

# Interdisziplinärer Ansatz zur Analyse und Bewertung von Radverkehrsunfällen

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Mensch und Sicherheit Heft M 324

**bast**

# Interdisziplinärer Ansatz zur Analyse und Bewertung von Radverkehrsunfällen

von

Michael M. Baier  
Derya Cekic  
Katja Engelen  
Reinhold Baier

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

Thomas Jürgensohn  
Christina Platho  
HFC Human-Factors-Consult GmbH  
Berlin

Michael Hamacher  
Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH  
Aachen

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Mensch und Sicherheit Heft M 324**

**bast**

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

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

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

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

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

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

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt 82.0658**  
Interdisziplinärer Ansatz zur Analyse und Bewertung von Radverkehrsunfällen

**Fachbetreuung**  
Benjamin Schreck-von Below

**Referat**  
Sicherheitskonzeptionen, Sicherheitskommunikation

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

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Kommunikation

**Druck und Verlag**  
Fachverlag NW in der  
Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53  
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9315  
ISBN 978-3-95606-654-2

Bergisch Gladbach, Januar 2022

## Kurzfassung – Abstract

### Interdisziplinärer Ansatz zur Analyse und Bewertung von Radverkehrsunfällen

Das Thema der Radverkehrssicherheit wurde bereits in Forschungsprojekten verschiedener Fachdisziplinen fachspezifisch betrachtet. In diesem Projekt wurde ein interdisziplinärer Ansatz verfolgt, um Radverkehrsunfälle aus Sicht der drei Fachdisziplinen Infrastrukturplanung, Verkehrspsychologie und Fahrzeugtechnik zu analysieren und zu bewerten.

In einer Grundlagenanalyse wurden zunächst wissenschaftliche Erkenntnisse zur Radverkehrssicherheit aus Sicht der drei Fachdisziplinen zusammengetragen. Darauf aufbauend wurden Konstellationen erarbeitet, mit denen eine Fokussierung auf Unfälle ausgewählter Merkmale erfolgen konnte. Es wurden fünf relevante Konstellationen abgeleitet. Diesen konnten aus der Datenbank der German In-Depth Accident Study (GIDAS) insgesamt 1.125 Unfälle der Jahre 2005 bis 2018 zugeordnet werden. Davon wurden 40 ausgewählte Unfälle einer interdisziplinären Betrachtung unterzogen. Im Ergebnis wurde u. a. festgestellt, dass oftmals Wahrnehmungsfehler unfallursächliche Einflussfaktoren sind. Wahrnehmungsfehler sind beim Informationszugang (objektive Verfügbarkeit der notwendigen Informationen) und bei der Informationsaufnahme (aufmerksames Beobachten und Erkennen aller relevanten Informationen) zu finden.

Es wurde eine Anleitung zur interdisziplinären Analyse von Radverkehrsunfällen auf Grundlage eines Phasenmodells der Einflussfaktoren und Randbedingungen entwickelt. In diesem Modell werden den Prozessphasen (Informationsbereitstellung, Informationszugang, -aufnahme, -verarbeitung, Entscheidung, Verhalten und Verhaltensfolge) Einflussfaktoren des Menschen, der Infrastruktur oder des Fahrzeugs auf Radverkehrsunfälle zugeordnet.

Die Analyseanleitung zeigt auf, welche Fragen gestellt werden müssen, um Defizite im Zusammenhang mit Radverkehrsunfällen zu identifizieren und geeignete Handlungsmaßnahmen auszuwählen. Mit einer beispielhaften Darstellung des Analysevorgehens wurde demonstriert, wie für Wirkungszusammenhänge sensibilisiert wird. Die entwickelte Anleitung zur Analyse von Radverkehrsunfällen kann ein anlassbezogenes Verfahren darstellen, das u. a. zum Einsatz kommt, wenn das Unfallgeschehen durch die gängigen Methoden der Verkehrssicherheitsarbeit nicht plausibel erklärbar ist.

### Interdisciplinary approach for the analysis and evaluation of cycling accidents

The topic of bicycle safety has already been considered in research projects of different disciplines. In this project, an interdisciplinary approach was pursued to analyze and evaluate bicycle accidents from the perspective of the three disciplines of infrastructure planning, traffic psychology and vehicle technology.

In a basic analysis, scientific findings on bicycle safety from the perspective of the three disciplines were first compiled. Based on this, constellations were developed to focus on accidents with selected characteristics. Five relevant constellations were derived. From the database of the German In-Depth Accident Study (GIDAS) a total of 1,125 accidents from 2005 to 2018 could be assigned to these constellations. Of these, 40 selected accidents were subjected to an interdisciplinary analysis. The results showed that perception errors are often the cause of accidents. Perceptual errors are to be found in the access to information (objective availability of the necessary information) and in the reception of information (attentive observation and recognition of all relevant information).

A manual for the interdisciplinary analysis of bicycle accidents based on a phase model of the influencing factors and boundary conditions was developed. In this model, the process phases (information provision, information access, information acquisition, information processing, decision, behaviour and behaviour sequence) are assigned to the influencing factors of the person, the infrastructure or the vehicle on bicycle traffic accidents.

The analysis guide shows which questions have to be asked to identify deficits in connection with bicycle accidents and to select suitable measures for action. With an exemplary representation of the analysis procedure it was demonstrated, how one sensitizes for effect connections. The developed manual for the analysis of bicycle accidents can be used as a procedure for specific occasions, for example, if the accident cannot be plausibly explained by current methods of road safety work.

## Summary

### Interdisciplinary approach for the analysis and evaluation of cycling accidents

#### 1 Task

Overall, road safety has developed positively in recent years. The total number of accidents has decreased. This positive development can also be observed with regard to bicycle accidents, but not to the same extent or even with an opposite trend. While the number of accidents within built-up areas has decreased by 16 % since 2000 (until 2014) according to official accident statistics, the number of cyclists who have been involved in accidents within built-up areas has increased by 9% during the same period. A similar picture emerges with regard to cycling accidents outside built-up areas on country roads. Since 2000 (until 2014), the number of accidents involving personal injury recorded by the police has fallen by 34 %, while the number of accidents involving cyclists has only fallen by 10 %.

Since the topic of bicycle safety can be viewed or analyzed from different perspectives, there are already various research projects in various disciplines (including vehicle technology, infrastructure planning and traffic psychology), which deal with the analysis of factors influencing accidents and measures to reduce the frequency and severity of accidents. However, a holistic approach by the various disciplines has not yet been sufficiently researched. Only one basic research has for the first time presented a systematic of safety criteria from the viewpoint of the relevant disciplines of infrastructure planning, traffic psychology and traffic medicine. However, the field of automotive engineering was not considered here.

Building on this basic research project, an interdisciplinary approach was to be taken for the first time to analyze, model and evaluate the safety of bicycle traffic. An essential part of the research project was the development of a model with which relevant factors influencing the occurrence of accidents from the three disciplines of infrastructure planning, traffic psychology and vehicle technology can be identified for different constellations using different data sets.

## 2 Methodology

First of all, a basic analysis was carried out, in which scientific findings on bicycle safety were compiled from national and international research work. In addition, the scientific methods used were determined. The basic analysis formed the basis for the system for evaluating the relevance of potential influencing factors on the occurrence of accidents, which was developed further.

In this systematics a focus on accidents of selected characteristics, which are called constellations, took place. Five relevant constellations were derived:

- Constellation K1: Out-turning or crossing accident with a left-hand cyclist at a traffic-sign-regulated intersection,
- Constellation K2: In-turning accident with cyclist from the same direction of travel at a light-signaled intersection,
- Constellation S1: Accident due to stationary traffic with passing cyclist,
- Constellation S2: Accident in longitudinal traffic with cyclist in same direction of travel outside built-up areas,
- Constellation S3: Turning/crossing accident at property access road with cyclist.

To supplement the existing knowledge, a supplementary data analysis was carried out for the selected five constellations. For a target-oriented approach it was checked which data cover the data requirements. The accident database of the German In-Depth Accident Study (GIDAS) was identified as the only available data source that meets the requirements with characteristics on influencing factors of the disciplines infrastructure planning, traffic psychology and vehicle technology. For the accident analysis, samples were taken from the entire data set based on the characteristics defined for the five constellations. For the constellation K1, the evaluation of traffic-psychologically relevant characteristics was additionally performed in the database of the Application possibilities of the Accident Causation Analysis System (ACAS). The results from both databases were used to evaluate individual accidents of certain constellations in an interdisciplinary way.

On this basis, a model was developed to evaluate the relevance of factors influencing the accident occurrence. This model should correspond to a process model, which should help to show which targeted questions have to be asked, so that the specific problems or deficits in bicycle traffic as well

as the specialist areas to be included can be identified and suitable action measures can be selected. The aim was not to list the relevant factors influencing bicycle safety separately for each specialist discipline, but to create an interdisciplinary approach. The application of the developed model was finally demonstrated.

The interim results of the model development were presented and discussed in two expert workshops. The focus of the first expert workshop was on the established systematics and the results of the data analysis. The second expert workshop focused on the modeling of possible safety criteria. In particular, the aim was to determine whether the respective disciplines were sufficiently represented in the project results and thus whether an interdisciplinary approach to the solution could be created.

### 3 Results

Within the framework of the basic analysis and in discussions between the three disciplines, it was determined that the term "bicycle safety" is very broadly defined and that the assessment by the various disciplines differs greatly.

Infrastructure planning has the task of providing road users with efficient and safe traffic facilities. Numerous research projects are dedicated to the comparison of different forms of guidance for bicycle traffic. As a rule, traffic safety is assessed by means of accidents. The degree of bicycle safety is described by the number and consequences of accidents, e.g. mostly by accident cost rates. The accident analysis usually serves to identify risk-increasing factors and to derive effective measures later.

Traffic psychology, on the other hand, is not exclusively concerned with accidents, but with the experience and behavior of people in traffic and the underlying psychological processes. In addition to concrete behavior in different traffic situations, it takes into account psychological processes in interaction with the vehicle (e.g. driver assistance systems) and the infrastructure. As far as possible, it tries to investigate the causality behind observed contexts. There are only a few original traffic psychological measures (with the exception of traffic education measures). However, it is possible to derive measures for infrastructure planning and vehicle technology from traffic psychological findings.

Automotive engineering, on the other hand, follows similar approaches to infrastructure planning, but links the evaluation of traffic safety with the

fulfilment of defined test requirements. These are derived for the respective protection systems of active and passive safety from the most relevant or most serious accident scenarios within accident research. While nowadays only a few rigidly defined constellations are used for this purpose, there will be a significant expansion of the test spectrum and the variability of the test conditions with regard to active safety in the future, whereby the effectiveness and reliability of the correspondingly designed systems will be further improved.

In the course of the project, bicycle safety was initially assessed on the basis of the number and sequence of accidents. For this purpose, the five relevant constellations were derived.

The basic constellation forms the basis. This serves as a classification scheme to describe accidents in terms of the spatial and temporal constellation of accident participants in a structural and situational context. The basic constellation is described by:

- Situation in relation to built-up areas (within or in front of built-up areas or outside built-up areas),
- Location in the road network (route or junction),
- on routes, the number of lanes of motor vehicle traffic and stationary traffic (for roads in the apron or within built-up areas) as well as the type of junction (light-signal controlled junctions, traffic-sign controlled junctions or traffic circles) and the type of traffic control for the cyclist (priority)
- Type of conflict (direction of movement of the parties involved shortly before the accident),
- Involvement (sole accident or accident with others involved).

If required, the specific constellation can be considered as a concrete basic constellation with information on lighting conditions, road conditions, the vehicle, the bicycle and/or the cyclist (age). In order to evaluate traffic safety for cycling, accidents were assigned to a (basic) constellation of influencing factors. The neutral term was chosen in order not to anticipate the effect of the influencing factor. Influencing factors can increase the accident risk (accident-favoring), reduce the accident risk (accident-avoiding) or have a neutral effect. The system for evaluating the relevance of potential influencing factors was presented in a first expert workshop. The experts rated the system as highly infrastructure-related. The discipline of infrastructure planning depends on the definition of the infrastructure characteristics used. The specialist discipline of vehicle technology uses

scenarios similar to the constellations in the evaluation of traffic safety. For the discipline of traffic psychology, the spatial description of the constellations is not necessary, but it does not restrict them in their evaluation of relevant risk factors.

In the GIDAS database a total of 1125 accidents were identified: 659 accidents of the constellation K1, 145 accidents of the constellation K2, 218 accidents of the constellation S1, 12 accidents of the constellation S2 and 91 accidents of the constellation S3. For a sample of accidents an interdisciplinary consideration took place. On the basis of the accident texts and photos in GIDAS, these were analyzed by individual experts from the respective disciplines and the relevant influencing factors were evaluated.

In addition, for constellation K1 an analysis of the ACAS database was carried out with regard to the causes of the accident. Altogether 525 cases were available in the database, which were assigned to an accident of the three-digit accident type 342 and thus to the constellation K1. For 366 cases, the information intake was given as the primary cause. The second cause was in 90 % a wrong focus of attention.

For the five constellations, the following accident courses and influencing factors were determined:

- Constellation K1: Motor vehicle drivers drove from the subordinate road towards the junction and stopped at the superordinate road to give priority to the flowing motor vehicle traffic. In doing so, they paid no attention to the infrastructure features indicating the cyclist, nor to the cyclist himself. Cyclists rode in the left side of the priority road, saw the vehicles and indicated stopping in such a way that they had been seen and would be given priority. Even though some visibility obstacles could be identified, it was found that accidents occurred even in good visibility conditions and with clear indication of the dangerous situation (indication of crossing cyclists from the right by appropriate signs), because motor vehicle drivers did not perceive the necessary information.
- Constellation K2: Motor vehicle drivers approached the traffic light controlled intersection with the intention of turning right. Cyclists drove in the same direction at road level or in the side room with the intention of continuing straight ahead. Motorists sometimes stopped to give priority to cyclists or pedestrians crossing the road, but did not see the cyclists involved and collided with them. As a rule, there

were no infrastructural obstacles to visibility, but truck drivers in particular claimed to have looked but not seen the cyclists involved.

- Constellation S1: Motor vehicle drivers or passengers opened the vehicle door without paying attention to possible cyclists. Cyclists drove against the vehicle door and crashed. Why the cyclists (with different use of the traffic areas) drove in a only small distance to the parked vehicles could not be determined. Neither cyclists nor car drivers recognized the possible dangerous situation. Furthermore, motor vehicle drivers were partly mentally distracted (e.g. by other occupants).
- Constellation S2: The accident sequences and influencing variables were sometimes very different. In general, motor vehicle drivers (sometimes in darkness) hit cyclists in front or collided with cyclists during an overtaking maneuver. The cyclists drove in mixed traffic with the motor vehicle traffic on the roadway (in the absence of an accompanying cycle path). Since cyclists had not been seen, the motor vehicles collided with them at high speed.
- Constellation S3: The motor vehicle driver drove out of a property access road. There was no visual contact with the cyclist, who was usually in the side room, but who was also driving and crossing on the roadway, and so they collided. The visibility in and out of the property access road was strongly limited.

Local measures of infrastructure planning could be derived for the considered accident examples. However, it was found that these alone are not sufficient to prevent accidents. All accident constellations can also be addressed by measures of vehicle technology or traffic education. In particular, future assistance systems that trigger a warning or, ideally, automatically initiated emergency braking could prevent accidents in the constellations under consideration, especially because of the predominantly low speed level. If future possibilities are considered in the course of networking the different road users in road traffic, the protection potential of active vehicle systems could be significantly increased again. Passive measures, on the other hand, were generally considered to be less effective in avoiding the constellations under consideration; they merely reduce the consequences (severity of injury to the cyclist).

Based on the knowledge gained, a model was developed to identify the relevant factors influencing the occurrence of accidents from the three specialist

disciplines of infrastructure planning, traffic psychology and vehicle technology. In the first expert workshop it was worked out that the evaluation of the influencing factors and possible measures carried out in the context of the individual case consideration must be represented by the model. The experts agreed that an algorithmic model for the calculation of impact contributions was not appropriate, since the large number of influencing factors could not be quantitatively represented due to the limited data availability. Rather, the aim was to provide a procedural model with which the specific problems or deficits in bicycle traffic could be identified and suitable measures selected.

In the model, primary and secondary causes of accidents were mapped and assigned to each other. Since human actions basically determine the movement in the road space, which in turn can lead to an accident, the model depicts the human process of thinking and behavior shortly before the accident (pre-crash phase). It takes into account the fact that the influence of human error will be limited in the future as vehicles become increasingly automated, so that for autonomous vehicles the occupants can ultimately no longer be held responsible for possible accidents. The primary causes of accidents are derived from the course of the accident, which must be reconstructed by the addressee of the model. The primary causes of accidents apply to the specific pre-crash phase of an accident under the given time and local conditions.

The secondary cause of an accident is the cause of a human or system error and can be assigned to the infrastructure, the vehicle and/or the human being. Such secondary causes of accidents, which are valid beyond the short period of the pre-crash phase, can be counteracted in the future if necessary, in order to positively influence the accident event in the long term. Therefore, the direct approach to improving road safety in bicycle traffic lies with them. It is assumed that for certain primary causes of accidents only a limited number of secondary causes of accidents can be considered. Thus, these serve to categorize the secondary causes of accidents that can be influenced. Since not only causes of accidents but also measures are to be considered in the model, not only accident-favoring but also accident-preventing conditions are listed as influencing factors in the model. The structure of the model and the influencing factors were agreed upon during the second expert workshop.

The model was developed with the aim of making the addressees of bicycle safety aware of influencing factors from the three disciplines in order to be able to identify relevant interrelationships. It is not intended to replace the analysis methods used in the individual disciplines, but rather to support an interdisciplinary approach. Against this background, the model cannot cover the depth of detail of the subject-specific analysis methods.

On the basis of an exemplary model application with selected accident examples, it was possible to demonstrate how the accident sequence can be broken down into individual process components (cause categories) on the basis of the model in order to differentiate the associated influencing factors accordingly. The model names a limited number of influencing factors for each process component, but in general terms. The user has to check independently on the basis of the data available to him in which way the influencing factors are present. It is decisive how detailed the available data basis is and whether statements of the accident participants are available to understand their thought processes. The user is sensitized to the interrelationships of effects, but must independently evaluate whether the influencing factors are accident-favoring, accident-avoiding or neutral in their influence. The model thus requires an understanding of relevant correlations in bicycle safety.

## 4 Conclusions

The procedural model for interdisciplinary cooperation on road safety issues developed within the project needs to be evaluated in practice. A key question is whether the interdisciplinary process model covers the needs of the different user groups. In research projects the users would have to be accompanied after an analysis of the field of activity and the practicability of the model would have to be checked. Quality criteria of the evaluation are for example the comprehensibility (cross-disciplinary), the availability of the required information or the benefit. The result should be to optimize the model and, if necessary, to adapt it specifically to the needs of individual user groups.

The data analysis carried out has shown that essential insights into the causes of accidents and influencing factors result less from the database itself, but rather from viewing accident reports, photos of the situation and descriptions of accidents. It is particularly difficult to identify the causes of accidents that lie in the human information processing process. One can try to

determine these influencing factors by later questioning the involved persons. Often these influencing factors are however not consciousness-enabled.

One possibility here may be traffic conflict research, in which traffic safety is evaluated in an operationalized way using substitute variables. In addition to physical parameters such as times, speeds or distances, other parameters that are subject to a more complex measuring mechanism or partly require human judgement can be used as substitute parameters. With regard to the cases investigated within the scope of this project, for example, studies could be carried out for the constellation K1, in which observations of the gaze behavior of vehicle drivers are made "from the outside" at selected intersections. Failure to look to the right to check for a possible cyclist approach could then be used as a measure of conflict. If this measure of conflict can be validated by comparing it with accident figures, this measure can be used for the evaluation of measures. Another example of the development of a conflict measure for one of the cases worked on in this project would be the observation of the behavior of cyclists passing rows of parked cars. In addition to measuring distances, trained human observers can also be used to assess the general level of attention of cyclists.

## Inhalt

<b>1 Hintergrund und Zielsetzung.....</b>	<b>11</b>	5.1.7 Spezifische Konstellation.....	44
<b>2 Vorgehensweise und Arbeitsprogramm ....</b>	<b>11</b>	5.1.8 Ausschluss von besonderen Unfallumständen und Bereinigung der Stichprobe.....	44
<b>3 Grundlagenanalyse.....</b>	<b>12</b>	5.2 ACAS-Datenauswertung .....	45
3.1 Radverkehrssicherheit in der Unfallstatistik.....	12	5.3 Interdisziplinäre Betrachtung ausgewählter Unfälle .....	48
3.2 Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit im Radverkehr.....	13	5.3.1 Betrachtung der Konstellation K1....	48
3.2.1 Erkenntnisse aus der Infrastrukturplanung .....	14	5.3.2 Betrachtung der Konstellation K2....	48
3.2.2 Erkenntnisse aus der Verkehrspsychologie .....	18	5.3.3 Betrachtung der Konstellation S1....	48
3.2.3 Erkenntnisse aus der Fahrzeugtechnik .....	21	5.3.4 Betrachtung der Konstellation S2....	49
3.2.4 Erkenntnisse aus interdisziplinären Untersuchungen.....	26	5.3.5 Betrachtung der Konstellation S3....	49
3.2.5 Offene Fragen.....	27	5.3.6 Analyse relevanter Einflussfaktoren.....	49
3.3 Methoden zur Analyse, Modellierung und Bewertung.....	28	<b>6 Anleitung zur interdisziplinären Analyse von Radverkehrsunfällen.....</b>	<b>52</b>
3.3.1 Unfallanalysen .....	28	6.1 Adressaten.....	52
3.3.2 Befragungen von Unfallbeteiligten ..	28	6.2 Betrachtungsebene .....	52
3.3.3 Verhaltensbeobachtungen.....	28	6.3 Datengrundlage.....	52
3.3.4 Experimente.....	29	6.4 Phasenmodell .....	52
3.3.5 Modelle .....	29	6.4.1 Zielsetzung.....	53
3.4 Schlussfolgerungen für das weitere Vorgehen.....	33	6.4.2 Aufbau .....	53
<b>4 Ableitung von Konstellationen.....</b>	<b>34</b>	<b>7 Beispielhafte Anwendung der Phasenmodelle.....</b>	<b>57</b>
4.1 Grundkonstellation .....	34	7.1 Beispiel der Konstellation K1 .....	57
4.2 Spezifische Konstellation .....	36	7.2 Beispiel der Konstellation K2 .....	59
4.3 Situative Konstellation.....	36	7.3 Beispiel der Konstellation S1 .....	60
4.4 Ausgewählte Konstellationen .....	36	7.4 Beispiel der Konstellation S2 .....	61
4.4.1 Merkmale der Konstellation K1 .....	36	7.5 Beispiel der Konstellation S3 .....	62
4.4.2 Merkmale der Konstellation K2.....	37	7.6 Schlussfolgerungen.....	62
4.4.3 Merkmale der Konstellation S1.....	40	<b>8 Fazit und Ausblick.....</b>	<b>62</b>
4.4.4 Merkmale der Konstellation S2.....	41	<b>Literatur.....</b>	<b>64</b>
4.4.5 Merkmale der Konstellation S3.....	41	<b>Bilder .....</b>	<b>71</b>
<b>5 Analyse vertiefender Datengrundlagen ....</b>	<b>42</b>	<b>Tabellen.....</b>	<b>71</b>
5.1 Bestimmung der Datenstichprobe in GIDAS .....	43		
5.1.1 Lage in Bezug zu bebauten Gebieten .....	43		
5.1.2 Lage im Straßennetz.....	43		
5.1.3 Knotenpunktart.....	43		
5.1.4 Verkehrsregelung für Radfahrer ....	43		
5.1.5 Konflikttyp .....	43		
5.1.6 Beteiligung.....	44		

Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen  
BAST-Archiv ELBA unter  
<https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.



## 1 Hintergrund und Zielsetzung

Vor dem Hintergrund des kommunalen Klimaschutzes sind Kommunen bestrebt, den anhaltenden Trend zum Radverkehr zu fördern, um so den Anteil des Radverkehrs im Modal Split weiter zu steigern. In vielen Städten hat der Radverkehrsanteil in den letzten Jahren bereits zugenommen. Zukünftig sollte hier mit einer weiteren Steigerung gerechnet werden (ALRUTZ et al., 2015a).

Die Verkehrssicherheit im Straßenverkehr insgesamt hat sich in den vergangenen Jahren positiv entwickelt. Die Gesamtzahl an Unfällen ist zurückgegangen. Gründe hierfür liegen u. a. in der Arbeit der Unfallkommissionen, einer verbesserten, sichereren Straßeninfrastruktur, da zum einen in der neuen Richtliniengeneration der Verkehrssicherheitsaspekt noch stärker berücksichtigt ist, und zum anderen seit fast 15 Jahren zu vielen Straßenplanungen beim Neu-, Um- und Ausbau Sicherheitsaudits durchgeführt werden. Auch jüngere Veränderungen in der Ausbildung von Kraftfahrern haben einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit gezeigt. So ist das begleitete Fahren ab 17 Jahren eine wirksame Maßnahme zur Erhöhung der Sicherheit junger Fahranfänger. Aber auch die Entwicklungen in der Fahrzeugsicherheit und deren zunehmende Marktdurchdringung, einmal in Form von gestiegenen Sicherheitsstandards in der passiven Sicherheit und einmal in Bezug auf die Einführung verschiedener Fahrerassistenzsysteme (aktive Sicherheit), haben ihren Beitrag an der positiven Entwicklung.

Diese Entwicklung ist jedoch in Bezug auf die Radverkehrsunfälle nicht gleichermaßen zu beobachten. Während die Zahl der Verunglückten innerhalb geschlossener Ortschaften laut amtlicher Unfallstatistik insgesamt seit 2000 (bis 2014) um 16 % abgenommen hat, ist die Anzahl der innerorts verunglückten Radfahrer im gleichen Zeitraum um 9 % angestiegen. Ähnliches zeigt sich auch in Bezug auf die Radverkehrsunfälle außerhalb geschlossener Ortschaften auf Landstraßen. Hier sind seit 2000 (bis 2014) die polizeilich erfassten Unfälle mit Personenschaden insgesamt um 34 %, die entsprechenden Unfälle mit Radfahrerbeteiligung jedoch nur um 10 % gesunken (SCHRECK, 2016).

Die durch das Statistische Bundesamt veröffentlichten Anzahlen Verletzter und Getöteter stellen allerdings nur einen Teil des Unfallgeschehens von Radfahrern dar. VON BELOW (2016) zeigt in einer Studie von in Krankenhäusern aufgenommenen verunfallten Radfahrern, dass im Mittel 75 % nicht polizeilich erfasst wurden und deshalb in der amtlichen Statistik nicht enthalten sind.

Da das Thema der Radverkehrssicherheit aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet bzw. analysiert werden kann, gibt es zahlreiche Forschungsprojekte verschiedener Fachdisziplinen, u. a. aus der Fahrzeugtechnik, der Infrastrukturplanung (gemeint ist hier die Straßenverkehrsinfrastrukturplanung; diese umfasst die Verkehrsplanung, den Straßentwurf und den Straßenbetrieb einschließlich die Verkehrssteuerung) und der Verkehrspsychologie, die sich fachspezifisch mit der Analyse von unfallbeeinflussenden Faktoren sowie Maßnahmen zur Minderung von Unfallhäufigkeit und -schwere befassen. Eine gesamtheitliche Betrachtung durch die unterschiedlichen Fachdisziplinen ist bisher jedoch nicht hinreichend erfolgt. Bislang haben lediglich BAIER/GÖBBELS/KLEMP-S-KOHLEN (2013) als Grundlagenforschung erstmals eine Systematik von Sicherheitskriterien aus Sicht der relevanten Fachdisziplinen Infrastrukturplanung, Verkehrspsychologie und Verkehrsmedizin vorgelegt. Der Bereich der Fahrzeugtechnik blieb hier jedoch unberücksichtigt.

Aufbauend auf diesem Grundlagenforschungsprojekt soll ein interdisziplinärer Ansatz aus den drei Fachdisziplinen Infrastrukturplanung, Verkehrspsychologie und Fahrzeugtechnik verfolgt werden, um die Sicherheit des Radverkehrs zu analysieren und zu bewerten. Im Fokus der Bearbeitung stehen folgende Fragestellungen:

- Welche Einflussfaktoren auf die Radverkehrssicherheit sind von Bedeutung?
- Welche Wechselwirkungen gilt es zu beachten?
- Wie können Maßnahmen (allgemein und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit) bewertet werden?

Wesentlicher Bestandteil des Forschungsprojekts ist die Erarbeitung einer Anleitung zur Analyse von Radverkehrsunfällen, mit der relevante Einflussfaktoren auf das Unfallgeschehen aus den drei Fachdisziplinen Infrastrukturplanung, Verkehrspsychologie und Fahrzeugtechnik für verschiedene Konstellationen unter Verwendung unterschiedlicher Datenbestände identifiziert werden können. Die Anleitung zur Analyse von Radverkehrsunfällen soll aufbauend auf Methoden der Verkehrssicherheitsarbeit entwickelt werden.

## 2 Vorgehensweise und Arbeitsprogramm

Die methodische Vorgehensweise sieht insgesamt sechs miteinander verknüpfte Arbeitsschritte vor (Bild 1). Diese sind nachfolgend kurz beschrieben.

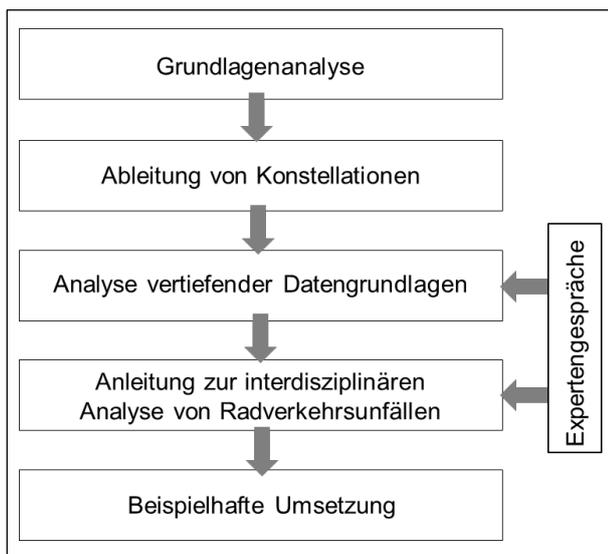


Bild 1: Arbeitsschritte

Im Rahmen einer Grundlagenanalyse werden nationale und internationale wissenschaftliche Erkenntnisse zur Radverkehrssicherheit zusammengetragen sowie die eingesetzten wissenschaftlichen Methoden eruiert. Die Grundlagenanalyse dient der Erfassung des Wissenstands (u. a. zu bereits identifizierten relevanten Einflussfaktoren). Sie bildet aber vor allem die Basis für die im Projektverlauf abzuleitenden Konstellationen.

Anschließend erfolgt, um die hohe Anzahl potenzieller Einflussfaktoren hinsichtlich ihrer Relevanz beurteilen zu können, eine Fokussierung auf Unfälle ausgewählter Merkmale, die als Konstellationen bezeichnet werden. Diese dienen als Klassifikationschema, mit dem Unfälle bezüglich der räumlichen und zeitlichen Interaktion von Unfallbeteiligten in einem baulichen und situativen Kontext beschrieben werden.

In Ergänzung des bisherigen Kenntnisstands wird für die ausgewählten Konstellationen eine Analyse vertiefender Datengrundlagen durchgeführt. Für eine zielgerichtete Herangehensweise wird überprüft, welche Daten den Datenbedarf abdecken. Auf Grundlage der final ausgewählten Datenbank der GIDAS werden Radverkehrsunfälle der abgeleiteten Konstellationen interdisziplinär analysiert und die relevanten Einflussfaktoren identifiziert.

Das Ergebnis ist die Anleitung zur Analyse von Radverkehrsunfällen auf Grundlage des entwickelten Phasenmodells der Einflussfaktoren. Dabei gilt es die relevanten Einflussfaktoren auf die Radverkehrssicherheit in dem Phasenmodell nicht für jede Fachdisziplin getrennt aufzuführen, sondern einen interdisziplinären Ansatz zur Analyse der Radverkehrssicherheit zu schaffen. Das Analyseverfahren wird abschließend beispielhaft durchgeführt.

Die Zwischenergebnisse des Projekts wurden den Experten im Rahmen von zwei Expertenworkshops vor- und zur Diskussion gestellt (siehe Anlagenband). Schwerpunkt des ersten Expertenworkshops waren die Projektergebnisse die Ableitung der Konstellationen sowie die Analyse vertiefender Datengrundlagen. Schwerpunkt des zweiten Expertenworkshops war die Anleitung zur Analyse von Radverkehrsunfällen auf Grundlage des entwickelten Phasenmodells. Ziel war es insbesondere festzustellen, ob sich die jeweiligen Fachdisziplinen in den Projektergebnissen ausreichend berücksichtigt wurden und damit ein interdisziplinärer Lösungsansatz geschaffen wurde.

### 3 Grundlagenanalyse

Die Grundlagenanalyse beinhaltet eine Literaturrecherche und -auswertung zu vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Verkehrssicherheit im Radverkehr. Zudem erfolgt eine Darstellung der relevanten wissenschaftlichen Methoden.

#### 3.1 Radverkehrssicherheit in der Unfallstatistik

Im Jahr 2016 wurden insgesamt 81.272 Radfahrunfälle mit Personenschaden verzeichnet; dies stellt einen Anstieg von 3,7 % im Vergleich zum Vorjahr und einen Anstieg von 9,9 % gegenüber dem Jahr 2000 dar (DESTATIS, 2017). Allerdings umfasst dies die polizeilich gemeldeten Unfälle. Die Dunkelziffer ist hoch, wie Analysen von Krankenhausdaten in Verbindung mit den amtlich registrierten Unfällen zeigen.

