

Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 277

bast

Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen

von

Thorsten Kathmann
Susanne Roggendorf

DTV-Verkehrsconsult GmbH
Aachen

Christian Scotti

Institut für Straßenwesen
RWTH Aachen

Michael M. Baier

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

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 277

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 82.509/2010:
Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen

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 978-3-95606-286-5

Bergisch Gladbach, Februar 2017

Kurzfassung – Abstract

Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen

Im Forschungsprojekt FE 82. 509/2010 soll die Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen näher untersucht werden. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt dabei auf den einstreifigen Einfahrten des Typs E1, da dieser auf Autobahnen in Deutschland am häufigsten vorkommt. Ziel des Projektes ist es, ggf. vorhandene Problembereiche bei einstreifigen Einfahrten an Autobahnen zu identifizieren sowie eine vergleichende Bewertung der Verkehrssicherheit mit zweistreifigen Einfahrten (Typ E4 und E5) sowie anderen Elementen planfreier Knotenpunkte vorzunehmen. Ein zusätzliches Augenmerk soll auf das Verhalten älterer Verkehrsteilnehmer im Bereich von Einfahrten gelegt werden.

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden zunächst umfangreiche Unfallanalysen an 100 Einfahrten vorgenommen. Hierzu wurden die Informationen der Unfalldatenbanken der Bundesländer genutzt. An 30 besonders auffälligen Einfahrten erfolgte zusätzlich eine systematische Auswertung der Verkehrsunfallanzeigen. Als Ergänzung der Unfallanalysen wurden empirische Verkehrsbeobachtungen an 14 Einfahrten durchgeführt, um hieraus weitere Erkenntnisse zum Verhalten der Verkehrsteilnehmer beim Einfädelungsvorgang zu erhalten. Die Belange der älteren Verkehrsteilnehmer wurden sowohl im Rahmen der empirischen Beobachtungen als auch zusätzlich in einer Befragung erfasst.

Die Ergebnisse der Unfallanalysen zeigen, dass die Einfahrten des Typs E1 im Hinblick auf das Unfallgeschehen grundsätzlich als unkritisch einzustufen sind. Dies wurde durch die Ergebnisse der empirischen Untersuchungen bestätigt. Hinsichtlich der Belange älterer Verkehrsteilnehmer wurden keine Unterschiede im Verhalten an Einfahrten zwischen älteren (> 60) und jüngeren (< 60) Fahrern festgestellt.

Road safety in the entering areas of motorways

The research project FE 82.509/2010 „Verkehrssicherheit in Einfahrten auf BAB“ investigates road safety in entry-gateways on German motorways. The study focuses on the entry-gateways of the type E1, since this type represents the standard form on German motorways. The aim of the project is to identify critical areas of entry-gateways as well as the comparison of road safety of the standard type E1 with other types of entry-gateways and other elements of cross sections (e. g. exit-gateways, interlacing lanes). An additional attention is laid on the behaviour of senior drivers when entering the motorway.

In a first step extensive accident analyses of 100 entry-gateways were carried out. For this the information of the accident database of five Federal States were used. In a second step detailed analyses of the accident reports of the 30 most striking entry-gateways were carried out.

To complete the investigation within this research project, empirical observations were organised on 14 entry-gateways to gather more expertise on the behaviour of drivers during the entering process onto the motorway. The issues of the senior drivers were determined within the empirical observations as well as in an additional survey.

The results of the accident analyses show, that in terms of accident occurrence the entry-gateways of type E1 are generally uncritical. This result was also confirmed by the empirical observations. Regarding the issues of the senior drivers during the entering process onto the motorway no significant difference in driving behaviour between senior (> 60 years) and younger (< 60 years) drivers could be determined.

Summary

Road safety in the entering areas of motorways

Within the present research project the road safety of single lane entry-gateways on German motorways are to be investigated. The study focuses on the entry-gateways of the type E1, since this type represents the standard form on German motorways. The aim of the project was to identify critical areas of entry-gateways as well as the comparison of road safety of the standard type E1 with other types of entry-gateways and other elements of cross sections (e. g. exit-gateways, interlacing lanes). An additional attention was laid on the behaviour of senior drivers when entering the motorway. The so won conclusions should help to develop references for the design of single lane entry-gateways to improve the road safety during the entering process.

Next to the analysis of available knowledge in literature and the selection of suitable entry-gateways, the study consists mainly of extensive accident analyses (macroscopic and microscopic) as well as on empirical observations of the entering process in due consideration of the issues of senior drivers. Based on the results of the above mentioned procedure the road safety of entry-gateways of the type E1 was evaluated. The main results of the research project are summarised in this paper and presented below.

Selection of suitable entry-gateways

As basis for the macroscopic accident analysis 100 entry-gateways of the type E1 on motorways in Germany were selected. Some of them are equipped with a ramp metering to enable an additional comparison of road safety before and after setting up the ramp metering system. All entry-gateways were selected within five federal states (Brandenburg, Hesse, Lower Saxony, North Rhine-Westphalia and Rhineland-Palatinate). The selection was based on the following criteria:

- No road works within the entering area and on the main lane during the period of investigation (2008 to 2010),
- only entry-gateways of the standard type E1, no special types,

- selection of a comparable number of entry-gateways on main lanes with two and three lanes including the consideration of traffic volume (traffic volume was distinguished in the three classes “low”, “medium” and “high” according to the number of lanes).
- Selection of entry-gateways with a ramp metering according to the availability of information about the set up time and the required accident data.

Overall 91 entry-gateways without a ramp metering and 9 entry-gateways with a ramp metering¹ were selected as basis for the following analyses.

Macroscopic accident analysis

The required accident data of the selected entry-gateways were requested from the responsible authorities for the time period from 2008 to 2010. They provided all available accident information of their data bank.

In a first step the geometry of the entry-gateways was divided into three areas, which represent the areas of influence within the entry-gateway. Only such accidents were analysed, that occurred inside these areas. The area of influence consists next to the entering zone itself also of the previous and the following area. The length of these adjacent areas was chosen with 500 m according to the study of FRIEDRICH et al. (2008). In Figure 2 the definition of the three areas of the entry-gateways is displayed. Area 2 describes the part of the entry-gateway in which the changing of lanes onto the main lane of the motorway is allowed. Compared to the length of the whole acceleration lane l_E , as described in the basic rules of the RAA (2008) (see Figure 1), the length of the area 2 is shorter. Approximately the following equation can be stated: $l_2 \approx l_E - l_{Z295} - \frac{1}{3} l_Z$, with l_{Z295} meaning the length of the continuous line at the beginning of the acceleration lane.

In a second step all accidents that occurred within the three areas were selected by the information about the kilometre of the motorways, which are included in the accident data sets. Accidents that occurred on the ramps of the entry-gateways were

¹ The results of the road safety analysis of the entry-gateways with a ramp metering are not presented in this summary report. They are described and displayed in the main report of the present research project.

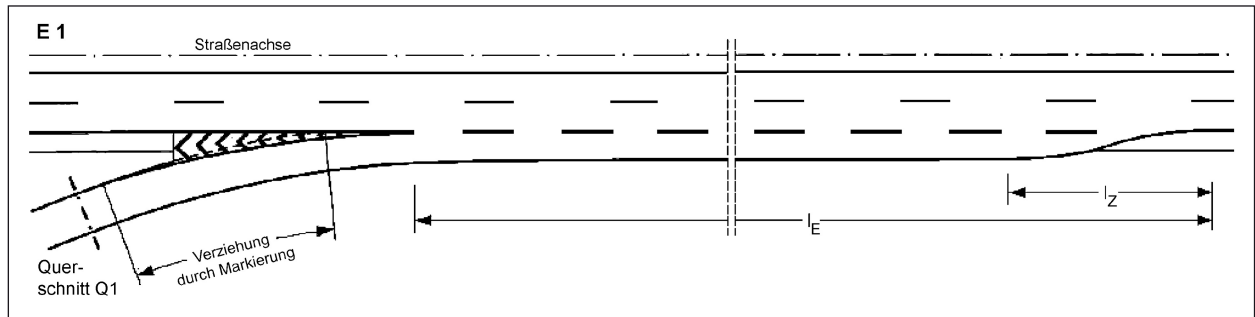


Fig. 1: Entry-gateway type E1 according to RAA 2008, including the definition of the distinguished segment length

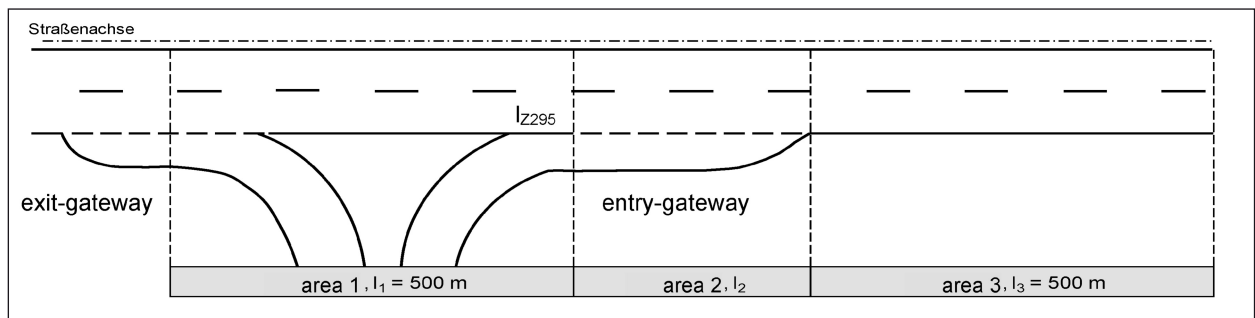


Fig. 2: Definition of the three areas of the entry-gateways that were examined

	accident severity	number of accidents	investigated area					
			area 1		area 2		area 3	
			n_U	n_E	n_U	n_E	n_U	n_E
2 main lanes	U(SP)	23	7	42	8	57	8	57
	U(LV)	106	41	42	28	57	37	57
	U(SS)	92	35	42	22	57	35	57
	U(LS)	540	231	42	118	57	191	57
	Σ 2 lanes ratio [%]	761 100,0%	314 41,3%	176 23,1%	271 35,6%			
3 main lanes	U(SP)	20	7	21	2	34	11	34
	U(LV)	114	49	21	21	34	44	34
	U(SS)	90	24	21	29	34	37	34
	U(LS)	628	191	21	170	34	267	34
	Σ 3 lanes ratio [%]	852 100,0%	271 31,8%	222 26,1%	359 42,1%			

Tab. 1: Accident collective according to accident severity (categories 1-6) and investigated areas

not included in the analysis. Usually such accidents result not from the entering process of the motorway itself but from other reasons (for example at the cross section at the beginning of the ramp). After this step the basis for the following analyses was completed. Overall the data consists of 1.613 accidents (categories 1-6).

Table 1 shows an overview of the severity of all accidents and the distribution to the three defined areas. The variable n_U describes the number of

accidents, n_E stands for the number of entry-gateways within the group.

The structure of casualty of the whole accident collective is shown in Table 2. The values refer to 100 accidents with badly injured persons U(SP). In addition the corresponding values of the average structure on German motorways (BASt)² and the

² Internal analyses of the Federal Highway Research Institute (BASt) 2013, unpublished.

casualty on 100 U(SP)	collective present study	collective FRIEDRICH et al. (2008)	average structure (BASt)
killed	0	0	12
badly injured	126	133	120
slightly injured	67	44	63

Tab. 2: Comparison of the structure of casualty of the present study with the average structure of German motorways an the study of FRIEDRICH et al. (2008)

study of FRIEDRICH et al. (2008) are shown for comparison. It can be seen, that the structure of casualty of the present study is comparable with the one from FRIEDRICH et al. (2008). In contrast to that, the present study differs strongly from the average structure on German motorways. For that reason and due to a sufficient number of accidents within the collective ($n_{U(P)} = 263 U(P) > 100 U(P)$), adapted accident costs were calculated and used for the further analyses. The corresponding values are marked with the index "a".

In the further investigation the accident types of the whole collective were analysed and compared to the average distribution on German motorways³ (see Figure 3). To make the values comparable, only the accident categories 1-4 were considered. As Figure 3 shows, the distribution of the accident types of entry-gateways on a two-lane motorway is nearly comparable to the one on motorways in general. Except the ration of type 3, "turning/crossing" is higher in the present study, which could be expected in entry areas. In contrast to that, the ratio of type 6 (lengthwise accident) is much higher on a three-lane motorway compared to a two-lane motorway. A detailed analysis of the accident types according to the distinguished areas showed, that the ratio of type 6 was even larger than 65 % in the areas 1 and 3 at three-lane motorways. This striking difference between motorways with two and tree main lanes can be explained by the additional lane and the resultant higher number of changing lanes. Especially the behaviour of changing lanes in front of entry-gateways, to make the entering process easier for other vehicles, can be observed regularly. The consequence of this driving behaviour is a displacement of possible conflicts between an

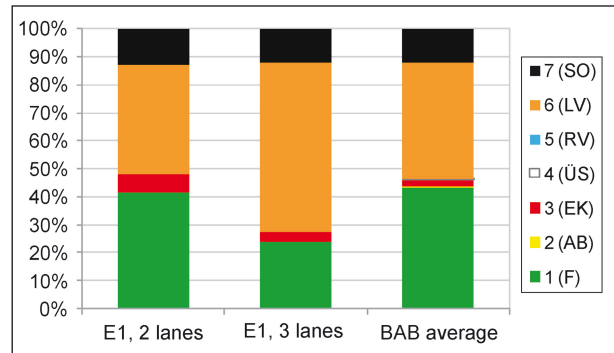


Fig. 3: Distribution of accident types of categories 1-4 on entry-gateways of two and three lane motorways compared to the accident occurrence on German motorways in general (last mentioned values in accordance with the published information of the Federal Statistical Office 2009, 2010, 2011)

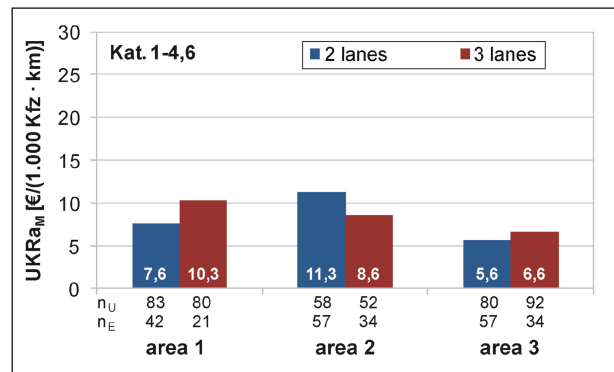


Fig. 4: Comparison between the average accident cost rates, categories 1-4,6, differentiated by number of lanes and entry areas ($n_E = 91$, $n_U = 455$)

entering vehicle and a vehicle on the main lane from area 2 to the investigated areas 1 and 3.

In the comparison with the average distribution on German motorways, it has to be considered that the ratio of two lane motorways is about 70% whereas the ratio of three lane motorways is about 24% (see BMVI, 2013). That is why the values of motorways in general are decisively influenced by the two lane motorways.

In a further step the fundamental accident parameters accident density (UD_M), accident cost density ($UKDa_M$), accident rate (UR_M) and accident cost rate ($UKRa_M$) were calculated as average values of the accident collective. Figure 4 shows the results of the average accident cost rates differentiated by the investigated entry areas.

As the figure shows, the accident cost rate of two lane motorways are lower than on tree lane motorways in areas 1 and 3. This comes up to the first expectations, as a larger number of lanes

³ The values for German motorways for the comparison were calculated as the arithmetical mean of the years 2008 to 2010. As basis the published information of the Federal Statistical Office were used.

includes a higher conflict potential between the vehicles. In contrast to that, area 2 shows a higher accident cost rate on two lane motorways compared to a three lane one.

A detailed analysis of this characteristic showed, that within the group of accidents on two lane motorways with a low traffic volume five accidents of category 2 are included. One reason for this could be the higher speed on the main lane of the motorway that can be seen on routes with a low traffic volume. This causes a higher difference in speed between the entering vehicle and the one and the main lane, which can be followed by an increasing accident risk.

In addition, it was determined that these five accidents occurred at entry-gateways with a length of area 2 smaller than 200 m. The detailed analysis of the accident cost rates in area 2 in relation to the corresponding length showed the following trend for two lane motorways: the accident cost rate decreases with an increasing length of area 2. A similar relation on three lane motorways could not be confirmed.

To compare the accident occurrence of the standard entry-gateway type E1 with other types of entry-gateways and other elements of cross sections, additional accident parameters were calculated. It had to be considered, that the cost rates as well as the boundary conditions (for example only entry gateways of interchanges) were comparable to each other. Overall the present accident data show no evidence of a different safety level between entry-gateways with one and two entry lanes. The comparison with other elements of cross sections also showed no anomaly of the entry-gateways of type E1.

As result of the macroscopic accident analyses it was determined that entry-gateways of type E1 show no special accident risk. Therefore they can be seen as uncritical regarding road safety in general.

Microscopic accident analysis

For the microscopic accident analyses 30 entry-gateways of the collective of 91 were chosen, which showed particularly high values regarding the accident density (UD) and the accident rate (UR) in area 2 (see Figure 2). The reduced collective contains 799 accidents on the main lane within the regarded three year period from which 795 accident

reports were provided from the local police departments.

In a first step the textual descriptions of the accident sequences were analysed. It was evaluated, if the accident occurred directly or indirectly from the process of changing lanes during the entering of the motorway by a vehicle. If so, this accident is declared as a relevant accident (U_{yes}) in the following. Did an accident occur within the three investigation areas but there was no hint of any connection with the entering process, the accident was declared as not relevant (U_{no}) for the present investigation. For a small number of accident reports a clear assignment to the relevant or not relevant group was not possible. They were marked with a “?” and were not included in the following analyses. The distribution of the relevant and not relevant accidents within the microscopic accident analyses is shown in Table 3.

It can be seen, that about 15% of the accidents that happened within the entry area result directly or indirectly from the entering process. The majority of the accidents with more than 80% have other causes. To evaluate this result it is necessary to know the traffic volume of the entry-gateway and the one on the main lane. Since this information is not available for all of the 30 entry-gateways, the information of the traffic volume of 6 entry-gateways of the empirical observations were used to classify the ratio of the relevant accidents.

The average value of this 6 entry-gateways leads to the result, that the traffic volume of the entering vehicles is about 9% of the traffic volume of the main lane. The analyses of the accidents on this 6 entry-gateways showed, that about 18% of the accidents happened directly or indirectly from the entering process (relevant accidents).

This comparison shows, that entering vehicles are involved twice as often in an accident than vehicles on the main lane. At first sight this is a remarkable result. But it has to be considered, that the entering vehicles have to change the lane in any case, whereas the vehicles on the main lane just have to drive straight ahead. This characteristic leads

	U_{no}	?	U_{yes}
number	662	12	120
ratio	83,3%	1,6%	15,1%

Tab. 3: Distribution of the relevant and non-relevant accidents (categories 1-6), $n_E = 30$, $n_U = 795$

automatically to a higher conflict potential, which explains the higher ratio of relevant accidents of the entering vehicles.

Overall the number of relevant accidents of $n_{U,yes} = 120$ shared on 30 entry-gateways can be evaluated as low. Especially this is valid if it is considered, that the average number of four accidents per entry-gateway occurred within a time period of three years. That is why the present investigations show no special accident risk at entry-gateways of type E1.

In a second step the reasons of the relevant accidents were analysed and differentiated into accident constellations with the same properties. These constellations were defined according to the results of the analyses of the textual descriptions of the accident reports.

In this connection it was determined, that 84,2% of the relevant accidents belong to five accident constellations. Four of them result exclusively of mistakes of the drivers. Whereas one of them also can result out of the local boundary conditions (accident caused by slinging due to increased speed or driving mistake). A detailed analysis of this constellation led to the result of an insufficient road grip, since the majority of the relevant accidents happened under wet conditions.

Within the microscopic accident analyses further investigations of potential connections to the ramp

geometry, the traffic volume on the main lane as well as the accident severity of the relevant accidents compared to the not relevant ones. However, these further investigations led to no significant conclusions.

Empirical analysis of merging processes

For the measurement, local measurement data were collected over a period of eight hours (2 x 4 hours) in several areas of the entry-gateways. The data collection was carried out mainly at times of traffic load peak, but also times of minor traffic load should be considered.

On the basis of these empirical investigations merging processes were to be studied taking into account different parameters. In detail, the following parameters were recorded:

- Structure of the entry-gateways (e. g. length of merging lane l_2) (see Table 4),
- different traffic loads on the ramp and the continuous carriageway (see Figure 5 and Figure 6),
- speed curves of single vehicles over the entry (see Figure 6),
- the relevant driveway gaps on the carriageway,
- influence of view fields as well as
- the age structure of the entering collectives.

federal motorway	federal state	entrance number	name of entrance	driving direction		accident striking	2-lane/3-lane	daily traffic volume	ramp style	l_2
3	NW	8	Dinslaken-Nord	south	Köln		2	high	direct	200
3	NW	15	Duisburg-Wedau	north	border to NL	x	3	medium	indirect	180
3	NW	15	Duisburg-Wedau	south	Köln	x	3	high	direct	150
3	HE	55	Seligenstadt	south	Aschaffenburg	x	3	low	direct	230
43	NW	18	Bochum-Laer	north	Münster		2	high	direct	240
43	NW	18	Bochum-Laer	south	Wuppertal		2	high	indirect	100
49	HE	9	Baunatal-Mitte	north	Kassel	x	2	medium	direct	150
49	HE	9	Baunatal-Mitte	south	Gießen	x	2	low	indirect	110
57	NW	9	Moers-Hülsdonk	north	border to NL		2	low	direct	220
57	NW	9	Moers-Hülsdonk	south	Köln		2	low	direct	220
60	RP	19	Mainz-Finthen	west	Bingen		2	high	direct	150
67	HE	2	Rüsselsheim-Ost	north	Mönchhof-Dreieck	x	2	high	indirect	145
67	HE	2	Rüsselsheim-Ost	south	Darmstadt	x	2	high	indirect	205

Tab. 4: Overview of recorded entry-gateways

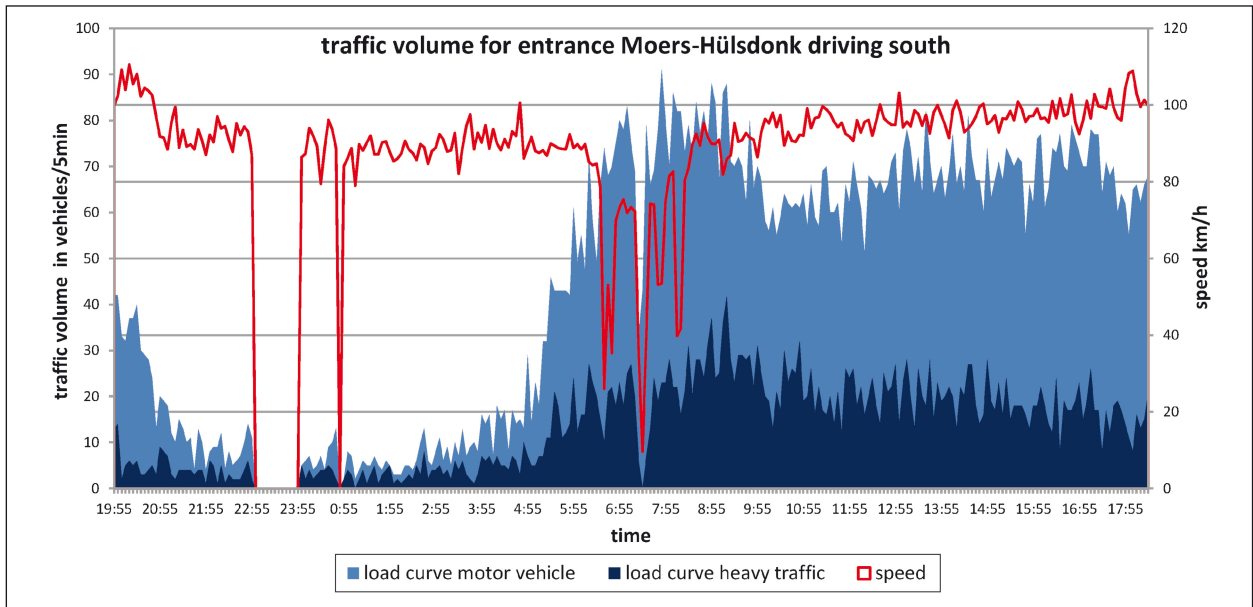


Fig. 5: Traffic volume right main lane Moers-Hülsonk driving direction south

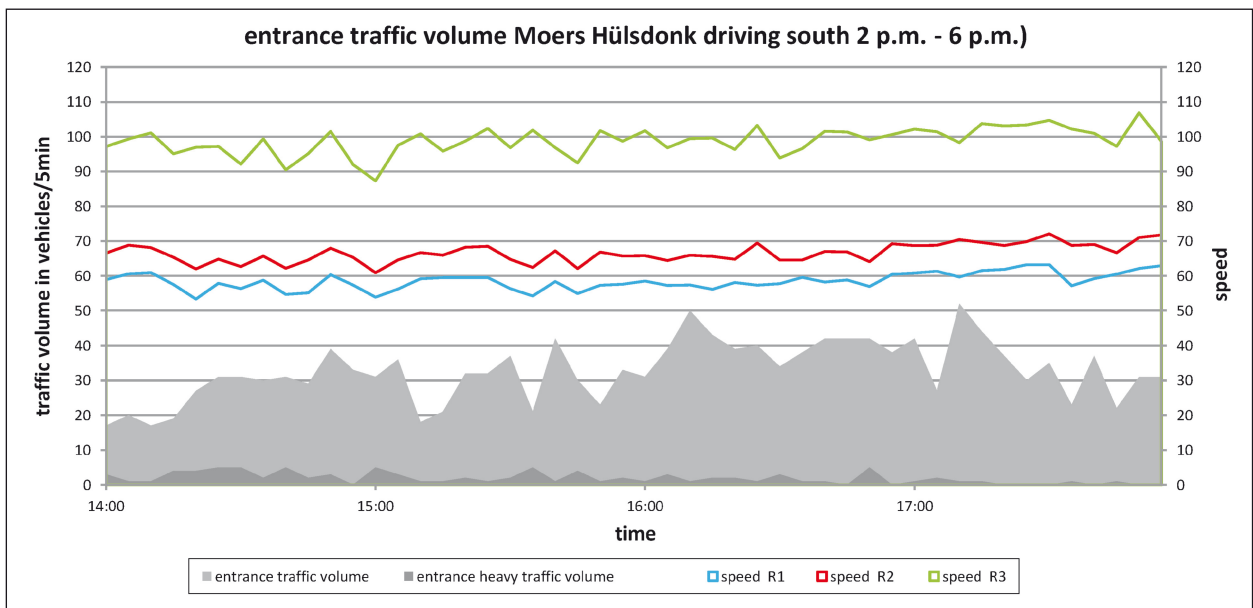


Fig. 6: Traffic volume for the entry Moers-Hülsonk driving direction south 02-06 p.m.

In addition, all merging processes were recorded and analyzed during the investigation period by means of video technology. The traffic measurements were evaluated systematically in terms of relevant traffic safety parameters (used driveway gaps, critical manoeuvres, etc.) and in relation to aspects of traffic flow (speed, traffic volume etc.) (see Figure 7, 8 and 9).

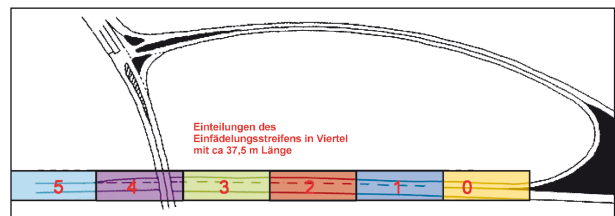


Fig. 7: Division of merging route into quarters

Based on the traffic analysis, a comparison of all investigated entry-gateways shows that there is no evidence which could explain an accident conspicuousness of individual entry-gateways. Thus, both highly loaded and less

loaded entry-gateways partially show noticeable conspicuities.

Also a high proportion of heavy traffic on the main lane or the location of the entry within or outside an

agglomeration is not an indication for the fact that the entry could be potentially prone to accidents (see Table 5).

In addition, it should be noted that the observed interactions at the entry-gateways are not similar and show no systematic conspicuousness.

As a conclusion from the above mentioned considerations, it appears that for merging processes with interaction, the traffic volume of the main traffic lane and the speed being driven on this lane exert a significant influence on the merging area. However, an exact assignment of the cause is not possible here, since the two measurement periods combine extremes in both traffic volume and speeds. Therefore, it has to be pointed out that not only a single point may be taken as an overall cause of the observations. This is due to the fact that there may be high traffic volumes with high speeds also on the main traffic lane, which possibly would lead to different results.

Also the comparison of all entry-gateways (see Table 5) in terms of merging processes shows no clear result. The accident conspicuousness correlates neither with the length of area 2 nor with the net driveway gaps which are available for the entering vehicles on the main driving lane.

Only the difference between speeds in the merging area I_2 and the main driving lane tends to show an accident conspicuousness. The higher this difference, the more likely the entry is prone to

accidents. However, this does not apply to all investigated entry-gateways and can therefore be seen only as a tendency.

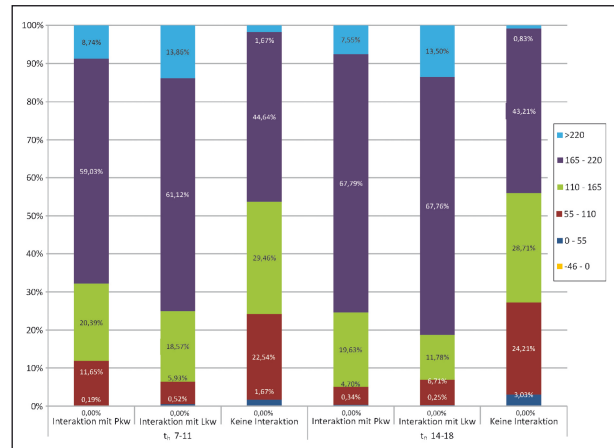


Fig. 8: Tailgating behaviour and interaction Moers-Hülsdonk, driving direction south, indication of lane change based on the length of the merging lane in [m]

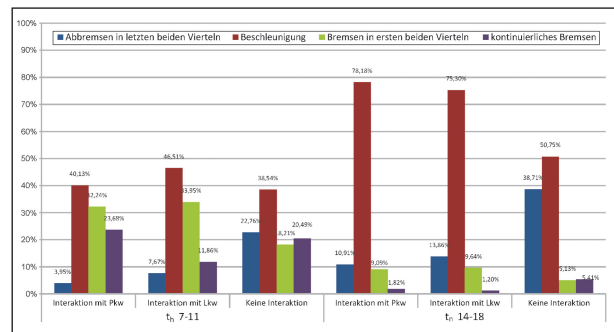


Fig. 9: Reaction of entering vehicles in Moers-Hülsdonk driving direction south

	name of entrance	ramp style	2-lane/ 3-lane	metropolitan area (iB/aB) (> 100 tsd EW.; 1000 EW/km ²)	metropolitan area	accident striking	avg. daily traffic (2012) [Kfz/d]	heavy weight-proportion (2011) [%]
1	2012-11-08_HE_A003_55-Seligenstadt_S	direct	3	iB	Frankfurt – Aschaffenburg	yes	47969	16,4
2	2013-04-24_HE_049_09-Baunatal Mitte_S	indirect	2	aB	-	yes	20016	8,68
3	2013-04-25_HE_049_09-Baunatal Mitte_N	direct	2	aB	-	yes	20133	8,67
4	2013-05-07_HE_067_02-Rüsselsheim Ost_S	indirect	2	iB	Frankfurt	yes	42725	12,24
5	2013-05-08_HE_067_02-Rüsselsheim Ost_N	indirect	2	iB	Frankfurt	yes	42065	11,86
6	2013-05-22_NW_A057_09-Moers-Hülsdonk_S	direct	2	iB	Ruhrgebiet	no	33081	12,65
7	2013-05-23_NW_A057_09-Moers-Hülsdonk_N	direct	2	iB	Ruhrgebiet	no	33116	11,66
8	2013-05-28_NW_A003_15-Duisburg-Wedau_S	direct	3	iB	Ruhrgebiet	yes	55537	10,83
9	2013-05-29_NW_A003_15-Duisburg-Wedau_N	indirect	3	iB	Ruhrgebiet	yes	56778	10,39
10	2013-06-12_NW_A043_18-Bochum-Laer_N	direct	2	iB	Ruhrgebiet	no	-	-
11	2013-06-13_NW_A043_18-Bochum-Laer_S	indirect	2	iB	Ruhrgebiet	no	-	-
12	2013-07-04_NW_A003_08- Dinslaken-Nord_S	direct	2	aB	-	no	27980	11,75
13	2013-07-11_RP_A060_19-Mainz-Finthen_W	direct	2	aB	-	no	33218	7,34

Tab. 5: Overview of traffic data for the investigated entry-gateways

Furthermore, no conspicuousness was noted during the entering process. Thus, based on the investigation of entry-gateways it can be concluded that for short entering processes, no braking is performed by the entering vehicles in the rear half of the merging area. Only for the entry Mainz-Finthen such a behaviour could be observed. However, at this particular entry a parking lane is no longer available after area 2 and the entering vehicles enter the merging area with very high speeds since the entry is a construction which is similar to a motorway junction.

Concerns of senior drivers

In addition to the empirical investigations, supplementary interviews were conducted with senior drivers in order to incorporate their concerns into the investigation. For this purpose, a special questionnaire was designed and the participants were interviewed via telephone.

In addition, some of the aspects which have been empirically investigated should be examined on possible differences within the specified age groups. On the one hand, it should be determined whether the age of the driver influences the driving speed. On the other hand, it was investigated if differences in the entering behaviour exist. It should be noted beforehand that the existing age group datasets represent a relatively small sample, especially for the groups of ≤ 30 and ≥ 60 . The results presented here can therefore only serve as approaches for further investigations.

The exemplary results of investigating the age-related entering speeds in Moers-Hülsdonk, driving direction south, are shown in Figure 10.

Furthermore, merging processes in dependence of the age group were considered. Here, the same procedure is applied as already known from the empirical investigation (see Figure 9), with the difference that now a further division will be made by age groups.

The comparison of the determined speeds of different age groups shows no systematic difference in the entering speeds between the age groups. A risky or sporting behaviour of the under 30-year-olds, as described by SCHLAG (1996), could for example not be confirmed.

As a basis for the conducted survey, a questionnaire was used. The questions were answered by the volunteers in a telephone interview. In this way, a better result can be achieved especially for open questions and the openly structured survey can more likely highlight potential problems of individual drivers.

Overall 76 persons in the three age groups of „ < 30 “ ($n = 36$), „ $30-60$ “ ($n = 16$) and „ > 60 “ ($n = 24$) were interviewed (see Figure 11). Thus, the results concerning particularly the „mean“ age group, which represents the majority of car drivers, should be considered only by trend.

When asking the volunteers about problems that might exist when entering a motorway, it becomes clear that the respondents see less problems the

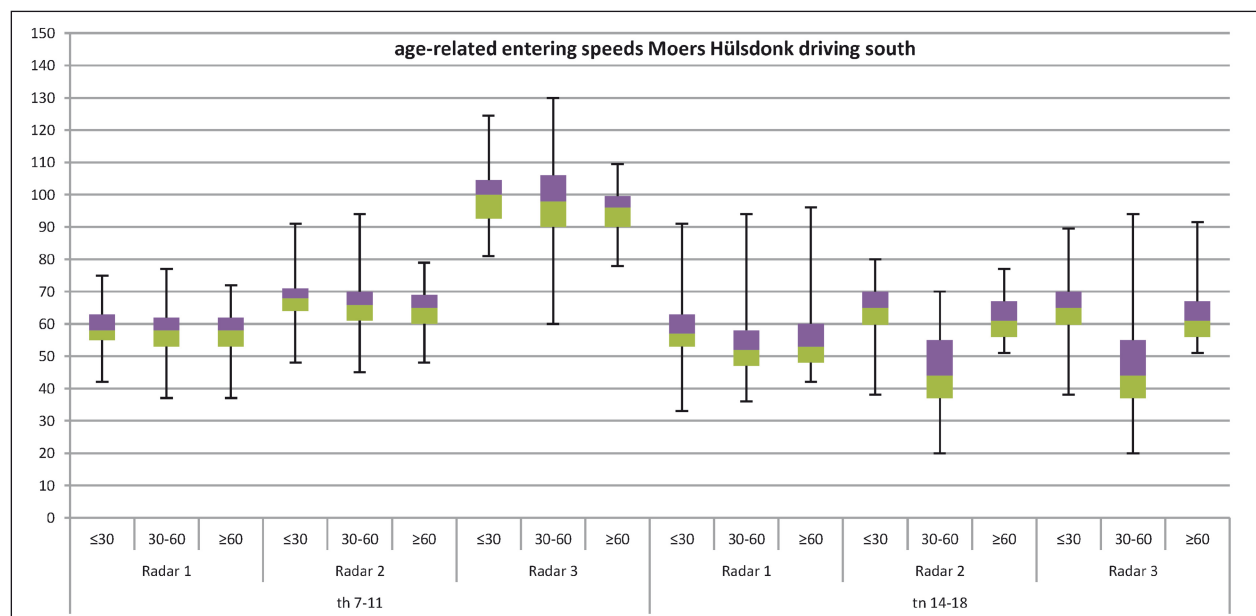


Fig. 10: Boxplot of the age-related speeds Moers-Hülsdonk driving direction south

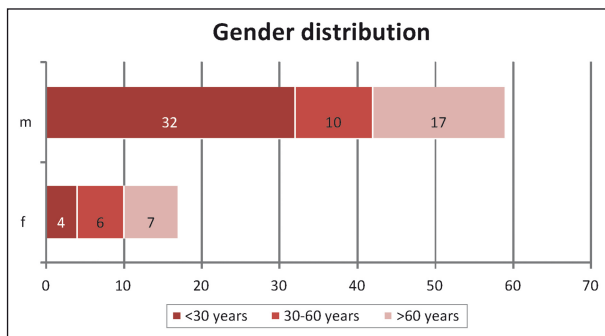


Fig. 11: Gender distribution of the interviewed persons

older they are. Due to the impairment of physical mobility with increasing age, an opposite trend would actually be expected here. Younger drivers see in particular a high proportion of trucks and the resulting small gaps on the main driving lane as the main cause for problems.

The group „> 60“ puts up with restraints at various driving manoeuvres, which becomes clear when asking about avoided driving manoeuvres. Here, the senior drivers specify a few more manoeuvres and also a higher proportion of respondents avoids certain situations. Whether this is due to experience or physical limitations cannot be evaluated here. Some entry-gateways are not avoided at all and only one respondent generally avoids motorway driving.

The behaviour in case the acceleration lane is not sufficient to change on the main driving lane is described as a continuation on the parking lane by a major part (72% or 81%) of the age groups to 60 years. In the group of senior drivers this share is only 29%. The majority in this group would rather remain on the merging lane and stop at the half of it to wait for a gap which is estimated to be sufficiently large.

As a conclusion from the results of the surveys it can be stated that the road users in fact see a bit of a challenge when entering a motorway, but this situation represents no particular problems, though. Here, no significant differences between the studied age groups were found.

Similar to the observation of the behaviour of senior drivers in the empirical studies, no significant difference in the behaviour of the elderly compared to the younger drivers could be detected in the survey.

Thus, the presented results show that no influence of the road user's age is exerted on traffic safety or

traffic flow in the range of motorway entry-gateways from the type E1.

Evaluation of road safety

In general, no significant safety risk could be determined within the present analyses of entry-gateways of type E1, neither in the accident analyses nor in the empirical observations. The average accident number caused by the entering process (relevant accidents) per entry-gateway and year can be classified as low (1,33 relevant accidents per entry-gateway and year). Additionally, the reasons for these accidents could not exclusively be related to the mistakes of the drivers as they can also result out of the local boundary conditions (for example wet road conditions).

Another indication for the safety of the investigated entry-gateways is that during the empirical observations several interactions between the entering vehicles and the ones on the main lane could be seen but not one of them led to a real critical or dangerous situation.

As the only attribute that influences the road safety during the entering process the already known issue from TRAPP (1980) could be confirmed: The conflict potential in the entry area increases according to an increasing speed difference between a vehicle on the acceleration lane and the one on the main lane. In this connection it has to be considered, that the reason for the speed difference not coercible results from a short acceleration lane but is also significantly influenced by the acceleration behaviour of the driver as well as the geometry of the entry ramp.

The investigation of the issues of the senior drivers showed no significant differences in the driving behaviour of the older drivers (> 60) compared to the younger ones (< 60). That is why the present study allows no verifying if the entering process causes different problems due to the age of the driver.

Conclusion

The extensive analyses showed no significant attributes which visibly affect the road safety of the analysed entry-gateways, neither in the accident analyses nor in the empirical observations. For rather every thesis a counter-example could be found, which reveals the complexity of the

connections as well as the individuality of every entry-gateway.

However, this fact confirms the result that the entry-gateways of type E1 can be evaluated as uncritical and thereby as save with regard to road safety.

References

FRIEDRICH, B.; HOFFMANN, S.; IRZIK, M.; MATSCHKE, I.: Zweistreifige Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen – Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 992, Bonn 2008

FGSV: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Ausgabe 2008. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2008

BMVI: Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs, Stand 1.1.2013, Tabelle 2a: Länge der Bundesautobahnen nach Zahl der Fahrbahnen und Fahrstreifen in km, Ausgabe Juli 2013

SCHLAG, B.: Fahrverhaltensbeobachtungen bei jüngeren und älteren Kraftfahrern. In: Verkehrswachforum 2 (2), 1996

TRAPP, K.-H.: Untersuchung über die Verkehrssicherheit im Einfahrbereich planfreier Knotenpunkte. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 302 (Teil 1), Bonn 1980

Inhalt

1	Zielsetzung und Vorgehensweise . . .	17	5.2	Durchführung und Auswertung	56
2	Grundlagenstudie	19	5.2.1	Untersuchungskollektiv	56
2.1	Verkehrssicherheit in Einfahrten von Autobahnen	19	5.2.2	Durchführung der Messungen	57
2.2	Mögliche Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit in Einfahrten	21	5.3	Erkenntnisse	59
2.2.1	Verkehrstechnische Infrastruktur	21	5.3.1	Verkehrstechnische Analyse	59
2.2.2	Trassierungselemente	21	5.3.2	Gegenüberstellung	70
2.2.3	Güterverkehrsentwicklung	21	5.4	Schlussfolgerungen	74
2.2.4	Demografischer Wandel	22	6	Betrachtung der Belange älterer Verkehrsteilnehmer	75
2.2.5	Fahrerassistenzsysteme	23	6.1	Altersspezifische Untersuchungen an den Einfahrten	75
3	Auswahl geeigneter Einfahrten	23	6.1.1	Geschwindigkeitsuntersuchungen	75
4	Unfallanalysen	26	6.1.2	Einfädeltvorgänge	76
4.1	Unfallkennwerte	26	6.1.3	Gegenüberstellung der alters- spezifischen Untersuchungen	79
4.2	Ermittlung von Unfallkosten	29	6.2	Befragung	80
4.3	Makroskopische Analyse- einstreifiger Einfahrten	31	6.2.1	Fragebogen	80
4.3.1	Datengrundlage	31	6.2.2	Befragungsergebnisse	80
4.3.2	Zuordnung der Unfälle	32	6.3	Schlussfolgerungen	82
4.3.3	Unfallkollektiv, Unfall- und Verunglücktenstruktur	33	7	Bewertung der Verkehrs- sicherheit	82
4.3.4	Berechnung der angepassten Unfallkostensätze	37	7.1	Sicherheit einstreifiger Einfahrten	82
4.3.5	Unfallkenngrößen von Einfahrten	38	7.2	Vergleich mit zweistreifigen Einfahrten	83
4.4	Kenngößenvergleich mit Werten aus der Literatur	42	8	Zusammenfassung und Ausblick	83
4.5	Mikroskopische Analyse einstreifiger Einfahrten	43	9	Literatur	86
4.5.1	Bezug der relevanten Unfälle zur Verkehrsmenge in den Einfahrten	50	Anhang		
4.6	Analyse von Einfahrten mit ZRA	51	Die Anlagen zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter:		
4.7	Schlussfolgerungen	53	http://bast.opus.hbz-nrw.de abrufbar.		
5	Empirische Analyse von Einfädeltvorgängen	54	Die Ergänzungsuntersuchung zu FE 82.509/2010: „Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrs- sicherheit in Einfahrten auf Autobahnen“ (V 246) ist ebenfalls im BAST-Archiv ELBA abrufbar.		
5.1	Erhebungsmethodik	54			

1 Zielsetzung und Vorgehensweise

In den letzten Jahren sind die Fahrleistungen des motorisierten Straßenverkehrs in Deutschland stetig gestiegen. Heutige Prognosen weisen darauf hin, dass diese Entwicklung auch in Zukunft anhalten wird. Die Ursachen hierfür sind u. a. die Einführung des europäischen Binnenmarkts, die zunehmende Öffnung der osteuropäischen Volkswirtschaften, aber auch das steigende Mobilitätsbedürfnis der Bevölkerung. Von dieser Entwicklung sind insbesondere die Bundesautobahnen betroffen. Sie werden in ihren Verknüpfungspunkten planfrei geführt. Hierbei werden Ausfahr-, Verflechtungs- und Einfahrbereiche sowie Verbindungsrampen unterschieden.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung soll die Verkehrssicherheit in einstreifigen Einfahrten näher untersucht werden. Ziel des vorliegenden Projekts ist daher die Identifikation von möglichen Problembereichen bei einstreifigen Einfahrten an Autobahnen. Erkenntnisse dazu sollen aus einer Analyse des Unfallgeschehens gewonnen werden, die zusätzlich für eine vergleichende Bewertung der Verkehrssicherheit mit zweistreifigen Einfahrten (Typ E4 und E5) herangezogen werden. Ein weiteres Untersuchungsziel des Projekts besteht darin, Problembereiche in Einfahrten beim Einfädelungsvorgang für ältere Verkehrsteilnehmer zu identifizieren. Aus den insgesamt gewonnenen Erkenntnissen sollen Hinweise erarbeitet werden, wie einstreifige Einfahrtbereiche auf Autobahnen gestaltet werden sollten, um auch zukünftig sichere Einfädelungsvorgänge zu gewährleisten.

Die hier zu betrachtenden einstreifigen Einfahrten beschränken sich auf den Einfahrtstyp E1, der auf Autobahnen in Deutschland am häufigsten vorkommt. Der ebenfalls einstreifige Einfahrtstyp E2 soll nicht näher betrachtet werden, da er in der Form, wie er in den RAA (2008) beschrieben ist, kaum vorkommt.⁴ Auf eine Betrachtung des einstreifigen Einfahrtstyps E3 wird ebenfalls verzichtet, da bei einer Fahrstreifenaddition in der Einfahrt kein typischer Einfädelungsvorgang stattfindet und dieser Einfahrtstyp im Hinblick auf die Verkehrssicherheit als unkritisch angesehen wird.

Die methodische Vorgehensweise und das sich hieraus ergebende Arbeitsprogramm zur Identifikation von kritischen Bereichen in Einfahrten und einer vergleichenden Bewertung der Verkehrssicherheit mit anderen Einfahrtstypen sehen insgesamt acht Arbeitsschritte vor. Dies sind:

1. Aufbereitung vorhandener Erkenntnisse,
2. Auswahl geeigneter Einfahrten,
3. makroskopische Unfallanalyse,
4. mikroskopische Unfallanalyse,
5. empirische Analyse von Einfädelungsvorgängen,
6. Belange älterer Verkehrsteilnehmer,
7. Bewertung der Verkehrssicherheit und
8. Empfehlungen.

Die Arbeitsschritte, deren einzelne Bausteine und Zusammenhänge sind im Ablaufschema in Bild 1 dargestellt.

Die Erkenntnisse bisheriger Untersuchungen werden in Kapitel 2 zusammengefasst. Dabei werden neben der Verkehrssicherheit in Einfahrten auch die Themen beleuchtet, die einen Einfluss hierauf haben können.

In Kapitel 3 erfolgt die Dokumentation der Auswahl der zu untersuchenden Einfahrten auf deren Basis die Anfrage der Unfalldaten erfolgt. Die Vorgehensweise der Aufbereitung dieser Unfalldaten in einer makroskopischen und einer anschließenden mikroskopischen Unfallanalyse sowie deren Ergebnisse werden in Kapitel 4 vorgestellt. Als Grundlage für die Auswertung der Unfalldaten werden zusätzlich die wesentlichen Unfallkenngrößen sowie ihre Berechnung erläutert.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse erfolgt die Auswahl der Einfahrten für die empirische Analyse von Einfädelungsvorgängen. Die Methodik und Erkenntnisse dieser Analyse werden in Kapitel 5 näher erläutert.

In Kapitel 6 werden die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Belangen älterer Verkehrsteilnehmer im Hinblick auf das Verhalten und die Wahrnehmung beim Einfädelungsvorgang dargelegt. Zusätzlich erfolgt hier eine Auswertung der gesammelten Informationen hinsichtlich der gestalterischen Gesichtspunkte von Einfahrten.

⁴ Zudem wird von ZIMMERMANN/CINDRIC-MIDDENDORF (2011) empfohlen, dass dieser zukünftig keine Anwendung mehr finden sollte.

Eine zusammenfassende Bewertung der Verkehrssicherheit von Einfahrten des Typs E1 auf Basis der durchgeführten Untersuchungen erfolgt dann in Kapitel 7. Anschließend werden die Ergebnisse jenen zu zweistreifigen Einfahrten von FRIEDRICH et al. (2008) gegenübergestellt. Zusätzlich erfolgt eine

Ableitung und Bewertung von Maßnahmen unter der Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse.

Hieraus werden abschließend Empfehlungen für die Gestaltung von einstreifigen Einfahrten abgeleitet, die in Kapitel 8 zusammengefasst werden.

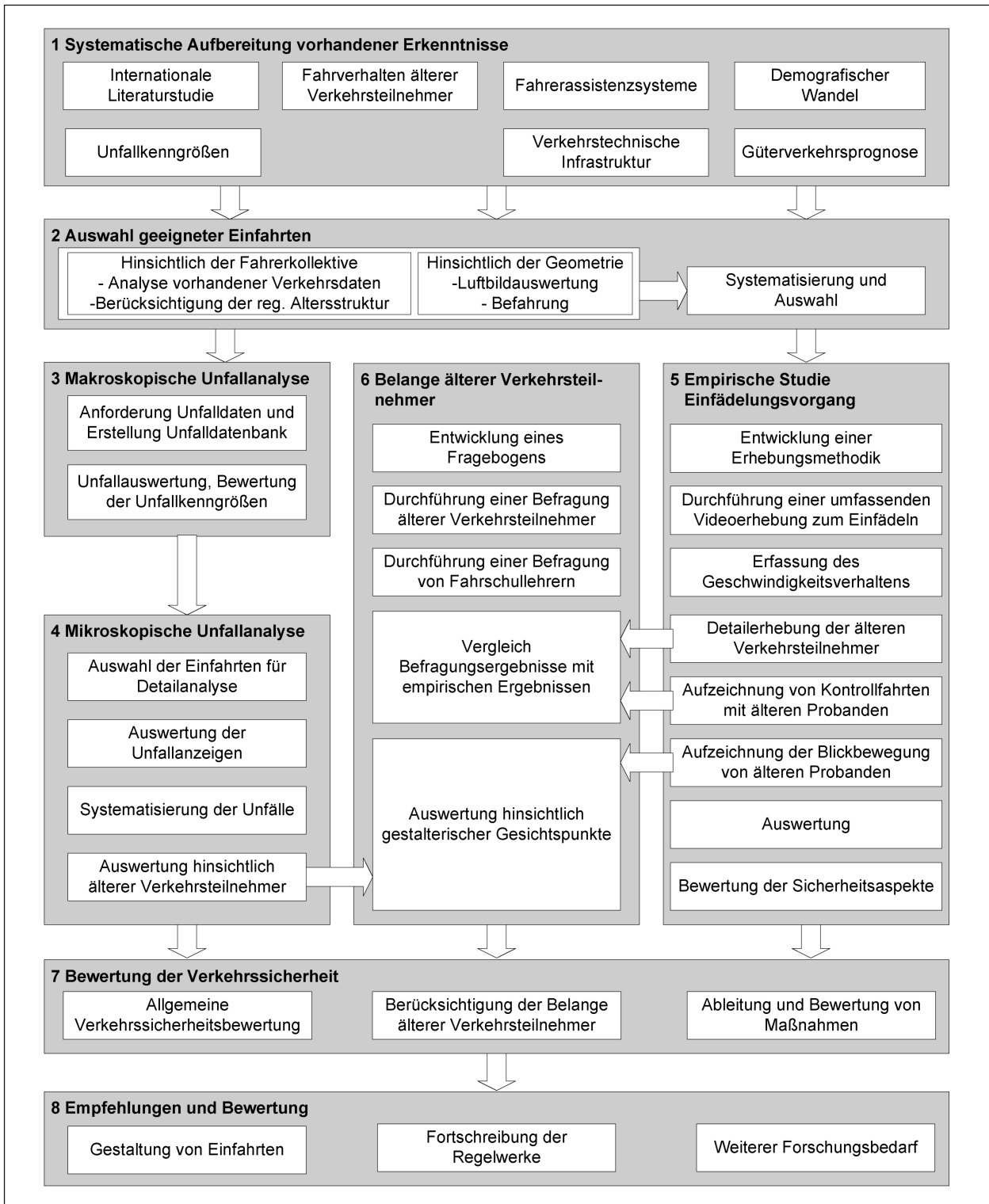


Bild 1: Arbeitsschritte

2 Grundlagenstudie

2.1 Verkehrssicherheit in Einfahrten von Autobahnen

Bereits in den 1930er Jahren wurden erste Grundsätze und Ausführungstypen für Knotenpunkte von UHLFELDER (1931) und KOESTER (1936) erarbeitet. Eine Richtlinie wurde jedoch infolge dieser Untersuchungen nicht veröffentlicht, sodass beim Bau neuer Knotenpunkte keine Gestaltungsvorgaben zu beachten waren. In den 1970er Jahren wurden von KRASSER (1974) Entwurfsgrundsätze für planfreie Knotenpunkte erarbeitet und Ausbildungsvarianten für den Bau dieser festgelegt. Zeitgleich wurden von TRAPP (1974) die Leistungsfähigkeiten planfreier Knotenpunkte ermittelt und bauliche sowie verkehrliche Einflussgrößen auf den Verkehrsablauf bestimmt. Aufbauend auf diesen Untersuchungen wurden die RAL-K-2 (1976) erarbeitet. In diesen waren u. a. auch Kapazitäten von Einfahrten angegeben. Im HBS (2001/2009) wurden die Kapazitäten von Einfahrten gegenüber den in den RAL-K-2 (1976) angegebenen Kapazitäten zuletzt aktualisiert.

