,173	8	22
Q 31	2	26	-0,131	3	43
Q 36	3	137	-0,240	13	65
Q 43,5	4	102	-0,241	34	72

Tab. 35: Parameter für stetige $g_{UKR_{\bar{A}}}$ -Funktionen der Querschnitte der freien Strecke von Autobahnen (beobachteter DTV-Bereich)

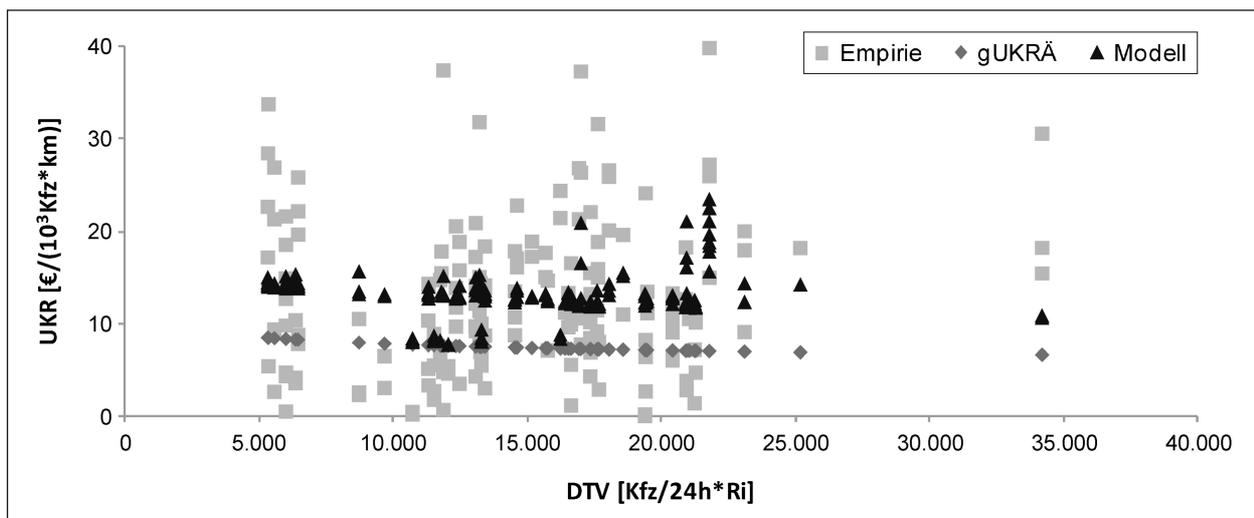


Bild 27: Vergleich von beobachteter und berechneter UKR für den Q 31 sowie $gUKR_{\bar{A}}$ für Bundesländer Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt (Variante 2)

schnitt Q 21 – für hochbelastete Strecken – und den reinen Autobahnquerschnitten dar. Aus dem Einsatzbereich des Q 28 bis zu einer Verkehrsstärke von 15.000 Kfz/24h und Richtung leitet sich die erste Abstufung der $gUKR_{\bar{A},F}$ ab. Der Kern-einsatzbereich des Q 31 beginnt bereits bei geringeren Verkehrsstärken. Da ab etwa 30.000 Kfz/24h und Richtung der Einsatz des dreistreifigen Q 36 vorgesehen ist, stellt diese Größenordnung ebenfalls eine Stufe dar. Die letzte Stufe markiert den Übergang zum Einsatz des Q 43,5.

Mit der Gegenüberstellung beobachteter und berechneter UKR am Beispiel des Q 31 in Bild 27 lassen sich die Zuschläge und das Niveau der $gUKR_{\bar{A}}$ interpretieren. Die beobachteten Werte weisen eine breite Streuung auf, wobei sich die Werte in einem Bereich von 5 $\text{€}/(10^6 \text{ Kfz} \cdot \text{km})$ bis 15 $\text{€}/(10^6 \text{ Kfz} \cdot \text{km})$ konzentrieren. Die $gUKR_{\bar{A}}$ nimmt mit zunehmender Verkehrsstärke ab. Das Niveau der $gUKR_{\bar{A}}$ spiegelt die mittlere Verkehrssicherheit aller Strecken unter Vernachlässigung weiterer Zuschläge wider. Da im Duktus des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) nur Zuschläge berücksichtigt werden, liegen alle mit den Kenngrößen des Modells berechneten UKR des Q 31 auf dem Niveau der $gUKR_{\bar{A}}$ oder höher. Der deutliche Versatz des überwiegenden Teils der Werte gegenüber der $gUKR_{\bar{A}}$ ist auf den Zuschlag „Lage außerhalb von Ballungsraum“ zurückzuführen. Es wird deutlich, dass die Spannbreite der berechneten im Vergleich zu den beobachteten Werten sehr viel geringer ausfällt. Dies gründet sich auf dem mathematischen Zusammenhang des Modells, welches auf Basis der Gesamtheit des

DTV [Tsd. Kfz/24h*Ri]		$gUKR_{\bar{A},F}$ [€/(1.000 Kfz · km)]			
von	bis	Q 28	Q 31	Q 36	Q 43,5
-	≤ 15	9	8*	-	-
> 15	≤ 30	8*	7	-	-
> 30	≤ 50	-	7*	11	8*
> 50	-	-	-	10*	7

* Einsatzgrenzen nach den RAA (FGSV, 2008)

Tab. 36: $gUKR_{\bar{A},F}$ für freie Strecken von Autobahnen in Abhängigkeit von DTV und Querschnitt (Variante 2)

Kollektivs den mittleren Einfluss der Variablen auf das Unfallgeschehen erklärt. Extreme als auch sehr geringe UKR sind nolens volens nicht darstellbar. Es wird immer die mittlere zu erwartende Wirkung eines Zuschlags beschrieben.

Die $gUKR_{\bar{A},F}$ in Tabelle 36 verdeutlichen den nahezu linearen Zusammenhang zwischen $gUKR_{\bar{A}}$ und Verkehrsstärke. Das Niveau des Q 28 liegt entsprechend über dem Q 31, dessen $gUKR_{\bar{A},F}$ im Bereich hoher Verkehrsstärken unverändert bleibt. Eine ähnliche Größenordnung, aber aufgrund der viel höheren Verkehrsstärken nicht miteinander vergleichbar, weist der Q 43,5 auf. Die höchste $gUKR_{\bar{A},F}$ zeigt der Q 36 auf.

Einflussbereiche

Einflussbereiche umfassen formal den vor Beginn des Ausfahrbereichs stromaufwärts liegenden Abschnitt mit einer Länge von $L = 500 \text{ m}$ und den

sich an das Ende des Einfahrbereichs stromabwärts anschließenden 300 m langen Abschnitt. Da aus pragmatischen Gründen das Unfallgeschehen jeweils 25 m vor/nach Beginn/Ende des Aus- bzw. Einfahrbereichs dem Knotenpunktbereich zugeordnet ist, verschiebt sich der Einflussbereich um jeweils 25 m in die angrenzenden Abschnitte. Da die Bereiche zwischen Aus- und Einfahrbereich – entsprechend den Zwischenbereichen – nicht den Knotenpunkten zugeordnet sind, erfolgt deren Bewertung ebenfalls nach den Kriterien der Einflussbereiche. Sie weisen eine mittlere Länge von etwa $L = 125$ m, maximal aber von $L = 500$ m auf.

Aus den längengewichteten UKR der Einzelelemente lässt sich die Unfallkostenrate des Netzabschnitts UKR_{NE} ermitteln. Die Vorgehensweise entspricht der in Kapitel 4.3.1 beschriebenen netzabschnittsbezogenen Bewertung auf Grundlage elementbezogener Abminderungsfaktoren (A_F) (vgl. dort Gleichung 14). Auch bei Strecken von Autobahnen kommen die klassifizierten Netzknoten als mögliche Grenzen der Bewertung in Frage. Elemente des Knotenpunkts sind dabei nicht Bestandteil der Streckenbewertung (Bild 28).

Folgende Elemente sind Bestandteil der richtungsgetreuen Netzabschnittsbetrachtung:

- Einflussbereich hinter Einfahrt,
- freie Strecke und
- Einflussbereich vor Ausfahrt sowie
- Zwischenbereich (gegebenenfalls zweimal).

Die Lage und Grundform der Anschlussknotenpunkte entscheiden, ob und mit welcher Länge die Einzelelemente für eine Netzabschnittsbewertung eingebunden werden. Endet die Bewertung eines Netzabschnitts an einem Netzknoten und reicht ein

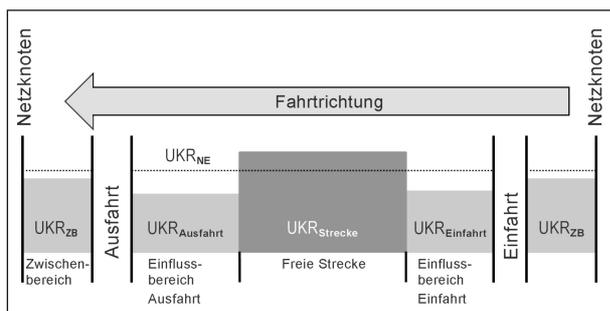


Bild 28: Zusammenhang zwischen UKR_{NE} und den UKR der Teilelemente eines Netzabschnitts für eine Richtungsfahrbahn einer Autobahn

Einfluss- oder Zwischenbereich über den Netzknoten hinaus, wird dieser anteilig mit seiner Länge in der Gesamtbewertung nach Gleichung 14 (vgl. hierzu Kapitel 4.1.3) berücksichtigt. Da i. d. R. die Verkehrsstärke der Anschlussstellen als auch der Hauptfahrbahn nur eine mit Einflüssen behaftete prognostizierte Größe darstellt, erscheint eine differenzierte Betrachtung des DTV für die Zwischenbereiche nicht praktikabel. Daher ist bei der Ermittlung der UKR_{NE} eines Netzabschnitts für alle Teilbereiche die Verkehrsstärke der freien Strecke des betrachteten Netzabschnitts anzusetzen. Dies gilt insbesondere für Zwischenbereiche die sich u. U. über zwei Netzabschnitte erstrecken.

Aufgrund des Kollektivumfangs wurden lediglich Einflussbereiche für Ein- und Ausfahrbereiche des Typ E1 bzw. A1 nach den RAA (FGSV, 2008) betrachtet. Prinzipiell ist zu vermuten, dass die Höhe des Einflusses auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden Strecke für Anschlussstellen nur geringfügig vom Typ der Ein- bzw. Ausfahrbereiche geprägt wird. Daher gilt die Annahme, dass die ermittelten A_F für alle Anschlussstellentypen als repräsentativ gelten. Ausnahme bilden Autobahnkreuze und -dreiecke. Neben einer bereits früher erfolgenden Zielführung im Zulauf der Knotenpunkte, unterscheiden sich diese gegenüber den Anschlussstellen i. d. R. durch wesentlich höhere Abbiegeranteile. Diesbezüglich besteht weiterer Forschungsbedarf.

Um den Einfluss kurzer Abfolgen von Anschlussstellen auf das Fahrverhalten und damit die Verkehrssicherheit zu minimieren, sind in der Berechnung lediglich Einflussbereiche auf Strecken mit einer Mindestlänge von $L \geq 2,0$ km enthalten. Für die Bewertungsfälle (Querschnitte) getrennt, errechnet sich der A_F aus dem Quotienten der UKR des Einflussbereichs und der mittleren UKR der freien Strecke nach Gleichung 16:

$$A_{F,i} = \frac{\sum UKR_{EB,i}}{\sum UKR_{fS}} \quad \text{Gl. 16}$$

mit

$A_{F,i}$ Abminderungsfaktor des Einflussbereichs i

$UKR_{EB,i}$ Unfallkostenrate des Einflussbereichs i [€/ (1.000 Kfz · km)]

UKR_{fS} Unfallkostenrate der freien Strecke [€/ (1.000 Kfz · km)]

Als Randbedingung gilt dabei, dass die Merkmale der freien Strecke in ihrer Wirkung verhältnismäßig unverändert bleiben.

Für das Unfallgeschehen der Einflussbereiche liegen separate nach Querschnitt getrennte $KS_{a,U(P)}$ vor (Tabelle 37). Einzig der $KS_{a,U(P)}$ des Q 28 weist gegenüber der freien Strecke ein deutlich höhere Größenordnung auf. Da dieses Kollektiv die Mindestanzahl an U(P) für eine Anpassung geringfügig unterschreitet, ist die Aussagekraft eingeschränkt. Es erfolgt die Berechnung eines gemeinsamen $KS_{a,U(P)}$ für zweistreifige Querschnitte und eine eigene Darstellung dieses Kollektivs. Der $KS_{a,U(P)}$ für zweistreifige Abschnitte der freien Strecke beträgt 140.765 €.

Die ermittelten UKR und A_F für Einfluss- und Zwischenbereiche an Autobahnen sind in Tabelle 38 angegeben.

Unfallkostensätze [€]				
Kategorie	Q 28	Q 31	Q 36	Q 2 FS
$KS_{a,U(P)}$	137.819 n = 91	139.649 n = 198	143.447 n = 302	139.108 n = 289
	139.108			
$KS_{s,U(SS)}$	24.130			
$KS_{s,U(LS)}$	4.950			

Tab. 37: Verwendete Unfallkostensätze für Einflussbereiche von Autobahnen nach Querschnitten

Die auf ein Zwanzigstel gerundeten A_F in Tabelle 39 (auf Basis der Ergebnisse in Tabelle 37) offenbaren Unterschiede zwischen den verschiedenen Bereichen. Weniger der Querschnitt der Strecke, sondern die angrenzenden Netzelemente zeichnen für die Höhe der A_F verantwortlich. Für Q 43,5 liegen keine infrage kommenden Anschlussstellen vor. Die Querschnitte Q 28 und Q 31 liegen nochmals im Kollektiv „Q 2 FS“ zusammengefasst vor.

Einen deutlichen positiven Einfluss – unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die ersten 25 m Strecke nicht Bestandteil des Einflussbereiches sind – besitzen Ausfahrbereiche auf den stromaufwärts liegenden Teil der Strecken. Unabhängig ob zwei oder drei Fahrstreifen auf der Hauptfahrbahn fällt der Einfluss für die verschiedenen Querschnitte ähnlich aus. Die deutlich höhere Wirkung für den Q 28 ist aufgrund der geringen Kollektivgröße nicht abgesichert.

Die Veränderung des Sicherheitsniveaus im Bereich zwischen Aus- und Einfahrbereich ist über alle Querschnitte gering. Aus pragmatischer Sicht kann im Rahmen der möglichen HVS-Anwendung der A_F dieser Zwischenbereiche auch den Freien Strecken gleich gesetzt werden.

Während für den Q 31 und den Q 36 die Wirkung des Einflussbereichs der Einfahrten auf der stromabwärts liegenden Strecke eine ähnliche Größenordnung wie bei den Ausfahrbereichen annimmt,

Quer-schnitt	Anzahl Abschnitte			UKR [€/ (1.000 Kfz · km)]				Abminderungsfaktor A_F [-]		
	Einfluss-bereiche	Zwischen-bereich	freie Strecke	Einfahr-bereich	Ausfahr-bereich	Zwischen-bereich	freie Strecke	Einfahr-bereich	Ausfahr-bereich	Zwischen-bereich
Q 28	70	22	82	11,8	8,5	11,4	12,6	0,94	0,68	0,91
Q 31	269	118	452	10,8	9,5	13,1	13,6	0,78	0,85	0,97
Q 36	193	82	361	10,5	10,7	13,9	13,7	0,87	0,87	1,02
Q 2 FS	339	140	534	11,0	9,4	12,8	13,6	0,79	0,80	0,94

Tab. 38: UKR und A_F für Einfluss- und Zwischenbereiche an Autobahnen

Querschnitt	stromaufwärts gelegener Einflussbereich für Ausfahrten		Bereich zwischen Ein- und Ausfahrten		stromabwärts gelegener Einflussbereich für Einfahrten	
	A_F [-]	Länge [m]	A_F [-]	Länge [m]	A_F [-]	Länge [m]
Q 28	0,70	500	0,90	variabel (< 500) (Ø 125)	0,95	300
Q 31	0,85		0,95			
Q 36	0,85		1,00			
Q 2 FS	0,80		0,95			

Tab. 39: Vorschlag für A_F für Einfluss- und Zwischenbereiche an Autobahnen für Anwendung im HVS

ist für den Q 28 ein Sicherheitsniveau nahe der freien Strecke zu verzeichnen. Wie bereits erwähnt, ist das Kollektiv des Q 28 mit 37 Aus- und 33 Einfahrbereichen relativ gering besetzt und daher in der Aussagekraft eingeschränkt. Es gilt die Annahme, dass die Wirkung ähnlich dem Q 31 ausfällt und das Kollektiv „Q 2 FS“ sowohl für den Q 28 als auch den Q 31 verwendet werden kann.

Es wird deutlich, dass Anschlussstellen unabhängig des Streckenquerschnitts auf die stromaufwärts und stromabwärts liegende Strecke einen positiven bis neutralen Einfluss auf die Verkehrssicherheit besitzen. Diese Erkenntnis lässt jedoch keine Aussage darüber zu, wie eine Anschlussstelle als solche das Unfallgeschehen eines Autobahnabschnitts beeinflusst, da bisher nur die Bereiche vor und hinter der Aus- bzw. Einfahrt, nicht aber der Knotenpunkt als solches betrachtet wurde.

Die Aussage besitzt für Aus- und Einfahrten des Typs A1 bzw. E1 an zwei- und dreistreifigen Querschnitten Gültigkeit. Für den Q 43,5 ist zu vermuten, dass das Niveau ähnlich dem des Q 36 liegt.

Es ist bekannt, dass kurze Knotenpunktabstände ($L < 1,1$ km) einen veränderten Verkehrsablauf zur Folge haben (BETZ, 2008). Da Fahrverhalten und Geschwindigkeitswahl in engen Zusammenhang mit der Unfallzahl und -schwere stehen, gilt die Vermutung, dass die Verkehrssicherheit durch ein gegenüber der freien Strecke geringeres Geschwindigkeitsniveau positiv beeinflusst wird. Daraus folgt: Verbleibt zwischen zwei Knotenpunkten nach Abzug der Einflussbereiche ein Bereich der freien Strecke mit einer Länge $L < 300$ m, so wird dieser in der Berechnung des $A_{F,NE}$ nicht mit

berücksichtigt. Der $A_{F,NE}$ ermittelt sich aus den längengewichteten A_F der Einflussbereiche (Gleichung 14 in Kapitel 4.3.1). Das Produkt von UKR_{fS} und $A_{F,NE}$ entspricht der UKR_{NE} .

Zuschläge

Zuschläge resultieren aus weiteren erklärenden Variablen, die im Modell über eine Exponentialform (e^β) bzw. ($e^{\beta x}$) berücksichtigt sind. Der A_{UKR} beschreibt die Höhe des Zuschlags als Anteil an der $g_{UKR_{A,F}}$. Grundlage ist die nach Unfallschwere getrennte volkswirtschaftliche Bewertung des zusammengefassten Unfallgeschehens. Für die Modellvarianten 1 und 2 sind die Zuschläge der Querschnitte in Tabelle 40 und Tabelle 41 aufgeführt. Der Darstellung liegt eine Vereinheitlichung der Variablenrandbedingungen für das Merkmal Seitenstreifenbreite zugrunde. Für alle Bewertungsfälle (Querschnitte) gilt, dass Seitenstreifenbreiten kleiner 2,25 m einen Zuschlag zur Folge haben.

Für Variante 1 ist mit zunehmender Querschnittsbreite eine Abnahme der Wirkung von Kurvigkeit und Hügeligkeit auf das Unfallgeschehen, welche vermutlich mit der Änderung der Trassierungsparameter korrespondiert, zu verzeichnen.

Autobahnen der EKA 1A gemäß den RAA (FGSV, 2008) – überwiegend dreistreifige Querschnitte – weisen gegenüber den niedrigeren EKA größere Mindestgrößen der Entwurfs Elemente auf. Ergo ist auch für Variante 2 eine Abnahme des Zuschlag-Grundwerts für die Wechselwirkung beider Variablen für breitere Querschnitte festzustellen. Für Variante 2 ist der Fall, dass nur eine der beiden

Kriterium	Beschreibung des Merkmals	Berechnung A_{UKR} [-]	Höhe GW [-]			
			Q 28	Q 31	Q 36	Q 43,5
Eigenschaften der Strecke	Kurvigkeit [gon/km]	$GW \cdot A$	0,009	0,0007	0,0019	0,0019
	Hügeligkeit [%]	$GW \cdot A$	0,23	0,12	0,10	0,10
	Abschnitt außerhalb von Ballungsraum	GW	0,3	0,6	0,02	0,02
Querschnitt	zu schmaler Seitenstreifen ($B < 2,25$ m)	GW	0,14	0,082	0,45	0,45
	zu schmaler Randstreifen ($B < 0,50$ m)	GW	0,08	0,04	0,02	0,02
	zu breiter Randstreifen ($B > 0,75$ m)	GW	–	–	0,02	0,02
Betrieb	V_{zul} = freigegeben	GW	0,34	0,03	0,02	0,02
	Schwerverkehrsanteil > 15 %	GW	–	–	0,04	0,04
Trassierung	entwässerungsschwache Zonen [Anteil/Abschnitt]	$GW \cdot A$	–	0,4	1,3	1,3

Tab. 40: Höhe der angepassten und originalen Grundwerte (GW) für Querschnitte der freien Strecke von Autobahnen (Variante 1)

Kriterium	Beschreibung des Merkmals	Berechnung $A_{UKR} [-]$	Höhe GW [-]			
			Q 28	Q 31	Q 36	Q 43,5
Eigenschaften der Strecke	Kurvigkeit · Hügeligkeit [gon/km · %]	GW · A	0,01	0,005	0,006	0,0065
	Abschnitt außerhalb von Ballungsraum	GW	0,24	0,6	0,03	0,03
Querschnitt	zu schmaler Seitenstreifen (B < 2,25 m)	GW	0,12	0,08	0,39	0,38
	zu schmaler Randstreifen (B < 0,50 m)	GW	0,07	0,04	0,02	0,03
	zu breiter Randstreifen (B > 0,75 m)	GW	–	–	0,02	0,03
Betrieb	V_{zul} = freigegeben	GW	0,32	0,03	0,02	0,03
	Schwerverkehrsanteil > 15 %	GW	–	–	0,05	0,045
Trassierung	entwässerungsschwache Zonen [Anteil/Abschnitt]	GW · A	–	0,4	0,3	0,4

Tab. 41: Höhe der angepassten und originalen Grundwerte (GW) für Querschnitte der freien Strecke von Autobahnen (Variante 2)

Variablen den Wert Null annimmt im Untersuchungskollektiv nicht abgedeckt. Auf Modellenebene würde beispielsweise eine gerade Strecke mit einer deutlichen Längsneigung keinen Zuschlag erhalten. Dies widerspricht dem logischen Ansatz. Daher gilt die Annahme, dass in der Anwendung bei einer real ermittelten Hügeligkeit der Größe Null der Wert $HK = 0,1 \%$, bei einer real ermittelten Kurvigkeit der Größe Null der Wert $KU = 1 \text{ gon/km}$, als Rechenwert verwendet wird.

Für alle Bewertungsfälle gilt, dass Abschnitte außerhalb von Ballungsräumen ein niedrigeres Sicherheitsniveau aufweisen. Eine besonders deutliche Wirkung auf das Unfallgeschehen besitzt das Merkmal bei zweistreifigen Querschnitten, insbesondere beim Q 31. Dies resultiert aus dem signifikanten Erklärungsanteil des Merkmals auf $U(P)$. Die Größenordnung ist für eine praktische Anwendung sicher zu diskutieren. Es ist zu vermuten, dass neben der Veränderung des Fahrverhaltens und des Verkehrsablaufs auch das Geschwindigkeitsverhalten Einfluss auf das Unfallgeschehen nimmt. Ballungsräume sind durch stärkere Schwankungen der Verkehrsstärken (Spitzenstunden) gekennzeichnet. Gegenüber Abschnitten außerhalb von Ballungsräumen stellt sich während der Zeiträume hoher Verkehrsbelastungen ein geringeres Geschwindigkeitsniveau ein, welches eine Verringerung der Unfallfolgen nach sich zieht. Die Größenordnung der Zuschläge ist für beide Varianten nahezu identisch.

Die Gestaltung der Fahrbahnrande besitzt eine querschnittsübergreifende Wirkung auf die Verkehrssicherheit. Zu schmale oder fehlende Seitenstreifen führen zu einer Zunahme der Unfälle. Vornehmlich auf dreistreifigen Querschnitten resul-

tiert aus dem Fehlen eines ausreichenden Seitenstreifens eine deutliche Abnahme der Verkehrssicherheit.

Zu geringe Randstreifenbreiten am linken Fahrbahnrand führen zu einer Zunahme der $U(S)$. Dabei ist der Wirkungsgrad über alle Bewertungsfälle ähnlich. Für das Kollektiv des Q 3/4 FS ist festzustellen, dass breite Randstreifen ($B > 0,75 \text{ m}$) die Verkehrssicherheit ebenfalls negativ beeinflussen. Eine Erklärung kann nur in übergreifender Analyse mit der Fahrstreifenbreite erfolgen. Es ist zu vermuten, dass breite Randstreifenbreiten zu einem risikohaften Überholverhalten führen, wobei das vorausfahrende in den mittleren Fahrstreifen wechselnde Fahrzeug im Moment des Fahrstreifenwechsels unter Mitbenutzung des Randstreifens frühzeitig überholt wird. Diese These bedarf aber weiterer Untersuchungen.

Eine Wirkung breiter Randstreifen auf die Verkehrssicherheit auf zweistreifigen Querschnitten konnte nicht nachgewiesen werden. Differenzen in der Höhe des Zuschlags zwischen den Varianten liegen praktisch nicht vor.

Die Interpretation des Merkmals V_{zul} ist an die Randbedingungen im Bestandsnetz geknüpft. Für alle Bewertungsfälle führt die Beschränkung der V_{zul} zu einer Verringerung der Anzahl $U(SS)$. Für den Q 28 ist ein Einfluss auch auf die $U(P)$ nachgewiesen, was sich in einem höheren Zuschlag widerspiegelt. Es wird deutlich, dass die Beschränkung der V_{zul} nicht ausschließlich eine reaktive Maßnahme auf bereits bestehende Defizite darstellt, obgleich die Wirkung durch im Kollektiv vorhandene Strecken, denen eine Beschränkung wegen genannter Merkmale zugrunde liegt, nicht

exakt bewertet werden kann. Darüber hinaus lässt die Höhe der V_{zul} nur sehr ungenügend Rückschlüsse auf das wirkliche Geschwindigkeitsniveau eines Abschnitts zu. Daher besitzt das ermittelte Niveau nur richtungsweisende Tendenz. Die erhebliche Zunahme des Unfallgeschehens auf Abschnitten des Q 28 ohne Beschränkung der V_{zul} ist wahrscheinlich dem Umstand zuzuschreiben, dass sich die Abschnitte ohne Beschränkung der V_{zul} nur auf eine Strecke konzentrieren. Insofern ist die Aussagekraft des Befundes für den Q 28 eingeschränkt und das Ergebnis weiter zu prüfen.

Ein Einfluss des Schwerverkehrs auf die Verkehrssicherheit ist nur für drei- und vierstreifige Querschnitte nachgewiesen. Aufgrund der kategorialen Berücksichtigung des Merkmals erhalten Abschnitte einen Zuschlag, die einen Schwerverkehrsanteil über 15 % aufweisen.

Der Zuschlag für ESZ errechnet sich aus dem Produkt des Grundwerts mit dem betroffenen Anteil der Strecke. Strecken – unterteilt in Abschnitte mit $L = 100$ m – mit einer Schrägneigung der Fahrbahn unter 1 % gelten als nach den RAA (FGSV, 2008) entwässerungsschwach. Es ist zu vermuten, dass das Merkmal gleichermaßen eine Wirkung für den Bewertungsfall des Q 28 besitzt, aber aufgrund der geringen Kollektivgröße nicht signifikant nachzuweisen ist. Die Differenz für die Q 36 und Q 43,5 zwischen Variante 1 und 2 ergibt sich aus dem fehlenden signifikanten Nachweis der Variable im Modell für U(P) der Variante 2.

Mit Ausnahme des Merkmals Seitenstreifen weisen die drei- und vierstreifigen Querschnitte eine sehr ähnliche Größenordnung der Zuschläge auf. Für den Q 31 und den Q 28 gewinnen die Merkmale V_{zul} und Ballungsraum an Bedeutung.

Mit wenigen Ausnahmen vor allem für Variante 2 zeigt sich für die Größenordnung der Zuschläge ein abgestimmtes Bild. Da die Analyse nur einen Teil der Bestandsstrecken umfasst, sind nicht alle mutmaßlichen Merkmale, welche die Verkehrssicherheit prägen, berücksichtigt bzw. sind nicht signifikant zu bestimmen. Daher sind an verschiedenen Stellen sachlogische Ergänzungen und Anpassungen notwendig.

Insgesamt wird die Verkehrssicherheit auf freien Strecken von folgenden Einflussgrößen geprägt:

- Hohe Kurvigkeiten und Hügeligkeiten führen zu einer Zunahme des Unfallgeschehens. Beide Merkmale korrelieren.

- In der Querschnittsgestaltung resultiert eine geringere Verkehrssicherheit aus dem Verzicht auf Seitenstreifen bzw. einer Abweichung von den Regelbreiten der Randstreifen.
- Eine Beschränkung der V_{zul} führt zu einer Zunahme der Verkehrssicherheit.
- Je höher der Anteil entwässerungsschwacher Zonen, desto geringer die Verkehrssicherheit. Modellvariante 2 erklärt einen homogenen Wirkungsgrad des Merkmals auf das Unfallgeschehen und ist unter diesem Gesichtspunkt zu favorisieren.
- Darüber hinaus erklärt das Auftreten des Strukturmerkmals Ballungsraum sowie partiell hohe Anteile des Schwerverkehrs eine Abnahme der Verkehrssicherheit.
- Im Vergleich zur Untersuchung von LIPPOLD et al. (2011) – darin wurde der Einfluss von Elementfolgen in Lage- und Höhenplan sowie der Entwässerung auf die Verkehrssicherheit an sechsstreifigen Autobahnen betrachtet – werden die Wirkungen der ermittelten Merkmale bestätigt bzw. aufgewertet.

Die Aussagekraft des Kollektivs des Q 28 ist aufgrund des geringen Umfangs eingeschränkt.

4.4.2 Anschlussstellen

Es liegen verschiedene Betrachtungsweisen von Anschlussstellen (getrennt nach Ästen/Bereichen) nach Variante 1 – gemeinsame Bewertung von Hauptfahrbahn und Rampe (Gesamtmodell) – sowie nach Variante 2 – getrennte Bewertung beider Elemente (Teilmodell) – vor.

Der $KS_{a,U(P)}$ der Anschlussstellen ist auf Basis des gesamten betrachteten Unfallgeschehens im Bereich der Hauptfahrbahn und der Rampe ermittelt (Tabelle 42). Mit Ausnahme des Q 43,5 weisen Anschlussstellen gegenüber den $KS_{a,U(P)}$ der freien Strecke einen niedrigeren Unfallkostensatz auf. 649 U(P) liegen der Anpassung zugrunde.