JUHRA et al. (2012) stellten im Rahmen einer Studie zu verunglückten Radfahrern im Umfeld von Münster fest, dass von insgesamt 2.250 verletzten Radfahrern 1.527 (also knapp 68 %) nicht von der Polizei erfasst wurden und deshalb in der offiziellen Statistik nicht auftauchen. Zu einem ähnlichen Wert (75 %) kommt die aktuelle Erhebung in Krankenhäusern von VON BELOW (2016). Das hängt insbesondere mit der hohen Zahl von Alleinunfällen zusammen. VON BELOW (2016) geht für Alleinunfälle im Radverkehr bei leichten Verletzungen von einer erwarteten Dunkelziffer von etwa 95 % aus. Ähnliche Befunde finden sich in Österreich. Laut KUBITZKI (2013) werden in Österreich 80 % der Stürze von Radfahrern in der amtlichen Statistik nicht erfasst. BAMBACH et al. (2013) berichten, dass nur 22 % aller in Krankenhäusern identifizierten verunglückten Radfahrer von der Polizei registriert wurden, also eine Dunkelzifferquote von 78 % besteht. Die Daten deuten darauf hin, dass es bei Unfällen von Radfahrern eine hohe Dunkelziffer gibt, die von der Schwere der Verletzung abhängt.

Schwerere Verletzungen werden häufiger gemeldet als leichte Verletzungen, insbesondere bei Alleinunfällen. Bei einer ganzheitlichen Betrachtung der Verkehrssicherheit von Radfahrern und insbesondere bei Abwägung konkurrierender Verkehrsicherheitsmaßnahmen unter Berücksichtigung des Aufwands, muss dies berücksichtigt werden.

Bei den 81.272 Radverkehrsunfällen im Jahr 2016 verunglückten 81.274 Radfahrer, davon 393 tödlich. Differenziert nach Ortslage verunglückten 90,4 % der Radfahrer innerhalb und 9,6 % der Radfahrer außerhalb von Ortschaften (DESTATIS, 2017).

Von den 81.272 Radverkehrsunfällen mit Personenschaden waren 78,3 % Unfälle mit zwei Beteiligten und 18,8 % Alleinunfälle. Dabei ist davon auszugehen, dass gerade Alleinunfälle in der amtlichen Unfallstatistik noch stärker unterrepräsentiert sind als Unfälle mit mindestens einem weiteren Beteiligten (VON BELOW, 2016). Letzteren wird in der Forschung ungleich mehr Aufmerksamkeit geschenkt als Alleinunfällen, die (der amtlichen Unfallstatistik nach) weniger häufig sind und in der Regel weitaus weniger schwere Unfallfolgen nach sich ziehen (JOHANNSEN/JÄNSCH, 2017). Meist gingen Alleinunfälle auf einen Kontrollverlust auf geraden Streckenstücken zurück (46 %). 16 % ereigneten sich in Kurven bzw. beim Ein- und Abbiegen, und 10 % aufgrund einer unebenen Oberfläche. In 7 % der Fälle wurde der Unfall durch das Verhalten eines anderen Verkehrsteilnehmers ausgelöst, ohne dass selbiger unmittelbar am Unfall beteiligt war (z. B. übermäßiges Bremsen zur Vermeidung eines Zusammenstoßes). 4 % gingen auf gesundheitliche Probleme zurück. Offen bleibt, was den Kontrollverlust verursacht hat, und wie man diesem entgegenwirken kann. Bei Rückgriff auf die polizeilich erfassten Unfälle war der mit Abstand häufigste Unfallgegner des Radfahrers das Pkw (74,5 %) und weitaus seltener ein anderer Radfahrer (8,7 %) oder ein Fußgänger (6,4 %). Am häufigsten registrierte die Polizei bei den Radfahrern die falsche Straßenbenutzung (13,2 % der Beteiligten) als Fehlverhalten (DESTATIS, 2017).

SCHRECK (2016) hat in einer Analyse des dreistelligen Unfalltyps in der amtlichen Unfallstatistik für den Zeitraum von 2008 bis 2012 festgestellt, dass Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle und Abbiege-Unfälle den größten Anteil des Unfallgeschehens im Radverkehr ausmachen. Dabei fällt insbesondere der Einbiegen-/Kreuzen-Unfall zwischen einbiegenden Fahrzeugen und links fahrenden von rechts kommenden Radfahrern (Unfalltyp 342) hinsichtlich seines hohen Anteils am Unfallgeschehen – weniger aufgrund der Unfallschwere – auf. Innerhalb von Ortschaften treten vergleichsweise mehr Unfälle durch ruhenden Verkehr auf als außerhalb. Außerhalb von Ortschaften treten dagegen anteilig häufiger Unfälle im Längsverkehr auf.

### 3.2 Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit im Radverkehr

Die durchgeführte Literaturrecherche basiert auf den folgenden Grundlagen:

- Veröffentlichungen bzw. Projekte der Bundesanstalt für Straßenwesen,
- Veröffentlichungen bzw. Projekte der Unfallforschung der Versicherer (UDV) im Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.,
- Veröffentlichungen bzw. Projekte der Europäischen Kommission,
- (Internet-)Fachzeitschriften (u. a. Accident Analysis & Prevention),
- Veröffentlichungen zu Fachtagungen (u. a. International Cycling Safety Conference).

Dabei wurden insbesondere die Forschungsprojekte der Bundesanstalt für Straßenwesen sowie der Unfallforschung der Versicherer berücksichtigt. Beide Institutionen haben bereits zahlreiche Forschungsprojekte zum Thema Radverkehrssicherheit von Seiten der drei Fachdisziplinen Infrastrukturplanung, Verkehrspsychologie und Fahrzeugtechnik durchgeführt.

Darüber hinaus wurden insbesondere die Veröffentlichungen, die im Rahmen der International Cycling Safety Conference (ICSC) vorgestellt wurden, berücksichtigt. Die seit 2012 jährlich stattfindende internationale Konferenz dient als Forum zur Vernetzung und zum Informationsaustausch von Forschern und Entwicklungsingenieuren auf dem Gebiet der Radverkehrssicherheit. Die Konferenzbeiträge stehen in Form von dreiseitigen Kurzberichten im Internet zur Verfügung. Von den Konferenzen der Jahre 2012, 2014 und 2016 stehen die zur Teilnahme eingereichten Forschungsberichte zur Verfügung.

Mit Ausnahme einer Forschungsarbeit aus dem Jahr 1996 sowie einer weiteren ohne Jahresangabe berücksichtigt die Literaturrecherche 63 Forschungsarbeiten aus den Jahren 2009 bis 2017.

Von den insgesamt 65 betrachteten Forschungsarbeiten berücksichtigen 27 den Fachbereich Infrastrukturplanung, 24 den Fachbereich Verkehrspsychologie und 37 den Fachbereich Fahrzeugtechnik (als einzelner Fachbereich oder in Kombination). Eine weitere Fachdisziplin im Hinblick auf die Radverkehrssicherheit ist u. a. die Verkehrsmedizin. 46 der betrachteten Forschungsarbeiten behandeln das Thema Radverkehrssicherheit aus der Sicht einer, weitere 12 aus der Sicht von zwei und 7 aus der

Sicht von drei oder mehr Fachdisziplinen.<sup>1</sup> Dabei werden die Ergebnisse insbesondere durch Unfallanalysen, Verhaltensbeobachtungen und Befragungen – oftmals aufbauend auf einer Literaturrecherche – generiert. Weitere eingesetzte wissenschaftliche Methoden sind u. a.

- Erhebungen (z. B. Geschwindigkeitsmessungen, Verkehrszählungen),
- wissenschaftliche Experimente (Labor- und Feldexperimente),
- Simulationen (z. B. von Radfahrer-Pkw-Kollisionen),
- statistische Tests bzw. multivariate Analysen,
- Expertenworkshops.

Dabei beschränken sich die Forschungsarbeiten jedoch nicht grundsätzlich auf eine wissenschaftliche Methode, sondern nutzen oftmals eine Mischung aus Methoden für unterschiedliche Fragestellungen. Dies beinhaltet z. B. Literaturrecherchen zur Feststellung des aktuellen Kenntnisstands, Befragungen von Kommunen zur Auswahl geeigneter Strecken oder Knotenpunkte für Erhebungen, Unfallanalysen zur Identifikation der Unfallumstände, Verhaltensbeobachtungen zur Identifikation der Verhaltensmuster der Verkehrsteilnehmer sowie Befragungen zur Identifikation der Motivation und Einstellung der Verkehrsteilnehmer.

Eine wesentliche Datengrundlage sind Unfalldaten. Diese werden in Deutschland u. a. den frei zugänglichen Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamts bzw. der Statistischen Landesämter, und bei vertieften Betrachtungen den polizeilichen Verkehrsunfallanzeigen entnommen. Weitere verwendete Datenquellen sind die nicht-öffentlich zugängliche German In-Depth Accident Study (GIDAS) und die Unfalldatenbank (UDB) der UDV.

GIDAS ist ein Projekt der Bundesanstalt für Straßenwesen und der Forschungsvereinigung für Automobiltechnik (FAT). Seit 1999 werden in Dresden und Hannover jährlich rund 2.000 Unfälle mit Personenschaden anhand von Dokumentationen an der Unfallstelle, Befragungen der Unfallbeteiligten und der Erhebungen weiterer Informationen in Zusammenarbeit mit der Polizei, Krankenhäusern und Rettungskräften aufgenommen (BAST, 2015).

Die UDB der UDV wurde zu Forschungszwecken entwickelt und enthält Daten zu Kraftfahrzeughaftpflichtschäden, die dem Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. von den deutschen Versicherungsunternehmen gemeldet werden. Berücksichtigt sind darin jedoch ausschließlich

Unfälle mit Personenschaden und einem Schaden- und Aufwand von mindestens 15.000 Euro (siehe hierzu HUMMEL/LANG, 2016).

Von den insgesamt 65 betrachteten Forschungsarbeiten beschäftigen sich 19 Arbeiten mit Radverkehrssicherheit ohne dabei auf Maßnahmen zur Verbesserung dieser einzugehen. Bei den übrigen Forschungsarbeiten wurden gleichermaßen Maßnahmen analysiert und empfohlen. Dabei wurden insbesondere legislative (27 Arbeiten) und infrastrukturelle (23 Arbeiten) Maßnahmen betrachtet. 17 der betrachteten Forschungsarbeiten beziehen sich auf psychologische Maßnahmen (Information, Übung), zehn auf Warn- und Schutzkleidung und neun auf fahrzeugtechnische Maßnahmen.

Über die Hälfte der betrachteten Forschungsarbeiten bezieht sich auf Deutschland oder den europäischen Raum (EU bzw. einzelne europäische Länder). Dabei wird überwiegend entweder eine Stichprobe des gesamten Verkehrsnetzes betrachtet – also Strecken und Knotenpunkte inner- und außerorts – oder der Fokus wird auf den Innerortsbereich gelegt. Bei den übrigen Forschungsarbeiten ist der Untersuchungsraum irrelevant, da die eingesetzten wissenschaftlichen Methoden keinen räumlichen Bezug aufweisen.

### 3.2.1 Erkenntnisse aus der Infrastrukturplanung

Die Infrastrukturplanung hat die Aufgabe, den Verkehrsteilnehmern sichere und leistungsfähige Verkehrsanlagen zur Verfügung zu stellen. Daher ist für den Infrastrukturplaner insbesondere von Interesse, an welchen Örtlichkeiten auffällig viele Radverkehrsunfälle auftreten. So können beispielsweise nach dem Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (MUko, 2012) Unfalhäufungen anhand von Unfalltypenkarten identifiziert werden.

EVGENIKOS et al. (2016) vergleichen das Unfallgeschehen von 27 europäischen Ländern (u. a. auch Deutschland) und kommen zu dem Schluss, dass das Unfallgeschehen von der Fahrradnutzung und der zur Verfügung gestellten Infrastruktur abhängig ist. Insbesondere dort, wo der Modal Split-Anteil des Radverkehrs hoch ist, sind Radfahrer auch am Unfallgeschehen stärker beteiligt. In Münster waren laut ORTLEPP (2009) in den Jahren 2004 bis 2006 fast die Hälfte aller Unfälle mit Personenschaden Radverkehrsunfälle, d. h. Unfälle mit Beteiligung von Radfahrern.

<sup>1</sup> Es ist nicht davon auszugehen, dass sich die Bedeutung der Fachdisziplinen bzgl. der Radverkehrssicherheit aus dem hier

dargestellten Beteiligungsumfang der einzelnen Fachdisziplinen in den zusammengetragenen Literaturquellen ablesen lässt.

KOLREP-ROMETSCH et al. (2013) bemerken dagegen, dass durch ein höheres Radverkehrsaufkommen der KfzVrkehr für den Radverkehr sensibilisiert wird. Auch SCHEPERS et al. (2015b) begründen die hohe Radverkehrssicherheit in den Niederlanden mit dem hohen Radverkehrsanteil am Modal Split und dem damit erhöhten Bewusstsein für Radfahrer. Zusätzlich geht mit der erhöhten Fahrradnutzung eine Reduktion der Nutzung von Kfz einher. Somit nimmt die Exposition zu dem (insbesondere hinsichtlich der Unfallschwere gefährlichsten) Unfallgegner, dem Kfz ab. Zudem werden vor allem dort, wo Radverkehrsbelastungen hoch sind, die Entwicklungen hinsichtlich einer sicheren Radverkehrsinfrastruktur vorangetrieben. So wurden auch in Münster auf Grundlage des Unfallgeschehens in Unfallhäufungen insbesondere Maßnahmen zur Reduktion der Radverkehrsunfälle empfohlen (vgl. ORTLEPP, 2009).

### Radverkehrsführung

Für die Bewertung der Radverkehrssicherheit widmen sich zahlreiche Forschungsarbeiten aus dem Bereich Infrastrukturplanung dem Vergleich verschiedener Führungsformen für den Radverkehr. Dabei stehen in Deutschland auf der Strecke und im Zulauf der Knotenpunkte die folgenden gängigen Führungsformen zur Wahl:

- Mischverkehr mit Kfz auf der Fahrbahn (mit und ohne Schutzstreifen),
- Radfahrstreifen,
- baulich abgetrennter Radweg und
- gemeinsamer Geh- und Radweg.

Diese Führungsformen können darüber hinaus durch ihre Benutzungspflicht und Fahrtrichtung (Einrichtungs- oder Zweirichtungsverkehr) unterschieden werden.

Als Grundlage für die Planung, den Entwurf und den Betrieb von Radverkehrsanlagen dienen die geltenden Richtlinien, Empfehlungen und Merkblätter. Insbesondere sind hier die Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt, 2006) sowie die Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA, 2010) zu nennen.

OHM et al. (2015) vergleichen die innerörtliche Führung des Radverkehrs im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen auf zwei- bzw. vierstreifigen innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen hinsichtlich der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufs. Durch Schutzstreifen wird die Nutzung der Fahrbahn für den Radfahrer attraktiver und Konflikte im Seitenraum durch den Radfahrer können vermieden werden. Im Ergebnis zeigt sich für zweistreifige Querschnitte, dass die Unfalldichte in Strecken mit Schutzstreifen zwar höher, die Unfallschwere je-

doch geringer ist als auf Strecken ohne Schutzstreifen. Dabei kann die höhere Unfalldichte auf Strecken mit Schutzstreifen jedoch auch aus der höheren Nutzungsintensivität resultieren. Entscheidend für die Verträglichkeit von Rad- und Kfz-Verkehr sind die jeweiligen Verkehrsstärke und die Fahrbahnbreite. Hohe Kfz- und Radverkehrsstärken bei geringen Fahrbahnbreiten führen zu kritischen Überholabständen. Ein Einfluss der Schwerverkehrsstärke auf die Verkehrssicherheit ist dagegen nicht erkennbar. Für vierstreifige Querschnitte lassen sich aufgrund der geringen Anzahl von Strecken mit Schutzstreifenführung kaum Aussagen treffen.

ALRUTZ et al. (2009) stellen die objektive und subjektive Radverkehrssicherheit von (nicht bzw. benutzungspflichtigen) Radwegen, Radfahrstreifen und Schutzstreifen unter Berücksichtigung der regelkonformen oder regelwidrigen Nutzung dieser Radverkehrsanlagen gegenüber. Dabei wird festgestellt, dass die Akzeptanz aller Radverkehrsführungen recht hoch ist. Eine generelle Präferenz für Radwege, Radfahrstreifen oder Schutzstreifen können ALRUTZ et al. (2009) unter Voraussetzung der Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Entwurfsmerkmale und betrieblicher Anforderungen nicht treffen. Auch die Benutzungspflicht hat nur einen geringen Einfluss auf die Radverkehrssicherheit. Die Verkehrssicherheit auf den verschiedenen Radverkehrsanlagen wird vielmehr auch durch einzelne sicherheitsrelevante Entwurfsängel nachteilig beeinflusst. Ein Zusammenhang zwischen der Kfz-Verkehrsstärke und Radverkehrssicherheit wird (auch bei Schutz- und Radfahrstreifen) nicht gesehen.

SCHLÄGER et al. (2016) beschäftigen sich mit dem Radverkehr auf Fahrradstraßen und für den Radverkehr in Gegenrichtung geöffnete Einbahnstraßen. Fahrradstraßen sind meist Teil des Radhauptverkehrsstraßennetzes. Andere Fahrzeuge als das Fahrrad können mittels Beschilderung zugelassen werden. Die Fahrradstraße wird grundsätzlich positiv wahrgenommen und die Unfallschwere ist im Vergleich zum bundesweiten innerörtlichen Durchschnitt geringer. Auffällig sind bei dieser Führungsform die Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle im Knotenpunkt durch die Missachtung der Vorfahrtsregelungen durch den Kfz-Verkehr sowie die Unfälle im Zusammenhang mit dem ruhenden Verkehr auf der Strecke (z. B. durch öffnende Türen parkender Fahrzeuge oder durch ein- und ausparkende Fahrzeuge). Zu beachten ist, dass vielen Verkehrsbeteiligten die Fahrradstraße als Infrastrukturelement eher nicht bekannt ist. Hinsichtlich Einbahnstraßen, die für den Radverkehr in Gegenrichtung geöffnet sind, zeigt sich ebenfalls eine positive Bewertung hinsichtlich der Radverkehrssicherheit.

Zahlreiche Forschungsprojekte kommen zu dem Schluss, dass bezüglich infrastruktureller Merkmale durch eine Abweichung von straßenplanerischen Regelwerken und Empfehlungen ein hohes Unfallrisiko abgeleitet werden kann. Den aufgezeigten Unfallrisiken werden an selber Stelle meist Maßnahmenvorschläge entgegengestellt, so beispielsweise von ALRUTZ et al. (2009), GERLACH et al. (2014), SCHREIBER (2013) und SCHLÄGER et al. (2016).

### **Unfallort, -beteiligung und -typ**

In der Infrastrukturplanung werden u. a. aus dem Unfallgeschehen Rückschlüsse auf mögliche infrastrukturelle Mängel gezogen. Außerdem werden in Abhängigkeit von dem Unfallort (z. B. in Bezug zu bebauten Gebieten, für verschiedene Knotenpunktarten) und der Unfallbeteiligung (z. B. Radfahrer, Fußgänger) verschiedene Richtlinien, Empfehlungen und Merkblätter herangezogen. Aufgrund des hohen Anteils der Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle und der Abbiege-Unfälle im Unfallgeschehen und der Dominanz des Unfallgegners Pkw, sind insbesondere sichere Begegnungen zwischen Kfz und Radverkehr in Knotenpunkten zu berücksichtigen. Außerorts sind höhere Geschwindigkeiten zu berücksichtigen als innerorts (SCHRECK, 2016).

KOLREP-ROMETSCH et al. (2013) stellen (in den von ihnen betrachteten vier Untersuchungsstädten) ein sechsfach erhöhtes Risiko eines Personenschadens bei Abbiege-Unfällen im Vergleich zum gesamten Unfallgeschehen fest. Die Gefährdung des Radfahrers wird dabei insbesondere durch die Sichtbeziehung zwischen Radfahrer und Kfz und (in Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage) durch die Signalisierungsphase bestimmt. Unfallauffällig sind Rechtsabbiegeunfälle bei Strecken mit Radwegen an den Zufahrten signalisierter Knotenpunkte mit mittlerer (2 m bis 4 m) oder mit weiter Furtabsetzung (mehr als > 4 m). In signalisierten Knotenpunkten ist das Unfallrisiko am geringsten, wenn Kfz und Radfahrer nach Ende der Sperrzeit gleichzeitig anfahren. Es wird jedoch um das Neunfache erhöht, wenn der Kfz-Fahrer nach dem Rotsignal anfährt und gleichzeitig der Radfahrer bei Grünsignal ohne Halt durchfährt. Darüber hinaus ergeben sich kritische Situationen, wenn Kfz-Fahrer nicht mit Radfahrern rechnen, etwa wenn Radfahrer nicht die für sie vorgesehenen Flächen nutzen oder regelwidrig auf der in Fahrtrichtung linken Straßenseite fahren.

Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle sind insbesondere dann im Unfallgeschehen häufig, wenn Radfahrer links der Fahrbahn fahren. So haben beispielsweise ALRUTZ/BOHLE/BUSEK (2015b) festgestellt, dass bei Radverkehrsunfällen auf Zweirichtungsradwegen, der Anteil der Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle bei Radfahrern rechts der Fahrtrichtung bei 34 %, bei Radfahrern links der Fahrtrichtung dagegen bei 70 % liegt. Ebenso sind Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle

dominierend, wenn Radfahrer verbotswidrig im linken Seitenraum (auf Einrichtungsrädwegen) fahren.

Nach BONDZIO et al. (2017) sind Einbiegen-/Kreuzen- und Abbiege-Unfälle auch an innerörtlichen Kreisverkehren auffällig. Sie stellen fest, dass die weit verbreitete Führungsform des umlaufenden Radwegs ein deutlich höheres Unfallrisiko aufweist als andere regelkonforme Radverkehrsführungen und untersuchen verschiedene Gestaltungs- und Ausstattungsmerkmale zur Reduktion dieses Risikos. Auch in diesem Fall sind insbesondere die Sichtbeziehungen zwischen Kfz und Radfahrer u. a. durch eine kreisnahe Führung sicherzustellen. Darüber hinaus kann durch die Größe des Außen- und Innenrings und die Gestaltung der Kreisinsel die Radverkehrssicherheit erhöht werden.

Auf der Strecke innerörtlicher Straßen stellt insbesondere der ruhende Kfz-Verkehr eine Gefahr für Radfahrer auf Rad- oder Schutzstreifen bzw. auf der Fahrbahn im Mischverkehr dar. Zum einen, da parkende Fahrzeuge Sicherheitstrennstreifen belegen und Radfahrer diese umfahren müssen, zum anderen, da plötzlich öffnende Kfz-Türen ein für den Radfahrer unerwartetes Hindernis darstellen (vgl. ALRUTZ et al., 2009).

Maßnahmen sollen insbesondere die Wahrnehmung des Radfahrers durch den Kfz-Fahrer verbessern. Dabei kann durch Markierung, Beschilderung sowie bauliche Maßnahmen die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer erhöht und Hindernisse im Sichtfeld zwischen Kfz und Radfahrer beseitigt werden (ALRUTZ et al., 2009, KOLREP-ROMETSCH et al., 2013). Aus diesem Grund wird auch die Führung des Radfahrers auf der Fahrbahn bzw. fahrbahnnahe empfohlen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, über Maßnahmen der Signalisierung, etwa durch die gesicherte Führung des Abbiegers, diese Unfälle zu vermeiden (siehe beispielsweise ORTLEPP, 2009, KOLREP-ROMETSCH et al., 2013, SCHREIBER, 2013).

### **Regelwidrige Nutzung der Verkehrsanlagen**

KOLREP-ROMETSCH et al. (2013) haben festgestellt, dass das Unfallrisiko durch regelwidriges Verhalten der Radfahrer (z. B. Linksfahren oder abweichende Flächennutzung) beeinflusst wird. Ihre Verhaltensbeobachtungen zeigen, dass 17 % der Radfahrer die falsche Straßenseite nutzen und 13 % Knotenpunkte nicht auf der vorgesehen Radverkehrsanlage befahren. ALRUTZ et al. (2009) beobachteten, dass etwa jeder zehnte Radfahrer auf den Untersuchungsstrecken mit markierter Führungsform und etwa jeder fünfte Radfahrer auf den Untersuchungsstrecken mit Radwegen regelwidrig auf der in Fahrtrichtung linken Straßenseite fahren.

ALRUTZ/BOHLE/BUSEK (2015b) vergleichen in ihrer Untersuchung die Verkehrssicherheit von Radfahrern, die regelkonform auf Zweirichtungsradwegen fahren, mit der von Radfahrern, die regelwidrig auf Einrichtungsradwegen links fahren. Ein bis maximal zwei Drittel der Radfahrer nutzen bei beidseitigen Zweirichtungsradwegen die jeweils linke Straßenseite. Bis zu einem Viertel der Radfahrer nutzen bei Einrichtungsradwegen regelwidrig die linke Straßenseite. An Einmündungen und Grundstückszufahrten wird bei der Zufahrt auf die Radverkehrsfurt mit Zweirichtungsbetrieb von mindestens jedem zehnten Kfz-Fahrer kein ausreichender Blickkontakt aufgenommen und von mindestens jedem zweiten Kfz-Fahrer nicht abgebremst. Die Gefährdung linksfahrender Radfahrer ist grundsätzlich höher als die der rechtsfahrenden Radfahrer unabhängig davon, ob sie dies regelwidrig tun. Die mittlere Unfallrate des linksfahrenden Radfahrers auf dem Zweirichtungsradweg entspricht etwa dem doppelten des rechtsfahrenden Radfahrers und die mittlere Unfallrate des regelwidrig linksfahrenden Radfahrers auf Einrichtungsradwegen entspricht etwa dem doppelten des linksfahrenden Radfahrers auf Zweirichtungsradwegen.

Die typischen Regelverstöße der Radfahrer – wie das Linksfahren, die Nutzung falscher Flächen aber auch Rotlichtverstöße – begründen sich dabei jedoch nicht durch die mangelnde Kenntnis der geltenden Regeln (ALRUTZ et al., 2009). Lediglich hinsichtlich der Benutzungspflicht von Radverkehrsanlagen werden Unklarheiten festgestellt (ALRUTZ et al., 2009, KOLREP-ROMETSCH et al., 2013). Grund für die Nutzung der in Fahrtrichtung linken Straßenseite sind oftmals Ziele auf der linken Straßenseite oder bedeutende (gegebenenfalls einseitige) Netzanschlüsse (vgl. ALRUTZ et al., 2009, und ALRUTZ/BOHLE/BUSEK, 2015b).

Infrastrukturelle Maßnahmen sollen das regelwidrige Linksfahren vermeiden oder mit entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen legalisieren und das regelkonforme Linksfahren sichern. Durch die gezielte Anordnung von Querungsanlagen oder durch die Markierung der Fahrtrichtung kann das regelwidrige Linksfahren reduziert werden. Ist der Bedarf des Linksfahrens hoch, sollte sich die Freigabe innerörtlicher Radwege in Gegenrichtung nach den Bestimmungen der VwV-StVO richten. Bei einer erhöhten Gefährdung linksfahrender Radfahrer (an Einmündungen und Grundstückszufahrten) können Markierungsmaßnahmen (z. B. Roteinfärbung) oder bauliche Maßnahmen (z. B. Radwegüberfahrten mit fahrdynamisch wirksamen Rampensteinen) ergriffen werden (vgl. ALRUTZ et al., 2009, und ALRUTZ/BOHLE/BUSEK, 2015b).

### Zukünftige Entwicklung der Radinfrastruktur

Nach ALRUTZ et al. (2015a) wird der Radverkehrssicherheit durch den demographischen Wandel, steigende Radverkehrsgeschwindigkeiten aufgrund vermehrter Pedelec-Nutzung und steigende Radverkehrsstärken zukünftig eine noch höhere Bedeutung zukommen. Sie stellen auf Grundlage von verschiedenen Entwicklungsszenarien fest, dass Radverkehrsunfälle mit Personenschaden durch die Zunahme der Radverkehrsstärken ansteigen werden, solange keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Neben dem Anstieg der Abbiege- und Einbiege-/Kreuzen-Unfälle kann unter Berücksichtigung steigender Radverkehrsgeschwindigkeiten von einem Anstieg der Längsverkehrsunfälle und der Unfälle durch ruhenden Verkehr erwartet werden. Auch in Zukunft kommen die gebräuchlichen Führungsformen in Betracht, Fahrradstraßen werden vermutlich vermehrt zum Einsatz kommen.

Des Weiteren sind zunehmend die Bedürfnisse der älteren (über 65-jährigen) Verkehrsteilnehmer zu berücksichtigen, deren Unfallrisiko und Unfallfolge meist größer ist als von jüngeren Verkehrsteilnehmern (BAIER et al., 2009, SCHEPERS/HEINEN, 2013, ALRUTZ et al., 2015a). Laut BAIER et al., (2009) ist zwischen 1991 und 2006 die Anzahl der jährlich verunglückten älteren Menschen um mehr als ein Viertel angestiegen. Sie stellen in einer Befragung von 65- bis über 80-jährigen fest, dass mindestens jedem zweiten Befragten ein Fahrrad zur Verfügung steht. Ältere Radfahrer fühlen sich jedoch insbesondere auf Hauptverkehrsstraßen unsicher. 93 % der Befragten geben an, auf das Radfahren zu verzichten, wenn sie die Unfallgefahr als zu hoch einschätzen.

GERLACH et al. (2014) berücksichtigen in ihrer Arbeit neben den älteren Verkehrsteilnehmern auch Kinder und Menschen mit Mobilitätsbehinderungen und stellen eine hohe Regelkonformität dieser schwächeren Verkehrsteilnehmer fest. An die Infrastruktur werden keine besonderen alters- oder gruppen-spezifischen Anforderungen gestellt. Vielmehr wird von diesen Verkehrsteilnehmern eine Anpassung an die auf Grundlage der straßenplanerischen Regelwerke und Empfehlungen ausgebildeten bzw. gestaltete Infrastruktur gefordert oder zumindest erwartet. LAMONDIA/BURMESTER (2017) schließen auf Grundlage eines GIS-basierten Verkehrsnachfragemodells jedoch, dass sich Radfahrer entsprechend ihrer Fahrkompetenz bestimmte Routen aussuchen, vorausgesetzt es ist ein Angebot an Alternativrouten vorhanden. Daher müssen nicht die Bedürfnisse aller Radfahrer durch das gesamte Radverkehrsnetz abgedeckt werden. Vielmehr kann sich dieses aus komfortablen Strecken niedrigen Schwierigkeitsgrads sowie schnell befahrbaren Strecken hohen Schwierigkeitsgrads zusammensetzen.

### 3.2.2 Erkenntnisse aus der Verkehrspsychologie

Nach KREMS/VOLLRATH (2011) beschäftigt sich die Verkehrspsychologie „mit dem Erleben und Verhalten von Menschen in Verkehrs-, Transport- und Mobilitätssystemen und mit den zugrunde liegenden psychischen Prozessen. Neben dem individuellen Verhalten in Verkehrssituationen [...] und dessen Zusammenhang mit Unfällen bzw. Gefahrensituationen gehören zur Verkehrspsychologie auch allgemeine Fragen zur Mobilität von Menschen.“ In ihrer interdisziplinären Ausrichtung weist sie u. a. Schnittstellen zu den Verkehrs- und Ingenieurwissenschaften auf.

#### Exposition

Das Unfallrisiko von Radfahrern wird von der Exposition und von Fahrer-, Fahrzeug- und Umweltmerkmalen beeinflusst. Im Kontext der Verkehrssicherheitsforschung beschreibt die Exposition die Gesamtheit der Einflüsse des Verkehrs, denen Menschen sich aussetzen. Gemessen wird sie gemeinhin als die im Straßenverkehr binnen eines definierten Zeitraums mit dem Fahrrad zurückgelegte Strecke oder Zeit, oder als Näherungswert mit geringerer Präzision die Häufigkeit der Radnutzung. Verschiedene Studien weisen auf einen bedeutsamen Zusammenhang zwischen der Exposition und der Unfallbeteiligung hin (VON BELOW, 2016, MARTÍNEZ-RUIZ et al., 2015). Nach bisherigen Erkenntnissen ist jedoch davon auszugehen, dass dieser Zusammenhang nichtlinear ausfällt, d. h. dass die Unfallbeteiligung nicht im gleichen Maße steigt wie die Exposition (ELVIK, 2009). Ohne Kenntnis der Exposition ist es schwierig, das mit den Einflussfaktoren assoziierte Unfallrisiko zu bestimmen. So muss ausgeschlossen werden, dass die beobachteten Effekte, wie z. B. ein höheres Unfallrisiko bei männlichen Radfahrern, nicht allein auf deren höhere Fahrleistung zurückzuführen sind (MARTÍNEZ-RUIZ et al., 2015). Verlässliche und für den jeweiligen Anwendungszweck geeignete Expositionszahlen sind jedoch nur schwer verfügbar. Zwar geben Mobilitätsstudien wie beispielsweise die „Mobilität in Deutschland“ (MiD, 2008) Auskunft über die Radnutzung in Deutschland (FOLLMER et al., 2010), jedoch lassen sich ohne die raumzeitliche Verbindung zu den interessierenden Unfallkennwerten (z. B. bei der Analyse des Unfallgeschehens vor und nach dem Bau einer Radverkehrsanlage in einem definierten Streckenabschnitt) die Daten nicht miteinander in Beziehung setzen.

#### Personenbezogene Unfallursachen

Bei der Analyse von tieferliegenden Unfallursachen liefert die amtliche Unfallstatistik wenig Hinweise für die Verkehrspsychologie. Das liegt vor allem daran, dass das Fehlverhalten zum Unfallzeitpunkt, nicht

aber die Ursache dieses Fehlverhaltens, Bestandteil der Unfallaufnahme ist. So findet sich in der amtlichen Statistik die falsche Straßenbenutzung als häufigstes Fehlverhalten von Radfahrern als Unfallursache wieder (DESTATIS, 2017), die aber nichts über die Gründe der falschen Nutzung aussagen. Einen präziseren Blick auf die Unfallursachen erlauben verkehrspsychologische Studien, die die Rolle verschiedener unfallbeeinflussender Faktoren bei Radfahrern und Kfz-Fahrern als ihren häufigsten Unfallgegner untersucht haben. Zu diesen Faktoren gehören verkehrsrelevantes Wissen und Fähigkeiten der Verkehrsteilnehmer, ihre Einstellungen und Verhaltensweisen sowie die unfallverursachenden Fehlermechanismen.