Das derzeit gültige Regelwerk für den Entwurf von Autobahnen sind die RAA (2008). Darin werden die Gestaltung von Knotenpunkten und die Führung der Verkehrsströme beschrieben sowie einzuhaltende Werte bei der Gestaltung eines Knotenpunkts vorgegeben. Dabei werden verschiedene Einfahrtstypen kategorisiert, die sich nach der Gestaltung des Rampenquerschnitts und der Einfädelung auf die Hauptfahrbahn unterscheiden. Bei Einfahrten richtet sich die Einfahrlänge l_E nach der Entwurfsklasse (EKA). Für die Entwurfsklassen EKA 1 und EKA 2 geben die RAA (2008) eine Einfahrlänge l_E von 250 m als Maßgröße vor. Von dieser Vorgabe kann jedoch abgewichen werden, wenn die Längsneigung der Strecke längere Einfädelungstreifen erfordert. Die Verziehungslänge l_Z des Einfädelungstreifens beträgt 60 m. In der RAA (2008) wird außerdem die Einhaltung eines Sichtdreiecks für die Annäherungssicht empfohlen. Damit soll gewährleistet werden, dass sowohl die einfahrenden Ströme als auch der Verkehrsstrom auf der Hauptfahrbahn die Verkehrssituation gut überblicken können. Ist die Sicht beider Verkehrsströme gut, ist mit niedrigen Unfallraten am Knotenpunkt zu rechnen (TRAPP, 1980).

Die Untersuchungen von KRASSER (1974) und TRAPP (1974) beinhalteten auch die Betrachtung

der Verkehrssicherheit innerhalb der Knotenpunkte. Diese wurde anhand von Unfallzahlen an vorhandenen Knotenpunkten analysiert. Von besonderer Bedeutung für die Verkehrssicherheit war die geometrische Gestaltung der Knotenpunkte, insbesondere die Trassierung des Einfahrbereichs. TRAPP (1974) stellte z. B. fest, dass 20 % aller Unfälle auf Autobahnen älterer Art und fast 13 % aller Unfälle auf Autobahnen mit modernerer Bauart im Knotenpunktbereich (insbesondere im Einfahrbereich) liegen. Parallel dazu wurde von KRASSER (1974) herausgefunden, dass die Unfallschwere durch die Anordnung eines parallelen Einfädelungstreifens, statt einer keilförmigen Einfahrt ohne Einfädelungstreifen, deutlich abnimmt.

TRAPP (1980) führte zusätzliche Untersuchungen durch, die sich allein mit der Verkehrssicherheit im Einfahrbereich planfreier Knotenpunkte beschäftigten. In seinen Untersuchungen wurden die damals neuen Einfahrtstypen mit parallelen Einfädelungstreifen gemäß den RAL-K-2 (1976) betrachtet. Es stellte sich heraus, dass Einfahrten die Bereiche mit der höchsten Unfallgefährdung sind (fast 63 % aller Unfälle im Knotenpunktbereich fanden innerhalb der Einfahrt statt) und dass Auffahrunfälle und Unfälle infolge Vorfahrtsverletzung am häufigsten beobachtet werden. Auch wurde festgestellt, dass die Unfallhäufigkeit und Unfallschwere durch die Anordnung eines parallelen Einfädelungstreifens oder einer Fahrstreifenaddition gesenkt werden kann.

Die Länge der Einfahrt, insbesondere des Einfädelungstreifens, ist hinsichtlich der Verkehrssicherheit ebenfalls von Bedeutung. Dabei ist die Länge des Einfädelungstreifens von der Verkehrsstärke auf der Hauptfahrbahn und der Einfahrt abhängig (KRASSER, 1974). Interessant ist hierbei, dass sich herausgestellt hat, dass bei steigender Verkehrsstärke auf der Hauptfahrbahn der Einfädelungstreifen eher verlassen wird als bei geringer Belastung. Die optimale Länge von Einfädelungstreifen wurde von WESTPHAL (1995) anhand von Untersuchungen ermittelt. Dabei konnte sie feststellen, dass kurze Einfädelungstreifen gut ausgenutzt werden. Längere Einfädelungstreifen (> 200 m) wurden nicht voll ausgenutzt; alle Fahrzeuge wechselten nach 200 m bereits auf die Hauptfahrbahn.

Der Einfluss der Länge des Einfädelungstreifens und der Verkehrsstärke auf der Hauptfahrbahn wurde in einer neueren Untersuchung von

CALVI/DE BLASIIS (2011) anhand einer Fahrsimulatorstudie untersucht. Dabei stellten sie fest, dass die Verkehrsstärke einen signifikanten Einfluss auf das Verkehrsverhalten der Probanden, speziell der Wahl einer ausreichend großen Lücke zum Einfädeln, hat. Je höher die Verkehrsstärke auf dem rechten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn ist, desto abrupter und später erfolgt der Einfädelungsprozess. Die Länge des Einfädelungsstreifens hat jedoch nur einen geringen Einfluss auf den Einfädelungsprozess. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von KRASSER (1974) wurde hier festgestellt, dass gerade bei sehr hohen Verkehrsstärken auf dem rechten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn, der Einfädelungsstreifen fast vollständig ausgenutzt wird. Bei geringerer Verkehrsstärke fand der Einfädelungsprozess jedoch bereits innerhalb der ersten Hälfte des Einfädelungsstreifens statt. Lange Einfädelungsstreifen zum Einfahren in die Hauptfahrbahn eignen sich also nur, wenn hohe Verkehrsstärken auf der Hauptfahrbahn erwartet werden.

Ein Einfluss der Länge des Einfädelungsstreifens auf Einfädelungsprozesse und folglich der Verkehrssicherheit ist an dieser Stelle, aufgrund unterschiedlicher Versuchsergebnisse in der Vergangenheit, nicht möglich und sollte daher näher betrachtet werden.

Weiterhin wurden von WESTPHAL (1995) Untersuchungen durchgeführt, mit denen die Leistungsfähigkeit von Einfahrten gemessen werden sollten. Dabei wurden Geschwindigkeiten, Verkehrsstärken im Einfahrbereich und auf der Hauptfahrbahn, Fahrstreifenwechsellvorgänge, Abstände zwischen den Fahrzeugen und Bremsmanöver im Einfahrbereich beobachtet. Maßgebend für die Verkehrsqualität ist die Geschwindigkeit im Bereich der Einfahrt. Jedoch bestimmt auch der Schwerverkehrsanteil das Verkehrsverhalten und die Sicherheit innerhalb von Knotenpunkten. Mit zunehmendem Anteil des Schwerverkehrs in der Einfahrt nimmt die Verkehrsstärke auf dem rechten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn ab, da die Fahrzeuge sich von den einfahrenden Lkw verunsichert fühlen und den Fahrstreifen wechseln (WESTPHAL, 1995). In den Untersuchungen von LANK/WILLE/HABERSTROH (2011) konnte ebenfalls ein Einfluss des Schwerverkehrs auf Einfädelungsvorgänge an Autobahnanschlussstellen beobachtet werden.

Weitere Forschungserkenntnisse zeigen, dass vor allem an neuralgischen Stellen im Streckennetz, wie sie Einfahrten darstellen, eine ungünstige Häu-

fung von Lkw zu Verkehrsbehinderungen und zu Einschränkungen der Verkehrssicherheit führen können. In Verkehrsablaufuntersuchungen 2005 und 2010, konnte ein deutlicher Einfluss des Schwerverkehrs sowohl auf die Leistungsfähigkeit als auch auf das mittlere Geschwindigkeitsniveau festgestellt werden. In einer Untersuchung von BÖNIGK (2006) stellte sich heraus, dass sich bei Nettoweglücken um 20 m eine „Hemmschwelle“ für die Nutzung kleinerer Weglücken befindet. Jedoch wird bei einer höheren Verkehrsstärke die „Hemmschwelle“ herabgesetzt und Stockungen des Verkehrs auf dem Einfädelungsstreifen oder die regelwidrige Nutzung des Seitenstreifens werden wahrscheinlicher.

Untersuchungen zu zweistreifigen Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen wurden von FRIEDRICH et al. (2008) durchgeführt. Hier wurde der Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit in den Einfahrtstypen E4 und E5 untersucht. Dafür wurden Kapazitäten und Einsatzbereiche dieser Einfahrtstypen bestimmt und mit Vorgaben des HBS (2001/2009) verglichen. Die Kapazität des Einfahrtstyps E4 bestimmt sich dabei aus der maximal möglichen Verkehrsstärke der Hauptfahrbahn unterhalb der Einfahrt und der maximalen Einfädelungsstärke, wohingegen die Kapazität des Einfahrtstyps E5 nur von der maximal möglichen Verkehrsstärke auf der Hauptfahrbahn unterhalb der Einfahrt abhängig ist. Es konnte festgestellt werden, dass die angegebenen maximalen Einfädelungsstärken des HBS (2001/2009) in Simulationsrechnungen nicht erreicht werden können und die Kapazität bereits bei geringen Einfädelungsstärken erreicht wird. Die Ergebnisse der Untersuchungen können künftig für eine Erweiterung des HBS (2001/2009) aufgegriffen und als Bemessungsgrundlage für diese Einfahrtstypen verwendet werden. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit konnten keine maßgeblichen Unterschiede zwischen den Einfahrtstypen E4 und E5 und anderen Knotenpunktelementen festgestellt werden. Es ist also kein besonderes Gefährdungspotenzial durch diese Einfahrtstypen erkennbar.

Das Verhalten der Verkehrsteilnehmer ist jedoch nicht nur von geometrischen und verkehrstechnischen Faktoren abhängig, sondern wird ebenso von Wahrnehmungs- und Denkprozessen gesteuert. Von KONDYLI/ELEFTERIADOU (2009) wurde eine Analyse zum Verkehrsverhalten von Kraftfahrzeugführern im Bereich von Einfahrten durchgeführt. Die Befragung von Probanden ergab, dass Einfahr- und Einfädelungsprozesse zum einen ab-

hängig sind vom Verhalten der durchfahrenden Fahrzeuge (Geschwindigkeiten und Beschleunigungsverhalten) und vorhandenen Einfädelungslücken, zum anderen aber auch Eigenschaften des einfahrenden Fahrers eine große Rolle spielen. Es wird zwischen aggressivem, eher durchschnittlichem und zurückhaltendem Fahrstil unterschieden. Der Fahrstil hat dabei auch einen Einfluss auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit im Knotenpunktbereich.

2.2 Mögliche Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit in Einfahrten

2.2.1 Verkehrstechnische Infrastruktur

Um die Sicherheit im Einfahrbereich planfreier Knotenpunkte zu erhöhen, eignet sich die Umsetzung von betrieblichen Maßnahmen. Dynamische Geschwindigkeitsbeschränkungen an der durchgehenden Hauptfahrbahn führen zu einer geringeren Geschwindigkeitsdifferenz zwischen einfahrendem Fahrzeugen und Fahrzeugen auf der durchgehenden Hauptfahrbahn. Dadurch wird eine Harmonisierung des Verkehrsablaufs erreicht und die Einfädelung wird den einfahrenden Fahrzeugen erleichtert (SCHNÜLL/KÖLLE, 1993). Kleinere Weglücken werden akzeptiert, der Fahrer wird weniger beansprucht und die Sicherheit wird folglich erhöht. Aufgrund der geringeren Geschwindigkeit wird bei eventuell auftretenden Unfällen die Unfallschwere deutlich reduziert. Fahrstreifensignalisierungen eignen sich ebenfalls dafür, die Verkehrssicherheit beim Einfahren zu erhöhen. Durch das Freigeben einer oder mehrerer Fahrstreifen für den einfahrenden Verkehr wird den Fahrzeugführern der Einfahrprozess deutlich erleichtert, da auf der durchgehenden Fahrbahn der rechte Fahrstreifen gesperrt ist (SCHNÜLL/KÖLLE, 1993). Schwierige Einfädelungsprozesse, die häufig zu Unfällen führen, werden vermieden.

Eine immer wichtigere Variante zur Verbesserung des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit ist der Einsatz von Zuflussregelungsanlagen (ZRA). In ihrer Arbeit stellten STÖCKER/TRUPAT (2001) fest, dass beim Einsatz von ZRA die Störungen im Verkehrsablauf um bis zu 50 % zurückgehen und damit die Verkehrssituation deutlich verbessert werden kann. Da jeweils nur einzelnen Fahrzeugen die Einfahrt in die Autobahn gewährt wird, werden Störungen durch vorausfahrende langsame Fahrzeuge vermieden und der Einfädelungsprozess erleich-

tert. Die Unfallzahlen gehen deutlich zurück (STÖCKER/TRUPAT, 2001), d. h. es können eindeutige sicherheitsfördernde Effekte durch den Einsatz solcher Anlagen beobachtet werden. Da die einfahrenden Fahrzeuge meist aus dem Stand heraus beschleunigen, ist auch hier die Beschränkung der Geschwindigkeit auf der durchgehenden Fahrbahn sinnvoll, um die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den beiden Fahrzeugströmen zu minimieren.

2.2.2 Trassierungselemente

Die geometrische Gestaltung von Einfahrten, aber auch deren Rampen, stellt ebenfalls eine mögliche Einflussgröße für die Verkehrssicherheit dar. Nähere Untersuchungen zur Festlegung der Einsatzbereiche für die Rampentypen gemäß den RAA (2008) wurden von ZIMMERMANN/CINDRICH-MIDDENDORF (2011) unter Berücksichtigung des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit durchgeführt. Hierbei konnte ein wesentlicher Einfluss der Trassierung am Ende der Einfahrrampe auf die Geschwindigkeit am Anfang des Einfädelungsstreifens beobachtet werden. Ähnliche Beobachtungen wurden auch von WEBER (1997) in seiner Arbeit zur Untersuchung des Verkehrsablaufs an Einfahrten von planfreien Knotenpunkten gemacht. Hier wurde unter anderem das Beschleunigungsverhalten der Fahrzeuge auf dem Einfädelungsstreifen in Abhängigkeit zur Rampentrassierung und den Verkehrsmengen der Einfahrt und der Hauptfahrbahn analysiert. Als Ergebnis wurde ebenfalls ein Zusammenhang zwischen der Trassierung der Rampe und der mittleren Geschwindigkeit im Einfahrbereich festgestellt. Diese Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass sich auch die geometrischen Randbedingungen einer Einfahrt auf die Verkehrssicherheit auswirken können, da das Geschwindigkeitsniveau im Einfahrtbereich ein mögliches Konfliktpotenzial begünstigen kann.

2.2.3 Güterverkehrsentwicklung

Der Einfädelungsvorgang bei Einfahrten auf Autobahnen wird maßgeblich durch die Verkehrsstärke auf der Hauptfahrbahn beeinflusst. Hier wird insbesondere ein Einfluss des Lkw-Anteils erwartet, da die Lkw in der Regel auf dem rechten Fahrstreifen fahren (LANK/WILLE/HABERSTROH, 2011).

Im Folgenden werden die derzeitigen Prognosen für die Entwicklung des Straßengüterverkehrs vor-

gestellt, um daraus im Zusammenhang mit den Ergebnissen der empirischen Studie des Einfädungsvorgangs (s. Kapitel 5) die zu erwartenden Veränderungen auf die Verkehrssicherheit abschätzen zu können.

Insgesamt wird derzeit im Güterverkehr von einem weiteren Wachstum ausgegangen. Da der Straßengüterverkehr den größten Anteil der Verkehrsleistung übernimmt (2004: 71,6 %, s. BVU/ITP, 2007), wird sich auch das Wachstum deutlich auf den Straßengüterverkehr auswirken.

In der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025 (BVU/ITP, 2007) wird für den Zeitraum von 2004 bis 2025 von einem Wachstum der Verkehrsleistung (Mrd. Tonnenkilometer) im Straßengüterverkehr von 79 % ausgegangen. Dies bedeutet ein Wachstum von 2,8 % pro Jahr. Der Anteil des Straßengüterverkehrs an allen Güterverkehrsträgern steigt in diesem Zeitraum auf 75,2 % an (BVU/ITP, 2007).

In der Lkw-Studie von SHELL (2010) wird zwischen 2008 und 2030 ein Wachstum des Straßengüterverkehrs von rund 72,5 % angenommen, was die Angaben zum weiterhin starken Wachstum aus der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025 (BVU/ITP, 2007) unterstreicht.

Eine längerfristige Studie zur Güterverkehrsentwicklung bis 2050 kommt sogar zu dem Ergebnis, dass die Straßengüterverkehrsleistung zwischen 2005 und 2050 um rund 115 % zunimmt (PROGTRANS, 2007). Hierbei wird von einem Szenario ausgegangen, das die bisherigen Trends und Erkenntnisse zur Güterverkehrsentwicklung fort-schreibt.

Die hier beschriebenen Entwicklungen lassen einen weiteren Zuwachs der Lkw-Anteile auf Autobahnen in Deutschland erwarten. Durch das erhöhte Lkw-Aufkommen werden die Zeitlücken für den Einfädungsvorgang im Bereich der Einfahrten verkürzt, wodurch der Einfädungsvorgang erheblich erschwert werden dürfte.

2.2.4 Demografischer Wandel

Im Hinblick auf den demografischen Wandel in Deutschland wird es zunehmend wichtiger, auf die Belange älterer Verkehrsteilnehmer einzugehen. Der Anteil der Älteren nimmt in der Gesamtbevölkerung zu, während die Geburtenrate abnimmt (vgl. beispielsweise KÖNIG, 2008). Diese Entwicklung in

Verbindung mit einem steigenden Mobilitätsbedürfnis der Älteren führt in Zukunft zu einer Zunahme des Anteils älterer Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr.

Ein Blick auf die Unfallzahlen zeigt, dass ältere Verkehrsteilnehmer besonders gefährdet sind. Etwa ein Viertel aller im Straßenverkehr Getöteten sind Senioren (BAKABA/ORTLEPP, 2010).⁵ Die Hauptursache dafür ist das Auftreten von körperlichen und anderen altersbedingten Defiziten, die das Fahrverhalten beeinträchtigen, wie z. B. das Abnehmen der Sehfähigkeit, der höheren Blendempfindlichkeit und der schlechteren Fähigkeit zu Mehrfachaktivitäten (FÄRBER, 2000). Auch verfügen ältere Menschen häufig über langsamere Reaktionszeiten und eine geringere Beweglichkeit. Dabei versuchen die Senioren häufig vorhandene Defizite mit einer defensiveren Fahrweise auszugleichen.

Die Leistungsabnahme älterer Verkehrsteilnehmer führt insbesondere bei komplexen Verkehrssituationen zu einem erhöhten Unfallrisiko. Zudem sind die Unfallfolgen aufgrund der körperlichen Schwächen meist schwerwiegender.

Komplexe Verkehrssituationen, wie sie z. B. Knotenpunkte darstellen, sind für ältere Verkehrsteilnehmer besonders problematisch (KÖNIG, 2008). Die Untersuchungen von BAIER et al. (2009) zeigen, dass auf Autobahnen insbesondere Einfahrbereiche eine hohe Konzentration erfordern und aus diesem Grund gerade älteren Verkehrsteilnehmern häufig Schwierigkeiten bereiten. Dies bestätigen die von BAIER et al. (2009) auf Basis einer Sonderauswertung der Bundesunfallstatistik durchgeführten Analysen des Unfallgeschehens aus den Jahren 2001 bis 2006. Danach nimmt auf Autobahnen der Anteil der Unfälle an Anschlussstellen und Autobahnkreuzen/-dreiecken mit höherem Alter zu, der Anteil der Unfälle auf der Strecke dagegen ab.

Es wird also zunehmend wichtiger, auf die Belange älterer Verkehrsteilnehmer einzugehen. So ist laut BAKABA/ORTLEPP (2010) ein vereinfachter Aufbau des infrastrukturellen Verkehrssystems unerlässlich, um komplexe Situationen zu minimieren.

⁵ Die von BAKABA/ORTLEPP (2010) veröffentlichten Ergebnisse basieren im Wesentlichen auf den Untersuchungen von BAIER et al. (2009).

Es sollte insgesamt ein langsamerer Verkehrsablauf angestrebt werden, um verzögerte Wahrnehmungsleistungen und Reaktionen zu kompensieren. Hinsichtlich von Knotenpunkten schlagen sie eine bessere Erkennbarkeit, Übersichtlichkeit, und Orientierung vor. Außerdem ist es besonders wichtig, die Erkennbarkeit und Lesbarkeit von Verkehrszeichen, Markierungen und Leiteinrichtungen zu verbessern, um die geringere Sehschärfe der älteren Verkehrsteilnehmer zu kompensieren.

2.2.5 Fahrerassistenzsysteme

Ein Ansatz, um vor allem Senioren die Teilnahme am Straßenverkehr zu vereinfachen, ist die Einführung bzw. Ausweitung des Einsatzes von Fahrerassistenzsystemen. Vor allem aktiv eingreifende Fahrerassistenzsysteme haben ein hohes Unfallvermeidungspotenzial. Ein Drittel aller Unfälle könne mit aktiv eingreifenden Systemen vermieden werden (BRÜHNING/BAUER, 2007). Beispiele für aktiv eingreifende Systeme sind das heute weitgehend bekannte Anti-Blockier-System (ABS), das Elektronische Stabilisierungsprogramm (ESP) oder das Adaptive Cruise Control (ACC).

Auf Autobahnen und vor allem zur Unterstützung älterer Verkehrsteilnehmer eignen sich laut BAKABA/ORTLEPP (2010) der Einsatz von automatischen Notbremsen, ESP und Spurwechselassistenten. Untersuchungen von GWEHENBERGER (2007) belegen, dass z. B. durch das ESP bei Pkw etwa 10 % bis 15 % aller Unfälle vermieden werden können. Ein hohes Potenzial zur Unfallvermeidung auf Autobahnen bietet zudem das Lane Departure Warning System (LDW), ein Spurhalteassistent, der den Fahrer eines Kraftfahrzeugs vor Verlassen des Fahrstreifens warnt. Bei diesem System wird der Fahrstreifen mithilfe einer Kamera erfasst, sodass bei unterschreiten eines minimalen Abstandes oder bei Überfahren des Fahrstreifens ein Warnsignal ertönt (GWEHENBERGER, 2007). Zu beachten ist dabei jedoch, dass die Zuverlässigkeit dieses Systems nicht immer gegeben ist, da durch Verschmutzungen oder bei mehreren Markierungen nicht der relevante Fahrstreifen erfasst werden

kann. Vor allem das blinde Vertrauen in solche Fahrerassistenzsysteme kann bei Systemausfällen zu gefährlichen Situationen führen. Ein „überhöhtes Sicherheitsgefühl“ sollte dringend vermieden werden, damit Fahrer ihre Verantwortung für das Fahrzeug nicht an Fahrerassistenzsysteme übergeben (GWEHENBERGER, 2007).

3 Auswahl geeigneter Einfahrten

Als Grundlage zur Durchführung der makroskopischen Unfallanalyse sollten insgesamt 90 Einfahrten des Typs E1 auf Autobahnen in Deutschland ausgewählt werden. Zusätzlich sollten zehn Einfahrten mit Zuflussregelungsanlage (ZRA) betrachtet werden, um hier eine vergleichende Bewertung der Verkehrssicherheit vor und nach der Errichtung anhand einer Analyse von Unfalldaten vornehmen zu können.

Zur Vorbereitung des Auswahlprozesses wurden zunächst Auswahlkriterien definiert. Auswahlkriterien stellen die Randbedingungen dar, nach denen das Untersuchungskollektiv ausgewählt und unterteilt werden soll. Diese dürfen nicht zu umfangreich sein, um möglichst große Untersuchungsgruppen zu erhalten.

Die bei der Auswahl der Einfahrten des Einfahrtstyps E1 zugrunde gelegten Auswahlkriterien sind:

- Anzahl der Fahrstreifen auf der Hauptfahrbahn (HFB, zwei- oder dreistreifige Richtungsfahrbahn) und
- Belastungsklasse der Richtungsfahrbahn (gering, durchschnittlich oder hoch),

wobei die Definition der Belastungsklassen in Anlehnung an die in den RAA (2008) angegebene mögliche Kapazität von zwei- bzw. dreistreifigen Richtungsfahrbahnen erfolgte. Die aus den genannten Auswahlkriterien resultierende Matrix von sechs Untersuchungsgruppen ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Zuordnung der Einfahrten zu den

Anzahl Fahrstreifen der HFB	DTV-Klasse der HFB [Kfz/d]		
	Gering	Durchschnittlich	Hoch
2	20.000-40.000	40.000-60.000	> 60.000
3	60.000-80.000	80.000-100.000	> 100.000

Tab. 1: Übersicht der gebildeten Untersuchungsgruppen

gewählten DTV-Klassen erfolgte entsprechend der Querschnittswerte der Autobahnabschnitte die in Fahrtrichtung hinter der Einfahrt liegen. Durch die richtungsbezogene Betrachtung kann es sich ergeben, dass zwei Einfahrten einer Anschlussstelle verschiedenen DTV-Klassen zugeordnet werden. Die Informationen zu den Verkehrsstärken auf der Hauptfahrbahn wurden aus den Ergebnissen der Straßenverkehrszählung 2010 übernommen. Um die Anfrage der Unfalldaten in einem angemessenen Umfang zu halten, wurde die Auswahl der Einfahrten auf fünf Bundesländer begrenzt (Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz).

Damit bei der späteren Auswertung der Unfalldaten gleiche Zeitintervalle für jede Einfahrt zugrunde gelegt werden können, wurden die Einfahrten so gewählt, dass im Untersuchungszeitraum von 2008 bis 2010 keine Arbeitsstellen im jeweiligen Einfahrtbereich und auf der Hauptfahrbahn vorhanden waren. Damit soll sichergestellt werden, dass während des gesamten Betrachtungszeitraums unbeeinflusste Verkehrsverhältnisse vorliegen. Die Informationen zu den Arbeitsstellen auf Bundesautobahnen wurden den Meldungen aus der Baubetriebsplanung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur entnommen.

Aus dem so eingegrenzten Kollektiv an Einfahrten wurden anschließend mithilfe einer Luftbildanalyse jene des Typs E1 ausgewählt. Dabei wurde besonders darauf geachtet, dass es sich um „reine“ E1-Typen handelt und nicht um eventuell vorhandene Sonderformen, die aufgrund der örtlichen

Gegebenheiten untypische Geometrien aufweisen. So soll die Vergleichbarkeit der Einfahrten gewährleistet werden.

Zunächst wurde eine gleichmäßige Verteilung der Einfahrten auf die gebildeten sechs Untersuchungsgruppen angestrebt, dies war jedoch aufgrund des Arbeitsstellenkriteriums nicht immer möglich. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Anzahl der Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen mit einem DTV > 100.000 Kfz/d begrenzt ist. Der Berücksichtigung dieser Kriterien wurde jedoch eine größere Priorität zugewiesen als die Aufteilung der zu untersuchenden Einfahrten in gleich große Untersuchungsgruppen.

Bei der Auswahl der Einfahrten mit ZRA war es nicht möglich, das Arbeitsstellenkriterium vollständig zu berücksichtigen, da hier jeweils ein Zeitraum von drei Jahren vor der Einrichtung und drei Jahren nach der Einrichtung der ZRA berücksichtigt werden soll. Aufgrund der Verfügbarkeit der Unfalldaten sollte die ZRA im Jahr 2006 installiert worden sein, um vollständige Informationen zu den Unfällen erhalten zu können. Da die Anzahl der Einfahrten, die diese Randbedingungen erfüllen, begrenzt ist, wurden neun Einfahrten mit ZRA aus Nordrhein-Westfalen ausgewählt.

Mithilfe der oben beschriebenen Vorgehensweise wurden insgesamt 91 Einfahrten an 52 Anschlussstellen für die Analyse der Unfalldaten ausgewählt. Eine Übersicht aller Anschlussstellen zeigen Tabelle 2 bis Tabelle 4. Hier sind ebenfalls die für die Untersuchung ausgewählten Einfahrten mit ZRA aufgeführt.

ohne ZRA 2 FS	gering 20.000 - 40.000	DTV-Klasse durchschnittl. 40.000 - 60.000	hoch > 60.000
NI	A 29 Rastede (12) A 391 AK Braunschweig-Nord, Ri Nord	A 28 Ganderkesee-Ost (20) A 28 Delmenhorst-Adelheide (22), Ri West	A 28 Delmenhorst-Adelheide (22), Ri Ost A 391 BS-Hansestraße (3), Ri Süd
NW	A 33 Borchen-Etteln (30)	A 3 Dinslaken-Nord (8), Ri Nord A 43 Nottuln (4)	A 3 Dinslaken-Nord (8), Ri Süd A 43 Bochum-Laer (18) A 57 Moers-Hülsdonk (9)
HE	A 4 Wildeck-Obersuhl (35) A 45 Florstadt (38) A 49 Baunatal-Mitte (9), Ri Süd A 49 Baunatal-Süd (10), Ri Nord	A 49 Baunatal-Nord (8) A 49 Baunatal-Mitte (9), Ri Nord A 485 Gießen-Schiffenberger Tal (6) A 485 Dreieck Bergwerkswald (7)	A 60 Bischofsheim (27) A 60 Rüsselsheim-Mitte (28) A 60 RH-Königstatten (29); Ri West A 67 Rüsselsheim-Ost (2)
RP	A 63 Sembach (14) A 63 Winnweiler (13) A 650 Maxdorf (4)	A 60 Mainz-Lerchenberg (20), Ri West A 61 Plaidt (36)	A 60 Mainz-Finthen (19), Ri Nord A 60 Dreieck Mainz (18), Ri Süd A 60 Mainz-Lerchenberg (20), Ri Ost
BB	A 11 Wandlitz (14) A 12 Frankfurt(Oder)-West (8) A 13 Ruhland (17)	A 12 Dreieck Spreeau (1), Ri Ost	
Summe	23 Einfahrten	17 Einfahrten	17 Einfahrten

Tab. 2: Ausgewählte Einfahrten an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen

Neben den Auswahlkriterien wurden zusätzlich Analyse­kriterien formuliert. Diese beschreiben die Randbedingungen, die bei der späteren Auswertung der Unfalldaten innerhalb der Untersuchungsgruppen berücksichtigt werden sollen. Diese Kriterien sind:

- Lage (innerhalb oder außerhalb von Ballungsräumen),
- Art der Einfahrt (in Anschlussstelle oder innerhalb Autobahnkreuz/-dreieck),
- Rampentyp (Schleife oder Tangente, auf- oder abwärts),
- Länge des Einfahrbereichs,
- Längsneigung der Hauptfahrbahn (HFB) im Bereich der Einfahrt,
- Tempolimit oder Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) im Bereich der Einfahrt,
- Verkehrszusammensetzung (SV-Anteil).

Die genannten Kriterien können im Rahmen der mikroskopischen Unfallanalyse genutzt werden, um verschiedene Teilkollektive genauer zu betrachten und gegebenenfalls vorhandene Zusammenhänge hinsichtlich der Verkehrssicherheit zu bewerten. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn die zugehörigen Informationen verfügbar sind. Weiterhin macht die Auswertung von Teilkollektiven nur dann Sinn, wenn diese mehrere Einfahrten mit vergleichbaren Merkmalen beinhalten.

Zur Vorbereitung der systematischen Auswertung der Unfalldaten zu den jeweiligen Einfahrten wurden die Merkmale der zuvor genannten Kriterien in Form einer Datenbank den ausgewählten Einfahrten zugeordnet. So ist später eine Auswertung der Daten mit bestimmten Merkmalskombinationen in Verbindung mit den Unfalldaten möglich. Die Vorgehensweise der Aufbereitung und Auswertung der Unfalldaten zu den Einfahrten wird im Kapitel 4 erläutert.

mit ZRA 2 FS	DTV-Klasse gering 20.000 - 40.000	durchschnittl. 40.000 - 60.000	hoch > 60.000
NW			A 42 Gelsenkirchen-Heßler (15) A 42 Gelsenkirchen-Bismarck (18) A 52 Essen-Kettwig (26) A 57 Krefeld-Oppum (14) A 57 Moers-Kapellen (11), Ri Süd
		Summe	9 Einfahrten

Tab. 3: Ausgewählte Einfahrten mit ZRA an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen

ohne ZRA 3 FS	DTV-Klasse gering 60.000 - 80.000	durchschnittl. 80.000 - 100.000	hoch > 100.000
NI	A 2 Rennau (60)	A 2 AK Braunschweig-Nord A 7 Schwarmstedt (50) A 7 Berkhof (51)	
NW	A 1 Gevelsberg (90)	A 3 Duisburg-Wedau (15), Ri Nord	A 3 Duisburg-Wedau (15), Ri Süd A 57 Neuss-Reuschenberg (21)
HE	A 3 Seligenstadt (55) A 3 Seligenstädter Dreieck (56), Ri Nord A 7 Kassel-Nord (77), Ri Nord	A 3 Limburg-Süd (43) A 5 Bad Nauheim (13) A 5 Butzbach (12) A 5 Ober-Mörlen (14) A 7 Dreieck Kassel-Ost (78), Ri Süd A 66 Wi.-Nordenstadt (7), Ri Ost	
RP	A 650 Oggersheim-Süd (8), Ri Ost		
BB	A 10 Dreieck Spreeau (8), Ri Nord A 115 Potsdam-Drewitz (7) A 115 Kleinmachnow (5)		
Summe	14 Einfahrten	17 Einfahrten	3 Einfahrten

Tab. 4: Ausgewählte Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen

4 Unfallanalysen

Die vorgesehene Verkehrssicherheitsbewertung von Einfahrten erfolgt auf Basis polizeilich registrierter Unfälle. Dabei wird auf verfügbare Unfalldatenbanken mit georeferenzierten Unfällen zurückgegriffen. Die erforderlichen Unfalldaten der ausgewählten Einfahrten wurden für die Jahre 2008, 2009 und 2010 bei den jeweils zuständigen Stellen der Länder angefragt und in der Regel aus den vorhandenen elektronischen Unfalldatenbanken zur Verfügung gestellt. Die Unfalldaten wurden für die durchzuführenden Analysen aufbereitet und in eine eigens angelegte Unfalldatenbank übernommen, die mit der zuvor angelegten Datenbank der Einfahrten verknüpft ist. Abweichend von dem o. g. Zeitraum wurden für die Einfahrten mit ZRA die Unfalldaten von 2003 bis 2005 und von 2006 bis 2009 angefragt um einen Vorher-Nachher-Vergleich vornehmen zu können.

Bei den Unfallanalysen werden nicht nur die Unfälle in den Einfahrtbereichen selbst, sondern auch die Unfälle innerhalb der stromauf- und stromabwärts der Einfahrt liegenden Bereiche betrachtet. Dabei werden die Bereiche auf der Hauptfahrbahn vor und nach der Einfahrt, wie auch in den Untersuchungen von FRIEDRICH et al. (2008), mit jeweils 500 m angenommen.

In der makroskopischen Analyse (Kapitel 4.3) erfolgt zunächst eine Betrachtung der Unfallcharakteristik sowie der Unfall- und Verunglücktenstruktur für alle Einfahrten bzw. für die dort jeweils getrennt zu betrachtenden Bereiche. Daran anschließend werden jeweils die zuvor festgelegten relevanten Unfallkenngrößen (s. hierzu Kapitel 4.1) ermittelt.

Für die mikroskopische Analyse (Kapitel 4.5) werden sämtliche in der Datenbank enthaltenen Unfälle ausgewertet. Dabei stehen die aus den generellen Angaben zum Unfallhergang enthaltenen Angaben im Vordergrund. Durch die Analyse der Unfallart und des Unfalltyps können Erkenntnisse gewonnen werden, ob sich bestimmte Unfallmerkmale nur bei einzelnen Einfahrtstypen wiederfinden. Um zusätzliche Erkenntnisse zum Unfallhergang zu gewinnen, ist eine genauere Analyse der Verkehrsunfallanzeigen notwendig. Aus diesen könnten weitere detaillierte Informationen zum Unfallhergang gewonnen werden, beispielsweise zu Aussagen der betroffenen Fahrer, zum genauen Hergang anhand einer Skizze sowie zu Besonderheiten des Unfallorts. Vor diesem Hintergrund sollen für die

Einfahrten mit besonders ausgeprägtem Unfallgeschehen die Verkehrsunfallanzeigen ausgewertet werden. Diese detailliertere Auswertung wurde an 30 ausgewählten Einfahrten durchgeführt. Die Auswahl erfolgte auf Grundlage der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Unfallanalyseschritten.

4.1 Unfallkennwerte

Unfallkennwerte werden zur Beschreibung, Analyse und Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßenverkehrsanlagen benötigt. Dabei sind so genannte Basiswerte, Anteilswerte und Verhältniswerte zu unterscheiden (vgl. BARK et al., 2008).

Die Basiswerte beschreiben sowohl das Unfallgeschehen als auch infrastrukturelle und verkehrliche Bedingungen. Basiswerte zum Unfallgeschehen sind beispielsweise die Anzahl der Unfälle, differenziert nach Kategorie, Typ, Ortslage usw., die Anzahl der Beteiligten und Verunglückten differenziert nach Alter, Art der Verkehrsbeteiligung usw. sowie die Unfallkosten. Auf die Infrastruktur und den Verkehr bezogene Basiswerte sind z. B. die Länge der betrachteten Strecke – bzw. hier der betrachteten Einfahrt – oder die Verkehrsstärke (in der Regel der DTV).

Mit Anteilswerten, die sich aus dem Verhältnis einer Teilmenge zur Gesamtmenge eines Basiswerts ergeben, wird die Charakteristik und die Struktur des Unfallgeschehens analysiert. Anteilswerte sind beispielsweise der Anteil eines bestimmten Unfalltyps an allen Unfalltypen oder der Anteil der Unfälle mit schwerem Personenschaden (Kategorien 1+2) an allen Unfällen mit Personenschaden (Kategorien 1-3). Die Verteilung der Unfalltypen beschreibt die Unfallcharakteristik, die Verteilung der Kategorien die Unfallstruktur (s. Kapitel 4.3.3).

Mit Verhältniswerten wird das Unfallgeschehen bewertet, indem ein Basiswert des Unfallgeschehens zu einem anderen Basiswert des Unfallgeschehens oder zu einem infrastrukturellen bzw. verkehrlichen Basiswert ins Verhältnis gesetzt wird. Solche Verhältniswerte sind z. B. die jeweilige Anzahlen der Getöteten, Schwer- und Leichtverletzten pro 100 Unfälle mit schwerem Personenschaden, welche die Verunglücktenstruktur beschreiben (s. Kapitel 4.3.3). Weitere Verhältniswerte sind die Kosten pro Unfall, z. B. auch die Unfallkostensätze (s. hierzu Kapitel 4.2), oder auch Unfalldichten und Unfallkostendichten sowie Unfallraten und Unfallkostenraten.

Zur vergleichenden Bewertung von Einfahrten sind ausschließlich häufigkeitsbezogene Unfalldichten und Unfallkostendichten nur bedingt geeignet, da die Fahrleistung hier nicht berücksichtigt wird. Trotzdem werden im Weiteren neben den Unfallraten und Unfallkostenraten auch die Unfalldichten und Unfallkostendichten betrachtet, um einen Abgleich mit Werten aus der Literatur vornehmen zu können. Zusätzlich können diese Größen als Kontrolle für die Bewertung hilfreich sein.

Nach den Hinweisen zur Methodik der Untersuchung von Straßenverkehrsunfällen der FGSV (1991) sollten Knotenpunkte, auch wenn es sich um Bereiche von Knotenpunkten handelt, bei der Ermittlung von Unfallkenngrößen als „Punkte“ betrachtet werden. Demnach würden auch bei Einfahrten bzw. Bereichen von Einfahrten keine Längen berücksichtigt. Da die hier betrachteten Untersuchungsbereiche von jeweils 500 m vor und nach der Einfahrt bei einer Länge der Einfahröffnung gemäß den RAA (2008) von 250 m insgesamt 1.250 m lang sind (je nach tatsächlicher Länge der Einfahröffnung sogar noch länger), sollten diese nicht mehr als „Punkt“ zusammengefasst werden. Zusätzlich würden die vorhandenen unterschiedlichen Längen der Einfahrtbereiche bei einer Reduktion zu einem „Punkt“ nicht ausreichend berücksichtigt. Daher werden im Weiteren die jeweiligen Längen der Untersuchungsbereiche mit einbezogen.

Die Unfalldichte (UD) stellt eine auf die Streckenlänge bezogene Unfallkenngröße dar und gilt als ein Maß für die Häufigkeit der während eines bestimmten Zeitraumes auf bestimmten Streckenabschnitten geschehenen Unfälle:

$$UD_i = \frac{n_{U,i}}{L_i \cdot t_i} \quad \text{Gl. 1}$$

mit: UD_i Unfalldichte der Einfahrt bzw. des Bereichs i [$U/(km \cdot a)$]

$n_{U,i}$ Anzahl der Unfälle in der Einfahrt bzw. im Bereich i im Betrachtungszeitraum t_i [U]

L_i Länge der Einfahrt bzw. des Bereichs i [km]

t_i Betrachtungszeitraum des Unfallgeschehens der Einfahrt bzw. des Bereichs i [a]

Für die Zusammenfassung mehrerer Untersuchungseinheiten berechnet sich die mittlere Unfalldichte aus:

$$UD_M = \frac{\sum_{i=1}^n (UD_i \cdot L_i)}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad \text{Gl. 2}$$

Die Unfallkostendichte (UKD) beschreibt den durch die Unfälle jährlich verursachten volkswirtschaftlichen Schaden. Sie berechnet sich für jede Strecke i wie folgt:

$$UKD_i = \frac{UK_i}{a_i \cdot L_i} \quad \text{Gl. 3}$$

mit: UKD_i Unfallkostendichte der Einfahrt bzw. des Bereichs i [$€/(km \cdot a)$]

UK_i Unfallkosten der Einfahrt bzw. des Bereichs i im Betrachtungszeitraum t_i [€]

a Dauer des Untersuchungszeitraums [Jahre]

L Länge des Untersuchungsabschnittes [km]

Die zugehörige mittlere Unfallkostendichte berechnet sich nach Gleichung 4:

$$UKD_M = \frac{\sum_{i=1}^n (UKD_i \cdot L_i)}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad \text{Gl. 4}$$

Die Unfallrate (UR_i) beschreibt die durchschnittliche Anzahl der Unfälle, die bezogen auf eine Fahrleistung von 1 Mio. Kfz-km in einer Einfahrt bzw. eines Bereichs dieser Einfahrt während des jeweiligen Betrachtungszeitraums entfallen. Die Unfallkostenrate (UKR_i) beziffert die durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten durch Unfälle in einer Einfahrt bzw. eines Bereichs dieser Einfahrt, bezogen auf 1.000 Kfz-km, durch die Unfallanzahl und -schwere zusammengefasst werden. Auf die Ermittlung der Unfallkosten wird in Kapitel 4.2 eingegangen.

Die UR_i einer Einfahrt bzw. eines Bereichs dieser Einfahrt ergibt sich nach Gleichung 5 zu:

$$UR_i = \frac{10^6 \cdot n_{U,i}}{365 \cdot DTV_i \cdot L_i \cdot t_i} \quad \text{Gl. 5}$$

mit: UR_i Unfallrate der Einfahrt bzw. des Bereichs i [$U/(10^6 \text{ Kfz} \cdot km)$]

$n_{U,i}$ Anzahl der Unfälle in der Einfahrt bzw. im Bereich i im Betrachtungszeitraum t_i [U]

365 Tage pro Jahr [d/a]

DTV_i durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in der Einfahrt bzw. im Bereich i im Betrachtungszeitraum t_i [Kfz/d]

L_i Länge der Einfahrt bzw. des Bereichs i [km]

t_i Betrachtungszeitraum des Unfallgeschehens der Einfahrt bzw. des Bereichs i [a]

Analog ergibt sich die UKR_i einer Einfahrt bzw. eines Bereichs dieser Einfahrt nach Gleichung 6 zu:

$$UKR_i = \frac{1.000 \cdot UK_i}{365 \cdot DTV_i \cdot L_i \cdot t_i} \quad \text{Gl. 6}$$

mit: UKR_i Unfallkostenrate der Einfahrt bzw. des Bereichs i [€/ (1.000 Kfz · km)]

UK_i Unfallkosten der Einfahrt bzw. des Bereichs i im Betrachtungszeitraum t_i [€]

365 Tage pro Jahr [d/a]

DTV_i durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in der Einfahrt bzw. im Bereich i im Betrachtungszeitraum t_i [Kfz/d]

L_i Länge der Einfahrt bzw. des Bereichs i [km]

t_i Betrachtungszeitraum des Unfallgeschehens der Einfahrt bzw. des Bereichs i [a]

Mit den UR_i und UKR_i können grundsätzlich differenzierte Verteilungen wie Summenhäufigkeiten ermittelt werden. Kennwerte dieser Verteilungen sind beispielsweise der Medianwert (UR_{50} und UKR_{50}) oder auch andere Quantile.

Für Unfall oder Verunglücktenverteilungen bzw. deren Verhältniswerte können darüber hinaus auch weitere statistische Tests durchgeführt werden. Somit können z. B. für Verteilungen der UR_i die jeweiligen Standardabweichungen berechnet werden. Für auf Unfallkosten basierenden Kenngrößen (wie die UKR_i) können keine statistischen

Tests durchgeführt werden, da es sich bei Unfallkosten nicht um Ereignishäufigkeiten handelt (vgl. BRÜHNING/VÖLKER, 1982, sowie die Hinweise zur Methodik der Untersuchung von Straßenverkehrsunfällen, 1991).

Als maßgebende Kenngrößen zur Bewertung der Verkehrssicherheit eignen sich die mittlere UR_M und die mittlere UKR_M aller Einfahrten bzw. eines Teilkollektivs ausgewählter Einfahrten. Dabei ist zu beachten, dass bei der Berechnung dieser mittleren Kennwerte immer die gleichen Zeitintervalle betrachtet werden ($t_i = \text{konst.}$). Beide Kennwerte sind somit ein Maß für das fahrleistungsbezogene Risiko, in einen Unfall verwickelt zu werden oder dabei zu verunglücken. Die mittlere UKR_M ist jedoch grundsätzlich geeigneter und aussagekräftiger, da sie nicht nur die Anzahl, sondern auch die Schwere der Unfälle berücksichtigt.

Die mittlere UR_M ergibt sich aus den einzelnen UR_i mit Gleichung 7 zu:

$$UR_M = \frac{\sum_{i=1}^n (UR_i \cdot DTV_i \cdot L_i)}{\sum_{i=1}^n (DTV_i \cdot L_i)} \quad \text{Gl. 7}$$

mit: UR_M mittlere Unfallrate eines Kollektivs von Einfahrten bzw. von Bereichen dieser Einfahrten [$U/(10^6 \text{ Kfz} \cdot \text{km})$]

UR_i Unfallrate der Einfahrt bzw. des Bereichs i [$U/(10^6 \text{ Kfz} \cdot \text{km})$]

DTV_i durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in der Einfahrt bzw. im Bereich i im Betrachtungszeitraum t_i [Kfz/d]

L_i Länge der Einfahrt bzw. des Bereichs i [km]

Die mittlere UKR_M ergibt sich analog hierzu aus den einzelnen UKR_i mit Gleichung 8 zu:

$$UKR_M = \frac{\sum_{i=1}^n (UKR_i \cdot DTV_i \cdot L_i)}{\sum_{i=1}^n (DTV_i \cdot L_i)} \quad \text{Gl. 8}$$

mit:	UKR_M	mittlere Unfallkostenrate eines Kollektivs von Einfahrten bzw. von Bereichen dieser Einfahrten [€/ (1.000 Kfz · km)]
	UKR_i	Unfallkostenrate der Einfahrt bzw. des Bereichs i [€/ (1.000 Kfz · km)]
	DTV_i	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in der Einfahrt bzw. im Bereich i im Betrachtungszeitraum t_i [Kfz/d]
	L_i	Länge der Einfahrt bzw. des Bereichs i [km]

Bei der UR_M und der UKR_M nach Gleichung 7 bzw. 8 handelt es sich jeweils um einen mit der jährlichen Fahrleistung gewichteten Mittelwert.

4.2 Ermittlung von Unfallkosten

Zur Ermittlung der UKR_i und daraus der UKR_M sind zunächst die Unfallkosten zu berechnen, welche die volkswirtschaftlichen Verluste (z. B. Reparaturkosten, Kosten für medizinische Rehabilitation, Kosten durch Ausfall der Erwerbstätigkeit, Verwaltungskosten) durch Straßenverkehrsunfälle beziffern. Bei der Ermittlung von Unfallkosten sind unterschiedliche Berechnungsarten möglich.⁶ Für Unfälle mit Personenschaden können pauschale Unfallkostensätze verwendet werden oder es erfolgt eine direkte oder indirekte Anpassung der Kostensätze (s. Bild 2):

- Die Verwendung von pauschalen, auf Basis des Gesamtunfallgeschehens in Deutschland ermittelten Kostensätze nach Straßen- und Unfallkategorien bzw. zusätzlich nach Unfalltypen kann zu Ungenauigkeiten in der Bewertung führen, da zeitliche Veränderungen und örtliche Abweichungen der Verunglücktenstruktur nicht ausreichend berücksichtigt werden.

- Die direkte Anpassung der Unfallkostensätze erfolgt über die Verunglücktenstruktur des untersuchten Unfallkollektivs und erfordert eine nach der Straßenkategorie unterschiedliche Mindestgröße – auf Autobahnen mindestens 100 Unfälle mit Personenschaden (Kategorien 1-3) –, zusätzlich kann dabei nach dem Unfalltyp differenziert werden, sofern die jeweiligen Kollektive ausreichend groß sind.
- Die indirekte Anpassung der Unfallkostensätze erfolgt über die Verunglücktenstruktur größerer Unfallkollektive, die das eigentliche Untersuchungskollektiv enthalten, wenn das untersuchte Unfallkollektiv für die direkte Anpassung die vorgegebene Mindestgröße nicht erreicht.

Für ausreichende Kollektive von Unfällen mit Personenschaden (Kategorien 1-3) sollte eine direkte Anpassung der Unfallkostensätze vorgenommen werden, da hiermit die spezifische Verunglücktenstruktur am Besten berücksichtigt wird. Erfüllt das Unfallkollektiv an den betrachteten Straßenverkehrsanlagen innerhalb eines Untersuchungsgebiets nicht die Mindestanforderungen, so ist eine indirekte Anpassung in der Regel angemessen und immer noch besser als die Verwendung pauschaler Unfallkostensätze.

Grundsätzlich könnten auch für Unfälle mit Sachschaden (Kategorien 4-6) angepasste Unfallkostensätze ermittelt werden. Hierzu müssten aber die tatsächlichen Sachschadenskosten aller Unfälle bekannt sein. Die genauen Sachschadenskosten sind aber nur mit einem sehr hohen Aufwand zu erfassen, beispielsweise aus Gutachten von Kraftfahrzeugsachverständigen oder den Daten der Versicherungen (die in den Unfallanzeigen angegebenen, von der Polizei abgeschätzten Sachschadenskosten sind zu ungenau). Deshalb ist es im Allgemeinen ausreichend, die pauschalen, auf Basis des Gesamtunfallgeschehens in Deutschland ermittelten Kostensätze, zugrunde zu legen.

Die Berechnung der Unfallkosten UK_i und der daraus abgeleiteten UKD_i bzw. UKR_i und mittleren UKD_M bzw. UKR_M (vgl. Kapitel 4.1) sollte auf einer einheitlichen Grundlage erfolgen. Hier bieten sich die Kostensätze zum Preisstand 2000 an, da somit ein Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen von FRIEDRICH et al. (2008) ermöglicht wird. Für den Vergleich der Unfallkenngrößen untereinander wird zusätzlich der Preisstand 2010 verwendet.

⁶ Im Zusammenhang mit der Erarbeitung des neuen HVS (s. auch BARK et al., 2008) ist beabsichtigt, die Methodik zur Unfallkostenberechnung systematisch darzustellen und zu erläutern. Hierbei ist eine z. T. neue Terminologie vorgesehen. Im Weiteren werden im Wesentlichen die bisherigen Begriffe des Merkblatts für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen (2003) beibehalten, jedoch davon abweichende Bezeichnungen, vor allem Abkürzungen verwendet.