Unfallkostensätze [€]	
$KS_{a,U(P)}$	108.454
$KS_{s,U(SS)}$	24.130
$KS_{s,U(LS)}$	4.950

Tab. 42: Verwendete Unfallkostensätze für Anschlussstellen

Aus der Berechnung der mittleren UKR der Anschlussbereiche ohne Längenbezug wird deutlich, dass sich das Sicherheitsniveau der vier untersuchten Formen nur gering unterscheidet (Bild 29). Die höchste Differenz zueinander weisen Ausfahrbereiche mit anschließender direkter bzw. indirekter Rampenführung auf. Bleibt die Differenzierung nach der Rampenführung unberücksichtigt, ergibt sich für Einfahrbereiche mit 8,4 €/(1.000 Kfz) gegenüber Ausfahrbereichen mit 8,2 €/(1.000 Kfz) eine marginal höhere UKR.

Die Unfalltypenverteilung der gesamten Anschlussstellen in Bild 30 weist einen hohen Anteil von Unfällen im Längsverkehr (Unfalltyp 6) auf. Da lediglich Konflikte zwischen parallel fahrenden Fahrzeugen während des Abbiegevorgangs an Anschlussstellen als Unfalltyp 2 (Abbiegeunfälle) und Konflikte zwischen einfahrenden und auf der Hauptfahrbahn nachfolgenden Fahrzeugen als

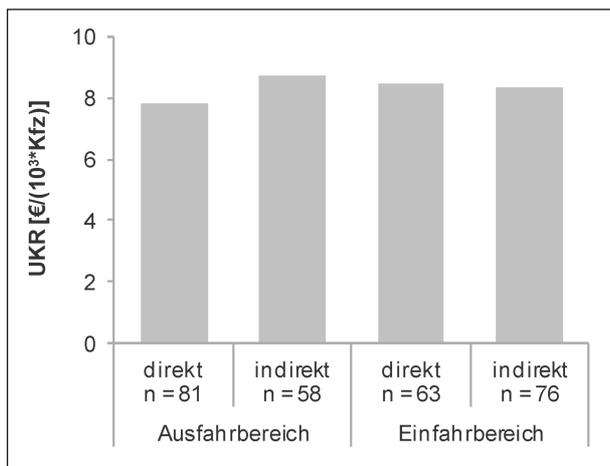


Bild 29: Beobachtete UKR an Anschlussstellen nach Bereichen und Rampenführung

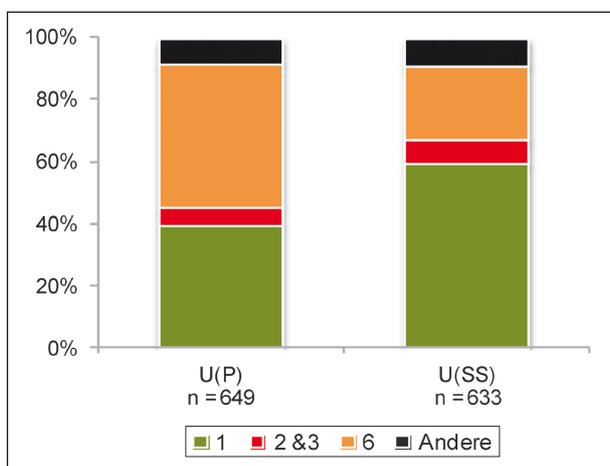


Bild 30: Unfalltypenverteilung für U(P) und U(SS) an Anschlussstellen

Unfalltyp 3 (Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle) deklariert werden, fällt der Anteil der knotenpunktcharakteristischen Unfalltypen 2 und 3 gering aus. Weitere Fahrstreifenwechsellvorgänge werden den Unfällen im Längsverkehr (Unfalltyp 6) zugeordnet. Mutmaßlich sind höhere Differenzgeschwindigkeiten zwischen den Konfliktbeteiligten für einen deutlich höheren Anteil des Unfalltyps 6 bei den U(P) verantwortlich.

Für alle U(P, SS) entspricht der Anteil der Fahr-unfälle (Unfalltyp 1) mit 49 % in etwa dem Mittelwert der freien Strecken.

Gesamtmodell

Das Gesamtmodell umfasst die komplette Bewertung des Unfallgeschehens für Hauptfahrbahn und Rampe. Es handelt sich um längenproportionale Modelle (Tabelle 43). Bezugsgröße ist die Länge der Hauptfahrbahn. Die Verkehrsstärke der Rampe wird anteilig berücksichtigt. Bei keinem der Modelle gelingt eine vollständige Erklärung der systematischen Varianz auf Basis der Poisson-Verteilung. Für die Modelle nach Schweregraden liegen unterschiedliche Variablen mit signifikantem Einfluss auf das Unfallgeschehen vor.

Die Verkehrsstärke der Rampe besitzt keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten von U(P). Demnach erklärt der DTV einen Großteil der Streuung. Einzig der Rampentyp tritt als Rampenmerkmal für U(P) in Erscheinung. Dass Einfahrbereiche eine höhere Unfallhäufigkeit aufweisen, ist auf Konflikte zwischen einfahrenden und sich auf der Hauptfahrbahn befindenden Fahrzeugen zurückzuführen. Anschlussbereiche ohne Beschränkung der V_{zul} weisen ebenfalls eine höhere Unfallhäufigkeit mit einer Zunahme in ähnlicher Größenordnung auf.

Neben dem DTV als Exposition tragen für U(SS) lediglich das Merkmal des Verkehrsstärkeanteils der Rampe und das Verhältnis allgemeiner DTV zu werktäglichen DTV zu Erklärung des Unfallgeschehens bei. Die Variablen erklären etwa 48 % der systematischen Streuung. Aus den Modellen ergibt sich für Anschlussbereiche an Strecken die durch einen hohen Anteil an Urlaubsverkehr (Ferienfaktor) gekennzeichnet sind, ein höheres Unfallgeschehen. Aus der Variablendeklaration resultiert die Grenze für einen Anteil von $A = 0,25$. Insgesamt weist die Anzahl der U(SS) eine progressive Abhängigkeit zur Verkehrsstärke auf.

Für 163 Anschlussbereiche liegen Angaben zu den U(LS) vor. Eine (gegenüber $V_{zul} = 100$ km/h) höhere V_{zul} erklärt eine Zunahme der U(P) und U(LS). Ebenfalls deutlichen Einfluss besitzt die anteilige Verkehrsstärke der Rampe. Ein plausibler, wenn auch statistisch schwach ausgeprägter Zusammenhang zum Unfallgeschehen erklärt sich für Anschlussbereiche mit einem Gefälle größer 2 %. Mutmaßlich tragen höhere Geschwindigkeiten und längere Bremswege zu einer Erhöhung des Unfallgeschehens an Gefällestrrecken bei. Der Erklärungsanteil des Modells für U(LS) liegt bei 44 %.

Aus der Gesamtbetrachtung aller drei Teilmodelle nach Unfallschwere wird deutlich, dass lediglich die kategoriale Variable Rampentyp eine Bewertung

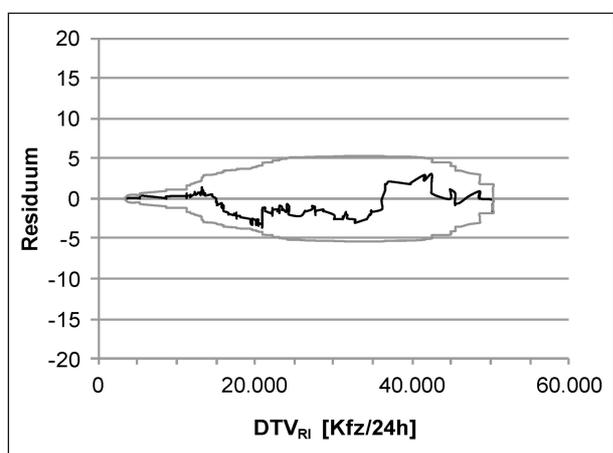


Bild 31: Cure-Plot für Gesamtmodell U(SS) von Anschlussstellen

der an die Hauptfahrbahn angeschlossenen Rampe zulässt. Die Residuenplots offenbaren, dass die Modelle Aussagekraft über den gesamten beobachteten Verkehrsstärkebereich besitzen, wie das Beispiel für U(SS) in zeigt. Für weitere Eigenschaften der Rampe gelingt mit diesem Modellansatz kein signifikanter Nachweis eines Einflusses auf die Verkehrssicherheit. Offensichtlich prägt das Unfallgeschehen der Hauptfahrbahn das Unfallkollektiv maßgebend.

Teilmodell

Der Gesamtkomplex Teilmodell umfasst untergeordnete nach Schwerekategorien getrennte Modelle für den Bereich der Hauptfahrbahn (Tabelle 44) sowie den unmittelbaren Rampenbereich (Tabelle 45). Die Abschnittslänge bleibt in beiden Modellen unberücksichtigt, die Exposition ist identisch.

Somit ist eine spätere Überlagerung der UR und UKR auf Basis der Verkehrsstärke gewährleistet. Alle Schätzungen der Regressionskoeffizienten basieren auf Anwendung der negativen Binomialverteilung.

Die Modelle des Teilkomplexes Hauptfahrbahn bestätigen den überwiegenden Teil der mit dem Gesamtmodell ermittelten Variablen. Gleichermaßen und in ähnlicher Größenordnung erklären die Merkmale „Einfahrbereich“ und die „fehlende

Teilmodell	U(P)		U(SS)		U(LS)	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-18,070	****	-20,062	****	-14,804	****
ln (DTV)	1,082	****	1,276	****	0,934	****
DTV_A	–	–	1,776	*	2,489	***
Einfahrbereich	0,224	*	–	–	–	–
V_{zul_HFB} ($v > 100$ km/h oder ohne VBA)	–	–	–	–	0,264	*
V_{zul_HFB} (freigegeben)	0,329	**	–	–	–	–
LN_HFB (< -2 %)	–	–	–	–	0,431	0,074
DTV_V (> 0,25 (kategoriale Variable))	–	–	0,399	**	–	–
AIC	700		776		954	
Varianz ²	1,160		1,403		3,814	
Varianz Nullmodell ²	1,788		1,943		5,992	

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

Tab. 43: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Anschlussstellen im Gesamtmodell

Teilmodell	U(P)		U(SS)		U(LS)	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-12,820	****	-12,390	****	-7,307	****
ln (DTV)	1,102	****	0,963	****	0,749	****
Einfahrbereich	0,323	**	–	–	0,197	*
V _{zul_HFB} (freigegeben)	0,371	**	–	–	–	–
L_HFB (Länge > 300 m)	–	–	–	–	0,338	***
DTV_V (stetige Variable)	–	–	5,440	*	–	–
AIC	652		615		833	
Varianz ²	1,251		1,246		2,297	
Varianz Nullmodell ²	1,713		1,501		3,934	

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

Tab. 44: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Anschlussstellen im Teilmodell HFB

Teilmodell	U(P)		U(SS)		U(LS)	
	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹	Koeffizient	Signifikanz ¹
Konstante	-13.645	****	-19,713	****	-10,427	****
ln (DTV)	1,002	***	1,640	****	0,971	****
DTV_A	5,351	***	3,236	*	2,000	0,082
indirekte Ausfahrrampe	0,723	*	–	–	–	–
Ausfahrbereich	–	–	0,464	0,068	–	–
AIC	320		336		642	
Varianz ²	1,283		1,147		3,121	
Varianz Nullmodell ²	1,504		1,608		4,170	

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

Tab. 45: Regressionskoeffizienten und Signifikanzniveau für Anschlussstellen im Teilmodell Rampe

Beschränkung der V_{zul}“ eine höhere Anzahl von U(P).

Gegenüber dem Gesamtmodell findet das Verhältnis von DTV und werktäglichen Verkehr für U(SS) auf der Hauptfahrbahn als stetige Variable – aufgrund eines höheren Erklärungsanteils – Berücksichtigung. Allgemein weist die Varianz des Nullmodells für U(SS) mit V = 1,50 eine geringe Größenordnung auf.

U(LS) weisen im Bereich der Hauptfahrbahn mit zunehmender Verkehrsstärke einen leicht degressiven Anstieg der Häufigkeit auf. Gleichmaßen wie bei den U(P) unterscheiden sich Ein- von Ausfahrbereichen durch eine höhere Unfallhäufigkeit. Als weiteres Merkmal tritt die Länge des Ein- bzw. Aus-

fahrbereichs signifikant in Erscheinung. Übersteigt der Bereich, in dem Fahrzeuge ein- oder ausfädeln können, eine Länge von L = 300 m, ist eine Zunahme der U(LS) zu verzeichnen. Dieser Befund ist aber durch eine Besonderheit zu erklären. Von allen bewerteten Anschlussbereichen weisen 56 % eine Länge über 300 m, 7 % über 400 m auf. Korrelationen mit weiteren Merkmalen liegen nicht vor, sodass über die Ursache des Befundes an dieser Stelle nur gemutmaßt werden kann. Hinter dem betrachteten Merkmal ist ein Auswahlfehler zu vermuten, d. h. unfallauffällige Abschnitte erhalten als reaktive Maßnahme einen längeren Ein- bzw. Ausfahrbereich.

Für alle Teilmodelle des Teilkomplexes Rampe stellt die Verkehrsstärke der Rampe als Anteil an der Verkehrsstärke der Hauptfahrbahn eine signifikante

Größe dar. Dabei wirkt sich die Verkehrsstärke am deutlichsten auf die U(P) aus. Die Interpretation des Einflusses der Verkehrsstärke ist aufgrund der Berücksichtigung zweier die Verkehrsstärke beschreibender Variablen nicht ohne weiteres möglich. Ausfahrtrampen mit indirekter Führung weisen ein höheres Unfallgeschehen der U(P) auf, während für U(SS) die Ausfahrtrampen allgemein durch eine geringere Verkehrssicherheit gekennzeichnet sind. Dies erscheint plausibel. Ausfahrtrampen sind durch ein relativ hohes Geschwindigkeitsniveau der Verkehrsteilnehmer, welche die Hauptfahrbahn verlassen, geprägt. Speziell eine indirekte Führung der Ausfahrtrampe erfordert aufgrund der kleinen Radien eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung. Fahrnfälle sind die Folge einer zu geringen Adaption der Fahrweise. Für das Modell U(LS) konnten neben den Merkmalen der Verkehrsstärke keine weiteren Merkmale identifiziert werden.

Die zusammenfassende Reflexion der Teilmodelle verdeutlicht die Plausibilität der Ergebnisse. Die Höhe der V_{zul} sowie weitere Gestaltungskriterien der Hauptfahrbahn wirken auf die Verkehrssicherheit selbigen Teilbereichs. Die Auffälligkeit von Einfahrbereichen für den Teilbereich Hauptfahrbahn ist vor dem Hintergrund der Verortung des Unfallgeschehens nachvollziehbar. Das höhere Unfallgeschehen auf Ausfahrtrampen – wie oben beschrieben – wird durch Modelle des Teilbereichs Rampe erklärt.

Aus der Überlagerung beider Teilbereiche lässt sich das Sicherheitsniveau der Anschlussstellen bezüglich weiterer Randbedingungen beschreiben. Folgende Erkenntnisse liegen vor:

- Anschlussstellen sind getrennt nach Ästen (Ein- bzw. Ausfahrbereich mit anschließender Rampe) zu bewerten.

- Ein- und Ausfahrbereiche unterscheiden sich bezüglich ihres Sicherheitsniveaus.
- In beiden Varianten stellt der Großteil der Variablen kein eigentliches Defizit dar, vielmehr handelt es sich um die Verkehrsanlage beschreibende Merkmale.
- Es wird deutlich, dass mit der Variante „Gesamtmodell“ überwiegend Merkmale identifiziert werden, die Charakteristiken der Hauptfahrbahn beschreiben.
- Die Zerlegung der Anschlussbereiche in zwei separat betrachtete Elemente erlaubt eine differenzierte Analyse.
- Vor dem Hintergrund einer spezifizierten Bewertung der Elemente eines Straßennetzes nach dem Ansatz des HVS erscheint die Variante „Teilmodell“ besser geeignet, die Verkehrssicherheit an Anschlussstellen zu beschreiben.

Festlegung der $gUKR_{\bar{\Delta}}$

Ähnlich den verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten an Landstraßen liegt den Anschlussstellen aufgrund des Anteils der Verkehrsstärke auf der Rampe kein klar zu definierendes Niveau der $gUKR_{\bar{\Delta}}$ zugrunde. Diesbezüglich wird als geringste Verkehrsstärke der Rampe ein Anteil am DTV der Hauptfahrbahn von 2,5 % unterstellt. Bild 32 zeigt unter gegebenen Bedingungen, dass die Veränderung der $gUKR_{\bar{\Delta}}$ aufgrund des nicht linearen Zusammenhangs zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit praktisch nicht von Relevanz ist.

Die $gUKR_{\bar{\Delta}}$ -Basis entspricht einem Ausfahrbereich ohne indirekte Rampenführung und ermittelt sich

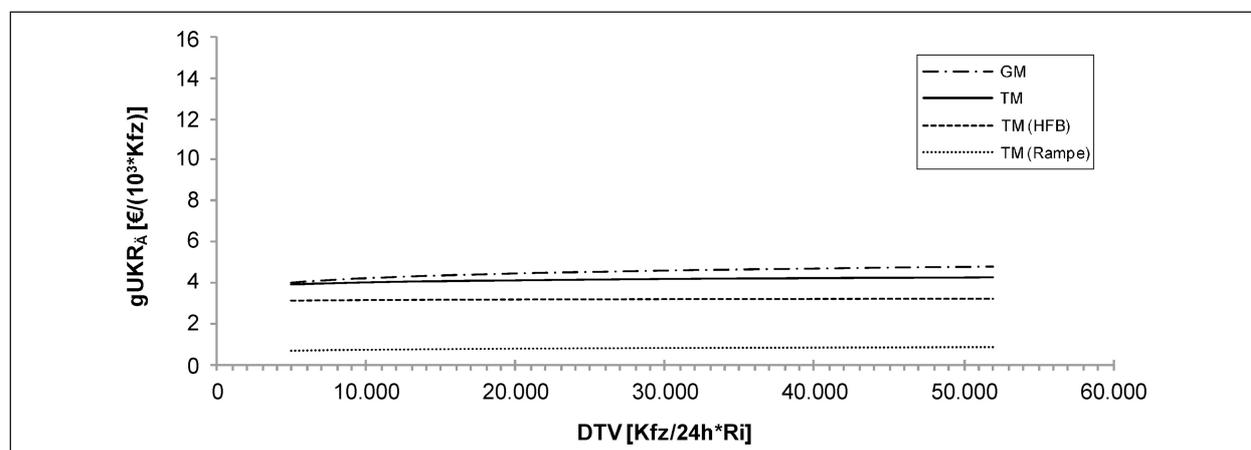


Bild 32: $gUKR_{\bar{\Delta}}$ für Anschlussstellen (GM mit Länge $L = 320$ m berechnet)

wie bei den anderen Netzelementen auch aus der volkswirtschaftlichen Bewertung aller drei Teilmodelle nach der Unfallschwere. Für die Darstellung der $gUKR_{\bar{A}}$ des Gesamtmodells ist die Rampenführung ohne Belang.

Während die Höhe der $gUKR_{\bar{A}}$ des Teilmodells längenunabhängig vorliegt, ist für den Vergleich der Modelle eine Anpassung des längenabhängigen Gesamtmodells notwendig. Als Bezugsgröße für das Gesamtmodell wird die mittlere Länge der Hauptfahrbahn mit $L = 320$ m gewählt.

Die Faktoren f_{UKR} in Tabelle 46 veranschaulichen den degressiven Verlauf aller $gUKR_{\bar{A}}$ -Funktionen. Sowohl für das Gesamtmodell (GM) als auch für das Teilmodell (TM) – das Niveau der $gUKR_{\bar{A}}$ bestimmt sich aus der Addition beider Einzel-elemente – verändert sich die $gUKR_{\bar{A}}$ über die Verkehrsstärke ceteris paribus nur sehr gering. Im Bereich geringer Verkehrsstärken fällt die $gUKR_{\bar{A}}$ des Gesamtmodells stärker. Die absolute Höhe der $gURK_{\bar{A}}$ unterscheidet sich zwischen Teilmodell und Gesamtmodell nur geringfügig.

Aus den $gUKR_{\bar{A}}$ lassen sich die in Tabelle 47 aufgeführten $gUKR_{\bar{A},F}$ ableiten. Für das Gesamtmodell ändert sich die Höhe im Bereich von 20.000 Kfz/24h und Richtung während für das Teilmodell ein über den gesamten betrachteten Verkehrsstärkebereich konstanter Wert der $gUKR_{\bar{A},F}$ von 4 €/(1.000 Kfz) angenommen werden kann. Bei der Interpretation ist zu beachten, dass der Anteil der Rampenverkehrsstärke auf 2,5 % festgelegt ist und das Verhältnis des werktäglichen

Verkehrs, welches in dieser Betrachtungsweise unberücksichtigt bleibt, per se zu einer Erhöhung des Niveaus führt.

Die $gUKR_{\bar{A},F}$ erlauben eine einfache Ermittlung der UKR eines Bewertungsfalls. Im Regelfall sind für den planfreien Anschluss der übergeordneten Fahrbahn vier Bewertungsfälle zu berechnen.

Zuschläge

Die Höhe der A_{UKR} auf Basis von Grundwert und gegebenenfalls Anteilswert basieren für das Gesamtmodell wie bei den anderen Modellformen auch auf einer Überlagerung und volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens der Einzelmodelle nach Schwere-kategorie. Zur Ermittlung der A_{UKR} des Teilmodells erfolgt darüber hinaus die Zusammenführung der Modelle für Hauptfahrbahn und Rampe.

Wie in Kapitel 4.1.5 beschrieben, ist die Höhe des A_{UKR} von dem Verlauf der UKR-Funktionen nach Schwere-kategorie über die Verkehrsstärke abhängig. Für die Variante des Teilmodells gilt zusätzlich, dass die Festlegung der A_{UKR} auch in Abhängigkeit der Überlagerung beider Teilmodelle variiert. Da erklärende Variablen i. d. R. nur Bestandteil der Modelle eines Teilbereichs sind, variiert ihre Wirkung in Abhängigkeit des Verhältnisses von UKR_{Rampe} zu UKR. Die Veränderung des Verhältnisses ist primär auf den Anteil der Verkehrsstärke im Bereich der Rampe und sekundär auf die unterschiedlichen Kurvenverläufe auf Grundlage der Parameter f_{UKR} zurückzuführen.

So erklärt sich der geringfügige parallele Anstieg beider Kurven über den DTV. In Bild 33 ist der Anteil der UKR_{Rampe} an der UKR mit unterschied-

Modell	Faktoren	
	k_{UKR}	f_{UKR}
Gesamtmodell	2,051	0,079
Teilmodell	2,843	0,037
Teilmodell HFB	2,863	0,011
Teilmodell Rampe	0,373	0,082

Tab. 46: Parameter für stetige $gUKR_{\bar{A}}$ -Funktionen für Anschlussstellen von Autobahnen

DTV [Tsd. Kfz/24h und Ri]		$gUKR_{\bar{A},F}$ [€/(1.000 Kfz)]	
von	bis	GM	TM
5	≤ 20	4	4
> 20	55	5	

Tab. 47: $gUKR_{\bar{A},F}$ für Anschlussstellen von Autobahnen

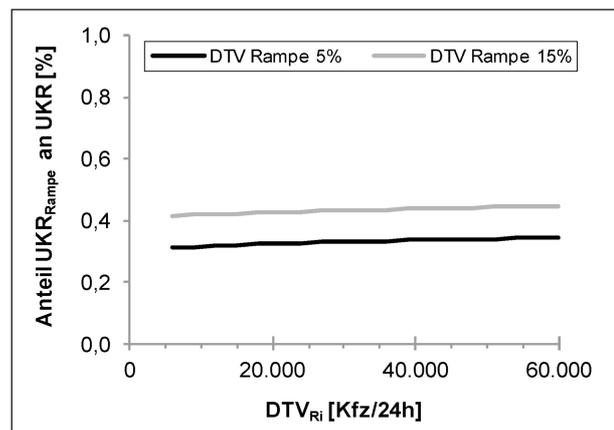


Bild 33: Anteil der UKR_{Rampe} an UKR in Abhängigkeit des Anteils der Verkehrsstärke auf der Rampe

lichem DTV der Rampe dargestellt. Die Differenz zwischen beiden Kurven gründet auf der Veränderung des Anteils der Verkehrsstärke auf der Rampe. Dementsprechend verändert sich in der Modellbetrachtung die Wertigkeit der A_{UKR} . Von dieser Eigenschaft sind alle erklärenden Variablen (Zuschläge) betroffen.

Eine exakte Ermittlung der Zuschläge ist daher nur unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge möglich, aber mit Blick auf eine einfache Anwendung des HVS nicht praktikabel. Um eine möglichst repräsentative Bewertung der Netzelemente mit der Variante Teilmodell zu erlauben, erfolgt daher die Ermittlung der A_{UKR} unter der Randbedingung, dass der Anteil der Verkehrsstärke der Rampe dem Mittelwert des Kollektivs entspricht. Dieser beträgt 14 %. Die Zuschläge für Gesamt- und Teilmodell entsprechen sowohl kategorialer als auch stetiger Natur (Tabelle 48).

Die Höhe des Zuschlags für Einfahrbereiche unterscheidet sich zwischen beiden Modellen nur gering. Der Zuschlag für die indirekte Führung der Ausfahrrampe weist eine dem Einfahrbereich ähnliche Größenordnung auf.

Zuschlagskriterium [Einheit]	Berechnung A_{UKR} [-]	Höhe GW [-]	
		GM	TM
Einfahrbereich [-]	GW	0,17	0,19
Indirekte Führung der Ausfahrrampe [-]	GW	–	0,20
$V_{zul} > 100$ km/h und keine VBA [-]	GW	0,05	–
V_{zul} freigegeben [-]	GW	0,25 [0,31]	0,22
Anteil DTV der Rampe an DTV des Knotenpunkts [%]	GW · A	,011* (A – 2,5)	,012* (A – 2,5)
Verhältnis DTV zu $DTV_W > 0,25$ [$DTV/DTV_W - 0,75$]	GW	0,08	–
Verhältnis DTV zu DTV_W [$DTV/DTV_W - 0,75$]	GW · A	–	0,54
Länge HFB $L > 300$ m [-]	GW	–	0,07
Längsneigung HFB $LN < -2$ % [-]	GW	0,1	–

Tab. 48: Höhe der Grundwerte (GW) für Bewertungsfälle Anschlussstellen (A = Anteilswert)

Die Berücksichtigung des Kriteriums V_{zul} ist für das Gesamtmodell auf zwei Wegen möglich. Liegt für den Bereich der Anschlussstelle keine Beschränkung der V_{zul} vor, so ergibt sich die Höhe des Zuschlags entweder aus der Multiplikation der Zuschläge für „ $V_{zul} > 100$ km/h“ und „ V_{zul} = freigegeben“ oder es erfolgt die Ermittlung unmittelbar mit einem Faktor, welcher in eckigen Klammern dargestellt ist und dem Produkt beider Einzelfaktoren entspricht.

Der Anteil der Rampenverkehrsstärke am DTV der Hauptfahrbahn wird als stetige Variable erfasst. Aus der Randbedingung eines Mindestanteils von 2,5 % ergibt sich die in Tabelle 48 dargestellte Berechnungsvorschrift. Diesbezüglich sind zur Berechnung des A_{UKR} vom ermittelten Anteilswert des Bewertungsfalls 2,5 % zu subtrahieren und anschließend mit dem Grundwert zu multiplizieren.

Während das Verhältnis von DTV zu werktäglichen DTV bei dem Gesamtmodell kategorial bewertet wird und erst ab einer Größenordnung von $DTV/DTV_W - 0,75 > 0,25$ als Zuschlag zu berücksichtigen ist, wird das Verhältnis in der Variante Teilmodell als stetiger Zuschlag unabhängig der Größenordnung erfasst.

Die Überschreitung der Länge des Anschlusses an der Hauptfahrbahn ($L > 300$ m) – dies Merkmal ist inhaltlich zu prüfen – als auch die Unterschreitung der Längsneigung entsprechen in den jeweiligen Modellvarianten kategorialen Zuschlägen mit ähnlicher Größenordnung.

Bild 34 verdeutlicht die Wirkung der Verkehrsstärke auf der Rampe anteilig am DTV auf die UKR. Mit

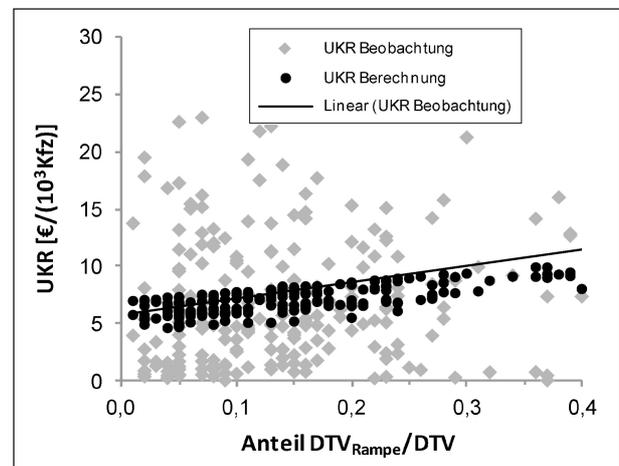


Bild 34: Vergleich beobachteter und berechneter UKR in Abhängigkeit des Verhältnisses DTV_{Rampe}/DTV für Anschlussstellen

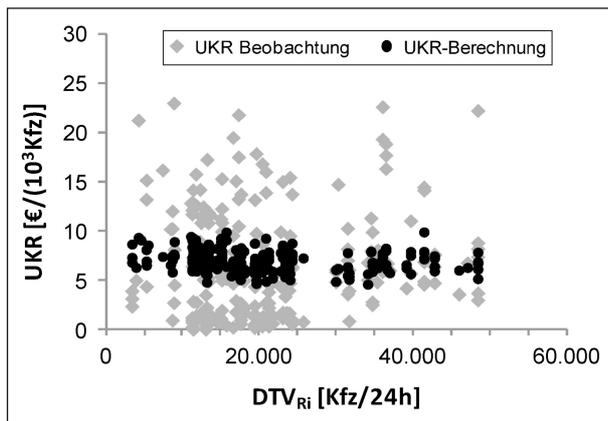


Bild 35: Vergleich beobachteter und berechneter UKR in Abhängigkeit des beobachteten Verkehrsstärkereichs für Anschlussstellen

zunehmenden Anteil DTV_{Rampe}/DTV steigt das mittlere Niveau der berechneten UKR an. Die Berechnung basiert auf der $gUKR_{\bar{A},F}$ und den A_{UKR} des Teilmodells. Dass die berechneten Werte eine weitaus geringe Streuung gegenüber den beobachteten Werten aufweisen, ist nachvollziehbar. Die Schätzung der Regressionskoeffizienten im Modell beruht immer auf einer Bewertung der Wirkung einer Einflussgröße über das gesamte Kollektiv. Daher stellen die Faktoren immer ein Mittel dar, welches in der Darstellung eine geringe Streuung der berechneten UKR zur Folge hat. Die unsystematische Streuung der beobachteten um die berechneten Werte spricht für eine gute Abbildung der Realität durch die Modelle. In seiner Aussagekraft beschränkt, aber dennoch zum Vergleich geeignet, zeigt die Kurve der linearen Regression über die beobachteten Werte eine den berechneten Werten sehr ähnlichen Verlauf.