#### Beteiligte Radfahrer

Die Kenntnis der Verkehrsregeln bei Radfahrern gilt als sehr lückenhaft. Eine aktuelle Befragung von HUEMER/ECKHARDT-LIEBERAM (2016) offenbarte, dass mehr als die Hälfte der befragten Radfahrer weniger als die Hälfte der Regeln zur Wegenutzung, Vorfahrt, Geschwindigkeitsbegrenzungen, zur technischen Ausstattung und zu verschiedenen Verhaltensweisen kannte. Regelverstöße sind jedoch nicht allein in einem mangelnden Regelwissen begründet, sondern auch in einer eingeschränkten Regelakzeptanz. Ein sehr häufiger Regelverstoß ist beispielsweise das Fahren auf dem Gehweg oder das Fahren in falscher Richtung auf dem Geh- oder Radweg. Letzteres wurde einer Befragung zufolge von einem Drittel, das Fahren auf dem Gehweg sogar von der Hälfte der befragten Radfahrer, für in Ordnung befunden (KOLREP-ROMETSCH et al., 2013). Verkehrsrelevante Einstellungen weisen einen bedeutsamen Zusammenhang zum Unfallrisiko auf. VON BELOW (2016) erfragte selbige und berichtete, dass Radfahrer, die in den vergangenen drei Jahren einen Unfall hatten, riskantere Einstellungen aufwiesen als nicht verunfallte Radfahrer. Auch zeichnete sich ein Zusammenhang zwischen polizeilichen Verwarnungen und der Unfallbeteiligung ab.

Nur wenige Studien können tatsächlich Aufschluss geben, welche Fehler dem Unfall selbst vorausgingen. Auf Basis von Tiefenanalysen von Unfällen, wie sie das Accident Causation Analysis System (ACAS) bietet, das begleitend zur GIDAS-Erhebung für eine Teilstichprobe durchgeführt wird, lassen sich die unfallverursachenden Fehlermechanismen bei Radfahrern beschreiben. Dabei lassen sich folgende Fehlerkategorien unterscheiden:

- Wahrnehmungsfehler: Fehler beim Informationszugang (Objektive Verfügbarkeit der notwendigen Informationen?) und Fehler bei der Informationsaufnahme (Aufmerksames Beobachten und Erkennen aller relevanten Informationen?),

- Fehler bei der Bewertung (Fehlerhafte Einschätzung der Situation oder des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer?),
- Planungsfehler (Angemessener Handlungsplan nach korrekter Situationseinschätzung?),
- Handlungsfehler (Richtige Ausführung des angemessenen Handlungsplans?).

Einer Auswertung von OTTE/JÄNSCH/HAASPER (2012) zufolge ereigneten sich Handlungsfehler (6 %) nur selten. 40 % gehen auf Wahrnehmungsfehler zurück. In 14 % der Unfälle war die relevante Information für die Radfahrer nicht wahrnehmbar. Fehler bei der Informationsaufnahme, der Bewertung und der Handlungsplanung waren in etwa gleich häufig (zwischen 25 % und 29 %). Zu den Gründen und Begleitumständen von Wahrnehmungsfehlern liegen bereits erste Erkenntnisse vor (PLATHO/PAULENZ/KOLREP, 2016). Wenig weiß man hingegen über die Charakteristika und Begleitumstände fehlerhafter Situationseinschätzungen oder fehlerhafter Handlungspläne.

Bestimmte Altersgruppen gelten als besonders gefährdet. Oft werden Kinder als Risikogruppe angeführt, die klare Defizite in Psychomotorik, Aufmerksamkeit, Wahrnehmung und Situationsinterpretation aufweisen (LIMBOURG, 1997). Angesichts dieser Darlegungen scheint es doch überraschend, dass Kinder (bis 10 Jahre) hinsichtlich des auf die Fahrleistung bezogenen Unfallrisikos besonders sicher fahren (JÜRGENSOHN et al., 2017). Jugendliche und junge Erwachsene zwischen 10 und 20 Jahren sind bezogen auf die Fahrleistung etwas gefährdeter als die 20- bis 65-jährigen. Besonders gefährdet sind hingegen ältere Radfahrer, die sowohl ein erhöhtes Unfallrisiko aufweisen, und auch im Falle eines Unfalls ein erhöhtes Verletzungsrisiko tragen (VON BELOW, 2016).

Die Nutzung von Smartphones bei der Fahrzeugführung ist verboten, dennoch werden zunehmend Missachtungen dieses Verbotes beobachtet (vgl. DE WAARD et al., 2015). Während die Ablenkung durch Smartphones beim Führen eines Pkw schon recht gut untersucht ist (z. B. von VOLLRATH et al, 2016), sind Studien zum Ablenkungspotential von Smartphones beim Fahrradfahren noch vergleichsweise wenig vorhanden.

Einige Studien – zu nennen sind HAGENZEIKER (2014), MWAKALONGE/WHITE/SIUHI (2014) und MWAKALONGE/SIUHI/WHITE (2015) sowie auch SCOPATZ/ZHOU (2016) – zeigen, dass die Nutzung von Smartphones während der Fahrt ein großes Ablenkungspotential für Radfahrer darstellt und das Unfallpotential erhöht wird. Allerdings liegen dazu bisher nur wenige quantitative Befunde vor. Belgische und niederländische Unfalldaten zeigen, dass Ablenkung in 11 % bis 29 % der untersuchten

Radfahrerunfälle eine Rolle spielte (vgl. beispielsweise BOELE-VOS et al., 2017, DE GEUS et al., 2012, VANPARIJS et al., 2016).

### **Beteiligte Pkw-Fahrer**

Der Schwerpunkt der verkehrspsychologischen Sicherheitsforschung liegt auf der Betrachtung von Unfällen mit zwei Beteiligten. Studien zu den Fehlerursachen bei Pkw-Fahrern konzentrierten sich hauptsächlich auf Knotenpunkte, an denen sich die Mehrheit der Radfahrernfälle beim Einbiegen bzw. Kreuzen oder beim Abbiegen ereignet (KOLREP-ROMETSCH et al., 2013). Dabei wurden verschiedene Fehlermechanismen aufgezeigt, die Radfahrernfälle mitverursachen können. Dazu gehört zum einen eine ausbleibende oder fehlerhafte Aufmerksamkeitsausrichtung, die zum Übersehen von Radfahrern führt. SUMMALA et al. (1996) beobachteten die Aufmerksamkeitsausrichtung von Pkw-Fahrern an Einmündungen und fanden heraus, dass Pkw-Fahrer ihre Aufmerksamkeit primär dort ausrichteten, wo sie motorisierte Fahrzeuge erwarteten. Auch KOLREP-ROMETSCH et al. (2013) zeigten, dass etwa 20 % der Pkw-Fahrer beim Abbiegen auf einen Schulterblick verzichteten, obwohl sich ein Radfahrer im Abbiegebereich befand.

Gefährlich scheinen neben dem Übersehen auch die Fehleinschätzung des Verhaltens und der Geschwindigkeit der Radfahrer. So kann eine Unterschätzung der Geschwindigkeit eines Radfahrers dazu führen, dass unbeabsichtigt riskante Entscheidungen getroffen werden. In einem experimentellen Ansatz zeigen SCHLEINITZ et al. (2015), dass die Zeit, die ein Zweiradfahrer zum Erreichen eines definierten Punkts benötigt, überschätzt wird, wenn es sich um einen Radfahrer (vs. Mopedfahrer) handelt. Dabei schien die Trittfrequenz ein Indikator für die Fahrgeschwindigkeit zu sein. Diese Fehleinschätzungen stellen insbesondere im Zusammenhang mit der stets zunehmenden Anzahl an Pedelec-Nutzern eine Gefahr dar, die bei geringer Trittfrequenz durch die Tretunterstützung mühelos Geschwindigkeiten bis 25 km/h oder deutlich höher erreichen können. Noch fehlt es an Aussagen bezüglich des damit einhergehenden Unfallrisikos und an Erkenntnissen zur wirksamen Unterstützung einer angemessenen Geschwindigkeitseinschätzung.

### **Verkehrserziehung und -schulung**

Die genannten Risikogruppen sind u. a. Zielgruppen vielfältiger Aktivitäten im Rahmen der Verkehrserziehung, -schulung und -aufklärung. Zu den Maßnahmen der Verkehrserziehung und -schulung zählen vor allem Verkehrsunterricht, Trainingsprogramme, Schulung/Nachschulung sowie Fortbildungsangebote. Zu den Maßnahmen der Verkehrsaufklärung zählen vor allem Verkehrssicherheitstage, Zielgruppenaktionen für Verkehrsteilnehmer, Schulwegaktionen, Seniorenaktionen, Begleitaktio-

nen für verkehrstechnische Maßnahmen sowie Öffentlichkeitsarbeit (BAIER et al., 1987, GONTER et al., 2013, DAUBITZ/SCHWEDES/KLINDWORTH, 2015, GEHLERT/KRÖLING, 2018).

Zur Evaluation dieser Maßnahmen werden z. B. Analysen der Medienresonanz zur Thematisierung von Kampagnen, Kampagnenmitteln sowie zur Bewertung von Kampagnen – ergänzt durch Umfragen zur Publikumsresonanz – eingesetzt. *„Die Befunde der Medienresonanzanalyse zeigen, dass die Medien diese unterschiedlichen Kampagnenziele aufgreifen und somit auch an die Verkehrsteilnehmer vermitteln, die mit der Kampagne nicht direkt in Berührung kommen. Mit Blick auf die Verkehrsteilnehmer zeigen die Befunde, dass die Gefährlichkeitszuschreibungen der Bevölkerung zu zentralen Risikoaspekten wie etwa der Landstraßenthematik in einem Missverhältnis zu ihrer tatsächlichen Bedeutung in der Unfallstatistik stehen“* (Zitat aus KLIMMT/MAURER/BAUMANN, 2014).

Mit Bezug auf HOHENADEL (1983) führen BAIER et al. (1987) aus, dass grundsätzlich zu bedenken ist, dass örtliche Verkehrssicherheitsveranstaltungen, wie allgemeine Erkenntnisse über einmalige Aufklärungsaktionen („*One-shot-programs*“) zeigen, kaum in der Lage sind, unmittelbar und länger anhaltend Verhaltensmuster von Verkehrsteilnehmern zu verändern. Sie sind bestenfalls zur Ergänzung oder im Vorfeld langfristiger Programme und Maßnahmenbündel als Versuche zur kurzfristigen Erzeugung von Aufmerksamkeit zu vertreten. Allerdings haben Evaluierungen von Kampagnen gezeigt, dass sie durchaus wahrgenommen werden und auch Aufmerksamkeit erzeugen können, wie beispielsweise FRIEMEL/BONFADELLI (2015) sowie HOLTE/PFAFFEROTT (2015) und auch KLIMMT/MAURER (2015) darlegen.

### **Persönlichkeitsmerkmale**

Untersuchungen von HUEMER et al. (2015) zeigen, dass Radfahrer, die ohne Licht fahren, überdurchschnittlich häufig regelwidrig auch auf den Gehweg fahren, die falsche Straßenseite benutzen oder während der Fahrt das Handy benutzen. Umgekehrt schalteten Helmträger überproportional häufig nachts das Licht ein. Die Befunde lassen vermuten, dass sich persönlichkeitsbezogene Merkmale auf die Regelkonformität und diese auf eine sicherheitsbewusste Fahrweise auswirken. Allerdings ist der quantitative Zusammenhang zwischen Regelkonformität und Unfallhäufigkeit sowie der zwischen Persönlichkeitsmerkmalen und Unfallhäufigkeit bei Radfahrern nicht bekannt. Jedenfalls konnte die zuerst von MARBE (1926) geäußerte Idee eines „Unfällers“, also eines Typs von Verkehrsteilnehmer, der mehr Unfälle als der „Normalmensch“ verursacht, nicht bestätigt werden. Offensichtlich spielen situative Begebenheiten und der Zufall eine domi-

nantere Rolle bei der Verursachung von Unfällen (KLEBELSBERG, 1982). In jüngster Vergangenheit waren Persönlichkeitsmerkmale insbesondere im Zusammenhang mit Fahrenfängern (HOLTE, 2012) und Motorradfahrern (z. B. VON BELOW/HOLTE, 2014, BÜRGLIN/GERDAS-SCHMID/PLATHO, 2017) ein Thema. Eng verbunden mit Persönlichkeitsmerkmalen sind Lebensstilgruppen. HOLTE (2012) ermittelte in einem Vergleich zweier Alterskohorten (17- bis 24-jährige und 25- bis 37-jährige) sechs unterschiedliche Lebensstiltypen, die sich (zitiert nach JÜRGENSOHN et al., 2018) in verkehrssicherheitsrelevanten Aspekten signifikant unterscheiden lassen: Den kicksuchenden Typ, den kulturinteressierten/kritischen Typ, den häuslichen Typ, den autozentrierten Typ, den Action-Typ und den Beauty-Fashion-Typ. VON BELOW/HOLTE (2014) finden dann durch Auswertung von Befragungen auch Personengruppen mit einem erhöhten Unfallrisiko.

VON BELOW (2016) adaptiert die Idee der Klassifikation in Subgruppen mit differierenden Persönlichkeitsmerkmalen von Radfahrern. Hierbei werden folgende Facetten differenziert: Erlebnishunger, Ängstlichkeit, Altruismus, Reizbarkeit und Normlosigkeit. Erlebnishunger beschreibt dabei Menschen, die nach aufregenden, neuen Erlebnissen streben und diese suchen. Altruismus beschreibt die aktive Besorgnis um das Wohlergehen anderer. Reizbarkeit beschreibt die Bereitschaft einer Person, Gefühle wie Ärger, Frustration oder Verbitterung zu erleben. Normlosigkeit wurde von KOHN/SCHOLLER (1983, zitiert nach VON BELOW, 2016) zuerst beschrieben und beschreibt die Überzeugung einer Person, dass zum Erreichen von Zielen mitunter auch sozial unangepasste Verhaltensweisen, also auch Regelverstöße, opportun sind.

### **Nutzung des Fahrradhelms**

Nach Berechnungen von JÜRGENSOHN et al. (2017) könnte die Anzahl der getöteten Radfahrer um bis zu 50 % gesenkt werden, wenn alle Radfahrer in Deutschland eine Fahrradhelm tragen würden. Der Nutzen des Helmes – insbesondere bei schweren und schwersten Verletzungen – kann nicht widerlegt werden. Trotz des Nutzens fahren viele Radfahrer ohne Helm. Die Zahlen über die Helmtragequote in Deutschland differieren mitunter erheblich je nach Erhebungsmethode und Definition der Helmtragequote. Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht regelmäßig Zahlen, die durch Beobachtung an Knotenpunkten innerorts in sechs Städten ermittelt werden. WANDTNER (2015) beobachtete im Jahr 2014 insgesamt 16.312 Radfahrer ab sechs Jahren. Die Helmtragequote betrug 17 %. Die Helmtragequoten, die aus Befragungen abgeleitet werden, sind teilweise wesentlich höher. Nach dem Sinus-Report 2013 der BFU (2013) fahren rund 30 % aller Radfahrer regelmäßig

mit Fahrradhelm. Für die Beurteilung der gesamtgesellschaftlichen Wirkung des Helmtragens ist es wichtig, die Helmtragequote in Bezug auf die Fahrleistung, also die mit dem Fahrrad gefahrenen Kilometer, zu kennen. Abgeleitet aus einer repräsentativen Befragung von Radfahrern über 14 Jahre, bei der auch die Fahrleistung abgefragt wurde, ergab sich für das Jahr 2015 ein prozentualer Anteil der mit Helm gefahrenen Kilometer von 48,7 % (JÜRGENSOHN et al., 2017). Dabei zeigt sich, dass Radfahrer, die viel fahren, höhere fahrleistungsbezogene Helmtragequoten haben. Mit höherer monatlicher Fahrleistung steigt die auf die Kilometer bezogene Helmtragequote an. Besonders häufig wird der Helm bei Ausflügen und bei sportlicher Betätigung getragen, am seltensten bei kurzen Erledigungen unter 15 Minuten Fahrtzeit.

Hauptgründe für ein Nichttragen des Helms (zu je 15 % genannt) liegen laut der Untersuchung (JÜRGENSOHN et al., 2017) darin, dass das Tragen nicht gewohnt war, dass keine Notwendigkeit im Tragen gesehen wurde und dass das Tragen als unangenehm angesehen wurde. Nur halb so bedeutsam waren Gründe wie „kein Helmbesitz“, „sieht nicht so gut aus“ oder „zerstört die Frisur“, „Einschränkung der Freiheit“, „zu umständlich“.

Die Helmtragequote in Deutschland ist seit dem Jahr 2000 in einem steten Aufwärtstrend (BAST, 2017). In der Schweiz wurde beispielsweise die Helmtragequote ohne Helmpflicht in den letzten Jahren kontinuierlich von etwa 15 % im Jahr 1998 auf rund 50 % im Jahr 2016 gesteigert. Dies wird auch auf die hohen kommunikativen Aktivitäten der Schweiz zurückgeführt (JÜRGENSOHN et al., 2017).

Die meisten Länder, die eine Helmpflicht eingeführt haben, können einen signifikanten Anstieg der Helmtragequote feststellen. Werte, die über die durch kommunikative Maßnahmen erreichbaren Werte hinausgehen, werden allerdings nur dort erzielt, wo auch die Überwachung und Sanktionierung damit verbunden sind. Dort wurden teilweise Helmtragequoten von bis zu 90 % (Neuseeland) erreicht. Der Anstieg war dabei deutlich steiler als bei rein kommunikativen Ansätzen. In Finnland und Schweden haben Helmpflichten ohne Überwachung oder mit nur geringer Überwachung die Nutzung bei einem vergleichsweise hohen Ausgangsniveau hingegen nur unbedeutend beeinflusst (JÜRGENSOHN et al., 2017).

### 3.2.3 Erkenntnisse aus der Fahrzeugtechnik

In der Fahrzeugtechnik wird in der Regel zwischen Maßnahmen der aktiven und passiven Sicherheit unterschieden. Erstere zielen darauf ab, die Unfallschwere zu reduzieren bzw. den Unfall im Idealfall

gänzlich zu vermeiden. Dies kann beispielsweise durch eine automatische Bremsung des Fahrzeuges erfolgen. Aber auch Aspekte wie Fahrerwarnung oder Verbesserung der Sicht im Fahrzeug zählen zur aktiven Sicherheit. Auf Seiten der passiven Sicherheit soll im Falle eines Unfalls das Verletzungsrisiko der Beteiligten durch fahrzeugstrukturseitige Maßnahmen gemindert werden.

### Unfallszenarien

In der Fahrzeugtechnik werden Unfälle anhand von Unfallfallszenarien klassifiziert. Die relevantesten Szenarien in Bezug auf schwere und tödliche Unfälle zwischen Kfz und Radfahrern sind laut UITTENBOGAARD/OP DEN CAMP/VAN MONTFORT (2016a & 2016b) Kreuzungsszenarien mit von rechts oder links kommendem Radfahrer sowie longitudinale Szenarien, d. h. sowohl Radfahrer als auch Kfz bewegen sich in Längsrichtung. Die meisten dieser Unfälle finden unter trockenen Bedingungen und bei Tageslicht statt, wobei schlechte Lichtverhältnisse für tödliche Unfälle relevanter sind. Zudem passieren tödliche Unfälle häufiger in außerörtlichen Bereichen, vor allem auf Landstraßen. Gründe hierfür sind höhere zulässige und damit gefahrene Geschwindigkeiten, aber auch die höhere Wahrscheinlichkeit einer fehlenden Straßenbeleuchtung.

Des Weiteren geht aus den Untersuchungen von UITTENBOGAARD/OP DEN CAMP/VAN MONTFORT (2016a & 2016b) hervor, dass es in der Mehrheit der schweren und tödlichen Kfz-Radfahrer-Unfälle zwar keine Sichtbehinderung für den Kfz-Fahrer gibt, diese jedoch häufiger bei Kreuzungsszenarien vorkommen. Aber auch innerhalb der Kreuzungsszenarien gibt es Unterschiede: In Fällen mit von rechts kreuzendem Radfahrer werden häufiger Sichthindernisse verzeichnet als in Fällen mit von links kreuzendem Radfahrer. Dies kann dadurch erklärt werden, dass ein von Rechts kreuzender Radfahrer von der nahen Straßenseite kommt, wo die Wahrscheinlichkeit, durch ein Hindernis (z. B. ein parkendes Fahrzeug) verdeckt zu werden, höher ist. Die Zeitspanne vor der Kollision, die TTC (Time-to-Collision), ab der die Hälfte des Radfahrers von der Mitte der Fahrzeugfront aus zu sehen ist, beträgt in 20 % der ausgewerteten Fälle höchstens eine Sekunde und in 80 % der Fälle höchstens zwei Sekunden. Für Radfahrerunfälle mit permanentem Sichthindernis liegt der Median der TTC bei 1,5 s (UITTENBOGAARD/OP DEN CAMP/VAN MONTFORT, 2016a & 2016b).

Bezüglich der Pkw-Geschwindigkeit beträgt der Median bei Radfahrerunfällen mit schweren Verletzungen 20 km/h bis 30 km/h, während im 90. Perzentil 50 km/h bis 55 km/h erreicht werden. Für tödliche Unfälle fallen die Fahrzeuggeschwindigkeiten nochmals höher aus. Hier liegt der Median der Ge-

schwindigkeiten bei 50 km/h bis 60 km/h und das 90. Perzentil bei 70 km/h bis 80 km/h. Die höchsten Fahrzeuggeschwindigkeiten finden sich im longitudinalen Szenario. Bei Vorhandensein eines Sichthindernisses fällt die Fahrzeuggeschwindigkeit niedriger aus. Eine Notbremsung ( $> 7 \text{ m/s}^2$ ) findet in etwa 20 % der Kreuzungs- oder longitudinalen Szenarien statt. Fälle ohne oder mit nur geringer Verzögerung ( $< 4 \text{ m/s}^2$ ) stellen hier die Mehrheit dar (siehe UITTENBOGAARD/OP DEN CAMP/VAN MONTFORT, 2016a & 2016b).

Die Radfahrergeschwindigkeit scheint keinen Einfluss auf die Unfallschwere zu haben. Sowohl für schwere als auch für tödliche Unfälle liegen der Median und das 90. Perzentil bei etwa 15 km/h bzw. 20 km/h bis 25 km/h (UITTENBOGAARD/OP DEN CAMP/VAN MONTFORT, 2016a & 2016b).

In Kreuzungsszenarien ist ein Anprall des Radfahrers in der Mitte der Fahrzeugfront am wahrscheinlichsten. Des Weiteren sind die in Fahrtrichtung des Radfahrers zuerst liegenden Frontbereiche wesentlich häufiger Anprallort als die entsprechend jenseits der Fahrzeugmitte liegenden Bereiche. Für das longitudinale Szenario bildet die Beifahrerseite den relevantesten Frontbereich, da hier die Radfahrer fahren (siehe UITTENBOGAARD/OP DEN CAMP/VAN MONTFORT, 2016a & 2016b).

Mit zunehmender Verletzungsschwere, d. h. bei ausschließlicher Betrachtung von schweren bis tödlichen Verletzungen der verunfallten Radfahrer, in Radfahrer-Pkw-Kollisionen erweist sich der Kopf mit einem Anteil von über 40 % der erlittenen Verletzungen als die mit Abstand am häufigsten verletzte Körperregion. Dabei sind die Windschutzscheibe und hier vor allem der Windschutzscheibenrahmen der relevanteste Verletzungsverursachende Frontbereich. Auch Verletzungen der unteren Extremitäten sowie des Thorax sind von hoher Relevanz. Ein wesentliches Merkmal von Radfahrer-Pkw-Frontalkollisionen im Vergleich zu Fußgängerfrontalunfällen sind die tendenziell weiter hinten auf der Haube liegenden Kopfaufprallorte (siehe hierzu beispielsweise HAMACHER/KÜHN/HUMMEL, 2017).

### Aktive Pkw-Sicherheit

Ein hoher Anteil der tödlichen Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern könnte durch automatische Notbrems- und Notlenksysteme mit Fußgänger- und Radfahrererkennung adressiert werden (KULLGREN et al., 2017). Verschiedene Prüf-szenarien sind zum Test automatischer Notbremsysteme auf Basis jüngster Forschungen definiert worden (UITTENBOGAARD/OP DEN CAMP/VAN MONTFORT, 2016c). Dabei handelt sich u. a. um zwei Szenarien mit von rechts kreuzendem Radfahrer mit und ohne Sichtverdeckung und Kollisionspunkt in der Mitte der Fahrzeugfront. Dabei werden, je nachdem ob ohne oder mit Sichtverdeckung getestet wird, Fahr-

zeuggeschwindigkeiten von 20 km/h bis 60 km/h bzw. 10 km/h bis 40 km/h bei einer konstanten Radfahrergeschwindigkeit von 15 km/h bzw. 10 km/h berücksichtigt. Ein weiteres Kreuzungsszenario mit von links kommendem Radfahrer ohne Sichtverdeckung sieht eine erhöhte Radfahrergeschwindigkeit von 20 km/h und einen Kollisionspunkt auf der linken Fahrzeugfront mit 25 % Überdeckung vor. Abgerundet wird das erarbeitete Prüfprotokoll durch ein inner- sowie ein außerörtliches longitudinales Szenario. Beide erfolgen ohne Sichtverdeckung. Beim außerörtlichen Szenario wird die systemseitige Fahrerwarnung geprüft. Es sieht höhere Fahrzeuggeschwindigkeiten (65 km/h bis 80 km/h) und eine höhere Radfahrergeschwindigkeit (20 km/h) im Vergleich zum Stadtszenario vor. Zudem liegt der Kollisionspunkt nicht in Fahrzeugmitte, sondern auf der rechten Fahrzeugfront mit 25 % Überdeckung. Das Szenario mit von rechts kreuzendem Radfahrer ohne Sichtverdeckung sowie die beiden longitudinalen Szenarien (mit nach unten jeweils erweitertem Fahrzeuggeschwindigkeitskorridor, d. h. 25 km/h bis 60 km/h bzw. 50 km/h bis 80 km/h) werden seit 2018 im Rahmen der Euro NCAP Tests zur Bewertung automatischer Notbremsysteme mit Radfahrererkennung berücksichtigt. Ab 2020 werden auch das Szenario eines von Rechts kreuzenden Radfahrers mit Sichtverdeckung sowie das Szenario des von links kreuzenden Radfahrers seitens Euro NCAP berücksichtigt werden, letzteres allerdings mit einem Kollisionspunkt in der Mitte der Fahrzeugfront (statt auf der linken Seite bei 25 % Überdeckung). Zudem beginnt die Spanne der getesteten Fahrzeuggeschwindigkeiten bereits ab 10 km/h, was dann auch für das Szenario eines von Rechts kreuzenden Radfahrers gilt, und endet für alle kreuzenden Szenarien bei 60 km/h. Ferner wird für das außerörtliche longitudinale Szenario zusätzlich ein automatisches Ausweichmanöver innerhalb der Fahrspur zur Vermeidung einer Kollision erlaubt sein (EURO NCAP, 2019, SEECK, 2019).

Aktuelle Forschungsaktivitäten gehen aber bereits weiter und arbeiten an der Entwicklung und Umsetzung umfassenderer Testszenarien und Protokolle (WISCH et al., 2017). Grundlage bildet die Definition von zahlreichen Anwendungsfällen in Bezug auf leicht-, schwer- oder tödlich verletzte Radfahrer. Der am höchsten eingestufte Anwendungsfall beschreibt dabei die Kollision zwischen einem nach rechts abbiegenden Pkw und einem auf einem Radweg entgegen der üblichen Fahrtrichtung fahrenden Radfahrer. Die Fahraufgabe des Fahrers sowie die Fahrtrichtung des Radfahrers haben einen großen Einfluss auf die Relevanz von Pkw-Radfahrer-Kollisionen. Der häufigste Einflussfaktor, sowohl für Radfahrer als auch für Pkw-Fahrer, ist das Nichtbeachten von Verkehrsregeln.

Auf Basis der definierten Anwendungsfälle, welche parallel auch für Fußgänger definiert wurden, wird die Zahl der Tests deutlich erweitert und umfasst auch Abbiegeszenarien, in denen das entsprechende Manöver des Fahrers durch die Verwendung von Fahrrobotern realistisch und reproduzierbar hinsichtlich Geschwindigkeitsprofil und Trajektorie abgebildet wird (SEINIGER et al., 2017). Dem Mehraufwand infolge einer erhöhten Zahl an Testfällen soll durch effizientere Testmethoden begegnet werden. Hierzu zählen eine Standardkreuzungsmarkierung, mobile und leichte Standardhinderniselemente zur schnellen Abbildung von Sichthindernissen sowie ein Konzept zum Testen in realistischer Umgebung.

Generell ist die Effektivität eines automatischen Notbremsystems im realen Unfallgeschehen stark von Parametern abhängig, die die Bremsleistung des Systems beeinflussen. Dies beinhaltet den Zeitpunkt der Bremsaktivierung und die erreichte Verzögerung, die von mehreren Faktoren abhängig ist, wie dem Straßen- (u. a. Fahrbahnoberfläche, Nässe) und dem Reifenzustand (Profil). Aber auch die Funktionalität bei Dunkelheit sowie bei hohen Geschwindigkeiten sind wichtige Einflussgrößen, die in Kombination die reale Effektivität stark herabsetzen können (ROSÉN, 2013). Zusätzliches Potenzial versprechen hier aktuelle Forschungen von GIMM et al. (2016) zur Kommunikation von Fahrzeug, Infrastruktur und ungeschützten Verkehrsteilnehmern (V2X) mittels kooperativer Assistenzsysteme wie C-ADAS (Cooperative Advanced Driver Assistance Systems) und C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems).

### Passive Pkw-Sicherheit

Realunfalldaten belegen, dass fußgängerfreundlich ausgelegte Fahrzeugfronten auch für Radfahrer vorteilhaft sind, diese allerdings nicht ausreichend adressieren (OHLIN/STRANDROTH/TINGVALL, 2014). Simulationen zur Untersuchung der Radfahrerkinematik in Frontalunfällen zeigen hohe durchschnittliche Kopfaufprallgeschwindigkeiten, welche oftmals, vor allem in den relevanten Kopfaufprallbereichen der Erwachsenen, oberhalb der Fahrzeuggeschwindigkeit liegen, was bei Fußgängern nicht der Fall ist (HAMACHER/KÜHN/HUMMEL, 2017). Zudem nimmt durch die weiter hinten liegenden Kopfaufprallorte der Radfahrer die Relevanz des kritischen Windlauf- und unteren Windschutzscheibenbereichs für Kinder in der Regel zu.

Eine Studie von HAMACHER/KÜHN/HUMMEL (2017) offenbart unter Anwendung einer integrierten Bewertungsmethodik und unter Berücksichtigung verschiedener Fahrzeugklassen und Schutzmaßnahmen generell ein für Radfahrer deutlich höheres Risiko einer schweren Kopfverletzung im Vergleich zu Fußgängern. Dies hat auch Auswirkungen auf

das Schutzpotenzial einer aktiven Haube, welches für Radfahrer nur bedingt zum Tragen kommt und teilweise sogar zu einer Erhöhung des Kopfverletzungsrisikos führt. Ein Windschutzscheibenairbag bietet hingegen für Radfahrer sowohl bei Erwachsenen als auch Kindern ein in der Regel hohes Schutzpotenzial. Einzig bei SUV (Sports Utility Vehicle) werden Kinder aufgrund der langen Haubengeometrie durch einen Windschutzscheibenairbag kaum adressiert. Ein Mehrwert durch die Erweiterung eines Fußgängerairbags zu einem Radfahrerairbag, welcher die A-Säule vollständig abdeckt, ergibt sich in erster Linie für Erwachsene und hier hauptsächlich für Kompaktfahrzeuge. Je besser die Struktureigenschaften einer Fahrzeugfront hinsichtlich des Anpralls ungeschützter Verkehrsteilnehmer ausgelegt sind, desto ausgeprägter ist der positive Effekt einer reduzierten Fahrzeuggeschwindigkeit (solange der Unfall nicht vollständig vermieden wird). Im Vergleich zum Schutzpotenzial passiver Maßnahmen an der Fahrzeugfront bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von 40 km/h, zeigt eine Halbierung dieser Kollisionsgeschwindigkeit eine höhere Schutzwirkung. Das ist sowohl für alle Fahrzeugkategorien, für Fußgänger und Radfahrer als auch für Kinder und Erwachsene festzustellen. Zudem ist eine Reduktion der Fahrzeuggeschwindigkeit die einzige Maßnahme, die auch einen positiven Effekt auf den Sekundäraufprall, d. h. dem Aufprall des ungeschützten Verkehrsteilnehmers auf die Straße, hat (HAMACHER/KÜHN/HUMMEL, 2017).

Realversuche mit Fahrzeuggeschwindigkeiten von 40 km/h, 30 km/h und 20 km/h und einem von rechts mit einer Eigengeschwindigkeit von 15 km/h kommenden Radfahrer, welcher durch einen auf einem realen Fahrrad platzierten Polar-II-Dummy abgebildet wird, bestätigen die hohen Kopfaufprallgeschwindigkeiten aus der Simulation (siehe HAMACHER/KÜHN/HUMMEL, 2017). Allerdings fallen die HIC-Werte beim Primäranprall hier relativ niedrig aus, was hauptsächlich auf die Vorschädigung der Windschutzscheibe durch den vor dem Kopfaufprall stattfindenden Ellenbogen- bzw. Schulteraufprall zurückzuführen ist. Deutlich kritischer sind allerdings die im Versuch, auch bei niedriger Fahrzeuggeschwindigkeit, um ein Vielfaches höheren Belastungswerte beim Sekundäraufprall.