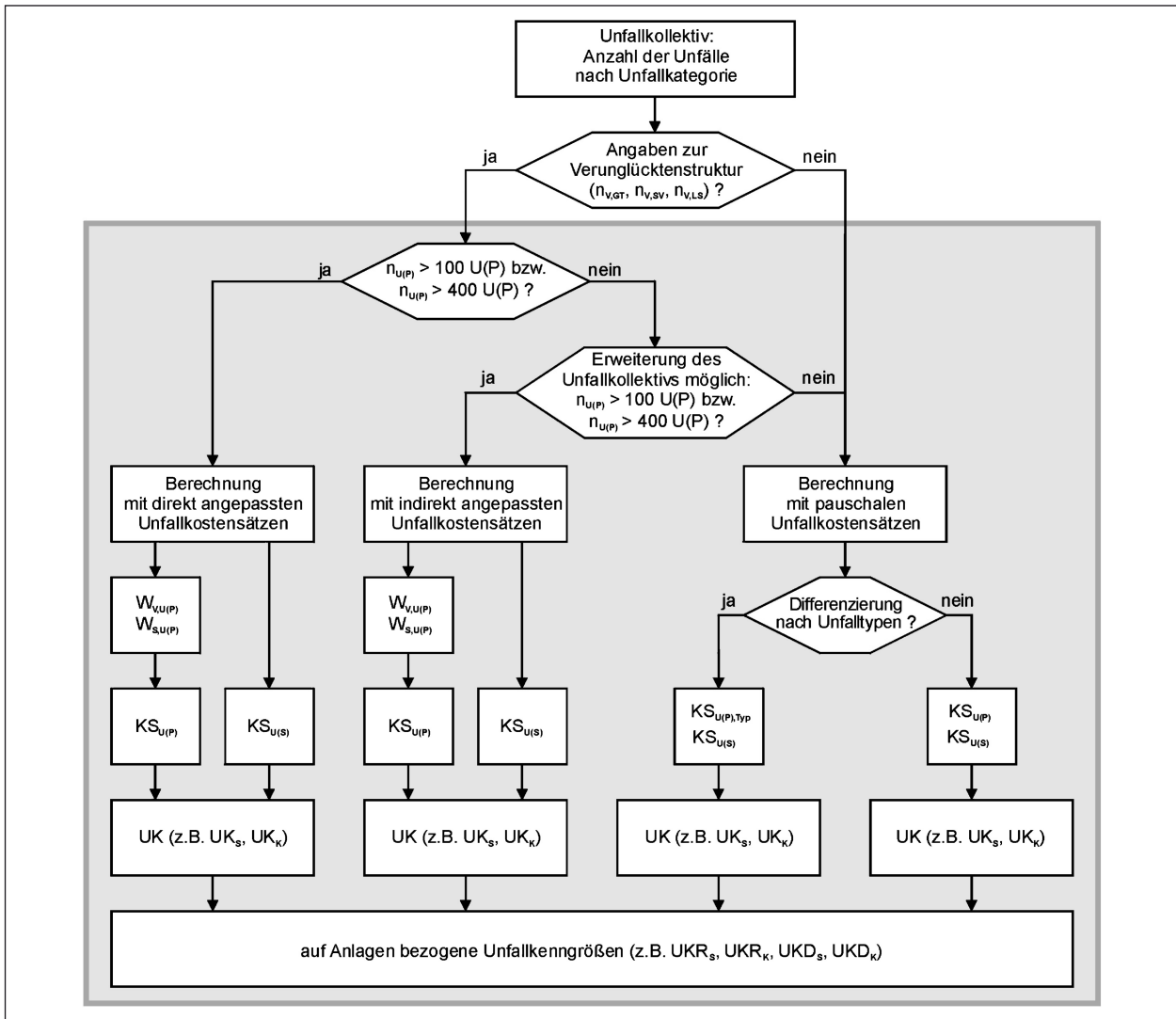


Bild 2: Methodik zur Berechnung der Unfallkosten (BAIER, 2009)

Die Berechnung der Unfallkostensätze erfolgt mit Gleichung 9:

$$KS_{U(SP)} = \frac{n_{V,GT,U(SP)} \cdot W_{V,GT} + n_{V,SV,U(SP)} \cdot W_{V,SV} + n_{V,LV,U(SP)} \cdot W_{V,LV} + n_{U(SP)} \cdot W_{S,U(SP)}}{n_{U(SP)}} \quad \text{Gl. 9}$$

mit:	$KS_{U(SP)}$	(angepasster) Unfallkostensatz für U(SP) [€/U(SP)]	$n_{V,LV,U(SP)}$	Anzahl der Leichtverletzten bei U(SP) [V_{LV}]
	$n_{V,GT,U(SP)}$	Anzahl der Getöteten bei U(SP) [V_{GT}]	$W_{V,LV}$	Kostensatz für einen Leichtverletzten nach Tabelle 5 [€/V _{LV}]
	$W_{V,GT}$	Kostensatz für einen Getöteten nach Tabelle 5 [€/V _{GT}]	$n_{U(SP)}$	Anzahl der Unfälle mit Getöteten oder Schwerverletzten (= schwerer Personenschaden) [U(SP)]
	$n_{V,SV,U(SP)}$	Anzahl der Schwerverletzten bei U(SP) [V_{SV}]	$W_{S,U(SP)}$	Kostensatz für Sachschaden bei U(SP) nach Tabelle 6 [€/U(SP)]
	$W_{V,SV}$	Kostensatz für einen Schwerverletzten nach Tabelle 5 [€/V _{SV}]		

und Gleichung 10:

$$KS_{U(LP)} = \frac{n_{V,LV,U(LP)} \cdot W_{V,LV} + n_{U(LP)} \cdot W_{S,U(LP)}}{n_{U(LP)}} \quad \text{Gl. 10}$$

mit: $KS_{U(LP)}$ (angepasster) Unfallkostensatz für U(LP) [€/U(LP)]

$n_{V,LV,U(LP)}$ Anzahl der Leichtverletzten bei U(LP) [V_{LV}]

$W_{V,LV}$ Kostensatz für einen Leichtverletzten nach Tabelle 5 [€/U_{LV}]

$n_{U(LP)}$ Anzahl der Unfälle mit Leichtverletzten [U(LP)]

$W_{S,U(LP)}$ Kostensatz für Sachschaden bei U(LP) nach Tabelle 6 [€/U(LP)]

In Tabelle 5 sind die Kostensätze für Verunglückte W_V zum Preisstand 2000 und 2010 angegeben; diese gelten für alle Straßenkategorien. In Tabelle 6 sind, differenziert nach Unfallkategorien, die Kostensätze für Sachschaden W_S bei Unfällen auf Autobahnen zum Preisstand 2000 angegeben.

In Tabelle 7 sind die pauschalen Unfallkostensätze W_U für Unfälle auf Autobahnen, differenziert nach Unfallkategorien, zum Preisstand 2000 und 2010 angegeben.

4.3 Makroskopische Analyse einstreifiger Einfahrten

Als Grundlage der makroskopischen Unfallanalyse wurden alle verfügbaren Unfalldaten der ausgewählten Einfahrten in einer Datenbank zusammengeführt und systematisch aufbereitet. Auf dieser Basis wurden die nachfolgenden Unfallanalysen durchgeführt.

4.3.1 Datengrundlage

Die für die Untersuchung erforderlichen Unfalldaten wurden für den gewünschten Zeitraum vom 1.1.2008 bis 31.12.2010 bei den zuständigen Stellen der betreffenden Länder angefragt. Dies waren neben den Straßenbauverwaltungen auch die statistischen Landesämter sowie einzelne Polizeidienststellen.

Verunglückter	W_V [€/V] 2000	W_V [€/V] 2010
Getöteter	1.250.000	1.044.808
Schwerverletzter	85.000	112.366
Leichtverletzter	3.750	4.433

Tab. 5: Kostensätze für Verunglückte zum Preisstand 2000 (HÖHNSCHEID et al., 2002) und 2010 (BAST, 2011)

Unfallkategorie	W_S [€/U] 2000	W_S [€/U] 2010
Kategorien 1+2: U(SP) Unfall mit Getöteten oder Schwerverletzten	45.500	78.214
Kategorie 3: U(LV) Unfall mit Leichtverletzten	25.500	37.151
Kategorien 1-3: U(P) Unfall mit Personenschaden	31.000	46.534
Kategorie 4+6: U(SS) schwerwiegender Unfall mit Sachschaden	18.500	24.130
Kategorien 5: U(LS) sonstiger Unfall mit Sachschaden	8.000	4.950
Kategorien 4-6: U(S) Unfall mit Sachschaden	10.500	7.129

Tab. 6: Kostensätze für Sachschaden bei Unfällen auf Autobahnen zum Preisstand 2000 (HÖHNSCHEID et al., 2002) und 2010 (BAST, 2011)

Unfallkategorie	W_U [€/U] 2000	W_U [€/U] 2010
Kategorien 1+2: U(SP) Unfall mit Getöteten oder Schwerverletzten	300.000	340.878
Kategorie 3: U(LV) Unfall mit Leichtverletzten	31.000	43.592
Kategorien 1-3: U(P) Unfall mit Personenschaden	105.000	111.523
Kategorie 4+6: U(SS) schwerwiegender Unfall mit Sachschaden	18.500	24.130
Kategorien 5: U(LS) sonstiger Unfall mit Sachschaden	8.000	4.950
Kategorien 4-6: U(S) Unfall mit Sachschaden	10.500	7.129

Tab. 7: Unfallkostensätze (pauschal) für Unfälle auf Autobahnen zum Preisstand 2000 (HÖHNSCHEID et al., 2002) und 2010 (BAST, 2011)

Im Rahmen der Abfrage stellte sich heraus, dass in Nordrhein-Westfalen die Unfälle mit leichtem Sachschaden (Kategorie 5) erst seit November 2008 in der Unfalldatenbank des Landesbetriebs

Straßenbau NRW erfasst wurden, und dies auch nur auf freiwilliger Basis. Da diese Unfallkategorie den größten Anteil aller Unfälle umfasst, sollte diese, falls möglich, in der Untersuchung mit berücksichtigt werden. Daher wurde abgestimmt, dass der Untersuchungszeitraum für die Einfahrten in Nordrhein-Westfalen um ein Jahr verschoben (1.1.2009 bis 31.12.2011) wird. Entsprechend der Vorgehensweise zur Auswahl geeigneter Einfahrten (vgl. Kapitel 3) wurde für die Einfahrten in Nordrhein-Westfalen die Überprüfung nach vorhandenen Baustellen um das Jahr 2011 ergänzt. Nach Eingang der angefragten Daten wurden diese auf Vollständigkeit bzw. Verwertbarkeit geprüft.

4.3.2 Zuordnung der Unfälle

Zur Auswahl der für die Untersuchung der Einfahrten relevanten Unfälle aus der Datenbank wurde zunächst ein Untersuchungsbereich definiert, der den gesamten „Beeinflussungsbereich“ der Einfahrt beschreibt. Dieser besteht nicht nur aus dem Einfahrtbereich selbst, sondern zusätzlich aus stromauf und stromabwärts liegenden Bereichen, deren Längen analog zu den Untersuchungen von FRIEDRICH et al. (2008) mit jeweils 500 m gewählt wurden. In Bild 4 ist die Definition der betrachteten

Untersuchungsbereiche 1 bis 3 dargestellt. Der Bereich 2 beschreibt den Abschnitt der Einfahrt, in dem das Wechseln auf den Hauptfahrstreifen erlaubt ist (Länge der unterbrochenen Markierung, Zeichen 340 StVO, 2013). Im Vergleich zur Definition der Einfahrtlänge l_E der RAA (2008) (Bild 3) ist der hier betrachtete Bereich 2 kürzer.

Vereinfachend gilt: $l_2 \approx l_E - l_{Z295} - \frac{1}{3} l_Z$, wobei l_{Z295} für die Länge der durchgezogenen Linie (Zeichen 295 StVO, 2013) ab der Trenninselspitze steht. Die Länge dieser Linie wird in der Praxis variabel gestaltet.

Die Zuordnung der Unfälle zu den jeweiligen Bereichen erfolgte über die in den Unfalldatensätzen enthaltenen Kilometerangaben. Dazu wurde für jede Einfahrt die Kilometrierung mithilfe des Autobahnverzeichnisses 2006 (KÜHNEN, 2007) in Verbindung mit der Auswertung von Luftbildern bestimmt. So konnten die relevanten Unfälle eindeutig zu einem der definierten Untersuchungsbereiche zugeordnet werden.

Bei diesem Arbeitsschritt wurde festgestellt, dass in den Datensätzen aus Brandenburg und Niedersachsen die Unfälle auf der Hauptfahrbahn sowie jene der Ein- und Ausfahrrampen zusammengefasst waren. Die Daten erlauben keine Differen-

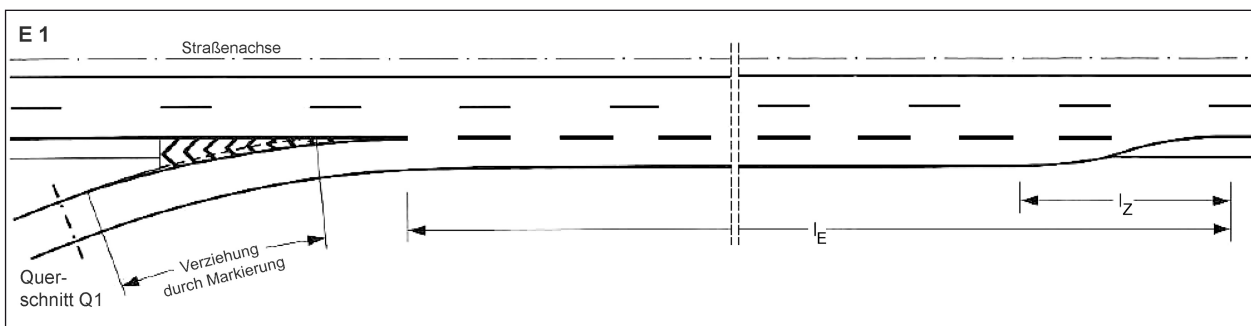


Bild 3: Einfahrtstyp E1 nach RAA 2008 mit der zugehörigen Definition der Abschnittslängen

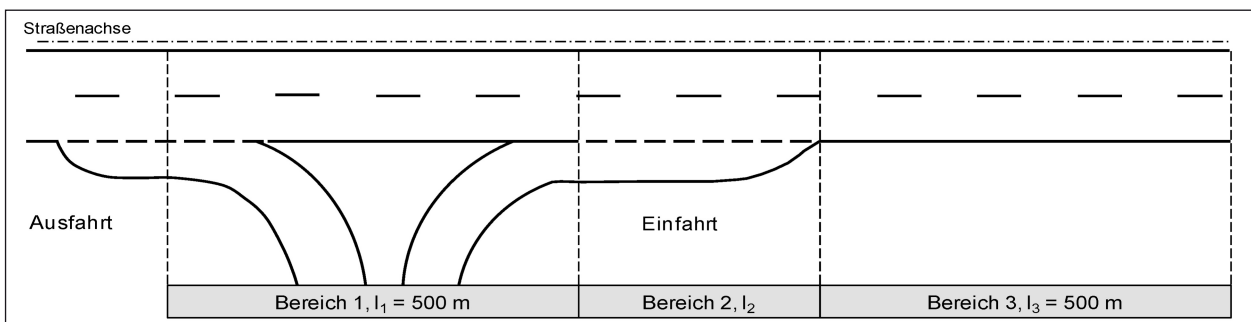


Bild 4: Einteilung der Untersuchungsbereiche der betrachteten Einfahrten

zierung dieser unterschiedlichen Streckenteile, sodass ein Unfall auf der Ausfahrtrampe mit der gleichen Kilometerangabe wie ein Unfall auf der Hauptfahrbahn ausgewiesen wird. Aus diesem Grund wurde bei den Daten aus Brandenburg und Niedersachsen eine Betrachtung des Bereichs 1 (Bild 3) als nicht sinnvoll erachtet, da hier auch Unfälle auf der Ausfahrtrampe diesem Bereich zugeordnet werden würden.

Im Gegensatz dazu sind in den Unfalldaten von Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz die Unfälle der Rampen separat ausgewiesen. Daher ist hier eine eindeutige Differenzierung zwischen Unfällen auf der Hauptfahrbahn und den Rampen gegeben, was die Betrachtung des Bereichs 1 in der Unfallauswertung ermöglicht. Analog zu der Vorgehensweise von FRIEDRICH et al. (2008) wurden die Unfälle auf den Rampen nicht mit in die makroskopische Unfallauswertung einbezogen, da hier in der Regel nicht der Einfädeltvorgang selbst, sondern andere Unfallursachen relevant sind (z. B. überhöhte Geschwindigkeit auf der Rampe, Unfall am Knotenpunkt mit dem nachgeordneten Netz).

4.3.3 Unfallkollektiv, Unfall- und Verunglücktenstruktur

Nach der Aufbereitung des Einfahrtenkollektivs und der zugehörigen Unfälle enthält die Datenbank insgesamt 1.613 Unfälle, die für die nachfolgenden Auswertungen zugrunde gelegt wurden. Diese verteilen sich auf 91 Einfahrten über einen Untersuchungszeitraum von drei Jahren. In Tabelle 8 ist die Verteilung der Unfälle nach Bundesländern, Einfahrten und Untersuchungsbereichen dargestellt. Mit n_U wird die Anzahl der Unfälle und mit n_E die Anzahl der zugehörigen Einfahrten beschrieben. Diese Bezeichnungen werden auch im Folgenden weiter verwendet.

Eine Aufteilung der Unfälle auf die gewählten DTV-Klassen in Abhängigkeit der Anzahl der Fahrtstreifen der Richtungsfahrbahn ist in Tabelle 9 dargestellt. Neben der Anzahl der Unfälle ist hier ebenfalls die jeweilige Anzahl der zugehörigen Einfahrten angegeben.

Die Verteilung der Unfallkategorien in den verschiedenen Ländern zeigt Bild 5. Dabei wurden zur Beschreibung der Unfallkategorien die Abkürzungen U(P) für die Kategorien 1 bis 3, U(SS) für die

Kategorien 4 und 6 sowie U(LS) für die Kategorie 5 verwendet. Hier wird deutlich, dass die Unfälle der Kategorie 5, also die Unfälle mit leichtem Sachschaden U(LS), einen erheblichen Anteil des Gesamtkollektivs ausmachen.

Im Vergleich der Länder untereinander fällt auf, dass der Anteil der Unfälle der Kategorie 5 in Nordrhein-Westfalen deutlich geringer ist als in den übrigen Ländern. Da die Unfälle der Kategorie 5 nach Auskunft der zuständigen Behörden in Nordrhein-Westfalen auf freiwilliger Basis erfasst werden, liegt die Vermutung nahe, dass dieses Teilkollektiv hier unvollständig ist. Auch die Anteile der Unfälle mit Kategorie 5 aus Hessen, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz liegen unter dem bundes-

Land	Einfahrten	Unfälle	Untersuchungsbereich		
	n_E	n_U	1	2	3
BB	12	70	-	39	31
HE	34	950	399	208	343
NI	16	173	-	58	115
NW*	16	216	93	50	73
RP	13	204	93	43	68

* Daten aus NW von 2009-2011

Tab. 8: Unfallkollektiv nach Ländern und Bereichen

DTV-Klasse	Summe Unfälle	Untersuchungsbereich						
		1		2		3		
		n_U	n_E	n_U	n_E	n_U	n_E	
2 FS	gering	214	81	14	54	23	79	23
	durchschnittl.	234	98	13	46	17	90	17
	hoch	313	135	15	76	17	102	17
	Σ 2FS	761	314	42	176	57	271	57
	Anteil [%]	100,0%	41,3%	-	23,1%	-	35,6%	-
3 FS	gering	208	65	7	74	14	69	14
	durchschnittl.	574	172	11	132	17	270	17
	hoch	70	34	3	16	3	20	3
	Σ 3FS	852	271	21	222	34	359	34
	Anteil [%]	100,0%	31,8%	-	26,1%	-	42,1%	-

Tab. 9: Unfallkollektiv nach DTV-Klassen

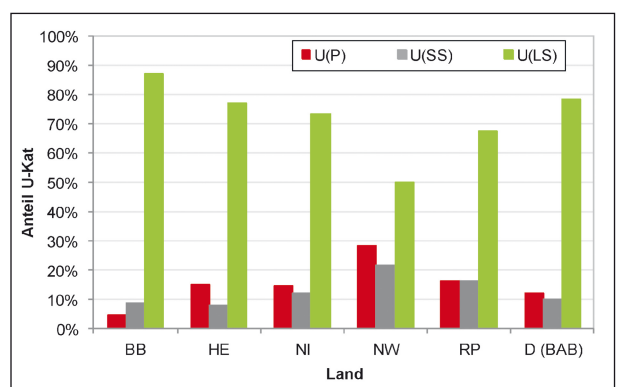


Bild 5: Verteilung der Unfallkategorien nach Ländern (Werte für Deutschland: Statistisches Bundesamt, www.genesis.destatis.de, Stand: 23.4.2013)

weiten Durchschnitt auf Autobahnen. Auf Nachfrage bei den zuständigen Stellen wurde zumindest aus Hessen und Rheinland-Pfalz die Auskunft erteilt, dass die Unfälle der Kategorie 5 in den Datenbanken in der Regel mit erfasst werden. Um Fehler durch unvollständige Datensätze zu vermeiden und ein möglichst großes Einfahrtenkollektiv für die Analysen verwenden zu können, wurden daher für die wesentlichen Auswertungen die Unfälle der Kategorien 1 bis 4 einschließlich der Kategorie 6 (im Weiteren als Kategorien 1-4,6 bezeichnet) zugrunde gelegt. In Ausnahmen erfolgte jedoch auch eine Betrachtung aller Unfälle einschließlich der Unfälle der Kategorie 5. Welches Unfallkollektiv jeweils verwendet wurde, wird bei den entsprechenden Auswertungen jeweils angegeben.

Eine Übersicht über die Schwere der im Kollektiv enthaltenen Unfälle und deren Verteilung auf die Untersuchungsbereiche zeigt Tabelle 10. In Tabelle 11 ist neben der Unfallkategorie auch die Anzahl der Verunglückten nach ihrer Verletzungsschwere dargestellt. Dabei stehen die Abkürzungen GT für getötete, SV für schwerverletzte und LV für leichtverletzte Personen.

Daraus ergibt sich die in Tabelle 12 dargestellte Verunglücktenstruktur bezogen auf 100 Unfälle mit schwerem Personenschaden U(SP), also Unfälle der Kategorien 1 und 2. Zusätzlich sind die entsprechenden Werte der mittleren Verunglücktenstruktur auf Bundesautobahnen für 2006-2010 (Quelle: eigene Auswertungen der BASt, unveröffentlicht) sowie den Untersuchungen von FRIEDRICH et al. (2008) angegeben. Die Werte zeigen, dass die Verunglücktenstruktur des vorliegenden Kollektivs mit jenem der Untersuchungen von FRIEDRICH et al. (2008) in etwa vergleichbar ist. Im Gegensatz dazu weicht die hier vorliegende Verunglücktenstruktur stark von der mittleren Struktur auf Autobahnen ab. Aus diesem Grund und infolge eines ausreichend großen Unfallkollektivs von $n_{U(P)} = 263 U(P) > 100 U(P)$ werden für die späteren Berechnungen von Unfallkosten angepasste Unfallkostensätze verwendet.

Zur weiteren Beschreibung des Unfallkollektivs wurden die Unfalltypen analysiert. In Bild 6 und Bild 7 ist die Verteilung nach Bereichen dargestellt. Enthalten sind hier alle Unfälle der Kategorien 1-4,6, wobei die Anzahl der Unfälle der Kategorie 6 vernachlässigbar klein ist (nur sechs Unfälle in allen betrachteten Einfahrten).

	Unfälle	Summe Unfälle	Untersuchungsbereich					
			1		2		3	
			n_U	n_E	n_U	n_E	n_U	n_E
2 FS	U(SP)	23	7	42	8	57	8	57
	U(LV)	106	41	42	28	57	37	57
	U(SS)	92	35	42	22	57	35	57
	U(LS)	540	231	42	118	57	191	57
	Σ 2FS	761	314		176		271	
	Anteil [%]	100,0%	41,3%		23,1%		35,6%	
3 FS	U(SP)	20	7	21	2	34	11	34
	U(LV)	114	49	21	21	34	44	34
	U(SS)	90	24	21	29	34	37	34
	U(LS)	628	191	21	170	34	267	34
	Σ 3FS	852	271		222		359	
	Anteil [%]	100,0%	31,8%		26,1%		42,1%	

Tab. 10: Unfallkollektiv nach Unfallschwere (Unfallkategorien 1-6) und Untersuchungsbereichen

insgesamt	1.613	Unfälle	GT	SV	LV
davon	43	U (SP)	0	54	29
	220	U (LV)	-	-	339
	182	U (SS)	-	-	-
	1.168	U (LS)	-	-	-

Tab. 11: Unfallkollektiv nach Unfallschwere (Unfallkategorien 1-6) und Anzahl der Verunglückten

Verunglückte je 100 U (SP)	Kollektiv aktuelle Untersuchung	Kollektiv FRIEDRICH et al. (2008)	Mittlere Struktur (BASt)
Getötete	0	0	12
Schwerverletzte	126	133	120
Leichtverletzte	67	44	63

Tab. 12: Verunglücktenstruktur des Unfallkollektivs im Vergleich mit mittlerer Struktur für Bundesautobahnen und den Ergebnissen von FRIEDRICH et al. (2008)

Bei den zweistreifigen Richtungsfahrbahnen (Bild 6) ist zu erkennen, dass Fahrnfälle (Unfalltyp 1, F) und Unfälle im Längsverkehr (Unfalltyp 6, LV) die größten Anteile haben. Der Anteil der Einbiegen/Kreuzenunfälle (Unfalltyp 3, EK) ist erwartungsgemäß im Bereich 2, dem eigentlichen Einfädungsbereich, am größten. Bei der Betrachtung der dreistreifigen Richtungsfahrbahnen (Bild 7) fällt auf, dass hier die Unfälle im Längsverkehr (Unfalltyp 6, LV) mit Abstand den größten Anteil darstellen. Insbesondere in den Bereichen 1 und 3 liegt der Anteil dieses Unfalltyps über 65 %. Dieser Unterschied im Vergleich zu den zweistreifigen Richtungsfahrbahnen kann durch den zusätzlichen Fahrstreifen und den daraus resultierenden häufigeren Fahrstreifenwechseln verursacht werden. Insbesondere ist hier das Verhalten des „Platz machen“ der Fahrzeuge auf der Hauptfahrbahn im Vorfeld einer Einfahrt zu nennen, um den Einfädungsvorgang für die Einfahrenden zu erleichtern. Damit würde das Konfliktpotenzial des

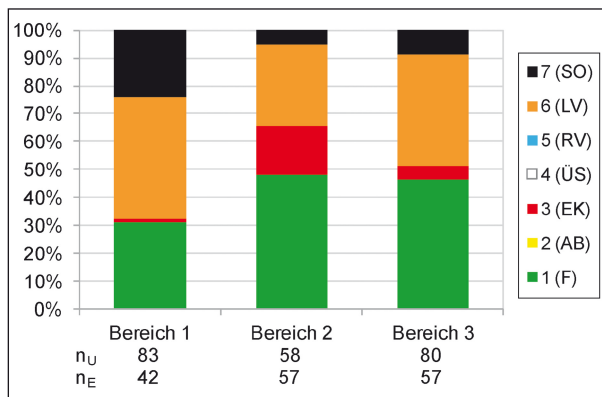


Bild 6: Verteilung der Unfalltypen für Unfälle der Kategorien 1-4,6 an Einfahrten von zweistreifigen Richtungsfahrbahnen nach Bereichen

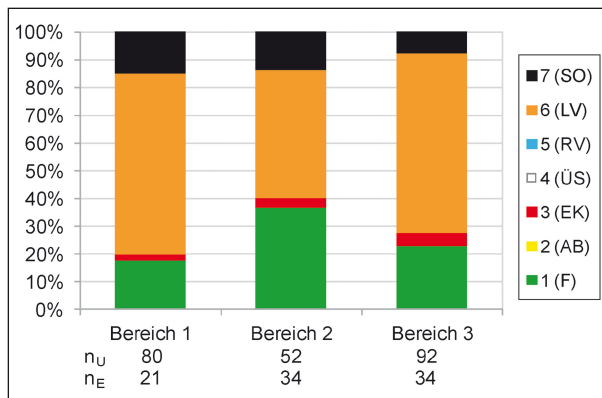


Bild 7: Verteilung der Unfalltypen für Unfälle der Kategorien 1-4,6 an Einfahrten von dreistreifigen Richtungsfahrbahnen nach Bereichen

Einfädeltvorgangs bei Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen auf den 1. und 3. Untersuchungsbereich verlagert. Diese Vermutung wird durch den deutlich kleineren Anteil des Unfalltyps 3 (Einbiegen/Kreuzen) im Bereich 2 der Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen bestätigt.

Bild 8 zeigt die Verteilung der hier untersuchten Einfahrten im Vergleich zu BAB in Deutschland insgesamt.⁷ Zum Vergleich mit diesen mittleren Werten wurden hier nur die Unfälle der Kategorien 1 bis 4 betrachtet. Aufgrund der vernachlässigbar kleinen Anzahl der Unfälle der Kategorie 6 (insgesamt 6 Unfälle) sind die Darstellungen in Bild 6, Bild 7 und Bild 8 jedoch miteinander vergleichbar. Wie die Darstellung in Bild 8 zeigt, ist die Verteilung der Unfalltypen an Einfahrten der zweistreifigen Richtungsfahrbahnen mit jener der Autobahnen prinzipiell vergleichbar. Lediglich der Unfalltyp 3 tritt etwa doppelt so oft auf. Im Gegensatz dazu ist der Unfalltyp 6 (Unfall im Längsverkehr) bei Einfahrten an dreistreifigen

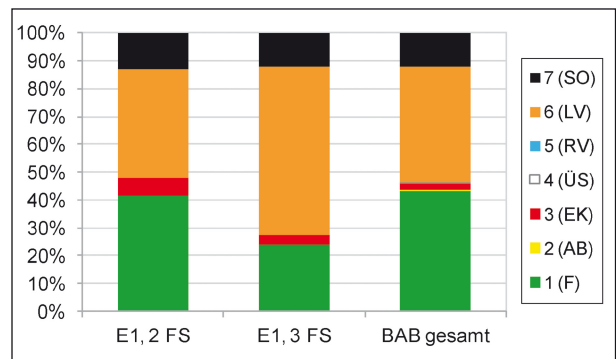


Bild 8: Verteilung der Unfalltypen für Unfälle der Kategorien 1-4 an Einfahrten von zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen im Vergleich zum Unfallgeschehen auf Autobahnen in Deutschland (letztenannte Unfälle laut Angaben des Statistischen Bundesamtes, 2009, 2010, 2011)

Richtungsfahrbahnen deutlich höher. Dies resultiert im Wesentlichen aus den oben beschriebenen großen Anteilen dieses Unfalltyps in den Bereichen 1 und 3.

Bei diesem Vergleich ist zu beachten, dass der Anteil der zweistreifigen Richtungsfahrbahnen an den Autobahnen insgesamt rund 70 % beträgt, wohingegen die dreistreifigen Richtungsfahrbahnen einen Anteil von rund 24 % ausmachen (vgl. BMVBS 2013). Daher wird das Gesamtergebnis der BAB maßgebend durch die zweistreifigen Richtungsfahrbahnen beeinflusst.

Die Auswertung der Unfallarten entsprechend den Definitionen 0 bis 9 nach FGSV (2003) ist in Bild 9 und Bild 10 dargestellt. Hier wurden die Kategorien 1-4,6 berücksichtigt. Die angegebenen Werte für die Anzahl der enthaltenen Unfälle (n_U) weichen geringfügig von den Angaben der vorhergehenden Darstellungen ab, da die Information zur Unfallart nicht in allen Unfalldatensätzen enthalten ist.

Unabhängig von der Anzahl der Fahrstreifen der Richtungsfahrbahn treten bei den Unfällen an Einfahrten folgende Unfallarten am häufigsten auf.

- Unfallart 2:
„Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet“,
- Unfallart 3:
„Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt“,

⁷ Die Vergleichswerte für Deutschland wurden als Mittelwerte der Jahre 2008 bis 2010 aus den Angaben des Statistischen Bundesamts ermittelt.

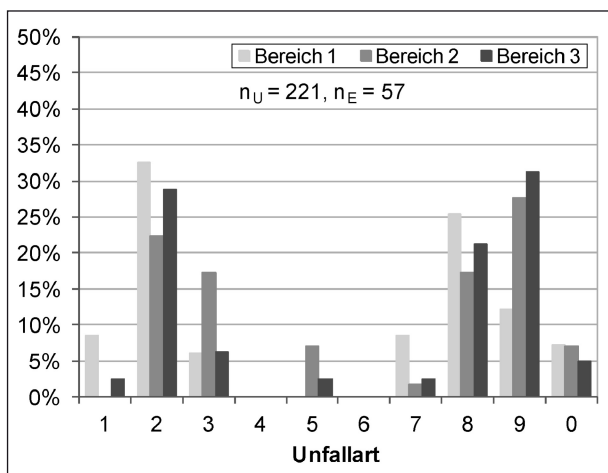


Bild 9: Verteilung der Unfallarten für Unfälle der Kategorien 1-4,6 an Einfahrten von zweistreifigen Richtungsfahrbahnen nach Bereichen

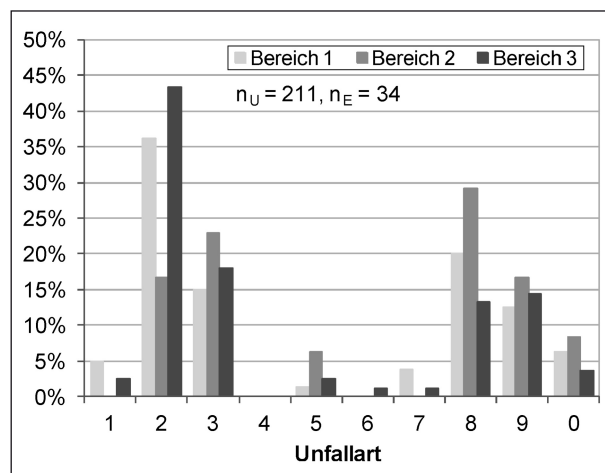


Bild 10: Verteilung der Unfallarten für Unfälle der Kategorien 1-4,6 an Einfahrten von dreistreifigen Richtungsfahrbahnen nach Bereichen

- Unfallart 8:
„Abkommen von der Fahrbahn nach rechts“,
- Unfallart 9:
„Abkommen von der Fahrbahn nach links“.

Da im Rahmen des vorliegenden Projektes auch die Belange älterer Verkehrsteilnehmer betrachtet werden sollen, wurde eine Analyse der Verteilung der Unfallverursacher nach Altersgruppen vorgenommen und der Verteilung für Bundesautobahnen insgesamt gegenübergestellt. Hierzu wurden die entsprechenden Informationen des Statistischen Bundesamtes für die Unfallkategorien 1-4,6 der Jahre 2008 bis 2010 herangezogen. Das Ergebnis ist in Bild 11 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die Information zum Alter des Unfallverursachers nicht für alle Datensätze verfügbar ist. Daher weicht die Anzahl der hinterlegten Unfälle von den bisher ausgewiesenen Werten ab. Aus der Darstellung ist keine besondere Auffälligkeit im Hinblick auf das Unfallgeschehen mit älteren Verkehrsteilnehmern im Bereich von Einfahrten im Vergleich zum Unfallgeschehen auf Bundesautobahnen insgesamt zu erkennen. Vielmehr gehen die Anteile der Unfälle je Altersgruppe ab 45 Jahren deutlich zurück. Dies dürfte jedoch auch auf die geringere Fahrleistung dieser Gruppen zurück zu führen sein, die hier nicht berücksichtigt wurde.

Als abschließende Beschreibung des Unfallkollektivs wurde die zeitliche Verteilung der Unfälle über die Monate, Wochentage und Tagesstunden untersucht. Als Vergleichswerte wurden hier die deutschlandweiten Werte für Autobahnen herangezogen. In die Auswertungen wurden jeweils jene Unfall-

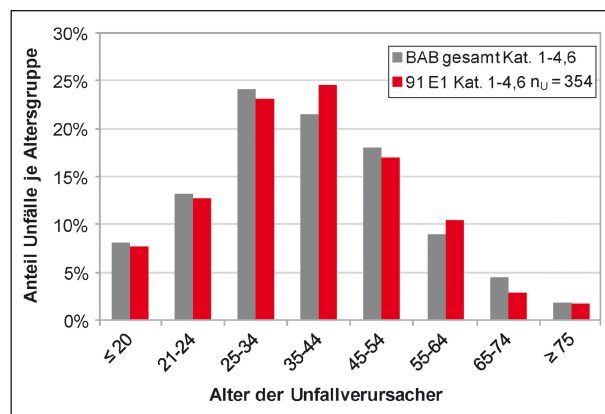


Bild 11: Verteilung der Unfälle an Einfahrten nach Altersgruppen der Verursacher, Kategorien 1-4,6 im Vergleich zum Unfallgeschehen auf Autobahnen in Deutschland (letztenannte Unfälle laut Angaben des Statistischen Bundesamtes, 2008, 2009, 2010)

kategorien einbezogen, die auch für die Mittelwerte für Autobahnen in Deutschland insgesamt verfügbar waren. Die zugehörigen Ergebnisse sind in Bild 12 bis Bild 15 dargestellt.

Beim Vergleich der Verteilung der Unfälle über ein Jahr fällt auf, dass der Anteil der Unfälle an E1-Einfahrten in den Monaten November und Dezember höher ist als bei den Bundesautobahnen insgesamt (Bild 12). Eine Ursache hierfür kann darin liegen, dass die winterlichen Straßenverhältnisse sich im Bereich der Einfahrten (Kurvenbereich) stärker auswirken als auf der freien Strecke. Zu Beginn eines Winters müssen sich die Verkehrsteilnehmer zunächst wieder an diese gewöhnen, weshalb die Auswirkungen im November/Dezember stärker sein könnten als im Januar/Februar.

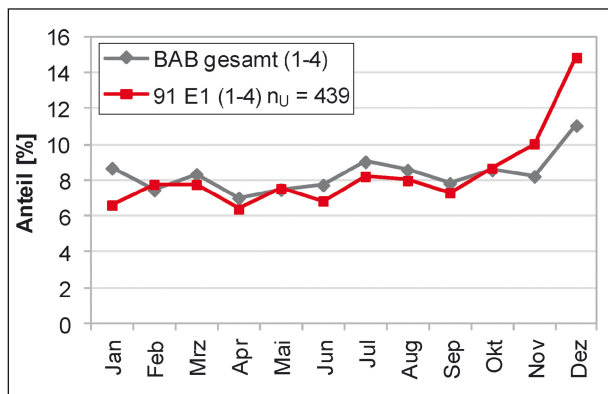


Bild 12: Verteilung der Unfälle der Kategorien 1-4 an Einfahrten nach Monaten im Vergleich zum Unfallgeschehen auf Autobahnen in Deutschland (letztenannte Unfälle laut Angaben des Statistischen Bundesamtes, 2009, 2010, 2011)

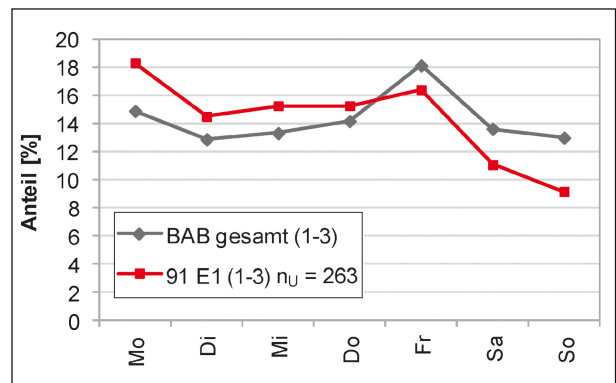


Bild 14: Verteilung der Unfälle der Kategorien 1-3 an Einfahrten nach Tagen im Vergleich zum Unfallgeschehen auf Autobahnen in Deutschland (letztenannte Unfälle laut Angaben des Statistischen Bundesamtes, 2009, 2010, 2011)

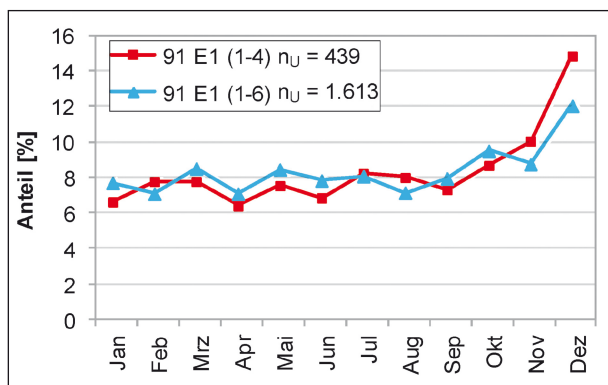


Bild 13: Verteilung der Unfälle der Kategorien 1-4 und 1-6 an den untersuchten Einfahrten nach Monaten im Vergleich

Bild 13 zeigt den Vergleich der Verteilung der Unfälle über ein Jahr innerhalb des hier untersuchten Kollektivs zum Einen mit und zum Anderen ohne die Unfälle der Kategorien 5 und 6. Auch hier ist ein Anstieg in den ersten Wintermonaten November und Dezember deutlich zu erkennen, was ebenfalls durch die winterlichen Straßenverhältnisse bedingt sein könnte. Insgesamt verläuft die Kurve aller Unfälle (Kategorien 1-6) ähnlich wie jene der BAB insgesamt (vgl. Bild 12).

Bei der Verteilung auf die Wochentage ist der Anteil der Unfälle an E1-Einfahrten am Wochenende geringer als bei den Bundesautobahnen insgesamt (Bild 14). Eine Ursache hierfür kann der geringere Anteil an Berufsverkehr an den Wochenenden und die damit verbundenen geringeren Verkehrsmengen in den Einfahrten sein.

Bei den hier untersuchten E1-Einfahrten ist die Spitzenstunde in der Verteilung der Unfälle über einen Tag deutlich ausgeprägter als bei den

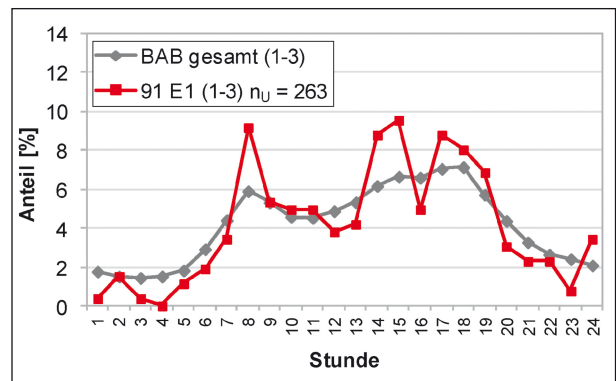


Bild 15: Verteilung der Unfälle der Kategorien 1-3 an Einfahrten nach Stunden im Vergleich zum Unfallgeschehen auf Autobahnen in Deutschland (letztenannte Unfälle laut Angaben des Statistischen Bundesamtes, 2009, 2010, 2011)

Unfällen auf Bundesautobahnen insgesamt (vgl. Bild 15). Dies kann ein Hinweis auf die besondere Situation an Einfahrten des Typs E1 während der hochbelasteten Spitzenstunden sein. Es ist jedoch auch zu beachten, dass die Darstellung der Unfallverteilung aufgrund der geringeren Gesamtanzahl der Unfälle weniger geglättet ist und einzelne Ausreißer das Ergebnis beeinflussen können.

4.3.4 Berechnung der angepassten Unfallkostensätze

Wie die Analysen gezeigt haben, weicht die Verunglücktenstruktur des vorliegenden Unfallkollektivs deutlich von der mittleren Struktur auf Autobahnen ab (Tabelle 12). Dabei liegt der wesentliche Unterschied in der Anzahl der Getöteten je 100 U(P). Daher ist die Verwendung der pauschalen Unfallkostensätze, basierend auf der mittleren Verunglücktenstruktur, hier nicht sinnvoll. Zusätzlich ist

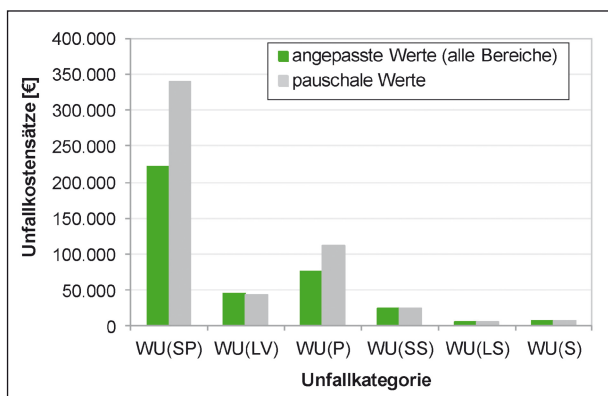


Bild 16: Vergleich der angepassten und pauschalen Unfallkostensätze zum Preisstand 2010

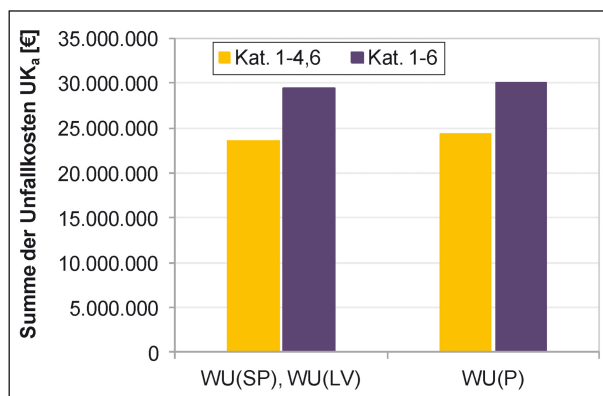


Bild 17: Vergleich der Gesamtunfallkosten bei getrennter und gemeinsamer Berücksichtigung von U(P)

Unfallkategorie	W_U [€/U] 2010
Kategorien 1+2: U(SP) Unfall mit Getöteten oder Schwerverletzten	222.314
Kategorie 3: U(LV) Unfall mit Leichtverletzten	43.981
Kategorien 1-3: U(P) Unfall mit Personenschaden	75.808
Kategorie 4+6: U(SS) schwerwiegender Unfall mit Sachschaden	24.130
Kategorien 5: U(LS) sonstiger Unfall mit Sachschaden	4.950
Kategorien 4-6: U(S) Unfall mit Sachschaden	7.536

Tab. 13: Angepasste Unfallkostensätze für das vorliegende Unfallkollektiv zum Preisstand 2010

das vorliegende Kollektiv ausreichend groß, um eine direkte Anpassung der Unfallkosten vornehmen zu können. Mit den Gleichungen 9 und 10 (Kapitel 4.2) ergeben sich die in Tabelle 13 zusammengefassten Werte für die angepassten Unfallkosten W_U zum Preisstand 2010. Bild 16 zeigt den Vergleich der angepassten mit den pauschalen Unfallkostensätzen.

Da im vorliegenden Kollektiv auch die Anzahl der Unfälle der Kategorie 2 relativ gering ist, sollte bei der Berechnung der Unfallkosten nicht zwischen $W_U(SP)$ und $W_U(LV)$ unterschieden werden. Vielmehr erscheint es hier sinnvoll eine Zusammenfassung dieser Unfallkategorien zu $W_U(P)$ zu verwenden um zu vermeiden, dass die vereinzelt $U(SP)$ zu stark ins Gewicht fallen.

Zur Abschätzung der Auswirkungen dieser Zusammenfassung wurden die Summen der Unfallkosten über das gesamte Kollektiv für die beiden Varianten berechnet. In Bild 17 sind die zugehörigen Ergebnisse, getrennt für die Kategorien 1-4,6 und 1-6 dargestellt. Wie die Darstellung zeigt, ergeben sich durch die Zusammenfassung der Unfälle mit Personenschaden $U(P)$ nur geringfügig höhere Gesamtkosten, was für die weiteren Untersuchungen als unproblematisch eingeschätzt wird. Daher werden bei den nachfolgenden Berechnungen die $U(P)$ gemeinsam berücksichtigt.

4.3.5 Unfallkenngrößen von Einfahrten

Entsprechend den in Kapitel 4.1 beschriebenen Berechnungsschritten werden die Unfallkenngrößen für das Unfallkollektiv der 91 Einfahrten für die Kategorien 1-4,6 getrennt nach den definierten DTV-Klassen ermittelt. Zusätzlich erfolgt eine Unterscheidung von drei Untersuchungsbereichen (vgl. Bild 3).

Für die Berechnungen ist neben der Information über die Anzahl der Unfälle, ihrer Kategorie und Position auch die Kenntnis der DTV-Werte der Richtungsfahrbahn getrennt nach Fahrtrichtung erforderlich. Diese wurden auf der Grundlage der Ergebnisse der Straßenverkehrszählung 2010 durch Halbierung der dort ausgewiesenen Querschnittswerte bestimmt. Für den Bereich 1 wurde jeweils der DTV-Wert des der Einfahrt vorhergehenden Streckenabschnitts verwendet. Für die Bereiche 2 und 3 wurde der DTV-Wert des unmittelbar auf die Einfahrt folgenden Streckenabschnitts gewählt. Diese vereinfachte

Bestimmung der zugehörigen DTV-Werte wurde gewählt, da nicht für alle untersuchten Einfahrten detaillierte Informationen zu richtungsscharfen DTV-Werten aus Dauerzählstellen vorliegen.

Für die Analyse wurden die Unfalldichten und Unfallraten sowie die Unfallkostendichten und Unfallkostenraten zunächst getrennt für jede Einfahrt ermittelt (UD_i , UR_i und UKD_i , UKR_i). Anschließend wurden diese Kennwerte zu mittleren Werten (UD_M , UR_M und UKD_M , UKR_M) entsprechend der definierten DTV-Klassen und Untersuchungsgebiete zusammengefasst. Als Unfallkosten wurden die angepassten Unfallkostensätze 2010 mit einer gemeinsamen Berücksichtigung der $U(P)$ angesetzt (vgl. Kapitel 4.3.4, Kennzeichnung durch zusätzlichen Index „a“). In Bild 18 bis Bild 21 sind die zugehörigen Ergebnisse der Kenngrößenberechnung für die Kategorien 1-4,6 differenziert nach DTV-Klassen dargestellt. In Bild 22 bis Bild 25 sind die zugehörigen Ergebnisse für zwei- und dreistreifige Richtungsfahrbahnen zusammengefasst. Die entsprechenden Ergebnisse für das gesamte Unfallkollektiv (Kategorien 1-6) ist in Anhang A enthalten.

In Bild 18 und Bild 22 ist zu erkennen, dass die Unfalldichte des hier untersuchten Kollektivs an Einfahrten von zweistreifigen Richtungsfahrbahnen

kleiner ist als an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen. Die höchste Unfalldichte kann an Einfahrten von dreistreifigen Richtungsfahrbahnen mit hoher Verkehrsbelastung beobachtet werden. Werden die zugehörigen Unfallkosten entsprechend der Unfallschwere mit berücksichtigt, so ergibt sich ein ähnliches Bild (Bild 19, Bild 23). Hier ist die größte Unfallkostendichte jedoch im Bereich 1 der Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen mit hoher Verkehrsbelastung zu erkennen. Dies resultiert aus den hier im Kollektiv enthaltenen Unfällen der Kategorie 2 und 3, die in anderen Bereichen in einer deutlich kleineren Anzahl vorkommen.