Die Darstellung von beobachteten und berechneten UKR über den beobachteten Verkehrsstärkereich in Bild 35 verdeutlicht die Aussagekraft der gewählten Methodik. Die berechneten Werte streuen unsystematisch. Der tendenzielle Anstieg der berechneten UKR im Bereich geringer Verkehrsstärken ist auf Anschlussstellen mit überwiegend hohem Anteil der Rampenverkehrsstärke zurückzuführen. Die Höhe der $gUKR_{\bar{A},F}$ schließt die Abbildung von berechneten UKR unter dem Niveau von $4 \text{ €}/(1.000 \text{ Kfz})$ aus.

4.4.3 Zusammenfassung

Auf Basis der SIB- und ZEB-Daten der Bundesländer erfolgte die Aufbereitung von Merkmalen, die die Charakteristik der Strecken und Anschluss-

stellen von Autobahnen beschreiben. Dabei unterschied sich die Datenqualität zwischen den verschiedenen Bundesländern. Vor dem Hintergrund eines einheitlichen Untersuchungsdesigns war eine Auswertung der Lageplan- und Höhenplanelemente nicht möglich. An ihrer Stelle flossen Kurvigkeit und Hügeligkeit in die Untersuchungen ein. Auch Ausstattungsmerkmale des Seitenraums (passive Schutzeinrichtung, Hindernisse, usw.) blieben im Verfahren unberücksichtigt. Die Ermittlung der $gUKR_{\bar{A}}$ und den Zuschlägen folgt der Untersuchungsmethodik von Landstraßen und basiert auf der Anwendung von GLM. Für alle Modelle beruht die Schätzung der Regressionskoeffizienten auf einer negativen Binomialverteilung. Neben Defiziten im engeren Sinne wurden auch Eigenschaften der Netzelemente erfasst, wenn sie eine Erhöhung des Unfallgeschehens erklären. Die volkswirtschaftliche Bewertung beruht auf einer zusammengefassten Analyse der berechneten Modelle differenziert nach Unfallschwere. Der Auswertung stand ein Streckenkollektiv von rund 2.300 km Autobahnabschnitte aus sechs Bundesländern zur Verfügung. Folgende Erkenntnisse liegen vor:

- Die Bewertung von Autobahnabschnitten erfolgt getrennt für die Elemente Knotenpunkt, Einflussbereich und freie Strecke.
- Knotenpunkte umfassen Anschlussstellen bestehend aus Ein- bzw. Ausfahrbereich und der anschließenden Rampe bis 50 m vor dem Achsenschnittpunkt mit dem untergeordneten Teilknotenpunkt.
- Autobahnkreuze und -dreiecke oder Sonderformen von Anschlussstellen sind nicht Bestandteil der Untersuchung.
- Einflussbereiche umfassen die Abschnitte beginnend 500 m vor Beginn des Ausfahrbereichs sowie 300 m nach Ende des Einfahrbereichs. (Zwischen-)Bereiche zwischen Aus- und Einfahrbereich bis zu einer Länge von 500 m zählen ebenfalls zu den Einflussbereichen.
- Verbleibende Bereiche sind der freien Strecke zugeordnet.
- Für die freie Strecke werden in Anlehnung an den HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) vier Bewertungsfälle – maßgebend ist hier der Querschnitt – unterschieden.

- Mit wenigen Ausnahmen kann die Wirkung auf das Unfallgeschehen freier Strecken durch einige ausgewählte Merkmale beschrieben werden, die mit Ausnahme des Q 28 auch in ihrer Wirkung eine ähnliche Größenordnung aufweisen. Die Aussagekraft des Kollektivs des Q 28 ist aufgrund des geringen Umfangs jedoch als eingeschränkt zu bezeichnen.
- Da die Kenngrößen Hügeligkeit und Kurvigkeit korrelieren, existieren zwei Bewertungsansätze zur Ermittlung der $gUKR_{\bar{\lambda}}$ und der $zUKR_{\bar{\lambda}}$. Variante 2 (Wechselwirkung beider Variablen) wird als der praktikablerer Ansatz angesehen. Für die Anwendung des Verfahrens an konkreten Maßnahmen wird daher im Rahmen dieses Forschungsprojekts die Variante 2 weiterverfolgt.
- Die $gUKR_{\bar{\lambda}}$ der freien Strecke weisen für alle Bewertungsfälle einen fallenden Verlauf auf. Auf Basis der Einsatzgrenzen der Regelquerschnitte nach den RAA (FGSV, 2008) wurden für die Bewertungsfälle abgestufte $gUKR_{\bar{\lambda},F}$ ermittelt.
- Die Zuschläge $zUKR_{\bar{\lambda}}$ werden für freie Strecken und Anschlussstellen über Anteilswerte A_{UKR} beschrieben. Mehrere Zuschläge werden über Multiplikation zusammengeführt.
- Der Bewertung eines Netzabschnitts zwischen zwei Knotenpunkten liegt die längengewichtete Berücksichtigung der UKR der Einzelelemente zugrunde. Die Höhe der UKR für Einflussbereiche basiert auf Abminderungsfaktoren gegenüber der freien Strecke. Diese unterscheiden sich nach Art des Einflussbereiches und dem Querschnitt (Bewertungsfall) der Strecke. Das Verfahren entspricht dem Vorgehen wie für Strecken von Landstraßen.
- Aufgrund der Komplexität der Anschlussstellen liegen ebenfalls zwei Modellvarianten vor, wobei Variante 2 – Ermittlung der $gUKR_{\bar{\lambda}}$ und $zUKR_{\bar{\lambda}}$ auf Basis von Teilmodellen – besser geeignet scheint, differenzierte Einflüsse auf die Verkehrssicherheit dieser Netzelemente zu beschreiben. Die Aussagen sind auf die Typen A1 und E1 nach den RAA (FGSV, 2008) beschränkt.
- Der überwiegende Teil der ermittelten Einflussgrößen stellt die Anlage beschreibende Merkmale und weniger Defizite im eigentlichen Sinn dar. Das Niveau der UKR wird maßgebend durch die Höhe der Verkehrsstärke der Rampe im Verhältnis zur Gesamtverkehrsstärke vor und nach Aus- bzw. Einfahrbereich bestimmt.
- Das Merkmal „Länge des Ein- bzw. Ausfahrbereichs“ ist inhaltlich zu prüfen.
- Die $gUKR_{\bar{\lambda}}$ weist einen fast linearen Zusammenhang zur Verkehrsstärke auf. Eine Abstufung der $gUKR_{\bar{\lambda},F}$ ist somit nicht notwendig.
- Einfahrbereiche zeigen unabhängig der Rampenführung gegenüber Ausfahrbereichen ein höheres Unfallgeschehen, da sich das Unfallgeschehen überwiegend auf der Hauptfahrbahn ereignet. Ausfahrbereiche werden durch die Führung der anschließenden Rampe geprägt. Indirekte Rampen weisen ein höheres Unfallgeschehen auf. Diese Aussage bestätigt die Untersuchung von ZIMMERMANN et al. (2013). Anschlussstellen mit einer Beschränkung der V_{zul} besitzen einen höheren Sicherheitsgrad.
- Der gewählte Verfahrensansatz erlaubt eine übergreifende Bewertung für Netzabschnitte von Autobahnen getrennt nach verschiedenen Bewertungsfällen.
- Bezüglich der Autobahnkreuze und -dreiecke besteht weiterer Forschungsbedarf.

5 Anwendung des Verfahrens in den relevanten Stufen der Planung

Im Rahmen der Anwendung des Verfahrens werden für ausgewählte Straßenverkehrsanlagen (Strecken von Autobahnen und Landstraßen, Anschlussstellen von Autobahnen, plangleiche Knotenpunkte von Landstraßen) die an diesen Anlagen aus dem tatsächlichen Unfallgeschehen ermittelten UKR – im Weiteren als „beobachtete UKR“ bezeichnet – und die für diese Anlagen mit dem jeweiligen Modell berechneten UKR – im Weiteren als „berechnete UKR“ bezeichnet – gegenübergestellt. Dabei werden neben den Einzelwerten dieser UKR auch die Median- und die arithmetischen Mittelwerte für die Strecken von Autobahnen und Landstraßen sowie die arithmetischen Mittelwerte von entsprechend gebildeten Kollektiven gleichartiger Straßenverkehrsanlagen (plangleiche Knotenpunkte mit und ohne LSA) gegenübergestellt.

Das HVS-Verfahren ist für die Anwendung in Einzelfällen gedacht. Deshalb zielt der Vergleich auf eine Gegenüberstellung von einzelnen beobachteten UKR und einzelnen berechneten UKR ab. Für den zusammenfassenden Vergleich wird dabei der arithmetische Mittelwert der einzelnen UKR herangezogen und keine mittlere, mit dem DTV, der Länge (bei Strecken) und der Anzahl der Untersuchungsjahre gewichtete mittlere UKR ermittelt. Dies begründet sich darin, dass kein Vergleich unterschiedlicher Strecken- oder Knotenpunkttypen (z. B. Autobahnen mit verschiedenen Querschnitten oder Kreuzungen mit LSA und Kreisverkehre) erfolgen soll, bei dem die Gewichtung mit den genannten Randbedingungen erforderlich ist.

Zudem wird mit dem entwickelten Verfahren zwar für eine einzelne Straßenverkehrsanlage eine UKR berechnet, die sich quasi auf ein Jahr bezieht, der Berechnung liegt aber kein Zeitraum des Unfallgeschehens zugrunde. Bei der Bestimmung einer mittleren UKR auf Basis berechneter UKR könnte man für den hier vorgesehenen Vergleich mit den beobachteten UKR zwar im Prinzip den jeweiligen Untersuchungszeitraum des realen Beispiels ansetzen, da jedoch – wie erläutert – kein Vergleich unterschiedlicher Strecken- oder Knotenpunkttypen, sondern der Vergleich realer mit modellmäßig berechneten UKR erfolgen soll, erscheint eine Gewichtung mit dem DTV und der Anzahl der Untersuchungsjahre (sowie bei Strecken zusätzlich der Länge) nicht zielführend.

5.1 Strecken von Landstraßen und Autobahnen

5.1.1 Maßnahmenauswahl

Zur Anwendung des Verfahrens an konkreten Beispielen aus der Praxis haben die Länder Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz Projektunterlagen zur Verfügung gestellt. Nach einer ersten Sichtung aller übergebenen Projektunterlagen erfolgte eine Auswahl der Maßnahmen, die im Rahmen des Forschungsprojekts einbezogen werden sollten. Hierbei wurden folgende Kriterien für die Maßnahmenauswahl zugrunde gelegt:

- Angaben zur Maßnahme (vorzugsweise Erläuterungsbericht),
- Angaben zum Querschnitt (vorzugsweise Straßenquerschnitte),

- geeignete Lagepläne (vorzugsweise im Maßstab 1:1.000),
- Angaben zur Höhenplantrassierung (i. d. R. Höhenpläne oder Übersichtshöhenpläne),
- Unfalldaten für die Jahre 2008 bis 2010 (Unfalllisten und/oder Unfalltypenkarten).

In Tabelle 49 und Tabelle 50 sind die ausgewählten Maßnahmen für die Anwendung des Verfahrens bei Landstraßen und Autobahnen zusammengestellt.

Bei einem Teil der Maßnahmen lagen lediglich Lagepläne und Querschnitte vor. Diese Maßnahmen konnten für die Anwendung des Verfahrens nicht berücksichtigt werden, da die Angaben zur Höhenplantrassierung nicht zu ermitteln waren. Diese werden aber benötigt, da die Hügeligkeit sowohl bei den Autobahnen als auch bei den Landstraßen im Bewertungsmodell zu berücksichtigen ist.

5.1.2 Vorgehensweise

Für die Anwendung des Verfahrens bei den Landstraßen und Autobahnen wurden in einem ersten Schritt für die ausgewählten Maßnahmen die im GLM-basierten Unfallhäufigkeitsmodell enthaltenen Einflussgrößen bzw. Defizite (z. B. Fehler in der Relationstrassierung, Unterschreitung der Mindestradien und Unterschreitung der Kuppenmindesthalbmesser, Abweichungen bei den Fahrstreifen- und Randstreifenbreiten sowie punktuelle Gefahrenstellen im Seitenraum und Anschlussknotenpunkte) sowie die Eigenschaften der Strecken (z. B. Kreisstrukturtyp, Hügeligkeit und Kurvigkeit) ermittelt.

Anschließend erfolgte eine Aufteilung jeder Maßnahme in die Bereiche freie Strecke, Einflussbereiche und Knotenpunkte bzw. Anschlussstellenbereiche bei den Autobahnen. Die Abgrenzung der einzelnen Bereiche zeigt Bild 36.

Bei den Landstraßen wurden mit dem GLM-basierten Modell die UKR bei den einzelnen Maßnahmen sowohl für die freien Strecken (UKR_{fS}) als auch für die Netzabschnitte (UKR_{NE}) berechnet. Für die Knotenpunkte und die angebundenen Straßen lagen bei den meisten Maßnahmen keine ausreichenden Angaben zur Verfügung. Daher musste die modellmäßige Berechnung der UKR für die Knotenpunkte und deren Vergleich mit den

Nr.	Planungsphase	DTV [Kfz/24h]	Querschnitt geplant	Querschnitt berechnet	Länge [m]	Anzahl Knotenpunkte	Anzahl Anschluss- knotenpunkte
M L1	Planfeststellung	14.135	RQ 12	Q 11	4.170	4	1
M L2	Planfeststellung	8.400	RQ 10,5	Q 11	4.351	3	1
M L3	Bauentwurf	13.000	RQ 12	Q 11	3.955	2	0
M L4	Bauentwurf	11.000	RQ 10,5	Q 11	6.024	3	0
M L5	Planfeststellung	10.000	RQ 12	Q 11	1.985	1	1
M L6	Planfeststellung	15.800 17.587	RQ 10,5 RQ 15,5	Q 11 „Q dreistreifig“	3.830	5	0
M L7	Bauentwurf	4.495	RQ 10,5	Q 11	2.659	2	3
M L8	Planfeststellung	8.800	RQ 9,5	Q 11	1.650	3	1
M L9	Bauentwurf	9.823	RQ 11	Q 11	6.923	2	0
M L10	Bauentwurf	12.400	RQ 10,5	Q 11	1.964	4	0
M L11	Bauentwurf	4.105	RQ 9,5	Q 11	3.511	3	0
M L12	Bauentwurf	6.837	RQ 10	Q 11	1.563	2	0
M L13	Bauentwurf	12.649	RQ 10	Q 11	1.680	3	0
M L14	Bauentwurf	2.100	SQ 9	Q 11 Q 9	2.120	1	11
M L15	Bauentwurf	5.300	RQ 11	Q 11	1.080	2	0
M L16	Bauentwurf	9.700	SQ 14,5	„Q dreistreifig“	5.740	2	0
M L17	Bauentwurf	5.500	SQ 14,5	„Q dreistreifig“	3.271	2	0
M L18	Bauentwurf	19.700	RQ 15,5	„Q dreistreifig“	2.567	2	0
M L19	Bauentwurf	19.700	RQ 15,5	„Q dreistreifig“	1.783	2	0
M L20	Bauentwurf	19.700	RQ 15,5	„Q dreistreifig“	2.550	2	0

Tab. 49: Zusammenstellung der Landstraßenmaßnahmen

Nr.	Planungsphase	Art der Maßnahme	DTV [Kfz/24h]	Querschnitt geplant	Querschnitt berechnet	Länge [m]	Anzahl Knotenpunkte
M A1	Bauentwurf	Neubau	30.460	RQ 26	Q 28	6.613	1
M A2	Bauentwurf	Ausbau	21.314	SQ 25	Q 28	2.510	0
M A3	Bauentwurf	Neubau	23.287	RQ 26	Q 28	2.073	1
M A4	Bauentwurf	Neubau	23.287	RQ 26	Q 28	2.880	1
M A5	Bauentwurf	Neubau	23.287	RQ 26	Q 28	2.570	1
M A6	Bauentwurf	Ausbau	29.300	RQ 36	Q 36	6.191	1
M A7	Bauentwurf	Ausbau	29.300	RQ 36	Q 36	4.069	1
M A8	Planfeststellung	Ausbau	55.000	RQ 36	Q 36	12.959	4
M A9	Planfeststellung	Neubau	24.800	RQ 31	Q 31	3.729	2
M A10	Planfeststellung	Neubau	19.300	RQ 31	Q 31	1.290	1
M A11	Planfeststellung	Neubau	19.300	RQ 31	Q 31	7.002	1
M A12	Planfeststellung	Neubau	22.500	RQ 28	Q 28	4.915	2

Tab. 50: Zusammenstellung der Autobahnmaßnahmen

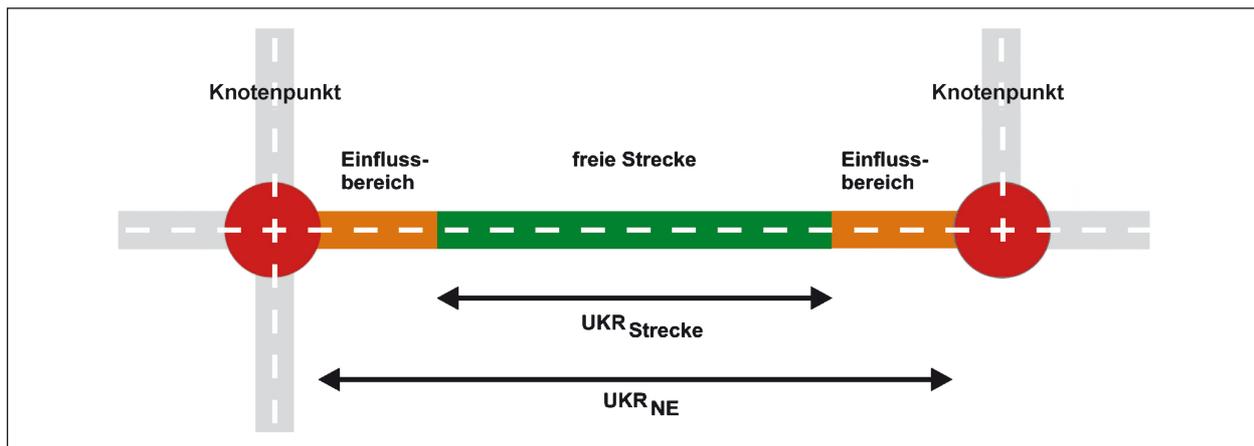


Bild 36: Abgrenzung der freien Strecke, der Einflussbereiche und der Knotenpunkte für die Ermittlung der UKR_S und der UKR_{NE} bei Landstraßen

beobachteten UKR an einem gesonderten Kollektiv erfolgen (vgl. Kapitel 5.2).

Bei den Autobahnen lagen nur Planunterlagen für die durchgehenden Strecken, nicht jedoch für die Rampen der Anschlussstellen vor. Auch insoweit beschränkte sich die modellmäßige Berechnung der UKR auf die Strecken von Autobahnen. Für diese wurden für die einbezogenen Maßnahmen die im GLM-basierten Modell enthaltenen Merkmale bzw. Defizite der Strecken ermittelt. Die modellmäßige Berechnung der UKR erfolgte bei den Autobahnen getrennt für jede Richtungsfahrbahn.

Für fast alle Landstraßen- und Autobahnmaßnahmen lagen die Unfalldaten der Jahre 2008 bis 2010 in unterschiedlicher Form vor. Einige Länderverwaltungen haben für die Auswertung des Unfallgeschehens Unfalltypenkarten und Unfalldaten zur Verfügung gestellt. Für einzelne Maßnahmen lagen lediglich Fotos der Unfalltypenkarten von den Polizeidienststellen vor.

Dennoch konnten bei fast allen Maßnahmen die mittleren beobachteten UKR für den 3-Jahres-Zeitraum 2008-2010 ($UKR_{2008-2010}$) ermittelt werden. Die Unfälle an den Knotenpunkten wurden entsprechend der in Bild 36 gezeigten Abgrenzung der Bereiche aus dem Kollektiv herausgenommen.

Die mittleren beobachteten $UKR_{2008-2010}$ wurden auf der Grundlage der Unfallkostensätze, die den GLM-basierten Modellen zugrunde liegen (siehe Tabelle 12 und Tabelle 27), ermittelt. In den folgenden Texten, Tabellen und Bildern werden die modellmäßig berechneten UKR den mittleren beobachteten $UKR_{2008-2010}$, die auf der Grundlage

der angepassten Kostensätze für Landstraßen und Autobahnen ermittelt wurden, gegenübergestellt.

Zusätzlich wurden die beobachteten $UKR_{2008-2010}$ auch mit den pauschalen Unfallkostensätzen für Autobahnen und Landstraßen nach LERNER et al. (2012) zum Preisstand 2010 berechnet. Diese sind aufgrund der niedrigeren Kostensätze für Personenschäden etwas geringer. Alle beobachteten UKR sind in den Anlagen 1 und 2 zu finden.

5.1.3 Ergebnisse Landstraßen

Modellmäßig berechnete UKR und beobachtete $UKR_{2008-2010}$ der Landstraßenmaßnahmen

Die modellmäßig berechneten UKR ($gUKR_A$ und $zUKR$) und die mittleren beobachteten $UKR_{2008-2010}$ der Strecken sind in Tabelle 51 zusammengestellt. Die Sicherheitsbewertungen für alle Maßnahmen sind als Berechnungsbeispiele in Anlage 1 zu finden.

Bei der Maßnahme M L6 wechselt der Querschnitt im Planungsabschnitt. Daher wurden die berechneten und die beobachteten UKR für die Streckenbereiche mit dem RQ 10,5 und dem RQ 15,5 getrennt ermittelt.

Die Maßnahme M L14 wurde mit einem Sonderquerschnitt SQ 9 gebaut. Der Querschnitt besteht aus zwei Fahrstreifen mit einer Breite von jeweils 3,00 m (Fahrbahnbreite 6,00 m). Randstreifen waren in der Planung nicht vorgesehen. Für diese Maßnahme erfolgte die Berechnung der UKR sowohl auf der Grundlage des Q 9 als auch auf der Grundlage des Q 11.

Nr.	DTV [Kfz/24h]	Querschnitt geplant	Querschnitt berechnet	Berechnete UKR _{fS} [€/(1.000 Kfz · km)]	Beobachtete UKR ₂₀₀₈₋₂₀₁₀ [€/(1.000 Kfz · km)] (angepasste Kostensätze)
M L1	14.135	RQ 12	Q 11	20,5	16,0
M L2	8.400	RQ 10,5	Q 11	22,2	16,0
M L3	13.000	RQ 12	Q 11	18,8	23,0
M L4	11.000	RQ 10,5	Q 11	18,4	19,8
M L5	10.000	RQ 12	Q 11	18,8	35,0
M L6	15.800 17.587	RQ 10,5 RQ 15,5	Q 11 „Q dreistreifig“	19,4 20,1	9,1 12,1
M L7	4.495	RQ 10,5	Q 11	34,6	1,5
M L8	8.800	RQ 9,5	Q 11	27,5	3,5
M L9	9.823	RQ 11	Q 11	17,0	11,9
M L10	12.400	RQ 10,5	Q 11	18,9	0,0
M L11	4.105	RQ 9,5	Q 11	33,8	56,6
M L12	6.837	RQ 10	Q 11	40,5	2,3
M L13	12.649	RQ 10	Q 11	29,0	30,1
M L14	2.100	SQ 9	Q 11 Q 9	64,3 64,8	21,2
M L15	5.300	RQ 11	Q 11	27,1	3,8
M L16	9.700	SQ 14,5	„Q dreistreifig“	11,5	5,1
M L17	5.500	SQ 14,5	„Q dreistreifig“	20,4	2,4
M L18	19.700	RQ 15,5	„Q dreistreifig“	11,9	5,0
M L19	19.700	RQ 15,5	„Q dreistreifig“	24,6	14,1
M L20	19.700	RQ 15,5	„Q dreistreifig“	22,0	7,7
Medianwert	–	–	–	20,4	11,9
arithmetischer Mittelwert	–	–	–	24,8	14,1

Tab. 51: Modellmäßig berechnete UKR_{fS} und beobachtete UKR₂₀₀₈₋₂₀₁₀ der Landstraßenmaßnahmen

Insgesamt zeigt sich, dass die modellmäßig berechneten UKR überwiegend höher sind als die beobachteten UKR₂₀₀₈₋₂₀₁₀ (Bild 37). Bei 15 Maßnahmen liegt die berechnete UKR über der beobachteten UKR, nur bei fünf Maßnahmen darunter.

Außerdem zeigte sich, dass die Bandbreite der berechneten UKR etwas schmaler ist als die Bandbreite der beobachteten UKR. Während die mittleren beobachteten UKR₂₀₀₈₋₂₀₁₀ der Maßnahmen zwischen 0 €/(1.000 Kfz · km) und 56,6 €/(1.000 Kfz · km) liegen, reicht die Spanne der berechneten UKR_{fS} nur von 11,5 €/(1.000 Kfz · km) bis 64,8 €/(1.000 Kfz · km).

Maßgebend für die hohen Werte der berechneten UKR sind geringe DTV sowie die zahlreichen Zuschläge wegen der nicht richtliniengerechten Trassierung.

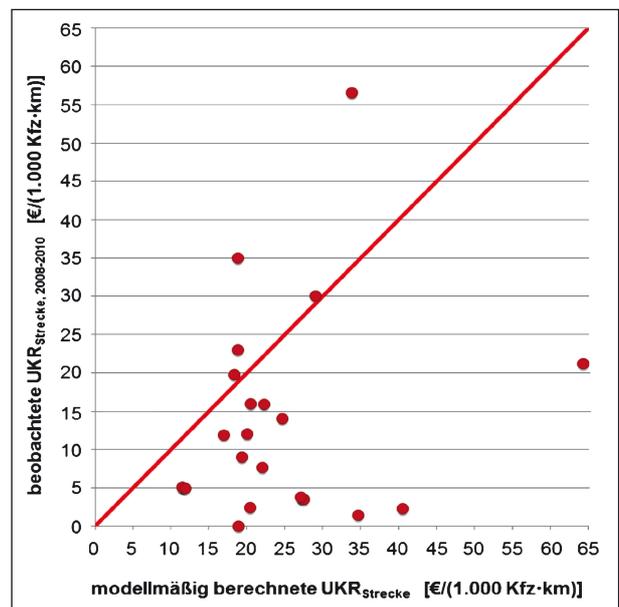


Bild 37: Berechnete UKR_{fS} und beobachtete UKR₂₀₀₈₋₂₀₁₀ der Landstraßenmaßnahmen

Sehr niedrige UKR lassen sich durch das Modell verfahrensbedingt nicht berechnen, da die $gUKR_{\bar{A}}$ das mittlere Sicherheitsniveau des bei der Modell-erstellung zugrunde liegenden Kollektivs abzüglich der Einflussgrößen beschreibt. Bei 10 der 20 Maßnahmen liegt die beobachtete UKR mit 10 €/ (1.000 Kfz · km) in einer entsprechend niedrigen Größenordnung. Für diese Fälle werden über das Modell UKR berechnet, die auf Höhe der entsprechenden $gUKR_{\bar{A}}$ oder i. d. R. darüber liegen.

Im Bild 38 sind die modellmäßig berechneten UKR_{fs} und die mittleren beobachteten $UKR_{2008-2010}$ in Abhängigkeit vom DTV dargestellt.

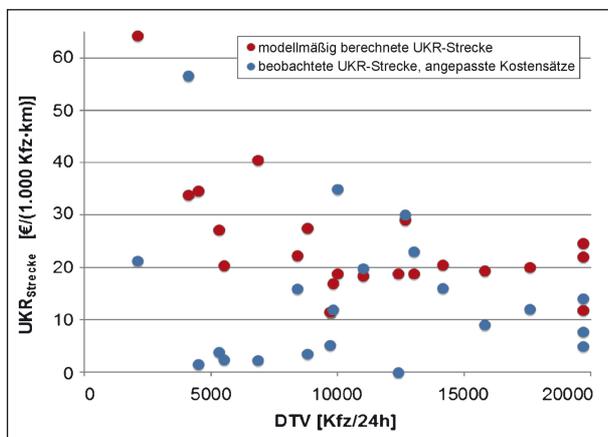


Bild 38: Berechnete UKR_{fs} und beobachtete $UKR_{2008-2010}$ der Landstraßenmaßnahmen in Abhängigkeit vom DTV

Auch hier sind z. T. sehr deutliche Unterschiede zwischen beiden Größen festzustellen. Eine Abhängigkeit dieser Unterschiede von der Höhe des DTV ist allerdings nicht erkennbar.

Zuschläge zUKR bei Landstraßenmaßnahmen

Für die modellmäßige Berechnung der UKR ist bei allen Querschnitten die Hügeligkeit zu berücksichtigen. Die Kurvigkeit hingegen wird nur beim Q 21, der im vorliegenden Kollektiv der Maßnahmen nicht vorhanden war, angesetzt. Beim Q 9 und Q 11 wird teilweise ein Zuschlagsfaktor für den Kreisstrukturtyp berücksichtigt (beim Q 9 nur für den Kreisstrukturtyp F). Da der Kreisstrukturtyp für den Planer vorgegeben und auch nicht beeinflussbar ist, sind zusätzlich die UKR der Strecken ohne den Zuschlag für den Kreisstrukturtyp berechnet. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 52 zusammengestellt. Es zeigt sich, dass die Veränderungen relativ gering sind, die berechneten UKR ohne Berücksichtigung des Kreisstrukturtyps der Strecken sind nur zwischen 0,3 €/ (1.000 Kfz · km) und 0,9 €/ (1.000 Kfz · km) niedriger.

Bei den Landstraßen treten weiterhin folgende Abweichungen vom richtliniengerechten Ausbau auf, die bei den modellmäßig berechneten UKR einen Zuschlagsfaktor bewirken. Bei den 16 zweistreifigen Landstraßenmaßnahmen (SQ 9, RQ 9,5,

Nr.	DTV [Kfz/24h]	Querschnitt geplant	Querschnitt berechnet	Berechnete UKR_{fs} [€/1.000 Kfz · km] mit Berücksichtigung des Kreisstrukturtyps	Berechnete UKR_{fs} [€/1.000 Kfz · km] ohne Berücksichtigung des Kreisstrukturtyps
M L1	14.135	RQ 12	Q 11	20,5	19,8
M L2	8.400	RQ 10,5	Q 11	22,2	21,9
M L3	13.000	RQ 12	Q 11	18,8	18,5
M L4	11.000	RQ 10,5	Q 11	18,4	18,1
M L5	10.000	RQ 12	Q 11	18,8	18,5
M L6	15.800	RQ 10,5	Q 11	19,4	19,1
M L7	4.495	RQ 10,5	Q 11	34,6	34,2
M L8	8.800	RQ 9,5	Q 11	27,5	27,1
M L9	9.823	RQ 11	Q 11	17,0	16,7
M L10	12.400	RQ 10,5	Q 11	18,9	18,2
M L11	4.105	RQ 9,5	Q 11	33,8	33,3
M L12	6.837	RQ 10	Q 11	40,5	39,9
M L13	12.649	RQ 10	Q 11	29,0	28,6
M L14	2.100	SQ 9	Q 11 Q 9	64,3 / 64,8	64,3 / 64,8
M L15	5.300	RQ 11	Q 11	27,1	26,8

Tab. 52: Berechneten UKR_{fs} für die Querschnitte Q 9 und Q 11 mit und ohne Zuschlagsfaktor für den Kreisstrukturtyp

RQ 10, RQ 10,5 und RQ 11) liegt bei sieben Maßnahmen ein Fehler in der Relationstrassierung vor. Bei einer Maßnahme tritt dieser Fehler insgesamt fünfmal auf. Eine Unterschreitung des Mindestradius wurde bei sechs Maßnahmen festgestellt. Höchstwerte sind acht bzw. sieben Unterschreitungen des Mindestradius bei einzelnen Maßnahmen. Am häufigsten wurde bei den zweistreifigen Maßnahmen ein zu schmaler Randstreifen festgestellt. Dies ist bei 14 der 16 Maßnahmen der Fall. Dies ist dadurch begründet, dass die RAS-Q (FGSV, 1996), die für viele Maßnahmen Planungsgrundlage waren, für zweistreifige Querschnitte nur bei hohem Lkw-Verkehr einen 0,50 m breiten Randstreifen vorgesehen haben.