Radfahrer werden aktuell weder in den gesetzlichen noch in den Verbraucherschutzzeitigen Tests zur passiven Sicherheit hinreichend berücksichtigt. Im Zuge eines Projekts im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen ist basierend auf einer vertiefenden Analyse des Pkw-Radfahrer-Unfallgeschehens, umfangreichen Simulationen sowie Komponenten- und Dummy-Versuchen ein Prüfverfahren zur Bewertung des Schutzpotenzials von Fahrzeugfronten bei einer Kollision mit Radfahrern entwickelt worden, welches zur Anwendung im

Rahmen der Gesetzgebung ausgelegt ist (ZANDER/HAMACHER, 2017a). Dabei werden gemeinsame Prüfanforderungen für den Fußgänger- und Radfahrerschutz abgeleitet und die Anforderungen des bestehenden gesetzlichen Prüfverfahrens zum Fußgängerschutz modifiziert. Die definierten Kopfprüfwinkel sind dabei sowohl für Radfahrer als auch für Fußgänger repräsentativ. Das erarbeitete Verfahren sieht eine Erhöhung der Kopfprüfgeschwindigkeit von 35 km/h auf 40 km/h sowie eine deutliche Erweiterung des Prüfbereichs vor, nimmt gleichzeitig aber durch passive Strukturmaßnahmen nicht adressierbare Bereiche weitestgehend aus. Zudem erfolgt eine Unterteilung des Windschutzscheibenprüfbereichs, welcher maximal bis zum oberen Windschutzscheibenrahmen bzw. bis zu einer Abwickellänge (WAD) von 2.500 mm reicht, in einen Test- und einen Monitoring-Bereich. Dadurch kann der Testaufwand reduziert und der Einfluss des unvorhersehbaren Scheibenbruchverhaltens auf die Testresultate minimiert werden.

Die Vorgaben zum HIC-Wert erfolgen getrennt für den Hauben- und Windschutzscheibenbereich. Im Haubenbereich darf der HIC-Wert auf der Hälfte der Kinderkopfprüffläche und zusätzlich auf zwei Dritteln der gesamten Haubenprüffläche, d. h. die sich aus Kinder- und Erwachsenenkopfprüffläche ergebene Fläche, 1.000 nicht überschreiten. Der HIC-Wert darf zudem bei beiden Kopfformen auf der verbleibenden Fläche der Fronthaube 1.700 nicht überschreiten. Im Testbereich der Windschutzscheibe gilt ebenfalls eine HIC-Obergrenze von 1.700, wobei auf einem Drittel dieser Fläche ein HIC kleiner 1.000 einzuhalten ist.

Die Adressierung von Thoraxverletzungen durch einen entsprechenden Prüfkörper ist ebenfalls Gegenstand aktueller Forschungsaktivitäten. Erste Ergebnisse bezüglich eines TIPT (Thorax injury prediction tool) haben gezeigt, dass ein ES-2-Torso zur Bewertung von Rippenverletzungen von ungeschützten Verkehrsteilnehmern bei Geschwindigkeiten gemäß den Anforderungen in Gesetzgebung sowie Verbraucherschutz prinzipiell einsetzbar ist (ZANDER et al., 2017b). Auch wenn ein erster Prototyp in Planung ist, sind noch weitere Untersuchungen erforderlich, beispielsweise hinsichtlich der Rotation des Prüfkörpers um seine vertikale Achse vor dem Anprall. Auch die Berücksichtigung einer Oberkörpermasse beim Beinprüfkörper (FlexPLI) zur Verbesserung der Anprallkinematik beim Fußgängerschutz ist ein aktuelles Forschungsthema. Die von ZANDER/HAMACHER (2017a) durchgeführten Versuche zur Abbildung des Beinanpralls eines Radfahrers rechtfertigen allerdings keinen Einsatz des Beinprüfkörpers zur Bewertung der Radfahrersicherheit. Die hierzu vorgenommene Veränderung des Anprallwinkels sowie des Höhenversatzes alleine sind nicht ausreichend, um eine Abgrenzung

zu den Prüfungen im Fußgängerschutz zu erzielen. Vielmehr wären für eine radfahrerspezifische Beinanprallprüfung die Abbildung des Kniebeugewinkels sowie des Einflusses des Fahrrads wünschenswert.

### **Integrierte Fahrzeugsicherheit**

Laut einer schwedischen Studie könnte das Risiko schwerer Verletzungen in Unfällen von Fußgängern bzw. Radfahrern mit Pkw durch eine Kombination aus Geschwindigkeitsbegrenzung, Helmtragen und passiv ausgelegter Fahrzeugfront mit automatischem Notbremsystem um mehr als 90 % reduziert werden (OHLIN/STRANDROTH/TINGVALL, 2014). Weitere Untersuchungen durch FREDRIKSSON/RANJBAR/ROSEN (2015) zeigen, dass die Verbindung aktiver und passiver Schutzsysteme zu einem integrierten System eine nochmals signifikante Effektivitätssteigerung im Vergleich zum besten Einzelsystem bietet.

### **Lkw-Radfahrer-Unfälle**

Die meisten schweren und tödlichen Unfälle zwischen Lkw und Radfahrern geschehen laut WISMANS (2016) in städtischen Gebieten. Menschliche Fehler sind dabei der hauptsächliche Faktor, sowohl bei den Lkw- als auch bei den Radfahrern. Mittelschwere Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3,5 t bis 7,5 t sind häufiger in Unfälle mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern verwickelt als schwere Lkw. Ein häufiger Unfalltyp sind Abbiegeunfälle, mit einer deutlich höheren Unfallschwere bei schweren Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 7,5 t. Hier ergibt sich ein hohes Schutzpotenzial für aktive Systeme.

Berücksichtigt man typische Fahrerreaktionszeiten und Bremswege unter den gegebenen Ausgangsrandbedingungen, ist ein Fahrerassistenzsystem mit informierender Funktion und niedriger Intensität am besten geeignet (SCHRECK/SEINIGER, 2015, SEINIGER et al., 2016). Eine automatische Notbremsung stellt einen massiven Eingriff dar, für den bislang zu wenige Erfahrungswerte vorhanden sind. Warnungen mit hoher Intensität zu einem späten Zeitpunkt hätten keinen Effekt, während ein früherer Zeitpunkt zu viele Warnungen verursachen würde und eine mögliche Abschaltung des Systems durch den Fahrer zur Folge hätte. Das System sollte zudem nicht auf statische, irrelevante Objekte reagieren.

Neben Abbiegeunfällen sind die häufigsten Szenarien bei schweren und tödlichen Unfällen der kreuzende Radfahrer und Überholsituationen mit longitudinaler Bewegungsrichtung von Lkw und Radfahrer (POKORNY/PITERA, 2016). Eine verlängerte, flexible Fahrzeugfront könnte sich in Unfällen mit kreuzenden ungeschützten Verkehrsteilnehmern positiv auswirken (WISMANS, 2016). Aktuell

gibt es aber keine passiven Anforderungen zum Schutz ungeschützter Verkehrsteilnehmer für Lkw-Fronten. Bezüglich des seitlichen Unterfahrschutzes wird eine lückenlose Ausführung sowie eine Erfassung der Ausnahmeregelungen gefordert (WOOLSGROVE, 2016). Ungeschützte Verkehrsteilnehmer profitieren zudem von einer Verbesserung der direkten Sicht (WISMANS, 2016).

### Schutzausstattung

Simulationsstudien durch FAHLSTEDT/HALLDIN/KLEIVEN (2014) belegen, dass ein Fahrradhelm ein beträchtliches Energieabsorptionsvermögen in allen Aufprallkonfigurationen aufweist und das Risiko von Verletzungen des Schädels und des Gehirns reduziert. Dennoch zeigt sich Verbesserungspotenzial in Bezug auf das heutige Helmdesign. Als mögliche Weiterentwicklung des aktuellen EN 1078-Fahrradhelmstandards werden in WILLINGER et al. (2014) Verbesserungen in vier wesentlichen Bereichen vorgeschlagen: bezüglich der Kopfaufprallbedingungen, dem Kopfprüfkörper, der Kopfaufprallstelle und dem Kopfverletzungskriterium.

Gemäß einer schwedischen Studie hätten laut der forensischen Berichte von 76 getöteten Radfahrern 43 % der nicht behelzten Radfahrer mit einem Helm überlebt (KULLGREN et al., 2017). Auch andere Studien bestätigen ein hohes Schutzpotenzial für den Radfahrerhelm, gerade bei zunehmender Aufprallschwere (siehe ZANDER/GEHRING/LESSMANN, 2013, JÜRGENSOHN et al. 2017).

Darüber hinaus wird mittlerweile auch ein Airbag als persönliche Schutzausstattung für Radfahrer angeboten (HÖVDING, 2017). Der Airbag bläst sich bei einem Unfall in 0,1 s auf und bildet eine Kapuze, die das Genick fixiert. Er bietet laut Hersteller eine dreimal bessere Stoßdämpfung als klassische Fahrradhelme, bei einem deutlich größeren Schutzbereich. Nach dem Auslösen hält der Airbag den Gasdruck mehrere Sekunden konstant aufrecht und bietet selbst bei hohen Geschwindigkeiten und bei mehreren aufeinanderfolgenden Aufprällen wirksamen Schutz. Eine in 2016 durchgeführte Studie (KURT et al., 2016) zeigt, dass der Airbag das Risiko einer Gehirnerschütterung im Vergleich zu einem klassischen Helm bis um das Achtfache reduziert und das Risiko eines Schädelbruchs fast vollständig eliminiert.

Allerdings kommt eine Untersuchung von ZANDER (2019) zu dem Schluss, dass die potentiell hohe Effektivität des Airbags nur bei Alleinunfällen (ein Direktanprall des Kopfes, z.B. an einen überhängenden Ast auf Kopfhöhe, ausgenommen) gegeben ist. In Radfahrer-Pkw-Kollisionen ist die Zeit bis zum Kopfaufprall des Radfahrers auf die Fahrzeugfront oftmals zu kurz, um eine vollständige Entfaltung und damit Schutzwirkung des Airbags zu erreichen.

Aber auch im Falle einer rechtzeitigen Entfaltung kann das Airbag System der schnellen Kopfbewegung des Radfahrers kaum folgen, sodass die Schutzwirkung, gerade mit steigender Kollisionsgeschwindigkeit, unzureichend ist. Insgesamt zeigt die Untersuchung, dass der Airbag einen Fahrradhelm nicht ersetzen kann.

### Technische Maßnahmen am Fahrrad

Auch durch zusätzliche technische Maßnahmen am Fahrrad kann die Verkehrssicherheit erhöht werden. So werden verschiedene intelligente Beleuchtungssysteme angeboten. Ein, in Deutschland jedoch gemäß § 67 StVZO nicht zulässiges System von Michelin projiziert mittels eines Lasers unterhalb des Lenkers einen roten Ring um den Radfahrer auf den Boden. Eingebaute Licht- und Abstandssensoren überwachen die Umgebung. Im Falle eines sich nähernden Fahrzeugs wird die Projektion intensiviert und warnt so sowohl das Fahrzeug als auch den Radfahrer vor einer möglichen Gefahr. Ein weiteres System der Firma See.Sense blinkt an Kreuzungen, Kreisverkehren oder nachts bei sich nähernden Scheinwerfern nochmals heller und mit höherer Frequenz. Bei einem Unfall kann mittels Smartphone-App automatisch eine Nachricht mit Positionsangabe versendet werden. Die vierte Generation ist seit Juli 2018 auf den Markt, erweitert um künstliche Intelligenz, d. h. das System stellt sich auf die Verhaltensweisen des Radfahrers ein.

Die Firma Garmin hat ein Radarsystem für Fahrräder eingeführt, welches vor von hinten kommenden Fahrzeugen warnt, aus einer Distanz von bis zu 140 m (VARIA, 2017). Die Displayeinheit kann bis zu acht Fahrzeuge erkennen und zeigt die Entfernung und eine entsprechende Gefahrenstufe an. Dabei wird auch die Intensität des Rücklichts automatisch erhöht, um heranfahrende Fahrzeuge zu warnen. Zusätzlich passt sich der Lichtkegel des optionalen Frontscheinwerfers automatisch der Fahrradgeschwindigkeit und den Lichtverhältnissen an.

Für Pedelecs wird seit Herbst 2018 ein Antiblockiersystem (ABS) angeboten (BOSCH, 2017). Hochauflösende Raddrehzahlsensoren überwachen dabei die Geschwindigkeit beider Räder. Sobald das Vorderrad zu blockieren droht, etwa bei einem zu starken Bremsengriff, regelt das ABS den Bremsdruck und optimiert so die Fahrstabilität und Lenkbarkeit des Pedelecs. Eine Hinterrad-Abhebereglung verringert zudem die Wahrscheinlichkeit eines Überschlags. Sobald das System feststellt, dass das Hinterrad abhebt, regelt die ABS-Kontrolleinheit kurzzeitig den Bremsdruck am Vorderrad.

Eine aktive Stabilitätskontrolle ist Gegenstand aktueller Forschung (SCHWAB/APPLEMAN, 2013). Durch eine mechanische Trennung von Lenker und Frontgabel und den Einsatz elektronischer Stellan-

triebe (Steer-by-Wire) wird eine aktive Lenkmomentkontrolle ermöglicht, welche den Lenkaufwand des Radfahrers erheblich reduziert. Dadurch erfolgt eine Stabilisierung des Fahrrads bereits ab einer Geschwindigkeit von 4 km/h, statt der üblicherweise dafür erforderlichen Geschwindigkeit von 20 km/h.

### 3.2.4 Erkenntnisse aus interdisziplinären Untersuchungen

#### Sicherheitskenngrößen im Radverkehr

In der Untersuchung zu Sicherheitskenngrößen im Radverkehr von BAIER/GÖBBELS/KLEMP-S-KOHNEN (2013) werden „Kriterium“, „Indikator“ und „Kenngröße“ als Begriffe verwendet und für verschiedene Fachdisziplinen (Infrastrukturplanung, Verkehrspsychologie, Verkehrsmedizin) mit exemplarischen Beispielen beschrieben. Eine allgemeine Definition im Kontext wird dort allerdings nicht gegeben.

Die potenziell kritischen Situationen werden durch Klassen von Merkmalen mit unterschiedlichen Ausprägungen gekennzeichnet. Eine Klasse von Merkmalen wird dabei als „Kriterium“ bezeichnet. Die Kriterien bilden die übergeordnete Struktur zur Beschreibung bzw. Abbildung der verschiedenen Situationen. Von BAIER/GÖBBELS/KLEMP-S-KOHNEN (2013) wird diesbezüglich zwischen statischem Bereich („vor Fahrtantritt“) und dynamischem Bereich („während der Fahrt“) unterschieden. Stellt sich über die Bewertung heraus, dass ein Kriterium sicherheitsrelevant ist, so wird das Kriterium als Sicherheitskriterium bezeichnet.

Die Kriterien können unterschiedliche Ausprägungen (Instanzen, Varianten) haben. Um diese verschiedenen Zustände zu beschreiben bzw. abzubilden werden Anzeiger der Kriterien benötigt, die hier als „Indikatoren“ bezeichnet werden. Diese können sowohl quantifizierbar als auch nicht quantifizierbar sein.

Die Bedeutung eines Kriteriums in Bezug auf die „Sicherheit im Radverkehr“ wird mit Hilfe von „Kenngrößen“ bestimmt. Mit ihrer Hilfe wird der Einfluss auf die Sicherheit im Radverkehr (definiert durch Unfallzahlen, -wirkungen, -merkmale) für eine betrachtete Situation bewertet.

#### SafetyCube

Eine weitere Untersuchung mit interdisziplinärem Ansatz ist das EU-Projekt SafetyCube, das von der europäischen Kommission im Rahmen des EU-Rahmenprogramms für Forschung und Innovation „Horizon 2020“ gefördert wurde. Ziel des Projekts war die Entwicklung eines innovativen und global nutzbaren Entscheidungshilfesystems, dem sogenannten Decision Support System (DSS), das verschiedenen Entscheidungsträgern und weiteren

Akteuren in Europa und international fundierte Informationen zum Thema Straßenverkehrssicherheit bereitstellen soll. Dazu stellt das DSS verständliche und strukturierte Informationen zu Unfallursachen (risikoerhöhende Einflussfaktoren) sowie zu Maßnahmen in Bezug auf Infrastruktur, Verkehrsverhalten und Fahrzeug zusammen (THOMAS et al., 2017).

Im Rahmen mehrerer Expertenworkshops wurden die Anforderungen von Seiten der zukünftigen Nutzer an das DSS bestimmt. Dabei wurde deutlich, dass das DSS für eine große Bandbreite an Nutzern sowohl auf EU-Ebene als auch auf lokaler Ebene zur Verfügung stehen soll, um den Entscheidungsträgern zu einer informationsgestützten Entscheidung zu verhelfen ohne Entscheidungen vorzugeben. Auf dieser Grundlage wurden die folgenden Anforderungen bezüglich des DSS formuliert (THOMAS et al., 2016):

- Leicht zu findende Webadresse,
- modernes Web-basiertes Programm,
- ansprechende Oberfläche,
- simple Struktur,
- leistungsstarke Suchmaschinen,
- vollständig dokumentierte Informationen,
- einfache Updates.

Das DSS steht im Internet zur Verfügung. Die Internetseite gliedert sich in die drei Ebenen Suche, Ergebnisse sowie individuelle Studien. Für die Suche nach risikoerhöhenden Einflussfaktoren und Verkehrssicherheitsmaßnahmen kann der Nutzer zwischen fünf Einstiegspunkten wählen, also die Suche über die Angabe eines Schlagworts, eines Einflussfaktors, einer Maßnahme, der Beteiligengruppe oder eines Unfallszenarios durchführen.

Im Ergebnis wird dem Nutzer bezüglich des ausgewählten Einflussfaktors bzw. der Maßnahme in einem pdf-Dokument zunächst die Relevanz – d. h. das Gefährdungspotenzial eines Einflussfaktors bzw. die Wirksamkeit einer Maßnahme – über einen Farbcode dargestellt. Zudem stehen eine Kurzfassung, eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse sowie eine Liste relevanter Literatur zur Verfügung. Darüber hinaus werden über einen Link auf verwandte Einflussfaktoren und Maßnahmen verwiesen und in einer Tabelle die verfügbaren Metaanalysen sowie weitere Studien der SafetyCube-Datenbank aufgelistet (siehe hierzu die Website [www.safetycube-project.eu](http://www.safetycube-project.eu)).

### 3.2.5 Offene Fragen

Aufgrund neuerer Entwicklungen im Bereich des Radverkehrs sowie weiterer konkreter Themen lässt sich von keiner Disziplin sagen, dass sie hinlänglich erforscht sei.

In der Infrastrukturplanung besteht weiterhin Forschungsbedarf in Bezug auf den Vergleich der Verkehrssicherheit verschiedener Radverkehrsführungen, wie beispielsweise der Führung des Radverkehrs im Mischverkehr (mit und ohne Schutzstreifen) in vierstreifigen Querschnitten. Hier fordern OHM et al. (2015) zur Konkretisierung der ERA (2010) die Überprüfung der Führung des Kfz-Verkehrs (überbreite oder markierte Fahrstreifen) zur Gewährleistung ausreichender Überholabstände. Darüber hinaus sind aufgrund der vermehrten Pedelec-Nutzung und der damit verbundenen steigenden Radverkehrsgeschwindigkeiten, die vorhandenen Radverkehrsführungen hinsichtlich ihrer Eignung zu überprüfen. Dazu gehören insbesondere gemeinsame Führungsformen mit dem Fußverkehr (ALRUTZ et al., 2015a).

Auch für die Verkehrspsychologie ist noch unklar, inwiefern die im Radverkehr gewonnenen Erkenntnisse auf den Pedelec-Verkehr übertragbar sind. Eine große Herausforderung bei der methodischen Beantwortung wird dabei darin liegen, mögliche Effekte des Fahrzeugtyps von dem Einfluss der Merkmale ihrer Fahrer zu trennen. Auch hinsichtlich des Gefährdungspotenzials der Smartphone-Nutzung beim Radfahren besteht Forschungsbedarf. Während Studien bei Pkw-Fahrern wie bei Radfahrern klare Hinweise auf eine Beeinträchtigung bei der Verarbeitung möglicher verkehrsrelevanter Informationen gefunden haben (siehe MWAKALONGE/WHITE/SIUHI, 2014, und VOLLRATH/HUEMER/HUMMEL, 2015), ist doch offen, wie häufig welche Funktionen beim Radfahren genutzt werden und mit welchem Risiko sie assoziiert sind.

In der Fahrzeugtechnik gibt es beispielsweise nur sehr begrenzte Erkenntnisse zum Effekt von fußgängerschutzgerecht ausgelegten Fahrzeugfronten in tödlichen Realunfällen mit Fußgängern und Radfahrern, obwohl Studien eine signifikante Korrelation zwischen der Punktzahl im Rahmen der Euro NCAP-Fußgängerschutzbewertungen und dem Risiko für Verletzungen und dauerhafter medizinischer Beeinträchtigung basierend auf Realunfalldaten gezeigt haben, (KULLGREN et al., 2017). Auch wird der Sekundäraufprall im Rahmen der Forschungsaktivitäten zur Radfahrersicherheit kaum adressiert. Detailliertere Erkenntnisse zur Fahrerwahrnehmung verschiedener Situationen könnten laut GOHL et al. (2016) helfen, die Rate von Fehlalarmen aktiver Systeme durch entsprechende Anpassungen der Algorithmen zu reduzieren, gerade für die Situationen, wo ein erhöhter Bedarf zur Un-

terstützung des Fahrers besteht. In Bezug auf Lkw besteht u. a. Forschungsbedarf hinsichtlich des Kurvenfahrstils beim Abbiegen verschiedener Lkw-Typen, wodurch entsprechende Testkorridore umfassender definiert werden könnten (SEINIGER et al., 2016).

Darüber hinaus gibt es eine Reihe offener Fragen, die themenübergreifend bislang nicht oder nicht hinreichend gesichert beantwortet werden können. Diese werden nachfolgend kurz erläutert.

#### Quantifizierung von Risiken und Sicherheitseffekten

Unfälle, insbesondere die sicherheitsrelevanten mit Personenschaden, sind seltene Ereignisse. Insbesondere verkehrspsychologisch relevante Einflussfaktoren bleiben bei der polizeilichen Unfalldatenerfassung unberücksichtigt. Während verkehrspsychologische Erhebungen zwar in der Lage sind, die Wirkung von Einflussfaktoren oder Maßnahmen zu bewerten, liefern sie in der Regel nur relative Aussagen im Vergleich zu einer Bezugsgröße. Beispielsweise ließe sich sagen, ob die Smartphone-Nutzung beim Radfahren gefährlicher ist als ein Blutalkohol-Promillespiegel von 1,0 ‰. Schwierig wird es jedoch, wenn man keine relative Bewertung (sicherer vs. weniger sicher), sondern das Risiko oder den Sicherheitsgewinn in einem Zuwachs bzw. Rückgang der Unfallzahlen ausdrücken soll. Ohne die Quantifizierung der Studieneffekte können Ergebnisse nicht in Nutzen-Kosten-Analysen eingebunden werden und mit dem Risiko- oder Sicherheitspotenzial anderer Einflussfaktoren oder Maßnahmen unmittelbar verglichen werden.

#### Rolle der Exposition bei der Abschätzung von Risiken

Bei der Abschätzung des Risikos von Einflussfaktoren bleibt oft die Exposition unbeachtet. Das kann zu falschen Annahmen führen. Zeigt z. B. eine Studie ein höheres Risiko eines tödlichen Unfalls bei männlichen als bei weiblichen Radfahrern, ist dies nicht unbedingt auf die männliche Risikoneigung zurückzuführen, da die Exposition bei Männern ungleich höher ausfällt. Damit ist nicht das Geschlecht, sondern die Exposition der Faktor, der das Risiko eines tödlichen Unfalls beeinflusst (vgl. MARTÍNEZ-RUIZ et al., 2015). Selbst wenn die Exposition bei der Risikoabschätzung berücksichtigt wird, wird sich in der Regel auf die mit dem Rad zurückgelegte Strecke oder die im Straßenverkehr verbrachte Zeit beschränkt, ohne die in Abhängigkeit von der Streckenwahl unterschiedliche Risikoexposition zu berücksichtigen. Dies liegt auch an der fehlenden Verfügbarkeit passender Expositionsdaten, deren Erhebung sehr aufwändig ist.

### **Verzerrungen der Repräsentativität von Unfallstatistiken**

Die amtliche Unfallstatistik, der größte Datensatz zum Unfallgeschehen in Deutschland, enthält nur polizeilich erfasste Radverkehrsunfälle. Wie in Ziffer 1 geschildert, werden zahlreiche Unfälle polizeilich nicht erfasst und fehlen daher in der amtlichen Statistik. Vor allem aber gibt es systematische Verzerrungen, da bestimmte Unfälle häufiger als andere unberücksichtigt bleiben. Dies trifft insbesondere auf Alleinunfälle zu (von BELOW, 2016). Problematisch wird dies vor allem dann, wenn dadurch die Bedeutsamkeit von Einflussfaktoren oder das Wirkpotenzial von Maßnahmen unterschätzt wird.

### **Vergleichbarkeit der Relevanz von Einflussfaktoren verschiedener Studien**

Die Ergebnisse von Studien hängen in erheblichem Maße von den methodischen Randbedingungen ab. Das führt dazu, dass verallgemeinerte Erkenntnisse schwierig abzuleiten sind. Selbst Studien, die dieselbe Fragestellung mit derselben Methodik angehen, können zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Besonders schwierig wird es, wenn Vergleiche zur Relevanz von Einflussfaktoren über Studien mit abweichender Untersuchungsmethodik gezogen werden sollen, wie es bei fachdisziplinübergreifenden Analysen erforderlich ist.

### **Ganzheitliche Betrachtung der Wirksamkeit von Verkehrssicherheitsmaßnahmen**

Insgesamt fehlt es an einer ganzheitlichen Betrachtung der Wirksamkeit von Verkehrssicherheitsmaßnahmen. VON BELOW (2016) hebt als Beispiel das fehlende Wissen über mögliche Wechselwirkungen zwischen der Infrastruktur und dem Verhalten der Radfahrer sowie anderer Verkehrsteilnehmer hervor. Dazu bedarf es eines ganzheitlichen Forschungsansatzes, der das System Fahrzeug/Umwelt/Fahrer angemessen abbildet. Ebenfalls müssten (un)erwünschte Nebeneffekte von Maßnahmen berücksichtigt werden, wie z. B. eine Veränderung der Exposition als Maßnahmenfolge, die das Unfallrisiko beeinflussen kann. Wenn z. B. eine Strecke durch eine bauliche Maßnahme für den Radverkehr attraktiver wird, können Unfallzahlen steigen, obwohl das individuelle Unfallrisiko sinkt.

## **3.3 Methoden zur Analyse, Modellierung und Bewertung**

Im Rahmen dieses Projekts soll eine bzw. sollen mehrere geeignete Methoden zur interdisziplinären Analyse und Bewertung von Radverkehrsunfällen ausgewählt werden. Die drei Fachdisziplinen verfügen über eine große Bandbreite an Methoden, um Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu erforschen oder um Aussagen zur Auftretenshäufigkeit von Ein-

flussfaktoren oder deren Folgen zu treffen. Die Wahl der Methode richtet sich nach der Zielstellung der Untersuchung und den mit den Verfahren verbundenen Vor- und Nachteilen unter Berücksichtigung der gegebenen Rahmenbedingungen, z. B. der Machbarkeit oder dem Kostenrahmen. Oft empfiehlt es sich, mehrere Methoden zur Beantwortung der gleichen Fragestellung einzusetzen, um die individuellen Unzulänglichkeiten der einzelnen Methoden auszugleichen und ein vollständigeres Bild des Sachverhalts zu erhalten.

### **3.3.1 Unfallanalysen**

Unfallanalysen geben Aufschluss über die Art, Häufigkeit und Schwere von Verkehrsunfällen. Prinzipiell gibt es zwei Wege: Die Realanalyse bestehender Unfalldaten (z. B. Text der polizeilichen Verkehrsunfallanzeige, GIDAS-Daten) einerseits, bei der man die vorliegenden Informationen verwenden kann, und die eigene Erhebung von Unfalldaten andererseits, die es ermöglicht, bislang unberücksichtigte Merkmale des Unfallgeschehens zu erfassen. Unfallanalysen werden fachdisziplinübergreifend angewendet. Wie bei den nachfolgend erläuterten empirischen Methoden ist auch hier die Repräsentativität der Daten ausschlaggebend für die Verallgemeinerbarkeit der Aussagen auf die Gesamtpopulation, die im Fokus der jeweiligen Untersuchung steht.

### **3.3.2 Befragungen von Unfallbeteiligten**

Befragungen geben Aufschluss über Wissen, Einstellungen und über Verhaltensweisen, die der Beobachtung nicht oder nur schwer zugänglich sind. Dabei entscheidet die Rekrutierungsmethode, d. h. die Auswahl der zu Befragenden, stärker über die Repräsentativität der Befragung als die Art der Ansprache (telefonisch, von Angesicht zu Angesicht, postalische oder Online-Befragung). Je stärker (Selbst-)Selektionseffekte wirken können (wenn sich z. B. nur Ältere die Zeit für eine Befragung nehmen oder wenn Fragebögen nur an Universitäten verteilt werden), desto weniger repräsentativ sind die Ergebnisse für die Gesamtpopulation. Zu den Problemen bei Befragungen gehören Antwortverzerrungen. Länger zurückliegendes Verhalten wird nicht akkurat oder vollständig erinnert. Auch bewusst falsche Angaben treten auf, wenn Einstellungen oder Verhaltensweisen adressiert werden, die als sozial nicht erwünscht gelten.

### **3.3.3 Verhaltensbeobachtungen**

Befragungen werden oftmals durch Verhaltensbeobachtungen ersetzt oder besser noch ergänzt, wenn das zu erforschende Verhalten der Beobach-

tung zugänglich ist. Beobachtungen können sowohl an definierten Streckenpunkten oder aber über ganze Streckenabschnitte erfolgen, z. B. über sogenannte Verfolgungsfahrten. Während manche Verhaltensweisen objektiv feststellbar sind (z. B. Smartphone in der Hand: ja oder nein), gibt es bei anderen einen Interpretationsspielraum (z. B. schwerer Konflikt: ja oder nein). Zur Überprüfung der Übereinstimmung der Beurteiler werden daher zumindest für einen definierten Zeitabschnitt mehrere Personen zur Beurteilung desselben Sachverhalts eingesetzt und das Ausmaß ihrer Übereinstimmung berechnet. Darüber hinaus können physikalisch messbare Ersatzgrößen, wie TTC oder Proportion of Stopping Distance (PSD), herangezogen werden, mit denen die Verkehrssicherheit operationalisiert bewertet werden kann.

Mithilfe geeigneter Messtechnik ist auch eine Beobachtung derselben Personen über einen längeren Zeitraum möglich. Dies setzt die Einwilligung der Personen und die Ausstattung ihrer Fahrräder mit geeigneter Messtechnik wie GPS, Kameras, Drehzahlsensor usw. (SCHLEINITZ et al., 2014) voraus. Somit lässt sich das natürliche Fahrverhalten mit Hilfe einer Verhaltensbeobachtung über einen längeren Zeitraum beobachten (Naturalistic Cycling Study).

### 3.3.4 Experimente

Ziel von Experimenten ist es, die Kausalbeziehung zwischen einer Ursache und deren Wirkung zu überprüfen. Es handelt sich dabei nicht um eine Methode per se, sondern um eine Art des Studiendesigns. Im Rahmen eines Experiments kann die Methode der Verhaltensbeobachtung mittels Naturalistic Cycling Study auch zur Evaluation von Sicherheitsmaßnahmen eingesetzt werden. Was bei Radfahrern (noch) nicht üblich ist, kennt man im Automobilbereich als Field Operational Test (FOT), z. B. von Fahrerassistenzsystemen.

Voraussetzung für den Nachweis der Kausalbeziehung ist, die Wirkung allein auf die Ursache zurückführen zu können. Dazu wird der Faktor, dessen Wirkung untersucht werden soll, gezielt variiert. Zur Wirkungsmessung stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Dazu gehören Labor- und Simulatoruntersuchungen, die kontrollierbare Untersuchungsumgebungen unter Ausschluss möglicher Störgrößen bieten. Testverfahren zur Gefahrenerkennung von Radfahrern (Hazard Perception Tests) oder Studien im Simulator wurden bislang vor allem bei Kfz-Fahrern eingesetzt, doch gibt es inzwischen erste Studien auch mit Radfahrern als Probanden (beispielsweise O'HERN/OXLEY/STEVENSON, 2017, ZEUWTS et al., 2017). Fraglich ist die Realitätsnähe dieser Untersuchungen. Feldexperimente, die die Bewältigung von definierten gestellten Sze-

narien erfordern, bieten einen Mittelweg zwischen der Kontrollierbarkeit von Labor- und Simulatoruntersuchungen und der Realitätsnähe von Fahrten im realen Straßenverkehr. Nicht immer lassen sich die gezielte Variation des Einflussfaktors und die rein zufällige Zuordnung der Studienteilnehmer auf die Gruppen gewährleisten, z. B. wenn der Einfluss des Alters oder gesundheitlicher Probleme untersucht werden sollen. In dem Fall handelt es sich um ein Quasiexperiment, bei dem nicht mehr auszuschließen ist, dass die beobachteten Ergebnisse nicht auf andere mögliche Ursachen zurückzuführen sind.