Wird die Verkehrsmenge in die Betrachtung der Unfallkenngrößen mit einbezogen, so zeigt die Darstellung der Unfallraten in Bild 20 und Bild 24, dass die Werte innerhalb der Untersuchungsgebiete unabhängig von der Anzahl der Fahrstreifen der Richtungsfahrbahn und der Verkehrsbelastung in etwa vergleichbar sind. Bei der Analyse der Unfallkostenrate (Bild 21, Bild 25) fällt der Wert an Einfahrten von zweistreifigen Richtungsfahrbahnen bei geringer Verkehrsbelastung in Bereich 2 auf. Bei einer genaueren Untersuchung wurde festgestellt, dass in dieser Gruppe fünf Unfälle der Kategorie 2 aufgetreten sind. Obwohl bei der Berechnung der Unfallkosten eine gemeinsame Betrachtung der $U(P)$ vorgenommen wurde, um solche

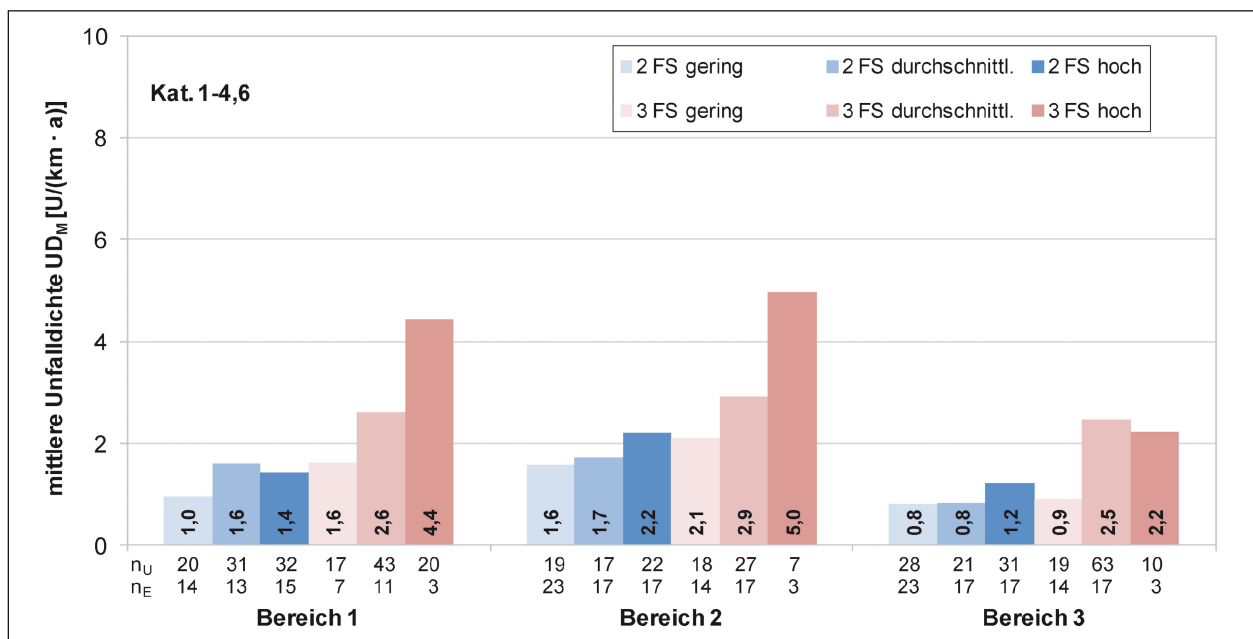


Bild 18: Vergleich der mittleren Unfalldichten für Unfälle der Kategorien 1-4,6 nach DTV-Klassen ($n_E = 91$, $n_U = 455$)

„Einzelfälle“ zu glätten, zeigt sich diese Auffälligkeit. Eine Ursache hierfür könnte in den höheren Geschwindigkeiten auf der Hauptfahrbahn liegen, die sich bei geringer Verkehrsstärke zeigen können. Daraus resultiert eine höhere Geschwindigkeitsdifferenz zwischen dem einfahrenden Fahrzeug und den Fahrzeugen auf der Haupt-

fahrbahn, woraus ein erhöhtes Gefährdungspotenzial entstehen kann. Weiterhin wurde festgestellt, dass diese Unfälle an Einfahrten mit einer Einfahrlänge $l_2 \leq 200$ m aufgetreten sind. Eine genauere Untersuchung dieser Besonderheit erfolgt im Rahmen der mikroskopischen Unfallanalyse (vgl. Kapitel 4.5).

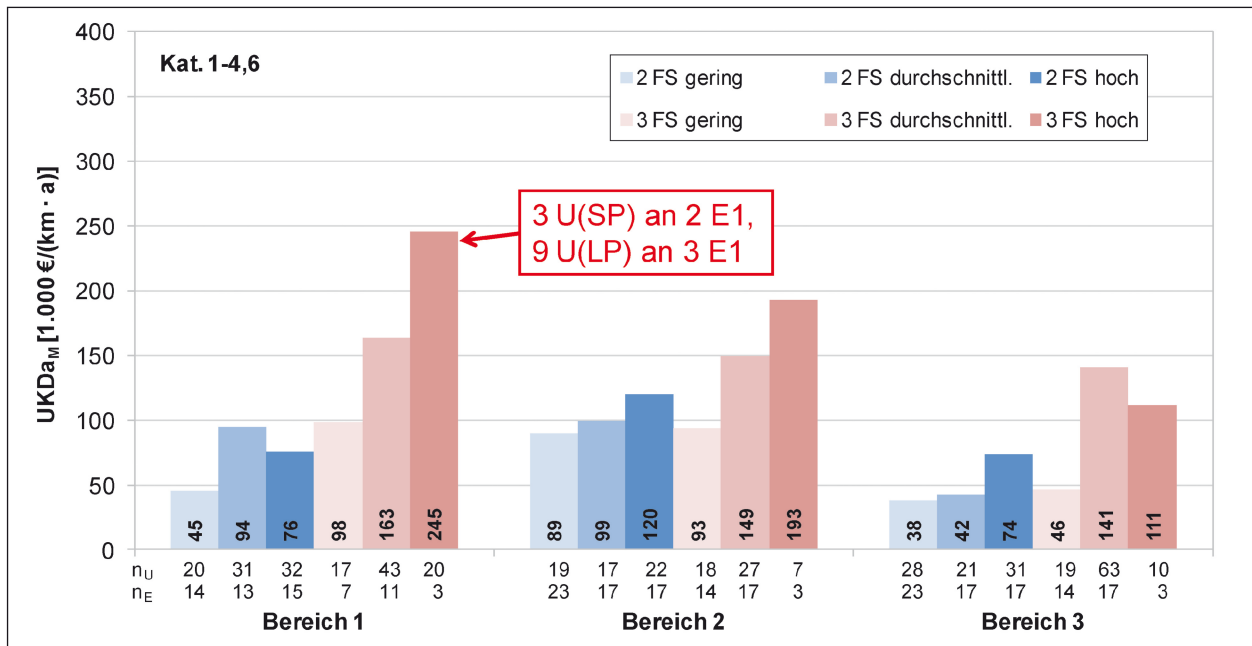


Bild 19: Vergleich der mittleren Unfallkostendichten für Unfälle der Kategorien 1-4,6 nach DTV-Klassen ($n_E = 91$, $n_U = 455$)

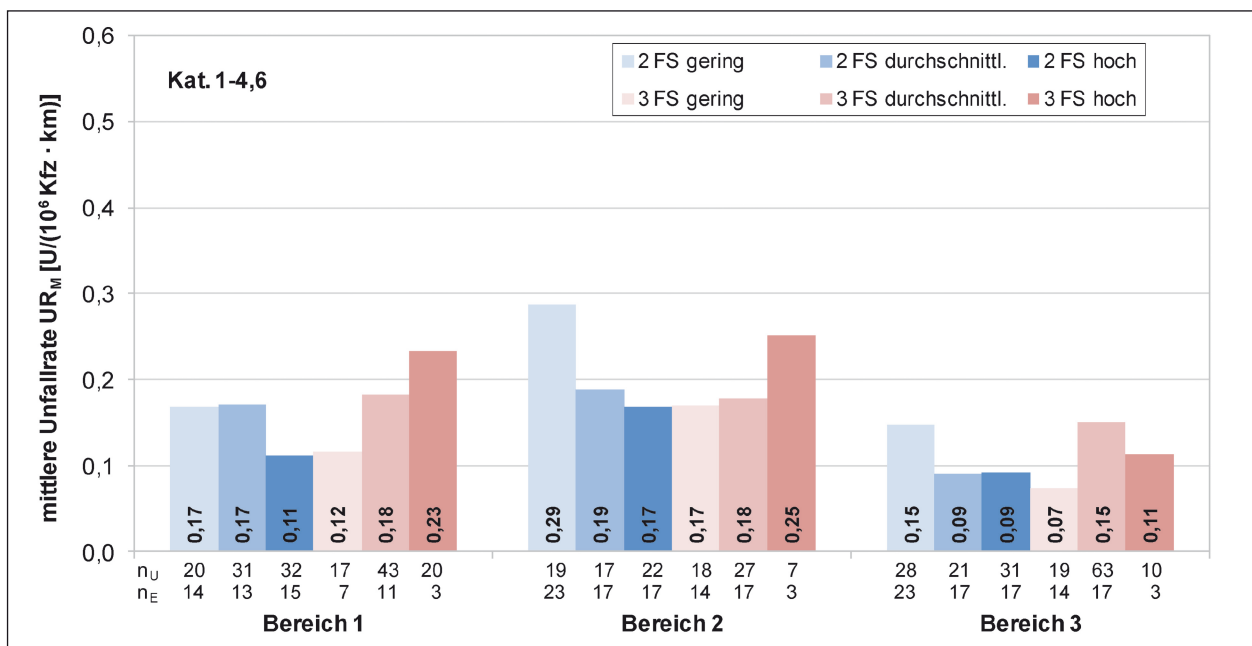


Bild 20: Vergleich der mittleren Unfallraten für Unfälle der Kategorien 1-4,6 nach DTV-Klassen ($n_E = 91$, $n_U = 455$)

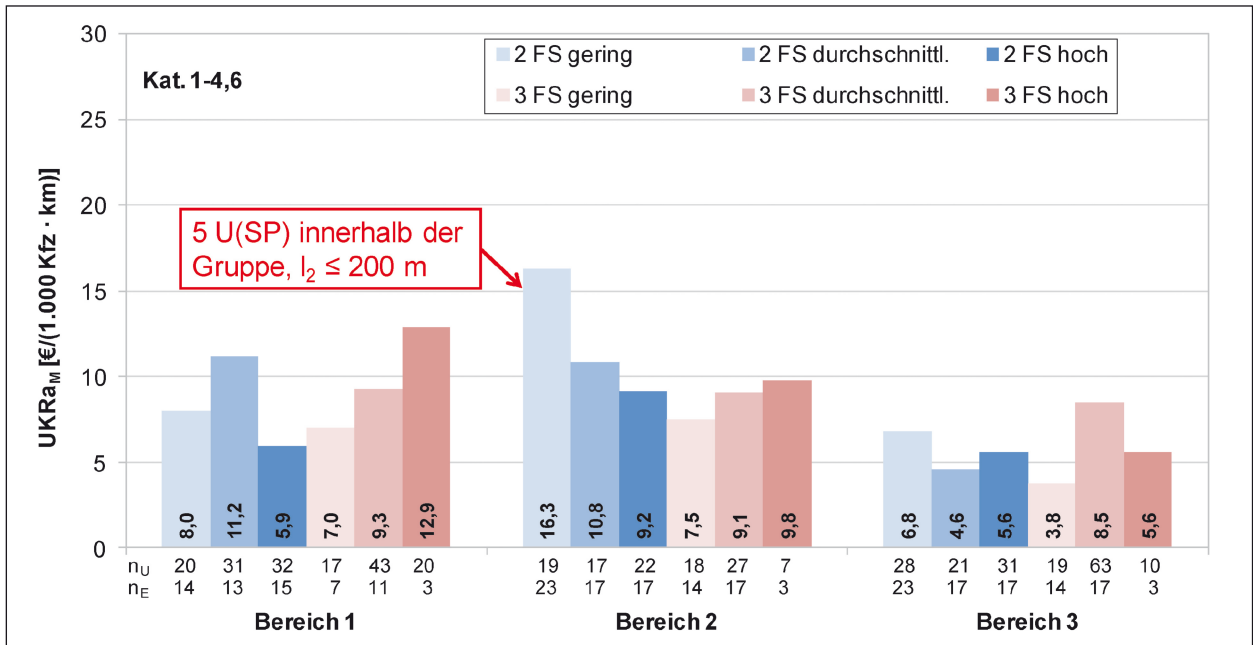


Bild 21: Vergleich der mittleren Unfallkostenraten für Unfälle der Kategorien 1-4,6 nach DTV-Klassen ($n_E = 91$, $n_U = 455$)

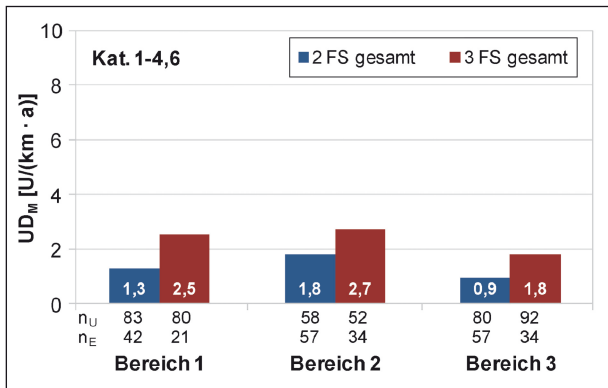


Bild 22: Vergleich mittl. Unfalldichten, Unfälle Kategorien 1-4,6 nach Anzahl Fahrstreifen ($n_E = 91$, $n_U = 455$)

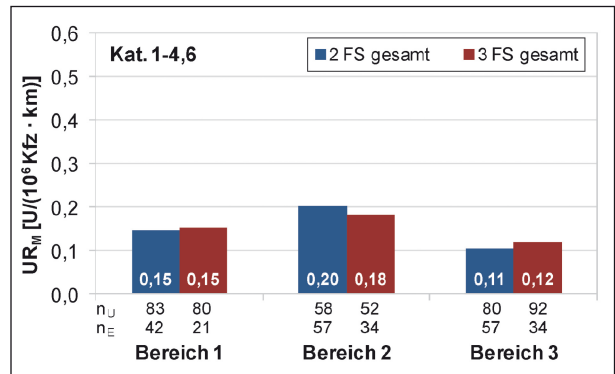


Bild 24: Vergleich mittl. Unfallraten, Unfälle Kategorien 1-4,6 nach Anzahl Fahrstreifen ($n_E = 91$, $n_U = 455$)

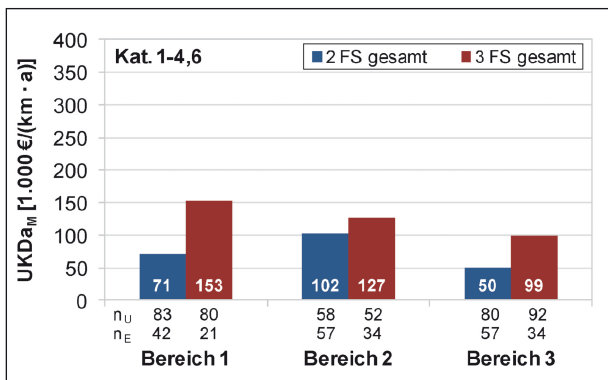


Bild 23: Vergleich mittl. Unfallkostendichten, Unfälle Kategorien 1-4,6 nach Anzahl Fahrstreifen ($n_E = 91$, $n_U = 455$)

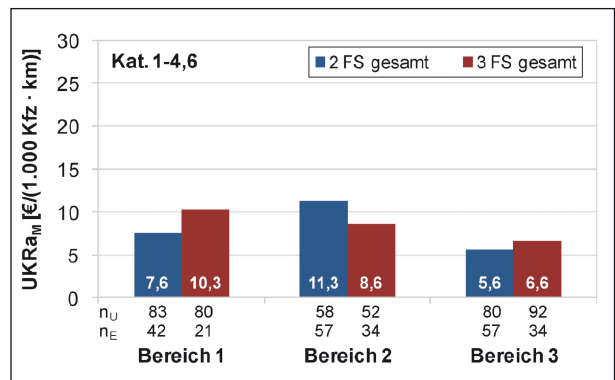


Bild 25: Vergleich mittl. Unfallkostenraten, Unfälle Kategorien 1-4,6 nach Anzahl Fahrstreifen ($n_E = 91$, $n_U = 455$)

4.4 Kenngrößenvergleich mit Werten aus der Literatur

Entsprechend der Aufgabenstellung und zur Bewertung des Unfallgeschehens an Einfahrten des Typs E1 im Vergleich zu anderen Elementen von planfreien Knotenpunkten, wurden separate Unfallkenngrößen zum Vergleich mit Werten aus der Literatur ermittelt. Zum einen wurden Vergleichsgrößen zur Untersuchung von FRIEDRICH et al. (2008) unter Verwendung der pauschalen Kostensätze zum Preisstand 2000 berechnet. Da bei der Untersuchung von FRIEDRICH et al. (2008) ausschließlich Einfahrten der Typen E4 und E5 an Autobahnkreuzen und -dreiecken untersucht wurden, erfolgte hier ebenfalls die Bildung eines Teilkollektivs von Einfahrten des Typs E1 an Autobahnkreuzen und -dreiecken an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen ($n_E = 5$, $n_U = 103$, Kategorien 1-6). Zum anderen wurde zum Vergleich mit anderen Knotenpunktelementen die Unfallrate ermittelt.

Hier wurde ein Teilkollektiv der Einfahrten aus Hessen und Rheinland-Pfalz zugrunde gelegt, da hier die Unfalldaten für alle Untersuchungsbereiche vollständig vorlagen und auch die Unfälle der Kategorie 5 voraussichtlich vollständig vorliegen (vgl. Kapitel 4.3.3). Daraus ergibt sich ein Teilkollektiv für die Kategorien 1-6 von $n_E = 47$ und $n_U = 1.154$.

In Bild 26 bis Bild 29 ist der Vergleich mit den Kennwerten von FRIEDRICH et al. (2008) dargestellt. Da auch in dieser Untersuchung eine vergleichbare Einteilung von Untersuchungsbereichen vorgenommen wurde, sind die Ergebnisse entsprechend diesen Bereichen gegliedert. Grundsätzlich ist beim Vergleich der Kenngrößen keine Besonderheit festzustellen. Vielmehr liegen die Kenngrößen der Einfahrten der Typen E4 und E5 sogar in einer vergleichbaren Größenordnung wie jene des Typs E1. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der zugrunde liegenden Einfahrten eher gering ist und das Ergebnis so durch einzelne Einfahrten

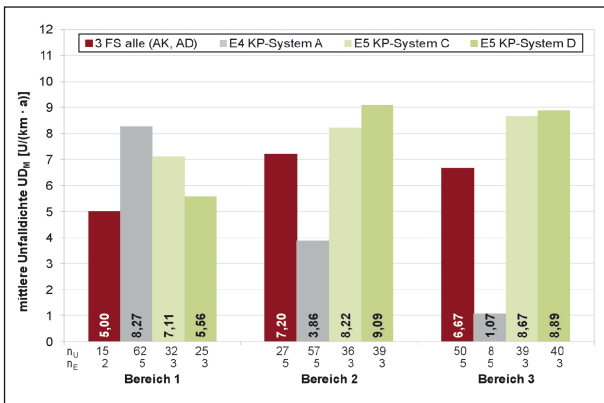


Bild 26: Vergleich Unfalldichte für Unfälle der Kategorien 1-6 mit den Ergebnissen der Untersuchung von FRIEDRICH et al. (2008)

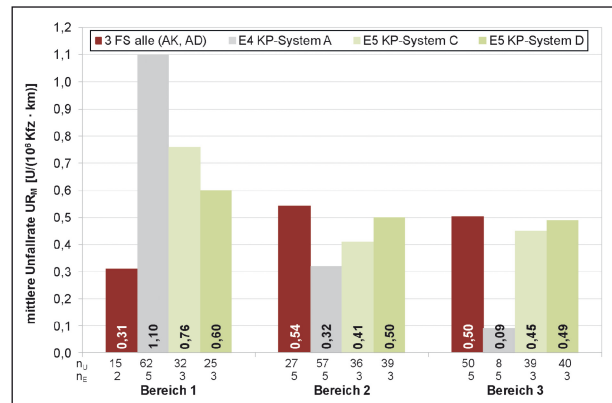


Bild 28: Vergleich Unfallrate für Unfälle der Kategorien 1-6 mit den Ergebnissen der Untersuchung von FRIEDRICH et al. (2008)

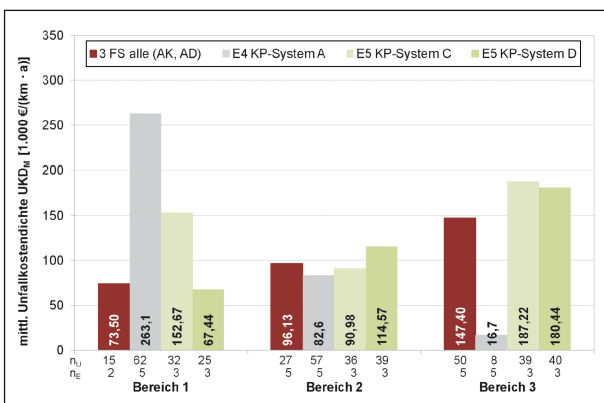


Bild 27: Vergleich Unfallkostendichte für Unfälle der Kategorien 1-6 mit den Ergebnissen der Untersuchung von FRIEDRICH et al. (2008)

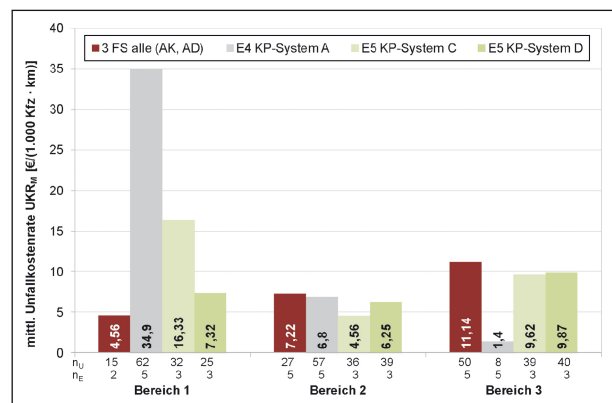


Bild 29: Vergleich Unfallkostenrate für Unfälle der Kategorien 1-6 mit den Ergebnissen der Untersuchung von FRIEDRICH et al. (2008)

beeinflusst werden kann. Trotzdem ergeben sich aus den hier vorliegenden Unfalldaten keine Hinweise auf ein unterschiedliches Sicherheitsniveau bei einstreifigen Einfahrten im Vergleich zu zweistreifigen Einfahrten.

Der Vergleich der Unfallrate von Einfahrten des Typs E1 mit anderen Streckenelementen ist in Tabelle 14 dargestellt. Hier liegt das oben beschriebene Teilkollektiv der Einfahrten aus Hessen und Rheinland-Pfalz zugrunde. Die Wahl der Unfallrate als Vergleichsgröße wurde getroffen, da diese in der Literatur für die verschiedenen Knotenpunktelemente ausgewiesen wird.

Der Kenngrößenvergleich zeigt keine besondere Auffälligkeit der Einfahrten des Typs E1. Die mittlere Unfallrate des Typs E1 ist sogar geringfügig höher als jene der Einfahrtstypen E4 und E5. Es ist jedoch zu beachten, dass die Einfahrten des Typs E1 nicht direkt mit anderen Knotenpunktelementen vergleichbar sind, da diese für unterschiedliche Einsatzbereiche verwendet werden. Ein besonderes Gefährdungspotenzial ist bei den Einfahrten des Typs E1 trotzdem nicht erkennbar, weshalb Einfahrten dieses Typs im Bezug auf die Verkehrssicherheit im Allgemeinen als unkritisch angesehen werden können.

KP-Element und Typ	n_E	n_U	Unfallrate UR_M [$U/(10^6 \text{ Kfz} \cdot \text{km})$]
Ausfahrt Typ A 2 ⁽¹⁾	6	671	0,67
Ausfahrt Typ A 3* ⁽²⁾	4	598	1,12
Ausfahrt Typ A 4 ⁽²⁾	11	955	0,64
Ausfahrt Typ A 5 ⁽²⁾	5	294	0,45
Verflechtungsstrecke Typ VR 1 ⁽³⁾	11	98	0,45
Verflechtungsstrecke Typ V 1 ⁽³⁾	4	55	0,25
Einfahrt Typ E 4 (KP-System A) ⁽⁴⁾	5	127	0,39
Einfahrt Typ E 5 (KP-System C) ⁽⁴⁾	3	107	0,49
Einfahrt Typ E 5 (KP-System D) ⁽⁴⁾	3	104	0,51
Einfahrt Typ E 1 alle (2 FS)	32	608	0,59
Einfahrt Typ E 1 alle (3 FS)	15	546	0,64
Einfahrt Typ E 1 AS (2 FS)	29	527	0,58
Einfahrt Typ E 1 AS (3 FS)	13	497	0,68
Einfahrt Typ E 1 AK/AD (2 FS)	3	81	0,74
Einfahrt Typ E 1 AK/AD (3 FS)	2	49	0,43

* Ausfahrt Typ A3 in Kombination mit anschließender Fahrstreifenreduktion.

⁽¹⁾ FRIEDRICH et al. (2006) ⁽³⁾ SCHNÜLL et al. (2006)
⁽²⁾ WEISER et al. (2006) ⁽⁴⁾ FRIEDRICH et al. (2008)

Tab. 14: Vergleich der mittleren Unfallraten an Einfahrten mit Werten aus der Literatur

4.5 Mikroskopische Analyse einstreifiger Einfahrten

Nachdem im vorhergehenden Kapitel die Struktur der Unfälle im Bereich von Einfahrten allgemein beleuchtet wurde, sollen nun detaillierte Betrachtungen der Unfallhergänge im Bereich von Einfahrten vorgenommen werden.

Doch zunächst erfolgt eine Analyse eines möglichen Zusammenhangs der Unfallkenngrößen mit der Länge der Einfahrtöffnung (l_2).⁸ Um die in Kapitel 4.3.5 erkannte Besonderheit noch genauer zu untersuchen, wurde eine Analyse der Unfallkostenraten im Bereich 2 im Verhältnis zur Länge der Einfahrtöffnung durchgeführt. Wie die Darstellung in Bild 30 zeigt, kann aus den vorliegenden Daten zumindest für die Einfahrten an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen ein Trend festgestellt werden. Demnach nimmt die Unfallkostenrate mit zunehmender Länge der Einfahrtöffnung ab. Bei den hier untersuchten Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen ist jedoch kein Zusammenhang der Untersuchungsgrößen erkennbar.

Auffällig sind insbesondere zwei Einfahrten (A 49, AS Baunatal-Mitte, FR Kassel und A 63, AS Winnweiler, FR Mainz) an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen, deren Unfallkostenraten besonders hoch sind. Diese resultieren aus je mehreren Unfällen der Kategorien 2 und 3, die an diesen Einfahrten aufgetreten sind.

Bei einer getrennten Berücksichtigung von $U(SP)$ und $U(LV)$ ergeben sich in dieser Darstellung sogar

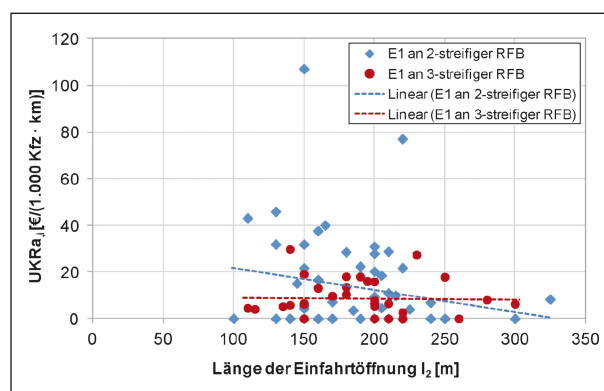


Bild 30: Unfallkostenraten für Unfälle der Kategorien 1-4,6 im Verhältnis zur Länge der Einfahrtöffnung l_2

⁸ Zur Erinnerung: Die Länge l_2 entspricht nicht der Länge l_E aus der RAA 2008. Annähernd gilt: $l_2 \approx l_E - l_{2295} - \frac{1}{3} l_2$

sechs auffällige Einfahrten, an denen jeweils ein U(SP) aufgetreten ist. Eine Einzelfallbetrachtung konnte jedoch im Hinblick auf die dort vorhandenen Randbedingungen bzw. Unfallcharakteristika keine Systematik erkennen lassen (s. Anhang B).

Für die weitere mikroskopische Unfallanalyse wurden aus dem Kollektiv der 91 Einfahrten aus der makroskopischen Analyse 30 Einfahrten ausgewählt, die hinsichtlich ihrer Kennzahlen besonders auffällig sind.

Die Auswahl erfolgte auf Basis der Unfallkennwerte Unfalldichte (UD) und Unfallrate (UR) im Untersuchungsbereich 2 (vgl. Bild 3). Hier wurden die jeweils 36 höchsten Werte aller 91 Einfahrten des Gesamtkollektivs markiert und dann jene 30 Einfahrten ausgewählt, die in beiden Kennwerten zur Gruppe der höchsten Werte gehörten. Daraus ergeben sich die in Tabelle 15 aufgelisteten Einfahrten, einschließlich der beschriebenen örtlichen Randbedingungen. Zusätzlich zum Bereich 2 wurden die genannten Unfallkenngrößen über den

gesamten Untersuchungsbereich 1 bis 3 überprüft. Auch hier gehören die ausgewählten Einfahrten in der Regel zu jenen, die über alle Bereiche Höchstwerte in den Kennwerten aufweisen.

Wie in der Liste zu erkennen ist, sind die Einfahrten relativ gleichmäßig über die definierten DTV-Klassen und die Anzahl der Fahrstreifen der Richtungs-fahrbahn verteilt, sodass für die mikroskopischen Analysen ein breit gefächertes Kollektiv vorliegt. Dies gilt auch für die Verteilung der Einfahrten im Bezug auf die verschiedenen örtlichen Randbedingungen wie Rampenform, Ballungsraum und zulässige Höchstgeschwindigkeit. Die Längsneigung der Hauptfahrbahn wurde ebenfalls als mögliches Unterscheidungskriterium geprüft. Hierbei stellte sich jedoch heraus, dass die Werte annähernd vollständig in einem Bereich zwischen $\pm 2,0\%$ lagen. Da dies nur eine geringe Spannweite darstellt wurde auf die Differenzierung nach Längsneigung verzichtet. Nach einer Überprüfung der Anteile der älteren Unfallverursacher sind in der Auswahl ebenfalls solche dabei, die im Bezug auf diesen

DTV-Klasse	BAB	Name AS	Fahrtrichtung Name	Länge Bereich 2 [km]	Rampenform	Ballungs- raum	v _{zul} [km/h]	
							Bereich 1	Bereich 2+3
1	4	Wildeck-Obersuhl	Kirchheimer Dreieck	0,170	Tangente aufwärts	nein	120	120
1	11	Wandlitz	Bundesgrenze PL	0,165	Schleife abwärts	nein	keine	keine
1	13	Ruhland	Dresden	0,160	Schleife abwärts	nein	keine	keine
1	45	Florstadt	Hanauer Kreuz	0,160	Schleife aufwärts	nein	keine	keine
1	49	Baunatal-Mitte	Gießen	0,110	Schleife abwärts	nein	keine	keine
2	49	Baunatal-Mitte	Kassel	0,150	Tangente abwärts	nein	keine	keine
2	485	Dreieck Bergwerkwald	Richtung Nord	0,150	Tangente abwärts	nein	keine	keine
2	485	Gießen-Schiffenberger Tal	Richtung Nord	0,150	Tangente aufwärts	nein	keine	keine
3	60	Bischofsheim	Bingen	0,250	Tangente abwärts	ja	keine	keine
3	60	Rüsselsheim-Mitte	Bingen	0,185	Schleife abwärts	ja	keine	keine
3	60	Dreieck Mainz	Rüsselsheim	0,150	Tangente aufwärts	ja	100	100
3	67	Rüsselsheim-Ost	Darmstadt	0,205	Schleife abwärts	ja	keine	keine
3	67	Rüsselsheim-Ost	Mönchhof-Dreieck	0,145	Schleife abwärts	ja	keine	keine
4	3	Seligenstadt	Aschaffenburg	0,230	Tangente abwärts	ja	SBA	SBA
4	7	Kassel-Nord	Hamburg	0,200	Tangente abwärts	nein	120	120
4	115	Potsdam-Drewitz	AD Funkturm	0,135	Schleife abwärts	ja	120	120
4	115	Potsdam-Drewitz	AD Nuthetal	0,140	Schleife abwärts	ja	120	120
4	115	Kleinmachnow	AD Funkturm	0,210	Schleife aufwärts	ja	120	120
4	650	Oggersheim-Süd	Ludwigshafen	0,160	Tangente abwärts	ja	130	130
5	3	Duisburg-Wedau	Bundesgrenze NL	0,180	Schleife abwärts	ja	120	120
5	3	Limburg-Süd	Aschaffenburg	0,195	Schleife aufwärts	nein	keine	keine
5	5	Butzbach	Frankfurt a. Main	0,110	Tangente aufwärts	nein	SBA	SBA
5	5	Bad Nauheim	Frankfurt a. Main	0,190	Tangente abwärts	nein	SBA	SBA
5	5	Bad Nauheim	Gambacher Kreuz	0,200	Tangente abwärts	nein	SBA	SBA
5	5	Ober-Mörlen	Frankfurt a. Main	0,140	Schleife aufwärts	nein	SBA	SBA
5	66	Wiesbaden-Nordenstadt	Frankfurt a. Main	0,150	Schleife abwärts	ja	keine	keine
5	2	AK Braunschweig-Nord 2	Oberhausen	0,200	Tangente abwärts	ja	120	120
5	2	AK Braunschweig-Nord 2	Dreieck Werder	0,250	Tangente abwärts	ja	120	120
6	3	Duisburg-Wedau	Köln	0,150	Tangente abwärts	ja	120	120
6	57	Neuss-Reuschenberg	Köln	0,170	Schleife abwärts	ja	VBA	VBA

Tab. 15: Einfahrtenkollektiv für die mikroskopische Unfallanalyse einschließlich Randbedingungen ($n_E = 30$, $n_U = 799$)

Gesichtspunkt auffällig (d. h. vorhandene Unfälle mit Unfallverursachern > 65 Jahre) sind. Die so vorgenommene Auswahl der Einfahrten einschließlich der zugehörigen örtlichen Randbedingungen bildet die Grundlage der nachfolgend beschriebenen detaillierten Unfallanalysen.

Um eine Analyse der Unfallhergänge an den ausgewählten Einfahrten vornehmen zu können, wurden die zugehörigen Verkehrsunfallanzeigen, in denen in der Regel eine textliche Beschreibung des Unfallhergangs sowie eine Unfallskizze enthalten ist, für die Jahre 2008 bis 2010 und die hier betrachteten Untersuchungsbereiche 1 bis 3 bei den zuständigen Polizeidienststellen angefragt. Auch wenn die Skizzen vom Unfallhergang häufig nicht mehr verfügbar waren, konnten zumindest die textlichen Beschreibungen der Unfallhergänge für die relevanten Unfälle von den Bundesländern Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz entsprechend der Anfrage bereit gestellt werden. Damit lagen die erforderlichen Grundlagen zur detaillierten Analyse für 25 der 30 ausgewählten Einfahrten vor.

Da es in Brandenburg innerhalb des angefragten Untersuchungszeitraums eine Umstrukturierung der Polizeibehörden gegeben hat, waren hier die Unfallanzeigen für die Jahre 2008 bis 2010 nicht mehr verfügbar. Seit 2010 werden dort die Unfallanzeigen jedoch auch digital gespeichert, sodass die Informationen für einen aktuelleren Zeitraum von 2010 bis 2012 verfügbar sind. Um die 5 Einfahrten aus Brandenburg trotzdem berücksichtigen zu können, wurden die Unfallanzeigen für die relevanten Untersuchungsbereiche der Jahre 2010 bis 2012 bereitgestellt. Mithilfe dieser Informationen wurde die Unfall- und Verunglücktenstruktur der fünf Einfahrten für den Zeitraum 2010 bis 2012 mit jener des Zeitraums 2008 bis 2010 verglichen. Dabei wurde festgestellt, dass sowohl die Anzahl der Unfälle als auch die Verteilung der Kategorien der beiden Zeiträume vergleichbar sind. Lediglich die Zahl der schwerverletzten Personen war 2010 bis 2012 aufgrund eines schweren Unfalls etwas größer.

Damit sind die Kriterien, nach denen die Einfahrten für die mikroskopische Analyse ausgewählt wurden für die brandenburgischen Einfahrten auch für den Zeitraum von 2010 bis 2012 gegeben. Das bedeutet, die Kenngrößen sind auch für den verschobenen 3-Jahres-Zeitraum so hoch, dass die fünf Einfahrten in die Gesamtauswahl gefallen wären. Da der Fokus der detaillierten Analysen auf dem

Unfallhergang liegt und nicht auf den zugehörigen Kenngrößen, wurden die Einfahrten aus Brandenburg mit ihrem verschobenen Untersuchungszeitraum (2010 bis 2012) in die Untersuchung aufgenommen. Unfallhergänge, die offensichtlich durch das Vorhandensein einer Baustelle im Einfahrtbereich hervorgerufen wurden, wurden bei der Untersuchung ausgeklammert (5 von 68 Unfällen insgesamt bei fünf Einfahrten).

Nach der Anfrage der Unfallanzeigen und der Rückläufe standen für die nachfolgenden Untersuchungen ein Kollektiv von 30 Einfahrten und insgesamt 799 Unfällen auf der Hauptfahrbahn innerhalb der drei Untersuchungsbereiche zur Verfügung. Davon waren 795 Unfallanzeigen verfügbar, welche die Grundlage für die nachfolgenden Untersuchungen bilden. In einem ersten Schritt wurden die textlichen Beschreibungen der Unfallhergänge analysiert und bewertet, ob ein Unfall direkt oder indirekt aus dem Einfädungsvorgang an der Einfahrt entstanden ist. Wenn „ja“, wird dieser Unfall im Folgenden als „relevanter Unfall“ (U_{ja}) bezeichnet. Ist ein Unfall innerhalb der drei Untersuchungsbereiche passiert, aus dem Text ist jedoch kein Zusammenhang zu einem Einfädungsvorgang zu erkennen, wurde der Unfall mit „nein“ gekennzeichnet, das heißt, er ist „nicht relevant“ (U_{nein}) für die hier vorliegende Fragestellung. Bei einem geringen Anteil der textlichen Beschreibungen war eine eindeutige Zuordnung zur Gruppe „relevant“ oder „nicht relevant“ nicht möglich, da der Text sehr allgemein und kurz war. Diese Unfallanzeigen wurden mit einem „?“ gekennzeichnet und bei den weiteren Analysen ausgeklammert. Das Ergebnis dieser ersten Analyse sowie eine Übersicht über das verfügbare Kollektiv der Unfallanzeigen zeigt Bild 31.

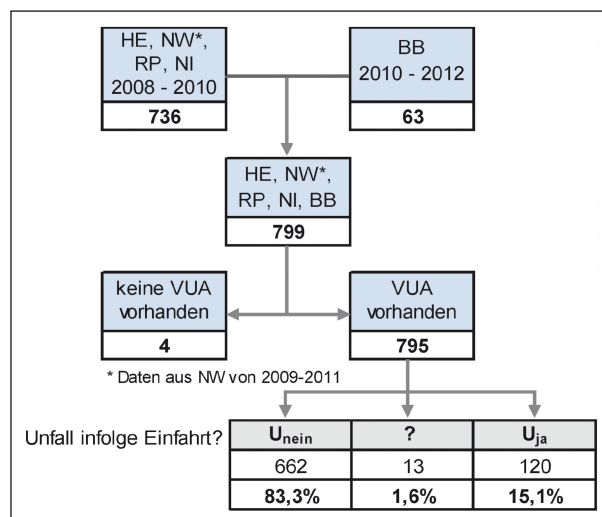


Bild 31: Kollektiv der verfügbaren VUA

Dieses erste Ergebnis zeigt, dass rund 15 % der Unfälle, die im Bereich der Einfahrt passieren direkt oder indirekt mit dem Einfädelungsvorgang zusammenhängen. Die Mehrheit der Unfälle mit über 80 % haben andere Ursachen. Um diese Anteile bewerten zu können, ist die Information der Verkehrsmenge in der Einfahrt im Verhältnis zur Verkehrsmenge auf der Hauptfahrbahn erforderlich. Diese liegt jedoch nicht für alle 30 der hier untersuchten Einfahrten vor. Daher wurden die teilweise verfügbaren Informationen zu den Verkehrsmengen an 6 Einfahrten aus den empirischen Untersuchungen verwendet, um eine Einordnung der oben beschriebenen Anteile vornehmen zu können. Diese Überlegungen werden in Kapitel 4.5.1 dargestellt.

In einem zweiten Schritt wurden die Ursachen der relevanten und nicht relevanten Unfälle differenziert betrachtet. Dazu wurden verschiedene Unfallkonstellationen zu den Hauptgruppen „ja“ und „nein“ definiert. Die Beschreibung dieser Konstellationen erfolgte entsprechend den Ergebnissen der Analyse der textlichen Beschreibungen der Unfallhergänge.

Die Konstellationen der nicht relevanten Unfälle bestehen aus den in Bild 32 beschriebenen Situationen. Die Situationen 1 bis 5 repräsentieren einen Anteil von 77,6 % aller nicht mit dem Einfädelungsvorgang zusammenhängenden Unfälle. Die übrigen 22,4 % der nicht relevanten Unfälle setzen sich aus weiteren Konstellationen wie Steinschlag, Reifenschäden, Windböen, seitliches Berühren beim Nebeneinanderfahren oder Kollisionen mit Teilen der Straßenausstattung zusammen.

Dabei fallen der relativ hohe Anteil an Wild- und Tierunfällen (Konstellation 5 mit 7,9 %) sowie der Anteil der Unfälle infolge verlorener Ladung bzw. infolge eines Hindernisses auf der Fahrbahn (Konstellation

3 mit 11,0 %) auf. Um diese Werte zu überprüfen wurde ein Vergleich dieser Unfallursachen (86 und 87 bzw. 48 und 88) mit dem Gesamtkollektiv aller 91 Einfahrten vorgenommen. Hier ergibt sich bei der Auswertung der Unfallkategorien 1-6 ein Anteil von 9,05 % für Wild- und Tierunfälle und ein Anteil von 13,11 % für Unfälle infolge verlorener Ladung bzw. infolge eines Hindernisses auf der Fahrbahn. Demnach werden die Anteile dieser Ursachen durch das größere Einfahrtenkollektiv bestätigt.

Ein Vergleich mit der Bundesunfallstatistik für Autobahnen (Statistisches Bundesamt, 2009, 2010, 2011) ist nur für die Kategorien 1-4 möglich, da nur für diese Kategorien die Informationen zu den Unfallursachen in den Jahren 2008 bis 2010 ausgewiesen werden. Hier ergeben sich deutlich kleinere Anteile für die entsprechenden Unfallursachen (Mittelwerte 2008-2010: Wild-/Tierunfall 0,63 %, verlorene Ladung bzw. Hindernis auf der Fahrbahn 1,62 %), was auf das Fehlen der Unfälle der Kategorie 5 zurückzuführen ist. (die Auswertung des Gesamtkollektivs der 91 Einfahrten ergab einen Anteil der Unfälle der Kategorie 5 an Tierunfällen von 98,43 % sowie einen Anteil an der Ursache verlorene Ladung bzw. Hindernis auf der Fahrbahn von 88,35 %). Daher sind die hier festgestellten hohen Anteile an Unfällen mit Tieren und verlorener Ladung bzw. infolge eines Hindernisses auf der Fahrbahn durchaus plausibel. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Bereiche der Einfahrten auch für Tiere als mögliche „Eingänge“ zur Autobahn genutzt werden können. Eine nicht ausreichend gesicherte Ladung neigt besonders bei den höheren Geschwindigkeiten auf Autobahnen (Beschleunigung im Bereich der Einfahrt) zum Herabfallen auf die Fahrbahn.

Die Situationen der relevanten Unfälle, bei denen ein direkter oder indirekter Zusammenhang zum Einfädelungsvorgang aus den textlichen Beschrei-

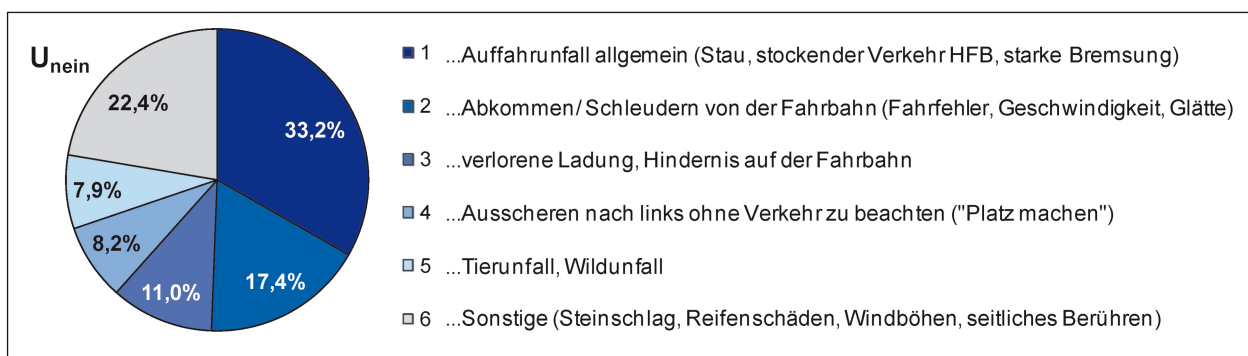


Bild 32: Übersicht über die Zusammensetzung der Konstellationen der nicht relevanten Unfälle an den untersuchten Einfahrten

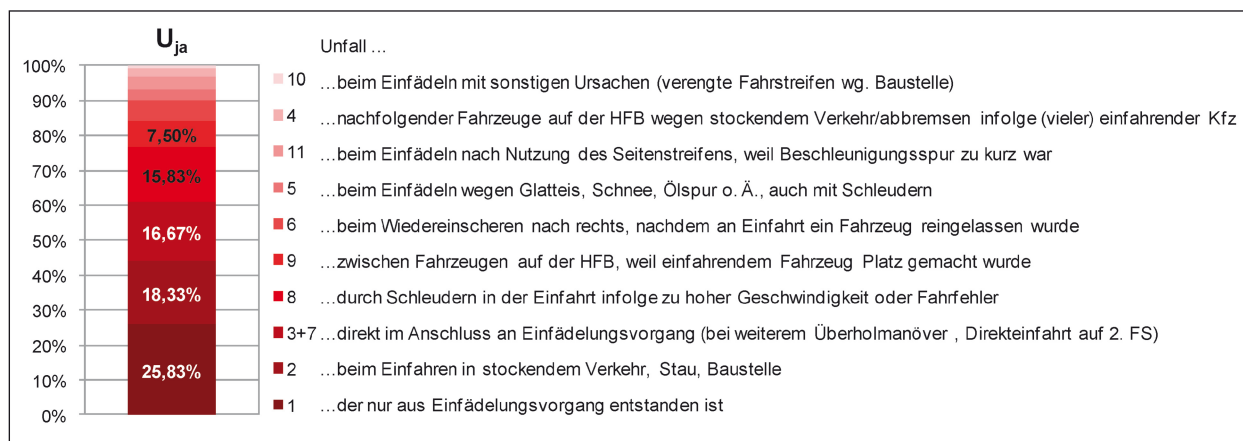


Bild 33: Beschreibung der Konstellationen der für den Einfädelungsvorgang relevanten Unfallursachen

lungen der Unfallhergänge abgeleitet werden konnte, sind in Bild 33 dargestellt. Die Angaben beziehen sich auf alle 30 untersuchten Einfahrten und die darin identifizierten relevanten Unfälle ($n_{U,ja} = 120$). Es ist zu erkennen, dass 84,2 % der relevanten Unfälle auf fünf Hauptsituationen (1, 2, 3+7, 8, 9) entfallen. Vier dieser Konstellationen sind ausschließlich auf das Fehlverhalten der Verkehrsteilnehmer zurück zu führen, während eine Situation (8, Unfall durch Schleudern in der Einfahrt infolge zu hoher Geschwindigkeit oder Fahrfehler) auch durch die örtlichen Randbedingungen, z. B. eine nicht ausreichende Griffbarkeit der Fahrbahn, hervorgerufen werden könnte.

Um gegebenenfalls vorhandene Unterschiede zwischen Einfahrten an zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen erkennen zu können, wurde die gleiche Auswertung getrennt für diese beiden Gruppen durchgeführt. Das Ergebnis ist in Bild 34 dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen die Konstellation 8 „Unfall durch Schleudern in der Einfahrt infolge zu hoher Geschwindigkeit oder Fahrfehler“ mit 27,27 % ($n_{U,8} = 15$) den größten Anteil hat. Hierbei ist zu beachten, dass neun der insgesamt 15 Unfälle an einer Einfahrt (A 49, AS Baunatal-Mitte, FR Kassel) entstanden sind, was den Einfluss einzelner auffälliger Einfahrten deutlich macht. Dies ist ein Hinweis dafür, dass an dieser einzelnen Einfahrt die Schleudergefahr beim Beschleunigen größer ist als bei anderen Einfahrten. Eine genaue Untersuchung dieser Einfahrt zeigte, dass sieben der neun Unfälle bei Nässe aufgetreten sind, was ein Hinweis auf eine nicht ausreichende Griffbarkeit sein kann (der Radius der Tangente erscheint aus dem Luftbild als eher

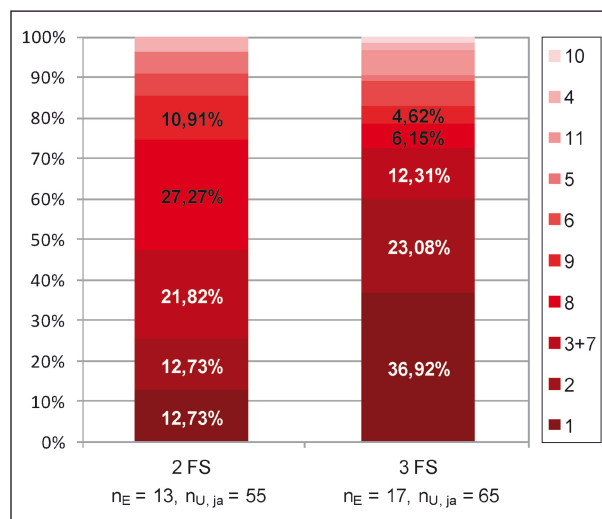


Bild 34: Relevante Unfallkonstellationen getrennt nach Anzahl der Fahrstreifen der Richtungsfahrbahn

unkritisch). Diese Besonderheit zeigt aber auch, wie groß der Einfluss einer einzelnen Einfahrt auf das Gesamtergebnis sein kann, was auf die geringe Anzahl relevanter Unfälle zurückzuführen ist.

Den zweitgrößten Anteil der relevanten Unfallkonstellationen stellen die Gruppen 3 und 7 („Unfall direkt im Anschluss an Einfädelungsvorgang, bei weiterem Überholmanöver bzw. Direkteinfahrt auf zweiten Fahrstreifen“, $n_{U,3+7} = 12$) mit 21,82 % dar.

Bei den relevanten Unfällen an Einfahrten von dreistreifigen Richtungsfahrbahnen stellt die Konstellation 1 „Unfall der nur aus Einfädelungsvorgang entstanden ist“ den größten Anteil dar (36,92 %, $n_{U,1} = 24$). Ein Grund hierfür könnte sein, dass die schnelle Erfassung der Verkehrssituation auf der Hauptfahrbahn hier anspruchsvoller ist als bei Einfahrten an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen und daraus eher ein Fehler beim Fahrer entsteht.

Die zweithäufigste Konstellation relevanter Unfälle an Einfahrten von dreistreifigen Richtungsfahrbahnen resultiert aus dem „Einfahren in stockenden Verkehr, Stau“ (Konstellation 2: 23,08 %, $n_{U,2} = 15$).

Um weitere Hinweise auf mögliche Einflussgrößen auf die oben beschriebenen Ergebnisse zu erhalten, wurde eine Analyse der Rampenform⁹ der Einfahrten mit den am häufigsten beobachteten Konstellationen vorgenommen. Die zugehörige Verteilung ist in Tabelle 16 für die Einfahrten an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen und in Tabelle 17 für die Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen dargestellt. In der Verteilung der Konstellationen auf die Rampenformen ist in beiden Tabellen jedoch kein eindeutiger Zusammenhang erkennbar.

Zu berücksichtigen ist hierbei auch, dass die Rampenformen im Kollektiv ebenfalls mit einer unterschiedlichen Häufigkeit vorkommen (vgl. Tabelle 15). Zusätzlich wird das Ergebnis durch die insgesamt kleine Fallanzahl maßgeblich durch einzelne Einfahrten beeinflusst.

Die Verteilung aller Unfälle an den hier betrachteten 30 Einfahrten auf die drei Untersuchungsbereiche zeigt Bild 35.

Die Darstellung zeigt, dass aufgrund der größeren Abschnittslänge (500 m) die Bereiche 1 und 3 eine größere Gesamtanzahl an Unfällen beinhaltet, im Bereich 2 die Anzahl der relevanten Unfälle jedoch am größten ist. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, da der Einfädelungsvorgang im Bereich 2 stattfindet und demnach hier auch die meisten relevanten Unfälle passieren.

Bei der Auswahl der hier untersuchten Einfahrten wurden auch die äußeren Randbedingungen betrachtet. Eine Übersicht über die verschiedenen Merkmale jeder Einfahrt ist in Tabelle 15 dargestellt. Um hier mögliche Zusammenhänge zwischen den vorhandenen Randbedingungen an der Einfahrt und dem Auftreten relevanter Unfälle zu erkennen, wurden Analysen des Kollektivs nach Randbedingungen vorgenommen. Hier wurde zunächst die DTV-Klasse als Unterscheidungsmerkmal gewählt. Wie in Kapitel 3 beschrieben, wurde je nach Anzahl der Fahrstreifen der Richtungsfahrbahn zwischen einer geringen, einer durchschnittlichen und einer hohen Verkehrsbelastung unterschieden.

⁹ Hinweis: Alle Tangentenrampen sind nicht angepasst trassiert.