Die Landstraßenmaßnahmen mit einem dreistreifigen Querschnitt (RQ 15,5) besitzen bei drei von sechs Maßnahmen mindestens einen Fehler in der Relationstrassierung. Außerdem wird bei zwei der Maßnahmen der Kuppenmindesthalbmesser unterschritten. Eine Unterschreitung des Mindestradius sowie eine Randstreifenbreite unter 0,50 m werden beim Modell für dreistreifige Querschnitte nicht berücksichtigt.

Eine zu schmale Fahrstreifenbreite, die in dem Modell für zwei- und dreistreifigen Querschnitte berücksichtigt wird, wurde bei fünf zweistreifigen Maßnahmen festgestellt.

Die Defizite „punktuelle Gefahrenstelle im Seitenraum“, „Baumreihe auf dem Bankett“ sowie „Wald im Seitenraum ohne Schutzeinrichtung“ konnte bei den ausgewählten Maßnahmen, es handelte sich ausschließlich um Neubaumaßnahmen, nicht festgestellt werden.

Die modellmäßig berechneten UKR liegen bezüglich Median und arithmetischem Mittelwert deutlich über den empirisch beobachteten UKR. Dies gilt insbesondere für den „Q dreistreifig“. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei dem der Modellbildung zugrunde liegenden Kollektiv ungewöhnlich hohe UKR beobachtet wurden. Dieses Kollektiv von MAIER et al. (2013) enthält einen hohen Anteil älterer Bestandsstrecken, welche die Höhe der $gUKR_{\bar{\Delta}}$ trotz der Berücksichtigung von Einflussgrößen prägen. Die der hier vorliegenden Untersuchung zugrunde liegenden dreistreifigen Maßnahmen sind dagegen durch eine höherwertige verkehrstechnische Ausstattung bzw. durch eine modernere Straßenraumgestaltung geprägt. Daher ist das Niveau der $gUKR_{\bar{\Delta}}$ in dem GLM-basierten Modell bei einer Übernahme in das HVS bezüglich des aktuellen Sicherheitsniveaus anzupassen.

Ein entsprechender Vergleich für Q 9 und Q 21 ist aufgrund zu geringer oder fehlender Kollektive nicht möglich.

Weitere Aussagen über die Abbildungsgenauigkeit des Modells liefern die Größe und die Verteilung der beobachteten und der berechneten UKR der einzelnen Landstraßenmaßnahmen. Die Darstellung erfolgt mithilfe von Whisker-Box-Plots.

Das Prinzip der Whisker-Box-Plots ist exemplarisch anhand von Bild 39 erläutert: Neben dem arithmetischen Mittelwert und dem Median ist eine Box zwischen dem 25%-Quantil und dem 75%-Quantil dargestellt. D. h., 50 % aller Werte liegen innerhalb dieser Box und jeweils 25 % oberhalb bzw. unterhalb der Box. Alternativ können auch andere Grenzwerte für die Box angesetzt werden, z. B. das

Kollektive		UKR [€/ (1.000 Kfz · km)]			
		Q 9	Q 11	„Q dreistreifig“	Q 21
Median	Empirie MAIER et al. (2013)	35,8	32,8	18,9	13,9
	Kollektiv Anwendung	–	16,0	6,4	–
	Berechnung Modell	–	22,2	20,2	–
Mittelwert	Empirie MAIER et al. (2013)	55,0	40,7	26,4	19,7
	Kollektiv Anwendung	–	16,1	7,7	–
	Berechnung Modell	–	27,4	18,4	–

Tab. 53: Vergleich mittlere UKR für freie Strecken von Landstraßen nach Querschnitten

15%-Quantil und das 85%-Quantil. D. h., 70 % aller Werte liegen innerhalb dieser Box und jeweils 15 % über- bzw. unterhalb der Box. Der Bereich zwi-

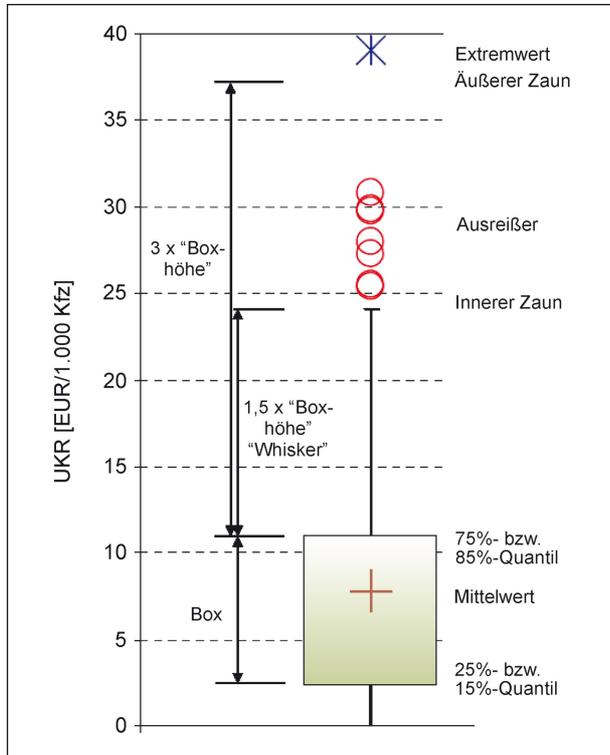


Bild 39: Whisker-Box-Plot einer Verteilung von UKR

schen dem Boxende und dem „inneren Zaun“ wird als „Whisker“ (enGleichung für Katzenschnurbart-haar) bezeichnet und beträgt das 1,5-fache der Boxhöhe. Da bei UKR keine negativen Werte auftreten können, endet die y-Achse bei Null. Der Bereich zwischen dem Boxende und dem „äußeren Zaun“ beträgt das 3,0-fache der Boxhöhe. Die zwischen dem „inneren Zaun“ und dem „äußeren Zaun“ liegende Werte sind Ausreißer, Werte oberhalb des „äußeren Zauns“ stellen Extremwerte dar.

Die Ergebnisse für die Landstraßenmaßnahmen sind in Bild 40 und Bild 41 dargestellt. Hier zeigt sich, dass die Boxen zwischen dem 25%-Quantil und dem 75%-Quantil der berechneten UKR deutliche Abweichungen zu den Boxen der beobachteten UKR haben (Bild 40). Die Boxen der berechneten UKR sind deutlich nach oben verschoben (höhere Werte für das 25%-Quantil und das 75%-Quantil). Auch die Boxen zwischen dem 15%-Quantil und dem 85%-Quantil der berechneten und der beobachteten UKR haben deutliche Unterschiede (Bild 41). Beim Q 11 ist die wesentlich größere Streubreite der beobachteten UKR gegenüber den berechneten UKR zu sehen. Alle Kenngrößen der beobachteten und der berechneten UKR der betrachteten Landstraßenmaßnahmen sind in der Tabelle 54 zusammengestellt.

Kenngröße		Beobachtete UKR [€/1.000 Kfz · km]] alle Querschnitte	Berechnete UKR [€/1.000 Kfz · km]] alle Querschnitte	Beobachtete UKR [€/1.000 Kfz · km]] Q 11	Berechnete UKR [€/1.000 Kfz · km]] Q 11	Beobachtete UKR [€/1.000 Kfz · km]] „Q dreistreifig“	Berechnete UKR [€/1.000 Kfz · km]] „Q dreistreifig“
Mittelwert		14,1	24,8	16,7	27,4	7,7	18,4
Box 25 % bis 75 %	UKR Boxgrenzen	3,8 bis 19,8	18,8 bis 27,5	3,7 bis 22,1	18,8 bis 31,4	5,0 bis 11,0	13,9 bis 21,6
	UKR Boxhöhe	16,0	8,7	18,5	12,6	6,0	7,7
	Anzahl Ausreißer	1	0	1	1	0	0
	Anzahl Extremwerte	0	1	0	0	0	0
Box 15 % bis 85 %	UKR Boxgrenzen	2,4 bis 23,0	18,4 bis 33,8	2,4 bis 29,4	18,8 bis 34,6	4,3 bis 12,6	11,8 bis 22,7
	UKR Boxhöhe	20,6	15,5	27,0	15,8	8,2	10,9
	Anzahl Ausreißer	1	1	0	1	0	0
	Anzahl Extremwerte	0	0	0	0	0	0

Tab. 54: Kenngrößen der beobachteten und der berechneten UKR der Landstraßenmaßnahmen

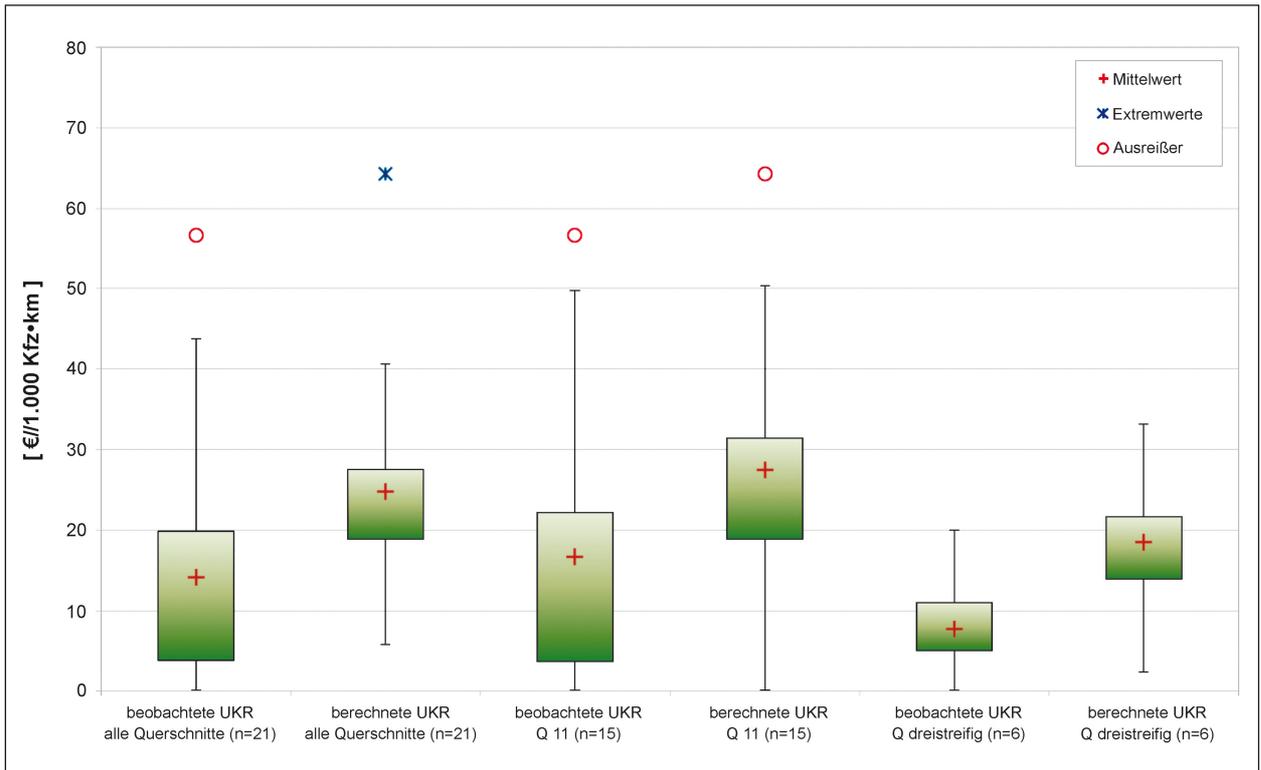


Bild 40: Whisker-Box-Plot der beobachteten und der berechneten UKR mit Box zwischen dem 25%-Quantil und dem 75%-Quantil der Landstraßenmaßnahmen

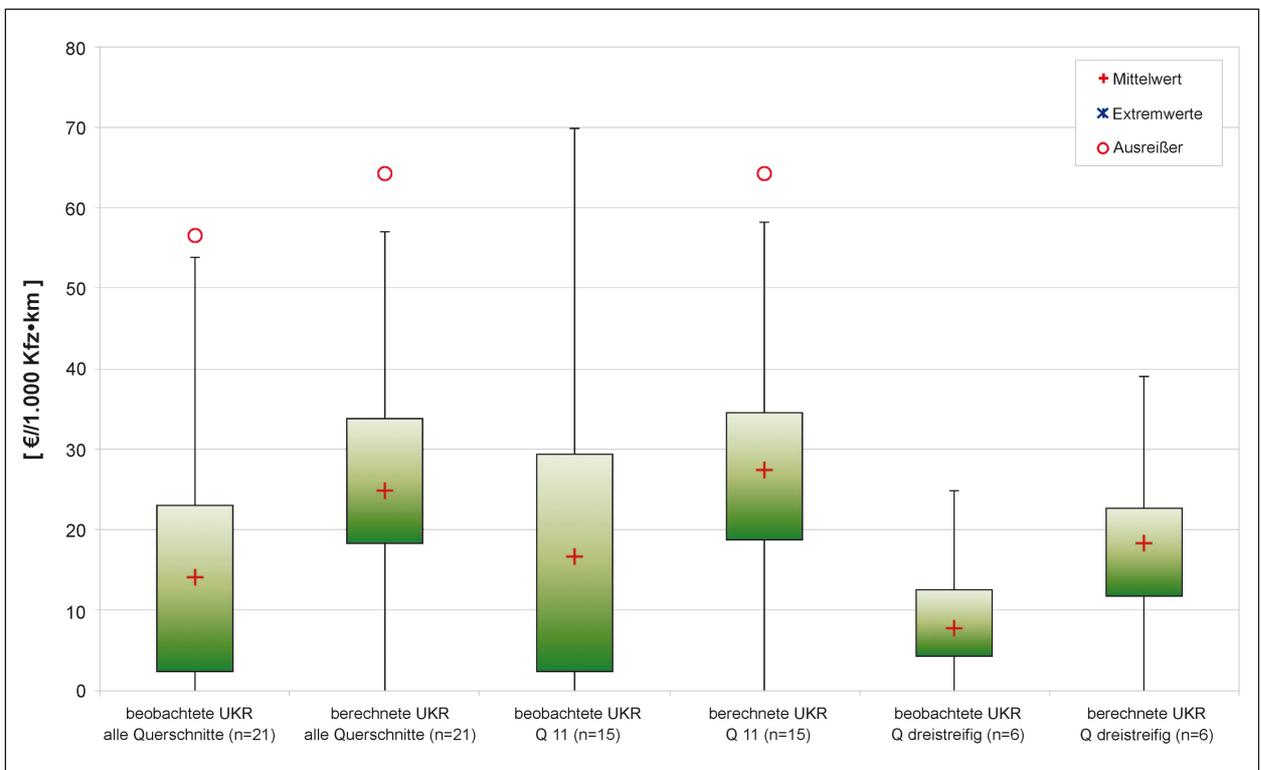


Bild 41: Whisker-Box-Plot der beobachteten und der berechneten UKR mit Box zwischen dem 15%-Quantil und dem 85%-Quantil der Landstraßenmaßnahmen

5.1.4 Ergebnisse Autobahnen

Modellmäßig berechnete UKR und beobachtete UKR₂₀₀₈₋₂₀₁₀ der Autobahnmaßnahmen

Für die Autobahnmaßnahmen erfolgte die Ermittlung der UKR getrennt für die beiden Richtungsfahrbahnen. In Tabelle 55 sind alle modellmäßig berechneten UKR der freien Strecken und die mittleren beobachteten UKR₂₀₀₈₋₂₀₁₀ für die beiden Richtungsfahrbahnen zusammengestellt. Für die untersuchten Maßnahmen sind die Sicherheitsbewertungen als Berechnungsbeispiele im Anhang 2 zu finden.

Die Zuschläge sind sowohl nach der Variante 1 als auch nach der Variante 2 berechnet (vgl. Kapitel 4.4.1, dort Tabelle 40 und Tabelle 41). Hierbei ist festzustellen, dass die Höhe der Zuschläge bei den Berechnungen nach Variante 1 und Variante 2 etwa in der gleichen Größenordnung liegen. Bei vielen Maßnahmen sind die Unterschiede kleiner als 1 €/ (1.000 Kfz · km). Z. B. bei der Maßnahme MA1 liegen die berechneten UKR_{fS} für die Berechnung nach Variante 1 bei 20,0 €/ (1.000 Kfz · km) und bei 20,9 €/ (1.000 Kfz · km) für die Berechnung nach Variante 2. Da die Ermittlung der Zuschläge nach Variante 2 zu favorisieren ist (vgl. auch Erläuterun-

gen in Kapitel 4.4.1), werden in den folgenden Beschreibungen nur noch die Ergebnisse für die Berechnung der UKR auf Basis der Variante 2 erläutert.

Im Gegensatz zu den teilweise erheblichen Unterschieden bei den beobachteten UKR der beiden Richtungsfahrbahnen ergeben sich bei den berechneten UKR keine Unterschiede für die beiden Richtungsfahrbahnen der jeweiligen Maßnahmen. Allerdings lassen sich die großen Unterschiede bei den beiden Richtungsfahrbahnen auch nicht durch Unterschiede in den sicherheitsrelevanten Einflussgrößen geometrischer Art erklären.

Die berechneten UKR haben eine Bandbreite von 12,0 €/ (1.000 Kfz · km) bis 32,7 €/ (1.000 Kfz · km). Die beobachteten UKR₂₀₀₈₋₂₀₁₀ zeigen deutlich größere Unterschiede, ihre Bandbreite reicht von 0 €/ (1.000 Kfz · km) bis 61,6 €/ (1.000 Kfz · km). Die freie Strecke mit der sehr hohen beobachteten UKR₂₀₀₈₋₂₀₁₀ liegt auf einer Strecke einer Fernautobahn mit einer Länge von über 6 km. Es handelt sich hier demnach nicht um einen Extremwert einer sehr kurzen Strecke.

Bei 16 der untersuchten Richtungsfahrbahnen liegt die UKR₂₀₀₈₋₂₀₁₀ unter 10 €/ (1.000 Kfz · km). Bei

Nr.	DTV [Kfz/24h]	Querschnitt geplant	Querschnitt berechnet	Berechnete	Berechnete	Beobachtete	Beobachtete
				UKR _{fS} RFB 1 [€/ (1.000 Kfz · km)]	UKR _{fS} RFB 2 [€/ (1.000 Kfz · km)]	UKR ₂₀₀₈₋₂₀₁₀ RFB 1 [€/ (1.000 Kfz · km)] (angepasste Kostensätze)	UKR ₂₀₀₈₋₂₀₁₀ RFB 2 [€/ (1.000 Kfz · km)] (angepasste Kostensätze)
MA1	30.460	RQ 26	Q 28	20,8	20,9	10,0	20,7
MA2	21.314	SQ 25	Q 28	18,5	18,5	8,4	20,3
MA3	23.287	RQ 26	Q 28	28,0	28,0	0,0	2,5
MA4	23.287	RQ 26	Q 28	32,7	32,7	1,2	43,4
MA5	23.287	RQ 26	Q 28	18,5	18,5	3,2	10,4
MA6	29.300	RQ 36	Q 36	12,4	12,4	30,5	61,6
MA7	29.300	RQ 36	Q 36	12,0	12,0	23,6	3,2
MA8	55.000	RQ 36	Q 36	12,2	12,2	3,5	1,6
MA9	24.800	RQ 31	Q 31	15,9	15,9	1,0	1,7
MA10	19.300	RQ 31	Q 31	16,5	16,5	0,0	0,0
MA11	19.300	RQ 31	Q 31	17,1	17,1	7,2	5,0
MA12	22.500	RQ 28	Q 28	16,6	16,65	13,5	10,5
Medianwert		–	–		16,8		6,1
arithmetischer Mittelwert		–	–		18,4		11,8

Tab. 55: Berechnete UKR_{fS} und beobachtete UKR₂₀₀₈₋₂₀₁₀ der Autobahnmaßnahmen

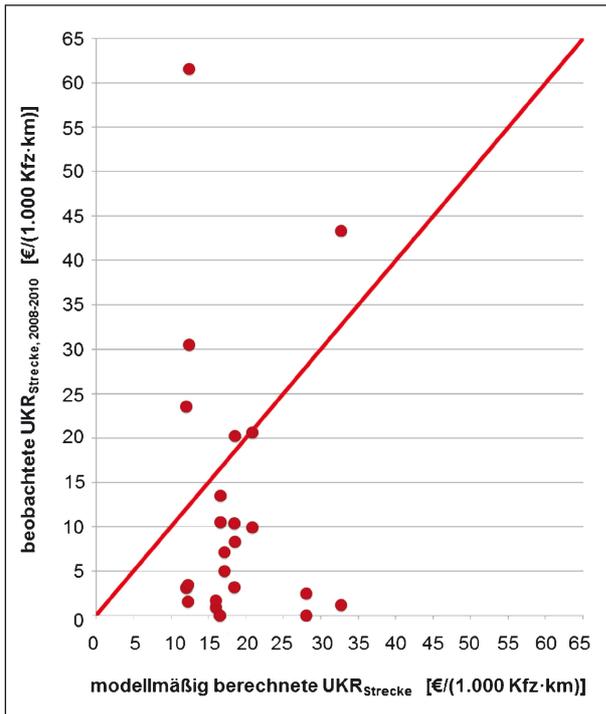


Bild 42: Berechnete UKR_{fS} und mittlere beobachtete $UKR_{2008-2010}$ der Autobahnmaßnahmen

einer der Maßnahmen ereigneten sich keine Unfälle auf den beiden Richtungsfahrbahnen im Bereich der freien Strecken. Diese liegen allerdings zwischen zwei Anschlussstellen mit geringem Abstand, haben daher nur eine sehr kurze Länge von 200 m bzw. 380 m und entsprechen insoweit nicht der grundsätzlichen Festlegung, wonach freie Strecken länger als 500 m sein sollen.

Der Zusammenhang zwischen den berechneten UKR_{fS} und den mittleren beobachteten $UKR_{2008-2010}$ der Richtungsfahrbahnen ist in Bild 42 dargestellt.

Bild 43 zeigt die berechneten UKR_{fS} und die mittleren beobachteten $UKR_{2008-2010}$ der Richtungsfahrbahnen in Abhängigkeit vom DTV. Auch hier ist wie bei Landstraßen ein deutlicher Unterschied zwischen den berechneten UKR_{fS} und den beobachteten $UKR_{2008-2010}$ zu erkennen. Eine Abhängigkeit dieser Unterschiede von der Höhe des DTV ist hier jedoch ebenso wie bei Landstraßen nicht festzustellen.

Tabelle 56 zeigt, dass sich die Unterschiede zwischen den berechneten und den beobachteten UKR im Wesentlichen aus den Unterschieden in den beobachteten UKR zwischen dem Kollektiv, welches der Modellbildung zugrunde lag, und dem untersuchten Anwendungskollektiv erklären lassen.

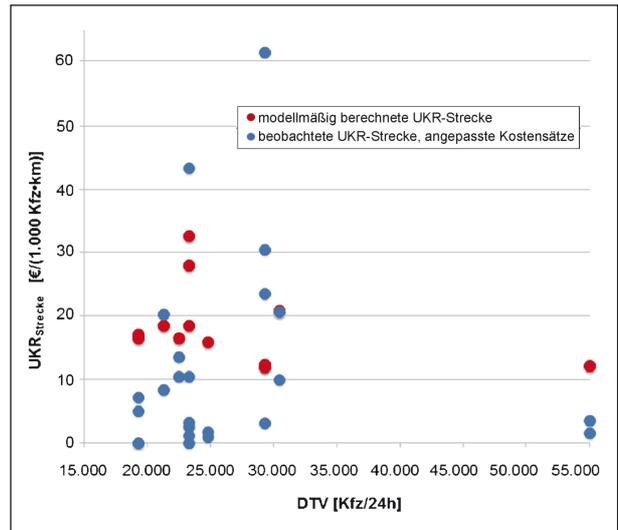


Bild 43: Berechnete UKR_{fS} und mittlere beobachtete $UKR_{2008-2010}$ der Autobahnmaßnahmen in Abhängigkeit vom DTV

Kollektive		UKR [€/(1.000 Kfz · km)]			
		Q 28	Q 31	Q 36	Q 43,5
Mittelwert	Beobachtete UKR aus Kollektiv der Modellbildung	12,6	13,6	13,7	9,3
	Beobachtete UKR aus Anwendungskollektiv	12,0	2,5	20,6	–
	berechnete UKR aus Anwendungskollektiv	22,5	16,5	12,2	–

Tab. 56: Vergleich mittlere UKR für verschiedene Querschnitte freier Strecken von Autobahnen

Während die berechneten UKR für den Q 28 tendenziell über dem Niveau der bei dem hier untersuchten Anwendungskollektiv beobachteten UKR liegen, entsprechen die berechneten UKR desjenigen Kollektivs, auf dem die Modellerstellung beruht, dem mittleren Niveau der beobachteten UKR dieses Kollektivs. Sowohl für den Q 31 als auch den Q 36 ist der Unterschied der für das Anwendungskollektiv berechneten und beobachteten UKR aufgrund der geringen Kollektivgröße nicht aussagefähig.

Die Whisker-Box-Plots für die Autobahnmaßnahmen sind in Bild 44 und in Bild 45 dargestellt. Auch hier sind deutliche Unterschiede zwischen den Boxen der berechneten und der beobachteten UKR der Autobahnmaßnahmen zu erkennen. Die Boxhöhen der berechneten UKR zwischen dem 25%-Quantil und dem 75%-Quantil und auch die

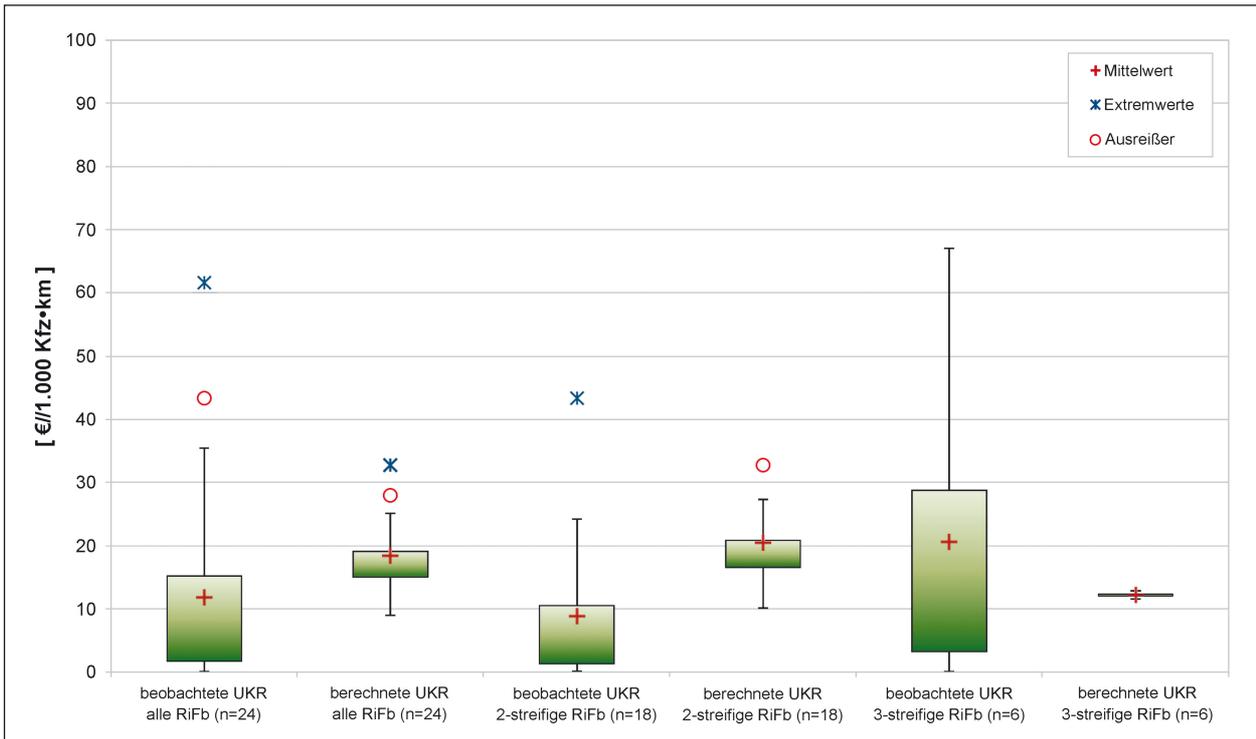


Bild 44: Whisker-Box-Plot der beobachteten und der berechneten UKR mit Box zwischen dem 25%-Quantil und dem 75%-Quantil der Autobahnmaßnahmen

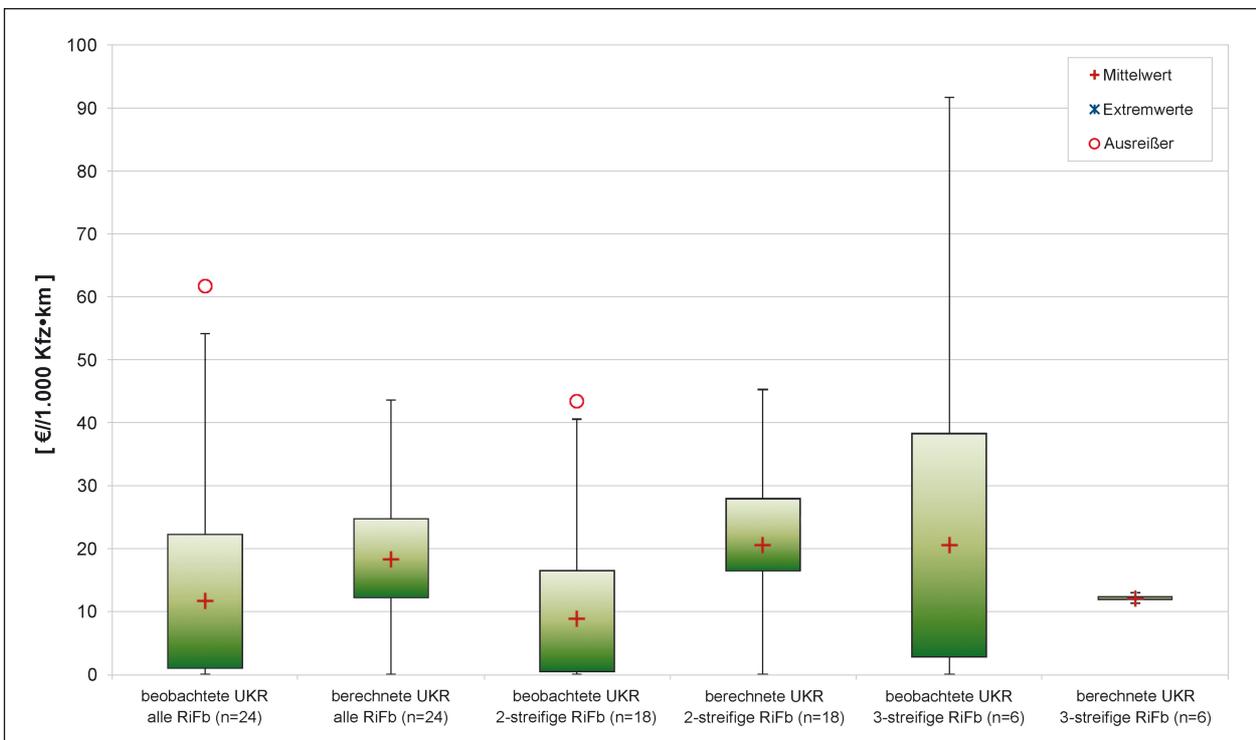


Bild 45: Whisker-Box-Plot der beobachteten und der berechneten UKR mit Box zwischen dem 15%-Quantil und dem 85%-Quantil der Autobahnmaßnahmen

Boxhöhen zwischen dem 15%-Quantil und dem 85%-Quantil sind deutlich kleiner als die Boxhöhen der beobachteten UKR. Alle Kenngrößen der

beobachteten und der berechneten UKR der Autobahnmaßnahmen sind in Tabelle 57 zusammengestellt.