### 3.3.5 Modelle

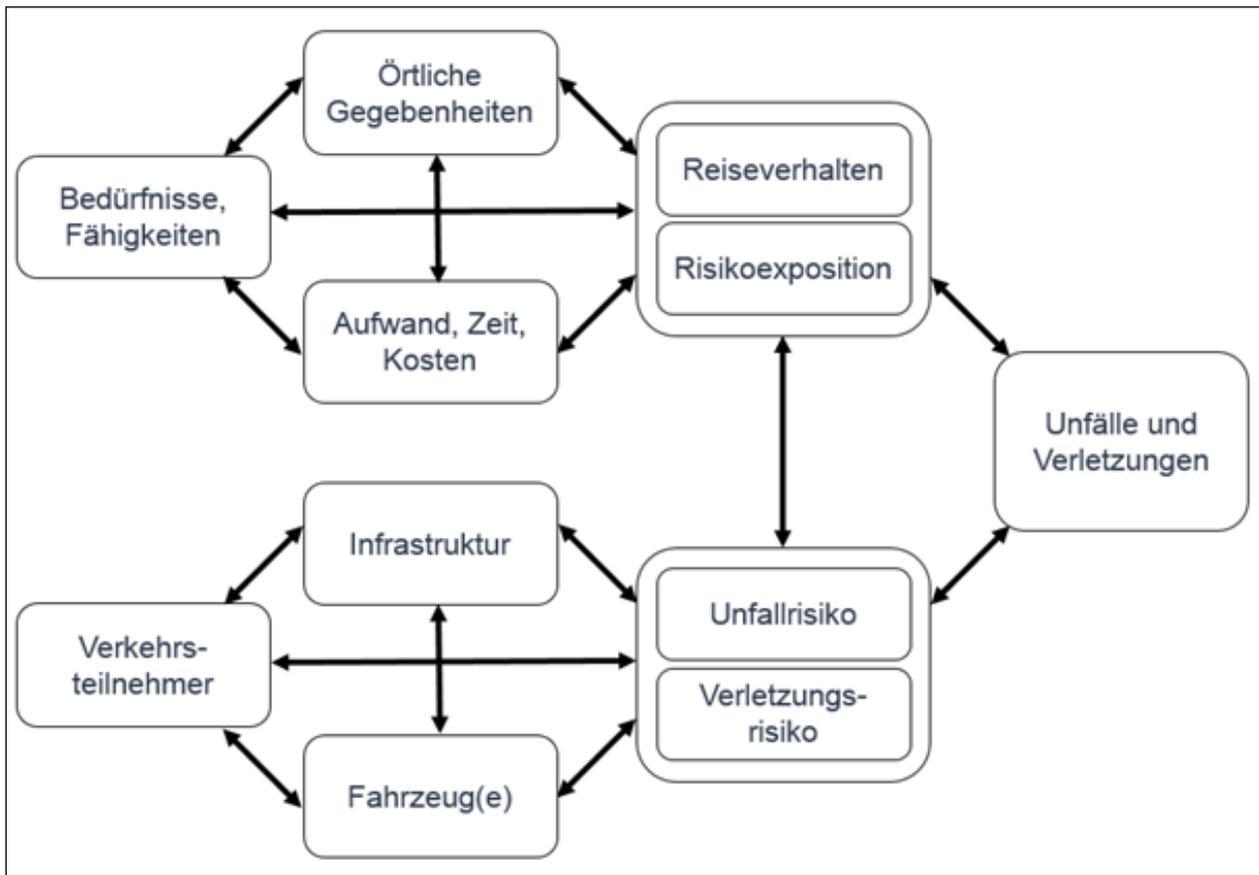
Modelle sind vereinfacht ausgedrückt eine Abstraktion bzw. Vereinfachung der Wirklichkeit. Im Folgenden werden typische Modelle zur Abbildung der Verkehrssicherheit aus der Literatur vorgestellt.

#### Rahmenmodell nach Schepers

SCHEPERS et al. (2014) stellen ein Modell vor, das einen geeigneten Rahmen zur Systematisierung sicherheitsrelevanter Fragestellungen und Erkenntnisse bietet. Hervorzuheben ist dabei der fachdisziplinübergreifende Ansatz, der Erkenntnisse der Verkehrs- und Ingenieurwissenschaften sowie der Verkehrspsychologie zusammenführt und Schnittstellen zwischen diesen definiert.

Das Rahmenmodell beschreibt das Unfall- und Verletzungsrisiko in Abhängigkeit von der Risikoexposition, der Infrastruktur, den Verkehrsteilnehmern und ihrer Fahrzeuge. Berücksichtigt werden dabei auch die Interaktionen zwischen den Bereichen Infrastruktur, Verkehrsteilnehmer und Fahrzeugen, die ebenfalls auf das Unfall- und Verletzungsrisiko wirken (Bild 2). Dies wiederum wird beeinflusst und wirkt zurück auf das Reiseverhalten (gekennzeichnet durch Verkehrsaufkommen, Modal Split und bestimmt durch deren konstituierende Faktoren) und die Risikoexposition. Dabei wird die nichtlineare Beziehung zwischen Exposition und Unfallrisiko betont.

Darüber hinaus wird erläutert, wie bestehende psychologische Modelle, die die Interaktion von Fahrer und Umwelt oder Fahrer und Fahrzeug beschreiben, eingebunden werden können. Die Anwendbarkeit des Modells zur qualitativen Abschätzung des Unfallrisikos wird von SCHEPERS et al. (2014) am Beispiel der Umwandlung von Ein- in Zweirichtungsradwege demonstriert. Dabei erwies es sich als geeignet, fachdisziplinübergreifend die Folgen von Sicherheitsmaßnahmen auf das Unfallrisiko und die Exposition darzustellen. Dies ermöglichte eine ganzheitliche Betrachtung der Konsequenzen, insbesondere dann, wenn neben der Sicherheit von Radfahrern auch die Erhöhung des Radverkehrsanteils erzielt werden soll.



**Bild 2:** Rahmenmodell nach SCHEPERS et al. (2014) zur Systematisierung verkehrssicherheitsrelevanter Fragestellungen und Erkenntnisse

### Ansätze zur Bewertung infrastruktureller Radverkehrsmaßnahmen

In der „Bestandsaufnahme zur Bewertung der Wirksamkeit innerörtlicher Radverkehrsmaßnahmen“ von REINARTZ/ASSMUSS/BAIER (2018) wurden Methodenansätze zur Bewertung der Wirksamkeit infrastruktureller Radverkehrsmaßnahmen auf das Unfallgeschehen analysiert. Neben dem Aspekt der Verkehrssicherheit wurden auch allgemeine Aspekte sowie Methoden zur Beurteilung der Verkehrsqualität im weiteren Sinne und der Wirtschaftlichkeit betrachtet. Die darin als relevant erachteten (wissenschaftlichen) Methoden sind nachfolgend dargestellt.

Generell dienen Wirkungskontrollen der Überprüfung, ob durch die Planung angestrebte Wirkungen tatsächlich erreicht werden oder Veränderungen erforderlich sind. Instrumente der Qualitätssicherung sollen gewährleisten, dass vorgegebene Qualitätsstandards in der Umsetzung realisiert werden. Wirkungskontrolle und Qualitätssicherung sind Teil des Qualitätsmanagements (DIFU, 2010). Im Hinblick auf die Bewertung der Verkehrssicherheit gibt es verschiedene Ansätze. Dabei ist zwischen solchen, die konkret auf einer Analyse des Unfallgeschehens aufbauen und konkrete Unfallkennwerte verwenden und solchen, die auf so genannten Einflussfaktoren

oder Sicherheitsindikatoren basieren zu unterscheiden, die sich zwar meist auch auf das Unfallgeschehen beziehen, aber allgemeiner gefasst sind.

Die Wirksamkeitsprüfung umgesetzter Infrastrukturmaßnahmen für den Radverkehr kann durch Vorher-Nachher-Vergleiche mit Bestimmung der Maßnahmenwirkung über Unfallanzahlen oder besser Unfallkosten, bezogen auf Unfälle mit Radfahrerbeteiligung erfolgen. Beispielhafte Anwendungen finden sich z. B., wenn auch nicht ausschließlich auf Unfälle im Radverkehr bezogen, bei GERLACH/KESTING/THIEMEYER (2009). Diese haben in einer Beispielsammlung die „Möglichkeiten der schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit“ zusammengestellt. Die darin aufgeführten Maßnahmen dienen zur Bekämpfung von Unfallhäufungen. Neben den Maßnahmen selbst sind u. a. auch deren Effektivität (in Form der vermiedenen Unfallkosten und der Maßnahmenwirkung) und Signifikanz angegeben. Dazu wurde ein Vergleich der mittleren jährlichen Unfallzahlen und Unfallkosten im Vorher- und Nachher-Zeitraum durchgeführt.

Auch im webbasierten „Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen“ (siehe Website: [www.makau.bast.de](http://www.makau.bast.de)) sind neben einem allgemeinen Maßnahmenkatalog (es werden Maßnahmen

nach Ortslage und Straßencharakteristik, wie z. B. Strecke, Einmündung oder Kreuzung, jeweils mit oder ohne Lichtsignalanlage, Kreisverkehr, Einmündung oder Kreuzung mit der Regelungsart „rechts vor links“ kategorisiert, davon sind innerorts 16 Maßnahmen dem Radverkehr zugeordnet) ebenfalls Elemente der Unfallanalyse, der Maßnahmenfindung und Wirksamkeitsprüfung auf Basis des Unfallgeschehens einer Unfallhäufung enthalten. Es erfolgt eine systematische Differenzierung des Unfallgeschehens in maßgebende typisierte Konflikte. Darüber hinaus erlaubt das Werkzeug durch die Bildung von Rangfolgen die zielorientierte Bearbeitung mehrerer Unfallhäufungen.

Des Weiteren wurden in verschiedenen Untersuchungen bereits unterschiedliche Ansätze entwickelt und angewendet. Nachfolgend sind einige relevante Untersuchungen beispielhaft genannt.

ALRUTZ et al. (2015a) wenden z. B. multikriterielle Unfallmodelle auf Basis verallgemeinerter linearer Modelle in Bezug auf den Radverkehr an. Diese können spezifische Einflüsse auf das Unfallgeschehen isoliert quantifizieren. Durch die Herausarbeitung signifikant wirkender Einflüsse auf das Unfallgeschehen lässt sich ein verändertes Unfallgeschehen infolge veränderter (zukünftiger) Rahmenbedingungen prognostizieren. Als Parameter werden Streckenparameter (z. B. Radverkehrsführung, Art des Belags, Breite der Radverkehrsanlage), Parameter des Radverkehrs (z. B. mittlere Radgeschwindigkeit, DTV des Radverkehrs, Radverkehrsanteil) und weitere Parameter des Verkehrs (z. B. DTV, städtebauliche Nutzung, Anzahl Grundstückseinfahrten) verwendet.

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von infrastrukturellen Maßnahmen für den Radverkehr haben RÖHLING et al. (2008) einen Leitfaden zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Analysen erarbeitet. Damit kann die Effizienz von Radverkehrsmaßnahmen bewertet werden.

Im Rahmen verschiedener Untersuchungen wurden bereits Nutzen-Kosten-Analysen angewendet. GERLACH/KESTING/THIEMEYER (2009) haben z. B. die Effizienz von Maßnahmen zur Bekämpfung von Unfallhäufungen auf Basis von Nutzen-Kosten-Vergleichen bewertet (Nutzen: vermiedene Unfallkosten, Kosten: Investitionskosten der Maßnahme). Auch MAIER et al. (2016) haben Nutzen-Kosten-Analysen für kostengünstige Maßnahmen an Unfallhäufungen durchgeführt. Sie haben dabei festgestellt, dass geringe Investitionskosten in der Regel mit höheren Nutzen-Kosten-Verhältnissen in Zusammenhang stehen. Es wurde festgestellt, dass die Wirksamkeit der Maßnahmen tendenziell häufiger aus dem Rückgang der Unfallschwere resultiert. Ein hohes Nutzen-Kosten-Verhältnis resultiert nicht zwangsläufig aus einem deutlichen Rückgang der

Unfallanzahl und damit der Unfallkosten, sondern mitunter aus den sehr geringen Investitionskosten.

### Modell nach Baier

Aus dem Zusammenhang der ansteigenden Unfallzahlen von älteren Menschen und der zu erwartenden demografischen Entwicklung ergibt sich in Zukunft eine Herausforderung für die Verkehrssicherheitsarbeit. Vor diesem Hintergrund haben BAIER/SCHÄFER/KLEMP-S-KOHNEN (2009) eine Studie durchgeführt, die den Kontext der Verkehrssicherheit älterer Menschen vertiefen sollte, so dass geeignete Maßnahmen und Empfehlungen für eine alters- und altengerechte Mobilität formuliert und – durch fundierte Unfallanalysen und Gefährdungsprognosen unterlegt – qualifiziert begründet werden können.

Im Zentrum der Studie standen folgende Aspekte:

- Ermittlung und Gegenüberstellung von objektiven Gefährdungspotenzialen und subjektiver Gefährdungswahrnehmung von älteren Menschen,
- Entwicklung von Gefährdungsprognosen auf der Grundlage von Szenarien, mit denen sich das erwartbare Spektrum zukünftiger Entwicklungen abbilden lässt, sowie
- Ableitung von Maßnahmen und Empfehlungen für eine alters- und altengerechte Mobilität in den Bereichen Verkehrsinfrastruktur, Fahrzeugtechnik und Verhalten.

Ausgehend von den Analyseergebnissen zu objektiven Gefährdungspotenzialen und subjektiver Gefährdungswahrnehmung erfolgte die Entwicklung von Gefährdungsprognosen zur Ableitung von Maßnahmen und Empfehlungen für eine alters- und altengerechte Mobilität. Die Prognosen zur künftigen Entwicklung der Verkehrssicherheit älterer Verkehrsteilnehmer wurden auf die Zeithorizonte 2020, 2030 und 2050 bezogen.

Unter Berücksichtigung der demografischen Entwicklung, der Mobilitätsentwicklung, der heutigen Verkehrssicherheitskennziffern und Annahmen zur zukünftigen Umsetzung von verkehrssicherheitsrelevanten Maßnahmen in den Bereichen Infrastruktur und Fahrzeugtechnik wurden Mobilitäts- und Maßnahmen Szenarien abgeleitet und schließlich zu drei Gesamtszenarien verknüpft, die als Basis für unterschiedliche Varianten der Gefährdungsprognosen dienen. Die Szenarien „Förderung einer motorisierten Mobilität“ und „Förderung der Nahmobilität“ sowie das Szenario „Fortführung heutiger Praxis“ als Vergleichsbasis gehen davon aus, dass jeweils ein bestimmtes Set dieser Maßnahmen bis zum Zielhorizont 2050 komplett, ein anderes Set nur teilweise umgesetzt wird. Das Maßnahmen Szenario „Förderung der Nahmobilität“ geht dabei von

einer Komplettumsetzung der auf die Zielgruppen Fußgänger und Fahrradfahrer gerichteten Maßnahmen aus.

In Tabelle 1 sind die Annahmen zusammengestellt, die von BAIER/SCHÄFER/KLEMP-S-KOHNEN (2009) zu dem im Jahr 2050 erreichten Umsetzungsgrad und den entsprechenden Wirkungen der Maßnahmen zu Gunsten älterer Fahrradfahrer auf die Verkehrssicherheit getroffen wurden. Berücksichtigt werden muss dabei, dass zu den Anteilen der verschiedenen Verkehrsarten an den Unfällen, insbesondere solchen mit Personenschaden, keine Daten vorlagen. Die getroffenen Annahmen beruhen daher auf plausiblen Überlegungen, die genauer nicht zu verifizieren sind.

Die Prognoseberechnungen erfolgten, ausgehend von den vorhandenen, nach Unfalltypen differenzierten Unfalldaten, ebenfalls differenziert nach Altersgruppen. Ausgehend von den vorliegenden altersgruppenspezifischen Angaben (Altersgruppen: unter 18 Jahre, 18 bis 65 Jahre und über 65 Jahre) zur heutigen Gesamtverkehrsleistung und zu den erwartbaren Verkehrsleistungen in den Jahren 2020, 2030 und 2050 in den zu Grunde gelegten Mobilitätsszenarien sowie der ebenfalls altersgruppenspezifisch differenzierten Bevölkerungsvorberechnung wurden spezifische Verkehrsleistungen abgeleitet. Mit diesen wurden dann die jeweiligen Gesamtverkehrsleistungen ermittelt.

Der Prognoseansatz basiert auf dem unterstellten Zusammenhang zwischen der Gesamtverkehrsleistung der Bevölkerung bzw. einzelner Teile dieser – hier die Einwohner der betrachteten Altersgruppen – und der einwohnerbezogenen Unfallbelastung, die sich aus den von den einzelnen Gruppen jeweils verursachten Unfällen ergibt. Aus den abgeleiteten Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen wurden für die drei betrachteten Maßnahmen szenarien unfalltypenspezifische Maßnahmenfaktoren für Unfälle mit schwerem Personenschaden bzw. Unfälle mit leichtem Personenschaden ermittelt. Dabei wurde keine rein substitutive Maßnahmenwirkung angesetzt, sondern eine gewisse Wirkungskompensation der einzelnen unfalltypenbezogenen Maßnahmen unterstellt.

Die durchgeführten Gefährdungsprognosen sind als Sensitivitätsanalysen zu verstehen. Sie machen insgesamt deutlich, dass das Ziel einer konsequenten Verbesserung der Verkehrssicherheit älterer Verkehrsteilnehmer zu einer Umsetzung eines anspruchsvollen Maßnahmenkonzepts keine sinnvolle Alternative bietet.

### Quantitative Risikobewertung

Quantitative Risikobewertungen werden beispielsweise für die Konzipierung neuer Straßentunnel durchgeführt (SISTENICH, 2007). Hintergrund sind

u. a. geänderte Vorgaben für Straßentunnel, die es notwendig machen, das Sicherheitsniveau von Tunneln anhand ihrer Merkmale und Ausstattung in vergleichbarer Form zu bestimmen, um somit den effektiven Einsatz der zur Verfügung stehenden Ressourcen zu ermöglichen. Eine solche Abschätzung der Straßentunnelsicherheit kann nach MAYER/HAASTERT (2003) im Prinzip entweder mittels qualitativer oder quantitativer Bewertungsmethoden erfolgen.

Bei qualitativen Methoden werden beliebig definierbare Bewertungsmaßstäbe angewendet. Dies birgt laut MAYER/HAASTERT (2003) jedoch die Gefahr einer subjektiven Überbewertung der Eindrücke auf der einen Seite und einer nicht vollständigen Berücksichtigung der systematischen Zusammenhänge zwischen einzelnen Maßnahmen bzw. Komponenten auf der anderen Seite. Zudem sind mit diesen Methoden keine vergleichenden Aussagen möglich. Damit können z. B. keine Vergleiche zwischen den Risiken in Straßenverkehrstunneln sowie Risiken auf bzw. an anderen Verkehrsanlagen gezogen werden.

Bei quantitativen Methoden dagegen wird versucht, das Verhalten des Systems Straßentunnel gedanklich logisch nachzubilden. Hierzu werden vom auslösenden Ereignis aus alle möglichen Ablaufvarianten simuliert (siehe MAYER/HAASTERT, 2003).

Die Systemparameter, welche die Entwicklung des Ereignisablaufes beeinflussen, werden identifiziert und auf ihre Ursachen hin untersucht. Von den zu erwartenden Häufigkeiten dieser Ursachen kann auf die Wahrscheinlichkeit einer Entwicklung infolge eines Systemparameters geschlossen werden. Für jeden möglichen Ereignisablauf wird mit Hilfe dieser Wahrscheinlichkeiten der beeinflussenden Systemparameter die zu erwartende Häufigkeit des Endzustands berechnet.

Als Maß zur Bewertung der Sicherheit dient bei den quantitativen Methoden die Verknüpfung der Häufigkeit eines möglichen Endzustands mit der Größe seiner entsprechenden Wirkung. Die Wirkungsermittlung für die einzelnen Endzustände kann beispielsweise mittels Simulationsrechnungen zur Brand- und Rauchausbreitung sowie dem Fluchtverhalten erfolgen. Dadurch wird es möglich, Wirkungen objektiv zu erfassen und den Einfluss einzelner Systemkomponenten auf die Sicherheit von Tunneln zu ermitteln.

Die Begriffe Risiko, Sicherheit oder Gefahr werden nicht einheitlich benutzt. Deshalb werden diese nachfolgend für den Verkehrskontext definiert. Diese Definitionen stützen sich im Wesentlichen auf denjenigen von SISTENICH (2007).

Maßnahmen	Wirkungsannahmen (Minderungsbeträge in Prozent bis 2050)		
	Szenario „Praxisfortführung“	Szenario „Nahmobilität“	Szenario „Motorisierte Individualität“
Bau/Markierung von Radverkehrsanlagen	20 % Umsetzung Unfalltyp LV, io: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 4 % ▪ $U_{LV}$ = 4 % Unfalltyp LV, ao: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 1 % ▪ $U_{LV}$ = 0 % Unfalltyp LV, io: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 0 % ▪ $U_{LV}$ = 2,5 %	100 % Umsetzung Unfalltyp LV, io: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 20 % ▪ $U_{LV}$ = 20 % Unfalltyp LV, ao: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 5 % ▪ $U_{LV}$ = 0 % Unfalltyp LV, io: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 0 % ▪ $U_{LV}$ = 5 %	wie „Praxisfortführung“
Sicherung des Linksabbiegens in Knotenpunkten	20 % Umsetzung Unfalltyp AB, EK, io je: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 2 % ▪ $U_{LV}$ = 2 % Unfalltyp AB, EK, ao je: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 0,2 % ▪ $U_{LV}$ = 0 %	100 % Umsetzung Unfalltyp AB, EK, io je: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 10 % ▪ $U_{LV}$ = 10 % Unfalltyp AB, EK, ao je: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 1 % ▪ $U_{LV}$ = 0 %	
Geschwindigkeitsbeschränkung auf Hauptverkehrsstraßen innerorts	10 % Umsetzung Unfalltyp F, AB, LV, io je: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 5 % ▪ $U_{LV}$ = 0 %	50 % Umsetzung Unfalltyp F, AB, LV, io je: ▪ $U_{GT}$ und $U_{SV}$ = 25 % ▪ $U_{LV}$ = 0 %	

**Tabelle 1:** Annahmen zum Umsetzungsgrad der Maßnahmen für ältere Fahrradfahrer in den Szenarien und den daraus abgeleiteten Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit für den Zielhorizont 2050 (BAIER/SCHÄFER/KLEMPES-KOHNEN, 2009)

Das Risiko wird als eine „Aussage über Ereignisse in der Zukunft“ definiert, die als Maß für die Größe einer Gefahr aus der „Wahrscheinlichkeit des Eintritts“ und der „Höhe des Schadensausmaßes“ besteht. Das Risiko entspricht dem Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß.<sup>2</sup> Während Risiko als quantitatives Maß zur Bewertung von Ereignissen mit negativen Auswirkungen aufgefasst ist, hat der Begriff der Sicherheit eher normativen Charakter. Nach MAYER/HAASTERT (2003) wird Sicherheit als Zustand beschrieben, in dem ein akzeptiertes Risiko vorhanden ist. In der DIN VDE 31000 (1987) wird Sicherheit als „eine Sachlage, bei der das Risiko nicht größer als das Grenzkrisiko ist“ festgelegt. Dies verdeutlicht, dass es eine absolute Sicherheit ohne jegliches Risiko weder in der Technik noch in der Natur gibt. Als Grenzkrisiko wird das maximal vertretbare bzw. das von der Gesellschaft maximal akzeptierte Risiko bezeichnet.

Gefahr wird nach SISTENICH (2007) als „Zustand, aus dem ein Ereignis mit Schadenwirkung entstehen kann“ definiert. Eine andere Definition finden sich in der DIN VDE 31000 (1987), wonach Gefahr als Zustand beschrieben wird, in dem das „Risiko nicht mehr akzeptiert werden kann“ und somit keine Sicherheit mehr besteht. Die DIN VDE 31000 (1987) definiert Gefahr als „eine Sachlage, bei der das Risiko größer als das Grenzkrisiko ist.“ Gefahren sind demnach komplementär zu Sicherheit definiert.

Die quantitative Risikoanalyse versucht Aufschluss über mögliche Eskalationen und Auswirkungen von bestimmten auslösenden Ereignissen zu geben und diese mit den passenden Werten für das Risiko zu kombinieren.

### 3.4 Schlussfolgerungen für das weitere Vorgehen

Im Rahmen der Grundlagenanalyse sowie in Diskussionen zwischen den drei Fachdisziplinen wurde festgestellt, dass der Begriff Radverkehrssicherheit sehr weit gefasst ist und eine Bewertung durch die verschiedenen Fachdisziplinen sehr unterschiedlich erfolgt. Deshalb sind nachfolgend nochmals kurz die prinzipiellen Unterschiede zusammengefasst.

Die Infrastrukturplanung hat die Aufgabe den Verkehrsteilnehmern sichere und leistungsfähige Verkehrsanlagen zur Verfügung zu stellen. Zahlreiche Forschungsarbeiten widmen sich dem Vergleich verschiedener Führungsformen für den Radverkehr. In der Regel wird die Verkehrssicherheit über das Unfallgeschehen beurteilt. Dabei wird die Ausprägung der Radverkehrssicherheit durch die Anzahl und die Folgen von Unfällen beschrieben. Die Unfallanalyse dient in der Regel dazu ortsbezogene risikoerhöhende Einflussfaktoren zu identifizieren und später wirksame Maßnahmen abzuleiten.

<sup>2</sup> Generell ließen sich auch andere funktionelle Verknüpfungen als die bloße Multiplikation denken (beispielsweise die gewich-

tete Multiplikation). Die reine Multiplikation hat sich aber in vielen Bereichen als Quasi-Standard durchgesetzt.

Die Verkehrspsychologie beschäftigt sich dagegen nicht ausschließlich mit Unfällen, sondern mit dem Erleben und Verhalten von Menschen im Verkehr und den zugrunde liegenden psychischen Prozessen. Neben dem konkreten Verhalten in unterschiedlichen Verkehrssituationen berücksichtigt sie psychologische Prozesse in Interaktion mit dem Fahrzeug (z. B. Fahrerassistenzsysteme) und der Infrastruktur. Dabei betrachtet sie den Zusammenhang zum Unfallgeschehen oder zu Konfliktsituationen. Sofern möglich, bemüht sie sich, die Kausalität hinter beobachteten Zusammenhängen zu untersuchen. Dabei gibt es nur wenige originär verkehrspsychologische Maßnahmen (wenn man von verkehrspädagogischen Maßnahmen absieht). Allerdings können aus verkehrspsychologischen Erkenntnissen Maßnahmen der Infrastrukturplanung und Fahrzeugtechnik abgeleitet werden. Weiterhin spielen Aspekte, die in anderen Disziplinen näher beleuchtet werden, eine untergeordnete Rolle. Wenn beispielsweise ein Radfahrer regelwidrig auf dem linken Radweg fährt und bei der Annäherung an eine Kreuzung das von ihm aus von Links kreuzende Kfz übersieht, ist dies bezüglich des Wahrnehmungsfehlers gleichzusetzen mit einem Fahrradfahrer, der denselben Fehler bei regelkonformer Nutzung macht. Rechtlich ist das Übersehen im letztgenannten Fall kein Fehler, weil der Radfahrer verkehrsrechtlich bevorzugt ist, verkehrspsychologisch gesehen macht er dennoch einen Fehler.

Die Fahrzeugtechnik verfolgt wiederum ähnliche Ansätze wie die Infrastrukturplanung, verknüpft die Bewertung der Verkehrssicherheit allerdings mit der Erfüllung definierter Prüfanforderungen. Diese werden für die jeweiligen Schutzsysteme der aktiven und passiven Sicherheit aus den relevantesten bzw. schwerwiegendsten Unfallszenarien abgeleitet. Während hierzu heutzutage nur wenige starr definierte Konstellationen herangezogen werden, wird es im Hinblick auf die aktive Sicherheit in Zukunft eine deutliche Aufweitung des Prüfspektrums und der Variabilität der Prüfbedingungen geben, wodurch die Effektivität und Zuverlässigkeit der entsprechend ausgelegten Systeme weiter verbessert werden wird.

Die bisherigen Ansätze zur Modellierung von Radverkehrssicherheit bzw. vorliegender Ansätze, die hierzu grundsätzlich herangezogen werden können, reichen von der reinen modellmäßigen Systematisierung verkehrssicherheitsrelevanter Fragestellungen bis hin zur Wirkungsermittlung und -quantifizierung von Maßnahmen.

## 4 Ableitung von Konstellationen

Um die hohe Anzahl potenzieller Einflussgrößen hinsichtlich ihrer Relevanz beurteilen zu können, erfolgt eine Fokussierung auf ausgewählte Konstellationen. Anhand dieser einzelnen relevanten Konstellationen wird exemplarisch das synergetische Zusammenarbeiten der drei beteiligten Fachdisziplinen aufgezeigt. Im Folgenden wird der Begriff Konstellation definiert, welcher einen Unfall hinsichtlich bestimmter Merkmale beschreibt.

### 4.1 Grundkonstellation

Die Grundkonstellation dient als Klassifikationsschema, mit dem Unfälle bezüglich der räumlichen und zeitlichen Interaktion von Unfallbeteiligten in einem baulichen und situativen Kontext beschrieben werden (Bild 3). Sie wird durch die nachfolgend erläuterten Merkmale beschrieben.

Diese Merkmale sind nicht für alle Fachdisziplinen gleichermaßen relevant. Sie erlauben aber Rückschlüsse auf die Ausprägung damit zusammenhängender Merkmale und sind als Gerüst für eine interdisziplinäre Bewertung der relevanten Einflussfaktoren sinnvoll.

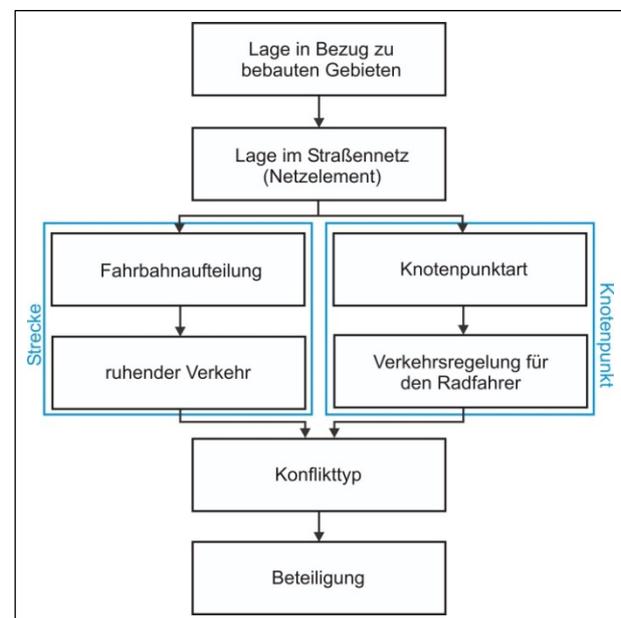


Bild 3: Merkmale einer Grundkonstellation

#### Lage in Bezug zu bebauten Gebieten

Es wird zwischen Unfällen innerhalb bzw. im Vorfeld bebauter Gebiete und Unfällen außerhalb bebauter Gebiete unterschieden. In der Infrastrukturplanung unterscheidet sich der Geltungsbereich der bei dem Entwurf und der Gestaltung von Straßen anzuwendenden Richtlinien in Abhängigkeit von der Lage. So behandeln die RAL (2012) den Entwurf von

Landstraßen und die RAS (2006) den Entwurf und die Gestaltung von Erschließungs- sowie angebaute bzw. anbaufreier Hauptverkehrsstraßen. Autobahnen werden von der Betrachtung ausgeschlossen.

Bei verkehrspsychologischen Untersuchungen hingegen hängen bestimmte, psychologisch untersuchte Unfallursachen – beispielsweise der Einfluss altersbedingter Abnahme der Blinderholung auf die Unfallhäufigkeit bei Kfz-Fahrern in der Nacht und die damit verbundene späte Erkennbarkeit von Radfahrern – nur von der für den Menschen relevanten Konstellation ab (im Beispiel: Dunkelheit, Alter, Blendung dadurch bedingte Wahrnehmungslücke). Ob diese Konstellation auf einer Ausfallstraße einer Großstadt innerorts oder ob sie auf einer Landstraße außerorts auftritt, ist bei gleichen Ausprägungen der genannten Merkmale unerheblich. Allerdings kann es weitere Faktoren, wie z. B. eine durchgängige Beleuchtung der Strecke oder Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit geben, die eine weitere Differenzierung notwendig macht.

Für die Fahrzeugtechnik stellt die Lage in Bezug zu bebauten Gebieten ein ganz wesentliches Merkmal dar, da hiermit die Ausprägung entscheidender Unfallparameter für die Auslegung von Schutzsystemen verbunden ist. Allen voran ist hier die Fahrzeuggeschwindigkeit zu nennen, welche außerorts, etwa auf Landstraßen, signifikant höher ausfällt als innerorts. Aber auch die Fahrbahnbeleuchtung, welche außerorts häufig nicht vorhanden ist, spielt eine wichtige Rolle für die Sicherheit ungeschützter Verkehrsteilnehmer. Entsprechend werden bei der Prüfung aktiver Schutzsysteme sowohl innerstädtische als auch außerstädtische Szenarien definiert. Zudem sind Nachtszenarien beim Fußgängerschutz bereits Bestandteil der Testumfänge.

### **Lage im Straßennetz**

Es wird weiterhin zwischen Unfällen an Knotenpunkten und Unfällen auf Strecken (mit Grundstückzufahrten) unterschieden. In Abhängigkeit von dem betrachteten Netzelement wird die Konstellation weiter charakterisiert.

### **Knotenpunkte**

Knotenpunkte werden hinsichtlich ihrer Knotenpunktart in lichtsignalgeregelte Knotenpunkte, Knotenpunkte mit vorfahrregelnden Verkehrszeichen und Kreisverkehre unterschieden. In Abhängigkeit der Knotenpunktart wird wiederum nach der Art der Verkehrsregelung für den Radfahrer unterschieden.

Entscheidend für die Charakterisierung der Konstellation ist die Art der Verkehrsregelung für den Radfahrer, also welche Verkehrsströme wartepflichtig und welche bevorrechtigt sind. An lichtsignalgeregelten Knotenpunkten ergibt sich die Verkehrsre-

gelung aus dem Lichtzeitenprogramm. Zu berücksichtigen ist, dass die Verkehrsregelung für den Radfahrer im Knotenpunkt auch davon abhängig ist, ob der Radfahrer im Seitenraum oder auf der Fahrbahn fährt und ob dieser die Radverkehrsanlagen regelkonform nutzt.

Allerdings ist die Art der Radverkehrsführung kein Merkmal der Konstellation. Die Radverkehrsführungsform wird als Einflussfaktor betrachtet.

### **Strecken**

Auf innerörtlichen Strecken wird der Querschnitt anhand der Fahrstreifenanzahl differenziert. Dabei wird zwischen Einbahnstraßen, zweistreifigen Querschnitten (ein Fahrstreifen je Fahrtrichtung) mit Regelfahrbahnbreite bzw. überbreiten Fahrstreifen sowie mehrstreifigen Querschnitten (mehr als ein Fahrstreifen je Fahrtrichtung) unterschieden. In Abhängigkeit von der Fahrstreifenanzahl und -breite sind auf der Fahrbahn mögliche Überholvorgänge zu berücksichtigen.