Rampenform	Konst. 8	Konst. 3+7
Tangente aufwärts, $n_E = 4$	0	4
Tangente abwärts, $n_E = 11$	9	1
Schleife aufwärts, $n_E = 4$	1	2
Schleife abwärts, $n_E = 11$	5	5

Tab. 16: Analyse der Rampenform für Einfahrten an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen nach der am häufigsten beobachteten relevanten Unfallkonstellation

Rampenform	Konst. 1	Konst. 2
Tangente aufwärts, $n_E = 4$	2	3
Tangente abwärts, $n_E = 11$	11	9
Schleife aufwärts, $n_E = 4$	3	1
Schleife abwärts, $n_E = 11$	8	2

Tab. 17: Analyse der Rampenform für Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen nach der am häufigsten beobachteten relevanten Unfallkonstellation

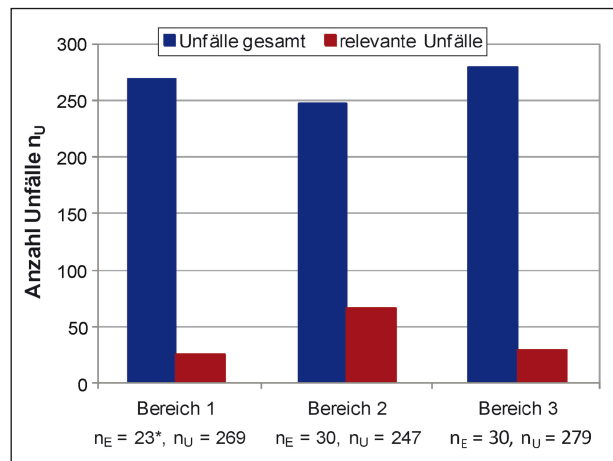


Bild 35: Verteilung aller Unfälle auf die drei Untersuchungsbereiche ($n_E = 30$, $n_U = 795$) * Die Anzahl der Einfahrten in Bereich 1 ist aufgrund der sieben Einfahrten in Brandenburg und Niedersachsen geringer (vgl. Kapitel 4.3.2)

Tabelle 18 zeigt die Verteilung der relevanten Unfälle $n_{U,ja} = 120$ auf die verschiedenen DTV-Klassen. Der Quotient $n_{U,ja}/n_{E,i}$ beschreibt die mittlere Anzahl der relevanten Unfälle innerhalb eines 3-Jahres-Zeitraums je Einfahrt.

Insgesamt liegen die Werte mit maximal 5,7 Unfällen je Einfahrt innerhalb von drei Jahren auf einem auf den ersten Blick geringen Niveau. Beim Vergleich der Werte untereinander ist jedoch auch erkennbar, dass die mittlere Anzahl der relevanten Unfälle je Einfahrt bei den DTV-Klassen „durchschnittlich“ und „hoch“ deutlich höher ist als bei der DTV-Klasse „gering“. Dieses Ergebnis entspricht

	DTV-Klasse					
	2FS			3 FS		
	gering	durchschnittl.	hoch	gering	durchschnittl.	hoch
Einfahrten je Klasse $n_{E,i}$	5	3	5	6	9	2
relevante Unfälle $n_{U,ja}$	11	17	27	15	41	9
$n_{U,ja}/n_{E,i}$	2,2	5,7	5,4	2,5	4,6	4,5

Tab. 18: Verteilung der relevanten Unfälle auf die definierten DTV-Klassen ($n_{U,ja} = 120$)

den Erwartungen, dass bei einer höheren Verkehrsstärke das Konfliktpotenzial zwischen den Verkehrsteilnehmern größer ist. Zur endgültigen Bewertung ist jedoch auch hier ein Bezug zu den Verkehrsmengen in der Einfahrt erforderlich (vgl. Kapitel 4.5.1).

Der Vergleich zwischen den zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen zeigt, dass die Werte der zweistreifigen Richtungsfahrbahn für die DTV-Klassen „durchschnittlich“ und „hoch“ um etwa einen relevanten Unfall je Einfahrt innerhalb von drei Jahren höher liegt. Dieser Unterschied erscheint vor dem Hintergrund des betrachteten Zeitraums von drei Jahren als eher gering. Er kann jedoch ein Hinweis darauf sein, dass die Ausweichmöglichkeiten bei einem Konflikt auf einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn geringer sind als bei einer dreistreifigen Richtungsfahrbahn.

Als weiteres Untersuchungsmerkmal wurde die Rampenform der Einfahrten untersucht. Es wird jeweils zwischen Schleifen- oder Tangentenrampe auf- oder abwärts unterschieden. Das Ergebnis ist in Tabelle 19 dargestellt. Auch hier wird zum Vergleich der Quotient $n_{U,ja}/n_{E,i}$ (mittlere Anzahl der relevanten Unfälle innerhalb eines 3-Jahres-Zeitraums je Einfahrt) herangezogen.

Es ist zu erkennen, dass die Anzahl der relevanten Unfälle je Einfahrt bei Rampen in Form einer Tangente höher sind als jene der Schleifenrampe. Hinsichtlich der Unterscheidung auf- oder abwärts sind innerhalb der jeweiligen Formen kaum Unterschiede zu erkennen. Dieses Ergebnis ist überraschend, da man bei Tangentenrampen höhere Geschwindigkeiten zu Beginn des Einfädelungstreifens erwartet, was ein Wechseln auf die Hauptfahrbahn eher erleichtern sollte. Insgesamt ist aber auch hier festzustellen, dass die Anzahl der relevanten Unfälle je Einfahrt innerhalb von drei Jahren unabhängig von der Rampenform sehr gering ist.

Abschließend wurde im Rahmen der mikroskopischen Untersuchungen die Unfallschwere der

	Rampeform			
	Tangente		Schleife	
	auf	ab	auf	ab
Einfahrten je Rampeform, $n_{E,i}$	4	11	4	11
relevante Unfälle, $n_{U,ja}$	20	51	13	36
$n_{U,ja}/n_{E,i}$	5,0	4,6	3,3	3,3

Tab. 19: Verteilung der relevanten Unfälle entsprechend der Rampeform ($n_{U,ja} = 120$)

	Einfahrten		
	alle $n_E = 30$	2 FS $n_E = 13$	3 FS $n_E = 17$
n_U	799	260	539
$n_{U,ja}$	120	55	65
Anteil $n_{U,ja}$	15,0 %	21,2 %	12,1 %
$n_{U(P)}$	112	34	78
$n_{U(S)}$	687	226	461
$n_{U(P),ja}$	16	11	5
$n_{U(S),ja}$	104	44	60
Anteil $n_{U(P),ja}$	14,3 %	32,4 %	6,4 %
Anteil $n_{U(S),ja}$	15,1 %	19,5 %	13,0 %

Tab. 20: Gegenüberstellung der Unfallschwere der relevanten Unfälle im Vergleich zu allen Unfällen

relevanten Unfälle im Vergleich zu allen Unfällen innerhalb der Untersuchungsbereiche näher betrachtet. Wie Tabelle 20 zeigt, ist der Anteil an allen Unfällen mit Personen- (Anteil $n_{U(P),ja} = 14,3\%$) und Sachschaden (Anteil $n_{U(S),ja} = 15,1\%$) der relevanten Unfälle mit dem Anteil der relevanten Unfälle an allen Unfällen (Anteil $n_{U,ja} = 15,0\%$) vergleichbar. Demnach ist aus den relevanten Unfällen keine besondere Schwere erkennbar.

Differenziert man die Betrachtung aller Einfahrten in die Einfahrten an zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen, erscheint das Ergebnis der Einfahrten an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen als markant. Der Anteil der relevanten Unfälle $n_{U,ja}$ an

allen Unfällen beträgt 21,2 %, der entsprechende Anteil der relevanten Unfälle mit Personenschaden $n_{U(P),ja}$ hingegen 32,4 %. Diese Auffälligkeit wird jedoch bei genauerem Hinsehen relativiert. Vier der elf relevanten Unfälle mit Personenschaden sind an einer Einfahrt (A 49, AS Baunatal-Mitte, FR Kassel) aufgetreten. Diese Einfahrt ist bereits bei den vorhergehenden Analysen durch einen sehr hohen Anteil relevanter Unfälle aufgefallen, die durch Schleudern im Bereich der Einfahrt hervorgerufen wurden. Der hohe Anteil von 32,4 % ist hier maßgeblich durch eine besonders auffällige Einfahrt beeinträchtigt, was bei der Interpretation der Werte berücksichtigt werden muss. Vor diesem Hintergrund kann im Hinblick auf die Unfallschwere kein signifikanter Hinweis auf Besonderheiten der relevanten Unfälle im Vergleich zur Unfallschwere aller aufgetretenen Unfälle festgestellt werden.

4.5.1 Bezug der relevanten Unfälle zur Verkehrsmenge in den Einfahrten

Zur Bewertung des Anteils der relevanten Unfälle (U_{ja} , die direkt oder indirekt aus dem Einfädungsvorgang entstanden sind) wird im Folgenden ein Bezug zu den Verkehrsmengen der Einfahrten im Vergleich zur Hauptfahrbahn hergestellt. Dazu werden jene 6 Einfahrten herangezogen, die sowohl im Kollektiv der mikroskopischen Unfallanalysen als auch im Kollektiv der empirischen Untersuchungen (vgl. Kapitel 5) enthalten sind.¹⁰

In Tabelle 21 sind die Verkehrsmengen der Rampen sowie jene der zugehörigen Richtungsfahrbahnen zusammengefasst. Die DTV-Werte der Rampen wurden aus den aktuellen Zählungen (rund 8 Stunden je Rampe) mithilfe eines ganglinienbasierten Verfahrens auf DTV-Werte hochgerechnet. Die Werte der Richtungsfahrbahnen stammen aus der SVZ 2010 für den jeweiligen Streckenabschnitt der Autobahn und wurden für die Richtungen halbiert. Aus der Mittelung der Verkehrsmengen über alle Einfahrten ergibt sich für die Einfädungsverkehrsstärke ein Anteil von rund 9 % an der Verkehrsmenge der Richtungsfahrbahn.

¹⁰ Aufgrund der besonderen Auffälligkeit der Einfahrt Baunatal-Mitte, Fahrtrichtung Nord an der A 49 wurde diese in die hier vorgenommene Betrachtung nicht einbezogen, um das Ergebnis nicht durch Ausreißer zu beeinflussen.

Die Auswertung der Unfallhergänge an den o. g. Einfahrten hat ergeben, dass hier rund 18 % der Unfälle im Bereich 2 direkt oder indirekt auf den Einfädungsvorgang zurückgeführt werden können („relevante Unfälle“).

Dieser Vergleich zeigt, dass die Einfahrenden Fahrzeuge etwa doppelt so häufig der Auslöser für Unfälle in Bereich der Einfahrt sind wie die Fahrzeuge auf der durchgehenden Hauptfahrbahn. Dieser Wert erscheint zunächst sehr hoch. Es ist jedoch zu beachten, dass die einfahrenden Fahrzeuge in jedem Fall einen Fahrstreifenwechsel im untersuchten Bereich vornehmen müssen, jene auf der Hauptfahrbahn hingegen nicht (im Regelfall nur geradeaus fahren). Allein hieraus ergibt sich ein höheres Konfliktpotenzial, welches den höheren Anteil der relevanten Unfälle erklärt.

Insgesamt ist die absolute Anzahl der relevanten Unfälle von $n_{U,ja} = 120$ verteilt auf 30 Einfahrten trotzdem als gering zu bewerten. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass sich die im Mittel vorhandenen vier Unfälle je Einfahrt auf einen 3-Jahres-Zeitraum verteilen. Aus den Untersuchungen kann daher kein besonderes Risiko an Einfahrten des Typs E1 abgeleitet werden.

Als letztes Beispiel zur Unterstreichung des Fazits sei hier noch die Einfahrt an der AS Ober-Mörlen an der A 5 in Fahrtrichtung Frankfurt am Main erwähnt. An dieser Einfahrt ist die größte Anzahl an Unfällen innerhalb des Untersuchungskollektivs der 30 Einfahrten passiert. Dies waren insgesamt 79 Unfälle in drei Jahren innerhalb der betrachteten Untersuchungsbereiche. Von diesen 79 Unfällen konnten durch die Analyse der Unfalltexte jedoch nur vier Unfälle als relevant im Bezug auf den Einfädungsvorgang bezeichnet werden.

Einfahrt	DTV _{Rampe} [Kfz/d]	DTV _{2, HFB} [Kfz/d]	DTV _R /DTV _{HFB} [%]
Seligenstadt FR Süd	4.043	36.400	11,19 %
Baunatal Mitte FR Süd	2.259	19.250	11,74 %
Rüsselsheim Ost FR Süd	3.282	42.400	7,74 %
Rüsselsheim Ost FR Nord	3.540	41.600	8,51 %
Duisburg-Wedau FR Süd	5.177	54.905	9,43 %
Duisburg-Wedau FR Nord	3.352	48.750	6,88 %
Summe:	21.683	243.305	8,91 %

Tab. 21: Verkehrsmengen auf den Rampen und der Richtungsfahrbahn an untersuchten Einfahrten

4.6 Analyse von Einfahrten mit ZRA

Wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben wurden zur Untersuchung von Einfahrten des Typs E1 auch Einfahrten mit Zuflussregelungsanlage (ZRA) ausgewählt (vgl. Tabelle 3). Da hier ein Vorher-Nachher-Vergleich des Unfallgeschehens durchgeführt werden soll, wurden aus Gründen der Datenverfügbarkeit die in Tabelle 23 dargestellten Untersuchungszeiträume gewählt. Die Jahre der Einrichtung der ZRA wurden jeweils ausgeklammert, da diese mit gewissen Baustellenzeiten belegt waren. Eine Kontrollgruppe stand für den Vorher-Nachher-Vergleich nicht zur Verfügung. Bei einzelnen Auswertungen, wo entsprechende Daten verfügbar waren, wurde trotzdem der Bezug zur generellen Entwicklung hergestellt.

Bei den Einfahrten an den AS Krefeld-Oppum und Moers-Kapellen konnten in den Vorher-Zeitraum nur zwei Untersuchungsjahre einbezogen werden, da die Unfalldaten des Jahres 2002 nicht mehr verfügbar waren. Dieser Unterschied wurde durch den Bezug auf die insgesamt vorhandenen Untersuchungsjahre berücksichtigt. Insgesamt konnten für diese Untersuchung Unfalldaten der Kategorien 1-4 zugrunde gelegt werden, da die Erfassung der Unfälle der Kategorie 5 in Nordrhein-Westfalen erst ab 2009 auf freiwilliger Basis erfolgte. Damit steht das in Tabelle 22 dargestellte Unfallkollektiv zur Verfügung. Wie die Bezugsgröße der Unfälle je Einfahrt und Untersuchungsjahr zeigt, ist zunächst kein Unterschied der Unfallhäufigkeiten vor und nach der Einrichtung der ZRA erkennbar.

	ohne ZRA	mit ZRA
Anzahl Einfahrten n_E	9	9
Untersuchungsjahre n_a	24	27
Anzahl Unfälle n_U	40	43
Unfälle je Einfahrt + Jahr $n_U/(n_E \cdot a)$	1,7	1,6

Tab. 22: Übersicht des Einfahrten- und Unfallkollektivs der Unfälle der Kategorien 1-4 an Einfahrten mit ZRA

Einfahrt mit ZRA	Verkehrsfreigabe	Vorher-Zeitraum	Nachher-Zeitraum
A 42 Gelsenkirchen-Heßler	30.05.2006	2003, 2004, 2005	2007, 2008, 2009
A 42 Gelsenkirchen-Bismarck	30.05.2006	2003, 2004, 2005	2007, 2008, 2009
A 52 Essen-Kettwig	27.04.2006	2003, 2004, 2005	2007, 2008, 2009
A 57 Krefeld-Oppum	18.10.2005	2003, 2004	2007, 2008, 2009
A 57 Moers-Kapellen, Ri. Süd	18.10.2005	2003, 2004	2007, 2008, 2009

Tab. 23: Kollektiv der untersuchten Einfahrten mit ZRA einschließlich der Untersuchungszeiträume

Zur weiteren Analyse wurden neben der Unfallschwere auch die Unfallarten, Unfalltypen und Unfallursachen (Definition von Ursachen 01 bis 80 nach FGSV, 2003) im Rahmen eines Vorher-Nachher-Vergleichs gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind in Bild 36 bis Bild 40 dargestellt. Bei der Betrachtung der Unfallkategorien fällt auf, dass der Anteil der Kategorie 3 nach der Einrichtung der ZRA deutlich abnimmt, im Gegenzug dazu steigt der Anteil der Unfälle mit Kategorie 4 im gleichen Zeitraum erkennbar an. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass die Unfallschwere nach Einrichtung der ZRA reduziert wurde.

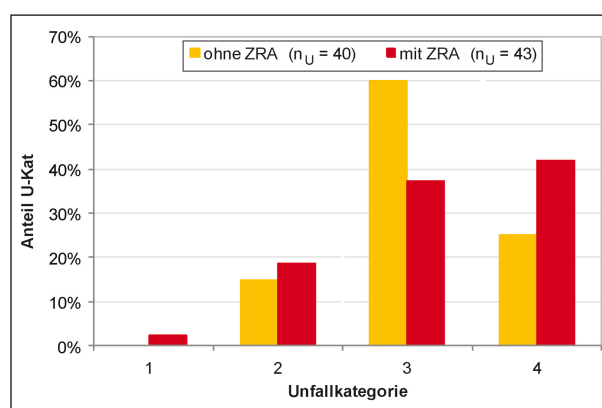


Bild 36: Verteilung der Unfälle an Einfahrten mit ZRA nach Kategorie, Vergleich vor und nach Einrichtung ZRA

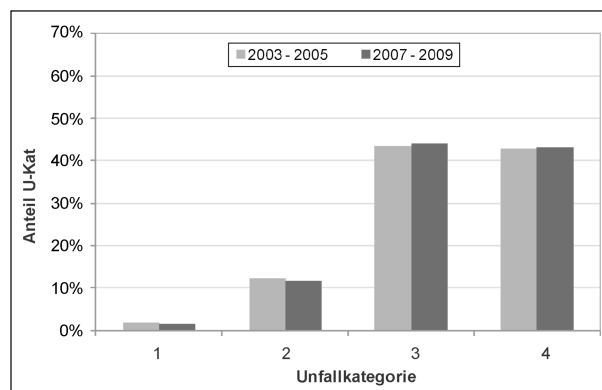


Bild 37: Verteilung der Unfälle auf BAB nach Kategorie, Vergleich der Zeiträume 2003-2005 mit 2007-2009 (Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 8 Reihe 7 für die entsprechenden Jahre)

Um diese Entwicklung als Auswirkung der ZRA bestätigen zu können, wurde die allgemeine Verteilung der Unfallkategorien auf Bundesautobahnen über die betrachteten Untersuchungsjahre ausgewertet (Bild 37). Wie auch bei den ZRA wurden hier zum Vergleich zwei Zeitintervalle gebildet. Diese entsprechen den Vorher-Nachher-Intervallen der ZRA-Untersuchung. Wie die Darstellung zeigt, ist bei den Unfällen auf Bundesautobahnen insgesamt

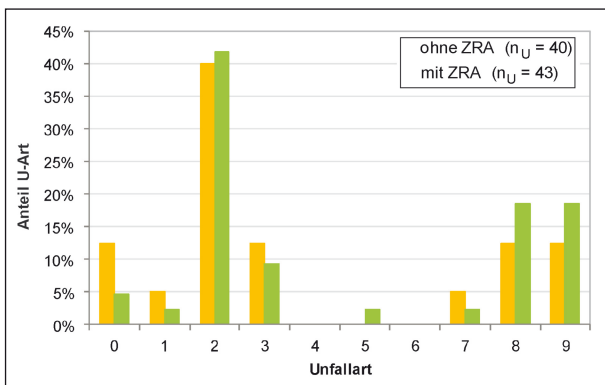


Bild 38: Verteilung der Unfälle an Einfahrten mit ZRA nach Unfallart, Vergleich vor und nach Einrichtung ZRA

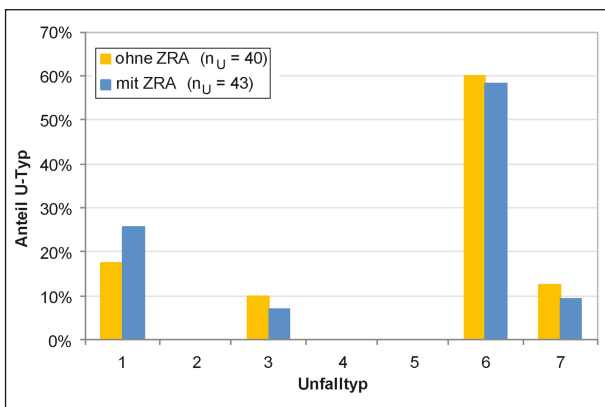


Bild 39: Verteilung der Unfälle an Einfahrten mit ZRA nach Unfalltyp, Vergleich vor und nach Einrichtung ZRA

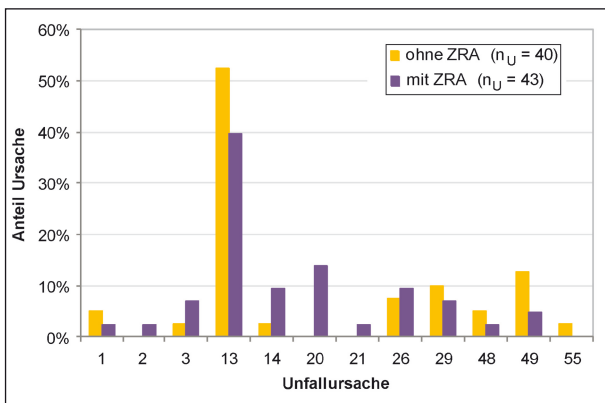


Bild 40: Verteilung der Unfälle an Einfahrten mit ZRA nach Ursache, Vergleich vor und nach Einrichtung ZRA

der Trend einer Verminderung der Unfallschwere nicht erkennbar. Dies bestätigt die These einer Verminderung der Unfallschwere in Einfahrten durch die Einrichtung einer ZRA.

Bei dem Vergleich der weiteren Unfallmerkmale (Bild 38 bis Bild 40) können keine systematischen Unterschiede zwischen den Unfallmerkmalen vor und nach der Einrichtung der ZRA beobachtet werden.

Analog zur makroskopischen Unfallanalyse der Einfahrten ohne ZRA (vgl. Kapitel 4.3) wurden auch hier die verschiedenen Unfallkenngrößen berechnet (Bild 41 bis Bild 44). Als Grundlage zur Kostenberechnung wurden die angepassten Unfallkostensätze zum Preisstand 2010 verwendet, da diese die Verunglücktenstruktur an Einfahrten besser abbilden als die pauschalen Kostensätze (vgl. Kapitel 4.3.4). Die gemeinsame Berücksichtigung der U(SP) und U(LV) als U(P) erscheint hier ebenfalls sinnvoll, da die Anzahl der Unfälle insgesamt eher klein ist und im Nachher-Zeitraum sogar ein Unfall der Kategorie 1 enthalten ist. Um eine zu

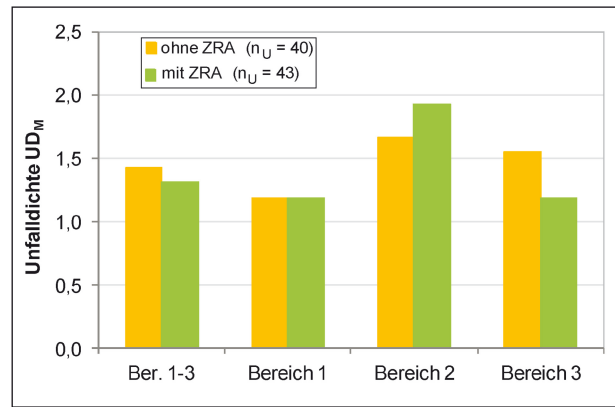


Bild 41: Veränderung der Unfalldichte an Einfahrten mit ZRA, Vergleich vor und nach Einrichtung ZRA

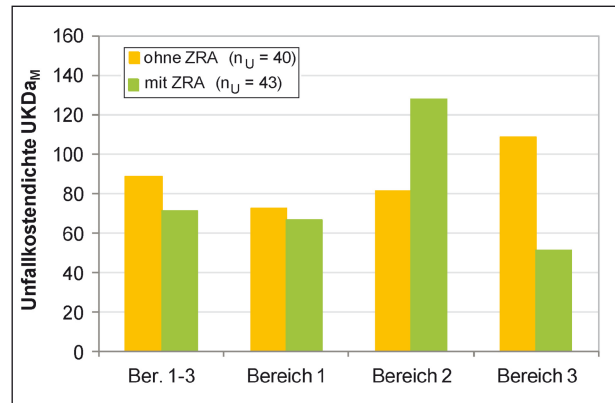


Bild 42: Veränderung der Unfallkostendichte an Einfahrten mit ZRA, Vergleich vor und nach Einrichtung ZRA

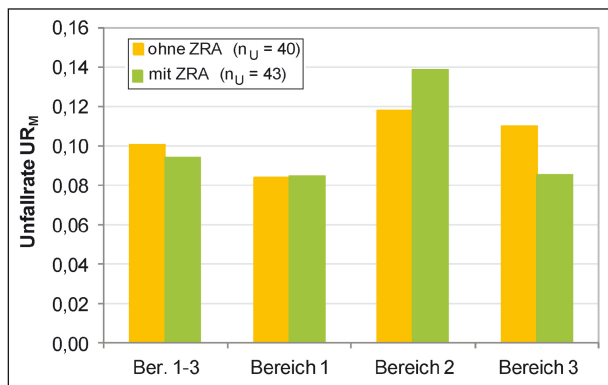


Bild 43: Veränderung der Unfallrate an Einfahrten mit ZRA, Vergleich vor und nach Einrichtung ZRA

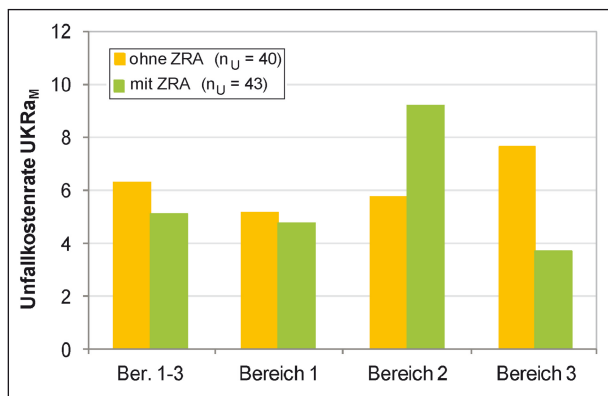


Bild 44: Veränderung der Unfallkostenrate an Einfahrten mit ZRA, Vergleich vor und nach Einrichtung ZRA

starke Verzerrung der Ergebnisse durch diesen Unfall zu vermeiden wurden die U(P) gemeinsam betrachtet. Die Ergebnisse der getrennten Berücksichtigung der Unfälle mit Personenschaden entsprechend der einzelnen Kategorien sind im Anhang C dargestellt.

Auch wenn die Entwicklung der Kenngrößen innerhalb der verschiedenen Untersuchungsbereiche unterschiedlich ist, kann bei allen vier Unfallkenngrößen bei der zusammengefassten Betrachtung der Bereiche 1 bis 3 im Nachher-Zeitraum ein Rückgang der Werte festgestellt werden. Dies kann ein Hinweis auf eine Verbesserung der Unfallsituation durch die Einrichtung der ZRA sein. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die vorliegenden Ergebnisse maßgeblich durch eine Einfahrt beeinflusst werden können.

Abschließend wurde die zeitliche Verteilung der Unfälle vor und nach der Einrichtung der ZRA untersucht. Da die ZRA in der Regel nicht dauerhaft aktiv sind, sondern üblicherweise zu den Spitzenverkehrszeiten automatisch eingeschaltet werden, können sich hieraus gegebenenfalls Erkenntnisse

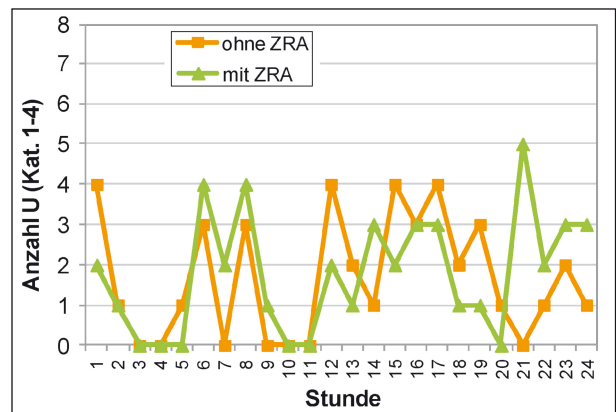


Bild 45: Zeitliche Verteilung der Unfälle über einen Tag, Vergleich vor und nach Einrichtung ZRA

ableiten lassen. In Bild 45 ist die zugehörige Ganglinie der Unfälle im Tagesverlauf dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass in den Nachmittagsspitzenstunden die grüne Linie unter der orangenen Linie verläuft, d. h., dass die Anzahl der Unfälle in den Nachmittagsspitzenstunden nach Einrichtung der ZRA zurückgegangen ist. Dies kann als Hinweis auf die positive Wirkung der ZRA gewertet werden.

Bei all diesen Analysen ist zu beachten, dass der eigentliche Zweck einer ZRA in der Harmonisierung des Verkehrsablaufs während der Spitzenstunden besteht. Das Ziel der Verbesserung der Verkehrssicherheit (Abschwächung der Unfallschwere) ist hier zunächst zweitrangig und stellt höchstens einen positiven Nebeneffekt dar.

4.7 Schlussfolgerungen

Die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Unfallanalysen an einstreifigen Einfahrten des Typs E1 können zu folgenden wesentlichen Ergebnissen zusammengefasst werden:

- Die Unfallkostenraten von Einfahrten des Typs E1 an zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen sind vergleichbar.
- Der Anteil der auf den Einfädungsvorgang zurückzuführenden Unfälle im Bereich der Einfahrt beträgt rund 15 %. Vergleiche mit der Einfädungsverkehrsstärke im Bezug zur Verkehrsmenge auf der Hauptfahrbahn an ausgewählten Einfahrten haben gezeigt, dass die Einfahrenden Fahrzeuge etwa doppelt so häufig der Auslöser für Unfälle im Bereich der Einfahrt sind wie jene Fahrzeuge auf der durchgehenden Hauptfahrbahn. Dies kann jedoch durch das höhere Kon-

fliktpotenzial des zwingenden Fahrstreifenwechsels beim Einfädelungsvorgang erklärt werden.

- Die absolute Anzahl an Unfällen, die in Zusammenhang mit dem Einfädelungsvorgang stehen (120 Unfälle an 30 Einfahrten innerhalb von 3 Jahren), ist trotzdem als gering zu bewerten. Aus den Untersuchungen kann daher kein besonderes Risiko an einstreifigen Einfahrten des Typs E1 abgeleitet werden.
- Die mittleren Unfallraten von Einfahrten des Typs E1 liegen in der Größenordnung anderer Elemente planfreier Knotenpunkte auf Autobahnen.
- Bei Einfahrten des Typs E1 an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen wurde die Tendenz festgestellt, dass bei längeren Einfahrbereichen die Unfallkostenrate im Untersuchungsbereich abnimmt.
- Als Auswirkungen von Zuflussregelungsanlagen konnten an den untersuchten 9 Einfahrten eine Verringerung der Unfallschwere sowie ein Rückgang der Unfallanzahl während der Nachmittags-Spitzenstunden im Einfahrbereich festgestellt werden.

Als Fazit dieser Ergebnisse werden die Einfahrten des Typs E1 aus Sicht der Unfallanalysen im Hinblick auf die Verkehrssicherheit als unkritisch eingestuft.

Trotzdem konnten aus den Unfallanalysen Hinweise gesammelt werden, welche Randbedingungen bzw. welche Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer sich positiv/negativ auf das Unfallgeschehen auswirken. Neben der oben beschriebenen Besonderheit der Einfahrten mit einer Länge der Einfahrtöffnung $l_2 < 200$ m (vgl. Kapitel 4.5) werden auch Erkenntnisse aus der Literatur (TRAPP, 1980) aufgegriffen. Daraus lassen sich folgende Thesen formulieren:

- Je höher die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen dem einfahrenden Fahrzeug und den Fahrzeugen auf der Hauptfahrbahn ist, umso größer ist das Konfliktpotenzial beim Einfädelungsvorgang.
- Je länger der zulässige Einfädelungsbereich ist, umso geringer ist das Konfliktpotenzial beim Einfädelungsvorgang.
- Bei hohen Verkehrsstärken auf der Hauptfahrbahn ist der Einfädelungsvorgang schwieriger als bei geringen Verkehrsstärken.

Um diese Thesen zu verifizieren werden umfangreiche empirische Untersuchungen zum Verhalten der Verkehrsteilnehmer im Bereich von Einfahrten des Typs E1 durchgeführt, die im nachfolgenden Kapitel 5 dargestellt werden. Hierbei liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen auf dem Spurwechselverhalten, der Weglückenverteilung¹¹ auf der Hauptfahrbahn sowie dem Verhältnis der gefahrenen Geschwindigkeiten im Einfahrbereich und auf der Hauptfahrbahn. Zusätzlich werden im Rahmen der empirischen Untersuchungen die Belange älterer Verkehrsteilnehmer näher betrachtet.

5 Empirische Analyse von Einfädelungsvorgängen

5.1 Erhebungsmethodik

Ein wesentliches Ziel der empirischen Studie lag in der Überprüfung, ob der Einfädelungsvorgang auf die Hauptfahrbahn einer Autobahn für Verkehrsteilnehmer allgemein, aber insbesondere auch für ältere Verkehrsteilnehmer Probleme bereitet. Daher sollten aufbauend auf den Erkenntnissen aus den Unfallanalysen (vgl. Kapitel 4) die Einfädelungsvorgänge empirisch untersucht werden.

Die empirische Studie zu Einfädelungsvorgängen sollte ursprünglich an 15 ausgewählten Einfahrten der Typen E1 erfolgen. Da die Genehmigung zur Messung an einer ausgewählten Einfahrt nicht erteilt wurde, sind lediglich 14 Einfahrten gemessen worden. Dafür wurden an 12 der Einfahrten, anstatt den vorgesehenen sechs, die Altersbestimmung der Fahrer in der Einfahrt durchgeführt.

Für die Messungen wurden über eine Dauer von je acht Stunden (2 x 4 Stunden) lokale Messdaten in mehreren Bereichen der Einfahrten erhoben. Dabei erfolgte die Erfassung hauptsächlich zu Zeiten der verkehrlichen Belastungsspitze, aber auch geringer belastete Zeiten sollten Berücksichtigung finden. Hierzu wurde eine Messmethodik entwickelt, die

¹¹ Eine Auswertung der Zeitlücken wurde ebenfalls vorgenommen. Da diese Ergebnisse jedoch von der Aussage her mit jenen der Weglückenverteilung übereinstimmen, werden diese im Folgenden nicht dargestellt. Den Weglücken wird hier der Vorrang gegeben, da dieses Merkmal von den Verkehrsteilnehmern bewusst wahrgenommen werden kann und die Grundlage für die Entscheidung eines Fahrstreifenwechsels darstellt.

sowohl die Erfassung von Kennwerten des Verkehrsablaufs über einen längeren Zeitraum als auch zu ausgewählten Spitzenzeiten mit entsprechend hohen Verkehrsstärken berücksichtigt.

Bei der Untersuchung verschiedener Einfahrten wurden zum einen Einfahrten betrachtet, die ein erhöhtes Unfallgeschehen aufweisen und somit aus verkehrssicherheitstechnischer Sicht auffällig sind. Als Grundlage dienen die Einfahrten, an denen auch eine mikroskopische Unfallanalyse durchgeführt wurde (vgl. Kapitel 4.5). Zum anderen sind Einfahrten von Interesse, die keine Unfallauffälligkeiten aufweisen und somit als Referenzgruppe dienen konnten.

Anhand der empirischen Untersuchungen sollen Einfädeltvorgänge unter Berücksichtigung verschiedener Parameter betrachtet werden. Im Einzelnen wurden folgende Parameter erfasst:

- Ausbildung der Einfahrten (z. B. die Länge der Einfädeltstreifen),
- verschiedene Verkehrsbelastungen auf der Rampe und der durchgehenden Richtungsfahrbahn,
- Geschwindigkeitsverläufe der Einzelfahrzeuge über die Einfahrt,
- relevante Weglücken auf der HFB,
- Einfluss der Sichtfelder sowie
- die Altersstruktur der einfahrenden Kollektive.

Die Verkehrsstärken und -zusammensetzungen sowie die relevanten Zeit- und Weglücken auf der Hauptfahrbahn wurden mittels eigenen Seitenradargeräten erfasst. Diese wurden an vorhandenen Brückenbauwerken im Vorfeld der Einfahrten montiert. Für jeden Fahrstreifen wird ein Radargerät verwendet. Die Sperrung von Fahrstreifen und infolgedessen das Einholen einer verkehrs-

rechtlichen Anordnung war bei der Verwendung dieser Geräte nicht notwendig, da die Geräte außerhalb der Fahrbahn am Brückengeländer montiert wurden (vgl. Bild 46).

Im Bereich der Einfahrt wurden die Geschwindigkeiten der einfahrenden Fahrzeuge über Seitenradargeräte erfasst. Hier wurden im Bereich der Einfahrt drei Erfassungsquerschnitte eingerichtet (vgl. Bild 46), die Hinweise über das Geschwindigkeitsverhalten der einfahrenden Fahrzeuge vor und während des Einfädeltprozesses zulassen. Im Einzelnen konnten durch Radargeräte folgende Kenngrößen erfasst und ausgewertet werden:

- stündliche Verkehrsstärke,
- Fahrzeugklassifizierung (Anteil Schwerverkehr),
- lokale Geschwindigkeiten sowie
- Zeitlücken (Umrechnung in Weglücken).

Zudem wurden alle Einfädeltvorgänge im Untersuchungszeitraum mittels Videotechnik erfasst und analysiert. Hierzu wurden ebenfalls vorhandene Brückenbauwerke im Vorfeld der Einfahrten genutzt. Auf diese Art und Weise ließ sich der Verkehrsablauf im Idealfall im gesamten Knotenpunktbereich aufzeichnen (vgl. Bild 46). Die Verkehrsmessungen wurden hinsichtlich relevanter Kenngrößen der Verkehrssicherheit (genutzte Weglücken, kritische Manöver u. Ä.) sowie in Bezug auf Aspekte des Verkehrsablaufs (Geschwindigkeit, Verkehrsstärke usw.) systematisch ausgewertet.

Um auch die Belange älterer Verkehrsteilnehmer zu berücksichtigen, hier insbesondere das Beschleunigungs- und Einfädeltverhalten, wurden zusätzliche Parameter erfasst. So wurde eine Videokamera im Bereich der Einfahrt derart postiert, dass anhand der Videobilder die Farbe der Fahrzeuge erkannt werden konnte. Parallel dazu wurde durch eine am Straßenrand postierte Person das Alter der

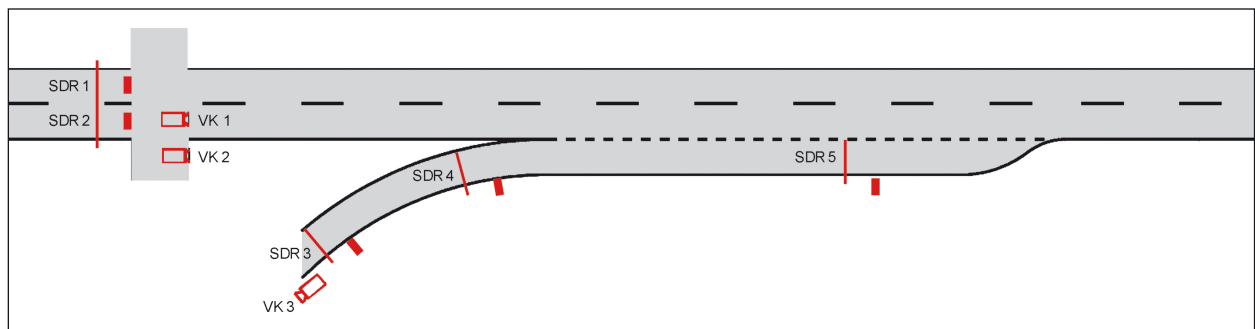


Bild 46: Messkonzept zur empirischen Erhebung (eigene Darstellung)

einfahrenden Fahrer geschätzt sowie die Farbe des Fahrzeugs festgehalten. Das aufgezeichnete Videomaterial wurde im Anschluss an die Aufnahme analysiert, sodass alle Einfahrenden einer Altersklasse zugeordnet werden und somit der Anteil an älteren Einfahrenden ermittelt werden konnte. Wurden in den Betrachtungen der Einfädungsvorgänge auffällige oder kritische Manöver beobachtet, konnte des Weiteren anhand einer genauen Analyse des Videomaterials ein Rückschluss auf das Alter des Fahrers vorgenommen werden.

5.2 Durchführung und Auswertung

5.2.1 Untersuchungskollektiv

In insgesamt 13 Einfahrten ist eine Analyse des Einfädungsvorganges durchgeführt worden. In der verbleibenden 14. Einfahrt konnte aufgrund der widrigen Messbedingungen keine Auswertung stattfinden. Unter den 13 ausgewerteten Einfahrten befinden sich jeweils eine Einfahrt an einer dreistreifigen Richtungsfahrbahn der DTV-Klassen „gering“, „durchschnittlich“ und „hoch“. Unter den Einfahrten an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen sind eine der DTV-Klasse „gering“, eine der DTV-Klasse „durchschnittlich“ und sieben der DTV-Klasse „hoch“ zuzuordnen. Zusätzlich wurde eine Einfahrt mit ZRA an einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn ausgewählt, die der DTV-Klasse „hoch“ zuzuordnen ist (vgl. Tabelle 24).

Die drei Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen sind in den AS Seligenstadt (FR Aschaffenburg), AS Duisburg-Wedau (FR Köln) und AS Duisburg-Wedau (FR Bundesgrenze).

Dabei liegt die Einfahrt an der AS Seligenstadt in Hessen an der A 3 innerhalb eines Ballungsraums. Der Knotenpunkt ist als „diagonales halbes Kleeblatt mit Ausfahrt nach Kreuzungsbauwerk“ ausgebildet. In Fahrtrichtung Aschaffenburg ist die Einfahrt als abwärts geführte direkte Rampe ausgebildet. Aufgrund der Unfallanalyse kann die Einfahrt mit einer Länge l_2 von 230 m als unfallunauffällig eingestuft werden. Die AS Duisburg-Wedau in Nordrhein-Westfalen ist keinem eindeutigem Anschlussstellensystem der RAA (2008) zuzuordnen. Die Anschlussstelle ist ähnlich einem symmetrischen halben Kleeblatt ausgeführt, besitzt jedoch einen zusätzlichen plangleichen Teilknotenpunkt für die Fahrtrichtung Köln. Die Rampe ist als abwärts geführte direkte Rampe ausgebaut. Die Länge l_2

beträgt 150 m und die Einfahrt ist als unfallauffällig zu bewerten. In Fahrtrichtung zur Bundesgrenze ist eine abwärts gerichtete indirekte Rampe vorhanden mit einer Länge l_2 von 180 m. Auch diese Einfahrt wird als unfallauffällig eingestuft. Beide Einfahrten befinden sich in einem Ballungsraum.

Bei den Einfahrten mit zwei Fahrstreifen auf der Richtungsfahrbahn befinden sich in der DTV-Klasse „gering“ die beiden Einfahrten Florstadt – Fahrtrichtung Hanauer Kreuz und Baunatal-Mitte Fahrtrichtung Gießen.

Die AS Florstadt außerhalb eines Ballungsraums an der A 45 in Hessen ist „als diagonales halbes Kleeblatt mit Ausfahrt nach Kreuzungsbauwerk“ ausgeführt. Die Einfahrt in Fahrtrichtung Hanauer Kreuz besitzt eine indirekte, aufwärts geführte Rampe. Die Länge l_2 beträgt 160 m und anhand der Unfallanalyse ist die Einfahrt als unfallauffällig zu betrachten.

Die AS Baunatal-Mitte liegt an der A 49 in Hessen außerhalb von Ballungsräumen. Direkt in der Nähe befindet sich jedoch das Werk der Volkswagen AG in Kassel. Es ist ein „symmetrisches halbes Kleeblatt“ mit abwärts geführten Rampen vorhanden. Die Fahrtrichtung Gießen besitzt eine indirekte Rampe und ist als unfallauffällig eingestuft. Die Länge des Einfädungsbereichs l_2 beträgt 110 m.

Die Fahrtrichtung Kassel der AS Baunatal-Mitte weist die DTV-Klasse „durchschnittlich“ bei zwei Fahrstreifen auf der Richtungsfahrbahn auf. Sie ist mit einer direkten Rampe und einer Länge l_2 von 150 m ausgestattet. Auch diese Fahrtrichtung ist als unfallauffällig bewertet.

Die restlichen acht Einfahrten befinden sich alle in der DTV-Klasse „hoch“ mit zwei Fahrstreifen auf der Hauptfahrbahn. Sieben davon sind ohne ZRA ausgeführt.

Die Einfahrt mit ZRA befindet sich in Nordrhein-Westfalen an der A 43 in der AS Bochum-Laer. Sie liegt innerhalb eines Ballungsraums in direkter Nähe zum Opel-Werk Bochum und ist als „symmetrisches halbes Kleeblatt“ mit abwärts geführten Rampen ausgeführt. Die ZRA ist in Fahrtrichtung Münster in einer direkten Rampe angebracht. Die Besonderheit der Einfahrt neben der ZRA ist ein zweistreifiger Zufahrtsbereich der kurz von der ZRA auf einen Fahrstreifen reduziert wird. Diese Einfahrt ist als nicht unfallauffällig eingestuft und besitzt eine Länge l_2 von 240 m.

An der AS Bochum-Laer in Fahrtrichtung Wuppertal befindet sich eine der restlichen sieben Einfahrten an einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn in der DTV-Klasse „hoch“ ohne ZRA. Diese ist als indirekte Rampe ausgeführt. Die Länge l_2 beträgt 100 m und die Einfahrt ist als nicht unfallauffällig eingeordnet.

Auch die beiden Einfahrten der AS Rüsselsheim-Ost gehören zu den untersuchten Einfahrten. Diese liegt an der A 67 innerhalb eines Ballungsraums in Hessen in der Nähe des Opel-Werkes Rüsselsheim. Sie ist als „diagonales halbes Kleeblatt mit Ausfahrt vor dem Kreuzungsbauwerk“, abwärts geführten indirekten Rampen ausgebaut. In Fahrtrichtung Darmstadt beträgt die Länge $l_2 = 205$ m und in Fahrtrichtung Mönchhof-Dreieck 145 m. Beide Einfahrten werden als unfallauffällig bewertet.

Die Einfahrten der AS Moers-Hülsdonk gehören ebenfalls in die genannte Gruppe. Sie liegt an der A 57 in Nordrhein-Westfalen innerhalb eines Ballungsraumes. Der Gesamtknotenpunkt ist als „diagonales halbes Kleeblatt mit Ausfahrt nach Kreuzungsbauwerk“ und abwärts geführten direkten Rampen ausgebaut. Beide Fahrtrichtungen sind als nicht unfallauffällig eingestuft und weisen jeweils eine Länge l_2 von 220 m auf.

Ebenfalls untersucht werden die AS Dinslaken-Nord und Mainz-Finthen. Hier wird jeweils nur eine Fahrtrichtung gemessen.

Die AS Dinslaken-Nord ist ein „diagonales halbes Kleeblatt mit Ausfahrt nach dem Kreuzungsbau-

werk“ und weist in Fahrtrichtung Köln eine abwärts gerichtete direkte Rampe auf. Die Einfahrt ist nicht unfallauffällig, bietet eine Länge l_2 von 200 m und befindet sich innerhalb eines Ballungsraums an der A 3 in Nordrhein-Westfalen.

In Rheinland-Pfalz befindet sich die AS Mainz-Finthen. Hier kreuzen sich die A 60 und die L 419. Die L 419 stellt die Haupteinfallsstraße in die Innenstadt von Mainz dar. Die Anschlussstelle ist als plangleicher Knotenpunkt in Form eines „Kleeblatts mit zügiger halbdirekter Führung von Links-über-eckströmen“ ausgebaut. Die direkte Rampe der Einfahrt in Fahrtrichtung Bingen ist abwärts geführt. Die Länge des Einfädelungsbereichs l_2 beträgt 150 m und die Unfalluntersuchung ergibt eine Einordnung in die Kategorie unfallunauffällig.

Alle untersuchten Einfahrten sind in Tabelle 24 zusammenfassend dargestellt.

5.2.2 Durchführung der Messungen

Der Messaufbau wurde nach der vorher beschriebenen Erhebungsmethodik durchgeführt (vgl. Bild 46). Die Hauptfahrstreifen wurden mithilfe von zwei bzw. drei Radargeräten überkopf gemessen. Diese wurden am nächstgelegenen Brückenbauwerk befestigt und erfassten entweder den rechten Hauptfahrstreifen (HFS) und den 1. bzw. 2. Überholfahrstreifen (ÜFS). Als zusätzliche Sicherheit für einen Geräteausfall wurde ein weiteres Gerät seitlich an der Hauptfahrbahn positioniert, welches anschließend den rechten HFS messen sollte. Um eine

BAB	Bundesland	Ausfahrt-Nr.	Einfahrt-Bez.	Fahrt-richtung	Fahrtrichtung-Bez.	Unfall-auffällig	2-streifig/ 3-streifig	DTV-Klasse	Rampe	l_2
3	NW	8	Dinslaken-Nord	Süd	Köln		2	hoch	direkt	200
3	NW	15	Duisburg-Wedau	Nord	Bundesgrenze NL	x	3	mittel	indirekt	180
3	NW	15	Duisburg-Wedau	Süd	Köln	x	3	hoch	direkt	150
3	HE	55	Seligenstadt	Süd	Aschaffenburg	x	3	niedrig	direkt	230
43	NW	18	Bochum-Laer	Nord	Münster		2	hoch	direkt	240
43	NW	18	Bochum-Laer	Süd	Wuppertal		2	hoch	indirekt	100
49	HE	9	Baunatal-Mitte	Nord	Kassel	x	2	mittel	direkt	150
49	HE	9	Baunatal-Mitte	Süd	Gießen	x	2	niedrig	indirekt	110
57	NW	9	Moers-Hülsdonk	Nord	Bundesgrenze NL		2	niedrig	direkt	220
57	NW	9	Moers-Hülsdonk	Süd	Köln		2	niedrig	direkt	220
60	RP	19	Mainz-Finthen	West	Bingen		2	hoch	direkt	150
67	HE	2	Rüsselsheim-Ost	Nord	Mönchhof-Dreieck	x	2	hoch	indirekt	145
67	HE	2	Rüsselsheim-Ost	Süd	Darmstadt	x	2	hoch	indirekt	205

Tab. 24: Übersicht über erfasste Einfahrten (Auswertung bei Florstadt nicht möglich)

Zuordnung der Radargeräte bezüglich des Messstandorts zu erleichtern, werden diese im Folgenden mit Rij abgekürzt. Die Indizes haben dabei folgende Bedeutung:

i = untersuchte Einfahrt:

- M = Moers-Hülsdonk FR Süd,
- MN = Moers-Hülsdonk FR Nord,
- R = Rüsselsheim-Ost FR Süd,
- RN = Rüsselsheim-Ost FR Nord.

j = Standort des Radargeräts:

- 1 = Rampenbereich der Einfahrt,
- 2 = Einfahrt Inselspitze,
- 3 = Einfädungsstreifen (Mitte),
- A = Überkopfgerät rechter HFS,
- B = Überkopfgerät 1. ÜFS,
- C = Rechter HFS durch Position Seite,
- D = Überkopfgerät 2. ÜFS.

Zusätzlich zu den Radargeräten erfolgte eine Videoaufzeichnung, welche die Einfädungsvorgänge während der Messung dokumentiert. Konnte der gesamte Einfahrbereich dabei nicht eingesehen werden (z. B. wegen Kurvenlage, Bepflanzung o. Ä.), wurde eine zweite Kamera installiert, um den gesamten Einfädungsvorgang zu erfassen.

Die Messungen wurden in zwei Messintervalle zu je 4 Stunden aufgeteilt. Dabei sollten jeweils morgendliche und nachmittägliche Spitzenstunden erfasst werden. Die Messzeiträume wurden daher wie folgt gewählt:

- t_1 = 7-11 Uhr (bzw. 8-12 Uhr),
- t_2 = 14-18 Uhr (bzw. 13-17 Uhr).

Trotz der festgelegten Zeiten liegen für die Radargeräte RiA-C größere Messzeiträume vor, da diese lange vor t_1 aufgebaut und nicht unmittelbar nach dem t_2 abgebaut wurden.

Innerhalb der Messintervalle t_1 und t_2 erfolgte jeweils in den mittleren zwei Stunden eine Zuordnung der einfahrenden Fahrzeuge in eine Altersgruppe. Dieses geschah durch eigenes Abschätzen des Alters einer Person vor Ort und wurde in Mess-

büchern festgehalten. Durch das schnelle Beobachten und Entscheiden vor Ort war eine relativ grobe Einteilung der Altersklassen unumgänglich. Diese wurden daher wie folgt gewählt:

1. ≤ 30 Jahre,
2. 30-60 Jahre,
3. ≥ 60 Jahre.

Damit eine Zuordnung auf die Ergebnisse der Videodetektion der Einfahrt erfolgen konnte, wurden zusätzlich Farbe und Fahrzeugtyp dokumentiert. Um die daraus entstehenden Fehlerquellen zu minimieren, wurde während des manuellen Aufschriebs eine weitere Kamera installiert, welche die Reihenfolge der einfahrenden Fahrzeuge erkennbar machen sollte.