Kenngröße		Beobachtete UKR	Berechnete UKR	Beobachtete UKR	Berechnete UKR	Beobachtete UKR	Berechnete UKR
		[€/1.000 Kfz · km] alle RFB	[€/1.000 Kfz · km] alle RFB	[€/1.000 Kfz · km] zweistreifige RFB	[€/1.000 Kfz · km] zweistreifige RFB	[€/1.000 Kfz · km] dreistreifige RFB	[€/1.000 Kfz · km] dreistreifige RFB
Mittelwert		1,7 bis 15,2	15,0 bis 19,1	1,3 bis 10,5	16,6 bis 20,9	3,2 bis 28,8	12,0 bis 12,3
Box 25 % bis 75 %	UKR Boxgrenzen	13,5	4,0	9,2	4,3	25,5	0,3
	UKR Boxhöhe	1	2	1	0	0	0
	Anzahl Ausreißer	1	2	0	2	0	0
	Anzahl Extremwerte	1,1 bis 22,3	12,3 bis 24,8	0,5 bis 16,6	16,5 bis 28,0	2,8 bis 38,3	12,0 bis 12,4
Box 15 % bis 85 %	UKR Boxgrenzen	21,2	12,5	16,1	11,5	35,5	0,4
	UKR Boxhöhe	1	0	1	0	0	0
	Anzahl Ausreißer	0	0	0	0	0	0
	Anzahl Extremwerte	0	0	0	0	0	0

Tab. 57: Kenngrößen der beobachteten und der berechneten UKR der Autobahnmaßnahmen

5.2 Anschlussstellen von Autobahnen

Zu Anschlussstellen von Autobahnen lagen keine Fallbeispiele mit geeigneten Unfalldaten vor. Zwar liegen Unfalldaten zu Rampen bzw. Einfahrten aus den Untersuchungen von ZIMMERMANN et al. (2013) und KATHMANN et al. (2014) vor, diese sind jedoch räumlich nicht so differenziert, dass sie für die Anwendung des Verfahrens verwendet werden können.

5.3 Plangleiche Knotenpunkte an Landstraßen

Zur Anwendung des Verfahrens werden plangleiche Knotenpunkte an Landstraßen aus den Untersuchungen von

- GERLACH et al. (2008) zu den „Möglichkeiten der schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit“,
- BAIER et al. (2010) zur „Überprüfung der Verkehrssicherheit für das Linksabbiegen bei unterschiedlichen Formen der Signalisierung“,
- ROOS et al. (2014) zur „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen“ und

- BAIER et al. (2014) zur „Evaluation der Anwendung und der Ergebnisse der Sicherheitsaudits von Straßen in Deutschland“

herangezogen.⁵

Für die modellmäßige Bewertung der Knotenpunkte müssen neben Angaben zu den Verkehrsstärken (DTV) der dort verknüpften Straßen, aktuellen Lageplänen und der Entfernung zur nächsten Ortslage vorliegen. Für den Vergleich der modellmäßig berechneten UKR mit den real beobachteten UKR müssen zudem die Unfalldaten aus möglichst mindestens drei Jahren vorliegen. Für die Knotenpunkte aus den Untersuchungen von ROOS et al. (2013) liegen jeweils Unfalldaten aus sechs Jahren und DTV-Werte für zwei Jahre vor. Aus der Untersuchung von BAIER et al. (2010) liegen Unfalldaten für sieben Jahre, aber nur ein DTV-Wert vor. Aus der Untersuchung von GERLACH et al. (2008) liegen Vorher-Nachher-Betrachtungen mit über-

⁵ Die Knotenpunkte aus der Untersuchung von BAIER et al. (2010) zur Überprüfung der Verkehrssicherheit für das Linksabbiegen bei unterschiedlichen Formen der Signalisierung wurden zwar auch für die Modellentwicklung verwendet, aber ohne Betrachtung dieser Knotenpunkte hätte für die Anwendung des Verfahrens kein repräsentatives Kollektiv von Knotenpunkten mit LSA mit geeigneten Unfalldaten zur Verfügung gestanden.

wiegend Unfalldaten aus drei Jahren vor und drei Jahren nach Umbau der Knotenpunkte vor.

Bei den Knotenpunkten, für die Unfalldaten aus mehr als drei Jahren vorliegen, werden jeweils drei Jahre zusammengefasst. Diese Knotenpunkte gingen zweifach in das Kollektiv ein, jedoch immer mit einem Unfallgeschehen aus einem anderen 3-Jahres-Zeitraum. Für einzelne Knotenpunkte liegt nur das Unfallgeschehen aus lediglich zwei Jahren vor, diese wurden dennoch in die Untersuchung einbezogen.

Insgesamt wurden 28 Knotenpunkte betrachtet, von denen für 18 Knotenpunkte jeweils zwei aufeinander folgende 3-Jahres-Zeiträume vorliegen, sodass sich insgesamt 46 Fälle für die Anwendung des Verfahrens ergeben (Tabelle 58). Für diese Fälle wurde jeweils die mittlere beobachtete UKR für den zugehörigen Unfallbetrachtungszeitraum bestimmt und die UKR mit dem GLM-basierten Verfahren berechnet. Hierfür wird ein speziell für jede Knotenpunktart entwickeltes Berechnungsformular genutzt. Die ausgefüllten Formulare für jeden einzelnen Knotenpunkt und Betrachtungszeitraum sind in Anlage 3 enthalten.

Die mittleren beobachteten UKR werden mit den angepassten Unfallkostensätzen nach Tabelle 59 ermittelt, die ebenfalls für die Modellbildung verwendet wurden (vgl. Tabelle 18 in Kapitel 4.3.2). Da eine Differenzierung der U(S) nach den Unfallkategorien 4 bis 6 nicht für alle Beispiele vorlag, wurden alle U(S) mit den pauschalen Unfallkostensätzen zum Preisstand 2010 gerechnet. Bei der Modellbildung wurden nur die Unfälle der Kategorien 1 bis 4 berücksichtigt.

Knotenpunktart	VZ	LSA	gesamt
Einmündung	16	10	26
Kreuzung	4	16	20
gesamt	20	26	46

Tab. 58: Fälle nach Knotenpunktart

Unfallkostensätze [€/U]		
Kategorie	LSA	VZ
KS _{a,U(P)}	55.499	103.196
KS _{s,U(S)}	5.056	

Tab. 59: Verwendete Unfallkostensätze für Knotenpunkte von Landstraßen

Zusätzlich wurden die mittleren beobachteten UKR mit pauschalen durchschnittlichen Unfallkostensätzen zum Preisstand 2010 nach LERNER et al. (2012) berechnet. Diese Ergebnisse befinden sich in Anhang 3.

Mit dem Modell werden unter Berücksichtigung der entsprechenden Merkmale für jede Knotenpunktart über die aus dem Modell resultierenden Faktoren UKR berechnet. Im Ergebnisse liegen damit für 46 Fallbeispiele Werte für die beobachtete UKR und die berechnete UKR vor (Tabelle 60).

Hieraus wird erwartungsgemäß ersichtlich, dass sich bei Knotenpunkten die beobachteten UKR für zwei verschiedene Betrachtungszeiträumen teilweise erheblich unterscheiden, hingegen die modellmäßig berechnete UKR zwangsläufig gleich bleiben, ausgenommen in denjenigen Fälle, bei denen für die beiden Betrachtungszeiträume jeweils ein anderer DTV zugrunde gelegt wurde.

Die Gegenüberstellung der beiden so ermittelten UKR in Tabelle 60 zeigt, dass erwartungsgemäß in den meisten Fällen zwischen den beobachteten und den berechneten UKR deutliche Unterschiede bestehen. Die berechneten UKR sind teils höher, teils niedriger als die beobachteten UKR. Diese Unterschiede sind besonders bei Einmündungen annähernd gleichverteilt. Bei den Kreuzungen liegen dagegen die mittleren beobachteten UKR überwiegend deutlich höher als die berechneten UKR.

Die arithmetischen Mittelwerte (vgl. hierzu auch Erläuterung in Kapitel 5.1.3) der beobachteten und der berechneten UKR sind für jede Knotenpunktart in Tabelle 60 gegenübergestellt. Die berechnete UKR liegt gegenüber der in dem Unfallgeschehen beobachteten durchschnittlichen UKR für Einmündungen mit vorfahrtgeregelten Verkehrszeichen marginal höher. Für alle anderen Knotenpunktarten ist sie geringer. Für Einmündungen mit LSA liegt sie bei knapp 70 % der beobachteten UKR, für Kreuzungen ohne und mit LSA bei gut 45 % der beobachteten UKR.

Die berechneten UKR liegen verfahrensbedingt in einer engen Bandbreite, wohingegen die Bandbreite der beobachteten UKR wesentlich breiter ausfällt.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass das Kollektiv der Modellbildung nur Unfälle der Kategorien 1 bis 4 umfasste, das Anwendungskollektiv aber alle Unfälle beinhaltet. Die berechneten UKR, die aus dem Anwendungskollektiv resultieren, werden aus Un-

Knotenpunktform	Verkehrsregelung	UHS	Unfallzeitraum	DTV Jahr	DTV [Kfz/24 h]	beobachtete UKR [€/(1.000 Kfz)]	berechnete UKR [€/(1.000 Kfz)]
Kreuzung	VZ	ja	1995-1996	k. A.	11.000	124,2	67,5
Kreuzung	VZ	ja	1997-1999	k. A.	5.063	184,0	44,1
Kreuzung	VZ	ja	1997-1999	k. A.	8.065	131,6	53,7
Kreuzung	VZ	ja	2002-2004	k. A.	4.721	76,0	69,8
Einmündung	VZ	nein	1996-1998	k. A.	4.992	96,2	38,3
Einmündung	VZ	ja	2001-2003	k. A.	11.715	84,0	52,1
Kreuzung	LSA	ja	2007-2009	2010	11.423	22,2	13,5
		nein	2010-2012	2010	11.423	16,1	13,5
Kreuzung	LSA	nein	2010-2012	2010	5.018	23,9	16,1
Einmündung	VZ	nein	2006-2008	2005	16.416	18,1	28,8
		nein	2009-2011	2010	18.166	16,6	25,1
Einmündung	VZ	ja	2006-2008	2005	14.277	39,9	32,1
		nein	2009-2011	2010	13.816	27,6	40,7
Einmündung	VZ	ja	2006-2008	2005	7.480	102,0	60,4
		nein	2009-2011	2010	8.698	25,4	56,3
Einmündung	VZ	nein	2006-2008	2005	8.288	59,1	34,9
		nein	2009-2011	2010	5.209	19,0	37,1
Einmündung	VZ	nein	2006-2008	k. A.	13.000	51,5	37,9
		nein	2009-2011	k. A.	13.000	22,1	37,9
Einmündung	VZ	nein	2006-2008	2005	10.526	21,0	44,7
		nein	2009-2011	2010	9.720	19,9	42,2
Einmündung	VZ	nein	2006-2008	2005	13.636	14,2	38,0
		nein	2009-2011	2010	12.264	15,7	39,1
Kreuzung	LSA	ja	2000-2001	k. A.	10.000	61,1	17,7
		nein	2002-2003	k. A.	10.000	27,9	17,7
Kreuzung	LSA	ja	1996-1998	k. A.	4.500	104,4	25,7
Kreuzung	LSA	nein	2002-2003	k. A.	14.000	21,7	16,5
		nein	2004-2005	k. A.	14.000	26,7	16,5
Einmündung	LSA	ja	2001-2003	k. A.	25.000	18,1	14,7
Einmündung	LSA	nein	2005-2006	k. A.	11.715	15,3	13,6
Einmündung	LSA	nein	2002-2004	k. A.	21.207	5,9	12,0
		nein	2005-2007	k. A.	21.207	7,2	12,0
Kreuzung	LSA	ja	2001-2003	k. A.	8.000	62,8	17,9
		ja	2004-2006	k. A.	8.000	73,2	17,9
Einmündung	LSA	ja	2002-2004	k. A.	20.310	47,6	12,1
		ja	2005-2007	k. A.	20.310	23,1	12,1
Kreuzung	LSA	ja	2002-2004	k. A.	16.422	12,9	15,4
		ja	2005-2007	k. A.	16.422	19,1	15,4
Einmündung	LSA	ja	2002-2004	k. A.	23.062	21,4	11,8
		ja	2005-2007	k. A.	23.062	27,4	11,8
Kreuzung	LSA	nein	2002-2004	k. A.	16.000	3,7	12,6
		nein	2005-2007	k. A.	16.000	6,3	12,6
Einmündung	LSA	nein	2002-2004	k. A.	21.914	10,1	9,7
		nein	2005-2007	k. A.	21.914	2,5	9,7
Kreuzung	LSA	ja	2002-2004	k. A.	9.651	32,9	14,0
		nein	2005-2007	k. A.	9.651	31,5	14,0

Tab. 60: Beobachtete UKR und modellmäßig berechnete UKR für Landstraßenknotenpunkte

Wert	Kollektiv	Kat.	UKR [€/1.000 Kfz]			
			Einmündung		Kreuzung	
			LSA	VZ	LSA	VZ
Mittelwert	Beobachtete UKR aus Kollektiv der Modellbildung	1-4	17,3	29,3	22,4	50,9
	Beobachtete UKR aus Anwendungskollektiv	1-6	17,9 (+ 3 %)	39,5 (+ 35 %)	34,2 (+ 53 %)	129,0 (+ 153 %)
	Berechnete UKR aus Anwendungskollektiv	1-6*	11,9 (- 31 %)	40,3 (+ 38 %)	16,1 (- 28 %)	58,8 (+ 16 %)
Median	Beobachtete UKR aus Kollektiv der Modellbildung	1-4	13,6	24,0	17,0	40,4
	Beobachtete UKR aus Anwendungskollektiv	1-6	16,7 (+ 23 %)	23,7 (- 1 %)	25,3 (+ 49 %)	127,9 (+ 217 %)
	Berechnete UKR aus Anwendungskollektiv	1-6*	12,0 (- 12 %)	38,1 (+ 59 %)	15,8 (- 7 %)	60,6 (+ 50 %)

* alle Sachschadenunfälle werden im Modell wie Unfälle der Kategorie 4 berechnet
... Die Klammerwerte beziehen sich auf die Abweichung gegenüber der beobachteten UKR aus dem Kollektiv der Modellbildung

Tab. 61: Vergleich mittlere UKR für verschiedene Knotenpunktarten plangleicher Knotenpunkte von Landstraßen

fällen der Kategorien 1 bis 6 ermittelt, die Sachschadenunfälle werden dabei jedoch wie Unfälle der Kategorie 4 berechnet. Daher müssten die beobachteten UKR grundsätzlich etwas höher liegen als die berechneten UKR. Nach VIETEN et al. (2010) beträgt diese Abweichung etwa 10 % bis 20 %. Hier zeigt sich jedoch, dass die beobachteten UKR des Anwendungskollektivs in den meisten Fällen deutlich über den berechneten UKR liegen (Tabelle 61).

Aber auch die mit dem Modell berechneten UKR des Anwendungskollektivs weichen deutlich von den beobachteten UKR des Kollektivs der Modellbildung ab. In diesem Fall allerdings sowohl nach oben als auch nach unten. Dies zeigt, dass das Unfallgeschehen, welches dem Kollektiv der Modellbildung zugrunde liegt, und das Unfallgeschehen, welches dem Anwendungskollektiv zugrunde liegt, sehr unterschiedlich ist. Beispielsweise ist die sehr hohe Abweichung bei den Kreuzungen mit vorfahrregelnden Verkehrszeichen der Kollektivgröße von 4 Knotenpunkten geschuldet, die alle gemäß dem M Uko (FGSV, 2012) als Unfallhäufungsstellen (UHS) identifiziert wurden.

Eine wahrscheinliche Erklärung für die Tatsache, dass der Mittelwert der beobachteten UKR des Anwendungskollektivs so deutlich über dem Mittelwert des Kollektivs der Modellbildung liegt (Bild 47), ist darin zu suchen, dass das Anwendungskollektiv einen ungewöhnlich hohen Anteil an Knotenpunkten umfasst, die gemäß des M Uko (FGSV, 2012) als Unfallhäufungsstellen (UHS) eingestuft sind. Dieser

Anteil ist weit höher als der Anteil an Knotenpunkten, die durchschnittlich in Deutschland als UHS eingestuft werden. Er liegt damit vermutlich auch weit höher als der Anteil der als UHS eingestuft Knotenpunkte in dem der Modellbildung zugrunde liegenden Kollektiv. Dies legt zunächst eine getrennte Betrachtung der Knotenpunkt in solche nahe, die als UHS eingestuft werden, und solche, die nicht als UHS eingestuft sind. Da das Modell keine Faktor für UHS als sicherheitsrelevante Einflussgröße beinhaltet, wird in einem weiteren Schritt entschieden, die vergleichende Betrachtung zwischen beobachteten und berechneten UKR ausschließlich auf diejenigen Knotenpunkte zu beschränken, die nicht als UHS eingestuft sind. Die Konsequenz dieser Entscheidung ist jedoch, dass das Anwendungskollektiv deutlich kleiner und damit weniger aussagekräftig wird. So zum Beispiel entfallen aus dem Anwendungskollektiv sämtliche Kreuzungen ohne LSA, da diese alle als UHS ausgewiesen waren.

Die Verteilung der Fallbeispiele des Anwendungskollektivs für Knotenpunkte, die als UHS ausgewiesen sind, und solche, bei denen dies nicht der Fall ist, zeigen Tabelle 62 und Tabelle 63.

Die Gegenüberstellungen der beobachteten und der berechneten UKR für die als UHS ausgewiesenen Knotenpunkte und die nicht als UHS ausgewiesenen Knotenpunkte in Bild 48 bzw. Bild 50 zeigen, dass die beobachteten UKR bei den als UHS ausgewiesenen Knotenpunkten bei allen Knotenpunktarten sehr deutlich über den berechneten UKR

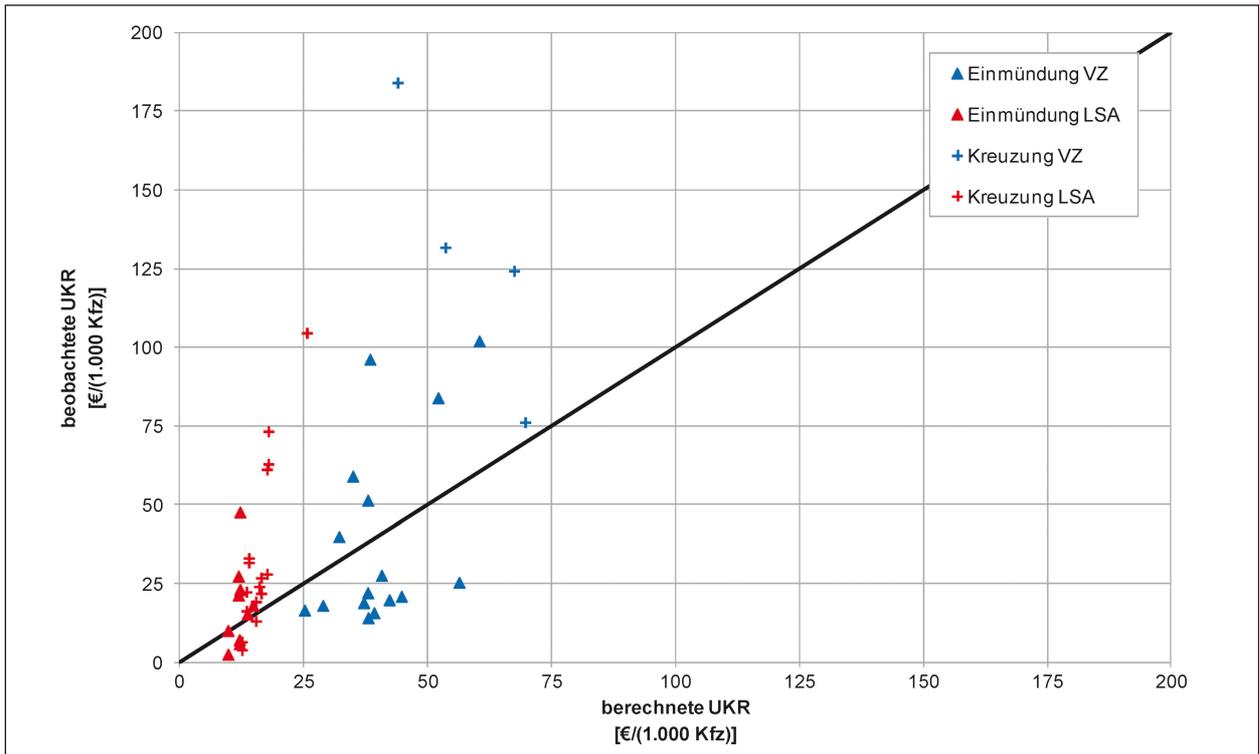


Bild 46: Beobachtete UKR und berechnete UKR

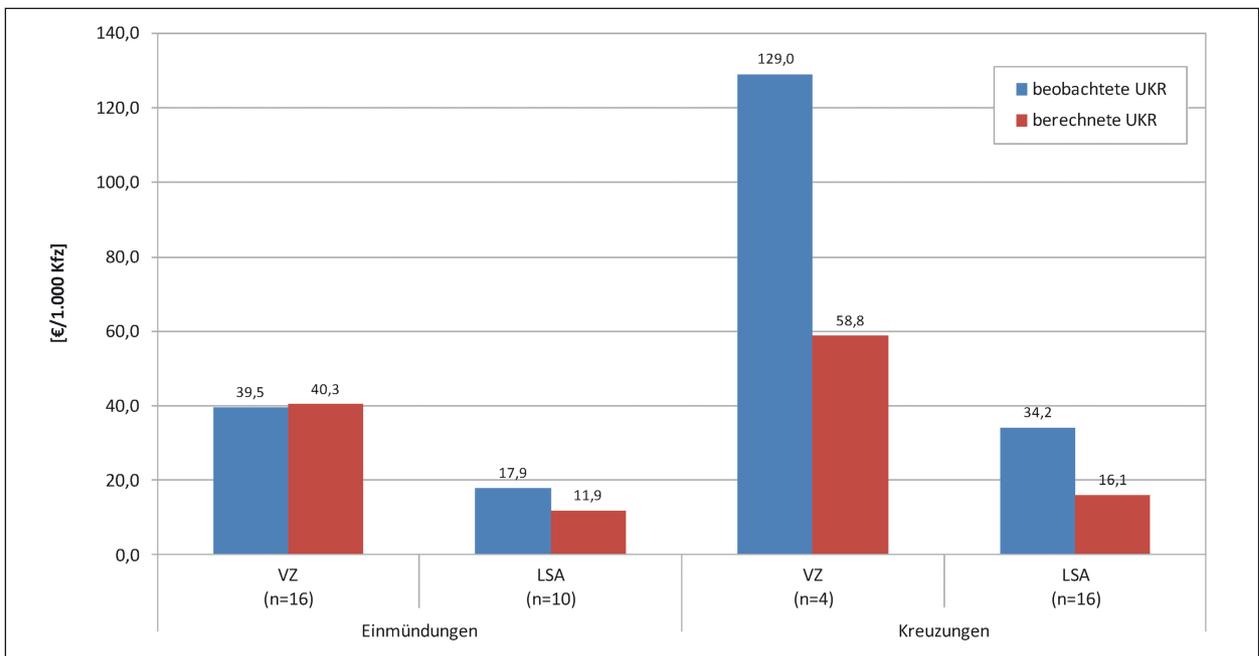


Bild 47: Mittelwert (arithmetisch) der beobachteten UKR und der berechneten UKR

Knotenpunktart	VZ	LSA	gesamt
Einmündung	3	5	8
Kreuzung	4	8	12
gesamt	7	13	20

Tab. 62: Fallbeispiele nach Knotenpunktart für Knotenpunkte mit UHS

Knotenpunktart	VZ	LSA	gesamt
Einmündung	13	5	18
Kreuzung	0	8	8
gesamt	13	13	26

Tab. 63: Fallbeispiele nach Knotenpunktart für Knotenpunkte ohne UHS

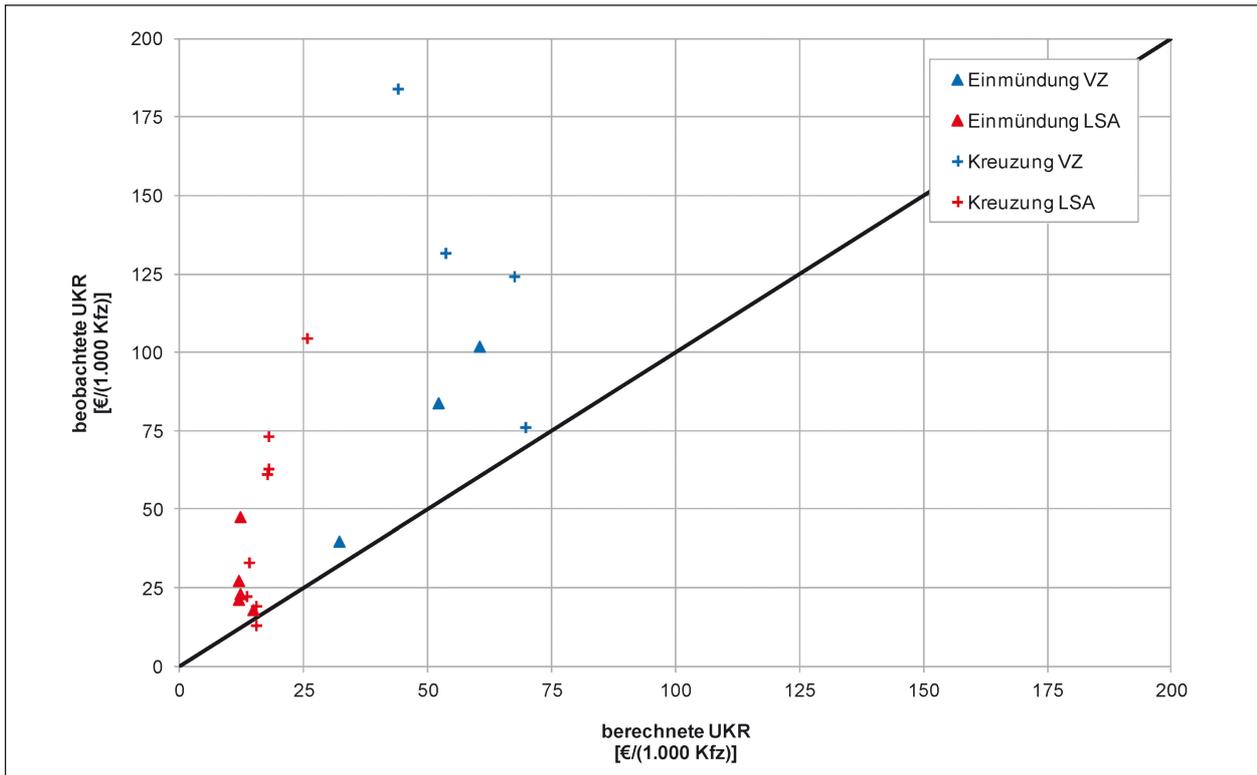


Bild 48: Beobachtete UKR und berechnete UKR für Knotenpunkte (nur die als UHS ausgewiesenen Knotenpunkte)

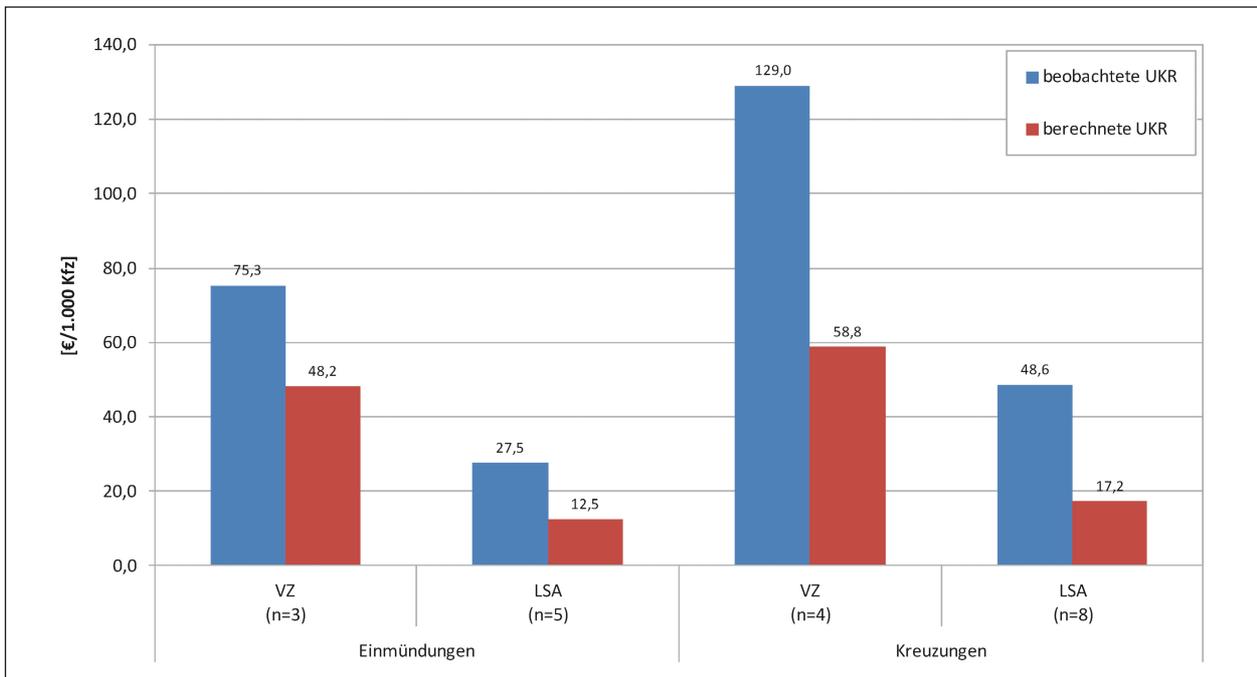


Bild 49: Mittelwerte (arithmetisch) der beobachteten UKR und der berechneten UKR für Knotenpunkte (nur für die als UHS ausgewiesenen Knotenpunkte)

liegen. Dies war zu erwarten, da es in dem Modell richtigerweise keinen Faktor gibt, der die Ausweisung eines Knotenpunkts als UHS berücksichtigt.