Auf außerörtlichen Strecken werden ausschließlich Querschnitte mit zwei Fahrstreifen betrachtet, da in der Regel in Querschnitten mit mehr Fahrstreifen kein Radverkehr auf der Fahrbahn zugelassen ist. Hier wird hinsichtlich der Fahrstreifenaufteilung differenziert. Es wird zwischen Straßen mit Mittelmarkierung (Fortführung von Hauptverkehrsstraßen VS gemäß den RIN, 2008) sowie Straßen mit und ohne Mittelmarkierung mit angrenzenden Banketten (Landstraßen LS gemäß den RIN, 2008) unterschieden.

Auf innerörtlichen Strecken wird zwischen Strecken mit ruhendem Verkehr und Strecken ohne ruhenden Verkehr unterschieden. Ob Flächen für den ruhenden Verkehr im Seitenraum oder auf Fahrbahnniveau angeordnet werden sowie weitere räumliche Gegebenheiten (z. B. Grünstreifen), sind für die Konstellation nachrangig. Auf außerörtlichen Strecken sind in der Regel keine Anlagen für den ruhenden Verkehr vorhanden.

### **Konflikttyp**

Es wird der Begriff Konflikttyp anstelle des nach M Uko (2012) definierten Unfalltyps verwendet, weil für die Beschreibung der Konstellation teilweise mehrere (dreistellige) Unfalltypen zu einem Konflikttyp zusammengefasst werden. Dies ist z. B. der Fall, wenn ein Beteiligter aus einer Grundstückszufahrt fährt und einen Unfall mit einem weiteren kreuzenden Beteiligten von links oder rechts hat. Der Konflikttyp stellt den Beginn des Betrachtungszeitraums vor dem Konflikt dar. Das Ende des Betrachtungszeitraums ist der Zeitpunkt in dem alle Beteiligten nach dem Unfall zum Stillstand gekommen sind.

Ab diesem Zeitraum werden keine Einflussfaktoren auf die Radverkehrssicherheit betrachtet. So werden beispielsweise medizinische Maßnahmen der Versorgung von Verletzten nach dem Unfall nicht analysiert, obwohl sich diese Maßnahmen strenggenommen in der Unfallfolge wiederfinden und diese bis zu 30 Tage nach dem Unfall festgestellt wird.<sup>3</sup>

Gegebenenfalls setzt der Konflikttyp die Unfallbeteiligten voraus. So ist bei einem Überschreiten-Unfall immer auch ein Fußgänger am Unfall beteiligt.

### Beteiligung

Es wird unterschieden, ob der Radfahrer einen Alleinunfall hatte oder ob ein weiterer Radfahrer, ein Kfz-Fahrer, ein Fußgänger oder ein sonstiger Verkehrsteilnehmer am Unfall beteiligt ist.

## 4.2 Spezifische Konstellation

Die spezifische Konstellation konkretisiert die Grundkonstellation, wenn die vorhandenen Daten bei der Unfallanalyse dies erlauben und eine Konkretisierung aufgrund von Auffälligkeiten im Unfallgeschehen (z. B. hohe Anzahl von Unfällen bei Dunkelheit) dies erfordert. Sie basiert auf der Grundkonstellation zuzüglich Angaben zu Lichtverhältnissen, Straßenzustand, Fahrzeugen (Kfz und Fahrrad) und/oder dem Radfahrer (Alter). Die abgeleiteten spezifischen Konstellationen sind jeweils in Anlage 2 dargestellt.

## 4.3 Situative Konstellation

Liegt eine Grundkonstellation an einer bestimmten Örtlichkeit in einem ausgewählten Zeitraum vor, so wird diese im Folgenden als situative Konstellation definiert. Wie die Grundkonstellation ist auch die situative Konstellation ein Klassifikationsschema. Unterlagert wäre dann der konkrete Unfall an einem bestimmten Tag an einem bestimmten Ort mit bestimmten Beteiligten und bestimmten Einflussfaktoren.

## 4.4 Ausgewählte Konstellationen

An die Auswahl der Konstellationen für die weitere detaillierte Analyse im Projekt wurden die folgenden zwei Anforderungen gestellt:

1. Die Konstellation ist in der Unfallstatistik bzw. in der Literatur auffällig hinsichtlich der Häufigkeit oder der Schwere der Unfallfolge.
2. Zu der Konstellation können alle drei beteiligte Fachdisziplinen Beiträge leisten, um daraus Maßnahmen ableiten zu können.

Der Alleinunfall wird bei der Auswahl der Konstellationen ausgeschlossen. Die Alleinunfälle sind in der polizeilichen Unfallstatistik aufgrund der hohen Dunkelziffer stark unterrepräsentiert (vgl. Ziffer 1) sind. Außerdem ist über die Unfallmerkmale von Alleinunfällen noch weniger bekannt. Die Ableitung von wirksamen Maßnahmen, die die Auftretenswahrscheinlichkeit sowie Folge von Alleinunfällen reduzieren können, ist daher schwierig. Aufgrund der deutlich höheren Beteiligung des Kfz-Verkehrs (neben Radfahrern) an (registrierten) Radverkehrsunfällen im Vergleich zu anderen Verkehrsteilnehmern wurden ausschließlich Konstellationen mit Beteiligung von Kfz ausgewählt.

Die in den Darstellungen der Grundkonstellationen und der zugehörigen spezifischen Konstellationen in Ziffer 4.4.1 bis 4.4.5 verwendeten Zeichen sind in Tabelle 2 erläutert.

### 4.4.1 Merkmale der Konstellation K1

Laut SCHRECK (2016) sind im Unfallgeschehen von Radfahrern insbesondere die typischen Knotenpunktunfälle (Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle und Abbiege-Unfälle) dominierend (vgl. Ziffer 3.2). Dabei fällt bei der Betrachtung des dreistelligen Unfalltyps der Unfalltyp 342, der Einbiegen-/Kreuzen-Unfall zwischen einem einbiegenden Kfz und einem linksfahrenden Radfahrer auf einem Radweg von rechts, hinsichtlich seines Anteils am Unfallgeschehen mit Personenschaden auf.

Betrachtet wird eine Grundkonstellation in einem Knotenpunkt mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen innerhalb bzw. im Vorfeld eines bebauten Gebiets. Dabei ist nachrangig, ob es sich bei dem Knotenpunkt um eine Kreuzung oder um eine Einmündung handelt. Die Richtung, aus der der Radfahrer in den Knotenpunkt fährt, ist gegenüber den kreuzenden Verkehrsströmen bevorrechtigt. Als Konflikttyp wird der linksfahrende Radfahrer ausgewählt, der von rechts auf einen weiteren Beteiligten zufährt, der in den Knotenpunkt aus der wartepflichtigen Richtung fährt (entspricht dem Einbiegen-/Kreuzen-Unfall vom Typ 342). Ob der Radfahrer bevorrechtigt ist, ist abhängig davon, ob der Radfahrer regelkonform auf einem Zweirichtungsradweg fährt oder regelwidrig den linken Seitenraum

<sup>3</sup> Als Getötete werden solche Personen nach DESTATIS (2017) definiert, „die innerhalb von 30 Tagen an den Unfallfolgen starben“. Als Schwerverletzte werden solche Personen definiert, „die

unmittelbar zur stationären Behandlung (mindestens 24 Stunden) in einem Krankenhaus aufgenommen wurden“, als Leichtverletzte werden „alle übrigen Verletzten“ definiert.

nutzt. Neben dem Radfahrer ist ein Kfz-Fahrer (mit Ausnahme motorisierter Zweiräder) am Unfall beteiligt (Bild 4). Die Merkmale der Grundkonstellation K1 sind in Bild 5, die der zugehörigen spezifischen Konstellationen in Bild 6 dargestellt.

Beim Vergleich von Führungsformen des Radverkehrs wird deutlich, dass das Unfallrisiko von linksfahrenden Radfahrern deutlich höher ist, als das rechtsfahrender Radfahrer, auch wenn das Linksfahren verkehrsrechtlich freigegeben wird. Daher wird von der Infrastrukturplanung die Freigabe von Radwegen in Gegenrichtung nur bei Erforderlichkeit (etwa wichtige Quellen und Ziele des Radverkehrs auf einer Straßenseite) empfohlen. Grundsätzlich ist die Einhaltung ausreichender Sichtbeziehungen für das Unfallrisiko maßgebend. Regelwidriges Linksfahren sollte insbesondere durch eine Verbesserung der Überquerbarkeit der Fahrbahn reduziert werden (vgl. ALRUTZ/BOHLE/BUSEK, 2015b, und SCHREIBER, 2013). Auffällig ist, dass das regelwidrige Linksfahren in Abhängigkeit von der Radverkehrsführung unterschiedlich häufig – nämlich öfter bei Radwegen als bei markierten Führungen auf der Fahrbahn und öfter bei Führung im Mischverkehr ohne Schutzstreifen als mit Schutzstreifen – auftritt (ALRUTZ et al., 2009, OHM et al., 2015).

Dieses Beispiel ist aus psychologischer Sicht deswegen interessant, weil dem Konflikt oftmals Wahrnehmungsfehler vorausgehen. Der bevorrechtigte oder nicht bevorrechtigte Kfz-Fahrer übersieht den Radfahrer in der Regel deswegen, weil er selbst rechts auf die bevorrechtigte Straße abbiegen will und deswegen nur den von Links kommenden Verkehr beobachtet. Der Wahrnehmungsfehler ist dabei meist auf eine fehlerhafte Informationsaufnahme zurückzuführen. Forschungsergebnisse zeigen, dass es in der Regel nicht wesentlich ist, ob Radfahrer regelkonform oder regelwidrig den linken Seitenraum nutzen. Dies lässt vermuten, dass ein möglicher Zugang zur Verringerung der Unfälle über den Weg der Beeinflussung der Wahrnehmung des Kfz-Fahrers stattfinden muss.

Auch bei der Analyse der Unfallursachen aus Sicht des Radfahrers dominieren in der Regel die Wahrnehmungsfehler (JOHANNSEN/JÄNSCH, 2017). Allerdings werden bei den Radfahrern, die regelwidrig den linken Radweg benutzen, wesentlich mehr Zielsetzungsfehler eingeschätzt als bei den regelkonform fahrenden Radfahrern. Ursache ist die Nichtkonformität der Handlung mit der bestehenden Vorschriftenregelung, die automatisch ein Zielsetzungsfehler ist. Ob Radfahrer, obwohl sie im Recht sind, einen Fehler im psychologischen Sinne begehen, wenn sie ein nahendes Kfz wahrnehmen, aber dennoch nicht bremsen, ist noch nicht ausreichend untersucht (vgl. beispielsweise REASON, 1990, und BADKE-SCHAUB, 2004).

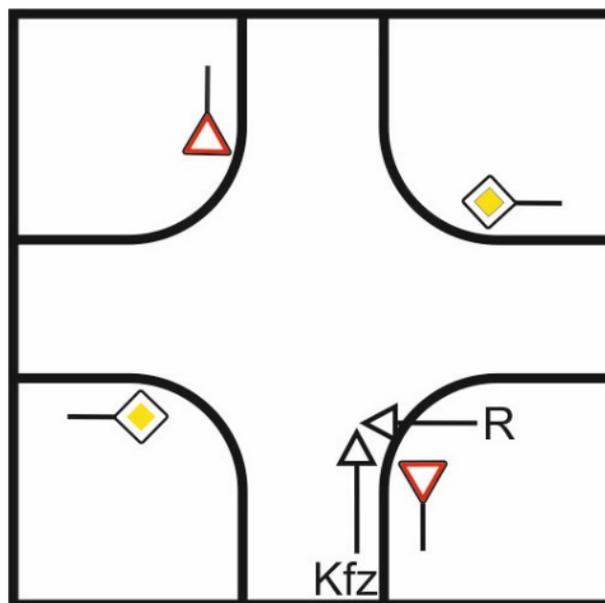


Bild 4: Grundkonstellation K1

Der von Rechts kreuzende Radfahrer stellt für die Fahrzeugtechnik eine der Hauptkonstellationen in Bezug auf die Definition von Prüfanforderungen dar, wobei die Regelkonformität des Radfahrers in diesem Zusammenhang keine Relevanz hat. Vielmehr sind auch hier Aspekte wie die Sichtbarkeit bzw. der Zeitpunkt der Sichtbarkeit des Radfahrers für das Kfz bzw. den Kfz-Fahrer entscheidend.

Ebenso relevant sind die Geschwindigkeiten von Radfahrer und Kfz. Daraus ergibt sich letztendlich die für eine Intervention eines Systems zur Verfügung stehende Zeitspanne, in der ein Unfall vermieden bzw. die Unfallschwere reduziert werden kann.

Auffälligkeiten dieser Konstellation hinsichtlich der Lichtverhältnisse, des Straßenzustands, des Kfz oder des Fahrrads sind in der Regel nicht gegeben. Allerdings beschäftigen sich einige Forschungsprojekte mit altersspezifischen Unterschieden hinsichtlich der Regelkonformität der Radfahrer (siehe hierzu beispielsweise ALRUTZ et al., 2009, und ALRUTZ/BOHLE/BUSEK, 2015b), daher ist eine Spezifikation der Konstellation hinsichtlich des Radfahrers denkbar.

#### 4.4.2 Merkmale der Konstellation K2

Der Abbiege-Unfall ist ein weiterer dominierender Unfalltyp (SCHRECK, 2016). Die Unfallfolge dieses Unfalltyps ist insbesondere dann schwer, wenn neben dem Radfahrer ein Kfz des Schwerverkehrs an dem Unfall beteiligt ist.

Grundkonstellation		Spezifische Konstellation	
	<u>Lage in Bezug zu bebauten Gebieten</u>		<u>Lichtverhältnisse</u>
ibG/iVbG	innerhalb/im Vorfeld bebauter Gebiete	→	Tageslicht
abG	außerhalb bebauter Gebiete	→	Dämmerung
	<u>Lage im Straßennetz</u> (Netzelement Knotenpunkt)	→	Dunkelheit
KV	Kreisverkehr		<u>Straßenzustand</u>
LSA	lichtzeichengeregelter Knotenpunkt	→	trocken
VZ	Knotenpunkt mit vorfahrregelnden Verkehrszeichen	→	nass
	<u>Lage im Straßennetz</u> (Netzelement Strecke)		<u>Kfz-Fahrzeug</u>
P	Parkstände auf Fahrbahnniveau bzw. im Seitenraum	Pkw →	Personenkraftwagen
	<u>Konflikttyp</u>	Lkw →	Lastkraftwagen
	Linksabbieger	Lfw →	Lieferwagen (Sonderfall)
	Geradeausfahrer		<u>Fahrrad</u>
	Rechtsabbieger	R(K) →	konventionelles Fahrrad
	Schleudern	R(P) →	Pedelec
	Halten/Parken	R(S) →	Sportrad (Sonderfall)
	<u>Beteiligung</u>		<u>Radfahrer</u>
	Kraftfahrzeug	R(6) →	jungen Alters (Kind)
	Radfahrer	R(25) →	mittleren Alters (Erwachsener)
	Fußgänger	R(65) →	fortgeschrittenen Alters (Senior)
	mittelbar Beteiligter		

**Tabelle 2:** Zeichen zur Darstellung der Grundkonstellation und spezifischen Konstellation (in Anlehnung an M Uko, 2012)

Betrachtet wird eine Grundkonstellation in einem lichtzeichengeregelten Knotenpunkt (Einmündung oder Kreuzung) innerhalb bzw. im Vorfeld eines bebauten Gebiets. Der Querverkehr hat eine gemeinsame Freigabezeit mit den Kfz-Verkehrsströmen (Geradeausfahrer sowie Abbieger) in gleicher Richtung. Abbiegende Verkehrsteilnehmer müssen daher prüfen, ob sie in die kreuzende Straße abbiegen können oder ob sie dem Querverkehr (gegebenenfalls auch geradeausfahrendem Radverkehr auf Fahrbahnniveau) Vorrang gewähren müssen.

Als Konflikttyp wird der Fall des geradeausfahrenden Radfahrers gewählt, der im Knotenpunkt in Konflikt mit einem nach rechts abbiegenden Beteiligten aus gleicher Fahrtrichtung gerät. Neben dem Radfahrer ist ein Kfz-Fahrer (mit Ausnahme motorisierter Zweiräder) am Unfall beteiligt (Bild 7). Da die Konstellation insbesondere bei der Beteiligung von Lkw und Bussen schwere Unfallfolgen aufweist, ist

eine Spezifikation hinsichtlich des Kfz denkbar. Die Merkmale der Grundkonstellation K2 und der zugehörigen spezifischen Konstellationen sind in Anlage 2 dargestellt.

Als Infrastrukturmerkmal sind insbesondere Sichthindernisse zwischen Radfahrer und Kraftverkehr, aber auch eine unübersichtliche Knotenpunktgestaltung sowie die Lage der markierten Furt maßgebend für das Unfallrisiko (KOLREP-ROMETSCH et al., 2013, SCHREIBER, 2013). Dabei ist festzustellen, dass diese Abbiegeunfälle auch bei Führung des Radverkehrs auf Radfahrstreifen oder Schutzstreifen mit hohem Anteil am Unfallgeschehen auftreten, obwohl sich Radfahrer im Sichtfeld der Kfz-Fahrer in gleicher Fahrtrichtung befinden (ALRUTZ et al., 2009).

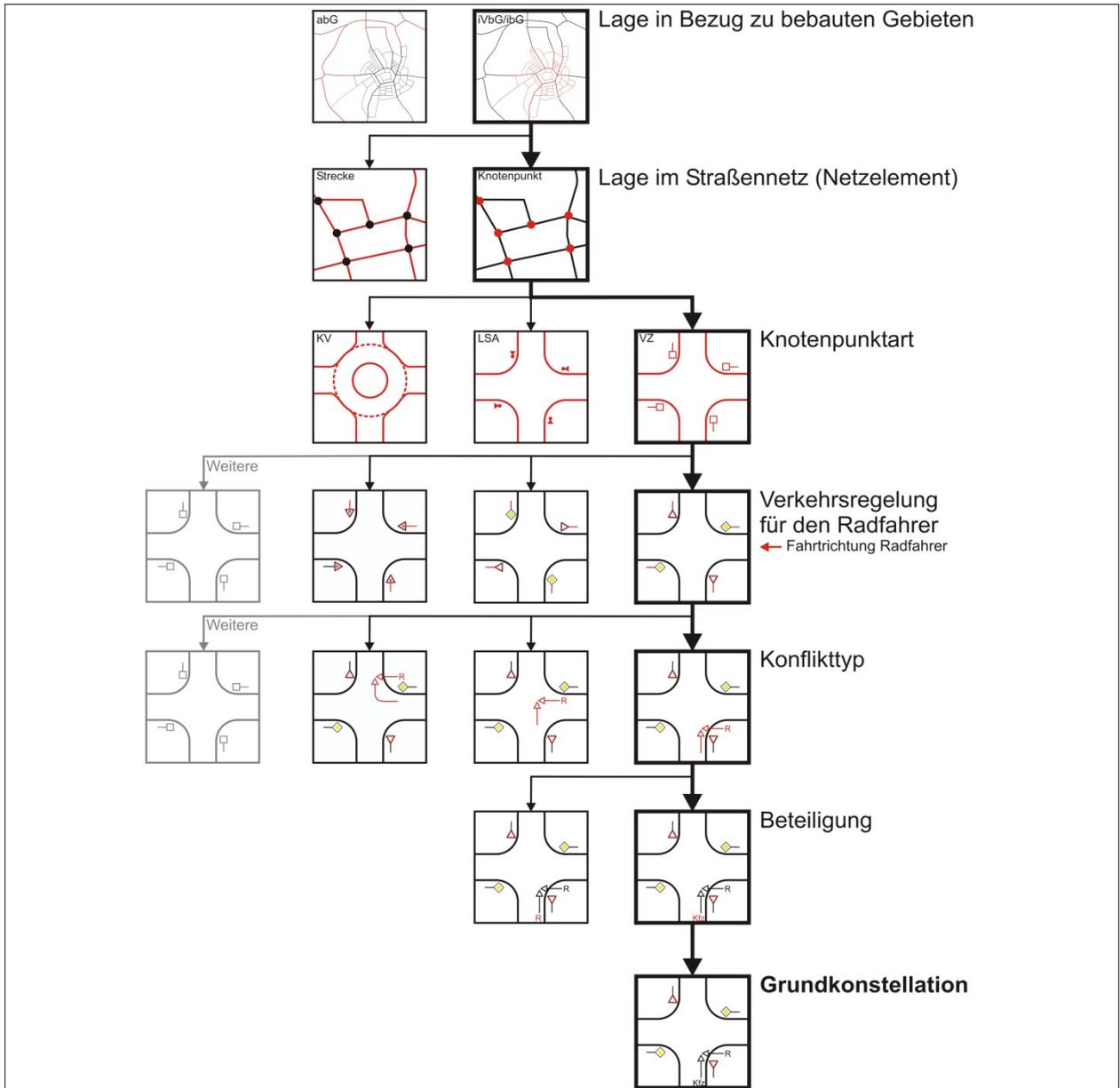


Bild 5: Auswahl der Grundkonstellation K1

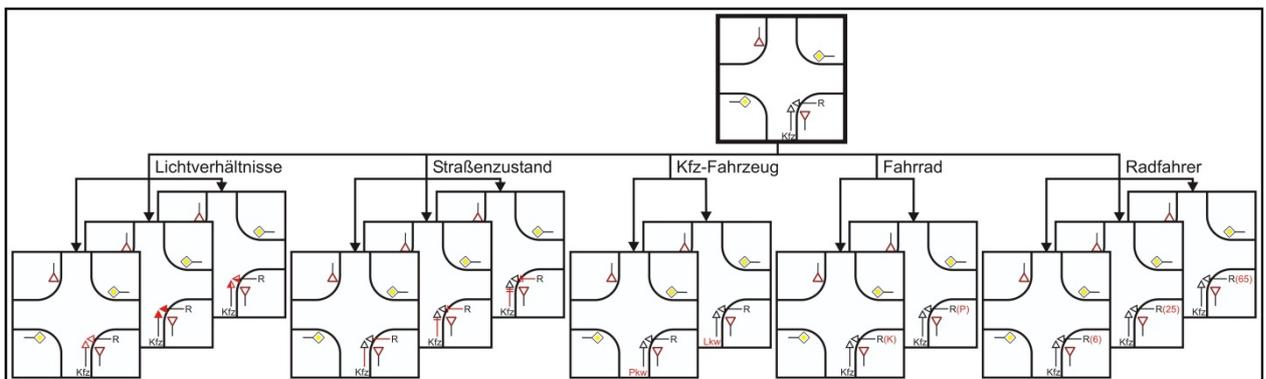


Bild 6: Mögliche spezifische Konstellationen K1

Beeinflussend sind dabei neben räumlichen Gegebenheiten auch die signaltechnische Steuerung und die Signalisierungsphase in der sich Radfahrer und Kfz begegnen. Wenn beide Verkehrsteilnehmer nach der Sperrzeit (Rotsignal) anfahren, ist das Unfallrisiko am geringsten (KOLREP-ROMETSCH et al., 2013).

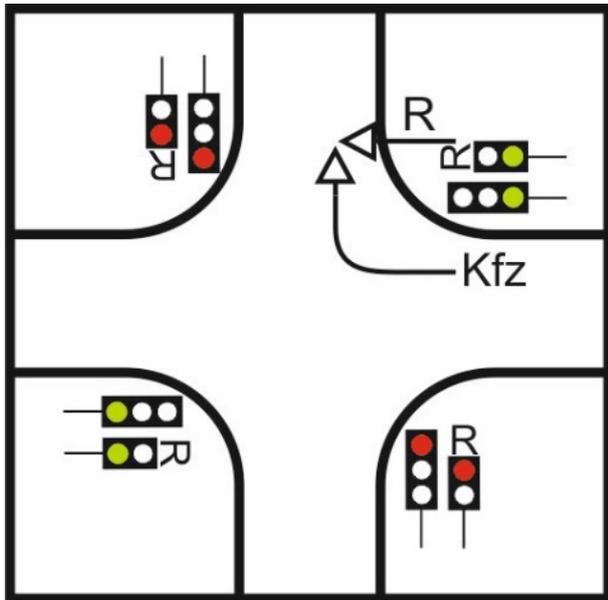


Bild 7: Grundkonstellation K2

Wie bei der Grundkonstellation K1 sind es aus verkehrspsychologischer Sicht auch bei der Grundkonstellation K2 vor allem Wahrnehmungsfehler, die unfallursächlich sind. In der Untersuchung von JOHANNSEN/JÄNSCH (2017) liegt der Anteil von Wahrnehmungsfehlern bei den beteiligten Kfz-Fahrern bei über 90 %. In der Fahrzeugtechnik sind die für Konstellation K2 relevanten Abbiegeszenarien aktuell noch nicht Bestandteil der Prüfanforderungen, sie werden aber, wie in Ziffer 3 erläutert, im Rahmen aktueller Forschungsaktivitäten intensiv betrachtet.

Auffälligkeiten hinsichtlich der Lichtverhältnisse, des Straßenzustands, des Fahrrads oder des Radfahrers sind der Literatur nicht zu entnehmen.

#### 4.4.3 Merkmale der Konstellation S1

Nach SCHRECK (2016) sind auf der Strecke innerhalb bebauter Gebiete Unfälle mit dem ruhenden Verkehr auffällig. Betrachtet wird eine Grundkonstellation auf einer zweistreifigen Strecke innerhalb bzw. im Vorfeld bebauter Gebiete. Am Fahrbahnrand bzw. im Seitenraum sind Parkstände für den ruhenden Verkehr vorgesehen. Als Konflikttyp wird der geradeaus vorbeifahrende Radfahrer ausgewählt, der in Konflikt mit dem ruhenden Verkehr gerät. Diese Konstellation setzt voraus, dass die Park-

stände in Längsrichtung angeordnet sind, die öffnende Türen eine mögliche Gefahr für den Radverkehr darstellen und dass der zweite Beteiligte ein Kfz-Fahrer oder -Beifahrer (mit Ausnahme motorisierter Zweiräder) ist (Bild 8). Die definierten Merkmale der Grundkonstellation S1 und der zugehörigen spezifischen Konstellationen sind in Anlage 2 dargestellt.

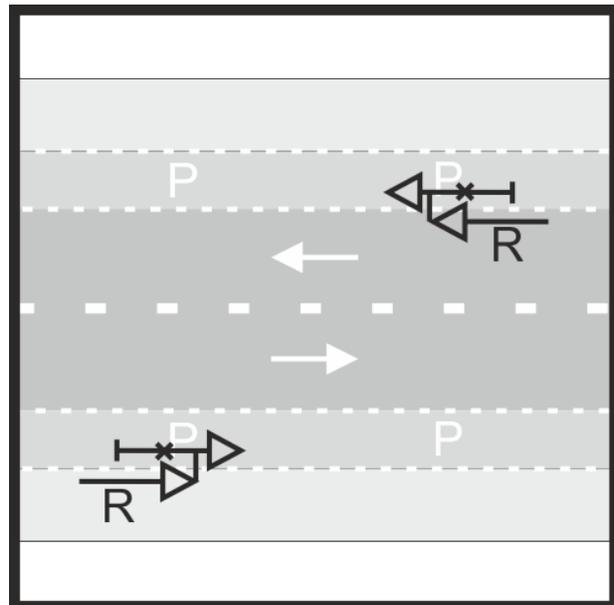


Bild 8: Grundkonstellation S1

Aus Sicht der Infrastrukturplanung sind diesbezüglich insbesondere verschiedene Führungsformen des Radverkehrs und die Sicherheitsabstände zu parkenden Fahrzeugen von Bedeutung (ALRUTZ et al., 2009, SCHLÄGER et al., 2016). Bei allen Radverkehrsführungen ist nach ALRUTZ et al. (2009) für das Unfallrisiko maßgebend, dass ausreichende Sicherheitstrennstreifen eingehalten werden. Bei Radfahrstreifen und Schutzstreifen kann die Mitbenutzung der Sicherheitstrennstreifen durch parkende Fahrzeuge mit einer eindeutigen Abgrenzung vom danebenliegenden Parkstreifen reduziert werden.

Für die Verkehrspsychologie erscheint auch hier wie bei den anderen Konstellationen das Übersehen der Radfahrer ursächlich. So hatten die meisten Pkw-Fahrer laut JOHNSON et al. (2013) vor dem Öffnen der Fahrzeugtür nicht in Richtung des Radfahrers geblickt. Nur durch dessen rechtzeitiges Ausweichen kann die Kollision vermieden werden.

Auffälligkeiten hinsichtlich der Lichtverhältnisse des Straßenzustands, des Fahrrads oder des Radfahrers sind der Literatur nicht zu entnehmen.

Hinsichtlich des Kfz ist eine Spezifikation denkbar. Bei dieser Konstellation kann gegebenenfalls auch der Liefer- und Ladeverkehr (im ruhenden Verkehr) bei der weiteren Untersuchung von Interesse sein.

#### 4.4.4 Merkmale der Konstellation S2

Außerhalb bebauter Gebiete treten im Vergleich zu Innerortsbereichen anteilig mehr Unfälle im Längsverkehr auf (SCHRECK, 2016). Aufgrund der höheren Geschwindigkeiten in außerörtlichen Straßen auch mit schwereren Unfallfolgen als innerorts. Betrachtet wird eine Grundkonstellation auf einer zweistreifigen Strecke (mit Mittelmarkierung) außerhalb bebauter Gebiete. Als Konflikttyp wird der geradeausfahrende Radfahrer ausgewählt, der in Konflikt mit einem in gleicher Richtung fahrenden Beteiligten gerät (Auffahren). Neben dem Radfahrer ist ein Kfz-Fahrer (mit Ausnahme motorisierter Zweiräder) am Unfall beteiligt (Bild 9). Die definierten Merkmale der Grundkonstellation S2 und der zugehörigen spezifischen Konstellationen sind in Anlage 2 dargestellt.

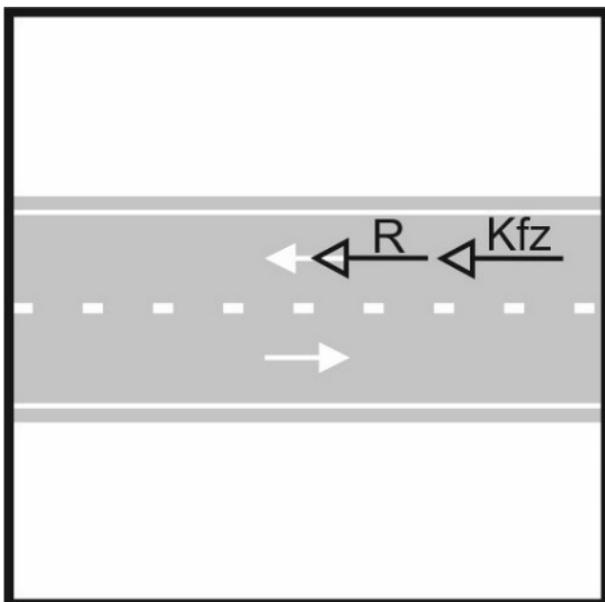


Bild 9: Grundkonstellation S2

Für die Infrastrukturplanung ergeben sich durch die Verortung des Unfalls außerhalb bebauter Gebiete andere Bedingungen hinsichtlich der Führungsformen des Radverkehrs. In Abhängigkeit von der Entwurfsklasse ist die Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn nicht zugelassen, möglich oder die Regellösung. Ist die Radverkehrsführung möglich, ist zu prüfen, ob der Radverkehr mit oder aus Gründen der Verkehrssicherheit getrennt vom Kfz-Verkehr geführt werden soll. Dabei ist die Stärke, Geschwindigkeit und Zusammensetzung des Kfz-Verkehrs sowie die Stärke des Radverkehrs relevant (RAL, 2012). BAIER et al. (2015) untersuchen das Gefährdungspotential von Radfahrern auf Landstraßen als Grundlage zur Wahl der Radverkehrsführung, können aber aufgrund des geringen Radverkehrsaufkommens kaum Unfalldaten zu Radverkehrsunfällen auf Strecken auswerten.

Aus Sicht der Verkehrspsychologie ist u. a. das Verhalten der Verkehrsteilnehmer bei Überholvorgängen relevant. Nach DOZZA et al. (2016) ist die Wahl des Überholabstands durch den überholenden Kfz-Fahrer von dem Vorhandensein von Gegenverkehr und den Sichtverhältnissen abhängig, nicht aber von der eigenen Geschwindigkeit. CHUANG et al. (2013) beobachten, eine Abhängigkeit zwischen dem Überholabstand und dem Geschlecht des überholten Radfahrers sowie seinem Verhalten (z. B. Radfahrgeschwindigkeit).

In Bezug auf die Fahrzeugtechnik wird zwischen einem inner- sowie einem außerörtlichen Szenario unterschieden. Letzteres sieht höhere Fahrzeuggeschwindigkeiten (50 km/h bis 80 km/h) und eine höhere Radfahrgeschwindigkeit (20 km/h) im Vergleich zum Stadtszenario vor. Charakteristisch ist der außenliegende Kollisionspunkt, welcher sich, mit einer Überdeckung von 25 %, auf der rechten Fahrzeugfront befindet und so den typischen Konflikt mit einem am Straßenrand fahrenden Radfahrer abbildet.

Auffälligkeiten hinsichtlich des Straßenzustands, des Kfz oder des Radfahrers sind den Forschungsprojekten nicht zu entnehmen. Aufgrund der deutlich höheren Geschwindigkeiten auf Straßen außerhalb bebauter Gebiete ist eine Spezifikation hinsichtlich des Fahrrads denkbar. Bei dieser Konstellation können neben Pedelecs gegebenenfalls das Sportrad und E-Bikes (nach StVO kein Fahrrad) bei der weiteren Untersuchung von Interesse sein.