In einem ersten Schritt zur Auswertung der Daten werden die Radardaten durch Sichtung der zugehörigen Videodaten plausibilisiert und erweitert. So werden falsche oder doppelte Messwerte der Radargeräte aussortiert. Das einfahrende Fahrzeug wird über die erfasste Fahrzeuglänge und durch eine visuelle Überprüfung in die Kategorie „Lkw“ oder „Pkw“ eingeordnet. Zusätzlich wird der Einfädungsvorgang wie folgt bewertet: Es wird erfasst, ob im Einfädungsvorgang eine Interaktion mit einem anderen Fahrzeug (Unterscheidung von Pkw und Lkw) stattfindet. Eine Interaktion bedeutet, dass das einfahrende Fahrzeug oder ein auf der Hauptfahrbahn befindliches Fahrzeug sein Fahrverhalten aufgrund des Einfädungsvorganges verändern muss. Des Weiteren wird die Einfahrt ihrer Länge nach in Viertel unterteilt. Jedes einfahrende Fahrzeug wird dem Viertel zugeordnet, in dem es den Wechsel auf die Hauptfahrbahn vollzogen hat. Wenn das Fahrzeug bereits über die durchgezogene Linie vor der Einfahröffnung gefahren ist, wird dies ebenso dokumentiert, wie ein Weiterfahren auf dem Seitenstreifen.

Des Weiteren werden die erfassten Daten des Hauptfahrstreifens als Verkehrsstärke im zugehörigen 5-min-Intervall und als Geschwindigkeit auf dem rechten Fahrstreifen zu jedem Einfädungsvorgang zugeordnet. Zuletzt wird die Einordnung in die verschiedenen Altersgruppen hinzugefügt, was den zu untersuchenden Datensatz vervollständigt.

5.3 Erkenntnisse

Die Auswertung des Datenmaterials soll durch eine vergleichende Gegenüberstellung der unterschiedlichen Ergebnisse der Einfahrten erfolgen. Daher werden für jeden angesprochenen Aspekt zunächst beispielhaft die Resultate der unfallunfallfälligen Einfahrt Moers-Hülsdonk, FR Süd beschrieben und anschließend die äquivalenten Ergebnisse der unfallauffälligen Einfahrt Rüsselsheim-Ost, FR Süd betrachtet. Die nachfolgend genauer beschriebene, dreistufige Auswertung soll sodann mit einer Erläuterung zusätzlicher Aspekte enden, welche bei der Sichtung des Videomaterials aufgefallen sind. Die detaillierten Ergebnisse aller untersuchten Einfahrten wurden in Form von Steckbriefen zusammengefasst und sind im Anhang D dargestellt. Eine Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse mit eventuellen Auffälligkeiten wird im Kapitel 5.3.2 durchgeführt.

Zunächst wird für alle Einfahrten eine verkehrstechnische Analyse durchgeführt. Dabei wird das Verkehrsgeschehen der Hauptfahrbahn oberhalb der Einfahrt betrachtet. Hier soll ein erster Eindruck über die Unterschiede in den prägnanten Kenngrößen wie etwa Verkehrsaufkommen oder mittlere Geschwindigkeit entstehen. Anschließend sollen die entsprechenden Werte für die Einfahrten ermittelt werden.

Es folgt die Betrachtung des Einfahrverhaltens. Dabei werden Divergenzen bezüglich des überfahrenen Viertels des Einfädelungstreifens festgehalten. Eine notwendige Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern wird dabei zusätzlich berücksichtigt. Die Auswertung wird weiterhin den Verkehrsfluss der Hauptfahrbahn in die Auswertung mit einbeziehen. Dazu werden die beiden Zeitintervalle t_1 und t_2 separat voneinander betrachtet, um einen gestörten Verkehrsfluss von einem ungestörten trennen zu können. Auch hier folgt eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse

Der dritte Schritt der Auswertung soll das altersspezifische Fahrverhalten analysieren. Dabei werden einige der vorausgegangenen Analysen in

kleinem Maßstab auf die Altersgruppen angewendet.

Zum Ende werden die Ergebnisse aller Einfahrten zusammengetragen und gegenübergestellt.

5.3.1 Verkehrstechnische Analyse

Hauptfahrbahn

Für die Auswertung der verkehrstechnischen Analyse auf den Hauptfahrestreifen sollen im Folgenden jeweils die zwei beschriebenen Messzeiträume t_1 (7-11) und t_2 (14-18) unterschieden werden. Zuvor werden prägnante Daten aus einem Betrachtungszeitraum von 24 Stunden erhoben. Alle in der Auswertung angegebenen Geschwindigkeiten sind gewichtete Werte aus den jeweils betrachteten Messintervallen, die sich nach Gleichung 11 berechnen:

$$v_{\text{mittel}} = \frac{\sum v_i q_i}{\sum q_i} \quad \text{Gl. 11}$$

• Moers-Hülsdonk Fahrtrichtung Süd

Die Auswertung der aggregierten Daten der Radargeräte RMA und RMC (jeweils rechter Hauptfahrestreifen) zeigten unterschiedliche Ergebnisse. RMA erfasste deutlich geringere Verkehrsstärken als das Gerät RMC. Um das tägliche Verkehrsaufkommen des Querschnitts und den SV-Anteil zu ermitteln, werden daher die Werte aus RMB und RMC verwendet. Da das Gerät RMB allerdings nur 22 Stunden durchgehend eingeschaltet war, werden für die fehlenden zwei Stunden die Verkehrsstärke und der SV-Anteil der vorangegangenen Stunde angenommen. Die Betrachtung der Ganglinie für die erfassten 22 Stunden rechtfertigt eine solche Annahme, da nicht mit einem plötzlichen Abbruch des Verkehrsaufkommens zu rechnen ist. (vgl. Bild 47). Auch bei dem Abbau der Messgeräte vor Ort konnte während der fehlenden zwei Stunden keine signifikante Änderung des Verkehrs beobachtet werden, was die oben beschriebene Annahme zusätzlich plausibel macht. Die Ergebnisse der Auswertung können der Tabelle 25 entnommen werden.

Messort	Zeitraum	Kfz	Lkw	SV	Messort	Zeitraum	Fzg angepasst	Kfz	Lkw angepasst	Lkw	SV
HFS Seite	24 h	12544	3713	29.60	Querschnitt	24	HFS Seite	12544	3713	3742	12.29
	7-11	3409	1129	33.12			ÜFS	17895	30439	29	
	17-18	3341	872	26.10		7-11	HFS Seite	3409	9106	1129	1136
ÜFS	22 h	16635	29	0.17			ÜFS	5697		7	
	7-11	5697	7	0.12		14-18	HFS Seite	3341	7922	872	880
14-18	4581	8	0.17	ÜFS			4581		8		

Tab. 25: Verkehrsaufkommen Moers-Hülsdonk FR Süd

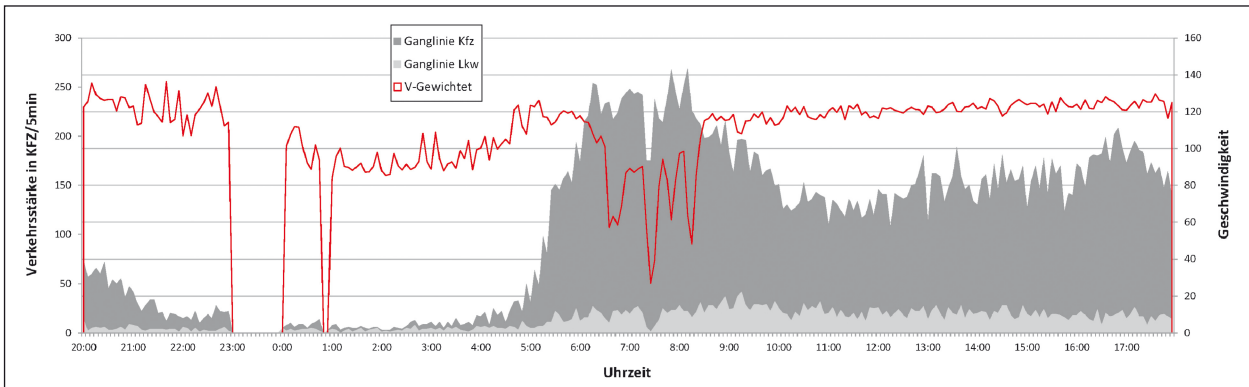


Bild 47: Ganglinie Moers-Hülsdonk FR Süd

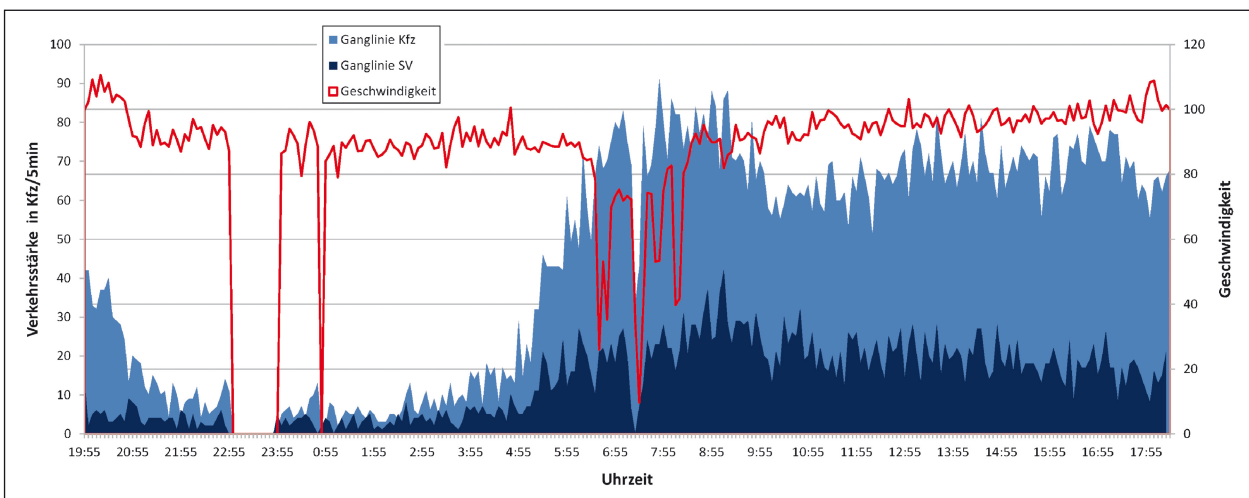


Bild 48: Verkehrsstärke rechter Hauptfahrstreifen Moers-Hülsdonk FR Süd

Der ermittelte tägliche Verkehr ist mit 30.439 Kfz/24h annähernd so hoch wie der von der BASt 2011 veröffentlichte DTV von 31.403 Kfz/24h. Auch der SV-Anteil von 12,29 % ist vergleichbar mit den von der BASt erfassten 13 % (BASt, 2012). Dies lässt eine repräsentative Aussagekraft der Datensätze vermuten. Der Querschnitt ist in den morgendlichen Spitzenstunden t_1 um etwa 300 Kfz/h höher belastet als im Messzeitraum t_2 . Auch der SV-Anteil zeigt einen leichten Zuwachs um etwas mehr als 1 %. Allgemein kann daher festgestellt werden, dass sich der Schwerverkehr hauptsächlich auf den rechten Hauptfahrstreifen verteilt. Nur 0,78 % der in 24 Stunden erfassten Lkw nutzten den Überholfahrstreifen. Das gültige Überholverbot auf dieser Strecke wird demnach überwiegend befolgt.

Bei der Betrachtung der Ganglinie können Aussagen über die Auslastung des Querschnitts getroffen werden und auf welche Weise der Verkehrsfluss dadurch beeinträchtigt wird (vgl. Bild 47). Es ist zu erkennen, dass im Zeitraum zwischen sechs

und neun Uhr der Verkehr wiederholt ins Stocken gerät. Dabei scheint eine Belastung von etwa 220 Kfz/5min die obere Grenze einer problemlos zu bewältigenden Verkehrsstärke darzustellen. Steigt diese über den Grenzwert hinaus an, nimmt die Verkehrsdichte entsprechend zu, die Kfz sind in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt und die Geschwindigkeit wird geringer. Der Off-Peak zwischen sieben und acht Uhr deutet auf Geschwindigkeiten unter 10-20 km/h hin. Unterhalb dieser Geschwindigkeiten sind die verwendeten Radargeräte nicht in der Lage fehlerfreie Messungen durchzuführen. Da auch die Ganglinien für SV und Kfz parallel zurückgehen wird an dieser Stelle ein Stau oder ein stauähnliches Ereignis aufgetreten sein, was durch die Auswertung der Videodetektion bestätigt wird.

Im Messzeitraum t_1 wurden im Mittel 189 Kfz/5min erfasst. Das dabei erfasste Maximum liegt bei 278 Kfz/5min. Die gewichtete mittlere Geschwindigkeit berechnet sich zu 98 km/h. Wie oben bereits beschrieben, sind die Verkehrsstärken im zweiten Messzeitraum t_2 niedriger. Hier wurde eine mittlere

Verkehrsstärke von 164 Kfz/5min erfasst. Das zugehörige Maximum liegt bei 213 Kfz/5min. Durch die niedrigeren Verkehrsstärken konnten entsprechend höhere Geschwindigkeiten realisiert werden. Diese liegen im Mittel bei 123 km/h.

Bei der Betrachtung der Sicherheit in der Einfahrt ist vor allem der rechte Hauptfahrstreifen von Bedeutung, auf welchen die Fahrzeuge beim Einfädungsvorgang auffahren. Daher wird dieser separat betrachtet (vgl. Bild 48). Aus den erfassten Daten ergeben sich im Messzeitraum t_1 71 Kfz/5min. Ein Maximum ist im Bereich zwischen 7:30 und 8:30 zu erkennen. Dieses liegt bei 91 Kfz/5min. Durch das hohe Verkehrsaufkommen werden lediglich mittlere Geschwindigkeiten von 80 km/h erreicht. Im zweiten Messzeitraum t_2 liegen diese allerdings schon bei 97 km/h, obwohl keine deutliche Reduktion des Verkehrsaufkommens zu erkennen ist. Mit 69 Kfz/5min. liegt der Wert nur knapp unterhalb der ermittelten Werte aus t_1 . Die maximale Verkehrsstärke ist mit 81 Kfz/5min in t_2 deutlich niedriger.

• **Rüsselsheim-Ost Fahrtrichtung Süd**

Die Auswertung der aggregierten Daten für die Anschlussstelle Rüsselsheim-Ost FR Süd konnte mithilfe der verwendeten Geräte RRA und RRB (Überkopferäte) erfolgen. Die durch RRC ermittelten Daten weisen eine geringere Qualität auf und wurden deswegen nicht in die Auswertung mit ein-

bezogen. Beide Überkopferäte wurden über 24 Stunden in Betrieb genommen, sodass eine weitere Anpassung des Datensatzes nicht notwendig ist, um den täglichen Verkehr zu ermitteln. Die Ergebnisse sind in Tabelle 26 dargestellt. Die BASt ermittelte 2011 für den beschriebenen Autobahnabschnitt einen DTV von 44.425 Kfz/24h und einen SV-Anteil von 5,3 % (BASt, 2012).

Die in der Messung erfasste Verkehrsstärke von 43.535 Kfz/24h zeigt nur eine geringe Abweichung von diesem Wert. In Kombination mit dem nur geringfügig niedrigeren SV-Anteil von 4,63 % kann auch für diesen Datensatz eine Plausibilität angenommen werden. Die größten Verkehrsstärken werden im Messzeitraum t_2 erreicht. Innerhalb der 4 Stunden wurden ca. 930 Kfz/h mehr erfasst, als im Messzeitraum t_2 . Der Schwerverkehr verteilt sich zu 15,3 % auf den Überholfahrstreifen. Die Ganglinie des Verkehrsaufkommens ist in Bild 49 dargestellt.

Die Ganglinie zeigt ebenfalls, dass beim Erreichen einer gewissen Verkehrsstärke der Verkehrsfluss eingeschränkt wird. Die Obergrenze scheint hier zwischen 300-350 Kfz pro fünf Minuten zu liegen. Ab dieser Grenze werden Einbrüche im Geschwindigkeitsverlauf beobachtet.

Die Verkehrsstärken im Messzeitraum t_1 sind im Durchschnitt mit 217 Kfz/5min deutlich kleiner als die

Messort	Zeitraum	Kfz	Lkw	SV	Messort	Zeitraum	KKfz angepasst	Kfz	Lkw angepasst	Lkw	SV
ÜFS	24 h	22631	283	1.25	Querschnitt FR SÜD	24	HFS	20904	1705	2014	4.63
	7-11	5858	59	1.01			ÜFS	22631	309		
	14-18	7463	119	1.59		7-11	HFS	4571	514	573	5.49
HFS	24 h	20904	1563	7.48			ÜFS	5858	59		
	7-11	4571	514	11.24		14-18	HFS	6711	364	483	3.41
	14-18	6711	364	5.42			ÜFS	7463	119		

Tab. 26: Verkehrsaufkommen Rüsselsheim-Ost FR Süd

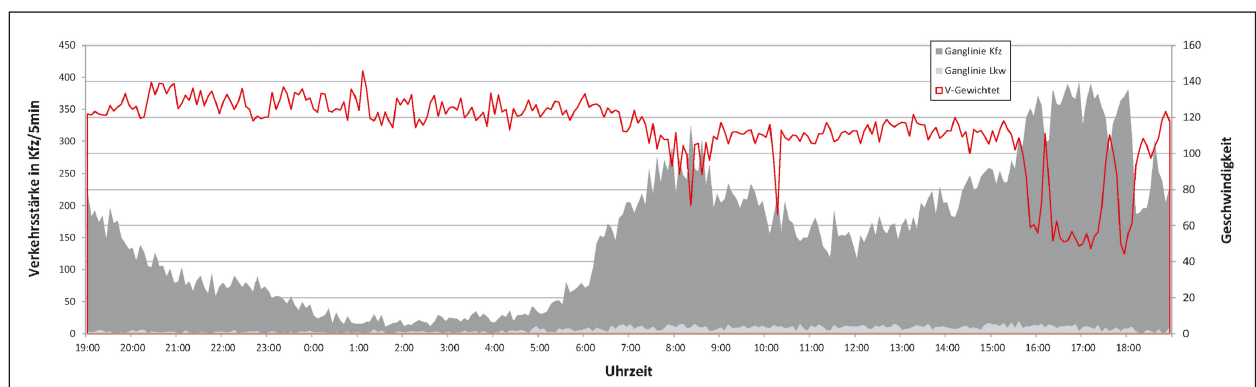


Bild 49: Ganglinie Rüsselsheim-Ost FR Süd

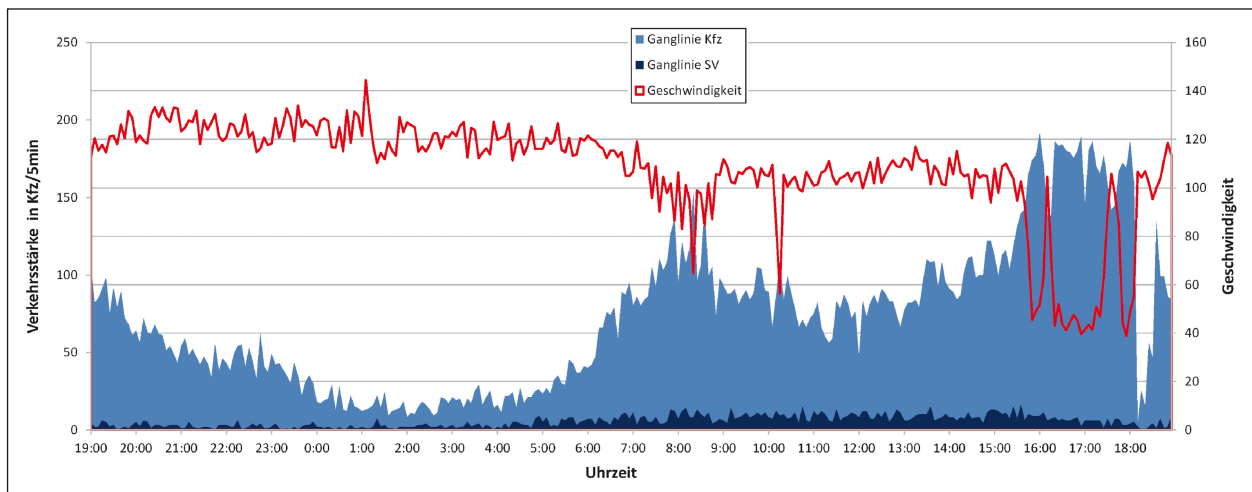


Bild 50: Ganglinie rechter HFS Rüsselsheim-Ost FR Süd

im Messzeitraum t_2 ermittelten 301 Kfz/5min. Auch die maximale Verkehrsstärke ist mit 401 Kfz/5min höher als die in t_1 erfassten 324 Kfz/5min. Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten betragen 98 km/h in t_1 und 106 km/h in t_2 .

Ein völliger Zusammenbruch des Verkehrs ist anhand der Ganglinie nicht zu erkennen. Die mittleren Geschwindigkeiten des Querschnitts sinken nicht unter 50 km/h. Jedoch ist zwischen 10 und 11 Uhr ein Rückgang der Geschwindigkeit ohne Zunahme der Verkehrsstärke zu beobachten. Nach Sichtung des Videomaterials konnte ein starkes Regenereignis als Ursache der verminderten Geschwindigkeiten identifiziert werden.

Die maximale Verkehrsstärke wird auf dem Hauptfahrstreifen ebenfalls im Messzeitraum t_2 beobachtet (vgl. Bild 50). Sie erreicht 191 Kfz/5min. Im Mittel liegt sie in diesem Intervall bei 141 Kfz/5min. Die dabei erreichte mittlere Geschwindigkeit beträgt 74 km/h. Im Messintervall t_1 ist diese mit 99 km/h deutlich höher. Das liegt wohl nicht zuletzt an der geringen mittleren Verkehrsstärke von 95 Kfz/5min und einem Maximum von 153 Kfz/5min.

Nach ca. 18 Uhr ist ein plötzlicher Abbruch des Verkehrsaufkommens zu beobachten. Da dieses Ereignis in der Ganglinie des gesamten Querschnitts nicht zu beobachten ist, kann ein entstandener Stau an dieser Stelle als Erklärung ausgeschlossen werden. Eine Ursache für diesen Ausschlag zu nennen wäre rein spekulativ, da es hierfür mehrere, verschiedene Gründe geben kann (z. B. Messfehler bedingt durch die Witterung oder Blockierung der Fahrbahn durch ein liegengebliebenes Fahrzeug).

Einfahrten

• Moers-Hülsdonk Fahrtrichtung Süd

Für die Analyse des Verkehrsgeschehens in den Einfahrten werden die zuvor plausibilisierten Daten ebenfalls in der bereits bekannten Form grafisch dargestellt (Bild 51 und Bild 52).

Die hier dargestellten Geschwindigkeitsverläufe zeigen eindeutige Parallelen zu jenen auf der Hauptfahrbahn. Jedoch müssen die einzelnen Radarstandorte dabei unterschieden werden. Während das Gerät RM1 unabhängig von der Verkehrsstärke der Hauptfahrbahn relativ konstante Geschwindigkeiten misst (im Mittel 57 km/h), werden bei den übrigen Messstandorten Einbrüche des Geschwindigkeitsverlaufs beobachtet wenn die Belastungsgrenze der Hauptfahrbahn überschritten wird. In Moers-Hülsdonk, FR Süd wird dieses in den morgendlichen Spitzenstunden beobachtet (t_1). Die Geschwindigkeit des Standorts R2 fällt dabei oft unter jene des Standorts R1. Hier scheint in dem Bereich zwischen R1 und R2 bereits ein Bremsvorgang stattgefunden zu haben.

Da es keine signifikante Änderung der Verkehrsstärke im Einfahrbereich zu diesen Zeiten gibt, ist die Ursache wahrscheinlich die frühe visuelle Wahrnehmung des stockenden Verkehrsgeschehens auf der Hauptfahrbahn, auf die früh mit der Verminderung der Geschwindigkeit reagiert wird. Im Mittel wird für t_1 am Gerät RM2 eine Geschwindigkeit von 63 km/h gemessen. Bei Erreichen des RM3 ist eine Geschwindigkeit von 88 km/h gemessen worden. Im zweiten Messzeitraum t_2 ergibt sich für RM2 eine Geschwindigkeit von 67 km/h und für RM3 99 km/h.

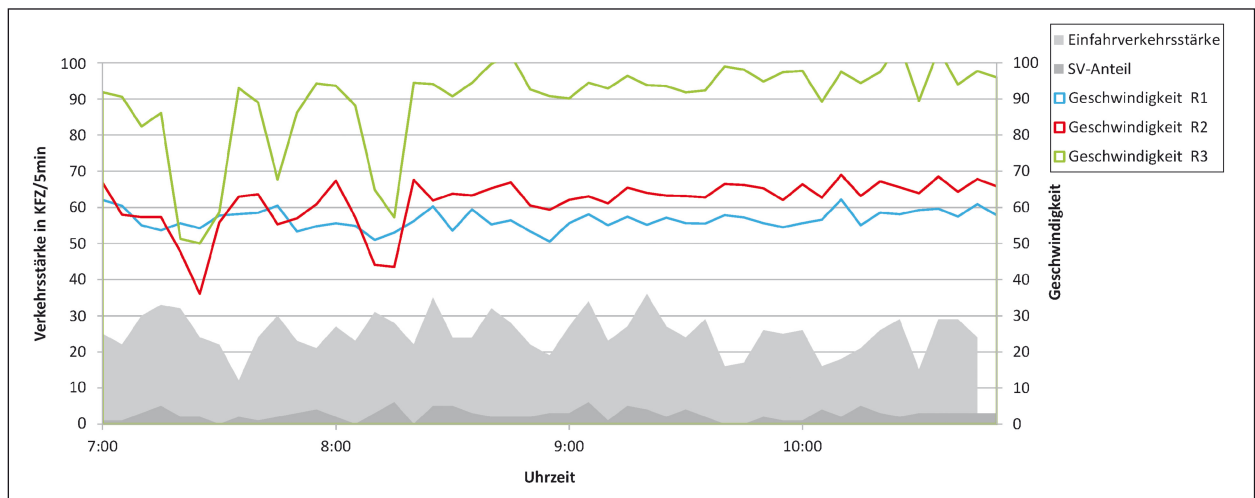


Bild 51: Verkehrsstärke in der Einfahrt Moers-Hülsdonk FR Süd 7-11 Uhr

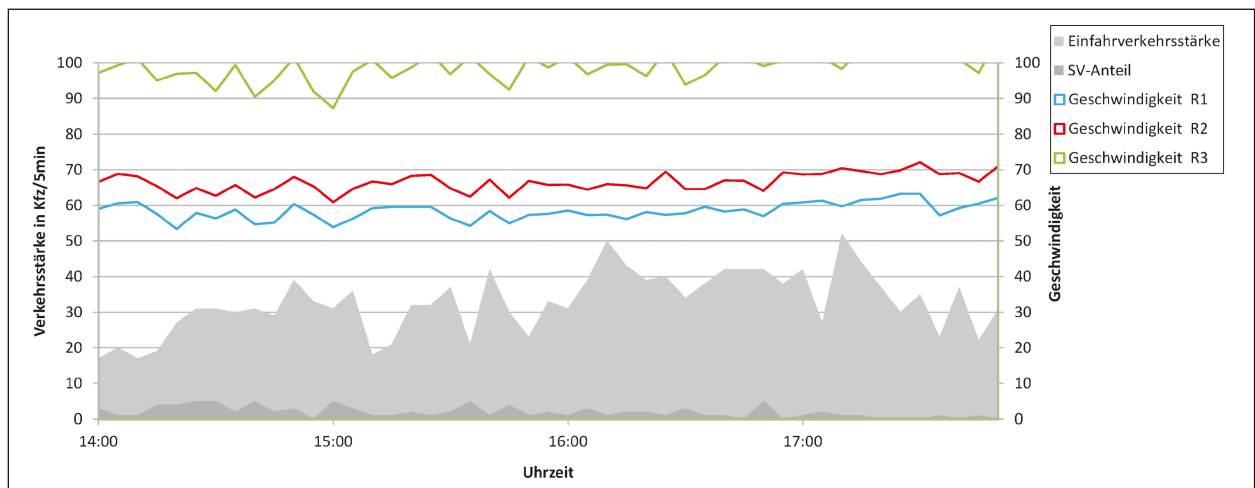


Bild 52: Verkehrsstärke in der Einfahrt Moers-Hülsdonk FR Süd 14-18 Uhr

Allgemein kann zwischen der Verkehrsstärke in der Einfahrt und der gemessenen Geschwindigkeit kein Zusammenhang hergestellt werden. Auch der SV-Anteil der Einfahrt ist für den Geschwindigkeitsverlauf unerheblich. Die größte gemessene Verkehrsstärke innerhalb der Einfahrt liegt bei 36 Kfz/5min im Messzeitraum t_1 . In diesem ergibt sich ein Mittelwert von 25 Kfz/5min. In t_2 liegt dieser bei 32 Kfz/5min und die maximale Verkehrsstärke bei 52 Kfz/5min.

• Rüsselsheim-Ost Fahrtrichtung Süd

Da sich der Aufbau des R3 Gerätes in den beiden betrachteten Einfahrten im Abstand zur Inselspitze um 13 Meter unterscheidet, werden die Daten der Einfahrt Rüsselsheim um einen weiteren Geschwindigkeitsverlauf ergänzt. Dieser stellt die approximierten Geschwindigkeit dar, welche im gleichen Abstand zur Inselspitze wie in Moers

vermutlich gefahren worden wäre. Hierzu wird die Beschleunigung zwischen R2 und R3 berechnet. Nimmt man diese als konstant für die folgenden 13 m an, ergibt sich die neue Geschwindigkeit über folgende Gleichungen:

$$v_4 = v_3 \pm \frac{s}{\sqrt{2 \cdot s}} \cdot a \quad \text{Gl. 12}$$

$$a = \frac{v_3^2 - v_2^2}{2 \cdot s} \quad \text{Gl. 13}$$

Bei einer negativen Beschleunigung muss der zweite Teil der Gleichung 12 subtrahiert werden, da eine Beschleunigungsreduktion stattgefunden hat. Die Ergebnisse können Bild 53 und Bild 54 entnommen werden.

Ähnlich wie bei der Einfahrt Moers-Hülsdonk FR Süd wird auch hier eine Beeinflussung der Hauptfahrbahn auf die Geschwindigkeit im Einfädungs-

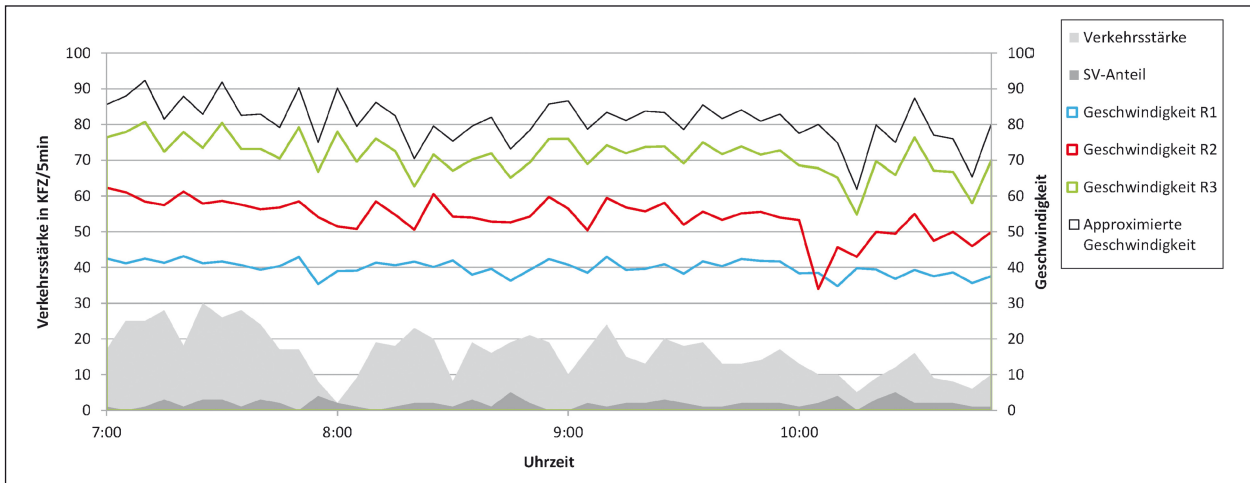


Bild 53: Verkehrsstärke in der Einfahrt Rüsselsheim-Ost FR Süd 7-11 Uhr

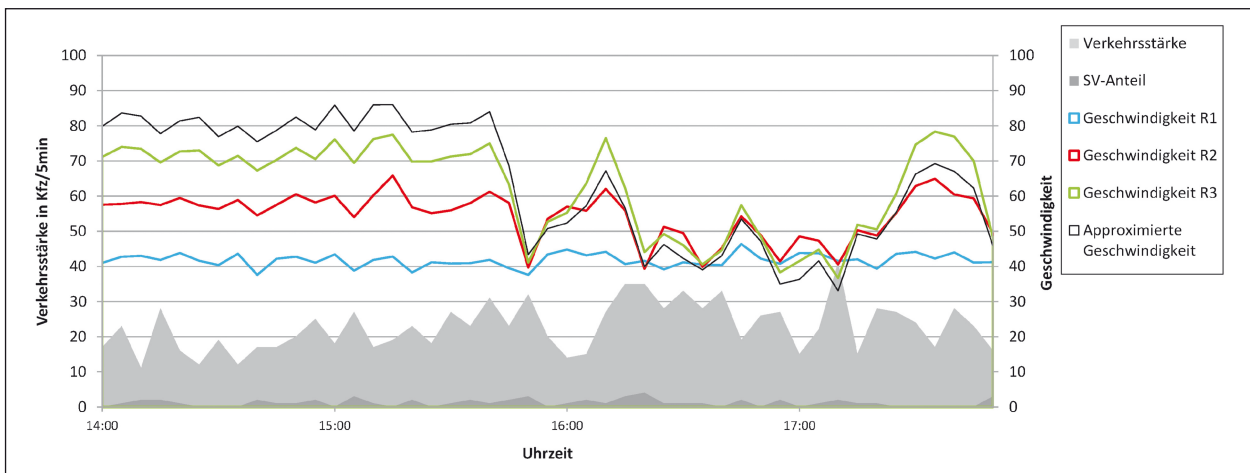


Bild 54: Verkehrsstärke in der Einfahrt Rüsselsheim-Ost FR Süd 14-18 Uhr

bereich (also R2 und R3) beobachtet. Die Geschwindigkeit im Rampenbereich ist auch hier davon unbeeinflusst (R1). Sie liegt in beiden Messzeiträumen bei ca. 40 km/h.

Da die Spitzenstunden des Hauptfahrstreifens im Nachmittagsbereich liegen, wurde für das Messintervall t_2 eine geringere Geschwindigkeit gemessen. Ein Zusammenhang mit den Verkehrsstärken der Einfahrt selbst ist nicht zu vermuten.

Im Bereich nach 17:00 Uhr gibt es lediglich eine Stelle bei der die Verkehrsstärke einen maximalen Wert erreicht und die Geschwindigkeit gleichzeitig sinkt. Aus der Ganglinie des Hauptverkehrsstreifens wird aber ersichtlich, dass sich gerade an dieser Stelle die Fahrzeuge auf den Hauptfahrstreifen nur sehr langsam bewegen und die Verkehrsstärken entsprechend hoch sind. Daher und aufgrund der Einmaligkeit des Ereignisses wird an dieser Stelle eher eine Reaktion auf die Verkehrssituation

der Hauptfahrbahn als Ursache für die Reduktion der Geschwindigkeiten angenommen. Es konnten weiterhin ebenfalls Bremsvorgänge im Bereich zwischen R1 und R2 identifiziert werden.

Im Messzeitraum t_2 wurden die größten Verkehrsstärken gemessen. Sie liegen durchschnittlich bei 23 Kfz/5min, mit dem dazugehörigen Maximum von 41 Kfz/5min. Die dabei realisierten Geschwindigkeiten liegen für RM2 bei 53 km/h und RMäüqi. bei 61 km/h. Dem gegenüber stehen die ermittelten Geschwindigkeiten aus t_1 . Hier ergibt sich für RM2 eine Geschwindigkeit von 56 km/h und für RMäüqi von 81 km/h. Die dabei beobachtete mittlere Verkehrsstärke liegt bei 15 Kfz/5min mit einem Maximum bei 30 Kfz/5min.

Die Ganglinie beider Einfahrten weisen jeweils einen Messzeitraum auf, in dem die Verkehrsstärke deutlich erhöht ist. In Moers sogar soweit, dass es zu zähflüssigem bis stehenden Verkehr kommt. Die

Messintervalle repräsentieren somit jeweils prägnante Verkehrssituationen: hochbelastet und normalbelastet. Die folgenden Auswertungen sollen daher weiterhin getrennt für beide Messintervalle durchgeführt werden. Allerdings ist zu beachten, dass sich die hochbelasteten Zeiträume für Moers in t_1 und für Rüsselsheim in t_2 darstellen. Aus diesem Grund werden der Einfachheit halber die Indizes ($i = 1$ u. 2) der Messintervalle durch „h“ für Hochbelastet und „n“ für Normalbelastet ersetzt, also t_{1h} und t_{1n} . Die folgenden Auswertungen sollen dementsprechend einen Bezug auf vergleichbare Verkehrssituationen nehmen.

Einfahrverhalten

Die zuvor ausgewertete Unfallstatistik zeigte einen klaren Trend für die Bestimmung der räumlichen Zuordnung von Problembereichen der Einfahrten. Eine erhöhte Unfallkostendichte wurde für beide Einfahrten im Bereich 2 ermittelt, der den Bereich der Einfädelungsstrecke darstellt. Ergänzend hierzu ergab die makroskopische Unfallanalyse nicht nur eine hohe Häufigkeit der Unfallvorkommen im Längsverkehr (Unfalltyp 6), sondern auch eine große Anzahl von Unfällen mit sich in seitlich gleicher Richtung bewegendes Fahrzeugen (Unfallart 3). Diese drei Faktoren rechtfertigen eine nähere Betrachtung des Einfädelungsbereichs und die Auswertung des Fahrverhaltens.

Hierzu werden die Einfädelungsbereiche in Viertel unterteilt. Die Aufnahmen der Videodetektion werden ausgewertet und den jeweiligen Fahrzeugen der überfahrenen Viertel zugeordnet. Obwohl der Einfädelungsabschnitt in vier Abschnitte unterteilt wird, werden insgesamt sechs Bereiche unterschieden. Dabei stellen die Bereiche 0 und 5 die Bereiche vor und hinter dem Einfädelungstreifen dar, in welchen die durchgezogenen Linien überfahren

werden mussten. Bild 55 erläutert die Bezeichnung und Lage der untersuchten Bereiche.

Analog wird diese Unterteilung auch für die Einfahrt Moers-Hülsdonk, FR Süd durchgeführt. Dort sind die Viertelabschnitte aufgrund der längeren Einfädelungsstrecke allerdings 58 m lang anstatt den oben dargestellten 37,5 m für Rüsselsheim.

Allgemein ist zu beachten, dass in der Auswertung der Videodetektion aufgrund gestörter Sichtverhältnisse durch starke Regenereignisse und durch auf dem Hauptfahrstreifen fahrende Fahrzeuge, welche die Sicht auf den Einfädelungstreifen verdecken, die exakte Einhaltung der Bereichslängen nicht gegeben ist. Anhand von prägnanten Punkten deren Länge bekannt sind, wie Leitpfosten und Fahrbahnmarkierungen, konnten diese Bereiche abgeschätzt werden.

Ein weiterer Analysepunkt bezieht die Interaktionen mit Fahrzeugen des Hauptfahrstreifens in die Auswertung mit ein. Interaktionen finden immer dann statt, wenn sich ein auf dem Einfädelungstreifen befindliches Fahrzeug unmittelbar neben einem Fahrzeug des Hauptfahrstreifens befindet, sodass eine Reaktion eines der beiden Verkehrsteilnehmer erfolgen muss, um den Einfädelungsvorgang möglich zu machen. Zusätzlich wird versucht die Art der Reaktion auf die Interaktion der Einfahrenden herauszufiltern.

Die freizuhaltenden Sichtfelder nach RAA, 2008 haben bei der Auffahrt auf eine Autobahn besondere Bedeutung. Nur wenn diese Felder auch wirklich freigehalten sind, kann der auffahrende Fahrer die Situation auf der Hauptfahrbahn richtig einschätzen und sein Handeln darauf ausrichten. Welche Sichtfelder freizuhalten sind, wird in den Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA, 2008) beschrieben (vgl. Bild 56).

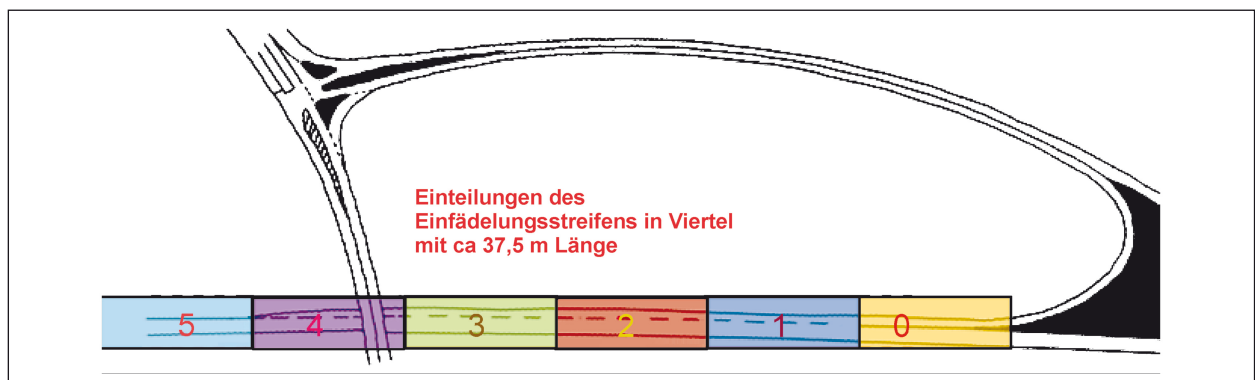


Bild 55: Einteilung der Einfädelungsstrecke in Viertel

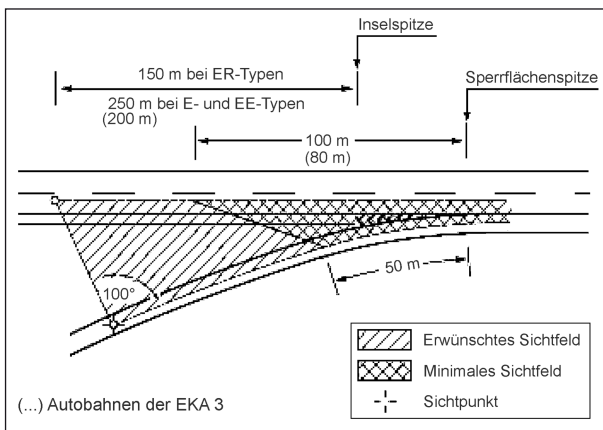


Bild 56: Freizuhaltende Sichtfelder an Einfahrten an BAB (RAA, 2008)

• Moers-Hülsdonk Fahrtrichtung Süd

Zunächst werden die Ergebnisse des beobachteten Auffahrverhaltens beschrieben. Dabei wird unterschieden in Interaktion mit Lkw, Interaktion mit Pkw und „Keine“ Interaktion. Die Ergebnisse können Bild 58 entnommen werden.

Die Nettoweglücken, die den Einfahrenden dabei zur Verfügung standen sind in Bild 57 dargestellt.

Demnach liegt der Median aller Nettoweglücken zur hochbelasteten Zeit vormittags bei 63,83 m und zur niedriger belasteten Zeit nachmittags bei 103,28 m. Demzufolge ist, wie erwartet, die Nettoweglücke, die den Einfahrenden auf der Hauptfahrbahn zur Verfügung steht geringer, wenn der Querschnitt höher belastet ist. Jedoch ist der Wert nicht unbedingt kritisch zu sehen. Die Nettoweglücken sind für einen überwiegenden Teil der Einfahrenden noch groß genug, um bequem auf die Hauptfahrbahn einfahren zu können.

Auf die wesentlichen Merkmale des beobachteten Fahrstreifenwechsellverhaltens wird im Folgenden näher eingegangen. Hierfür wird die in Bild 55 dargestellte Aufteilung der Einfädelungsstrecke zugrunde gelegt. Da ein Fahrstreifenwechsel innerhalb der Bereiche 0 und 5 verboten ist, werden hier eher kleine Anteile erwartet. Fahrstreifenwechsel innerhalb dieser Bereiche würden ein gewisses Gefährdungspotenzial darstellen. Bei Wechseln im Bereich 1 könnte die Geschwindigkeit des einfahrenden Fahrzeugs noch nicht ausreichend hoch sein, um einen ungefährdeten Fahrstreifenwechsel vornehmen zu können (abhängig von der Länge der durchgezogenen Linie ab der Trenninselspitze). Ein Wechsel in den Bereichen 2 bis 4 würde demnach als optimal erachtet.

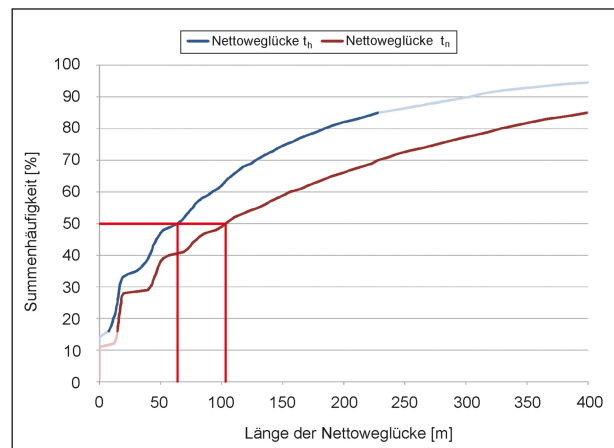


Bild 57: Summenkurve der Nettoweglücken auf dem rechten Hauptfahrstreifen in Moers-Hülsdonk FR Süd

Im Vergleich der unterschiedlichen Messzeiträume fällt für den Fall „Keine“ Interaktion kein größerer Unterschied auf. Die letzten drei Viertel werden beinahe zu gleichen Teilen genutzt und nicht mal ein Prozent ist über die durchgezogene Linie im fünften Bereich hinweg fahren. Ein kleiner Unterschied zeigt sich lediglich im 1. Bereich. Dort wurden im Zeitraum mit niedrigerem Verkehrsaufkommen etwa doppelt so häufig Fahrstreifenwechsel beobachtet als im Zeitraum mit höherem Verkehrsaufkommen. Dennoch ist der Anteil der Wechsel im ersten Bereich weit unter 10 %. Ein Wechsel im Abschnitt Null wurde während der Beobachtungen in Moers-Hülsdonk, FR Süd überhaupt nicht festgestellt.

Kommt es zu einer Interaktion mit Lkw oder Pkw zeigt sich in der Einfahrt vermehrt, dass die zur Verfügung stehende Länge der Einfädelungsstrecke genutzt wird und erst im vierten Viertel der Wechsel erfolgt. In t_n entspricht dieses jeweils einem Anteil von über 60 % und in t_n sogar über 70 %. Bei einer Interaktion mit einem Lkw sind in beiden Messzeiträumen nur wenig Wechsel im zweiten Viertel beobachtet worden. Bei einer Interaktion mit einem Pkw dagegen werden in Bereich 2 fast doppelt so viele Wechsel während t_n gegenüber t_n beobachtet. Eine mögliche Erklärung dafür könnten die auf der Hauptfahrbahn gefahrenen niedrigeren Geschwindigkeiten sein, die mit einer hohen Verkehrsdichte einhergehen. Durch den langsameren Verkehrsfluss können Einfahrlücken über einen längeren Zeitraum beobachtet werden, da auch die Geschwindigkeit der Einfahrenden entsprechend langsamer ist.

Ein weiterer Hinweis darauf, dass die Geschwindigkeit einen Einfluss auf die Wahl des Einfahr-

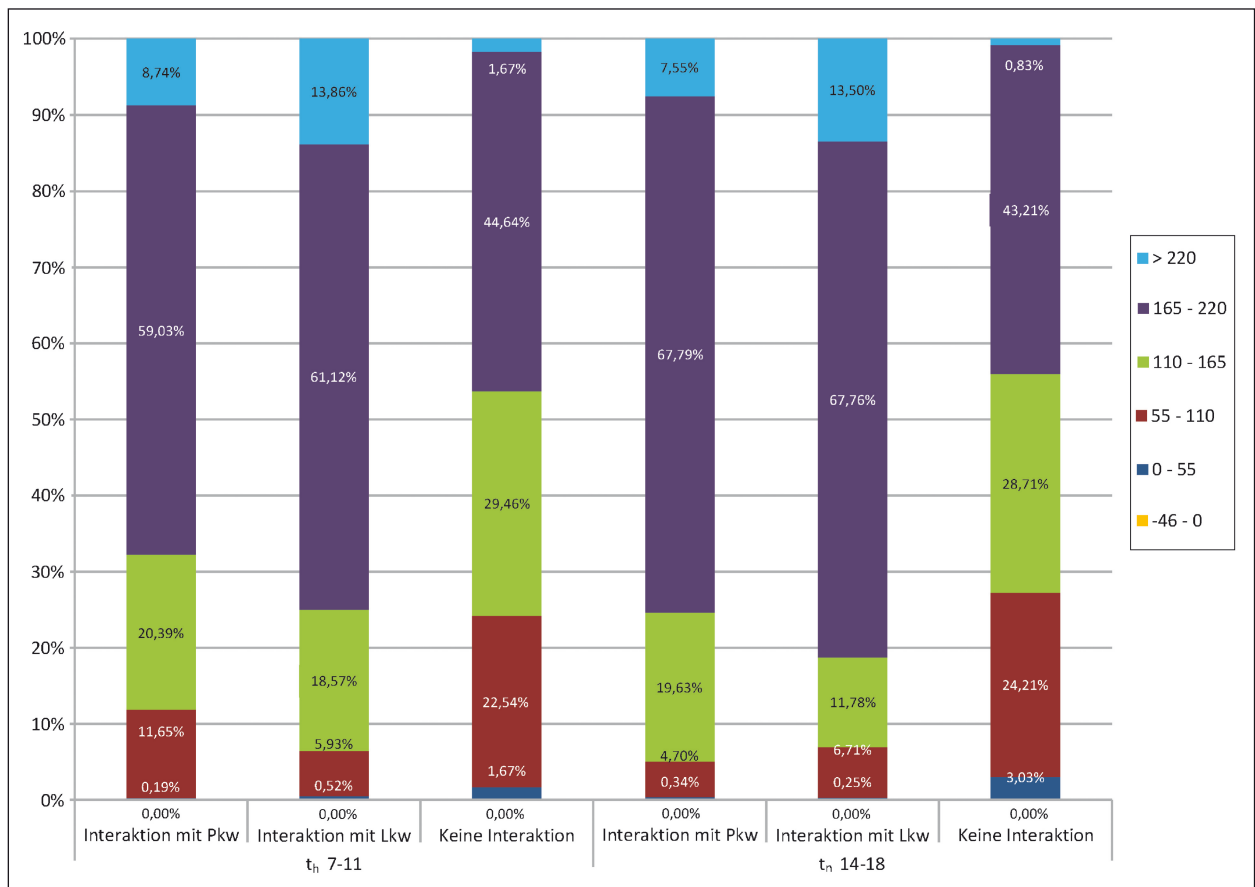


Bild 58: Auffahrverhalten und Interaktion Moers-Hülsdonk FR Süd, Angabe des Fahrstreifenwechsels bezogen auf die Länge des Einfädelungstreifens in [m]

bereichs hat zeigt sich in den um etwa 10 % höheren Anteilen des Bereichs vier in t_n an einer stattfindenden Interaktion. Da in t_n durch die niedrigeren Verkehrsstärken höhere Geschwindigkeiten auf der Hauptfahrbahn realisiert werden, wird bei angepasster Geschwindigkeit des Einfahrenden während der Reaktion auf die vorhandene Situation eine größere Strecke zurückgelegt. Dies könnte den nochmals erhöhten Anteil der Wechsel im Bereich Vier erklären.

Wie eine solche Reaktion aussehen kann, soll in der folgenden Gegenüberstellung nur auf den einfahrenden Fahrzeugführer beschränkt werden, da dieses anhand der Daten berechnet werden kann.