Der große Unterschied zwischen den beobachteten und den berechneten UKR für die als UHS ausge-

wiesenen Knotenpunkte zeigt sich bereits in der Gegenüberstellung der arithmetischen Mittelwerte. Dieser große Unterschied gilt gleichermaßen für alle Knotenpunktarten. Für Einmündungen ohne und mit LSA liegen die berechnete UKR nur bei

etwa 65 % bzw. 45 % der beobachteten UKR, für Kreuzungen ohne und mit LSA bei nur 45 % bzw. 35 % der beobachteten UKR (Bild 49).

Daraus ist zu folgern, dass mit den durch das Modell identifizierten sicherheitsrelevanten Einflussfaktoren eine UHS nicht erklärt werden kann, sondern weitere Einflussfaktoren (wie z. B. Griffigkeit, oder ein spezielles Fahrerverhalten) dazu beitragen, dass es an einem Knotenpunkt zu einer Unfallhäufung kommt.

Einen anderen Zusammenhang zeigt die Betrachtung des Kollektivs der nicht als UHS ausgewiesenen Knotenpunkte. Hier ist aus Bild 50 ersichtlich, dass die einzelnen Werte nicht in dem Maße um die Diagonale streuen wie bei dem Kollektiv der als UHS ausgewiesenen Knotenpunkte. Dieses Anwendungskollektiv entspricht offenbar viel besser dem Kollektiv der Knotenpunkte, das bei der Modellbildung herangezogen wurde. Deshalb wird der Vergleich zwischen den beobachteten und den berechneten UKR im Folgenden auf das Kollektiv der nicht als UHS ausgewiesenen Knotenpunkte beschränkt, auch wenn das Kollektiv dadurch auf nur 26 Fallbeispiele reduziert wird.

Der Vergleich der arithmetischen Mittelwerte in Bild 53 zeigt, dass bei Einmündungen die berechnete UKR nur geringfügig höher ist als die beobachtete UKR (die Werte liegen bei Einmündungen ohne LSA bei 120 % und bei Einmündungen mit LSA bei 140 %), bei Kreuzungen sind sie hingegen geringfügig niedriger (bei Kreuzungen mit LSA liegt der Wert bei 75 %). Trotz der geringen Größe des Anwendungskollektivs scheint das Modell die „Realität“ im Mittel recht gut zu treffen.

Weitere Aussagen über die Abbildungsgenauigkeit des Modells liefern die Größe und Verteilung der beobachteten und der berechneten UKR bei den Einzelfallbeispielen. Die Darstellung erfolgt mithilfe von Whisker-Box-Plots (vgl. hierzu auch Erläuterung in Kapitel 5.1.3).

Die Ergebnisse in Bild 52 und Bild 53 sowie Tabelle 64 zeigen, dass auch die Streuungen der beobachteten und berechneten UKR bei den Einzelfallbeispielen relativ gering sind, dies gilt insbesondere für Knotenpunkte mit LSA. Die Anzahl der Ausreißer und Extremwerte ist sehr gering bis gar nicht vorhanden. Das Whisker-Box-Plot mit dem 15%-Quantil und 85%-Quantil (Bild 53) zeigt, dass so gut wie alle Werte der berechneten UKR in der Box der entsprechenden beobachteten Werte liegen.

Im untersuchten Anwendungskollektiv sind auch Knotenpunkte enthalten, für die das Unfallgeschehen vor und nach einer Umbaumaßnahme erfasst wurde. Tabelle 65 zeigt, dass sich die beobachtete UKR sich durch die jeweiligen Maßnahmen deutlich verbessert hat, wohingegen die berechnete UKR gleich bleibt, da die durchgeführten verkehrstechnischen Maßnahmen – es wurden die Fahrstreifenaufteilung und die Signalisierung geändert und Wartelinien zur Verdeutlichung der Wartepflicht markiert – nicht als Einflussfaktoren im Modell enthalten sind.

Das Fehlen derartiger für die Verbesserung der Verkehrssicherheit offensichtlich relevanten Einflussgrößen wird bei der Nutzung der Forschungsergebnisse für das HVS zur Konsequenz haben, dass hierfür im HVS gesondert zusätzliche Werte für diese Einflussgrößen gesetzt werden müssen. Das gilt aber nicht nur für die vorerwähnten Verbesserungsmaßnahmen verkehrstechnischer Art, sondern auch für andere Einflussgrößen, die sich in der Praxis als sicherheitsrelevant erwiesen haben und die dennoch im Modell nicht als Einflussfaktoren ermittelt werden konnten. Bei Knotenpunkten mit LSA geht in die modellmäßige Berechnung der UKR neben dem DTV nur die Anzahl der Knotenpunktarme, die Entfernung zur nächsten Ortslage und das Vorhandensein einer Dreiecksinsel für den Rechtsabbieger ein. Die Art der Linksabbiegersignalisierung und die Frage, ob und wie Fußgänger und Radfahrer am Knotenpunkt geführt werden, sind im Modell nicht als Einflussfaktoren enthalten. Wenn diese Einflussgrößen weiterhin für wichtig gehalten werden – und dafür sprechen die Erkenntnisse aus der Praxis – müssen entsprechende Zuschläge für diese Merkmale aufgrund von Erfahrungen gesetzt werden.

Bei Knotenpunkten ohne LSA gehen in die modellmäßige Berechnung der UKR neben dem DTV der Anteil des DTV auf den Nebenstraßen am DTV der Hauptstraße, die Lage im Kurvenbereich, das Vorhandensein von Fahrbahnteilern in den untergeordneten Zufahrten und bei Einmündungen zusätzlich noch die Entfernung zur nächsten Ortslage sowie das Vorhandensein einer Dreiecksinsel für den Rechtsabbieger und eines Linksabbiegestreifens ein. Die Frage, ob und wie Fußgänger und Radfahrer am Knotenpunkt geführt werden, geht dagegen ebenso wenig in das Modell ein wie die V_{zu1} in den Knotenpunktzufahrten. Auch hier werden gegebenenfalls die Zuschläge bis auf weiteres erfahrungsgestützt gesetzt werden müssen.

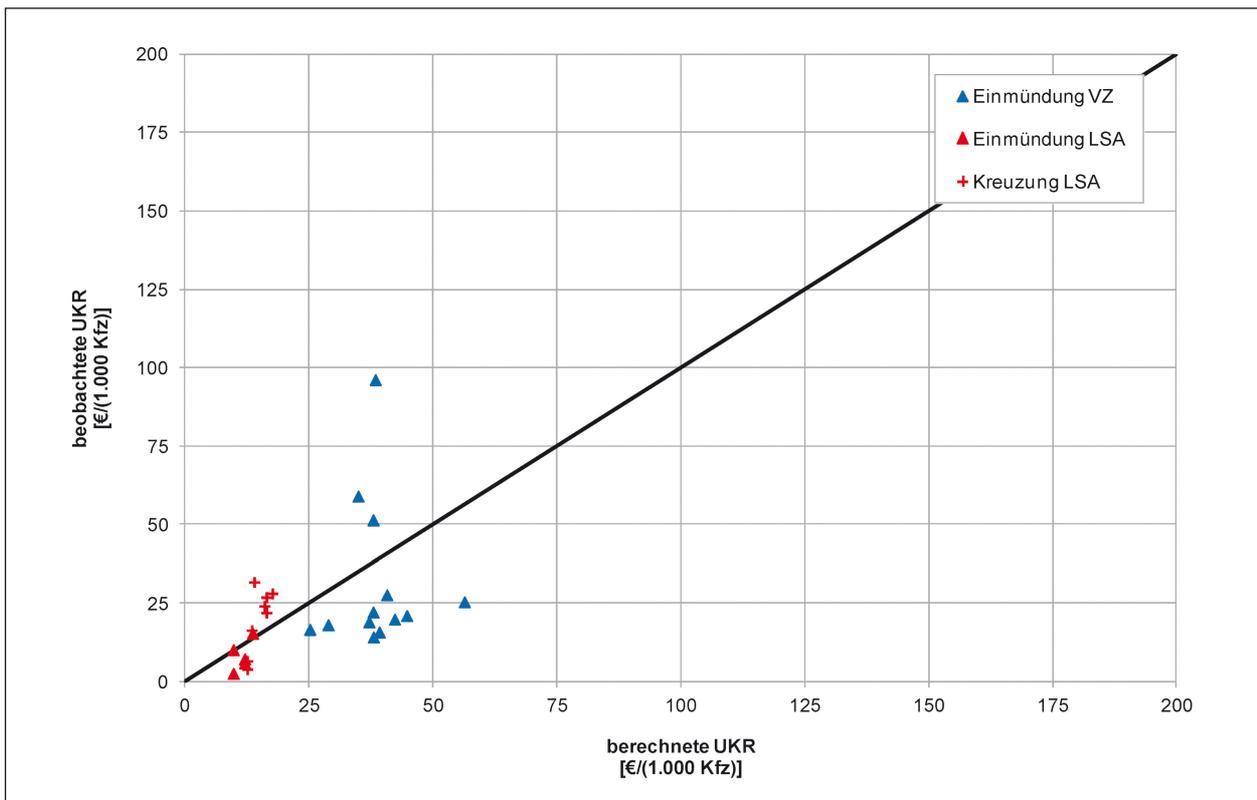


Bild 50: Beobachtete UKR und berechnete UKR für Knotenpunkte (ohne die als UHS ausgewiesenen Knotenpunkte)

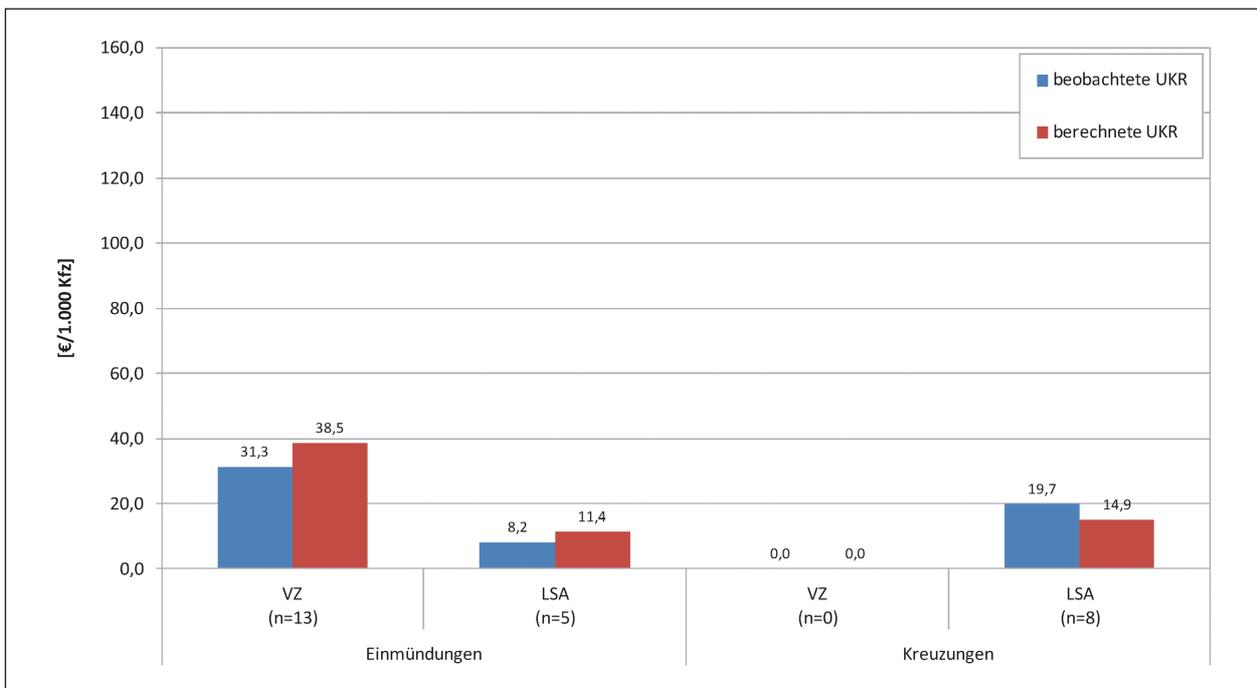


Bild 51: Mittelwerte (arithmetisch) der beobachteten UKR und der berechneten UKR für Knotenpunkte (ohne die als UHS ausgewiesenen Knotenpunkte)

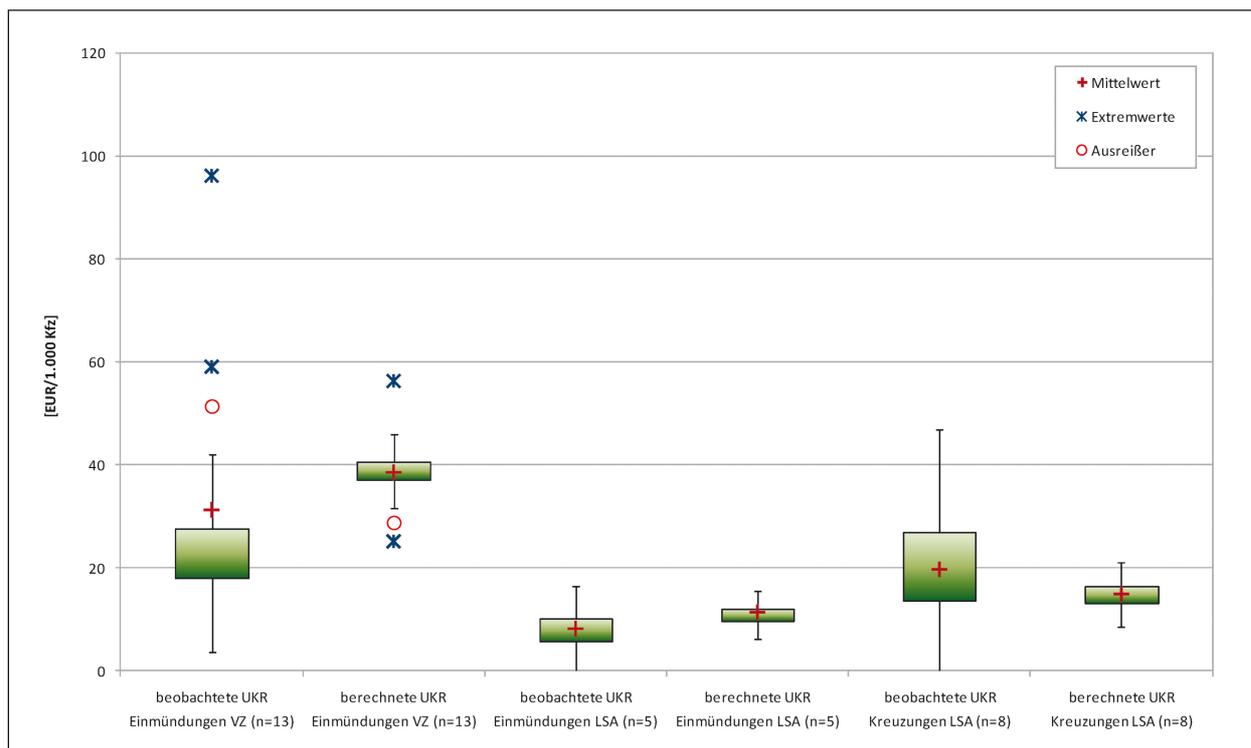


Bild 52: Whisker-Box-Plot der beobachteten und der berechneten UKR mit Box zwischen dem 25%-Quantil und dem 75%-Quantil der Knotenpunkte

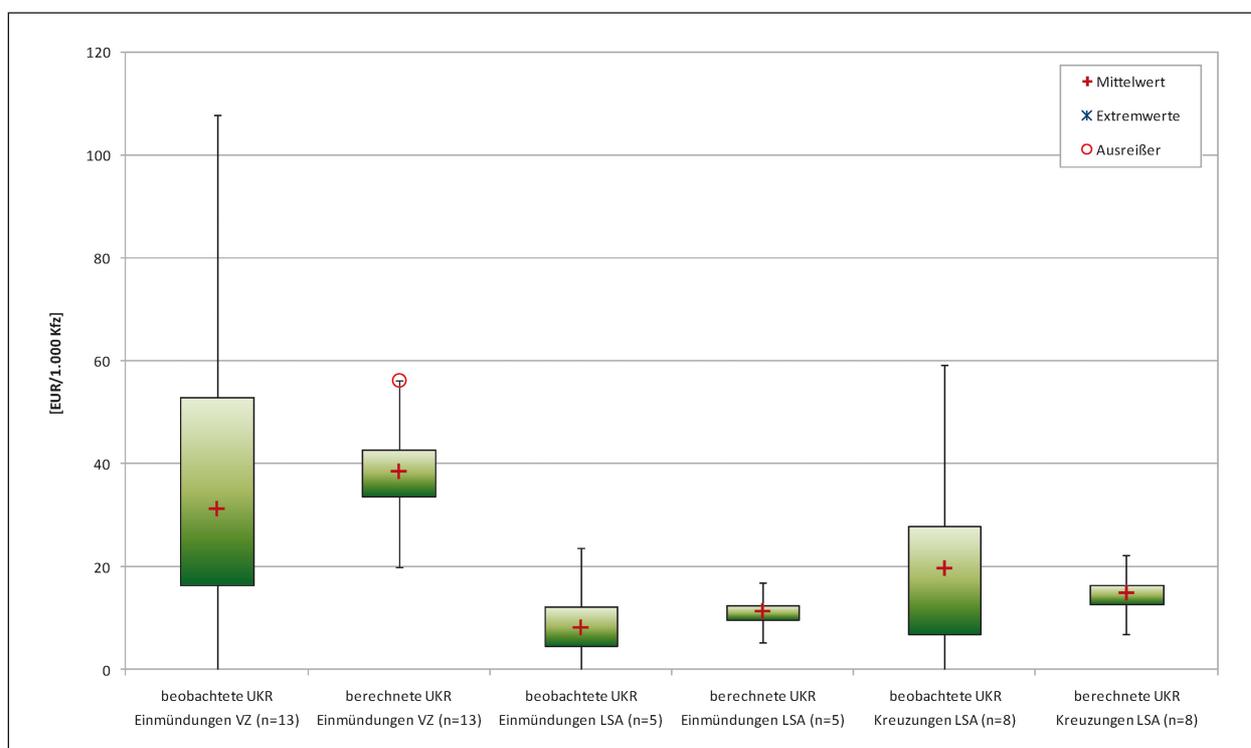


Bild 53: Whisker-Box-Plot der beobachteten und der berechneten UKR mit Box zwischen dem 15%-Quantil und dem 85%-Quantil der Knotenpunkte

Kenngröße		Beobachtete UKR [€/1.000 Kfz] VZ-geregelte Einmündungen	Beobachtete UKR [€/1.000 Kfz] Einmündungen mit LSA	Berechnete UKR [€/1.000 Kfz] Einmündungen mit LSA	Beobachtete UKR [€/1.000 Kfz] Kreuzungen mit LSA	Berechnete UKR [€/1.000 Kfz] Kreuzungen mit LSA	Berechnete UKR [€/1.000 Kfz] Kreuzungen mit LSA
Mittelwert		31,3	38,5	8,2	11,4	19,7	14,9
Box 25 % bis 75 %	UKR Boxgrenzen	18,1 bis 27,6	37,1 bis 40,7	5,9 bis 10,1	9,7 bis 12,0	13,7 bis 22,8	13,3 bis 15,1
	UKR Boxhöhe	9,6	3,6	4,2	2,3	13,3	3,2
	Anzahl Ausreißer	2	2	0	0	0	0
	Anzahl Extremwerte	1	1	0	0	0	0
Box 15 % bis 85 %	UKR Boxgrenzen	16,4 bis 53,0	33,7 bis 42,7	4,5 bis 12,2	9,7 bis 12,6	6,8 bis 27,8	12,7 bis 16,5
	UKR Boxhöhe	36,6	9,1	7,7	2,9	21,0	3,8
	Anzahl Ausreißer	0	1	0	0	0	0
	Anzahl Extremwerte	0	0	0	0	0	0

Tab. 64: Kenngrößen der beobachteten und der berechneten UKR für die nicht als UHS ausgewiesenen Knotenpunkte

Knotenpunkt- form	Verkehrs- regelung	UHS	Unfallzeitraum	DTV Jahr	Beobachtete UKR [€/1.000 Kfz]	Berechnete UKR [€/1.000 Kfz]
Kreuzung	LSA	ja	2000-2001	k. A.	61,1	17,7
		nein	2002-2003	k. A.	27,9	17,7

Tab. 65: Beobachtete und berechnete UKR für veränderte Knotenpunkte vor und nach der Änderung

6 Vorschlag zur Integration in die RWS

Die derzeit in Erarbeitung befindlichen neuen RWS (ARGE RAS-W, 2014) enthalten eine Methode für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, mit der in Abhängigkeit von infrastrukturellen und verkehrlichen Randbedingungen die monetäre Vorteilhaftigkeit von geplanten Straßenbaumaßnahmen ermittelt werden kann. Bei einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung nach den RWS handelt es sich um eine Nutzen-Kosten-Analyse, bei der die volkswirtschaftlich relevanten Nutzen einer Straßenbaumaßnahme den für die Realisierung dieser Maßnahme erforderlichen Kosten gegenübergestellt werden. Bewertungskriterium ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) als Quotient aus der einer Straßenbaumaßnahme zurechenbaren Nutzen und den für ihre Realisierung erforderlichen Kosten. Bei den einzubeziehenden Nutzen und Kosten handelt es sich um diejenigen Effekte, die sich durch die zu

bewertende Maßnahme (Planfall), gegebenenfalls in Form mehrerer Varianten, im Vergleich zur Nichtrealisierung der Maßnahme (Vergleichsfall) ergeben.

Alle Auswirkungen einer Straßenbaumaßnahme, die nicht den Kosten zugewiesen sind, werden als Nutzen berücksichtigt. Dabei werden nur solche Nutzenkomponenten berücksichtigt, deren Mengengerüst i. d. R. mit standardisierten Verfahren hinreichend genau quantitativ erfasst und deren Effekte monetär bewertet werden können.

Eine der Nutzenkomponenten ist die Veränderung des Unfallgeschehens. Zu deren Bestimmung sind die jährlichen Unfallkosten im Plan- und Vergleichsfall auf allen Strecken und in allen plangleichen Knotenpunkten in einem vorab festzulegenden Untersuchungsnetz zu ermitteln. Aus der Differenz der Unfallkosten für das gesamte Untersuchungsnetz leitet sich der Nutzen aus Veränderung des Unfallgeschehens ab.

Die Bezugsebene für die Ermittlung der Mengengerüste aller Nutzenkomponenten wie auch der laufenden Kosten sind differenzierte Strecken- und Knotenpunkttypen. Diese Strecken- und Knotenpunkttypen orientieren sich an den Regelquerschnitten und Knotenpunktarten der RAA (FGSV, 2008), der RAL (FGSV, 2012) und der RAS (FGSV, 2006) sowie der davor geltenden Entwurfsrichtlinien. Die Streckentypen sind jeweils fahrtrichtungsbezogen definiert.

Die Streckentypen sind, nach den Kategorien- und Betriebsmerkmale definiert, die für die Ermittlung der Mengengerüste mehrerer Nutzenkomponenten sowie für die laufenden Kosten relevant sind. Diese Entwurfs- und Betriebsmerkmale ergeben sich bei bestehenden Straßen aus den vorhandenen Merkmalen und bei geplanten Straßen (Neu-, Um- oder Ausbau) aus den vorangehenden Stufen des Planungsprozesses.

Bei den Streckentypen von Autobahnen wird im Hinblick auf das Unfallgeschehen nach folgenden Entwurfs- und Betriebsmerkmalen differenziert:

- Streckencharakteristik (freie Strecke oder Tunnel),
- Anzahl der Fahrstreifen in betrachteter Richtung (zwei, drei oder vier Fahrstreifen),
- Querschnittsausbildung in Bezug auf das Vorhandensein eines Seitenstreifens und
- V_{zul} (keine Beschränkung bzw. Richtgeschwindigkeit von 130 km/h oder 120 km/h oder ≤ 100 km/h).

Bei den Streckentypen von einbahnigen Landstraßen wird im Hinblick auf das Unfallgeschehen nach folgenden Entwurfs- und Betriebsmerkmalen differenziert:

- Streckencharakteristik (freie Strecke oder Tunnel),
- Anzahl der Fahrstreifen in betrachteter Richtung (ein oder zwei Fahrstreifen, letzteres bei zweistreifigen Straßen mit zusätzlichem Überholfahrstreifen bzw. bei dreistreifigen Straßen) und
- Fahrbahnbreite (schmale, reduzierte oder normalbreite Fahrbahn, nur bei durchgängig zweistreifigen Straßen).

Bei plangleichen Knotenpunkten an Landstraßen wird nach der Knotenpunktart (Knotenpunkte mit

LSA, Knotenpunkte ohne LSA und Kreisverkehre) und der Anzahl der verknüpften Straßen (Einmündung oder Kreuzung, drei- oder vierarmiger Kreisverkehr) unterschieden.

Bei Knotenpunkten mit LSA wird unterschieden, ob die Linksabbieger signaltechnisch gesichert geführt werden. Liegen keine Angaben vor, ist ein Knotenpunkttyp ohne Linksabbiegerschutz anzusetzen. Bei Einmündungen und Kreuzungen ohne LSA wird die Art der Vorfahrtregelung (Zeichen 205 StVO oder Zeichen 206 StVO) nicht gesondert berücksichtigt. Bei Kreisverkehren werden kleine Kreisverkehre mit einstreifig befahrbarer Kreisfahrbahn und einstreifigen Zu- und Ausfahrten vorausgesetzt. Zweistreifig befahrbare Kreisverkehre sowie Kreisverkehre mit Bypässen werden nicht gesondert berücksichtigt; sie werden näherungsweise wie kleine Kreisverkehre behandelt.

Zur Bestimmung der Veränderungen des Unfallgeschehens sind den einzelnen Strecken- bzw. Knotenpunkttypen jeweils UKR zugewiesen. Dabei werden für bestehende und geplante Straßenverkehrsanlagen unterschiedliche UKR angesetzt.

Das für das HVS entwickelte Verfahren erscheint – unabhängig von den in Kapitel 7 dargestellten bisher noch bestehenden Anwendungseinschränkungen – für eine Integration ungeeignet, da es aufgrund der Detailliertheit der zu berücksichtigenden sicherheitsrelevanten Einflussgrößen eher auf die Betrachtung von einzelnen oder wenigen zusammenhängenden Straßenverkehrsanlagen ausgerichtet und somit für die Betrachtung von größeren Netzen zu detailliert ist.

Für eine netzbezogene Betrachtung ist das in den RWS angegebene standardisierte Verfahren zur Bestimmung der Veränderungen des Unfallgeschehens sachgerecht und führt bei Verfügbarkeit ausreichender Datengrundlagen i. d. R. zu hinreichend genauen Ergebnissen.

In den RWS wird aber darauf hingewiesen, dass es in besonderen Fällen erforderlich sein kann, die Mengengerüste mithilfe alternativer Verfahren zu ermitteln. Solche besonderen Fälle können punktuelle Maßnahmen, wie der Umbau eines Autobahnknotenpunkts oder die Umgestaltung eng benachbarte Knotenpunkte, sein.

Voraussetzung für die Verwendung alternativer Verfahren – und ein solches stellt das für das HVS entwickelte Verfahren dar – ist, dass diese für den

Planfall und den Vergleichsfall in gleicher Weise verwendet werden und dass damit die gleichen Größen wie mit dem standardisierten Verfahren der RWS bestimmt werden. Im Hinblick auf die Bewertung des Unfallgeschehens sind dies die jährlichen Unfallkosten. Zu beachten ist dabei jedoch, dass auch bei der Anwendung alternativer Verfahren für die monetäre Bewertung der Nutzen die in den RWS zu den standardisierten Verfahren angegebenen Kostensätze (Wertgerüst) zu verwenden sind.

7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

7.1 Grundsätzliches

Das entwickelte Verfahren für die Berechnung der UKR der freien Strecken, der Einflussbereiche und der plangleichen Knotenpunkte von Landstraßen sowie der Strecken und Anschlussstellen von Autobahnen ist nach einer gewissen Einarbeitungszeit für jeden Planer, der die Sicherheitsbewertungen durchführen soll, anwendbar. Die in den Anlagen 1 bis 3 beigefügten Beispielrechnungen können hierbei als Hilfestellung dienen. Allerdings sind die bei der Modellbildung zugrunde gelegten Annahmen, was u. a. die Abgrenzung der Einflussbereiche vor plangleichen Knotenpunkten, Ein- und Ausfädelungstreifen von planfreien Knotenpunkten sowie Ortsdurchfahrten betrifft, exakt einzuhalten.

Im Vergleich zu einer Vielzahl bisheriger Untersuchungen gelingt mit dem gewählten Verfahrensansatz eine Identifikation von auf die Verkehrssicherheit wirkenden Merkmalen. Es liegt die quantifizierte Wirkung der einzelnen Merkmale unabhängig von anderen Merkmalen vor. Damit können die Wirkungen besser zueinander in Relation gesetzt werden. Dies stellt einen wesentlichen Fortschritt dar. Das Verfahren bedingt, dass die Höhe des Einflusses der Merkmale aus einer Bewertung des zugrunde liegenden Kollektivs beruht und somit deren mittlere zu erwartende Wirkung im Rahmen eines großen Kollektivs beschreibt. Demzufolge weisen die mit den Modellen berechneten UKR gegenüber den beobachteten UKR geringere Streuungen auf. Rückschlüsse aus den berechneten UKR auf Einzelfälle sind nicht zulässig.

Die Festlegung einer gUKR definiert das Sicherheitsniveau, das bei regelkonformer Gestaltung

eines Netzelements zu erwarten ist. Unabhängig davon stellt die gUKR i. d. R. aber auch immer einen Mittelwert dieses Niveaus dar, welches mit dem allgemeinen Verfahrensansatz – Ermittlung der UKR aus Addition von gUKR und zUKR – aus einer Berechnung heraus nicht unterschritten werden kann. Demgemäß zeigt die Anwendung des Verfahrens an ausgewählten Planungen für Landstraßen und Autobahnen auch, dass die teilweise sehr niedrigen UKR von gemäß den neuen RAL (FGSV, 2012) bzw. RAA (FGSV, 2008) ausgebauten Landstraßen und Autobahnen mit einem GLM-basierten Modellansatz nicht abgebildet werden können.

Die mit den Modellen berechneten UKR liegen verfahrensbedingt in relativ engen Bandbreiten, wohingegen die Bandbreite der in der Realität beobachteten UKR wesentlich breiter ist.

Die mit den Modellen berechneten gUKR erscheinen relativ hoch. Da nur in Ausnahmefällen eine vollständige Erklärung der systematischen Streuung des Unfallgeschehens in den Modellen gelang, beinhalten die ermittelten gUKR höchstwahrscheinlich einige Defizite, die sich bei den Modellberechnungen als nicht signifikant erwiesen haben. Andere allgemeine Größen, die die Unfallhäufigkeit maßgebend beeinflussen – beispielsweise Hügeligkeit oder Kurvigkeit –, sind mutmaßliche Stellvertreter konkreter Defizite, die auf Basis der bestehenden Datengrundlage nicht oder nur unzureichend zu identifizieren sind.

Der HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) sieht für die Elemente Knotenpunkt und Strecke eine getrennte Bewertung vor. Vor diesem Hintergrund erscheint auch die Angabe von getrennten Unfallkostensätzen – eine Trennung nach Querschnitten muss nicht zwangsläufig erfolgen – für diese Elemente sinnvoll. Diese Differenzierung erlaubt eine exaktere volkswirtschaftliche Bewertung der Verkehrssicherheit verschiedener Maßnahmen und verringert Ungenauigkeiten, die auf Basis eines über alle Netzelemente pauschalisierten Kostensatzes entstehen.