#### 4.4.5 Merkmale der Konstellation S3

Der Einbiegen-/Kreuzen-Unfall tritt nicht ausschließlich in Knotenpunkten auf. Auch auf der Strecke ergibt sich dieser Unfalltyp an Grundstückszufahrten. Betrachtet wird eine Grundkonstellation auf einer zweistreifigen Strecke innerhalb bzw. im Vorfeld eines bebauten Gebiets (ohne ruhenden Verkehr). Als Konflikttyp wird der geradeausfahrende Radfahrer ausgewählt, der in Konflikt mit einem aus einer Grundstückszufahrt kommenden Kfz gerät. Neben dem Radfahrer ist ein Kfz-Fahrer (mit Ausnahme motorisierter Zweiräder) am Unfall beteiligt (Bild 10). Die definierten Merkmale der Grundkonstellation S3 und der zugehörigen spezifischen Konstellationen sind in Anlage 2 dargestellt.

Aus Sicht der Infrastrukturplanung sind ähnlich wie für Konstellation K1 die Sichtbeziehungen von Bedeutung.

Der Unfalltyp ist relativ häufig und hat seine Ursache erneut in Wahrnehmungsdefiziten (BAY AREA BYCICLE LAW, 2018). Allerdings ist dieser Fall aus verkehrspsychologischer Sicht kaum untersucht. Untersucht wurde allerdings auch der umgekehrte

Fall, dass ein Fahrradfahrer aus der Grundstückszufahrt kommend einen Unfall verursacht (RASLA-VICIUS/BAZARAS/KERSYS, 2017).

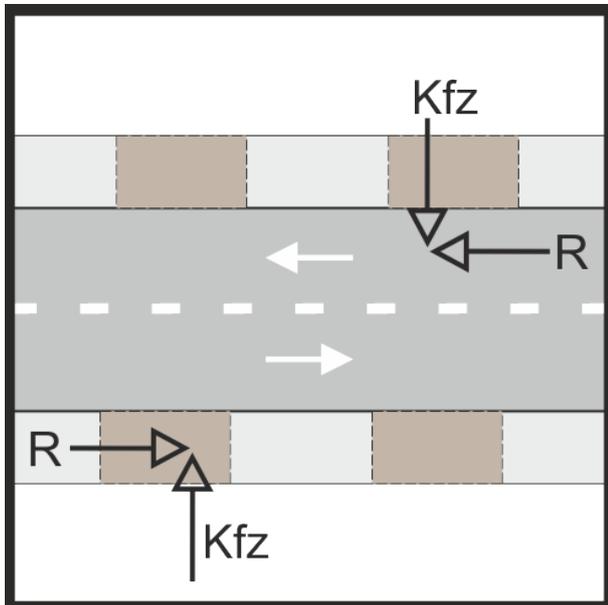


Bild 10: Grundkonstellation S3

Aus fahrzeugtechnischer Sicht ergibt sich bei dieser Konstellation kaum ein Unterschied zur Konstellation K1. Allenfalls über die jeweils definierte Fahrtrichtung des Radfahrers kann hier eine Differenzierung erfolgen. Fahrzeugtechnisch relevant wäre zudem eine Konstellation mit einem aus der Grundstückszufahrt rückwärts herausfahrenden Kfz, da im Heckbereich keine passiven Fußgängerschutzmaßnahmen umgesetzt werden und aktive Sicherheitssysteme in diesem Fall eine umfassende Überwachung des rückwärtigen Raumes erfordern würden.

Auffälligkeiten hinsichtlich der Lichtverhältnisse, des Straßenzustands, des Fahrrads oder des Radfahrers sind der Literatur nicht zu entnehmen. Sichtbehindernde Einflüsse (Helligkeit, Nebel, Hecken, Mauern) sind wahrscheinlich, aber noch nicht genauer untersucht. Aufgrund der räumlichen Besonderheit der Konstellation – nämlich dem Unfall an Grundstückszufahrten – ist eine Spezifikation hinsichtlich des Kfz und der Fahrtrichtung des Fahrzeugs denkbar.

## 5 Analyse vertiefender Datengrundlagen

In Ergänzung des bisherigen Kenntnisstands aus der Grundlagenanalyse wurde zur interdisziplinären Untersuchung relevanter Zusammenhänge eine Datenanalyse durchgeführt. Datengrundlage sollten dabei statistische Daten (z. B. des Statistischen Bundesamts, der GIDAS, abgeschlossene For-

schungsprojekte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Einzelveröffentlichungen) sowie eigene Untersuchungen der Forschungsnehmer sein.

In einem ersten Schritt wurde überprüft, welche Daten den Datenbedarf abdecken. Die folgenden Anforderungen wurden an die Datengrundlage gestellt:

- Im Rahmen dieses Projekts wird die Verkehrssicherheit durch die Anzahl und Folge von Unfällen beschrieben. Ziel der Datenanalyse ist die Identifikation von Zusammenhängen zwischen Einflussfaktoren und der Radverkehrssicherheit auf Basis von Unfalldaten.
- Um die Datensätze auf Grundlage der aufgestellten Systematik zu analysieren, muss der Gesamtmenge der Daten eine Stichprobe von Unfällen entnommen werden können, welche die Merkmale der Grundkonstellation (und wenn möglich auch der spezifischen Konstellation) aufweisen. Dazu müssen die Unfälle der betrachteten Konstellationen jeweils Teil der Gesamtmenge sein, diese müssen anhand von Merkmalsausprägungen im Datensatz identifiziert werden können und die entnommene Stichprobe muss für weitere Analysen ausreichend groß sein.
- Für ein interdisziplinäres Vorgehen müssen die Datensätze Merkmale aus allen drei Fachdisziplinen beinhalten. Dazu müssen die relevanten Einflussfaktoren als Merkmale in dem Datensatz enthalten sein.

Die Verwendbarkeit der vorhandenen Daten abgeschlossener Forschungsprojekte der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde im Rahmen dieses Projekts unter den genannten Anforderungen als gering eingestuft. Eine Verknüpfung von Daten unterschiedlicher Projekte ist zudem nur bedingt möglich.

Die Datenbank der GIDAS stellte dagegen eine verfügbare Datenquelle dar, welche die genannten Anforderungen erfüllt hat. Von der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden die Daten zu Unfällen mit Personenschaden in Dresden und Hannover für die Jahre 2005 bis 2018 (Abzug Dezember 2018) zur Verfügung gestellt. Aufgrund des geringen Umfangs verkehrspsychologischer Merkmale in GIDAS, wurde die Datengrundlage um ergänzende Kodierungen gemäß des Application possibilities of the Accident Causation Analysis System (ACAS) ergänzt. Diese Erweiterung von GIDAS-Daten steht nur für einen Teil der aufgenommenen Fälle und nur für Fälle aus dem Raum Hannover zur Verfügung. ACAS ist ein Kodiersystem in baumartiger Struktur. Die Gesamtheit der gesammelten Daten ist in einer Datenbank abgelegt. Diese ist nicht Teil der von der Bundesanstalt für Straßenwesen verwalteten Datenbank.

Im Folgenden wurden zunächst die Stichproben von Unfällen identifiziert, welche den betrachteten Konstellationen zugeordnet werden. Für die Konstellation K1 wurden zusätzlich verkehrspsychologisch relevante Merkmale aus der ACAS-Datenbank ausgewertet. Die Ergebnisse aus beiden Datenbanken wurden genutzt, um einzelne Unfälle bestimmter Konstellationen interdisziplinär zu bewerten.

## 5.1 Bestimmung der Datenstichprobe in GIDAS

Für die Analyse der Unfälle der ausgewählten Konstellationen wurde der Gesamtheit der Daten der GIDAS eine Stichprobe anhand der in Ziffer 4.4. definierten Merkmale entnommen. Dazu wurden u. a. die Daten aus der Verkehrsunfallanzeige der Polizei („VUANZ-Record“) herangezogen. Durch Beschränkung der Ausprägungen ausgewählter Label, wurde der der Konstellation zuzuordnende Datensatz von Unfällen aus der Datenbank gefiltert. Die Bestimmung der Stichprobe in der GIDAS-Datenbank wird anhand der Konstellation K1 detailliert erläutert. Die Zusammenfassung der benötigten Label und ihrer Ausprägungen für die fünf ausgewählten Konstellationen kann dem Anlagenband entnommen werden.

### 5.1.1 Lage in Bezug zu bebauten Gebieten

Die Datenbank enthält Unfälle innerhalb und im Umfeld der Städte Hannover und Dresden. Die Stichprobe für die innerhalb bzw. im Vorfeld bebauter Gebiete verortete Konstellation K1 wurde anhand des Labels „Ortslage (PORTSL)“ spezifiziert. Dieses Label wird in die zwei Ausprägungen „1 - innerorts“ (für die Konstellation K1 relevant) und „2 - außerorts“ unterschieden.

### 5.1.2 Lage im Straßennetz

Das Label „Unfallstelle im Straßennetz (STFUHO)“ beschreibt den Ort, an dem der Unfall stattgefunden hat, anhand von sieben Ausprägungen:

- „3 - Gerade“,
- „4 - Kurve“,
- „5 - Einmündung“,
- „6 - Kreuzung“,
- „7 - Kreisel“,
- „8 - andere“ und
- „9 - unbekannt“.

Die Konstellation K1 wird an Knotenpunkten mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen verortet. Der Kreisverkehr ist dabei auszuschließen. Die Ausprägungen „5 - Einmündung“ und „6 - Kreuzung“ sind für die Konstellation K1 relevant, somit wurden Unfälle mit einer der beiden Ausprägungen ausgewählt.

### 5.1.3 Knotenpunktart

Zusätzlich zu dem Label „Unfallstelle im Straßennetz (STFUHO)“ wurde das Label „Verkehrsregelung (VKREG)“ mit den Ausprägungen „5 - Vorfahrt achten“ oder „6 - STOP“ festgelegt. Damit wurde sichergestellt, dass an den Unfallörtlichkeiten eine der beiden Richtungen eindeutig gegenüber der anderen bevorrechtigt ist. Die übrigen der folgenden acht Ausprägungen wurden ausgeschlossen:

- „2 - keine“,
- „3 - Lichtzeichenanlage“,
- „4 - rechts vor links“,
- „5 - Vorfahrt achten“,
- „6 - STOP“,
- „7 - Zebrastreifen“,
- „8 - andere“ und
- „9 - unbekannt“.

### 5.1.4 Verkehrsregelung für Radfahrer

Welcher der Verkehrsteilnehmer zum Konfliktzeitpunkt aus der vorfahrtberechtigten Richtung in den Knotenpunkt eingefahren ist, wurde nicht durch ein bestimmtes Label in der Datenbank bestimmt. Zwar ist durch das Label „Vorfahrtberechtigt (VORFB)“ eine Unterscheidung möglich, allerdings ist der Sachverhalt schwierig einzuschätzen, wenn der Radfahrer regelwidrig im linken Seitenraum fährt.

### 5.1.5 Konflikttyp

Der Konflikttyp wurde durch die Auswahl einer oder mehrerer dreistelliger Unfalltypen beschrieben, die in durch das Label „Unfalltyp (UTYP)“ für jeden Unfall definiert waren. Die dreistelligen Unfalltypen sind durch die erste Ziffer den folgenden Unfalltypen zuzuordnen:

- „1 - Fahr Unfall“,
- „2 - Abbiege-Unfall“,
- „3 - Einbiegen-/Kreuzen-Unfall“,

- „4 - Überschreiten-Unfall“,
- „5 - Unfall durch ruhenden Verkehr“,
- „6 - Unfall im Längsverkehr“ und
- „7 - Sonstiger Unfall“.

Die Ausprägung „342 - EK - Bevorrechtigter Radfahrer vom Radweg von rechts und geradeaus“ beschreibt den betrachteten Konflikttyp. Zudem wurde mit dem Label „Anzahl Beteiligte (ANZB)“ die Anzahl auf zwei Beteiligte festgelegt.

### 5.1.6 Beteiligung

Die Beteiligung wurde durch das Label „Art der Verkehrsteilnahme (ARTTEIL)“ festgelegt, welches in zehn Ausprägungen unterschieden wird:

- „1 - Pkw“,
- „2 - Lkw“,
- „3 - Bus“,
- „4 - motorisiertes Zweirad“,
- „5 - Fahrrad“,
- „6 - Fußgänger“,
- „7 - Straßenbahn“,
- „8 - andere/sonstige“,
- „88 - Beteiligter laut VU-Anzeige (nicht in GIDAS dokumentiert)“ und
- „99 - unbekannt“.

An der Konstellation K1 sind ein Radfahrer und ein Kfz-Fahrer beteiligt. Daher wurden solche Unfälle für die zu untersuchende Stichprobe entnommen, bei denen der Beteiligte 1 oder der Beteiligte 2 die Ausprägung „5 - Fahrrad“ für das Label „Art der Verkehrsteilnahme“ aufweist. Dem jeweils anderen Beteiligten wurde die Ausprägung „1 - Pkw“ oder „2 - Lkw“ zugewiesen.

Für die genannten Bedingungen ergaben sich für die fünf Konstellation die folgenden Fallzahlen (für die Jahre 2005 bis 2018):

- 755 Unfälle der Konstellation K1,
- 178 Unfälle der Konstellation K2,
- 222 Unfälle der Konstellation S1,
- 12 Unfälle der Konstellation S2 bzw. 20 Unfälle, wenn für das Label „Trennung Gegenverkehr“ (MARK) weitere Ausprägungen zugelassen werden, und
- 117 Unfälle der Konstellation S3.

### 5.1.7 Spezifische Konstellation

Die Reduzierung der Stichprobe auf spezifische Konstellationen erfolgte durch folgende Label:

- Lichtverhältnisse: „Lichtverhältnisse (LICHT)“,
- Straßenzustand: „Straßenzustand (STRZUST)“,
- Fahrzeug: „Art der Verkehrsteilnahme (ART-VKT)“,
- Fahrrad: „Fahrzeugklasse (FTGKLASS)“ und
- Radfahrer: „Alter in Jahren (ALTERJ)“.

### 5.1.8 Ausschluss von besonderen Unfallumständen und Bereinigung der Stichprobe

Haltestellen und Baustellen stellen besondere Infrastrukturmerkmale dar. Unfälle, im Bereich von Haltestellen oder Baumaßnahmen sind daher gesondert zu betrachten. Durch die folgenden Label und ihre Ausprägung wurde der Einfluss dieser besonderen Unfallumstände ausgeschlossen:

- „Baumaßnahmen (BAUST)“, Ausprägung „2 - keine“,
- „Einfluss Bushaltestelle (BUSHE)“, Ausprägung „2 - nein“,
- „Einfluss Straßenbahnhaltestelle (SBHE)“, Ausprägung „2 - nein“ und
- „Einfluss U-, S-Bahnhaltestelle (UBHE)“, Ausprägung „2 - nein“.

Um sicherzustellen, dass die Stichproben von Unfällen den ausgewählten Konstellationen korrekt zugeordnet sind, wurden gezielt Widersprüche in der Datenbank untersucht. Für die Unfälle aus der Datenbank, für die widersprüchliche Angaben erkannt wurden, wurde eine stichprobenartige Überprüfung auf Grundlage der in GIDAS hinterlegten Unfallhergangstexte aus der Verkehrsunfallanzeige der Polizei sowie der Fotos durchgeführt.

Für die Konstellation K 1 wurde das Label „Unfallstelle im Straßennetz (STFUHO)“ dem Label „Charakteristik (CHAR)“ gegenübergestellt. Hinsichtlich der Charakteristik der Unfallstelle können von der Polizei bis zu drei Angaben gemacht werden. Das Label „3 - Grundstücksein- oder ausfahrt“ wurde ausgeschlossen. Alle übrigen Ausprägungen stehen nicht im Widerspruch mit der Verortung der Konstellation K1 an Knotenpunkten mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen. Zudem war zu erwarten, dass die ausgewählten Unfälle für das Label „Verkehrsregelung (VREG1)“ die Ausprägung „0 - keine“ aufweisen, da Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage, für die die Ausprägungen „8 - LZA in Betrieb“ und

„9 - LZA außer Betrieb“ möglich wären, ausgeschlossen wurden. Die stichprobenhafte Untersuchung ergab, dass Knotenpunkte bei denen die Lichtzeichenanlage zum Unfallzeitpunkt außer Betrieb war, als Knotenpunkt mit vorfahrtsregelnden Verkehrszeichen dokumentiert wurden. Diese Unfälle wurden daher aus der Stichprobe von K 1 ausgeschlossen.

Für die Konstellation K 2 musste dagegen sichergestellt werden, dass das Label „Verkehrsregelung (VREG1)“ die Ausprägung „8 - LZA in Betrieb“ besitzt.

Die stichprobenartige Überprüfung hat außerdem gezeigt, dass für Konstellation K 3 sichergestellt werden musste, dass das aus der Grundstückszufahrt ausfahrende Fahrzeug ein Kfz (nicht ein Radfahrer) ist. Für die Unfälle des Unfalltyps 301, 302, 303 wurden daher solche Unfälle händisch ausgeschlossen, bei denen ein Radfahrer aus der Grundstückszufahrt ausfährt. Bei Unfällen des Unfalltyps 342 ist der Unfalltyp bereits so definiert, dass der Radfahrer auf einem Radweg fährt und das jeweils andere Fahrzeug wartepflichtig ist.

Darüber hinaus zeigt die Analyse der Unfallart mit dem Label „Unfallart (UART)“ für alle Konstellationen zwar Widersprüche, es konnte jedoch festgestellt werden, dass diese Ausprägungen teilweise falsch zugeordnet wurden. Eine weitere Reduzierung der Datenmenge mit diesem Label war daher nicht sinnvoll.

Nach Ausschluss der Unfälle mit besonderen Unfallumständen sowie nach der Bereinigung widersprüchlicher Angaben in der Datenbank ergeben sich für die fünf Konstellation die folgenden Fallzahlen (für die Jahre 2005 bis 2018):

- 659 Unfälle der Konstellation K1,
- 145 Unfälle der Konstellation K2,
- 218 Unfälle der Konstellation S1,
- 12 Unfälle der Konstellation S2 (bzw. 20 Unfälle wenn für das Label „Trennung Gegenverkehr (MARK) weitere Ausprägungen zugelassen werden und
- 91 Unfälle der Konstellation S3.

## 5.2 ACAS-Datenauswertung

In der amtlichen Unfallstatistik werden Unfallursachen unter Berücksichtigung der polizeilichen Bewertung des Fehlverhaltens (z. B. Fehler beim Beachten der Vorfahrtsregeln, Fehler beim Abbiegen, Unterschreitung des Sicherheitsabstands, nicht angepasste Geschwindigkeit) angegeben. Hierbei werden viele Unfälle der Kategorie „andere Fehler

beim Fahrzeugführer“ mangels geeigneter Kodierung bzw. mangels genauer Ursachenerkenntnis angegeben. Mit dem Ziel, Verstöße gegen die StVO zu ahnden, ist diese Kategorisierung geeignet, in Bezug auf die Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen nur gering geeignet. Beispielsweise ist es bei einer Missachtung der Vorfahrtsregelung wichtig zu unterscheiden, ob die Verkehrsregelung unbekannt war (z. B. aufgrund unzureichendem Wissen), ein Verkehrszeichen oder ein vorfahrtsberechtigter nicht erkannt wurde (z. B. wegen Sichtverdeckung, Ablenkung oder mangelnder Absicherung), die Situation falsch interpretiert wurde (z. B. falsche Annahmen in Bezug auf das Verhalten anderer oder falsche Annahmen in Bezug auf die eigenen Möglichkeiten), eine falsche Handlung durchgeführt wurde (z. B. Verwechslung von Pedalen, Schockstarre) oder eine bewusste Missachtung der Vorfahrtsregelung vorlag.

Um Unfalleinflussparameter für eine detaillierte Bewertung der Unfallursache zu erfassen, wurde zwischen 2002 und 2010 in Zusammenarbeit der AARU Verkehrsunfallforschung, der VW Unfallforschung und der für GIDAS tätigen Unfallforschung der MHH in Kooperation mit dem TÜV Hessen ein System zur Unfallursachenkodierung entwickelt, das in einer strukturierten Vorgehensweise den Prozess der Gefahrenerkennung und Gefahrenabwehr bewertet. Neben den menschlichen Unfalleinflussfaktoren werden auch Unfalleinflussfaktoren aus dem Bereich der Fahrzeugtechnik oder der Umwelt berücksichtigt (Bild 11). Bei der Kodierung der menschlichen Unfalleinflussfaktoren wird in der Reihenfolge der Fahraufgabe untersucht, ob eine wichtige Information nicht zugänglich war (Kategorie 1: Informationszugang) bzw. zugänglich war, aber nicht wahrgenommen wurde (Kategorie 2: Informationsaufnahme). Sofern die Gefahrensituation wahrgenommen wurde, wird untersucht, ob ein Fehler bei der Informationsverarbeitung vorlag (Kategorie 3: Informationsaufnahme) oder die Zielsetzung bei der Gefahrenabwehr falsch war (Kategorie 4: Zielsetzung). Sofern alle vorgehenden Kategorien ausgeschlossen wurden, wird abgeklärt, ob ein Fehler bei der Ausführung der geplanten Handlung vorlag (Kategorie 5: Handlung). Zu den einzelnen Kategorien werden zwei weitere Unterkategorien gebildet (z. B. ist bei der Informationsaufnahme eine mögliche Unterkategorie „Ablenkung im Fahrzeug“ und ein zugehöriger Indikator „Gespräch mit Mitfahrern“).

Für GIDAS-Fälle, die in Hannover aufgenommen wurden, wurden seit dem Unfalljahr 2010 ACAS-Codes basierend auf einem strukturierten offenen Interview ermittelt. Innerhalb von GIDAS wurde das System teilweise in Form von geschlossenen Fragen (z. B. „Konnten Sie die Information nicht aufnehmen, da die Sicht verdeckt war?“) übernommen.

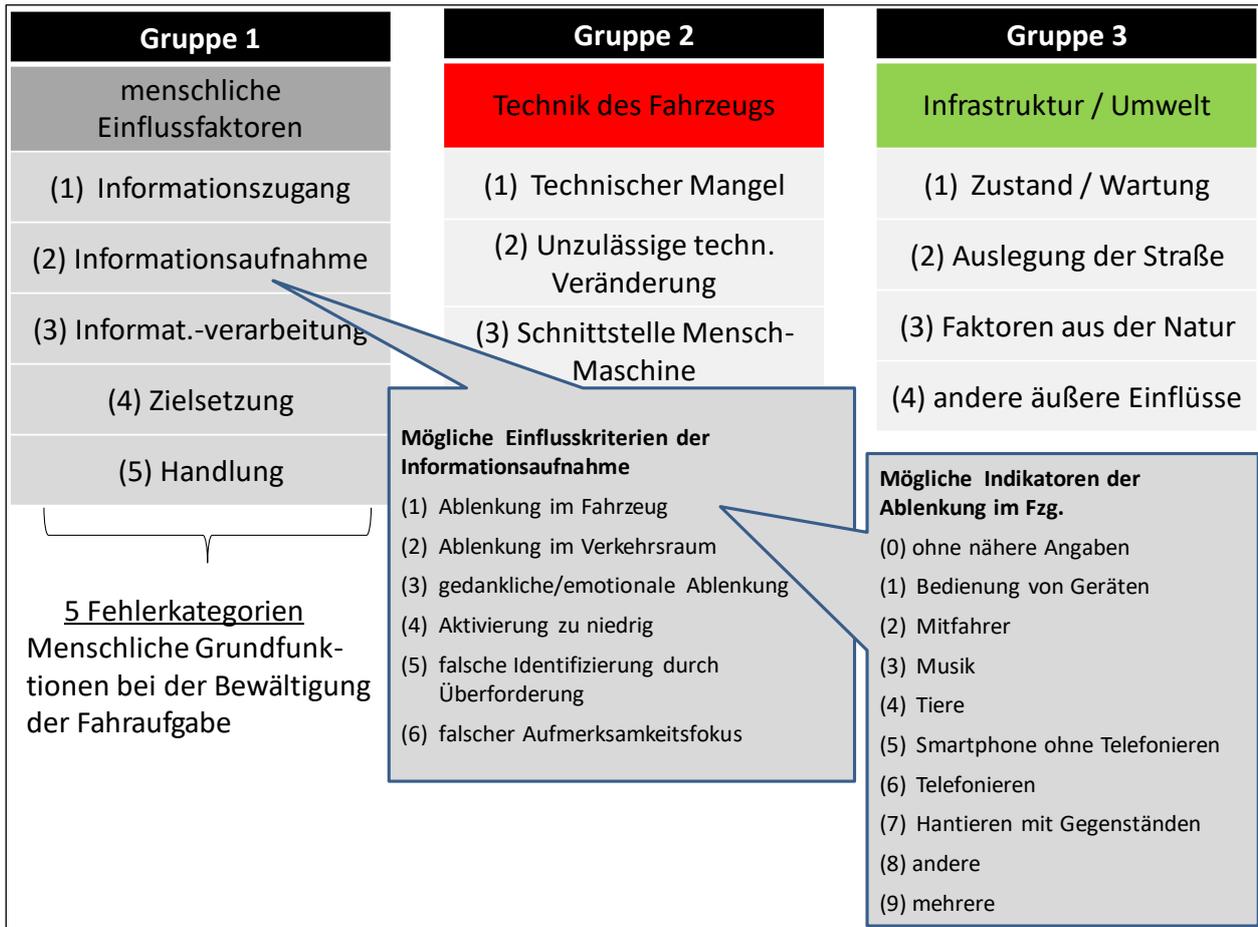


Bild 11: Prinzipieller Aufbau der ACAS-Kodierung (modifiziert nach JOHANNSEN, 2013)

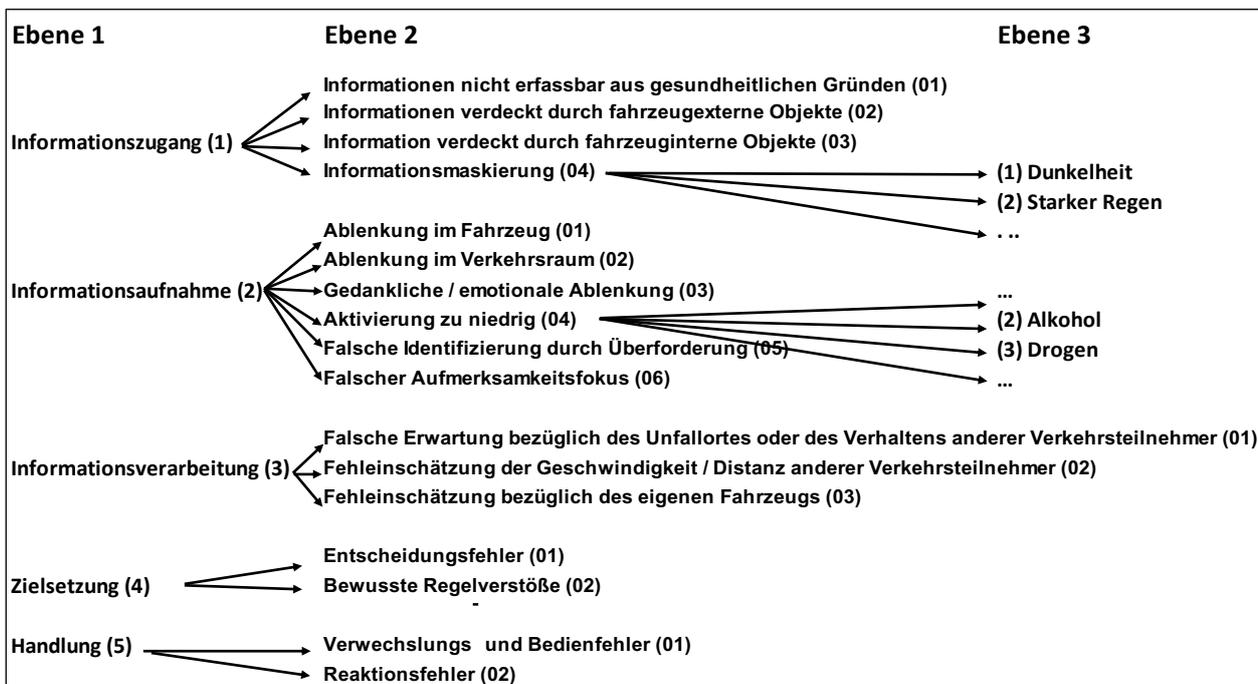


Bild 12: Ausschnitt aus dem Baum der ACAS-Kodierung für die Gruppe 1 „Menschliche Faktoren“ (eigene Darstellung auf Grundlage des ACAS-Codebooks von OTTE et al., 2014)

Vergleichende Analysen der kodierten Daten auf Basis des strukturierten Interviews und der geschlossenen Fragen zeigen deutliche Abweichungen. Insofern werden ausschließlich die auf Basis des strukturierten aber offenen Interviews generierten Daten genutzt. Im Rahmen des Projekts wurden Auswertungen von Daten der Gruppe 1 (Menschliche Faktoren) durchgeführt.

In Bild 12 ist die Struktur der hierarchischen ACAS-Kodierung (ACAS-Baum) zur Gruppe 1 für die beiden obersten Ebenen und exemplarisch für die unterste Ebene dargestellt. In der weiteren Beschreibung wird auf die Codes als dreistellige Ziffernfolge referenziert, wobei ein „x“ eine beliebige Zahl symbolisiert. Die Beschreibung „1xx“ referenziert beispielsweise auf Unfallursachen, die auf Fehler beim Informationszugang zurückzuführen sind. Der Code 1(04)2 referenziert auf die Ursache „Starker Regen“ der Ebene 3 unter der Ursache 04 der Informationsmaskierung von Ebene 2 unter der Fehlerursache „Informationszugang“ der Ebene 1.

Die GIDAS-Datenbank mit ACAS-Erweiterungen wurde für die Konstellation K1 bezüglich der Unfallursachen analysiert. Dazu wurden Fälle vom Unfalltyp 342 getrennt nach beteiligtem Kfz-Fahrer und beteiligten Radfahrer untersucht. Insgesamt waren 525 Fälle von (an einem Unfall des Unfalltyps 342) beteiligten Kfz-Fahrern in der Datenbank vorhanden. Davon waren 422 Fälle (80 %), bei denen der Fahrer rechts abbiegen wollte bzw. rechts abgebogen ist.

Es wurden Erst- und Zweitursachen untersucht. Dabei gab es bezogen auf die Ebene 1 folgende Fallzahlen:

- 92 Fälle Informationszugang (1xx),
- 366 Fälle Informationsaufnahme (2xx),
- 38 Fälle Informationsverarbeitung (3xx),
- 23 Fälle Zielsetzung (4xx),
- 3 Fälle Handlung (5xx).

Von den 92 Fällen „Informationszugang“ (1xx) weist die überwiegende Mehrzahl der Fälle (73) die Ursache auf, dass „Informationen durch fahrzeugexterne Objekte verdeckt“ waren (Code 1(02)x). Darüber hinaus weisen noch 15 Fälle die Ursache „Informationsmaskierung“ (Code 1(04)x) auf, wobei nur ein Fall Regen und ein Fall Blendung verzeichnet waren. Umwelteinflüsse spielen bei der Konstellation K1 offenbar keine Rolle.

Von den 366 Fällen „Informationsaufnahme“ (2xx), gab es nur wenige Fälle (drei bis vier), die auf folgende Ursachen zurückzuführen waren:

- 01 Ablenkung im Fahrzeug,
- 02 Ablenkung im Verkehrsraum,

- 03 Gedankliche/emotionale Ablenkung,
- 04 Aktivierung zu niedrig,
- 05 Falsche Identifizierung durch Überforderung.

Hingegen lagen 90 % der Ursachen (331 Fälle) in einem falschen Aufmerksamkeitsfokus (Code 2(06)x). Dieser war davon in 263 Fällen die alleinige Ursache. Von letzteren waren 92 % auf falsche Blickstrategien zurückzuführen. Konkret gab es 87 Fälle mit dem Code 2(06)1 („Fokus auf anderen Verkehrsteilnehmer“) und 155 Fälle mit dem Code 2(06)3 („Falsche Beobachtungsstrategie“).

In nur für 5 % der Fälle wurden Ursachen aus den Bereichen Zielsetzung (4xx) und Handlung (5xx) kodiert.

Zusammenfassend kann aus den ACAS-Daten geschlossen werden, dass die überwiegenden Ursachen für menschliche Fehler von Kfz-Fahrern bei Unfällen des Unfalltyps 342 in einem falschen Aufmerksamkeitsfokus (hauptsächlich in falschen Beobachtungsstrategien und Fokus auf andere Verkehrsteilnehmer) liegen. Die zweitwichtigste Ursache liegt in der Verdeckung von Informationen, in der Mehrzahl durch fahrzeugexterne Objekte. Die Daten deuten also darauf hin, dass es in der überwiegenden Zahl der Fälle zu einem Unfall kommt, weil der Kfz-Fahrer den Radfahrer nicht wahrnimmt und zwar überwiegend deshalb, weil er nicht in Richtung des von Rechts kommenden Radfahrers schaut.

Die Ursachen von Fehlern der Radfahrer differieren von den Ursachen der Kfz-Fahrer teilweise erheblich. Insgesamt waren 330 Fälle in der Datenbank vorhanden. Im Einzelnen ergaben sich folgende Fallzahlen:

- 23 Fälle Informationszugang (1xx),
- 22 Fälle Informationsaufnahme (2xx),
- 62 Fälle Informationsverarbeitung (3xx),
- 215 Fälle Zielsetzung (4xx),
- 8 Fälle Handlung (5xx).

Eine gewisse Rolle spielen Verdeckungen durch fahrzeugexterne Objekte (20 Fälle 102x). Mit Abstand am bedeutendsten ist mit 152 Fällen der Fehlercode 4(02)7 („Regelwidrige Benutzung des Verkehrswegs“). Das sind Fälle, bei denen der Radfahrer links im Seitenraum fuhr, obwohl dies nicht zugelassen war.

Zweitwichtigste Ursache war mit 54 Fällen eine „Falsche Erwartung bezüglich des Unfallorts oder des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer aufgrund von fehlerhaften Annahmen“ (Fehlercode 3(01)x). Die Radfahrer schätzen also offensichtlich die Intentionen des Kfz-Fahrers falsch ein.