Die Analyse des Verhaltens der sich auf dem Hauptfahrstreifen befindlichen Fahrzeuge könnte nur auf Grundlage der Videoanalyse erfolgen. Die dabei aus der großen Datenmenge auch spekulativ ermittelten Erkenntnisse rechtfertigen nicht den Aufwand der Betrachtung jedes einzelnen Fahrzeugs. Es werden logischerweise nur Fahrzeuge betrachtet, bei denen eine Interaktion stattgefunden



Bild 59: Einfahrt in Moers-Hülsdonk FR Süd (eigenes Foto)

hat. Aus der Differenz der Geschwindigkeiten der einzelnen Messstandorte können Rückschlüsse über das Beschleunigungsverhalten gewonnen werden. Bei einem negativen Ergebnis kann von einer Bremsung ausgegangen werden. Es sollen vier Reaktionen unterschieden werden. Ein Bremsvorgang in den ersten beiden Vierteln wird angenommen bei einer negativen Differenz zwischen $Ri2$ und $Ri1$. Ist diese zwischen $Ri3$ und $Ri2$ zu

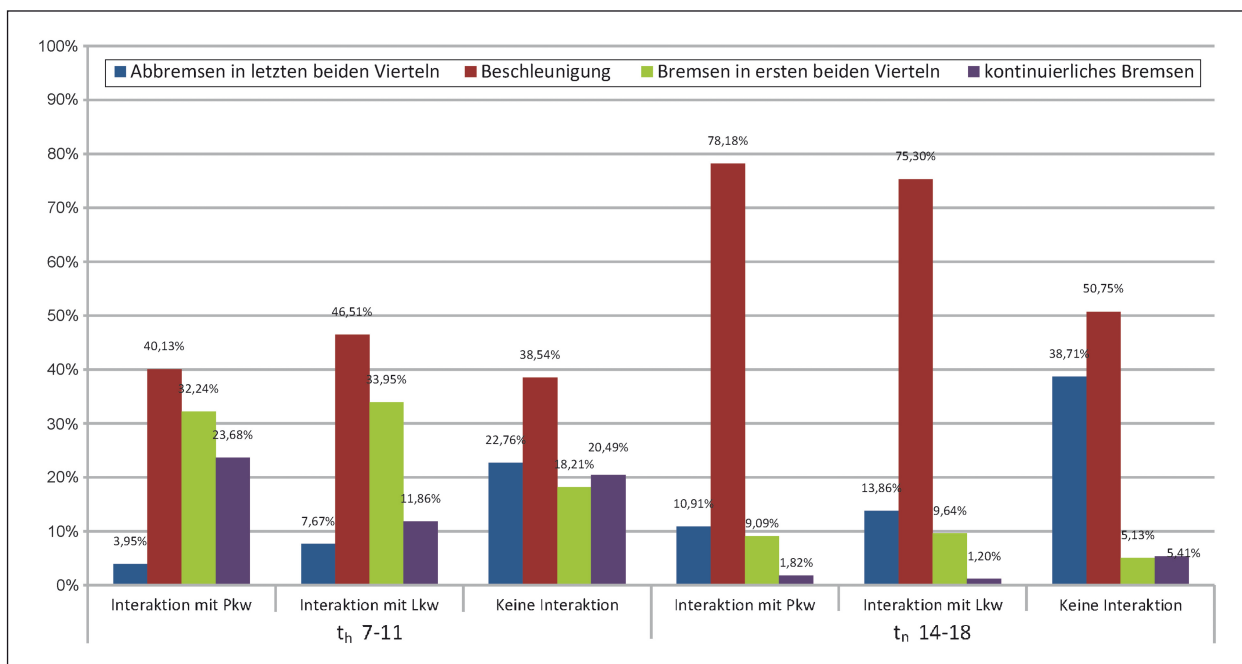


Bild 60: Reaktion der Einfahrenden in Moers-Hülsdonk FR Süd

finden wird von einem Bremsvorgang in den letzten beiden Vierteln ausgegangen. Sollten beide Differenzen negativ sein kann von einer kontinuierlichen Bremsung über die ganze Einfädungsstrecke ausgegangen werden. Sind alle Differenzen positiv wird als Reaktion eine Beschleunigung vermutet. Die Ergebnisse sind dem Bild 60 zu entnehmen.

Aus den ermittelten Ergebnissen können erst einmal keine besonderen Erkenntnisse gewonnen werden. Der größte Teil reagiert auf eine Interaktion mit einer Beschleunigung. Sollte eine Bremsung stattfinden geschieht dies als unmittelbare Maßnahme auf die eingetretene Situation in den ersten beiden Vierteln. Eine Anpassung an den eventuell ins Stocken geratenen Verkehr auf dem Hauptfahrstreifen könnte eine Ursache hierfür darstellen, da die Geschwindigkeit im Einfahrbereich dem entsprechend mit einem Bremsvorgang an den Verkehrsfluss angepasst werden muss.

Die Sichtfelder in der Einfahrt sind frei. Auch wenn in der Fläche zwischen Aus- und Einfahrt Bewuchs ist, ist dieser so zurückgeschnitten, dass er kein Hindernis für die Sicht darstellt.

• Rüsselsheim-Ost Fahrtrichtung Süd

Die Nettoweglücken, die den Einfahrenden an der Anschlussstelle Rüsselsheim-Ost in Fahrtrichtung Süd zur Verfügung stehen, sind in Bild 61 dargestellt.

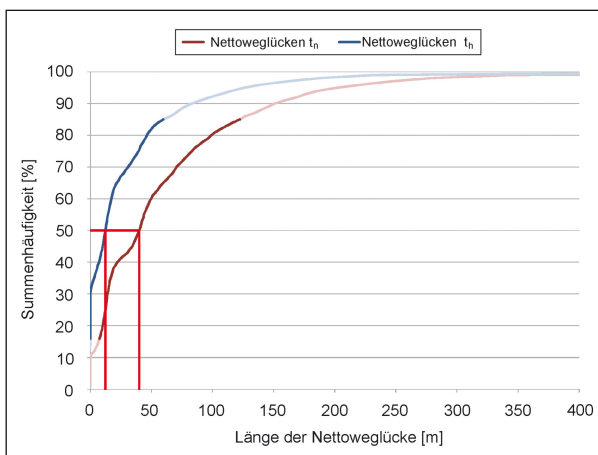


Bild 61: Summenkurve der Nettoweglücken auf dem rechten Hauptfahrstreifen in Rüsselsheim-Ost FR Süd

Der Median aller Nettoweglücken liegt hier zur hochbelasteten Zeit vormittags lediglich bei 12,17 m und zur niedriger belasteten Zeit nachmittags bei 39,94 m. Demzufolge ist auch hier, wie erwartet, die Nettoweglücke, die den Einfahrenden auf der Hauptfahrbahn zur Verfügung steht, geringer, wenn der Querschnitt höher belastet ist. Die Werte liegen hier auch in einem kritischen Bereich. Somit sind die Nettoweglücken erheblich kleiner als der gesetzlich vorgeschriebene Mindestabstand der Fahrzeuge. Der rechte Hauptfahrstreifen wird hier mit sehr kleinen Abständen befahren, was den Einfahrenden die Möglichkeit eines Wechsels vom Beschleunigungsstreifen auf die Hauptfahrbahn erschwert.

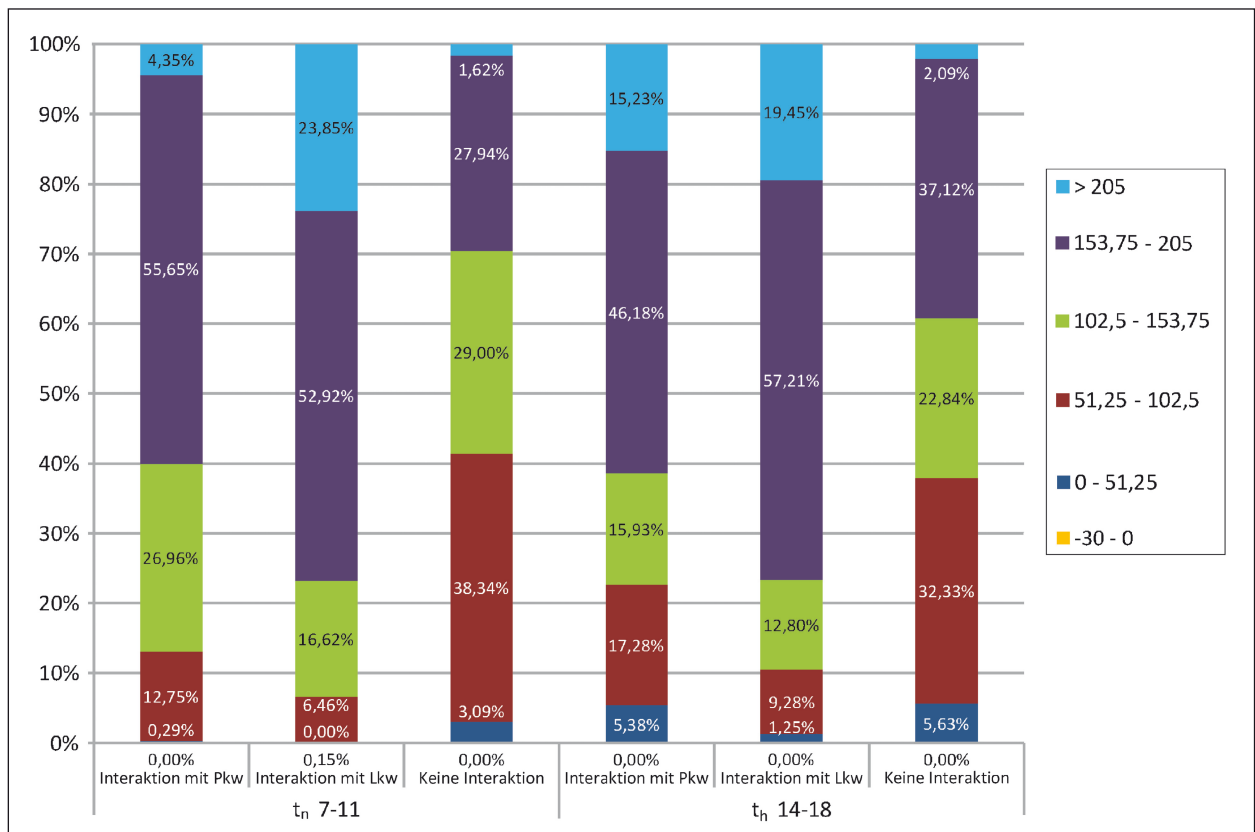


Bild 62: Auffahrverhalten und Interaktion Rüsselsheim-Ost FR Süd, Angabe des Fahrstreifenwechsels bezogen auf die Länge des Einfädelungstreifens in [m]

Die Auswertung des Einfahrverhaltens für die Anschlussstelle Rüsselsheim Ost FR Süd, ist in Bild 62 dargestellt.

Sowohl in den Zeiträumen mit hohem als auch in denen mit niedrigen Verkehrsaufkommen wird bei einem Einfädelungsprozess ohne stattfindende Interaktion verstärkt bereits im zweiten Viertel auf die Hauptfahrbahn aufgefahren. In t_h zu 41 % und in t_n sogar zu 48 %. Darüber hinaus finden Einfahrvorgänge bereits im ersten Viertel statt. In t_n sogar über 10 %. Somit kann festgehalten werden, dass bei ausbleibender Interaktion sowohl in t_n als auch in t_h die Einfahrvorgänge zu über 50 % in der ersten Hälfte abgeschlossen werden.

Bei einer Interaktion mit Lkw werden die Einfädelungsprozesse sowohl in t_n als auch in t_h zu knapp 50 % im letzten Viertel abgeschlossen. Darüber hinaus wird auch vermehrt das Überfahren der durchgezogenen Linie im letzten Viertel beobachtet, also in Bereich 5 der Einfahrt. In t_n entspricht dieses 13 % und in t_h sogar 17 %. Dies wirft die Frage auf, ob der Einfädelungstreifen mit $l_2 = 150$ m Länge eventuell nicht ausreichend dimensioniert ist, um bei einer Interaktion mit einem Lkw innerhalb des Einfädelungsbereichs

reagieren zu können, vor allem bei hohen Geschwindigkeiten. Die tendenzielle höhere Ausnutzung der hinteren Bereiche unterstreicht diese These.

Bei einer Interaktion mit Pkw unterscheiden sich die Ergebnisse der beiden Messintervalle in mehreren Bereichen. In t_n werden im Gegensatz zu t_h Einfahrprozesse bereits im ersten Viertel abgeschlossen. Der Anteil liegt mit 15 % damit in einer ähnlichen Größenordnung wie bei der Einfahrt ohne Interaktion.

Ein Grund für die frühen Wechsel bei ausbleibender Interaktion und Interaktion mit Pkw könnte der durch die hohe Verkehrsstärke ausgelöste, langsamere Verkehrsfluss darstellen. Dieser wirkt sich unmittelbar auf die Geschwindigkeiten im Rampenbereich aus. Die langsamere Geschwindigkeit ermöglicht einen längeren Beobachtungszeitraum, der ein Grund für die frühen Einfädelungsprozesse sein kann. Dass sich die Einfädelungsvorgänge bei Interaktion mit Pkw in t_n zu 45 % im letzten Viertel ereignen ist ein weiteres Indiz dafür, dass höhere Geschwindigkeiten auch zu späterem Einfädeln führen. Allerdings in diesem Fall nur im Zusammenhang mit einer Interaktion.

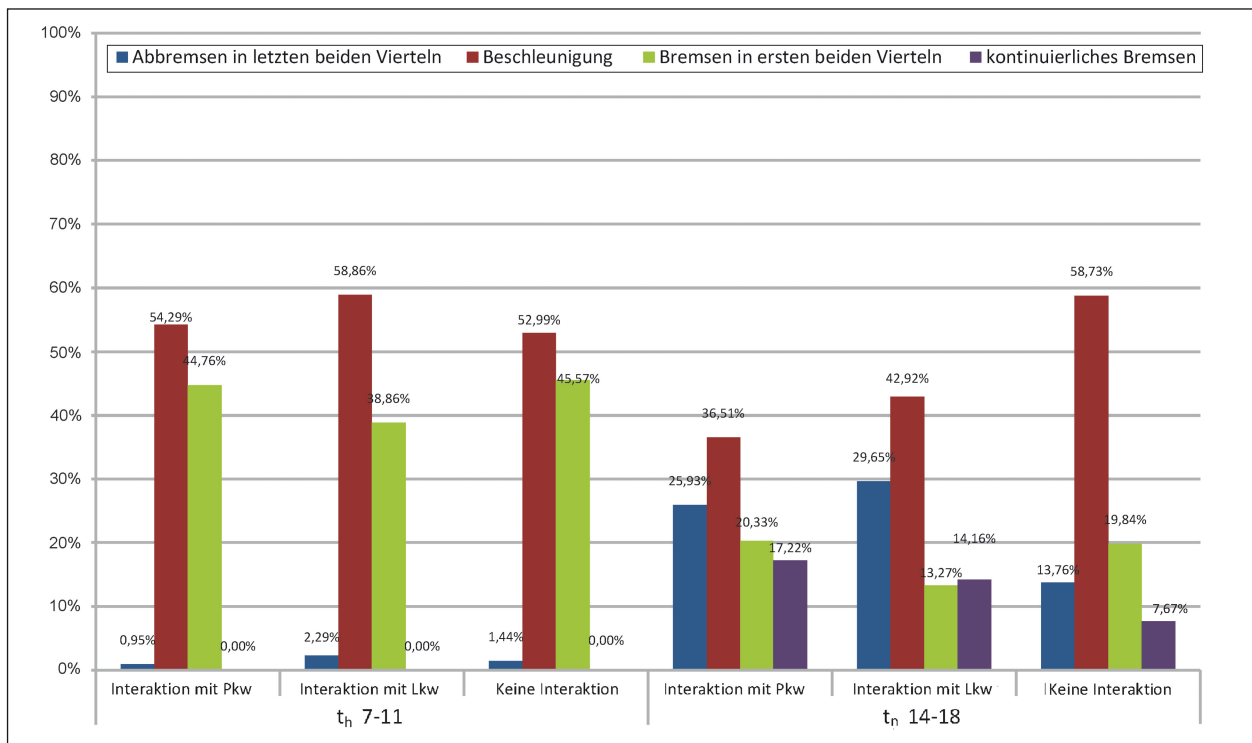


Bild 63: Reaktion der Einfahrenden in Rüsselsheim-Ost FR Süd



Bild 64: Einfahrt in Rüsselsheim-Ost FR Süd (eigenes Foto)

Das Reaktionsverhalten der Verkehrsteilnehmer an der Einfahrt Rüsselsheim zeigt deutliche Unterschiede in den verschiedenen Belastungsbereichen (vgl. Bild 63).

In t_h werden auf die Interaktionen zu über 95 % mit Beschleunigungen reagiert. Die Anteile der Bremsvorgänge sind vernachlässigbar gering. In t_h hingegen wird auf Interaktionen vermehrt mit Bremsvorgängen reagiert. Dies wird als Folge des langsamen Verkehrsflusses auf dem Hauptfahrstreifen verstanden. Vor allem finden die Bremsungen in den letzten beiden Vierteln statt. Für diese Fälle

könnte dies bedeuten, dass mit der für die Rampe üblich gefahrenen Geschwindigkeit ein Einfädeln innerhalb des Einfädelungsbereichs nicht möglich war und um die psychische Barriere, die der durchgezogene Streifen am Ende einer Ausfahrt darstellt, nicht zu durchbrechen, ein Bremsvorgang eingeleitet wurde.

Die Sichtfelder in der Einfahrt sind frei, sodass keinerlei Behinderung der Sicht stattfindet und die Auffahrenden sich gut orientieren können.

5.3.2 Gegenüberstellung

Verkehrstechnische Gegenüberstellung

Bei einer Gegenüberstellung der Daten der beiden Einfahrten fällt zunächst der deutlich höhere DTV der Hauptfahrbahn in Rüsselsheim-Ost, FR Süd auf. Obwohl beide Streckenabschnitte nur zweistreifig geführt werden, wird die Strecke in Rüsselsheim-Ost, FR Süd von 1.300 Kfz/24h mehr befahren. Dieses führt unweigerlich zu einer größeren Verkehrsdichte auf dem Querschnitt. Entsprechend ist auch die Verkehrsstärke auf dem Hauptfahrstreifen in Rüsselsheim deutlich höher. Vergleicht man die niedrigsten mittleren Verkehrsstärken und die zugehörigen Geschwindigkeiten der Hauptfahrbahnen miteinander fällt auf, dass bei etwa gleicher

Geschwindigkeit (97-99 km/h) die Verkehrsstärke in Rüsselsheim-Ost, FR Süd immerhin 26 Kfz/5min höher ist. Somit ist auch die Verkehrsdichte des Hauptfahrstreifens größer, was den Einfädungsvorgang negativ beeinflussen könnte, da die Weglücken zwischen den Fahrzeugen geringer sind.

Weiterhin verteilt sich in Rüsselsheim-Ost, FR Süd der SV-Anteil zu 15,3 % auf den Überholfahrstreifen. In Moers sind es lediglich 0,78 %. Hierdurch könnte ein Fahrstreifenwechsel oberhalb der Einfahrt vom HFS auf ÜFS erschwert werden, sodass den einfahrenden Fahrzeugen aus der Einfahrt unter Umständen nicht der nötige Platz zum Einfädeln geschaffen werden kann.

Die Ganglinien beider Einfahrten weisen jeweils einen Messzeitraum auf, in dem die Verkehrsstärke deutlich erhöht ist. In Moers-Hülsdonk, FR Süd sogar soweit, dass es zu zähflüssigem bis stockendem Verkehr kommt. Die Messintervalle repräsentieren somit jeweils prägnante Verkehrssituationen: hochbelastet und normalbelastet. Die folgenden Auswertungen sollen daher weiterhin getrennt für beide Messintervalle durchgeführt werden. Allerdings ist zu beachten, dass sich die hochbelasteten Zeiträume für Moers-Hülsdonk, FR Süd in t_1 und für Rüsselsheim-Ost FR Süd in t_2 darstellen. Die folgenden Auswertungen sollen dementsprechend einen Bezug auf vergleichbare Verkehrssituationen nehmen.

Bei der Gegenüberstellung der Einfahrten fällt ein konstant höher liegendes Geschwindigkeitsniveau der Einfahrt Moers-Hülsdonk, FR Süd im Vergleich aller untersuchten Messstandorte auf. Vergleicht man die höchsten mittleren Geschwindigkeiten miteinander, ist zu erkennen, dass bereits im Rampenbereich die Geschwindigkeit in Rüsselsheim über 15 km/h geringer ist. Die Ursache dafür wird auch im Zusammenhang mit der Rampenführung stehen. Am letzten Messquerschnitt Ri3 beträgt der Unterschied schon fast 20 km/h. Wie zuvor bereits angemerkt, sind die größten mittleren Geschwindigkeiten des HFS der beiden Einfahrten etwa gleich hoch. Das bedeutet zwangsläufig für die Einfahrt Rüsselsheim-Ost, FR Süd eine hohe Geschwindigkeitsdifferenz zwischen einfahrenden und sich auf dem HFS befindlichen Fahrzeugen. Sie beträgt fast 20 km/h. In Moers-Hülsdonk, FR Süd liegen dagegen die Geschwindigkeiten auf demselben Niveau und können in der Einfahrt sogar höher sein.

Gegenüberstellung der Untersuchungskriterien					
Untersuchter Aspekt		AS Moers Hülsdonk	AS Rüsselsheim Ost		
Hauptfahrstreifen	24h	DTV	30.439	43.535	
		SV-Anteil	12,29	4,63	
		Belegungsgrad ÜFS	0,78 %	15,30 %	
		Belastungsgrenze	220 Kfz/5min	300-350 Kfz/5min	
	t_1	v_{mittel}	98	106	
		q_{mittel} (Kfz/5min)	189	217	
		q_{max} (Kfz/5min)	278	324	
		t_2	v_{mittel}	123	81
			q_{mittel} (Kfz/5min)	164	301
			q_{max}	213	401
	rechter HFS	t_1	v_{mittel}	80	99
			q_{mittel} (Kfz/5min)	71	95
q_{max} (Kfz/5min)			91	153	
t_2		v_{mittel}	97	74	
		q_{mittel} (Kfz/5min)	69	141	
		q_{max} (Kfz/5min)	81	191	
Einfahrten	t_1	q_{mittel}	25	15	
		q_{max} (Kfz/5min)	36	30	
		v_{mittel} R1	57	40	
		v_{mittel} R2	63	56	
		v_{mittel} R3/R äui.	88	81	
	t_2	q_{mittel}	32	23	
		q_{max} (Kfz/5min)	52	41	
		v_{mittel} R1	58	42	
		v_{mittel} R2	67	53	
		v_{mittel} R3/R äui.	99	61	
		QSV		C	F

Tab. 27: Gegenüberstellung der Untersuchungskriterien Moers-Hülsdonk FR Süd und Rüsselsheim-Ost FR Süd

In Tabelle 27 sind die ermittelten Daten vergleichend gegenübergestellt.

Bezieht man den Vergleich nun auf alle untersuchten Einfahrten stellt man fest, dass es keinerlei Hinweise aus der verkehrstechnischen Analyse gibt, die eine Unfallsauffälligkeit einzelner Einfahrten erklären könnten. So sind sowohl hochbelastete als auch niedrigbelastete Einfahrten unter den auffälligen. Auch ein hoher SV-Anteil auf der Hauptfahrbahn oder die Lage der Einfahrt innerhalb oder außerhalb eines Ballungsraumes ist kein Indiz dafür, dass es sich bei der Einfahrt potenziell um eine unfallanfällige Einfahrt handelt (vgl. Tabelle 28).

Nr.	Name der Einfahrt	Rampentyp	Anzahl Richtungsfahrbahnen	Ballungsraum (iB/aB) (> 100 tsd. Ew.; 1.000 Ew/km ²)	Ballungsraumname	Unfallauffällig	DTV (2012) [Kfz/d]	DV-Anteil (2011) [%]
1	2012-11-08_HE_A003_55-Seligenstadt_S	direkt	3	iB	Frankfurt - Aschaffenburg	ja	47.969	16,4
2	2013-04-24_HE_049_09-Baunatal Mitte_S	indirekt	2	aB	-	ja	20.016	8,68
3	2013-04-25_HE_049_09-Baunatal Mitte_N	direkt	2	aB	-	ja	20.133	8,67
4	2013-05-07_HE_067_02-Rüsselsheim Ost_S	indirekt	2	iB	Frankfurt	ja	42.725	12,24
5	2013-05-08_HE_067_02-Rüsselsheim Ost_N	indirekt	2	iB	Frankfurt	ja	42.065	11,86
6	2013-05-22_NW_A057_09-Moers-Hülsdonk_S	direkt	2	iB	Ruhrgebiet	nein	33.081	12,65
7	2013-05-23_NW_A057_09-Moers-Hülsdonk_N	direkt	2	iB	Ruhrgebiet	nein	33.116	11,66
8	2013-05-28_NW_A003_15-Duisburg-Wedau_S	direkt	3	iB	Ruhrgebiet	ja	55.537	10,83
9	2013-05-29_NW_A003_15-Duisburg-Wedau_N	indirekt	3	iB	Ruhrgebiet	ja	56.778	10,39
10	2013-06-12_NW_A043_18-Bochum-Laer_N	direkt	2	iB	Ruhrgebiet	nein	-	-
11	2013-06-13_NW_A043_18-Bochum-Laer_S	indirekt	2	iB	Ruhrgebiet	nein	-	-
12	2013-07-04_NW_A003_08-Dinslaken Nord_S	direkt	2	aB	-	nein	27.980	11,75
13	2013-07-11_RP_A060_19-Mainz Finthen_W	direkt	2	aB	-	nein	33.218	7,34

Tab. 28: Übersicht über die verkehrstechnischen Daten der untersuchten Einfahrten

Gegenüberstellung der Einfädelungsprozesse

Um die Gegenüberstellung der beiden Einfahrten zu erleichtern wurden die Ergebnisse tabellarisch aufbereitet (vgl. Tabelle 29). Eine der Hauptauffälligkeiten, die in beiden Einfahrten beobachtet werden konnte, ist der unterschiedlich hohe Anteil der Einfädelungsvorgänge im letzten Viertel bei einer erfolgten Interaktion. Sowohl in Rüsselsheim als auch in Moers wurden in dem Zeitintervall mit niedrigerer Verkehrsstärke und dementsprechend höherliegendem Geschwindigkeitsniveau prozentual mehr Einfädelungsvorgänge im letzten Viertel abgeschlossen. Bei einer Interaktion mit Pkw fällt dies offensichtlich mehr ins Gewicht. Hier werden Unterschiede von 11 % in Moers und 12 % in Rüsselsheim beobachtet. Da bei einer Interaktion mit Lkw das letzte Viertel ohnehin deutlich häufiger zur Einfädelung genutzt wird, fällt der festgestellte Anstieg nicht ins Gewicht. In Rüsselsheim konnte weiterhin eine Erhöhung der Einfahrtvorgänge im Bereich 5 bei Interaktion mit Lkw beobachtet werden, während diese in Moers recht konstant blieben.

Zusätzlich ist anzumerken, dass die beobachteten Interaktionen an den Einfahrten nicht ähnlich sind und auch keine systematischen Auffälligkeiten zeigen. Der Unterschied in den Einfahrten wird später weiter ausgeführt.

Als Schlussfolgerung aus den oben genannten Aspekten geht hervor, dass bei einem Einfädelungsvorgang mit Interaktion, die Verkehrsstärke des Hauptfahrstreifens und die darauf gefahrene

Geschwindigkeit einen deutlichen Einfluss auf den Einfädelungsbereich nehmen. Eine genaue Zuordnung der Ursache ist hier nicht möglich, da die beiden Messzeiträume sowohl Extreme in Verkehrsstärke als auch in Geschwindigkeiten kombinieren. Daher muss darauf hingewiesen werden, dass nicht nur ein einzelner Punkt pauschal als Ursache für die Beobachtungen herangezogen werden darf, da es z. B. auf der Hauptfahrbahn auch hohe Verkehrsstärken mit hohen Geschwindigkeiten geben kann, was womöglich andere Ergebnisse zur Folge hätte.

Da allerdings die hier beobachteten Ergebnisse den von WEBER (1997) gemachten Beobachtungen (bei höherer Verkehrsstärke werden die Einfädelungsvorgänge vermehrt im letzten Bereich vollendet) widersprechen, kann die Vermutung aufgestellt werden dass die Geschwindigkeit auf der Hauptfahrbahn Auslöser für die unterschiedlichen Einfädelungsvorgänge ist. Die deutlich höheren Einfädelungen in Bereich 4 bei einer Interaktion mit Pkw sprechen ebenfalls dafür, denn in t_n erreichen die Pkw auf dem Hauptfahrstreifen höhere Geschwindigkeiten. Da festgestellt wurde, dass bei Interaktion in t_n überwiegend mit Beschleunigung regiert wird, erklärt sich das spätere Einfädeln mit dem größeren Zeiterfordernis, um das Fahrzeug zu überholen. Dies ist allerdings nicht wissenschaftlich belegt und bedarf weiterer Untersuchungen.

Die vorangegangene These bezieht sich allerdings nur auf Einfädelungsvorgänge mit Interaktion. Bleibt diese aus, kann in den Messzeiträumen kein

Bereich	Lkw				Pkw		Keine	
	Moers-Hülsdonk FR Süd		Rüsselsheim-Ost FR Süd		Moers-Hülsdonk FR Süd	Rüsselsheim-Ost FR Süd	Moers-Hülsdonk FR Süd	Rüsselsheim-Ost FR Süd
0	0		0		0	0	0,19	0,21
1	0,9		0,57		1,22	0,96	8,49	7,83
2	12,35		12		8,48	20,95	33,86	48,66
3	14,46		20,57		23,64	29,52	26,77	24,54
4	62,35	72,29	49,14	66,8	61,21	45,71	30,22	17,94
5	9,94		17,71		5,45	2,86	0,47	0,82
0	0		0		0,65	0,64	0,15	0,79
1	1,85		4,43		0,66	15,58	4,88	14,29
2	10,7		16,37		19,74	25,68	32,85	41,01
3	22,33		15,04		23,03	15,58	28,62	19,31
4	55,12	65,12	50,44	64,2	50	33,47	32,52	23,54
5	10		13,72		5,92	9,05	0,98	1,06

Tab. 29: Gegenüberstellung der Einfädelungsprozesse Moers-Hülsdonk FR Süd und Rüsselsheim-Ost FR Süd

Unterschied ausgemacht werden. Allerdings unterscheiden sich die Anteile der Einfädelung innerhalb der Einfahrten stark. Während in Moers die Bereiche 2-4 zu etwa gleichen Teilen befahren werden wird in Rüsselsheim vor allem im zweiten Bereich eingefädelt.

Allgemein führt eine Interaktion mit einem Lkw immer zu einem Einfädelungsvorgang im letzten Viertel. Da die Länge der Lkw den Überholvorgang erschwert, ist dies zunächst nicht verwunderlich. Allerdings werden auch vermehrt Wechsel im Bereich 5 (nach dem Einfädelungsbereich bereits auf dem Standstreifen) beobachtet. In Rüsselsheim häufiger als in Moers. Dort wird in t_n die durchgezogene Linie sogar zu 17 % überfahren. Dies lässt vermuten, dass die im Vergleich zu Moers um ca. 80 m kürzere Einfädelungstrecke nicht lang genug ist, um die in Rüsselsheim, im Vergleich zu Moers, höheren Geschwindigkeiten der Lkw in t_n , kombiniert mit der großen Überholstrecke zu kompensieren und innerhalb des Auffahrbereichs einzufädeln.

Ein weiteres Indiz für eine möglicherweise unzureichend dimensionierte Einfahrtstrecke in Rüsselsheim könnten die zuvor beschriebenen frühen Einfädelungen bei nicht stattfindender Interaktion sein. Da die Verkehrszusammensetzung hier stark von Berufsverkehr geprägt ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Randbedingungen bei den meisten Verkehrsteilnehmern bekannt ist. Sollte die Einfädelungstrecke von diesen als zu kurz empfunden werden oder sollten diese bereits schlechte Erfahrungen gesammelt haben, wächst

der psychische Druck des Einfädelns. Bei freier Fahrt, also ohne Interaktion, wird der Einfädelungsvorgang daher schnellstmöglich abgeschlossen. Das würde den hohen Anteil an Einfädelungen im Bereich 2 erklären.

Auch bei der Gegenüberstellung aller Einfahrten (vgl. Tabelle 30) kann kein eindeutiges Ergebnis festgestellt werden. Die Länge des Bereiches 2 korreliert mit der Unfallauffälligkeit nur äußerst schwach und die Nettoweglücken, die den Einfahrenden auf dem Hauptfahrstreifen zur Verfügung stehen, korrelieren eher mit dem DTV.

Lediglich die Differenz der Geschwindigkeiten zwischen Bereich 2 und der Hauptfahrbahn zeigt tendenziell eine Unfallauffälligkeit. Je höher diese Differenz ist, umso eher ist die Einfahrt unfallauffällig. Jedoch gilt dies nicht für alle untersuchten Einfahrten und kann deshalb nur als Tendenz gesehen werden.

Des Weiteren wurden keinerlei Auffälligkeiten beim Einfahrtvorgang festgestellt. So kann aufgrund der Untersuchung an den Einfahrten nicht die Behauptung aufgestellt werden, dass bei kurzen Einfahrten ein Abbremsen der Einfahrenden in der hinteren Hälfte des Einfädelungsbereiches erfolgt. Lediglich an der Einfahrt Mainz-Finthen konnte ein solches Verhalten beobachtet werden. Hier ist der Sachverhalt allerdings so, dass nach dem Bereich 2 kein Standstreifen mehr zur Verfügung steht und die Einfahrenden bereits mit sehr hohen Geschwindigkeiten in den Bereich 2 einfahren, da es sich bei der Einfahrt um eine Autobahnkreuzähnliche Konstruktion handelt.

Nr.	Name der Einfahrt	Rampen- typ	L ₂ [m]	minimales Sichtfeld	erwünschtes Sichtfeld	Ballungsraum (iB/aB) (> 100 tsd Ew.; 1.000 Ew/km ²)	Unfall- auffällig
1	2012-11-08_HE_A003_55-Seligenstadt_S	direkt	230	frei	frei	iB	ja
2	2013-04-24_HE_049_09-Baunatal Mitte_S	indirekt	110	frei	Baumstamm	aB	ja
3	2013-04-25_HE_049_09-Baunatal Mitte_N	direkt	150	Baumstamm	Baumstamm	aB	ja
4	2013-05-07_HE_067_02-Rüsselsheim Ost_S	indirekt	205	frei	frei	iB	ja
5	2013-05-08_HE_067_02-Rüsselsheim Ost_N	indirekt	145	frei	frei	iB	ja
6	2013-05-22_NW_A057_09-Moers-Hülsdonk_S	direkt	220	frei	frei	iB	nein
7	2013-05-23_NW_A057_09-Moers-Hülsdonk_N	direkt	220	frei	frei	iB	nein
8	2013-05-28_NW_A003_15-Duisburg-Wedau_S	direkt	150	frei	blockiert	iB	ja
9	2013-05-29_NW_A003_15-Duisburg-Wedau_N	indirekt	180	frei	frei	iB	ja
10	2013-06-12_NW_A043_18-Bochum-Laer_N	direkt	240	frei	frei	iB	nein
11	2013-06-13_NW_A043_18-Bochum-Laer_S	indirekt	100	frei	frei	iB	nein
12	2013-07-04_NW_A003_08-Dinslaken Nord_S	direkt	200	Baumstamm	blockiert	aB	nein
13	2013-07-11_RP_A060_19-Mainz Finthen_W	direkt	150	frei	frei	aB	nein

Nr.	Name der Einfahrt	Q _{HFS,vormittag} [Kfz/h]	SV _{HFS,vormittag} [%]	V _{HFS,vormittag} [km/h]	Q _{HFS,nachmittag} [Kfz/h]	SV _{HFS,nachmittag} [%]	V _{HFS,nachmittag} [km/h]	50%-Werte Nettoweg- lücken Vormittag [m]	50%-Werte Nettoweg- lücken Nach- mittag [m]
1	2012-11-08_HE_A003_55-Seligenstadt_S	730,75	48,43		630,75*	47,94		111,39	96,39
2	2013-04-24_HE_049_09-Baunatal Mitte_S	556,50	22,60	107,66	792,00	12,22	105,65	141,17	98,75
3	2013-04-25_HE_049_09-Baunatal Mitte_N	804,00	22,42	116,82	634,75	29,52	108,56	93,33	109,94
4	2013-05-07_HE_067_02-Rüsselsheim Ost_S	1142,75	1,01	100,38	1720,00	1,59	78,13	39,94	12,17
5	2013-05-08_HE_067_02-Rüsselsheim Ost_N	985,00	38,17	108,22	1190,50	30,30	104,75	70,00	54,03
6	2013-05-22_NW_A057_09-Moers-Hülsdonk_S	493,50	33,12	98,76	352,75	26,10	115,08	63,83	103,28
7	2013-05-23_NW_A057_09-Moers-Hülsdonk_N	872,00	43,58	107,24	1131,25	40,99	103,01	85,83	59,44
8	2013-05-28_NW_A003_15-Duisburg-Wedau_S	972,00	37,83	93,70	806,25	37,55	94,06	61,67	75,83
9	2013-05-29_NW_A003_15-Duisburg-Wedau_N	755,00	21,56	88,10	978,75	15,07	48,83	60,83	20,56
10	2013-06-12_NW_A043_18-Bochum-Laer_N	1113,25	28,03	89,70	1031,50	23,07	89,21	68,33	55,83
11	2013-06-13_NW_A043_18-Bochum-Laer_S	895,25	22,57	92,27	752,00	16,92	74,85	54,44	59,44
12	2013-07-04_NW_A003_08-Dinslaken Nord_S	822,00	24,64	84,14	787,00	26,02	82,59	72,78	75,00
13	2013-07-11_RP_A060_19-Mainz Finthen_W	1241,75	8,05	71,04	1591,75	6,52	69,91	40,56	31,67
		t _n	t _n						

* = Mittelwert über weniger als 4 Stunden

Tab. 30: Gegenüberstellung der Einfahrten hinsichtlich der einfädelungsbezogenen Daten

5.4 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend können die in Kapitel 4.7 im Rahmen der Unfallanalysen formulierten Thesen aus der Sicht der empirischen Beobachtungen wie folgt bewertet werden:

- „Je höher die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen dem einfahrenden Fahrzeug und den Fahrzeugen auf der Hauptfahrbahn ist, umso größer ist das Konfliktpotenzial beim Einfädelungsvorgang.“

Diese Aussage wird durch die empirischen Untersuchungen tendenziell bestätigt, da ein leicht höheres Konfliktpotenzial bei größeren Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen einfahrenden Fahrzeugen und jenen auf der Hauptfahrbahn beobachtet wurde (vgl. Kapitel 5.3.2).

- „Je länger der zulässige Einfädelungsbereich ist, umso geringer ist das Konfliktpotenzial beim Einfädelungsvorgang.“

Diese These kann durch die Beobachtungen nicht eindeutig bestätigt werden. Es wurden sowohl lange Einfädelungsbereiche mit hohem Konfliktpotenzial (Rüsselsheim-Ost FR Süd) als auch kurze Einfädelungsbereiche mit geringem Konfliktpotenzial (Bochum-Laer FR Süd) beobachtet (vgl. Tabelle 30).

Die dritte These aus den Unfallanalysen lautet:

- „Bei hohen Verkehrsstärken auf der Hauptfahrbahn ist der Einfädelungsvorgang schwieriger als bei geringen Verkehrsstärken.“

Dies konnte im Rahmen der empirischen Untersuchungen ebenfalls nicht bestätigt werden, da es auch hier entsprechende Gegenbeispiele gibt. In der Regel ist ein höheres Verkehrsaufkommen auf der Hauptfahrbahn mit geringeren Geschwindigkeiten verbunden, was einen Wechsel vom Einfädelungstreifen auf die Hauptfahrbahn erleichtert (vgl. Kapitel 5.3.2).

6 Betrachtung der Belange älterer Verkehrsteilnehmer

Neben den altersspezifischen Auswertungen der empirischen Erhebungen wurden ergänzende Befragungen unter älteren Verkehrsteilnehmern durchgeführt, um deren Belange in die Untersuchung mit einbeziehen zu können. Hierzu wurde ein spezieller Fragebogen konzipiert. Die Befragungen wurden als Telefoninterviews durchgeführt.

Die Beantwortung der Fragen erfolgte im Rahmen eines Telefongesprächs mit den Probanden. Auf diese Weise konnte vor allem bei offenen Fragen ein besseres Ergebnis erzielt werden. Die offen gestaltete Befragung konnte eher auf mögliche Probleme der einzelnen Fahrer hinweisen.

Zudem wurden, mit Kontakt über den Fahrlehrerverband, Fahrlehrer zu deren Einschätzung und Erfahrung mit älteren Verkehrsteilnehmern befragt.

6.1 Altersspezifische Untersuchungen an den Einfahrten

In diesem Kapitel sollen einige der zuvor betrachteten Aspekte auf mögliche Unterschiede in den festgelegten Altersgruppen untersucht werden. Zum einen soll ermittelt werden, ob das Alter der Fahrer Einfluss auf die gefahrene Geschwindigkeit hat. Zum anderen wird überprüft, ob es Unterschiede im Einfahrverhalten gibt. Im Vorfeld sei gesagt, dass die vorhandenen Datensätze der

Altersgruppen vor allem für die Gruppen ≤ 30 und ≥ 60 eine relativ geringe Stichprobe darstellen und die hier vorgestellten Ergebnisse daher nur als Ansätze für weitere Untersuchungen dienen können.

6.1.1 Geschwindigkeitsuntersuchungen

Zur Auswertung und dem Vergleich der altersspezifischen Geschwindigkeiten erfolgt im Gegensatz zu den vorangegangenen Kapiteln keine Betrachtung der gewichteten Geschwindigkeit. Da die Datensätze der Altersgruppen alle unterschiedlich viele Einträge aufweisen und die Zufahrtsverteilung unregelmäßig erfolgt, werden die Ergebnisse an dieser Stelle mit der Hilfe von sogenannten Box-Plots vorgestellt. Diese zeigen nicht nur die mittlere gefahrene Geschwindigkeit, sondern es können auch die 25-%igen Höchst- und Mindestquantile (Grün und Lila) sowie die Maximal- und Minimalstellen abgelesen werden.

Moers-Hülsdonk Fahrtrichtung Süd

In der in Kapitel 6.1.1 beschriebenen Auswertung wird zunächst die Einfahrt Moers-Hülsdonk betrachtet. Die in Bild 65 dargestellten Plots zeigen nur bedingt Unterschiede in den einzelnen Altersgruppen.

In t_h ist jedoch auffällig, dass die Geschwindigkeiten der Fahrer ≤ 30 Jahre im Durchschnitt an allen drei Messstellen am Größten war. Die Ge-

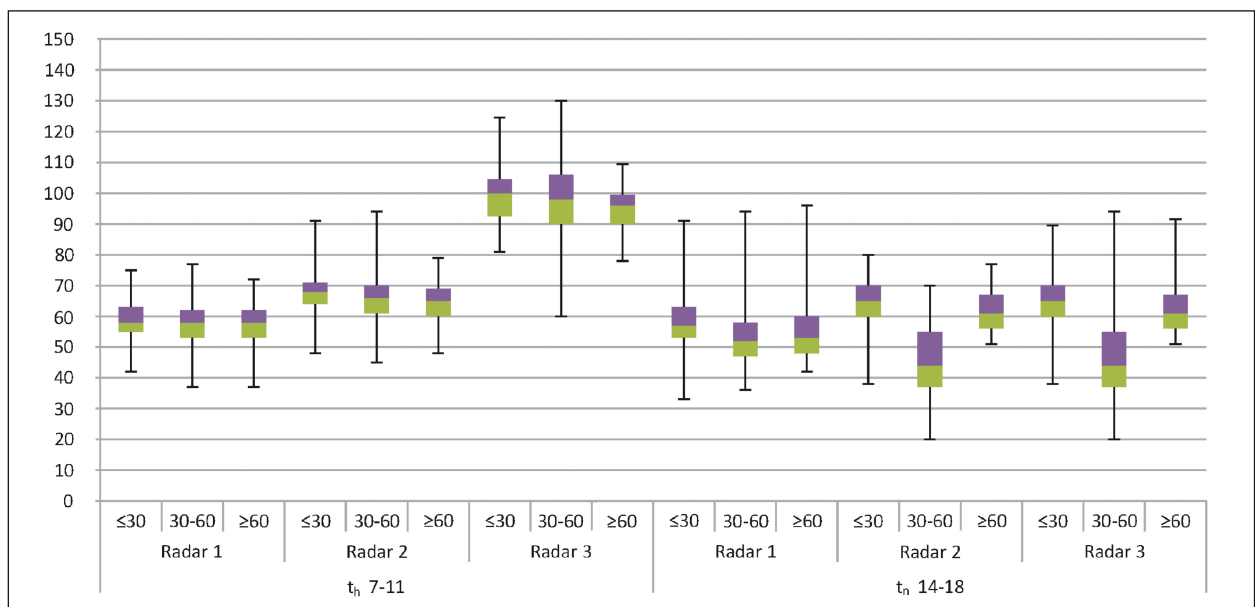


Bild 65: Boxplot der altersbezogenen Geschwindigkeiten Moers-Hülsdonk FR Süd

geschwindigkeitsdifferenz nimmt dabei im Vergleich zu den anderen Altersgruppen über die Strecke von RM1 nach RM3 stetig zu. Während sich die Geschwindigkeit in der ersten Messstelle zur nächst größeren Geschwindigkeit nur um 4 km/h unterscheidet, beträgt die Differenz in der dritten Messstelle 8 km/h. Es zeigt sich, dass die Unterschiede sehr gering sind.

Des Weiteren konnte für t_h festgestellt werden, dass die geringsten Geschwindigkeiten nicht, wie erwartet, von den ≥ 60 -Jährigen, sondern von der mittleren Altersgruppe gefahren wurden. Allerdings muss hier angemerkt werden, dass die Altersgruppe 30-60 mit Abstand den größten Datensatzanteil abbildet. Da es sich über alle Altersklassen um den Bereich mit hoher Verkehrsstärke und niedrigen Geschwindigkeiten handelt, beinhaltet der Datensatz auch einen größeren Anteil derjenigen Fahrzeuge, die sich in einen gestauten Verkehrsfluss einfädeln mussten. Die daraus resultierenden niedrigen Geschwindigkeiten, werden den Median der gefahrenen Geschwindigkeiten nach unten beeinflusst haben.

Betrachtet man nämlich den Bereich t_h , sieht man, dass die mittleren Geschwindigkeiten aller Altersgruppen etwa im selben Bereich liegen und sich um maximal 2 km/h zum nächst höheren unterscheiden. Würde man diese geringen Unterschiede als Bewertungskriterium heranziehen, würde auch hier festgestellt werden, dass die Altersgruppe ≤ 30 konstant schneller fährt. Wie bereits erwähnt, sind

die Unterschiede zu gering, um fundierte Schlussfolgerungen hieraus ziehen zu können

Für die Verteilung der höchsten und niedrigsten Geschwindigkeiten kann keine klare Zuordnung gemacht werden, da jede Altersgruppe an irgendeinem Punkt mindestens einmal das Maximum aufweist.

Rüsselsheim-Ost Fahrtrichtung Süd

Auch der in Rüsselsheim erfasste Datensatz lässt keine klare Aussage über einen auffälligen Unterschied in den Altersgruppen zu (vgl. Bild 66). In t_h kann eine leicht höhere mittlere Geschwindigkeit der Altersgruppe ≤ 30 beobachtet werden. Es handelt sich hierbei jedoch um Geschwindigkeitsdifferenzen von gerade einmal 0,5 bis 3 km/h und somit um keine großen Abweichungen. Auch der Datensatz t_h gibt keine weiteren Hinweise. Die mittleren Geschwindigkeiten liegen hier am letzten Messstandort sogar fast genau auf einem Niveau. Während für die Altersgruppen ≤ 30 und ≥ 60 jeweils die gleiche mittlere Geschwindigkeit von 72 km/h ermittelt wurde, weicht die um 1 km/h niedrigere Geschwindigkeit der Altersgruppe 30-60 kaum hiervon ab.

6.1.2 Einfädelungsvorgänge

Im Folgenden werden nun die Einfädelungsvorgänge in Abhängigkeit der Altersgruppe betrachtet. Dabei wird genauso verfahren, wie bereits aus

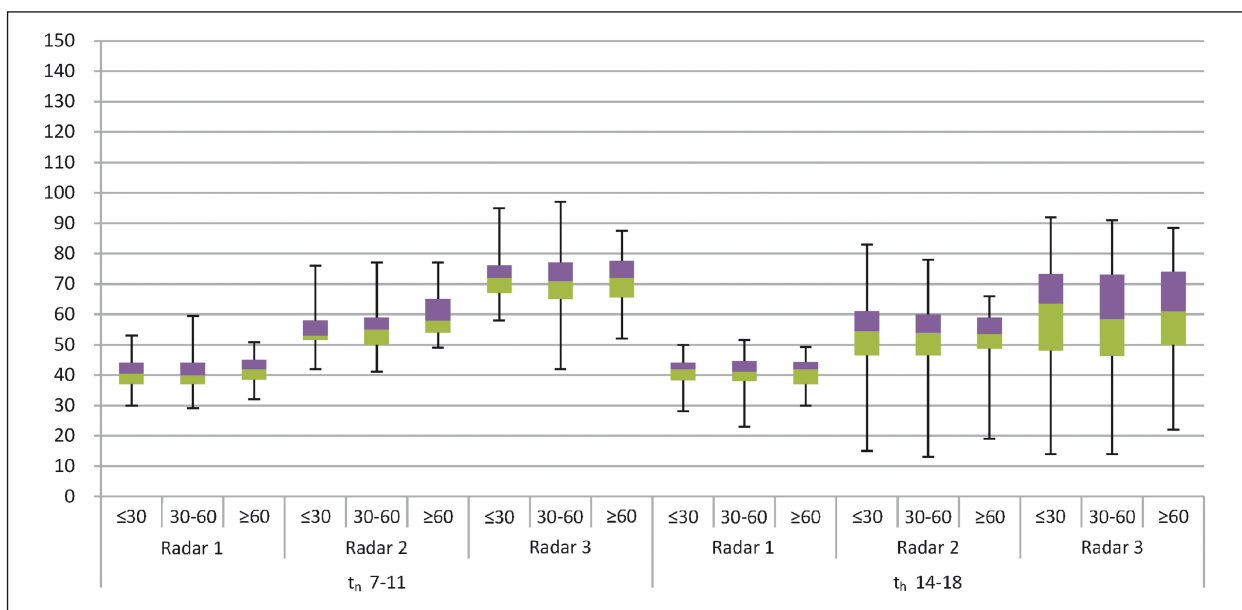


Bild 66: Boxplot der altersbezogenen Geschwindigkeiten Rüsselsheim-Ost FR Süd

Kapitel 5.3.1 bekannt, mit dem Unterschied, dass nun eine weitere Einteilung nach Altersgruppen stattfinden wird. Vorweg ist anzumerken, dass es für die unterschiedlichen Altersgruppen wesentliche Unterschiede in der Quantität der Daten gibt. Die Gruppe 30-60 ist in der Regel immer am stärksten vertreten. Um die Ergebnisse in Kontext der Datenmenge erfassen zu können, werden die Ergebnisse in absoluten Zahlen dargestellt. Da an dieser Stelle lediglich das spezifische Fahrverhalten der einzelnen Altersgruppen untersucht werden soll, wird ein Vergleich der Einfahrten untereinander nicht stattfinden. Dies ist bereits in Vorrangegangenem Auswertungsschritt geschehen.

Moers-Hülsdonk Fahrtrichtung Süd

Die Darstellungen der Einfädelungsprozesse erwecken zunächst den Eindruck als seien sie recht zufällig verteilt und weisen keine prägnanten Unterschiede oder Gemeinsamkeiten auf. Bei genauerer Betrachtung fallen einige Punkte dennoch ins Auge.