Auf Basis des bisherigen Wissenstands sind für die fortführende Arbeit des Arbeitsausschusses 2.13 „Verkehrssicherheitsbewertung von Straßen“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Empfehlungen bezüglich des Niveaus der gUKR sowie der Höhe und Notwendigkeit beschriebener oder nicht identifizierter sicherheitsrelevanter

Merkmale (Zuschläge) in Abhängigkeit der verschiedenen Netzelemente zu treffen.

Folgende prinzipielle Aussagen und Empfehlungen können aus den angewandten Verfahren getroffen werden:

- Aufgrund der fehlenden Varianzerklärung für den überwiegenden Teil der Modelle ist zu vermuten, dass die real zu erwartende gUKR gegenüber der auf Basis der Modelle berechneten gUKR ein geringeres Niveau aufweist. Vor dem Hintergrund einer kontinuierlichen Abnahme der Unfallschwere steht die Höhe der berechneten gUKR – größtenteils basierend auf Bestandsstrecken und dem Unfallgeschehen des letzten Jahrzehnts – zur Diskussion. Eine mögliche Reduzierung des gUKR-Niveaus ist aber immer im Kontext mit einer Anpassung der Höhe der berechneten zUKR – sowie Angleichung von Einzelwerten – zu sehen.
- Ein linearer Zusammenhang zwischen gUKR und Verkehrsstärke liegt für Strecken von Landstraßen und Autobahnen nicht oder nur eingeschränkt vor. Vor dem Hintergrund, eine einfache Handhabbarkeit des Verfahrens in einer zukünftigen Anwendung zur Ermittlung der gUKR zu gewährleisten, wird zur Berücksichtigung des regressiven Verlaufs der gUKR die stufenweise Darstellung selbiger in Abhängigkeit der Verkehrsstärke empfohlen.
- Landstraßenknotenpunkte ohne LSA weisen eine Abhängigkeit der gUKR vom Verhältnis über- und untergeordneter Ströme zueinander auf. Die Höhe der gUKR kann für relevante Stromverhältnisse aus Tabellen entnommen werden. Die gUKR für Knotenpunkte mit LSA ist praktisch unabhängig von der Verkehrsstärke.
- Für Anschlussstellen von Autobahnen besteht zwischen gUKR und Verkehrsstärke ein leicht degressiver Zusammenhang, welcher durch eine dichotome Klassifizierung der gUKR beschrieben werden kann. Dabei wird die Verkehrssicherheit wesentlich vom Anteil des ein- bzw. ausfahrenden Stroms einer Anschlussstelle geprägt.
- Im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) ist die Addition mehrerer Zuschläge vorgesehen. Dem gewählten Verfahren liegt ein multiplikativer Ansatz zur Aggregation der Zuschläge zugrunde. Dies hat zur Folge, dass bei einer Überlagerung mehrerer Defizite die berechnete UKR eine hö-

here Größenordnung annimmt, als es bei einem additiven Ansatz der Fall wäre. Diese Annahme wird durch den Vergleich beobachteter und berechneter Unfallzahlen in der Residuenanalyse der Einzelkollektive gestützt.

- Die Abhängigkeit bzw. Variabilität der gUKR von der Verkehrsstärke der Strecke bzw. eines Knotenpunktes lässt die Angabe von Zuschlägen mit absoluten Werten fraglich werden. Diesbezüglich empfiehlt es sich, die Höhe der Zuschläge über eine relative Angabe zur gUKR mittels Anteilswert A_{UKR} (Relation) darzustellen. Die Höhe des A_{UKR} wird von der Art des Zuschlags (Grundwert) und gegebenenfalls von der entsprechenden Merkmalsausprägung (Anteilswert) geprägt.
- Merkmalen, die im Untersuchungskollektiv in ausreichender Zahl vorlagen, aber für die kein signifikanter Einfluss im Modell nachgewiesen wurde, ist auch in der Praxis nur ein geringer Einfluss auf die Verkehrssicherheit zu unterstellen. Zu Merkmalen die nicht Bestandteil des Kollektivs waren, ist keine Aussage über die Höhe des Einflusses in der Praxis möglich.

Gegenüber den Ansätzen des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) ermöglichen die modellbasierten Ergebnisse des Projekts nur für einen Teil mutmaßlicher Einflussgrößen eine Aussage darüber, ob und in welchem Umfang dieses Merkmal – Defizit oder sicherheitsrelevante Streckencharakteristik – einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit besitzt. Darüber hinaus ist für einige Merkmale nicht klar, ob die Größenordnung ihres Einflusses durch weitere unerklärte Merkmale geprägt wird. Für die Bewertung verschiedener Netzelemente im Rahmen eines weiterentwickelten HVS wird daher nachfolgend angeregt, für alle im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) enthaltenen Zuschläge die erklärten Merkmalen der Modelle um eine qualitative Einschätzung der unerklärten Merkmale zu ergänzen. Tabelle 66 enthält die Aufschlüsselung der getroffenen Fallunterscheidungen. Die mit-

Fall	Beschreibung
1	Zuschlag erklärt, Relation akzeptabel
2	Zuschlag erklärt, Anpassung der Relation empfohlen
3	Zuschlag liegt nachweislich nicht vor
4	Zuschlag vermutet, aber nicht nachgewiesen

Tab. 66: Falldefinition zur Bewertung von Zuschlägen

hilfe der Modelle erklärte Abhängigkeit der Unfallhäufigkeit von der Verkehrsstärke lässt den Vergleich von Zuschlägen bezüglich des Kriteriums Verkehrsstärke überflüssig werden. Weiterhin wird auf eine Darstellung von Zuschlägen, die sinnhaft von artähnlichen Merkmalen des Modells erklärt werden, verzichtet.

7.2 Strecken von Landstraßen

Die in Tabelle 67 enthaltenen Merkmale umfassen alle relevanten Zuschläge, die entweder durch das Modell erklärt werden oder für die ein Einfluss unabhängig der Ergebnisse in MAIER et al. (2012) unterstellt wird. Das Kollektiv „Q dreistreifig“ entspricht dabei den beiden kategorial getrennten Querschnitten Q 11,5+ und Q 15,5. Für die Kriterien Höhenplan und Lageplan liegen umfangreiche Aussagen bezüglich der Zuschläge vor. Für die Gestaltung des Querschnitts können wesentliche Zuschläge durch das Modell erklärt werden. Gegenüber den bisherigen Zuschlagsgrößen im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) erweitert sich das Feld um Merkmale, welche die Gestaltung des Seitenraums oder Streckeneigenschaften (Hügeligkeit) näher beschreiben. Nur für einen geringen Anteil identifizierter Merkmale ist eine Anpassung der Größenordnung des Zuschlags notwendig.

Folgenden Empfehlungen zur Quantifizierung von Zuschlägen liegen nach MAIER et al. (2012) vor:

- Für die Q 9 und „Q dreistreifig“ stellt die „Unterschreitung des Kuppenhalbmessers“ einen Zuschlag dar. Es ist zu anzunehmen, dass das Merkmal für den Q 11 ebenfalls einen Einfluss besitzt. Für den „Q dreistreifig“ ist die Quantität des Merkmals als zu hoch einzustufen. Muthmaßlich ist das hohe Niveau des Zuschlags zu Teilen anderen Merkmalen zuzuordnen, die durch diesen Zuschlag vertreten werden.
- Die Wirkung zu schmaler Rand- und Fahrstreifenbreiten auf die Verkehrssicherheit – Merkmale des Q 11 – ist auch für zweistreifige Abschnitte des Q 11,5+ zu vermuten. Für einbahnig dreistreifige Querschnitte ist die Auswirkung des Merkmals zur Diskussion zu stellen.
- Dem Zuschlag „Unterschreitung des Mindestradius“ ist auch für die „Q dreistreifig“ und Q 21 eine Wirkung zu unterstellen, während ein

Einfluss für Abschnitte des Q 9 wegen der sehr angepassten Linienführung dieser EKL diskutabel erscheint.

- Das dichte fahrbahnrandnahe Auftreten von Bäumen vor oder hinter der Böschungsmulde führt für alle einbahnigen Querschnitte zu einer Zunahme der UKR. Gleichmaßen erscheint für den „Q dreistreifig“ als auch im geringeren Umfang für den Q 11 eine Reduzierung der Zuschlagshöhe als empfehlenswert. Ein Wirkungsgrad dieses Merkmals auf Abschnitte des Q 21 ist nicht auszuschließen.
- Eine Wirkung punktueller Gefahrenstellen und Anschlussknotenpunkte auf die Verkehrssicherheit der Strecken ist, wenn auch in unterschiedlicher Art, für alle einbahnigen Querschnitte nachgewiesen. Für den „Q dreistreifig“ ist zu diskutieren, ob das Auftreten punktueller Gefahrenstellen ebenfalls als Zuschlag berücksichtigt werden soll. Für Abschnitte des Q 21 ist die Erfassung von Anschlussknotenpunkten aufgrund der Gestaltungsgrundsätze nach den RAL (FGSV, 2012) ausgeschlossen.
- Das Merkmal Kreisstrukturtyp stellt eine das Umfeld der Strecke beschreibende Eigenschaft dar. Da eine eindeutige Identifikation, auf welcher Grundlage eine Erhöhung des Unfallgeschehens in den verschiedenen Kreisstrukturtypen erfolgt, nicht vorliegt, ist zu vermuten, dass dieses Merkmal eine Stellvertretervariable repräsentiert. Die Berücksichtigung des Merkmals als Zuschlag ist nicht zu empfehlen, da der Kreisstrukturtyp ein vom Planungsprozess unabhängiges Kriterium darstellt.

Bezüglich verschiedener Kollektive besteht weiterer Forschungsbedarf. Im Bestand existieren bisher nur sehr wenige Landstraßenabschnitte die den Gestaltungsgrundsätzen für den RQ 9 nach den RAL (FGSV, 2012) entsprechen. Bei Vorliegen eines ausreichenden Kollektivs wird eine separate Bewertung des Querschnitts empfohlen. Gleichmaßen fußen die Kollektive des „Q dreistreifig“ und des Q 21 auf einem geringen Datenumfang und bedürfen einer Validierung.

Kriterium	Beschreibung des Zuschlags	Berechnung A_{UKR} [-]	Bewertungsfälle			
			Q 9	Q 11	„Q dreistreifig“	Q 21
Betriebsform	Straße für den allgemeinen Verkehr (Verbot des Radverkehrs auf der Fahrbahn)	-	-	-	-	4
	Straße für den allgemeinen Verkehr (Radverkehr auf gesonderten Geh- und Radwegen)	-	-	-	4	-
	Straße für den allgemeinen Verkehr (Radverkehr auf der Fahrbahn)	-	-	4	4	4
Querschnitt	Fahrbahnbreite > 6 m	GW	1	-	-	-
	Fahrbahnbreite < 7,75 m	GW	-	-	-	1
	Fahrstreifenbreite (3,25 m ≤ B < 3,50 m)	GW	-	1	4	-
	Fahrstreifenbreite < 3,25 m	GW	-	1	2	-
	Randstreifenbreite < 0,50 m	GW	-	1	4	4
	Teilbereich zweistreifig	GW	-	-	4	-
	Fahrstreifenbreite > 4 m	-	-	4	-	-
	Breite der Kernfahrbahn (3,00 m ≤ B < 4,50 m)	-	3	-	-	-
	Mittelstreifenbreite < 1,60 m	-	-	-	-	4
	Randstreifenbreite > 1,50 m	-	-	4	-	-
	Querschnitt ohne Randstreifen	-	4	-	-	-
	keine bauliche Richtungstrennung	-	-	-	-	4
	Trennung Fahrstreifen nur mit schmaler Doppellinie	-	-	-	4	-
	Trennung Fahrstreifen nur mit einfacher Fahrstreifenbegrenzung	-	-	-	4	-
	keine Nothaltebuchten in den einstreifigen Abschnitten	-	-	-	4	-
	keine Nothaltebuchten	-	-	-	-	4
	Breite des Geh- und Radwegs B < 2,00 m	-	-	4	4	4
Bankett nicht standfest	-	4	4	4	4	
Lageplan	Abweichung von der Relationstrassierung (außerhalb des brauchbaren Bereichs)	GW · A	1	1	1	1
	Unterschreitung Mindestradius	GW · A	4	1	4	4
	Kurvigkeit	GW · A	3	3	3	5
	Länge Überholabschnitt L < 1.000 m	-	-	-	4	-
	Ungünstige Lage/Anordnung der Überholabschnitte	-	-	-	4	-
Höhenplan/Sicht	Hügeligkeit	GW · A	1	1	2	1
	Kuppenhalbmesser unterschritten (kritischer Sichtschatten)	GW · A	1	4	2	4
	Erforderliche Haltesichtweite unterschritten	-	4	4	4	4
	Sichtweite zwischen 300 m und 600 m ohne eine verkehrrechtliche Trennung der Fahrstreifen	-	-	4	-	-
Straßenflächen-gestaltung	Querneigung in der Geraden q < 2,0 %	-	4	4	4	4
	Querneigung im Kreisbogen q (R) zu klein	-	4	4	4	4
	Schrägneigung p > 10,0 %	-	3	3	3	3
	Fahrbahnaufweitung in engen Kurven (R < 200 m) zu klein bei nicht befestigten Banketten	-	4	4	-	-
	entwässerungsschwache Zone	-	4	4	4	4
Seitenraum/ Streckencharakteristik	Baumreihe auf Bankett	GW · A/F _G	2	2	2	4
	Anteil Wald im Seitenraum	GW · A	4	3	4	4
	Defizite durch punktuelle Gefahrenstelle und/oder Anschlussknotenpunkte	GW · A/F _G	1	1	1	1
	Kreisstrukturtyp (verschiedene Variationen der Beeinflussung)	GW	1	1	3	3

1 = Zuschlag erklärt, Relation akzeptabel
2 = Zuschlag erklärt, Anpassung der Relation empfohlen
3 = Zuschlag liegt nachweislich nicht vor
4 = Zuschlag vermutet, aber nicht nachgewiesen

Tab. 67: Bewertung der Einzelzuschläge für Strecken von Landstraßen

7.3 Plangleiche Knotenpunkte an Landstraßen

Das entwickelte modellbasierte Verfahren für die plangleichen Knotenpunkte ist nur bedingt geeignet, weil die bei der Modellentwicklung verfügbare Datengrundlage als nicht ausreichend anzusehen ist. Diese Schwäche wurde bei der Anwendung des Modells an einem Kollektiv von 46 Fällen unterschiedlicher Knotenpunktarten deutlich. Die Einschränkung bezüglich der benötigten Daten betrifft sowohl Knotenpunkte mit als auch ohne LSA.

Knotenpunkte mit Unfällen aus zwei verschiedenen Betrachtungszeiträumen weisen teilweise erhebliche Unterschiede in den realen UKR der beiden Zeiträume auf. Solche Unterschiede können mit dem Modell nicht abgebildet werden.

Für Kreisverkehre und für planfreie Anschlüsse von (teil-)planfreien Knotenpunkten auf Landstraßen existiert bisher noch kein Bewertungsansatz. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Die Differenzierung von Merkmalen für Knotenpunkte mit LSA unterliegt der Einschränkung eines kleinen Kollektivs, während für das Kollektiv der

Knotenpunkte ohne LSA eine geringe zugrunde liegende Merkmalsvielfalt die Ergebnisqualität mindert (Tabelle 68).

Lediglich fünf ausschließlich dichotome Merkmale tragen zur Differenzierung des Sicherheitsgrads bei und können als Zuschlag berücksichtigt werden. Prinzipiell, zeigen Einmündungen gegenüber Kreuzungen unabhängig der Regelungsart eine höhere Verkehrssicherheit.

Überwiegend liegen Erkenntnisse zu allgemeinen baulichen Merkmalen wie beispielsweise die Ausprägung des Linksabbiegestreifens, das Fehlen eines Fahrbahnteilers oder das Vorhandensein einer Dreiecksinsel für den Rechtsabbieger vor. Die Wirkung letzteren Merkmals erscheint mit $A_{UKR} = 0,41$ für Knotenpunkte mit LSA zu dominant. Gleiches gilt für das Merkmal „Fehlender Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt“.

Eine differenzierte Analyse von Merkmalen, welche die Ausstattung mit verkehrstechnischen Einrichtungen, Eigenschaften der Signalisierung oder aber Einschränkungen aufgrund von Sichtbeziehungen betreffen, liegt nicht vor.

Kriterium	Beschreibung des Zuschlags	Berechnung A_{UKR} [-]	Bewertungsfälle			
			VZ	LSA	VZ	LSA
Querschnitt	Breite der durchgehenden Fahrstreifen im Vergleich zur Freien Strecke um > 0,25 m reduziert	-	4	4	4	4
Lage	Kreuzungswinkel der Straßen $\alpha < 80$ gon bzw. $\alpha > 120$	-	4	4	4	4
	Knotenpunkt im Bereich einer engen Kurve	GW	1	4	1	4
	Knotenpunkt im Bereich einer Kuppe	-	4	-	4	-
	Knotenpunkt ohne Nähe zur Ortschaft	GW	2	2	4	2
LSA	Temporäre Abschaltung	-	-	4	-	4
	Keine konfliktfreie Signalisierung des Linksabbiegers	-	-	4	-	4
Radverkehr	Radverkehr auf der Fahrbahn	-	4	4	4	4
	Radverkehr an Querungsstellen nicht wartepflichtig geführt	-	4	-	4	-
Sicht	Haltesicht nicht gewährleistet	-	4	4	4	4
	Anfahrsicht nicht gewährleistet	-	4	-	4	-
	Erkennbarkeit der LSA nicht gewährleistet	-	-	4	-	4
Elemente	Breite der Linksabbiegefahrstreifen < 3,25 m	-	4	4	4	4
	Linksabbiegefahrstreifen zu kurz	-	4	4	4	4
	Fehlender Linksabbiegestreifen	GW	1	4	4	4
	Dreiecksinsel für Rechtsabbieger vorhanden	GW	1	2	4	2
	Fehlender Fahrbahnteiler in untergeordneter Zufahrt	GW	3	4	2	4

1 = Zuschlag erklärt, Relation akzeptabel
 2 = Zuschlag erklärt, Anpassung der Relation empfohlen
 3 = Zuschlag liegt nachweislich nicht vor
 4 = Zuschlag vermutet, aber nicht nachgewiesen

Tab. 68: Bewertung der Einzelzuschläge für plangleiche Knotenpunkte an Landstraßen

Die Nähe zu Ortschaften stellt eine Zuschlagsgröße dar – die möglicherweise einen Stellvertreter für andere Merkmale repräsentiert – welche im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) nicht mit berücksichtigt ist. Deren Eignung ist anhand weiterer Eigenschaften zu prüfen.

Allgemein gilt jedoch die Vermutung, dass mit Ausnahme von Kriterien welche die Signalisierungsart (z. B. mit oder ohne Linksabbiegerschutz) von Knotenpunkten mit LSA betreffen, den bisher identifizierten Merkmalen gegenüber weiteren Merkmalen eine wesentlich höhere Gewichtung einzuräumen ist.

Bezüglich weiterer auf die Verkehrssicherheit einflussnehmender Merkmale für durch Verkehrszeichen geregelte Knotenpunkte sei u. a. auf die Untersuchung von HAUTZINGER et al. (2010) verwiesen.

7.4 Strecken von Autobahnen

Dem überwiegenden Teil der identifizierten Zuschläge für Strecken von Autobahnen ist eine ähnliche Größenordnung in der Wirkung unabhängig von der Querschnittsbreite zu unterstellen. Es wird dabei Bezug auf Variante 2 – Wechselwirkung von Hügeligkeit und Kurvigkeit – genommen. Dementsprechend sind Null-Fälle auszuschließen oder mit einem Dummy-Wert zu belegen (Tabelle 69).

Die Vielzahl die Querschnittsgestaltung beschreibender Merkmale im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) lässt sich über die in den Modellen enthaltenen Größen Seitenstreifenbreite – die Wirkung ist auf eine ähnliche Größenordnung zwischen den Bewertungsfällen abzustimmen – und Randstreifenbreite erklären.

Kriterium	Beschreibung des Zuschlags	Berechnung A_{UKR} [-]	Bewertungsfälle			
			Q 28	Q 31	Q 36	Q 43,5
Querschnitt	Breite des Seitenstreifens $B < 2,25$ m	GW	1	1	2	2
	Breite linker Randstreifen $B < 0,50$ m	GW	1	1	1	1
	Breite linker Randstreifen $B < 0,75$ m	GW	4	4	1	1
	Bankett nicht standfest	–	4	4	4	4
Lageplan	Mindestradius unterschritten	–	4	4	4	4
	Radienfolge nicht aufeinander abgestimmt $R1/R2 > 1,5$ bei $R \leq 1.500$ m	–	4	4	4	4
	Länge von Geraden $L > 2.000$ m	–	3	3	3	3
	Mindestlänge von geraden zwischen gleichsinnig gekrümmten Kurven unterschritten	–	4	4	4	4
	Mindestradius in Anschluss an eine Gerade unterschritten	–	3	3	3	3
Höhenplan	Längsneigung $s > 4,0$ %	–	4	4	4	4
Straßenflächen-gestaltung	Entwässerungsschwache Zonen	$GW \cdot A$	4	1	1	1
	Querneigung in der Geraden $q < 2,5$ %	–	4	4	4	4
	Querneigung im Kreisbogen $q(R)$ zu klein	–	4	4	4	4
	Schrägneigung $p > 9,0$ %	–	3	3	3	3
Seitenraum/ Strecken- charakteristik	Abschnitt außerhalb von Ballungsraum	GW	2	2	2	2
	Produkt aus Hügeligkeit · Kurvigkeit	$GW \cdot A$	1	1	1	1
	V_{zul} = freigegeben	GW	2	2	2	2
	Schwerverkehrsanteil SVA > 15 %	GW	4	4	1	1
	einzelne Gefahrenstelle mit Schutzeinrichtung ($L < 200$ m)	–	4	4	4	4
	einzelne Gefahrenstelle ohne Schutzeinrichtung ($L < 200$ m)	–	4	4	4	4
	linienhafte Gefahrenstelle mit Schutzeinrichtung	–	4	4	4	4
	linienhafte Gefahrenstelle ohne Schutzeinrichtung	–	4	4	4	4

1 = Zuschlag erklärt, Relation akzeptabel
2 = Zuschlag erklärt, Anpassung der Relation empfohlen
3 = Zuschlag liegt nachweislich nicht vor
4 = Zuschlag vermutet, aber nicht nachgewiesen

Tab. 69: Bewertung der Einzelzuschläge für Strecken von Autobahnen (Bezug: Modellvariante 2)

Aufgrund der Datengrundlage liegt eine differenzierte Bewertung der Defizite in Höhen- und Lageplan nicht vor (Tabelle 69). Indirekte Auskunft über das Sicherheitsniveau erlauben lediglich die allgemeinen Kenngrößen Kurvigkeit und Hügeligkeit.

Das Lagekriterium „Ballungsraum“ weist querschnittsabhängig deutliche Unterschiede in der Größenordnung auf und sollte tendenziell – insbesondere für den Q 31 – abgestuft werden.

Die Größenordnung des Schwerverkehrsanteils umfasst eine signifikante den Betrieb einer Strecke betreffende Einflussgröße. Ob diese Art des Zuschlags in einem zukünftigen Verfahren berücksichtigt werden kann, ist zu prüfen.

Ein Einfluss des Zuschlags „Entwässerungsschwache Zone“ auf die Verkehrssicherheit der Strecken des Q 28 ist wahrscheinlich. Es ist zu vermuten, dass eine allgemeine Größe „Defizite in der Entwässerung“ das Gefährdungspotenzial durch Defizite in der Entwässerung ausreichend umschreibt.

Aussagen zu „Gefahrenstellen im Seitenraum“ sind aufgrund der stark variierenden Datengrundlage zwischen den Bundesländern nicht möglich, sollten aber in einer ähnlichen Größenordnung wie für Strecken von Landstraßen angesetzt werden.

7.5 Anschlussstellen an Autobahnen

Tabelle 70 gibt eine Übersicht über die Zuschläge für Anschlussstellen an Autobahnen. Da eine differenzierte Bewertung der Rampenquerschnitte nicht vorliegt, fehlen bisher Aussagen bezüglich der Wirkung ihrer Querschnittsgestaltung. Ebenfalls liegen keine Aussagen zu den Elementen des Lage- und Höhenplans sowie zu Sichtbeziehungen innerhalb der Rampen vor. Die in den Modellen vorliegenden Merkmale stellen wesentliche sicherheitsrelevante Merkmale des Rampenanschlusses dar.

Ähnlich wie der Schwerverkehrsanteil bei Strecken von Autobahnen ist für Anschlussstellen zu prüfen, ob das Kriterium Ferienfaktor – beschrieben über das Verhältnis DTV zu DTV_W als Zuschlag zu berücksichtigen ist.

Maßgebend für die Höhe der UKR ist der Anteil des DTV der Rampe am DTV der Richtungsfahrbahn.

Von ihrer Größenordnung sind alle modellmäßig ermittelten Zuschläge als valide einzustufen, sie

können daher als Referenz für die Quantifizierung von weiteren als wesentlich erachteten Zuschläge dienen.

Aus der Bewertung der Anschlussstellen von Autobahnen wird deutlich, dass der im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) vorgeschlagene Ansatz zur Bewertung von Autobahnkreuzen/-dreiecken nur schwer zu realisieren ist. Hierfür scheint die Erarbeitung einer neuen Elementstruktur (Abschnitte der Verteilerfahrbahn usw.) für eine spätere Bewertung notwendig. Weiterhin zeigt sich, dass für eine qualitativ signifikante Bewertung von Einflussmerkmalen der Zugriff auf ein umfangreiches Datenkollektiv erforderlich ist. Die bisher in den Datenbanken vorliegenden Informationen sind als unzureichend einzustufen.

7.6 Defizite der Planungen

Häufig auftretende Defizite bei Planungsmaßnahmen, die u. a. bei den Auditauswertungen von BARK et al. (2010) festgestellt wurden, sind als Zuschläge im modellbasierten Verfahren bisher nicht berücksichtigt. Hierbei handelt es sich z. B. um folgende Defizite:

- Unterschreitung des Mindestradius (wird bisher nur beim Q 11 von Landstraßen berücksichtigt),
- keine Beachtung von Mindestradien und Radienfolgen bei Autobahnen,
- nicht eingehaltene Trassierungsgrenzwerte im Höhenplan, insbesondere Kuppenhalbmesser, bei den Q 11 und Q 21 von Landstraßen sowie bei Autobahnen,
- entwässerungsschwache Zonen bei Landstraßen,
- zu geringe Sichtweiten bei Landstraßen und Autobahnen,
- zu geringe Querneigungen bei Landstraßen und Autobahnen,
- keine ausreichenden Kurvenverbreiterungen bzw. nicht eingehaltene Schleppkurven bei Landstraßen,
- ungeeignete Knotenpunktarten in Bezug auf die EKL von Landstraßen.

Insofern wäre auch eine Kumulation derartiger Planungsdefizite, die Ursache für eine spätere Unfallhäufung sein kann, mit dem Modell nicht

Kriterium	Beschreibung des Zuschlags	Berechnung A_{UKR} [-]	Bewertungsfälle			
			Q 1	Q 2	Q 3	Q 4
Querschnitt	Fahrbahnbreite $5,50 \text{ m} \leq B < 6,00 \text{ m}$	-	4	-	-	-
	Fahrbahnbreite $B < 5,50 \text{ m}$	-	4	-	-	-
	Fahrbahnbreite $7,00 \text{ m} \leq B < 7,50 \text{ m}$	-	-	4	4	4
	Fahrbahnbreite $B < 7,00 \text{ m}$	-	-	4	4	4
	Breite Seitenstreifen $2,00 \text{ m} \leq B < 2,60 \text{ m}$	-	-	-	4	-
	Breite Seitenstreifen $B < 2,00 \text{ m}$	-	-	-	4	-
	Bankett nicht standfest	-	4	4	4	4
Lage	Einfahrbereich	GW	1			
	indirekte Rampenführung im Anschluss an Ausfahrbereich	GW	1			
	Einfahrbereich im Bereich einer Kuppe	-	4			
	Ausfahrbereich im Bereich einer Kuppe	-	4			
	Längsneigung der durchgehenden Hauptfahrbahn im Einfahrbereich $s > 4,0 \%$	-	4			
	Längsneigung der durchgehenden Hauptfahrbahn im Ausfahrbereich $s > 4,0 \%$	-	4			
Elemente	Länge Aus-/Einfahrstreifen $L > 300 \text{ m}$	GW	2			
Lageplan	Fahrbahnaufweitung in engen Kurve ($R < 200 \text{ m}$) zu klein	-	4			
	Radienbereich bzw. Radienfolge nicht eingehalten	-	4			
Höhenplan	Längsneigung in der Rampe Steigung: $s > 6,0 \%$, Gefälle: $s > 7,0 \%$	-	4			
Straßenflächen-gestaltung	Querneigung q (R) zu klein	-	4			
	Schrägneigung $p > 10,0 \%$	-	4			
	entwässerungsschwache Zone	-	4			
Sicht	Sichtfeld im Einfahrbereich nicht freigehalten	-	4			
	vorhandene Sichtweite $<$ erforderliche Sichtweite	-	4			
Seitenraum	Gefahrenstelle ohne Schutzeinrichtung	-	4			
	Gefahrenstelle mit Schutzeinrichtung	-	4			
Streckencharakteristik	$V_{zul,HFB} = \text{freigegeben}$	GW	1			
	Quotient von DTV_{Rampe} zu DTV_K	GW · A	1			
	DTV zu $DTV_w > 0,25$ [$DTV/DTV_w - 0,75$]	GW	1			
1 = Zuschlag erklärt, Relation akzeptabel 2 = Zuschlag erklärt, Anpassung der Relation empfohlen 3 = Zuschlag liegt nachweislich nicht vor 4 = Zuschlag vermutet, aber nicht nachgewiesen						

Tab. 70: Bewertung der Einzelzuschläge für Anschlussstellen an Autobahnen (Bezug: Teilmodell)

bewertbar. Hohe UKR, wie sie bei UHS an Landstraßenknotenpunkten vorliegen, wären ebenfalls nur schwer abbildbar, da es kaum gelingen kann, die häufig lokalen sicherheitsrelevanten Ursachen hierfür systematisch zu erfassen.

7.7 Integration des HVS-Verfahrens in die RWS

Für eine Integration des Verfahrens in die künftigen RWS ist auch das weiterentwickelte Verfahren auf der Basis von GLM ungeeignet, da es auf die

Betrachtung von einzelnen Maßnahmen an Landstraßen und Autobahnen ausgerichtet und somit für die Betrachtung von Netzen zu detailliert ist. Das in den RWS angegebene standardisierte Verfahren für eine netzbezogene Betrachtung ist zur Bestimmung der Veränderungen des Unfallgeschehens geeigneter und führt bei Verfügbarkeit ausreichender Datengrundlagen i. d. R. zu hinreichend genauen Ergebnissen.

In besonderen Fällen kann es nach den RWS aber erforderlich sein, die Mengengerüste mithilfe alternativer Verfahren zu ermitteln. Solche besonderen

Fälle können punktuelle Maßnahmen, wie der Umbau eines Autobahnknotenpunkts oder die Umgestaltung eng benachbarte Knotenpunkte, sein. Hier bietet sich die Anwendung des HVS-Verfahrens als alternatives Verfahren an. Die Voraussetzung für die Verwendung alternativer Verfahren ist in Kapitel 6 genannt.

8 Zusammenfassung

Zur Bewertung der Verkehrssicherheit geplanter Straßenbaumaßnahmen stehen in Deutschland bislang die Verfahren der EWS (FGSV, 1997) und des BVWP 2003 (BMVBW, 2005) zur Verfügung. In den EWS (FGSV, 1997) sind UKR zum Preisstand 1995 für verschiedene Straßentypen angegeben, für Landstraßen zu insgesamt sieben unterschiedlichen Querschnitten, von denen fünf den Regelquerschnitten der RAS-Q (FGSV, 1996) entsprechen. Neben diesen beiden Verfahren sind in den RAS-Q (FGSV, 1996) mittlere UKR mit Preisstand 1995 zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von knotenpunktfreien Strecken angegeben. Von ECKSTEIN/MEEWES (2002) wurden diese UKR zum Preisstand 2000 aktualisiert. Das Verfahren der RAS-Q (FGSV, 1996) ist mit Erscheinen der neuen RAL (FGSV, 2012) nicht mehr Bestandteil des technischen Regelwerks.

Mit dem HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) wurde ein Verfahren erarbeitet, das es ermöglicht, auf der Grundlage von UKR für einzelne Netzelemente, d. h. für Strecken von Autobahnen, Landstraßen und Stadtstraßen differenziert nach der Querschnittsausprägung sowie für Knotenpunkte differenziert nach der Knotenpunktart, einen Sicherheitsgrad zu bestimmen. Die UKR ergeben sich dabei aus einer gUKR für das jeweilige Netzelement, wenn dieses richtlinienkonform ausgebaut wäre, und Zuschlägen (zUKR) aufgrund von Abweichungen gegenüber einer richtliniengerechten Ausprägung. Die Werte für die gUKR an Landstraßen im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) basieren weitgehend auf den Ergebnissen von VIETEN et al. (2010).

Die dem HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) zugrunde liegenden Werte der gUKR sowie der zUKR gelten als noch nicht ausreichend abgesichert. Aus diesem Grund war eine Überprüfung und Aktualisierung dieser Kenngrößen erforderlich. Für die Strecken von Landstraßen erfolgte bereits

eine Validierung dieser gUKR im Rahmen der Untersuchung von MAIER et al. (2013). Dabei wurde ein völlig neuer Weg beschritten. Bei diesem im internationalen Raum gebräuchlichen Vorgehen werden die Wechselwirkungen verschiedener entwurfstechnischer und verkehrstechnischer Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen durch Verwendung von multiplen Regressionsmodellen bestimmt. Im Ausland wird mittlerweile ein Großteil derartiger Analysen über so genannte GLM durchgeführt.

Zielsetzung des vorliegenden Projekts war es, diesen Ansatz für Strecken und Anschlussstellen von Autobahnen sowie für plangleiche Knotenpunkte von Landstraßen zu erweitern, dabei vorhandene Wissenslücken zu schließen und Empfehlungen für die Weiterentwicklung des im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) dargelegten Verfahrens zu geben.

Darüber hinaus sollte in einer breit angelegten Versuchsanwendung die Praxistauglichkeit des weiterentwickelten Verfahrens für das künftige HVS auf der Grundlage von realen Planungen überprüft werden.

Das Arbeitsprogramm umfasste mehrere aufeinander aufbauende Arbeitsschritte.

Bezüglich der Entwicklung der ergänzenden GLM waren dies folgende Arbeitsschritte:

- Bestimmung der gUKR und zUKR für Strecken und Knotenpunkte von Autobahnen sowie für plangleiche Knotenpunkte von Landstraßen analog zu dem von MAIER et al. (2013) entwickelten Ansatz auf der Grundlage von hinreichend großen Untersuchungskollektiven.
- Entwicklung eines auf den Ergebnissen des vorangegangenen Arbeitsschritts beruhenden praktischen Verfahrensansatzes zur Berechnung von gUKR und zUKR in einem späteren Verfahren des HVS.

Bezüglich der Anwendung des weiterentwickelten Verfahrensansatzes am Beispiel realer Maßnahmen erfolgten folgende Arbeitsschritte:

- Auswahl von konkreten Bau- und Planungsmaßnahmen (Datenaufbereitung und Mengengerüst).
- Berechnung der fallbezogenen UKR für diese ausgewählten Maßnahmen (entspricht den beobachteten UKR).

- Ermittlung der gUKR für die Bewertungsfälle und zUKR für die ausgewählten Planungsmaßnahmen auf der Grundlage der GLM-basierten Verfahren für Landstraßen und Autobahnen.
- Prüfung der Anwendbarkeit dieses Verfahrens in den relevanten Planungsstufen.

Aus diesen Erkenntnissen resultierten die beiden abschließenden Arbeitsschritte:

- Entwicklung von Vorschlägen für eine Modifikation der bei den Modellansätzen bestimmten Kenngrößen im Hinblick auf ihre allgemeine Verwendung in einem HVS.
- Prüfung einer Integration des weiterentwickelten Verfahrens nach dem HVS in die Verfahren der RWS.

Analog zu dem Ansatz zur Berechnung von gUKR und zUKR auf Basis von GLM für das Netzelement der freien Strecke von Landstraßen erfolgte die Modellentwicklung für Strecken von Autobahnen sowie für plangleiche Knotenpunkte von Landstraßen und Anschlussstellen von Autobahnen. Dabei wurden getrennt nach Kategorien der Unfallschwere für verschiedene Bewertungsfälle – Querschnittsausgestaltung der Strecke bzw. Knotenpunktarten – Merkmale ermittelt, die zu einer Erhöhung der Unfallhäufigkeit führen. Die Anwendung von GLM erlaubt die Wirkung mehrerer Variablen unabhängig voneinander zu quantifizieren. Grundlage bildeten die Datenkollektive von Bestandsstrecken aus verschiedenen Forschungsprojekten. Für Autobahnen erfolgten eigene Erhebungen.

Auf Basis angepasster Unfallkostensätze wurde eine volkswirtschaftliche Bewertung des zugrunde liegenden mehrjährigen Unfallgeschehens durchgeführt. Die Struktur der verwendeten Modelle erlaubt eine sinnbildliche Trennung des Unfallgeschehens in einen Teil der Exposition (Grundunfallgeschehen) und einen beeinflussbaren Teil von Risikofaktoren (Zuschläge). Dabei umfassen diese Zuschläge sowohl entwurfstechnische Defizite im eigentlichen Sinne (Planungsfehler) sowie sicherheitsrelevante streckencharakteristische Merkmale.

Für die verschiedenen Netzelemente ist Folgendes festzustellen:

- Strecken von Landstraßen mit einer geringen Querschnittsbreite weisen eine höhere gUKR auf als breitere Querschnitte. Die niedrigste

gUKR haben zweibahnig vierstreifige Strecken. Unabhängig von der Querschnittsausgestaltung ist mit Zunahme der Verkehrsstärke eine Abnahme der gUKR festzustellen (regressiver Verlauf). Aus Gründen der einfacheren Anwendbarkeit wurden auf Basis der Abstufung der EKL nach den RAL den jeweiligen Querschnittstypen unterschiedliche gUKR zugeordnet.

- Die Übergänge von der freien Strecke zu Landstraßenknotenpunkten und Ortsdurchfahrten (Einflussbereiche) besitzen einen neutralen bis positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden freien Strecke. Höhe und Länge des Einflusses sind abhängig von der Art des Übergangs (vor Knotenpunkten bzw. Ortsdurchfahrten).
- Für Knotenpunkte mit und ohne LSA liegen längenunabhängige gUKR und zUKR vor. Die Aussagekraft ist allerdings durch die Anzahl der der Modellbildung zugrunde liegenden Merkmale bzw. durch die Kollektivgröße eingeschränkt. Prinzipiell weisen Kreuzungen unabhängig der Regelungsart gegenüber Einmündungen ein geringeres Sicherheitsniveau auf. Die Höhe der gUKR für Knotenpunkte ohne LSA ist abhängig vom Verhältnis der unter- zu den übergeordneten Strömen.
- Für freie Strecken von Autobahnen fällt der degressive Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit im Vergleich zu den Landstraßen geringer aus. Während sich die Art der Zuschläge zwischen den verschiedenen Querschnittsausgestaltungen nur gering unterscheidet, sind für die Höhe einzelner Zuschläge größere Differenzen zwischen den Querschnitten zu verzeichnen. Da eine Abbildung von Elementfolgen in Lage- und Höhenplan nicht möglich war, wurde der Einfluss der Trassierung über die Merkmale Kurvigkeit und Hügeligkeit abgebildet. Beide Merkmale weisen eine starke Abhängigkeit zueinander auf und wurden in der Bewertung gemeinsam betrachtet. Anhand der Einsatzbereiche der verschiedenen Querschnitte nach den RAA (FGSV, 2008) wurden stufenweise gUKR festgelegt.
- Aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren wurden für Autobahnanschlussstellen lediglich gUKR und zUKR für Ein- und Ausfahrten der Typen E1 und A1 nach den RAA (FGSV, 2008) ermittelt. Dem favorisierten Berechnungsansatz liegt eine getrennte Betrachtung der Elemente

Hauptfahrbahn und Rampe zugrunde. Dies ermöglicht eine differenzierte Darstellung und Bewertung der potenziellen Einflussfaktoren. Die Bewertung des Knotenpunkts erfolgt längenunabhängig. Wesentlichen Einfluss auf das Niveau der gUKR besitzt der Verkehrsstärkeanteil der Rampe. Für Anschlussstellen von Autobahnen liegt eine gUKR vor, die unabhängig von der Gesamtverkehrsstärke des Knotenpunkts ist.

- Die Bewertung der Netzabschnitte von Landstraßen und Autobahnen (UKR_{NE}) erfolgt auf Basis der längengewichteten Betrachtung der Elemente Einflussbereich und freie Strecke. Die Höhe der UKR für Einflussbereiche ermittelt sich aus der Multiplikation von UKR der freien Strecke mit einem Abminderungsfaktor. Der Abminderungsfaktor beschreibt das Verhältnis der UKR der freien Strecke und der UKR des Einflussbereichs. Die Bewertung der Knotenpunkte selbst erfolgt separat.
- Für keinen der Bewertungsfälle gelingt eine Identifikation aller mutmaßlichen Einflussgrößen. Es ist anzunehmen, dass weitere Merkmale existieren, die einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit besitzen. An dieser Stelle sind pragmatische Anpassungen erforderlich.

Die Anwendung des auf der Basis von GLM weiterentwickelten Verfahrens erfolgte an ausgewählten Strecken von Landstraßen und Autobahnen sowie Knotenpunkten von Landstraßen, die von den Straßenbauverwaltungen der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz zur Verfügung gestellt wurden.

In einem ersten Schritt wurden für alle betrachteten Maßnahmen an Strecken die relevanten Defizite (z. B. Fehler in der Relationstrassierung, Unterschreitung der Mindestradien und Unterschreitung der Kuppenhalbmesser, Abweichungen bei den Fahrstreifen- und Randstreifenbreiten), punktuelle Gefahrenstellen im Seitenraum, Anschlussknotenpunkte sowie weitere für die Verkehrssicherheit relevante Eigenschaften der Strecken (z. B. Kreisstrukturtyp, Hügeligkeit und Kurvigkeit) ermittelt.

Anschließend erfolgte eine Untergliederung jeder Maßnahme in die Bewertungsfälle freie Strecke, Einflussbereiche und plangleichen Knotenpunkte bzw. Anschlussstellenbereiche bei Autobahnen.

Bei den Landstraßen wurden auf Basis eines GLM-basierten Ansatzes die UKR bei den einzelnen Maßnahmen sowohl für die freie Strecke (UKR_{FS}) als auch Netzabschnitte (allerdings nur für die freie Strecke zuzüglich der Einflussbereiche, jedoch ohne die Knotenpunkte) berechnet. Für die Knotenpunkte der betrachteten Landstraßen und die angebundenen Straßen standen bei den meisten Maßnahmen keine ausreichenden entwurfstechnischen und verkehrstechnischen Angaben zur Verfügung.

Bei den Autobahnen konnte die modellmäßige Berechnung der UKR nur für die freien Strecken erfolgen, da für Rampen der Anschlussstellen keine geeigneten Fallbeispiele zur Verfügung standen.

Weiterhin wurden für die Maßnahmen die mittleren UKR für den 3-Jahres-Zeitraum (2008 bis 2010) – als beobachtete UKR bezeichnet – ermittelt. Dabei wurden die Unfälle an den Knotenpunkten entsprechend der Abgrenzung des engeren Knotenpunktbereichs ($R = 50 \text{ m}$) aus dem gesamten vorliegenden Unfallkollektiv herausgenommen und einer gesonderten Betrachtung zugeführt. Die Berechnung der UKR erfolgte für den Preisstand 2010.

Die Anwendung des weiterentwickelten Verfahrens an den Strecken von Landstraßen zeigt, dass die mit dem Modell berechneten gUKR z. T. höher sind als die tatsächlich beobachteten mittleren UKR der Jahre 2008 bis 2010. Die teilweise sehr niedrigen UKR von nach den neuen RAL (FGSV, 2012) gebauten Landstraßen können verfahrensbedingt mit dem Modell nicht abgebildet werden. Insofern scheinen die gUKR für Strecken von Landstraßen zu hoch.

Auch für Strecken von Autobahnen zeigt sich, dass die z. T. dort zu beobachtenden sehr niedrigen UKR durch das Modell nicht abgebildet werden können. Für einige Querschnitte – insbesondere den Q 28 – erscheinen die gUKR zu hoch. Die ermittelten gUKR beinhalten höchstwahrscheinlich noch Defizite, die sich bei den Modellberechnungen als nicht signifikant erwiesen haben. Hier ist für die betroffenen Bewertungsfälle eine Anpassung des gUKR-Niveaus durch entsprechende Setzungen erforderlich.

Die Anwendung des weiterentwickelten Verfahrens an plangleichen Knotenpunkten von Landstraßen an einem Kollektiv von Fallbeispielen unterschiedlicher Knotenpunktarten ohne UHS zeigt, dass das

entwickelte GLM-Verfahren für diese Knotenpunkte grundsätzlich geeignet erscheint. Allerdings ist das Anwendungskollektiv mit nur 26 Fallbeispielen sehr gering. Die modellmäßig berechneten UKR liegen verfahrensbedingt ebenfalls in relativ engen Bandbreiten, wohingegen die Bandbreite der real beobachteten UKR wesentlich breiter ist. Ursache ist u. a. die geringe Anzahl ermittelbarer signifikanter Risikogrößen, welche die Tragfähigkeit des Modells deutlich einschränkt.

Insgesamt zeigt sich, dass die mit dem entwickelten Modell berechneten UKR für Landstraßen, Autobahnen und Knotenpunkte eine relativ schmale Bandbreite besitzen, weil die Zuschläge immer nur die mittlere Wirkung der jeweiligen Einflussgröße des der Modellbildung zugrunde liegenden Kollektivs wiedergeben. Zudem werden einige bei der Auditierung von Planungsmaßnahmen häufig festgestellte Defizite in dem GLM-basierten Verfahren bisher nicht als Zuschläge berücksichtigt.

Gegenüber den Ansätzen des HVS-Entwurfs 2008 (BARK et al., 2008) ermöglichen die modellbasierten Ergebnisse nur für einen Teil mutmaßlicher Einflussgrößen eine Aussage darüber, ob und in welchem Umfang dieses Merkmal – Defizit oder sicherheitsrelevantes Entwurfsmerkmal – einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit besitzt. Für die Bewertung verschiedener Netzelemente im Rahmen eines weiterentwickelten HVS wird es erforderlich sein, für alle im HVS-Entwurf 2008 (BARK et al., 2008) enthaltenen Zuschläge die modellmäßig erklärten Merkmalen um eine qualitative Einschätzung der unerklärten Merkmale zu ergänzen. Hierfür wurden bereits, differenziert nach den verschiedenen Netzelementen, erste Vorschläge erarbeitet; diese beinhalten eine Kategorisierung bisher identifizierter und mutmaßlich infrage kommender Einflussfaktoren sowie Einschätzungen zur Größenordnung der aus der Sicherheitswirkung dieser Merkmale resultierenden Zuschläge zur gUKR. Insofern können die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts als Grundlage für die weiteren Bearbeitungsschritte des Arbeitsausschusses 2.13 „Verkehrssicherheitsbewertung von Straßen“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen bei der Fortschreibung des HVS dienen.

Eine Integration des für das HVS weiterentwickelten Verfahrens in die künftigen RWS ist nicht zu empfehlen, da das Verfahren auf die Betrachtung einzelner Netzelemente ausgerichtet und somit für die Bewertung größerer Netze zu detailliert ist. Das

in den RWS angegebene Regel-Verfahren für eine netzbezogene Sicherheitsbewertung ist zur Bestimmung der Veränderungen des Unfallgeschehens geeigneter und führt bei Verfügbarkeit ausreichender Datengrundlagen i. d. R. zu hinreichend genauen Ergebnissen. In besonderen Fällen kann es nach den RWS aber erforderlich sein, die Mengengerüste mithilfe alternativer Verfahren wie dem HVS-Verfahren zu ermitteln.

9 Literatur

- AURICH, A.: Modelle zur Beschreibung der Verkehrssicherheit innerörtlicher Hauptverkehrsstraßennetze unter besonderer Berücksichtigung der Umfeldnutzung. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der TU Dresden, Band 14, Dresden 2013
- BAIER, M. M.; KLEMP-S-KOHNEN, A.; LEU, P.; MÜLLER, A.: Überprüfung der Verkehrssicherheit für das Linksabbiegen bei unterschiedlichen Formen der Signalisierung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1078, Bonn 2012
- BAIER, R.; BAIER, M. M.; KLEMP-S-KOHNEN, A.; BARK, A.; CHALES-DE BEAULIEU, C.: Evaluation der Anwendung und der Ergebnisse der Sicherheitsaudits von Straßen in Deutschland. FE 82.535/2011 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, 2. Zwischenbericht, Aachen/Gießen 2014 (unveröffentlicht)
- BAIER, R.; MAIER, R.; AURICH, A.; KLEMP-S, A.: Sicherheitsgrad von Stadtstraßen mit und ohne schienengebundenem ÖPNV. SV-Projekt 4502-05 im Auftrag des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Aachen/Dresden 2007 (unveröffentlicht)
- BAKABA, J. E.; BUTTERWEGGE, P.: Auswertung von Auditberichten und Stellungnahmen im Land Brandenburg. Verkehrstechnisches Institut der Deutschen Versicherer, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin 2005
- BARK, A.; KUTSCHERA, R.; BAIER, R.; KLEMP-S-KOHNEN, A.: Handbuch der Verkehrssicherheit von Straßen – Entwurf eines Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen

- (HVS). FE 03.389/2005/FGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Gießen/Aachen 2008 (unveröffentlicht)
- BARK, A.; KUTSCHERA, R.; BAIER, R.; KLEMPSKOHNEN, A.: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung – Beispielsammlung für Planer und Auditoren. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 196, Bergisch Gladbach 2010
- BETZ, C.: Verkehrsablauf auf Autobahnen mit dicht aufeinander folgenden Knotenpunkten. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum, Heft 31, Bochum 2008
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Bundesverkehrswegeplan 2003 – Die gesamtwirtschaftliche Bewertungsmethodik. Bonn 2005
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.: Model Selection and Multimodel Inference. 2nd Edition, Springer-Verlag, New York 2002
- BVU; ITP; PLANCO: Aktualisierung von Bewertungsansätzen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen in der Verkehrswegeplanung. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Schlussbericht, Essen/Freiburg/München 2010 (unveröffentlicht)
- EBERSBACH, D.: Entwurfstechnische Grundlagen für ein Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung des Fahrers bei der Wahl seiner Geschwindigkeit. Dissertationsschrift, Technische Universität Dresden Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Dresden 2006
- EBERSBACH, D.; SCHÜLLER, H.: Praktische Anwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN) – Erfahrungen mit den Verfahren der Abschnittsbildung. In: Straßenverkehrstechnik 52 (2008), Heft 9, S. 515-527
- ECKSTEIN, K.; MEEWES, V.: Sicherheit von Landstraßen-Knotenpunkten – Knotenpunktgrundformen, Verkehrsregelung, Zufahrten. Mitteilungen des Instituts für Straßenverkehr Köln, Nr. 40, Köln 2002
- ELVIK, R.; CHRISTENSEN, P.; AMUNDSEN, A.: Speed and road accidents: an evaluation of the Power Model. Institute of Transport Economics, Report No. 740/2004, Oslo 2004
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN), Ausgabe 2003. Köln 2003
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS), Entwurf 1997. Köln 1997
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Ausgabe 2001, Fassung 2009. Köln 2001/2009
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten, Ausgabe 2003. Köln 2003
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen M Uko, Ausgabe 2012. Köln 2012
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Ausgabe 2008. Köln 2008
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Entwurf 2008. Köln 2008
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Ausgabe 2012. Köln 2012
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt), Ausgabe 2006. Köln 2006
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung (RAS-L), Ausgabe 1995. Köln 1995
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q), Ausgabe 1996. Köln 1996
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Straßen,

- Teil: Querschnitte (RAS-Q), Ausgabe 1982. Köln 1982
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN), Ausgabe 2008. Köln 2008
- GERLACH, J.; KESTING, T.; THIEMEYER, E.-M.: Möglichkeiten der schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 185 (Beispielsammlung), Bergisch Gladbach 2009
- GREIBE, P.: Accident prediction models for urban roads. In: Accident Analysis & Prevention, Vol. 35 (2003), No. 2, pp. 273-285
- HAMMERSCHMIDT, A.: Einfluss ausgewählter Entwurfsparameter auf die Verkehrssicherheit – fortführende Untersuchungen. Diplomarbeit am Lehrstuhl Entwurf von Straßenverkehrsanlagen der TU Dresden, Dresden 2007 (unveröffentlicht)
- HAUER, E.; BAMFO, J.: Two tools for finding what function links the dependent variable to the explanatory variables. Department of Civil Engineering, Ontario 1997
- HAUTZINGER, H.; PFEIFFER, M.; SPAHN, V.: Unfallauswertung für verkehrszeichengeregelte Landstraßenkreuzungen und -einmündungen. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 56 (2010), Heft 3, S. 123-131
- KATHMANN, T.; ROGGENDORF, S.; SCOTTI, C.; BAIER, M. M.: Verkehrssicherheit in Einfahrten auf BAB. FE 82.509/2010 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Schlussbericht, Aachen 2014 (unveröffentlicht)
- KÖRNER, M.; MAIER, R.; SCHÜLLER, H.: Überprüfung und Verbesserung der Grenzwerte zum Erkennen von Unfallhäufungen im Straßennetz. FE 03.423/2007/FGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Schlussbericht, Dresden 2008 (unveröffentlicht)
- LEMKE, K.; CHAMBON, P.; GANNEAU, F.: Sicherheitsmanagement von Straßen – Eine deutsch-französische Zusammenarbeit. Transport Research Arena Europe 2006 (Quelle: www.bast.de)
- LERNER, M.; KRANZ, T.; SCHEPERS, A.: Bewertung der Straßenverkehrsunfälle. Entwicklung der Unfallkosten in Deutschland 2005 bis 2010 – Unfallkostensätze 2010. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 58 (2012) Nr. 4, S. 188-191
- LIPPOLD, C.; LEHMANN, T.; VETTERS, A.; RESSEL, W.; BENNER, A.: Entwurfshinweise zum sicheren sechsstreifigen Ausbau von Autobahnen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1057, Bonn 2011
- LIPPOLD, C.; WEISE, G.; EBERSBACH, D.; LEHMANN, T.: Bewertung des Blauen Netzes in Brandenburg nach den Zielgrößen Verkehrssicherheit und Geometrie in Lage- und Höhenplan. Studie im Auftrag des Ministeriums für Infrastruktur und Raumplanung des Landes Brandenburg, Schlussbericht, Dresden 2008 (unveröffentlicht)
- LIPPOLD, C.; WEISE, G.; PIETSCH, D.; EBERSBACH, D.; DIETZE, M.: Kinematische Erfassung von Straßendaten für die Straßeninformationbank (SIB). In: Straßenverkehrstechnik 48 (2004), Heft 6, S. 276
- MAHER, M. J.; SUMMERSGILL, I.: A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models. Elmont. Accident Analyses and Prevention, Vol. 28, 1996
- MAIER, R.; BERGER, R.; SCHÜLLER, H.; HEINE, A.: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Straßen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 226, Bergisch Gladbach 2013
- MAIER, R.; ENKE, M.: Analytisches Verfahren zur Ermittlung der Sicherheit von Ortsdurchfahrten, Ergänzungsauftrag zum FE 82.278/2004 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Schlussbericht, Dresden 2009 (unveröffentlicht)
- REURINGS, M.; JANSSEN, T.; EENINK, R.; ELVIK, R.; CARDOSO, J.; STEFAN, C.: Accident Prediction Models and Road safety Impact assessment: a state-of-the-art. RIPCORDEREST-Projekt, 2005 (URL: <http://ripcord.bast.de>, 5. Juni 2008)
- RICHTER, T.: Entwurfsstandards für Knotenpunkte an Ortsumgehungen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 653, Bonn-Bad Godesberg 1992

- ROOS, R.; ZIMMERMANN, M.; BEEH, J.; SCHULZ, S.: Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen. FE 02.0316/2009/GGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Schlussbericht, Karlsruhe 2014 (unveröffentlicht)
- SCHÜLLER, H.: Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der TU Dresden, Heft 12, Dresden 2010
- SPAHN, V.: Ist der Kreisverkehr sicherer als die Lichtsignalanlage? In: Straßenverkehrstechnik 53 (2009), Heft 5, S. 286-291
- SPAHN, V.; BÄUMLER, G.: Sicherheit von Kreisverkehrsplätzen und Lichtzeichenanlagen in Bayern. In: Straßenverkehrstechnik 51 (2007), Heft 7, S. 357-362
- STURM, P.: Verkehrssicherheit an plangleichen und teilweise planfreien Knotenpunkten von Außerortsstraßen. Dissertation am Fachbereich Wasser und Verkehr der TH Darmstadt, Darmstadt 1989
- TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S.: Using Multivariate Statistics. Allyn & Bacon, Boston 2000
- TAYLOR, M. C.; BARUYA, A.; KENNEDY, J. V.: The relationship between speed and accidents on rural single-carriageway roads. TRL Report RTL511, Berkshire 2002
- VIETEN, M.; DOHMEN, R.; DÜRHAGER, U.; LEGGE, K.: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 201, Bergisch Gladbach 2010
- ZIMMERMANN, M.; ROOS, R. CINDRICH-MIDDENDORF, D.: Neue Erkenntnisse zu den Einsatzbereichen und zum Entwurf von Rampen gemäß RAA. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1085, Bonn 2013

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2014

V 235: **Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahr-
bahnmarkierungen bei Nässe**

Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

V 236: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012**

Fitschen, Nordmann € 28,50

Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 237: **Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nach-
weis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung
im Rahmen der KP II – Maßnahmen**

Bund-Länder Arbeitskreis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden. Der Anhang ist interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.

V 238: **Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebs-
dienst – Sommerdienst**

Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: **Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmar-
kierungen**

Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

V 240: **Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und
Einsatzgrenzen**

Baier, Leu, Klemp-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50

V 241: **Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und
Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme**

Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50

V 242: **Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenin-
dikatoren an Überquerungsstellen**

Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock, Herrnsdorf, Pfeil € 20,00

V 243: **Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen
über den gesamten Lebenszyklus**

BalMBERGER, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50

V 244: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013**

Fitschen, Nordmann € 28,50

V 245: **Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunk-
te mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs**

Friedrich, Hoffmann, Axer, Niemeier, Tengen, Adams, Santel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 246: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in
Einfahrten auf Autobahnen**

Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 247: **Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw**

Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 248: **Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlage-
ermittlung**

Burg, Röhling
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2015

V 249: **Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längs-
gerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Land-
straßen**

Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 250: **Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen
mit Lang-Lkw**

Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 251: **Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumge-
staltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken**

Baier, Engelen, Klemp-Kohnen, Reinartz € 18,50

V 252: **Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose
für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen**

Gündra, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx, Peters, Reimer, Zipf € 15,00

V 253: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Sicherheit und den
Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen**

Baier, Kemper
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 254: **Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-
Lkw**

Wellner, Uhlig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 255: **Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssi-
cherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw**

Zimmermann, Riffel, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 256: **Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagen-
teile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Vor-
aussetzung eines umfassenden Asset Managements**

Zander, Birbaum, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 257: **Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtli-
chen Hauptverkehrsstraßen**

Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier
Hantschel, Otto € 18,00

V 258: **Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten**

Holldorb, Streich, Uhlig, Schäuferle € 18,00

V 259: **Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellie-
rung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten**

Geistefeldt, Sievers
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 260: **Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinter-
dienst**

Hausmann € 15,50

- V 261: Nutzung von Radwegen
in Gegenrichtung - Sicherheitsverbesserungen
Alrutz, Bohle, Busek € 16,50
- V 262: Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens
vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung
von Falschfahrten
Maier, Pohle, Schmotz, Nirschl, Erbsmehl € 16,00
- V 263: Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung
der Verfahren
Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 16,50
- V 264: Qualitätsstufenkonzepte zur anlagenübergreifenden Bewertung
des Verkehrsablaufs auf Außerortsstraßen
Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 17,00
- V 265: Entwurfstechnische Empfehlungen für Autobahntunnelstrecken
Bark, Kutschera, Resnikow, Baier, Schuckließ
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden
- V 266: Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Angebotsqualität
von Hauptverkehrsstraßen
Baier, Hartkopf € 14,50
- V 267: Analyse der Einflüsse von zusätzlichen Textanzeigen im Bereich
von Streckenbeeinflussungsanlagen
Hartz, Saighani, Eng, Deml, Barby
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 268: Motorradunfälle – Einflussfaktoren der Verkehrsinfrastruktur
Hegewald, Fürneisen, Tautz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

- V 269: Identifikation von unfallauffälligen Stellen motorisierter
Zweiradfahrer innerhalb geschlossener Ortschaften
Pohle, Maier € 16,50
- V 270: Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den
Straßenbetriebsdienst (KliBet)
Holldorb, Rumpel, Biberach, Gerstengarbe, Österle, Hoffmann € 17,50
- V 271: Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien
bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur
Offergeld, Funke, Eschenbruch, Fandrey, Röwekamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 272: Einsatzkriterien für Baubetriebsformen
Göttgens, Kemper, Volkenhoff, Oeser, Geistefeldt, Hohmann € 16,00
- V 273: Autobahnverzeichnis 2016
Kühnen € 25,50
- V 274: Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen
Schulz, Zimmermann, Roos € 18,00
- V 275: Modellversuch für ein effizientes Störfallmanagement auf
Bundesautobahnen
Grahl, Skottke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 276: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf die
Verkehrsteilnehmer
Petzoldt, Mair, Krems, Roßner, Bullinger € 30,50

- V 277: Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen
Kathmann, Roggendorf, Scotti
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

- V 278: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2014
Fitschen, Nordmann € 30,50

2017

- V 279: HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf
Autobahnen
Geistefeldt, Giuliani, Busch, Schendzielorz, Haug, Vortisch, Leyn, Trapp € 23,00
- V 280: Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse
der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien
Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50
- V 281: Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen –
Weiterentwicklung der Verfahren
Maier, Berger, Kollmus € 17,50
- V 282: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen
Lippold, Veters, Steinert € 19,50
- V 283: Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von
Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten
Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller
lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe
können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer
Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de