So besteht der größte Anteil der Überfahrten bei einer Interaktion mit Lkw in t_h bei allen drei Altersgruppen aus dem Bereich vier. Bei der Gruppe der > 60-Jährigen ist die Differenz zum nächsthäufigeren gewählten Einfahrbereich allerdings, mit nur einer erfassten Ausfahrt mehr, recht gering. Zugleich ist dieser Bereich drei auch der zweithäufigste, der bei der mittleren Altersgruppe erfasst

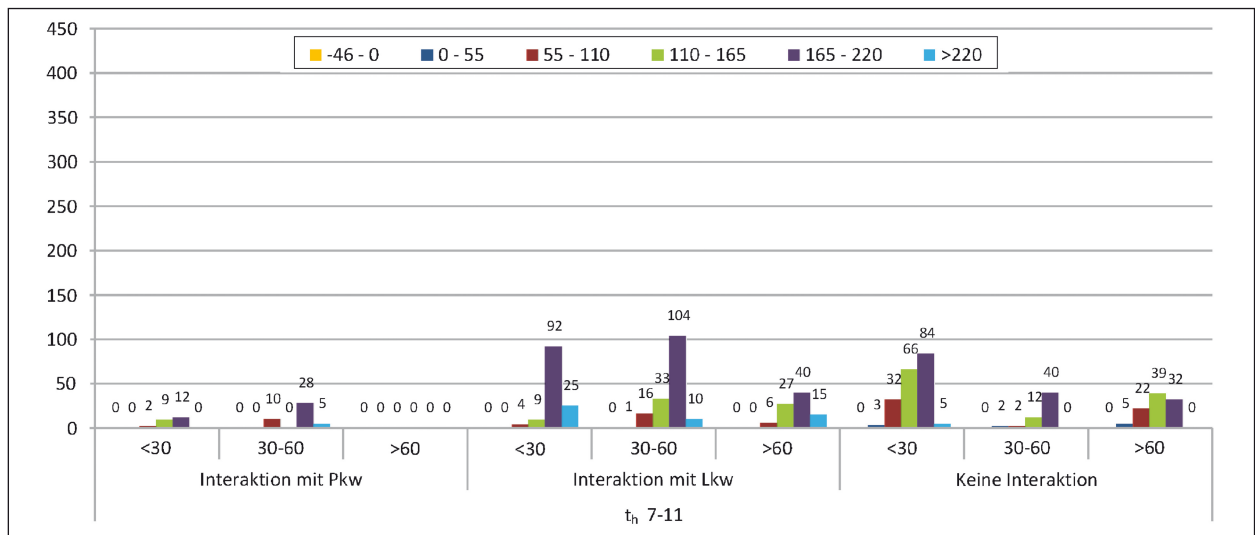


Bild 67: Anzahl der altersbezogenen Einfädelungsvorgänge Moers-Hülsdonk FR Süd 7-11 Uhr, Angabe des Fahrstreifenwechsels bezogen auf die Länge des Einfädelungstreifens in [m]

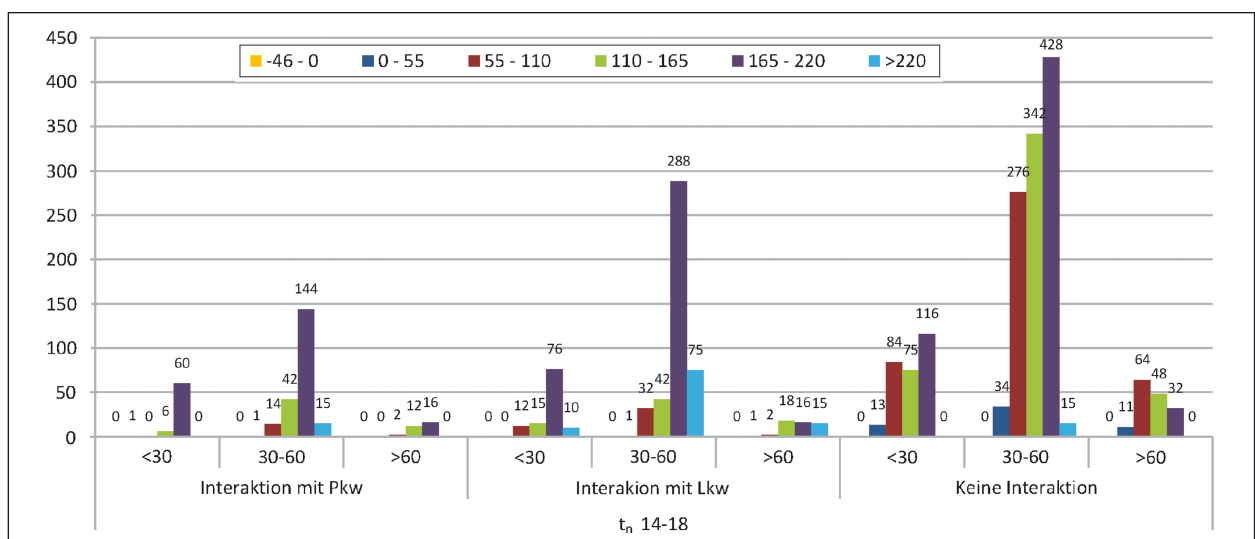


Bild 68: Anzahl der altersbezogenen Einfädelungsvorgänge Moers-Hülsdonk FR Süd 14-18 Uhr, Angabe des Fahrstreifenwechsels bezogen auf die Länge des Einfädelungstreifens in [m]

wurde. Lediglich die unter 30-Jährigen weisen als zweithäufigsten Ausfahrbereich bei Interaktion mit Lkw in t_n einen anderen auf, nämlich den Bereich fünf. Da dieser allerdings mit zwei erfassten Auffahrten mehr zu Buche schlägt ist die Eindeutigkeit des Ergebnisses fraglich, vor allem, da es sich um absolute Zahlen zwischen drei und fünf Fahrten handelt. Das ist auch der Grund, warum ein Vergleich in t_n für diesen Interaktionstyp keine klare Aussage getroffen werden kann, da hier eine nochmals reduzierte Datengrundlage für die Gruppen < 30 und > 60 gibt. Dieses gilt im Übrigen auch für die Interaktion mit Pkw in beiden Messzeiträumen.

Am geeignetsten für einen Vergleich der Altersgruppen erweist sich vermutlich der erfasste Datensatz für keine Interaktion im Bereich t_n . Aber auch hier zeigen sich Übereinstimmungen in der Verteilung der Häufigkeiten über alle Altersgruppen hinweg. So wird der Bereich zwei am häufigsten zum Einfahren genutzt. Eine Konformität gegenüber den Ergebnissen aus Kapitel 5.2 ist hier festzustellen. Nicht nur der häufigste Bereich sondern auch die am meist genutzten drei Einfahrbereiche stimmen weitestgehend überein. So scheinen sich die Ergebnisse der Betrachtung des gesamten Verkehrs auch im kleinen Maßstab innerhalb der einzelnen Altersgruppen wieder zu finden. Und das in jeder Altersgruppe. Eine Unterteilung innerhalb der Altersgruppen scheint für diese speziellen Ergebnisse für dieses spezielle betrachtete Fahrverhalten daher unnötig, da es keine gravierenden Unterschiede zu geben scheint. Um allgemein gültige Aussagen treffen zu können, müssten jedoch Untersuchungen mit einer deutlich größeren Daten-

menge durchgeführt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können nicht verallgemeinert werden.

Rüsselsheim-Ost Fahrtrichtung Süd

Da auch für Rüsselsheim-Ost nur sehr begrenzte Datenmengen vorliegen, wird hier nur auf die Bereiche eingegangen, die eine für diese Arbeit verhältnismäßig große Grundlage bieten.

Eine solche Grundlage bietet etwa die Interaktion mit Pkw in Messabschnitt t_n . Dort findet sich eine solche Übereinstimmung in dem Einfahrbereich vier. Dieser stellt bei fast allen Altersgruppen den größten Anteil dar. Lediglich bei der Altersgruppe < 30 stellt der Einfahrbereich vier mit einer Differenz von eins nur den zweitgrößten Bereich dar. Allerdings fällt auch auf, dass der größte Anteil der Einfahrten von den < 30 -Jährigen bei Interaktion mit einem Pkw in t_n , in Bereich eins durchgeführt wurde. Dies ist in keiner anderen Altersgruppe der Fall.

Es ist fraglich, ob diese Tatsache eine Aussage über ein differenziertes Fahrverhalten der < 30 -Jährigen bereits zulässt, auch weil es bei der Interaktion mit Lkw in t_n sowie in t_n Übereinstimmungen bei dem am häufigsten genutzten Einfahrbereich gibt (Bereich Vier).

Desweiteren zeigen die Ergebnisse der Auffahrt bei ausbleibender Interaktion eindeutige Übereinstimmungen, welche ebenfalls die Ergebnisse aus Kapitel 5.3.1 in kleinem Maßstab abbilden.

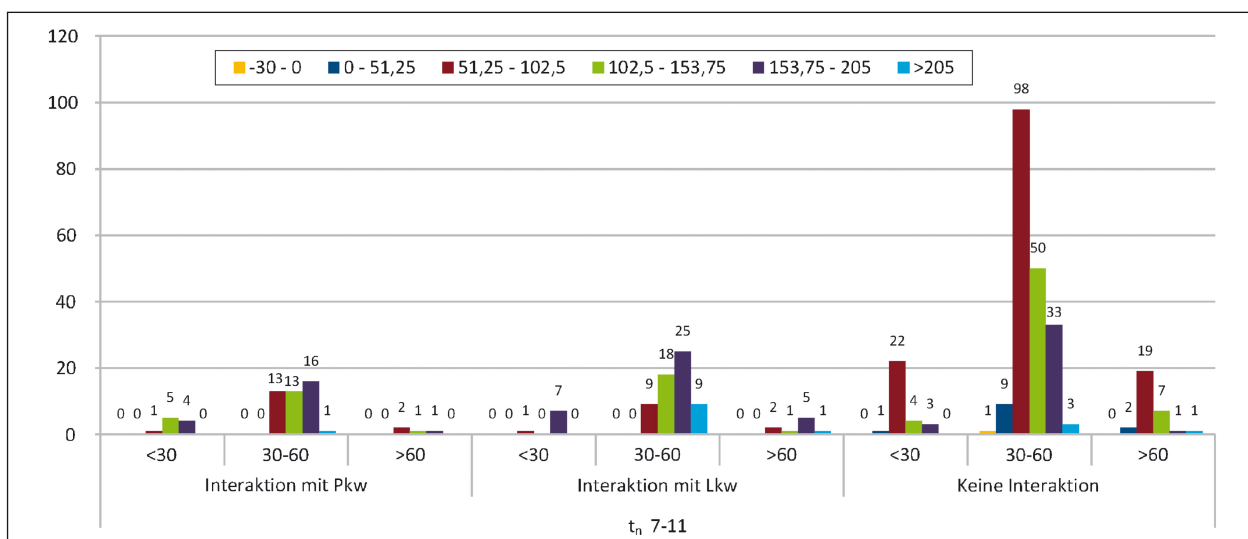


Bild 69: Anzahl der altersbezogenen Einfädelungsvorgänge Rüsselsheim-Ost FR Süd t_n (7-11 Uhr), Angabe des Fahrstreifenwechsels bezogen auf die Länge des Einfädelungsstreifens in [m]

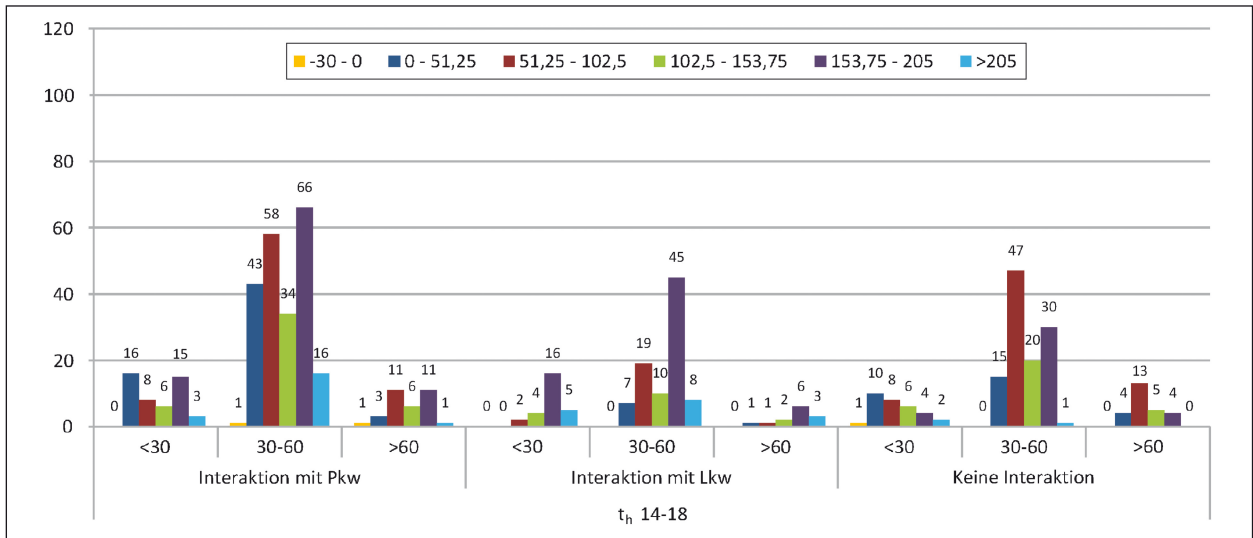


Bild 70: Anzahl der altersbezogenen Einfädelungsvorgänge Rüsselsheim-Ost FR Süd t_h (14-18 Uhr), Angabe des Fahrstreifenwechsels bezogen auf die Länge des Einfädelungsstreifens in [m]

Es sind also mehr Übereinstimmungen als Unterschiede zu finden, was eher die Vermutung zulässt, dass keine prägnanten Unterschiede im Fahrverhalten der Altersgruppen für diese spezielle Messung vorliegen. Bezüglich der Verwendung und der Güte der Ergebnisse gilt gleiches wie für die Datenauswertung aus Moers-Hülsdonk.

6.1.3 Gegenüberstellung der altersspezifischen Untersuchungen

Im Vergleich der ermittelten Geschwindigkeiten der unterschiedlichen Altersgruppen zeigt sich kein systematischer Unterschied der Einfahrtgeschwin-

digkeiten zwischen den Altersgruppen (vgl. Tabelle 31. Ein riskantes oder sportliches Verhalten der unter 30-Jährigen wie von SCHLAG (1996) beschrieben, konnte z. B. nicht bestätigt werden.

Die Ergebnisse von ELLINGHAUS (1990) können allerdings zum Teil als erwiesen angesehen werden. In seiner Arbeit konnten nur in Ausnahmesituationen deutliche Abweichungen in der Fahrweise der älteren Verkehrsteilnehmer festgestellt werden. Auch hier scheint es keinen prägnanten Beweis dafür zu geben, dass sich ältere Fahrer nicht ordnungsgemäß an den Verkehrsfluss anpassen können.

Ort	Anteil	Radar 1			Radar 2			Radar 3			
		30	30-60	60	30	30-60	60	30	30-60	60	
Moers	↑	Mimimum	33	36	42	38	20	51	55	11	67
		25 th percentile	53	47	48	59,75	37	56	85,25	52,25	81
		Median	57	52	53	65	44	61	94	71,5	88,5
		75 th Percintile	63	58	60	70	55	67	100	87	94,25
		Maximum	75	73	70	90	79	77	124	105	116
	↓	Mimimum	42	37	37	48	45	48	81	60	78
		25 th percentile	55	53	53	64	61	60	92,5	90	90
		Median	58	58	58	68	66	65	100	98	96
		75 th Percintile	63	62	62	71	70	69	104,5	106	99,5
		Maximum	91	98	98	81	85	79	124	145	124
Rüsselsheim	↑	Mimimum	28	23	30	15	13	19	14	14	22
		25 th percentile	38,25	38	37	46,5	46,5	48,75	48	46,25	50
		Median	42	41	42	54,5	54	53,5	63,5	58,5	61
		75 th Percintile	44	44,5	44,25	61	60	59	73,25	73	74
		Maximum	53	60	50	79	78	71	92	93	84
	↓	Mimimum	30	29	32	42	41	49	58	42	52
		25 th percentile	37	37	38,5	51,5	50	54	67	65	65,5
		Median	40,5	40	42	53	55	58	72	71	72
		75 th Percintile	44	44	45	58	59	65	76,25	77	77,5
		Maximum	50	51	50	80	77	72	95	95	92

Tab. 31: Gegenüberstellung der altersbezogenen Geschwindigkeiten in den Einfahrten Moers-Hülsdonk FR Süd und Rüsselsheim-Ost FR Süd

6.2 Befragung

Eine weitere Betrachtung der Belange älterer Verkehrsteilnehmer erfolgte durch eine Befragung. Die Befragungen fanden aus Gründen des Stichprobenumfangs nicht, wie ursprünglich vorgesehen, an Tank- und Rastanlagen und Tankstellen im untergeordneten Netz statt, sondern wurden durch Telefoninterviews ersetzt.

Als Grundlage hierfür wurde der in Anhang E dargestellte Fragebogen verwendet. Die Beantwortung der Fragen erfolgte im Rahmen eines Telefongesprächs mit den Probanden. Auf diese Weise kann vor allem mit den offenen Fragen im zweiten Teil ein besseres Ergebnis erzielt werden. Die offen gestaltete Befragung kann daher eher auf mögliche Probleme der einzelnen Fahrer hinweisen.

6.2.1 Fragebogen

Der Fragebogen, der für die Erhebung verwendet wurde, ist in Anhang E dargestellt und gliedert sich in einen allgemeinen Teil und einen Teil mit speziellen Fragen zu Einfahrten. Der allgemeine Teil soll, mit Erhebung des Alters, der Fahrerfahrung und der Fahrleistung, zur Kategorisierung der Teilnehmer dienen. Im Falle der > 60-Jährigen sollen diese Werte auch für die Zeit ihrer Berufstätigkeit eingeschätzt werden.

Im speziellen Fragenteil wird auf die Autobahneinfahrten eingegangen. Es wird erhoben, ob die oder der Befragte damit schon mal Probleme hatte, auf eine Autobahn aufzufahren, oder welche Schwierigkeiten sich die oder der Befragte hierbei vorstellen könnte. Der Teilnehmer wird gebeten den Ablauf des Auffahrens zu beschreiben, um einen Eindruck zu gewinnen, ob wichtige Elemente beim Auffahren nicht mehr im Gedächtnis sind. Und es wird die Frage nach Fahrmanövern oder speziellen Einfahrten oder -typen gestellt die eventuell ganz bewusst vermieden werden.

Den Abschluss bilden die Fragen nach unangenehmen Situationen auf der Auffahrt. So wird nach dem Verhalten gefragt, wenn der Beschleunigungsstreifen zu kurz ist, bzw. für die Auffahrt nicht ausreicht und ob ein hoher Lkw-Anteil das Fahrverhalten beeinflusst.

Bei den Fragen ist zu berücksichtigen, dass die Antworten von den Fahrern selber gegeben werden, und hier der Beweis der Fahrtüchtigkeit oft noch mit in die Antwort spielt. So ist zum Beispiel

vorstellbar, dass die Antworten im Sinne der Korrektheit des Fahrmanövers geändert wird, um nicht zugeben zu müssen, dass man die eine oder andere Situation nicht mehr richtig bewältigen kann.

6.2.2 Befragungsergebnisse

Insgesamt wurden 76 Personen in den drei Altersklassen „< 30“ (n = 36), „30-60“ (n = 16) und „> 60“ (n = 24) befragt. Die beiden Klassen der „bis 60“-Jährigen wurden dabei als Kontrollgruppe zur Bewertung des Verhaltens der älteren Verkehrsteilnehmer (über 60) herangezogen. Über alle Altersklassen haben 22 % weibliche und 78 % männliche Personen teilgenommen (vgl. Bild 71).

Im Durchschnitt geben die Befragten der Gruppe „unter 30“ eine Fahrleistung von 5.363 km/a an. Die Fahrleistung liegt in dieser Gruppe deutlich unter den Fahrleistungen der anderen Gruppen mit 17.063 km/a in der Gruppe „30-60“ und 15.196 km/a in der Gruppe „> 60“. Dies liegt vor allem daran, dass die Befragten in dieser Gruppe hauptsächlich Studierende sind und meist kein eigenes Fahrzeug besitzen. Die Fahrleistung in den beiden anderen Gruppen ist nahezu gleich groß. Allerdings fällt auf, dass die älteren Befragten angeben zu ihrer berufstätigen Zeit mehr km/a gefahren zu sein als die Berufstätigen heute. Diese mögliche Überschätzung kann aber auch daran liegen, dass die Gruppe „> 60“ sich nicht mehr genau an die frühere Fahrleistung erinnern kann, sondern nur noch weiß, dass sie höher war als heute.

Zu erwähnen ist zudem, dass die Fahrleistung der weiblichen Befragten in der Gruppe „< 30“ bei etwa einem Drittel der Fahrleistung der männlichen Befragten liegt.

Die Fahrleistung in der mittleren Gruppe (30-60), also der Erwerbstätigen, ist bei Frauen und

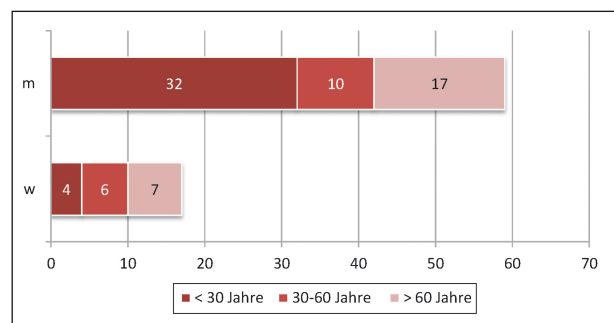


Bild 71: Geschlechterverteilung unter den Befragten

Männern in etwa gleich. In der Gruppe der Älteren (> 60) liegt die Fahrleistung der Frauen bei etwa der Hälfte der Fahrleistung der Männer. Dies lässt sich durch die klassische Rollenverteilung erklären, die in dieser Gruppe noch besonders ausgeprägt ist.

Bei der Selbsteinschätzung des Fahrertyps (vgl. Bilder 72, 73 und 74) ist auffällig, dass vor allem die Männer ihren Fahrstil als „normal“ einschätzen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass sie ihren eigenen Fahrstil als Maßstab für die Bewertung der Fahrstile der anderen Fahrer ansetzen und somit ihren Fahrstil nicht negativ oder positiv bewerten möchten. Jedoch ist die Stichprobe hier nur sehr gering, vor allem die der weiblichen Befragten.

Bei den älteren Fahrern fällt auf, dass diese eine eigene Klasse der Fahrertypen haben. Nur hier gibt

es die Antwort „zügig-zurückhaltend“. Es ist möglich, dass hiermit versucht wird, zum Ausdruck zu bringen, dass man zwar zügig fährt, aber dennoch recht passiv. Wenn man die Gruppe der „zügig-zurückhaltenden“ zu den „zügigen“ Fahrern zählt, ist die Verteilung über die Altersklassen auch nicht signifikant voneinander abweichend. Lediglich die Gruppe der aggressiven Fahrer findet sich nur in den Altersklassen bis 60 Jahre.

Bei der Frage nach Problemen, die es beim Auffahren auf eine Autobahn geben könnte, wird deutlich, dass mit zunehmendem Alter die Befragten immer weniger Probleme sehen. Durch die Verschlechterung der körperlichen Bewegungsfreiheiten im Alter wäre hier eigentlich ein gegenläufiger Trend erwartet worden. Bei den jüngeren Gruppen werden vor allem ein hohes Lkw-Aufkommen und die dadurch kleinen Lücken auf dem Hauptfahrstreifen als Hauptursache für Probleme gesehen.

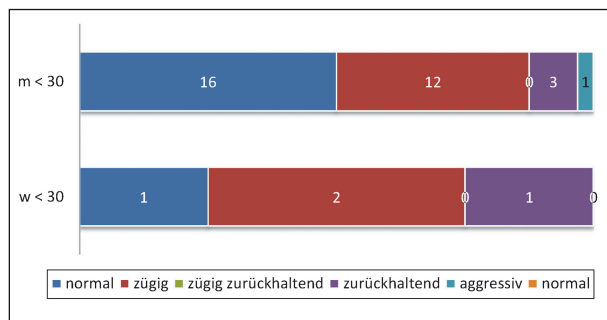


Bild 72: Beurteilung Fahrertyp Gruppe „< 30“

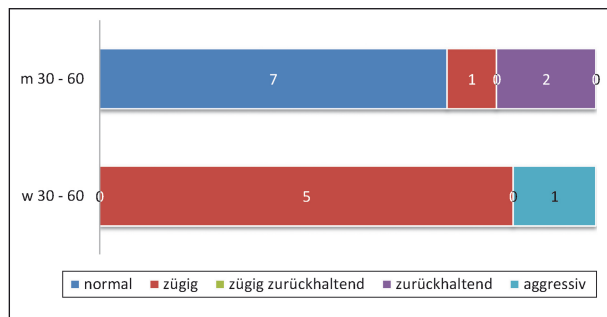


Bild 73: Beurteilung Fahrertyp Gruppe „30-60“

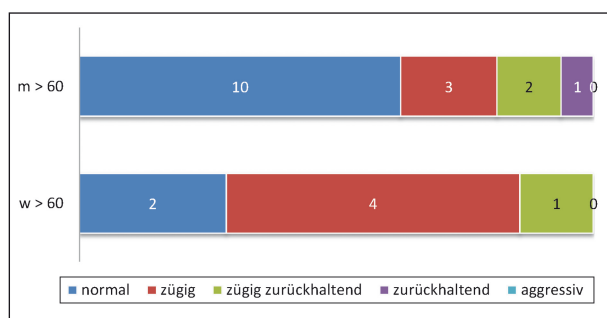


Bild 74: Beurteilung Fahrertyp Gruppe „> 60“

Das die Gruppe „> 60“ Einschränkungen bei verschiedenen Fahrmanövern in Kauf nimmt, wird bei der Frage nach vermiedenen Fahrmanövern deutlich. Hier geben die älteren Fahrer wenige Manöver mehr an und auch ein höherer Anteil der Befragten vermeidet bestimmte Situationen. Ob dies auf Erfahrungen oder körperliche Einschränkungen zurückzuführen ist, kann hier nicht bewertet werden. Bestimmte Einfahrten werden von keinem der Befragten gemieden. Lediglich eine Befragte vermeidet generell Autobahnfahrten.

Körperliche Einbußen in der Bewegungsfreiheit sind nicht unbedingt schon ab einem Alter ab 60 Jahren zu erwarten. In dieser Gruppe waren nur 26 % der Befragten älter als 75 Jahre. Ab diesem Alter ist eher mit körperlichen Einschränkungen zu rechnen (vgl. Bild 75).

Das Verhalten, falls der Beschleunigungsstreifen nicht ausreicht, um auf den Hauptfahrstreifen zu

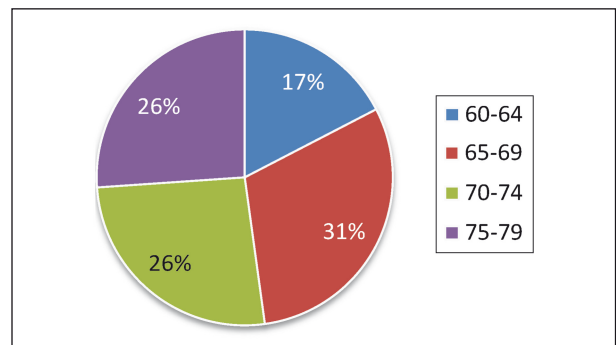


Bild 75: Detailliertere Altersverteilung in der Gruppe „> 60“

wechseln, wird von den Altersgruppen bis 60 Jahre zum überwiegenden Teil (72 % bzw. 81 %) mit der Weiterfahrt auf dem Seitenstreifen beschrieben. Bei der Gruppe der älteren Verkehrsteilnehmer liegt dieser Anteil lediglich bei 29 %. Die Mehrheit in dieser Gruppe würde eher bei der Hälfte der Einfädungsstrecke stehen bleiben und auf eine Lücke warten, die als ausreichend groß eingeschätzt wird. Dieses Verhalten entspricht dem, welches in den Fahrschulen auch vermittelt wird. Jedoch ist dieses Verhalten nicht in der StVO vorgeschrieben. Lediglich die Nutzung des Seitenstreifens zu anderen Zwecken als des Nothaltes ist untersagt. Somit würden sich alle diejenigen, die stehen bleiben eigentlich richtig verhalten. Welche Wirkung das Bremsen in der Beschleunigungsstrecke allerdings auf die nachfolgenden Fahrzeuge hat, kann hier nur vermutet werden. So würde ein stehendes Fahrzeug auf dem Einfädungsstreifen wahrscheinlich eine größere Gefahrenquelle darstellen, als das Befahren des Seitenstreifens für wenige Meter.

Bei der Frage nach der Änderung des Fahrverhaltens bei hohem Lkw-Anteil war eine nahezu gleiche Verteilung in allen Altersklassen festzustellen. Etwa zwei Drittel der Befragten geben an, ihr Fahrverhalten zu ändern, da die Lücken eher kleiner werden.

Ein Drittel der Befragten gibt jedoch auch an, ihr Fahrverhalten nicht zu ändern. Teilweise wird es sogar als angenehmer empfunden, bei einem hohen Lkw-Anteil einzufädeln, da die Geschwindigkeit bei Lkw nicht so hoch ist und man die eigene Geschwindigkeit gut anpassen kann.

Als Fazit aus den Ergebnissen der Befragungen kann festgehalten werden, dass die Verkehrsteilnehmer im Einfahren auf Autobahnen zwar eine gewisse Herausforderung sehen, diese Situation jedoch keine besonderen Probleme bereitet. Hierbei wurden keine wesentlichen Unterschiede zwischen den untersuchten Altersgruppen festgestellt.

6.3 Schlussfolgerungen

Ähnlich zu der Beobachtung des Verhaltens älterer Verkehrsteilnehmer in den empirischen Untersuchungen, konnte auch in der Befragung kein wesentlicher Unterschied im Verhalten der Älteren im Vergleich zu den Jüngeren festgestellt werden.

Daher kann hier nicht verifiziert werden, ob, in Abhängigkeit des Alters, unterschiedliche Probleme bestehen.

7 Bewertung der Verkehrssicherheit

Auf Basis der in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Untersuchungen und Analysen wird im Folgenden eine zusammenfassende Bewertung der Verkehrssicherheit in Einfahrten des Typs E1 vorgenommen.

7.1 Sicherheit einstreifiger Einfahrten

Grundsätzlich konnte bei den hier untersuchten Einfahrten des Typs E1 sowohl im Rahmen der Unfallanalysen als auch in den empirischen Beobachtungen kein besonderes Sicherheitsrisiko festgestellt werden. Die mittlere Unfallanzahl der aus dem Einfädungsvorgang entstandenen Unfälle je Einfahrt und Jahr kann als gering eingestuft werden (1,33 relevante Unfälle je Einfahrt und Jahr). Hinzu kommt, dass die Ursachen hierfür nicht ausschließlich auf das Fehlverhalten der Verkehrsteilnehmer zurück geführt werden konnte, da teilweise auch die äußeren Randbedingungen der Mitauslöser für einen Unfall waren (z. B. nasse Fahrbahnoberfläche).

Ein weiteres Indiz für die Sicherheit der untersuchten Einfahrten ist, dass bei den Verkehrsbeobachtungen zwar häufig Interaktionen während des Einfädungsvorgangs beobachtet wurden, jedoch keine einzige wirklich kritische Situation aufgetreten ist.

Auch wenn aus den Untersuchungen kein eindeutiges Merkmal für ein mögliches Sicherheitsdefizit der Einfahrten des Typs E1 festgestellt werden konnte, zeigte sich dennoch eine Tendenz, die Auswirkungen auf das Konfliktpotenzial beim Einfädungsvorgang haben kann. Dies ist:

- Je höher die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen dem einfahrenden Fahrzeug und den Fahrzeugen auf der Hauptfahrbahn ist, umso größer ist das Konfliktpotenzial beim Einfädungsvorgang.

Dies bekräftigt die bereits von TRAPP (1980) gestellte Anforderung zur Gestaltung von parallelen

Einfädelsstreifen, da hier eine bessere Anpassung der Geschwindigkeiten erfolgen kann.

Hierbei ist zu beachten, dass die Ursache dieser Geschwindigkeitsdifferenz nicht zwingend in einem zu kurzen Einfädelsbereich liegt, sondern maßgeblich auch durch das Beschleunigungsverhalten der Verkehrsteilnehmer sowie die Rampentrassierung in der Einfahrt beeinflusst wird.

Daraus lassen sich zwar keine konkreten Gestaltungshinweise ableiten, diese Information (auch wenn bereits bekannt) kann bei der Planung neuer Einfahrten jedoch als Zusatzinformation zu den gültigen Regelwerken genutzt werden.

Die Untersuchung der Belange älterer Verkehrsteilnehmer hat keine wesentlichen Unterschiede im Verhalten zwischen der Gruppe der Älteren (> 60) im Vergleich zur Gruppe der Jüngeren (< 60) ergeben. Daher kann die Verkehrssicherheit in Einfahrten bezogen auf das Alter der Fahrer als vergleichbar bewertet werden.

7.2 Vergleich mit zweistreifigen Einfahrten

Der Vergleich mit zweistreifigen Einfahrten (Typ E4 und E5) wurde auf Basis der Ergebnisse der Untersuchung von FRIEDRICH et al. (2008) vorgenommen. Da bei dieser Untersuchung ausschließlich Einfahrten an Autobahnkreuzen und -dreiecken untersucht wurden, erfolgte hier ebenfalls die Bildung eines Teilkollektivs von Einfahrten des Typs E1 an Autobahnkreuzen und -dreiecken an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen ($n_E = 5$, $n_U = 103$, Kategorien 1-6). In beiden Untersuchungen wurden die Untersuchungsbereiche 1 bis 3 auf die gleiche Art definiert, sodass eine Gegenüberstellung der Unfallkenngrößen (Unfalldichte, Unfallkostendichte, Unfallrate, Unfallkostenrate) entsprechend dieser Bereiche möglich war.

Grundsätzlich konnte beim Vergleich der Kenngrößen der einstreifigen Einfahrten mit den zweistreifigen Einfahrten keine Besonderheit festgestellt werden. Vielmehr liegen die Kenngrößen der Einfahrten der Typen E4 und E5 sogar in einer vergleichbaren Größenordnung wie jene des Typs E1. Dieses Ergebnis war so zunächst nicht zu erwarten, da bei den zweistreifigen Einfahrten aufgrund des komplexeren Einfädelsvorgangs von einem höheren Konfliktpotenzial ausgegangen wurde. Bei diesem Ergebnis ist jedoch zu beachten, dass die

Anzahl der zugrunde liegenden Einfahrten eher gering ist und das Ergebnis so durch einzelne Einfahrten beeinflusst werden kann. Trotzdem gehen aus den hier vorliegenden Unfalldaten keine besonderen Unfallgefahren im Vergleich zu einstreifigen Einfahrten hervor.

Bei dem hier vorgenommenen Vergleich der Verkehrssicherheit zwischen ein- und zweistreifigen Einfahrten ist zu bemerken, dass die verschiedenen Einfahrtstypen nach RAA (2008) für sehr unterschiedliche Einsatzbereiche entwickelt wurden. Demnach orientieren sich die Einsatzbereiche „an den Querschnittbelastungen der angeschlossenen Rampe und der Hauptfahrbahn unterhalb der Einfahrt sowie an der Entwurfsklasse“ der Autobahn. (vgl. RAA, 2008). Daher ist aus planerischer Sicht eine Entscheidung zwischen ein- und zweistreifigen Einfahrtstypen allein aus Gründen der Verkehrssicherheit nicht praxisgerecht, da hier andere Aspekte für die Auswahl maßgebend sind.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Forschungsprojekt FE 82. 509/2010 wurde die Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen näher untersucht. Dabei lag der Schwerpunkt der Untersuchungen auf den einstreifigen Einfahrten des Typs E1, da dieser auf Autobahnen in Deutschland am häufigsten anzutreffen ist. Ziel des Projektes war es, ggfs. vorhandene Problembereiche bei einstreifigen Einfahrten an Autobahnen zu identifizieren, sowie eine vergleichende Bewertung der Verkehrssicherheit mit zweistreifigen Einfahrten (Typ E4 und E5) sowie anderen Elementen planfreier Knotenpunkte vorzunehmen. Ein zusätzliches Augenmerk sollte auf das Verhalten älterer Verkehrsteilnehmer im Bereich von Einfahrten gelegt werden.

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden zunächst umfangreiche Unfallanalysen an 100 Einfahrten des Typs E1 vorgenommen. Hierzu wurden die Informationen der Unfalldatenbanken der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz genutzt. An 30 besonders auffälligen Einfahrten erfolgte zusätzlich eine systematische Auswertung der Verkehrsunfallanzeigen. Hierbei wurden die textlichen Beschreibungen der Unfallhergänge analysiert und

bewertet, ob ein Unfall direkt oder indirekt aus dem Einfädungsvorgang entstanden ist.

Die Analyse der Einfahrten mit Zuflussregelungsanlage (ZRA) erfolgte im Rahmen eines vorher-nachher-Vergleichs verschiedener Merkmale und Kenngrößen.

Die Ergebnisse der makroskopischen und mikroskopischen Unfallanalysen an einstreifigen Einfahrten des Typs E1 können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Unfallkostenraten von Einfahrten des Typs E1 an zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen sind vergleichbar.
- Die mittleren Unfallraten von Einfahrten des Typs E1 liegen in der Größenordnung anderer Elemente planfreier Knotenpunkte auf Autobahnen.
- Bei Einfahrten des Typs E1 an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen wurde ein Trend festgestellt, dass bei längeren Einfahrbereichen die Unfallkostenrate im Untersuchungsbereich abnimmt.
- Als Auswirkungen von Zuflussregelungsanlagen konnten an den untersuchten 9 Einfahrten eine Verringerung der Unfallschwere sowie ein Rückgang der Unfallanzahl während der Nachmittagsspitzenstunden im Einfahrbereich festgestellt werden.
- Der Anteil der auf den Einfädungsvorgang zurückzuführenden Unfälle im Bereich der Einfahrt beträgt rund 15 %. Vergleiche mit der Einfädungsverkehrsstärke im Bezug zur Verkehrsmenge auf der Hauptfahrbahn an ausgewählten Einfahrten haben gezeigt, dass die Einfahrenden Fahrzeuge etwa doppelt so häufig der Auslöser für Unfälle im Bereich der Einfahrt sind wie jene Fahrzeuge auf der durchgehenden Hauptfahrbahn. Dies kann jedoch durch das höhere Konfliktpotenzial des zwingenden Fahrstreifenwechsels beim Einfädungsvorgang erklärt werden.
- Die absolute Anzahl an Unfällen, die in Zusammenhang mit dem Einfädungsvorgang stehen (120 Unfälle an 30 Einfahrten innerhalb von 3 Jahren), ist trotzdem als gering zu bewerten. Aus den Untersuchungen kann daher kein besonderes Risiko an einstreifigen Einfahrten des Typs E1 abgeleitet werden.

Als Fazit dieser Ergebnisse können die Einfahrten des Typs E1 aus Sicht der Unfallanalysen im Hinblick auf die Verkehrssicherheit als unkritisch eingestuft werden.

Zur Ergänzung der Unfallanalysen wurden empirische Verkehrsbeobachtungen an 14 Einfahrten des Typs E1 durchgeführt. Hieraus wurden weitere Erkenntnisse zum Verhalten der Verkehrsteilnehmer beim Einfädungsvorgang gewonnen. Hierbei lag der Schwerpunkt der Untersuchungen auf dem Spurwechselverhalten, der Weglückenverteilung auf der Hauptfahrbahn sowie dem Verhältnis der gefahrenen Geschwindigkeiten im Einfahrbereich und auf der Hauptfahrbahn.

Aus den umfangreichen Analysen von möglichen Zusammenhängen konnte aus der vorliegenden Datengrundlage kein eindeutiges Merkmal identifiziert werden, welches sich sichtbar auf die Verkehrssicherheit in den untersuchten Einfahrten auswirkt. Vielmehr wurden für jede mögliche These auch immer Gegenbeispiele gefunden, was die Komplexität der Zusammenhänge, aber auch die Individualität der Einfahrten, deutlich macht. Diese Tatsache bestätigt allerdings auch, dass die Einfahrten des Typs E1 im Hinblick auf die Verkehrssicherheit als unkritisch zu bewerten sind.

Trotzdem werden hier zusammenfassend die wesentlichen Ergebnisse nochmals aufgegriffen und hinsichtlich möglicher Empfehlungen für zukünftige Planungen überprüft.

Die im Rahmen der Unfallanalysen festgestellten besonders hohen Unfallkenngrößen bei einem Teil der Einfahrten mit einer Einfahrlänge $l_2 < 200$ m lässt aus Sicht des Forschungsnehmers keine pauschale Forderung nach $l_2 > 200$ m zu. Im untersuchten Einfahrtenkollektiv waren mehrere Einfahrten vorhanden, die selbst bei $l_2 < 200$ m keine Auffälligkeiten im Untersuchungszeitraum zeigen. Aufgrund vorhandener Gegenbeispiele ist eine eindeutige und pauschale Empfehlung hier nicht sinnvoll.

Die Untersuchung der Unfallkonstellationen im Bereich der Einfahrt hat bei den nicht aus dem Einfädungsvorgang resultierenden Unfällen gezeigt, dass hier Auffahrunfälle den größten Anteil darstellen (33,2 %). Auch wenn dieses Ergebnis nicht überraschend ist, wurde eine weitere Konstellation entdeckt, die in ihrer Bedeutung so nicht zu erwarten war: bei den nicht aus dem Einfädungsvorgang resultierenden Unfällen nahmen die Wild-

unfälle einen Anteil von knapp 8 % ein. Dieser Anteil liegt deutlich über dem Anteil der Wildunfälle auf der freien Strecke auf Autobahnen, was ein Hinweis auf die bessere Zugangsmöglichkeit von Wildtieren auf die Fahrbahn im Bereich von Einfahrten ist. Um dies zu vermeiden könnte es besonders in Waldgebieten bzw. Regionen mit großem Wildtiervorkommen sinnvoll sein, hier zusätzliche Maßnahmen zu treffen, um den Zugang von Wildtieren im Bereich der Einfahrten zu verhindern.

Die detaillierte Analyse der Unfallkonstellationen der aus dem Einfädungsvorgang selbst resultierenden Unfälle hat gezeigt, dass der überwiegende Anteil (84,2 %) nahezu ausschließlich auf das Fehlverhalten der Verkehrsteilnehmer zurück zu führen ist. Hier wären Veränderungen der geometrischen Randbedingungen demnach wirkungslos. Um diese „Fahrfehler“ zu reduzieren könnten im Rahmen der Fahrprüfung und/oder durch gezielte Kampagnen (wie z. B. Autobahnplakate „Runter vom Gas“) möglicherweise Verbesserungen erzielt werden, wenn die Aufmerksamkeit der Fahrer im Bezug auf die Einschätzung der Geschwindigkeit anderer Fahrzeuge sowie die Erfassung der Verkehrssituation allgemein gestärkt werden.

Aus der zusammenfassenden Bewertung aller Untersuchungen konnte trotzdem eine Tendenz bestätigt werden:

- Je höher die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen dem einfahrenden Fahrzeug und den Fahrzeugen auf der Hauptfahrbahn ist, desto größer ist das Konfliktpotenzial beim Einfädungsvorgang.

Die Ergebnisse der Untersuchungen haben zwar keine konkreten Gestaltungshinweise ergeben, die Merkmale und Besonderheiten der einzelnen Einfahrten können jedoch bei der Planung neuer Einfahrten als Zusatzinformation zu den gültigen Regelwerken genutzt werden. Beispiele hierfür sind:

- Die Einhaltung der Länge des Einfädungsbereiches,
- die Anpassung der Länge ebendieses Bereiches auf die erwartete Verkehrsbelastung sowie
- die Angleichung der Geschwindigkeiten auf der Hauptfahrbahn und der Einfahrt durch Reduzierung der Geschwindigkeiten auf der Hauptfahrbahn oder Erhöhung der Geschwin-

digkeiten auf der Einfahrt durch bauliche Anpassung.

Die Belange der älteren Verkehrsteilnehmer wurden sowohl im Rahmen der empirischen Beobachtungen als auch in einer ergänzenden Befragung von etwa je 30 Probanden, aufgeteilt in drei verschiedene Altersklassen, erfasst. Hierbei konnten keine wesentlichen Unterschiede im Hinblick auf die Verkehrssicherheit im Bereich von Einfahrten im Vergleich zu einer jüngeren Kontrollgruppe festgestellt werden, da das beschriebene Fahrerverhalten in den untersuchten Altersgruppen überwiegend vergleichbar war.

Trotz der umfangreichen Untersuchungen im Rahmen des vorliegenden Projektes konnten spezielle Fragestellungen nicht untersucht werden. Zum Beispiel umfasste sowohl das Untersuchungskollektiv der Unfallanalysen als auch jenes der empirischen Beobachtungen keine Einfahrten mit einer deutlichen Längsneigung. Hier besteht insbesondere für Einfahrten mit Steigungsstrecken weiterer Forschungsbedarf zur Untersuchung, ob im Vergleich zu den „ebenen“ Einfahrten Unterschiede oder Besonderheiten beim Einfädungsvorgang beobachtet werden können.

Weiterhin wurden aufgrund des abgestimmten Messkonzeptes im Rahmen der empirischen Untersuchungen nur solche Einfahrten untersucht, in denen die Rampe der Einfahrt abwärts verläuft (unten liegende Autobahn). Diese Randbedingung war für die separate Erfassung des Verkehrs auf den Fahrstreifen der Hauptfahrbahn erforderlich (Befestigung der Geräte über der Fahrbahn an Brückengeländern). An der AS Florstadt (aufsteigende Rampen) wurde der Messaufbau zwar auch aus seitlicher Position aufgebaut, die erfassten Daten erlaubten jedoch keine ausreichend detaillierte Auswertung der gewünschten Informationen (Verdeckung der Überholfahrspur, seitliche Kameraposition). Um mögliche Merkmale bei ansteigenden Rampen genauer untersuchen zu können, wären daher ergänzende Untersuchungen erforderlich.

Weiterer Forschungsbedarf wird zusätzlich an Einfahrten mit verkürzten Einfädungstreifen und fehlendem nachfolgenden Seitenstreifen im Bereich von Arbeitsstellen gesehen. Zu diesem Thema wurden im Rahmen der durchgeführten Befragungen Hinweise erhalten, dass diese Situationen ganz besondere Herausforderungen an den Verkehrsteilnehmer stellen.

9 Literatur

- BAIER, M. M.: Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßenverkehrsanlagen – Grundlagen, Methoden, Verfahren. Aachen 2009 (unveröffentlicht)
- BAIER, M. M., SCHÄFER, K. H., KLEMPSKOHNEN, A., HOMMERICH, N., RIEDEL, F.: Verbesserung der Verkehrssicherheit älterer Verkehrsteilnehmer. SV-Projekt 5003-07 im Auftrag des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Aachen 2009 (unveröffentlicht)
- BAKABA, J. E., ORTLEPP, J.: Belange von Senioren zur Verbesserung der Verkehrssicherheit. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 56 (2010), Heft 1, S. 17-22
- BARK, A., KUTSCHERA, R., BAIER, R., KLEMPSKOHNEN, A.: Handbuch der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS), Entwurf eines Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen. FE 03.389/2005/FGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Gießen/Aachen 2008 (unveröffentlicht)
- BAST (2011): LERNER, M.; KRANZ, T.; SCHEPERS, A.: Bewertung der Straßenverkehrsunfälle: Entwicklung der Unfallkosten in Deutschland 2005-2010 – Unfallkostensätze 2010
- BAST (2012): Automatische Straßenverkehrszählung: aktuelle Werte. DTV/SV 2011. BAST. Online verfügbar unter http://www.bast.de/cln_030/nn_472414/DE/Aufgaben/abteilung-v/referat-v2/v2-verkehrszaehlung/Aktuell/zaehl__aktuell__node.html?__nnn=true, zuletzt aktualisiert am 01.08.2013, zuletzt geprüft am 01.08.2013
- BMVBS: Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs, Stand 1.1.2013, Tabelle 2a: Länge der Bundesautobahnen nach Zahl der Fahrbahnen und Fahrstreifen in km, Ausgabe Juli 2013
- BÖNIGK, A.: Konzeption und Umsetzung dynamischer Messungen von Überholvorgängen gegenüber Lastkraftwagen auf Bundesautobahnen. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen, Aachen 2006
- BRÜHNING, E.; BAUER, A.: Der Sicherheitsgewinn durch bisher entwickelte Fahrerassistenzsysteme – eine Einschätzung und ein Blick in die Zukunft. In: Straße und Autobahn 58 (2007), Heft 5, S. 260-261
- BRÜHNING, E., VÖLKER, R.: Das Unfallrisiko im Straßenverkehr – Kenngrößen und ihre statistische Behandlung. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 28 (1982), Heft 3, S. 106-117
- BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH und ITP Intraplan Consult GmbH: Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. FE 96.0857/2005 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, München/Freiburg 2007 (unveröffentlicht)
- CALVI, A.; de BLASIIS, M. R.: Driver Behavior on Acceleration Lanes, Driving Simulator Study. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2248, pp. 96-103, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D. C. 2011
- ELLINGHAUS, D.; SCHLAG, B.; STEINBRECHER, J.: Leistungsfähigkeit und Fahrverhalten älterer Kraftfahrer, Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss., Bremerhaven 1990
- FÄRBER, B.: Neue Fahrzeugtechnologien zur Unterstützung der Mobilität Älterer. In: Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie, 33 (2000), Heft 3, S. 178-185
- FGSV: Richtlinien für die Anlage von Landstraßen, Teil III: Knotenpunkte, Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte (RAL-K-2), Ausgabe 1976. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1976
- FGSV: Hinweise zur Methodik der Untersuchung von Straßenverkehrsunfällen, Ausgabe 1991. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1991
- FGSV: Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfallsteckkarten, Ausgabe 2003. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003
- FGSV: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Ausgabe 2008. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2008

- FGSV: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Ausgabe 2001, Fassung 2009. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2001/2009
- FRIEDRICH, B.; HOFFMANN, S.; IRZIK, M.; MATSCHKE, I.: Zweistreifige Einfahrten an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen – Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 992, Bonn 2008
- GWEHENBERGER, J.: Wirksamkeit von Fahrerassistenzsystemen. In: Straße und Autobahn 58 (2007), Heft 5, S. 263-267
- HÖHNSCHIED, K.-J.; KÖPPEL, W.; KRUPP, R.; MEEWES, V.: Kostensätze für die volkswirtschaftliche Bewertung von Straßenverkehrsunfällen – Preisstand 2000. Straßenverkehrstechnik 2002, Heft 1, 38-40
- KOESTER, H.: Ausgestaltung der Anschluss-, Abzweig- und Kreuzungsstellen der Reichsautobahn. In: Die Straße 3 (1936), Heft 13, S. 420-242
- KONDYLI, A., ELEFTERIADOU, L.: Driver Behavior at Freeway-Ramp Merging Areas: Focus Group Findings. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2124, pp. 157-166, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D. C. 2009
- KÖNIG, R.: Verkehrsablauf an plangleichen Knotenpunkten unter Berücksichtigung der Altersstruktur der Verkehrsteilnehmer. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr Universität Bochum, Heft 32, Bochum 2008
- KRASSER, G.: Entwurfsgrundsätze für planfreie städtische Knotenpunkte. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 164, Bonn 1974
- KÜHNEN, A.: Autobahnverzeichnis 2006. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 154, Bergisch Gladbach 2007
- LANK, C.; WILLE, M.; HABERSTROH, M.: KONVOI-Projekt: Einflüsse automatisierter Lkw auf Fahrer und Umgebungsverkehr. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 57 (2011), Heft 1, S. 7-12
- PROGTRANS: Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. FE 26.0185/2006 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Basel 2007 (unveröffentlicht)
- SCHLAG, B.: Fahrverhaltensbeobachtungen bei jüngeren und älteren Kraftfahrern. In: Verkehrswachforum 2 (2), 1996
- SCHNÜLL, R.; KÖLLE, M.: Kombination entwerftechnischer und betrieblicher Maßnahmen an planfreien Knotenpunkten von Straßen der Kategoriengruppe B. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 650, Bonn 1993
- Shell-Lkw-Studie: Fakten, Trends und Perspektiven im Straßengüterverkehr bis 2023. Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg 2010
- Statistisches Bundesamt: Fachserie 8, Reihe 7, Verkehr, Verkehrsunfälle 2008, Wiesbaden 2009
- Statistisches Bundesamt: Fachserie 8, Reihe 7, Verkehr, Verkehrsunfälle 2009, Wiesbaden 2010
- Statistisches Bundesamt: Fachserie 8, Reihe 7, Verkehr, Verkehrsunfälle 2010, Wiesbaden 2011
- STÖCKER, K.; TRUPAT, S.: Der Einfluss einer Zuflussregelungsanlage an Anschlussstellen auf die Verbesserung des Verkehrsflusses auf Autobahnen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 802, Bonn 2001
- Straßenverkehrsordnung (StVO): Neufassung gem. V. v. 6.3.2013, in Kraft getreten am 1.4.2013 (BGBl. I S. 367)
- TRAPP, K.-H.: Leistungsfähigkeit von Einfahrten in planfreien Knotenpunkten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 174, Bonn 1974
- TRAPP, K.-H.: Untersuchung über die Verkehrssicherheit im Einfahrbereich planfreier Knotenpunkte. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 302 (Teil 1), Bonn 1980
- UHLFELDER, H.: Richtlinie für die technische Anlage von Autobahnen. In: HAFRABA – Mitteilungsblatt 3 (1931), Nr. 11, S. 2-7

WEBER, R.: Untersuchung des Verkehrsablaufs an Einfahrten von planfreien Knotenpunkten der Straßenkategoriegruppe A – Ein Beitrag zur Dimensionierung der Einfahrtöffnung. Rösrath 1997

WESTPAHL, S.: Bemessungsverfahren von Einfahrten an planfreien Knotenpunkten. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr Universität Bochum, Heft 13. Bochum 1995

ZIMMERMANN, M.; CINDRIC-MIDDENDORF, D.: Festlegung der Einsatzbereiche für die Rampentypen gemäß RAA unter Berücksichtigung der Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit sowie anhand der Verkehrssicherheit. FE 02.0284/2007/ARB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Karlsruhe 2011

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2013

- V 226: **Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen**
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00
- V 227: **Radpotenziale im Stadtverkehr**
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann, Mahlau, Gässler € 17,00
- V 228: **Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr**
Baier, Göbbels, Klemps-Kohnen € 15,50
- V 229: **Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Mess-Systemen**
Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50
- V 230: **Verkehrsadaptive Netzsteuerungen**
Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50
- V 231: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011**
Fitschen, Nordmann € 28,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 232: **Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme**
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50
- V 233: **Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse**
Lensing € 16,00
- V 234: **Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik**
Lensing € 17,50

2014

- V 235: **Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen 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 Nachweis 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 Straßenbetriebsdienst – Sommerdienst**
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00
- V 239: **Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen**
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

V 240: **Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen**
Baier, Leu, Klemps-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 Bodenindikatoren 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 Knotenpunkte 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 – Grundlagenermittlung**
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 längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen**
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 Straßenumgestaltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken**
Baier, Engelen, Klemps-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 Verkehrssicherheit 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 Anlagenteile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung 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 innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**

Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier

Hantschel, Otto € 18,00

V 258: Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten

Holldorb, Streich, Uhlig, Schäufele

€ 18,00

V 259: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung 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 Straßenwinterdienst**

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

€ 16,50

2017**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.

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