### 5.3 Interdisziplinäre Betrachtung ausgewählter Unfälle

Aus der in Ziffer 5.1 beschriebenen Datenstichprobe der GIDAS wurde eine Unterstichprobe von Unfällen entnommen und jeder Unfall auf Grundlage der polizeilichen Unfallanzeigen sowie der Unfallbeschreibungen und Fotos interdisziplinär hinsichtlich relevanter Einflussfaktoren bewertet. Da zur Konstellation K1 deutlich mehr Unfälle in der Datenbank vorlagen, wurden für diese Konstellation entsprechend mehr Unfälle analysiert.<sup>4</sup> Die Unterstichprobe wurde überwiegend zufällig ausgewählt. Allerdings wurden Unfälle schwerer Unfallfolge explizit integriert, da diese für die Verkehrssicherheitsarbeit besonders bedeutsam sind. Darüber hinaus sind die Unfallanzeigen der Polizei in der Regel bei schweren Unfallfolgen ausführlicher verfasst. Des Weiteren wurden für die Konstellation K2 Unfälle mit der Beteiligung von Lkw explizit in die Unterstichprobe integriert, da diese Unfälle im Rahmen der Grundlagenanalyse besonders auffällig geworden sind.

Es wurden 40 Radverkehrsunfälle analysiert:

- 15 Unfälle der Konstellation K1, davon
  - drei Unfälle mit Schwerverletzten und zwölf Unfälle mit Leichtverletzten und zugleich
  - zwölf Unfälle mit einem Pkw und drei Unfälle mit einem Lkw als anderer Beteiligter,
- sieben Unfälle der Konstellation K2, davon
  - zwei Unfälle mit Getöteten, drei Unfälle mit Schwerverletzten und ein Unfall mit Leichtverletzten und zugleich
  - vier Unfälle mit einem Lkw und drei Unfälle mit einem Pkw als anderer Beteiligter,
- fünf Unfälle der Konstellation S1, davon
  - zwei Unfälle mit Getöteten und drei Unfälle mit Schwerverletzten und zugleich
  - alle Unfälle mit einem Pkw als anderer Beteiligter,
- sieben Unfälle der Konstellation S2, davon
  - zwei Unfälle mit Getöteten und vier Unfälle mit Schwerverletzten und ein Unfall mit Leichtverletzten und zugleich
  - fünf Unfälle mit einem Pkw und zwei Unfälle mit einem Lkw als anderer Beteiligter
- sechs Unfälle der Konstellation S3, davon
  - zwei Unfälle mit Schwerverletzten und vier Unfälle mit Leichtverletzten und zugleich
  - alle Unfälle mit einem Pkw als anderer Beteiligter.

Der Unfallhergang wurde für jeden Beteiligten rekonstruiert. Dabei waren insbesondere die Aussagen der Unfallbeteiligten von Interesse, da diese wiedergeben, was die Beteiligten vor dem Unfall wahrgenommen haben und welche Handlung sie auf dieser Grundlage eingeleitet haben.

Für die fünf Konstellationen konnten in der überwiegenden Anzahl der ausgewählten Unfälle aus den Unfallanzeigen typische Unfallhergänge abgeleitet werden. Diese Unfallhergänge sind in Ziffer 5.3.1 bis 5.3.5 für die jeweilige Konstellation beschrieben.

#### 5.3.1 Betrachtung der Konstellation K1

Der Kfz-Fahrer fuhr aus der untergeordneten Straße in Richtung Knotenpunkt und hielt an der übergeordneten Straße, um dem fließenden Kfz-Verkehr Vorrang zu gewähren. Der Radfahrer fuhr im linken Seitenraum der bevorrechtigten Straße, sah das Kfz und deutete das Halten des Kfz so, dass er gesehen worden wäre und ihm Vorrang gewährt werden würde. In dem Moment, als der Radfahrer im Begriff war, vor dem vermeintlich für ihn haltenden Kfz vorbeizufahren, fuhr der Kfz-Fahrer in den Knotenpunktbereich ein und kollidierte mit dem Radfahrer. Dabei erfolgte kein Kopfaufprall des Radfahrers auf der Fahrzeugfront. Der am Kfz verursachte Sachschaden war gering. Allerdings stürzte der Radfahrer oftmals auf die Straßenoberfläche.

#### 5.3.2 Betrachtung der Konstellation K2

Der Kfz-Fahrer fuhr in den lichtsignalgeregelten Knotenpunkt mit der Absicht nach rechts abzubiegen. Der Radfahrer fuhr in die gleiche Fahrtrichtung wie der Kfz-Fahrer mit der Absicht, die Fahrt geradeaus fortzusetzen. Der Kfz-Fahrer sah den Radfahrer nicht und kollidierte im Abbiegevorgang mit diesem. Bei Unfällen mit Beteiligung von Lkw sind diese mit geringer Geschwindigkeit abgelenkt, haben teilweise anderen Fußgängern oder Radfahrern Vorrang gewährt und in den Außenspiegeln nach Radfahrern Ausschau gehalten, ohne diese wahrzunehmen. Die Verletzungen der Radfahrer wurden maßgeblich durch den Sturz auf die Straßenoberfläche bzw. bei Beteiligung von Lkw durch die hohe Überrollgefahr hervorgerufen.

#### 5.3.3 Betrachtung der Konstellation S1

Der Kfz-Fahrer oder -Beifahrer öffnete die Fahrzeugschür ohne auf mögliche Radfahrer zu achten. Der Radfahrer fuhr gegen die Fahrzeugschür und

<sup>4</sup> Als Richtziel wurde festgelegt, dass 2 % der Unfälle und mindestens fünf Unfälle jeder Konstellation untersucht werden

sollen. Bei Bedarf wurden vereinzelt weitere Unfälle hinzugezogen.

stürzte. Die Verletzungen wurden dabei weniger durch den Aufprall des Radfahrers an die Tür, sondern vielmehr durch einen späteren Aufprall auf die Straßenoberfläche verursacht. Hierbei war der Aufprall des Kopfes auf der Straße ursächlich für tödliche Verletzungen.

### 5.3.4 Betrachtung der Konstellation S2

Der Kfz-Fahrer sah den Radfahrer aus unterschiedlichen Gründen nicht (z. B. Dunkelheit, Blendung, Ablenkung) und fuhr auf den Radfahrer auf oder kollidierte mit diesem bei einem fehlerhaften Überholvorgang. Für den Radfahrer bestand aufgrund des vorliegenden hohen Geschwindigkeitsniveaus des Kfz ein entsprechend hohes Verletzungsrisiko.

### 5.3.5 Betrachtung der Konstellation S3

Der Kfz-Fahrer fuhr aus einer Grundstückszufahrt. Ein Sichtkontakt zu dem im Seitenraum oder auf der Fahrbahn kreuzenden Radfahrer kam nicht zustande und der Kfz-Fahrer kollidierte mit dem Radfahrer. Aufgrund der in der Regel geringen Fahrzeuggeschwindigkeit stellte der Aufprall des Radfahrers auf die Straßenoberfläche oftmals das höchste Verletzungsrisiko dar.

### 5.3.6 Analyse relevanter Einflussfaktoren

Zur Analyse der relevanten Einflussfaktoren wurde interdisziplinär diskutiert, ob der Unfallhergang durch die Anpassung einzelner Bedingungen hätte verändert werden können. Dazu wurde im ersten Schritt überprüft, welche räumlichen Rahmenbedingungen durch die Infrastruktur vorgegeben wurden, im zweiten Schritt wurde geprüft, wie der Mensch die Infrastruktur wahrnahm und sich darin bewegte und im dritten Schritt wurde geprüft, inwieweit das Fahrzeug den Menschen (Fahrer) dabei unterstützt hat. Wenn anzunehmen ist, dass durch die Veränderung einer Bedingung bei der Infrastruktur, dem Menschen oder dem Fahrzeug der Unfall bzw. die Unfallfolge verhindert bzw. vermindert hätte werden können, liegt ein relevanter Einflussfaktor vor.

Infrastrukturmerkmale wurden den Angaben der Polizei zum Unfallort aus der Unfallanzeige, den Fotos aus der Datenbank der GIDAS sowie aus im Internet frei zugänglichen Luftbildern entnommen. Auf dieser Grundlage wurde der Knotenpunkt bzw. Querschnittsaufbau abgeleitet und ermittelt, wie die Infrastruktur von den Beteiligten vor dem Unfall genutzt wurde.

Hinsichtlich des Radfahrers ist dabei aus Sicht der Infrastrukturplanung von besonderem Interesse, welche Radverkehrsführung an dem Unfallort vor-

lag und ob der Radfahrer sich entsprechend dieser Verkehrsregelung verhalten hat. Ist die (vorgeschriebene) Radverkehrsführung regelkonform genutzt worden, wurde diskutiert, ob eine andere Radverkehrsführung, den Unfall möglicherweise hätte verhindern können.

Ist die vorgeschriebene Radverkehrsführung nicht regelkonform genutzt worden, wurde diskutiert, ob der Konflikt durch die regelkonforme Nutzung der gegebenenfalls angebotenen Radverkehrsanlage den Unfall hätte verhindern können und welche Gründe für die regelwidrige Nutzung vorlagen (z. B. Oberflächenschäden, fehlende Querungshilfen).

Darüber hinaus wurde diskutiert, ob in der vorhandenen Infrastruktur die verkehrliche Situation für alle Verkehrsteilnehmer verständlich war und auf mögliche Konflikte bei einer räumlichen Überschneidung der Verkehrsflächen (wie in Knotenpunkten oder bei gemeinsamer Nutzung von Verkehrsflächen) hingewiesen wurde. Solche Infrastrukturmerkmale sind u. a.

- bauliche Einrichtungen (z. B. Aufpflasterungen mit deutlich fahrdynamisch wirkenden Anrampungen),
- Markierungen (z. B. Radfahrstreifen, Schutzstreifen),
- Beschilderung (z. B. Vorschriftenzeichen, Gefahrenzeichen) und
- Signale (z. B. Radfahrersignale).

Weiter wurde überprüft, wie diese Infrastrukturmerkmale ausgeführt wurden. Dazu gehören u. a. Oberflächenmaterial und Farbgebung, Anzahl, Lage, Größe und Maß, Verständlichkeit und Kontinuität sowie Signalzeiten.

Zudem wurde untersucht, ob die hinweisenden Infrastrukturmerkmale aufgrund externer Einflussfaktoren nicht erkennbar waren, weil sie z. B. von einem Hindernis verdeckt worden oder bei Dunkelheit aufgrund fehlender Straßenbeleuchtung nicht sichtbar waren.

Zusammenfassend ergeben sich bei der Analyse der Infrastruktur der ausgewählten Unfälle überwiegend die folgenden Auffälligkeiten:

- Konstellation K1: Die 15 Unfälle ereigneten sich sowohl an Knotenpunkten mit wenigen baulichen Einrichtungen, Markierungen, Beschilderungen und Signalen sowie mit Sichthindernissen als auch an Knotenpunkten mit u. a. Fahrbahnanhebung, Beschilderung mit Zeichen 138 StVO „Radfahrer“ mit Zusatzzeichen 1000-32 StVO „Radfahrer von rechts und links“, Roteinfärbung und Sinnbild „Radverkehr“.

- Konstellation K2: Die sieben Unfälle ereigneten sich überwiegend an Knotenpunkten mit Führung des Radverkehrs auf Radwegen in den Zufahrten und Führung auf Radfurten im Knotenpunktinnenbereich, ohne dass Sichthindernisse zwischen Kfz- und Radverkehr vorlagen.
- Konstellation S1: Die fünf Unfälle ereigneten sich sowohl auf Strecken mit parkenden Fahrzeugen am Fahrbahnrand, als auch auf Strecken mit Parkbuchten. Zudem ereignen sich die Unfälle sowohl bei Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn im Mischverkehr, als auch bei Führung auf Radwegen.
- Konstellation S2: Die sieben Unfälle ereigneten sich an Außerortsstraßen ohne begleitende Radverkehrsanlagen und ohne Straßenbeleuchtung (keine Angaben bzgl. alternativer Radverbindungen).
- Konstellation S3: Die sechs Unfälle ereigneten auf Strecken, in denen von der Grundstückszufahrt die Seitenräume aufgrund von Gebäudekanten oder Einzäunungen wenig einsehbar sind.

Als Maßnahmen der Infrastrukturmaßnahmen wurden Möglichkeiten der Anpassung der Radverkehrsführung sowie der baulichen Einrichtungen, Markierungen, Beschilderungen und Signale diskutiert.

Aufbauend auf der Analyse der Infrastruktur wurden aus Sicht der Verkehrspsychologie auf Grundlage der Aussagen der Beteiligten aus den Unfallanzeigen der Polizei menschliche Einflussfaktoren untersucht. Diese Datengrundlage war dabei jedoch weniger ergiebig als bei der Infrastrukturplanung. Die Personenangaben in der Verkehrsunfallanzeige beschränken sich auf Geschlecht, Geburtsdatum, Staatsangehörigkeit, Wohnort, Geburtsort und Fahrerlaubnisdaten.

Der Umfang der dokumentierten Aussagen der Beteiligten ist sehr unterschiedlich und bei Unfällen mit Leichtverletzten deutlich geringer als bei Unfällen mit Schwerverletzten oder Getöteten. Teilweise sind Aussagen nicht vorhanden, weil Beteiligte nicht aussagen wollten oder z. B. aufgrund ihrer Verletzung konnten. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass es möglich ist, dass falsche Aussagen gemacht wurden, um sich vor eventuellen rechtlichen Konsequenzen zu schützen. Ob es sich um eine solche Schutzbehauptung handelt oder nicht, kann jedoch nur angenommen, jedoch nicht nachgewiesen werden.

Bei der Analyse der Aussagen der Beteiligten ist von besonderem Interesse, ob und wie die Beteiligten die verkehrsrechtliche Situation sowie den möglichen Konflikt wahrgenommen haben, diese Information verarbeitet haben und ihr darauf

aufbauendes Verhalten zum Unfall beigetragen hat. Die Wahrnehmung ist dabei u. a. abhängig von

- Informationsmaskierung am Menschen,
- Wahrnehmungsbarrieren,
- Ablenkung,
- Informationslenkung und
- Informationsmenge.

In Abhängigkeit von den Erwartungen und Einschätzungen des Menschen erfolgt dann eine Entscheidung hinsichtlich seines Verhaltens bzw. eines bewussten Regelverstoßes.

Die Analyse der menschlichen Einflussfaktoren bezieht sich dabei sowohl auf den beteiligten Kfz-Fahrer als auch auf den beteiligten Radfahrer, weil beide Beteiligten gegebenenfalls durch ein vorausschauendes Verhalten den Unfall gegebenenfalls hätten vermeiden können, unabhängig davon, welcher Beteiligter als Hauptverursacher angegeben wurde. Dies ist in den betrachteten 40 Unfällen meistens der Kfz-Fahrer.

Zusammenfassend ergeben sich bei der Analyse der Aussagen der Beteiligten der ausgewählten Unfälle überwiegend die folgenden Auffälligkeiten:

- Konstellation K1:
  - Kfz-Fahrer: Den beteiligten Kfz-Fahrern war bewusst, dass sie wartepflichtig waren. Allerdings beobachteten sie den fließenden Kfz-Verkehr von links und überprüften dabei nicht, ob sich ein linksfahrender Radfahrer von rechts näherte.
  - Radfahrer: Die beteiligten Radfahrer deuteten das Halten des beteiligten Kfz-Fahrers fälschlicherweise so, dass sie gesehen worden wären und ihnen Vorrang gewährt worden wäre.
- Konstellation K2:
  - Kfz-Fahrer: Die beteiligten Kfz-Fahrer nahmen den beteiligten Radfahrer beim Abbiegevorgang nicht wahr. Den beteiligten Lkw-Fahrern war ein möglicher Konflikt mit querenden Fußgängern und Radfahrern zwar bewusst, was daran erkennbar ist, dass sie anderen Fußgängern oder Radfahrern im Knotenpunktbereich den Vorrang gaben. Dennoch übersahen sie den beteiligten Radfahrer.
  - Radfahrer: Die beteiligten Radfahrer deuteten das Halten des beteiligten Kfz-Fahrers fälschlicherweise so, dass sie gesehen worden wären und ihnen Vorrang gewährt worden wäre.

- Konstellation S1:
  - Kfz-Fahrer: Die beteiligten Kfz-Fahrer haben nicht mit Radfahrern gerechnet bzw. waren unmittelbar vor dem Unfall mental abgelenkt.
  - Radfahrer: Die Datengrundlage ist zur Analyse der Wahrnehmung und des Verhaltens des Radfahrers nicht ausreichend.
- Konstellation S2:
  - Kfz-Fahrer: Die beteiligten Kfz-Fahrer erkannten aufgrund u. a. von Dunkelheit die beteiligten Radfahrer nicht.
  - Radfahrer: Die Datengrundlage ist zur Analyse der Wahrnehmung und des Verhaltens des Radfahrers nicht ausreichend.
- Konstellation S3:
  - Kfz-Fahrer: Die beteiligten Kfz-Fahrer konnten beim Ausfahren aus der Grundstückszufahrt den Seitenraum erst einsehen, als sich das Kfz bereits zu Teilen im Seitenraum befand. Anschließend ergaben sich ähnliche Problematiken wie in Konstellation K1.
  - Radfahrer: Die beteiligten Radfahrer fuhren teilweise ohne erkennbaren Grund regelwidrig auf dem Gehweg, wo der Sichtkontakt zum Kfz-Fahrer eingeschränkt war.

Für die Konstellation K1 erfolgte zusätzlich eine Auswertung verkehrspsychologisch relevanter Merkmale in der Datenbank des ACAS der MHH (PUND et al., 2013). Da für diese Konstellation als Unfallursache bei den Kfz-Fahrern zu 90 % „falscher Aufmerksamkeitsfokus“ kodiert wurde, kann daraus geschlossen werden, dass die Kfz-Fahrer in den untersuchten Unfällen nicht mit von rechts kommenden Radfahrern gerechnet haben. Auf (linksfahrenden) Radverkehr hinweisende Beschilderung oder Markierung wurde nicht als handlungsleitend wahrgenommen.

Aus derselben Auswertung ergibt sich als Hauptfehlerursache für die Radfahrer eine „falsche Erwartung bezüglich des Unfallortes oder des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer aufgrund von fehlerhaften Annahmen“. Die Radfahrer haben nicht damit gerechnet, dass die Kfz-Fahrer nicht ihretwegen, sondern wegen des bevorrechtigten Kfz-Verkehrs warteten und haben nicht bemerkt (möglicherweise wegen fehlendem Blickkontakt), dass die Kfz-Fahrer sie nicht beobachten.

Menschliche Einflussfaktoren können durch Maßnahmen der Verkehrserziehung oder entsprechende Kampagnen zur Gefahrenaufklärung angepasst werden. Obwohl verkehrsrechtlich die Hauptschuld in der Unterstichprobe in der Regel bei dem Kfz-Fahrer liegt – und somit bei diesen ein hohes Potenzial zur Unfallvermeidung besteht –, besteht möglicherweise aber auch ein Potenzial

zur Unfallvermeidung in der Sensibilisierung der Radfahrer zu einer vorsichtigen und rücksichtsvollen Fahrweise.

Angaben zur Fahrzeugart und zum Hersteller liegen in der Unfallanzeige vor. Weitere relevante Informationen in Bezug auf die Fahrzeugtechnik waren ebenfalls vorhanden. Darüber hinaus wurden den Fotos aus der Datenbank der GIDAS Informationen zum Fahrzeug entnommen.

Aus Sicht der Fahrzeugtechnik wurden zum einen die Nutzung des Fahrzeugs durch den Menschen und zum anderen der Einfluss von Assistenzsystemen untersucht. Bei den betrachteten Unfällen aller Konstellationen kann weder eine erfolgte Warnung noch ein Eingriff durch ein Fahrerassistenzsystem festgestellt werden. Daher wurde insbesondere diskutiert, ob die betrachteten Konstellationen durch verfügbare bzw. zukünftige Assistenzsysteme adressiert werden können.

Die direkte Sicht des Kfz-Fahrers – Radfahrer sind in der Regel nicht durch ihr Fahrzeug in ihrer Sicht eingeschränkt – ist insbesondere durch die Fahrzeuggeometrie bestimmt. Es wird angenommen, dass durch wahrnehmungsunterstützende Systeme wie z. B. Kamera-Monitor-Systeme für Lkw, aber auch eine Fahrradbeleuchtung, ein relevanter Teil der Unfälle adressiert werden könnten.

Entscheidend für Systeme der aktiven Sicherheit, welche in erster Linie dem Kfz-Fahrer zur Verfügung stehen, ist die Sichtbarkeit des Radfahrers für das System sowie die Geschwindigkeit der Beteiligten. Für die Konstellation S2 ist das Potenzial von warnenden bzw. eingreifenden Assistenzsystemen (Notbremsung bzw. Ausweichmanöver) zur Vermeidung eines Unfalls als hoch einzustufen, wenn gleich damit nicht alle Unfälle vermieden werden können, selbst wenn alle Kfz darüber verfügen. Aber auch für die anderen betrachteten Konstellationen ist anzunehmen, dass gerade aufgrund des hier allgemein vorliegenden geringen Geschwindigkeitsniveaus des Kfz, ein Unfallvermeidungspotential mit warnenden bzw. eingreifenden Assistenzsystemen (auch für Konstellationen K1 und S3 bzw. Verzögerung der Öffnung der elektrischen Türschlösser für Konstellation S1) besteht.

Die Relevanz von Einflussfaktoren, die passiven Schutzmaßnahmen am Fahrzeug zugeordnet werden, wurde anhand der Aufprallorte der jeweiligen Körperregionen des Radfahrers, der damit verbundenen Verletzungen sowie dem vorliegenden Geschwindigkeitsniveau des Kfz beurteilt. Bei einem Anprall des Radfahrers an die Fahrzeugfront ist anzunehmen, dass die Gestaltung und Struktur der Fahrzeugfront einen signifikanten Einfluss auf die Unfallfolge hatten, allerdings kommt dieser mit steigender Kollisionsgeschwindigkeit immer weniger zum Tragen (Konstellationen K1, K2 und S3).

Resultieren Verletzungen aus einem Sturz des Radfahrers auf die Straße, was für die Konstellationen K1, K2, S1 und S3 eine hohe Relevanz hat, ist davon auszugehen, dass hier passive Maßnahmen am Fahrzeug kaum zum Tragen kommen. In diesem Zusammenhang ist vor allem das Tragen eines Fahrradhelmes als wirksame Maßnahme zur Vermeidung von schweren und tödlichen Kopfverletzungen zu nennen.

## 6 Anleitung zur interdisziplinären Analyse von Radverkehrsunfällen

Auf Grundlage der bisherigen Ergebnisse wurde eine Anleitung zur interdisziplinären Analyse von Radverkehrsunfällen entwickelt, die dem Adressaten als Leitfaden dient, um die Radverkehrssicherheit auf Grundlage von Unfalldaten zu analysieren. Kern dieser Anleitung ist ein Phasenmodell der Einflussfaktoren.

### 6.1 Adressaten

Die Anleitung richtet sich an Personen, die sich mit Radverkehrsunfällen interdisziplinär auseinandersetzen. Diese sollen unter Hinzunahme der zugeordneten relevanten Einflussfaktoren auf die im Unfallgeschehen konkret wirkenden Einflussfaktoren aus den drei Fachdisziplinen hingewiesen werden, um relevante Zusammenhänge erkennen zu können.

Hierdurch kann z. B. eine Unfallkommission bei der Analyse des Unfallgeschehens unterstützt werden. Durch die Anleitung wird verdeutlicht, dass die Infrastrukturmerkmale auf die Verkehrssituation hinreichend hinweisen können, Unfälle aber aufgrund menschlicher Faktoren (wie z. B. Überforderung) dennoch auftreten können, sich diese aber trotzdem durch verschiedene Maßnahmen adressieren lassen.

Zu beachten ist, dass das Vorgehen nicht die in den einzelnen Fachdisziplinen zur Anwendung kommenden Analysemethoden ersetzen, sondern vielmehr eine interdisziplinäre Betrachtung unterstützen soll, d. h. der Sensibilisierung für die Aspekte der anderen Fachdisziplinen dient. Daher wird vorausgesetzt, dass der Adressat über das notwendige fachspezifische Wissen verfügt oder die entsprechenden Experten zurate zieht.

### 6.2 Betrachtungsebene

Die Relevanz eines Einflussfaktors kann umso besser bestimmt werden, desto spezifischer das Unfallgeschehen bekannt ist, das betrachtet wird. Dazu ist es notwendig, das Unfallgeschehen auf

Grundlage der in Ziffer 4 beschriebenen Merkmale zur Klassifikation von Konstellationen zurückzuzurechnen.

### 6.3 Datengrundlage

Grundlage für die Analyse der Radverkehrssicherheit ist die Auswertung von Unfalldaten. Es können bzw. müssen je nach Anwender unterschiedliche Datengrundlagen zur Analyse der Verkehrssicherheit herangezogen werden. Unfallhergangstexte liegen für alle polizeilich erfassten Unfälle vor und bilden aufgrund der Verfügbarkeit sowie der Menge eine gute Grundlage. Die Datengrundlage sollte die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Die Daten sollen zu jedem Unfall in übersichtlicher Form vorliegen. Dazu gehören allgemeine Informationen wie Unfallanzahl, Unfallschwere, Unfallzeitpunkt und Unfallort sowie Merkmale zur Klassifizierung von Konstellationen (vgl. Ziffer 6.2). Dazu eignen sich u. a. elektronische Unfalldatenbanken oder elektronische Unfalldatensätze.
- Im Zuge der durchgeführten Analyse vertiefter Datengrundlage (Ziffer 5) hat sich gezeigt, dass es notwendig ist, den Unfallhergang zu rekonstruieren. Daher sind für die relevanten Konstellationen Unfalldaten zu beschaffen, die auch für jeden Unfallbeteiligten den Ablauf (mit all seinen Prozessbestandteilen wie Wahrnehmung, Denken und Verhalten) bis zum Unfall beschreiben. Diese sind aus den polizeilichen Unfallhergangstexten rekonstruierbar.
- Je mehr Informationen zu infrastrukturellen Gegebenheiten (z. B. aus einer Ortsbegehung) sowie den beteiligten Personen (z. B. aus ACAS-Daten) und ihren Fahrzeugen (z. B. aus GIDAS) – letztere beiden sind jedoch nicht öffentlich zugänglich – zusammengetragen werden können, desto besser lassen sich die relevanten Einflussfaktoren auf die Verkehrssicherheit bestimmen. Die polizeilichen Unfallhergangstexte sind sehr heterogen und bringen nicht in allen Fällen tiefere Einblicke – insbesondere die psychologischen Einflussfaktoren auf einen Unfallhergang betreffend. Oft müssen deshalb weitere Daten zur Analyse herangezogen werden.

### 6.4 Phasenmodell

Inhaltliche sowie methodische Hilfestellung bei der Analyse von Radverkehrsunfällen bietet das im Folgenden dargestellte Phasenmodell der Einflussfaktoren, das relevante Einflussfaktoren dem menschlichen Prozess des Denkens und Verhaltens im Straßenverkehr zuordnet. Ein Unfall resultiert oftmals aus fehlerhaften mentalen oder moto-

rischen Prozessen des Menschen (kurz: Fehler). Ein Fehler wird dabei nicht zwingend mit einem bewussten Verstoß gegen die StVO (Missachtung) gleichgesetzt, sondern mit jedem regelwidrigen oder regelkonformen Verhalten des Menschen, das einen Unfall zur Folge hat.

Zu berücksichtigen ist auch, dass ein Mensch durch ein vorausschauendes Fahrverhalten unter Umständen einen Unfall verhindern kann, indem er beispielsweise auf sein Vorfahrtsrecht verzichtet, anhält und damit einen Zusammenstoß vermeidet. Der Fehler würde dann beispielsweise in dem Bestehen auf seinem Vorfahrtsrecht, trotz Wahrnehmung eines möglichen Konflikts, liegen. Von daher darf der Fehler in dem hier gemeinten Sinne nicht mit einer Schuldzuweisung gleichgesetzt werden.

Ebenfalls zu berücksichtigen ist, dass mit der zunehmenden technischen Entwicklung das Fahrzeug eine Vielzahl an Informationen aufnimmt und diese mittels implementierter Algorithmen (vergleichbar mit dem menschlichen Denk- bzw. Entscheidungsprozess) verarbeitet. In kritischen Situationen erfolgt dann ein Handeln, d. h. das System interveniert, etwa durch eine Warnung des Fahrers oder durch einen gezielten Eingriff in die Fahrdynamik (z. B. Auslösung eines Bremsvorgangs). Mit zunehmender Automatisierung der Fahrzeuge wird der Einfluss menschlicher Fehler zukünftig mehr und mehr eingegrenzt. Für vollautomatisierte bzw. autonome Fahrzeuge wird die Fahraufgabe dann schließlich vollständig beim Fahrzeug liegen. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen hierfür sind allerdings noch zu erarbeiten.

Ein Einflussfaktor kann die Ursache für einen aufgetretenen menschlichen oder systemseitigen Fehler sein. Dieser kann der Infrastruktur, dem Fahrzeug und/oder dem Menschen zugeordnet werden. Auch bei der Bewertung der Einflussfaktoren ist nebensächlich, ob die gültigen Anforderungen innerhalb der jeweiligen Fachdisziplinen erfüllt werden. Vielmehr sollen Einflussfaktoren identifiziert werden, die grundsätzlich dazu führen können, dass der Mensch (bzw. das Fahrzeug) einen Fehler macht, der zu einem Unfall führt. Vor diesem Hintergrund wird der direkte Handlungsansatz zur Verbesserung der Verkehrssicherheit im Radverkehr bei den Einflussfaktoren gesehen und nicht bei den menschlichen oder systemseitigen Fehlern mit unmittelbarer Unfallfolge.

Im Ergebnis soll der Adressat im Rahmen einer Unfalldatenanalyse auf Grundlage des Unfallgeschehens ausgewählter Konstellationen in die Lage versetzt werden, die relevanten Einflussfaktoren für die identifizierten menschlichen (oder systemseitigen) Fehler im Unfallhergang herauszuarbeiten, um daraus Maßnahmen zur Vermeidung von Radverkehrsunfällen zu entwickeln. Dazu wird das folgende Vorgehen empfohlen:

1. Allgemeine Datengrundlage mit allgemeinen Unfallinformationen sowie Merkmalen zur Klassifikation von Konstellationen beschaffen.
2. Unfallgeschehen in Konstellationen klassifizieren und relevante Konstellationen identifizieren.
3. Detaillierte Datengrundlage mit Informationen zum Unfallhergang für jeden Unfallbeteiligten beschaffen.
4. Unfallhergang für jeden Unfallbeteiligten rekonstruieren.
5. Fehlerhafte menschliche oder systemseitige Prozesse im Unfallhergang identifizieren.
6. Unfall(folgen)begünstigende Einflussfaktoren identifizieren.
7. Diskussion von (Wechsel-)Wirkungen der Einflussfaktoren mit Fachexperten.
8. Unfall(folgen)vermeidende Maßnahmen ableiten.

#### 6.4.1 Zielsetzung

Der Prozess des Denkens und Verhaltens findet in einem Zeitraum statt, der als Pre-Crash-Phase bezeichnet wird. Es wird davon ausgegangen, dass für bestimmte menschliche (oder systemseitige) Fehler nur eine begrenzte Anzahl von Einflussfaktoren infrage kommt. Dies dient dazu, die beeinflussbaren Einflussfaktoren in Phasen zu kategorisieren.

Dabei gilt es die relevanten Einflussfaktoren auf die Radverkehrssicherheit nicht für jede Fachdisziplin getrennt aufzuführen, sondern einen interdisziplinären Ansatz zu schaffen.

Da nicht nur Unfallursachen, sondern auch Maßnahmen der Radverkehrssicherheit identifiziert werden sollen, werden in dem Phasenmodell nicht nur unfall(folgen)begünstigende, sondern auch unfall(folgen)vermeidende Einflussfaktoren aus den Bereichen Infrastrukturplanung, Verkehrspsychologie und Fahrzeugtechnik aufgeführt.

#### 6.4.2 Aufbau

In Anlehnung an die ACAS-Kodierung werden fünf menschliche (oder systemseitige) Prozessphasen unterschieden. Die Prozessphasen aus ACAS stellen den menschlichen Prozess des Denkens und Handelns im Straßenverkehr im Allgemeinen hinreichend dar. Im Hinblick auf die spezifische Aufgabenstellung im Projekt (interdisziplinäre Betrachtung) werden jedoch begriffliche Anpassungen vorgenommen. Die fünf in diesem Zuge definierten Prozessphasen sind:

1. Informationszugang,
2. Informationsaufnahme,
3. Verarbeitung,
4. Entscheidung,
5. Verhalten.

Sollten ein oder mehrere Fehler aufgetreten sein, folgt nach dem daraus resultierenden Verhalten (in Bezug auf Mensch und Fahrzeugsystem) der Unfall. Gemäß gängigen Theorien des Informationsverarbeitungsprozesses des Menschen liegt am Anfang des Prozesses der Informationszugang, d. h. die Informationen, die die menschliche Sensorik (objektiv physikalisch/physiologisch) erreichen. Eine Unfallursache aus dieser Phase indiziert, dass den Menschen eine Information nicht erreicht hat. Insbesondere für die Infrastrukturplanung stellt sich jedoch, noch vor der Beurteilung des Informationszugangs, die Frage, ob die Information im Zeitraum der Pre-Crash-Phase überhaupt vorhanden war. Daher wird dem Informationszugang die Phase Informationsbereitstellung vorgeschaltet. Zu berücksichtigen ist, dass die wichtigste bereitgestellte Information bei Konflikten mit zwei Beteiligten immer der jeweils andere Beteiligte selbst ist. Bei der Unfallanalyse gilt es dabei nicht nur zu untersuchen, ob diese Information bereitgestellt wurde, sondern inwieweit der andere Beteiligte diese Informationen bis zur Umsetzung eines bestimmten Verhaltens erfasst und verarbeitet hat.

Ergebnis des menschlichen (und eventuell auch technischen) Informationsverarbeitungsprozesses ist das finale Verhalten, worauf gegebenenfalls ein Unfall folgt. Die Unfallfolgen für die Beteiligten sind im Wesentlichen durch Einflussfaktoren bestimmt, die während des Unfalls gelten (In-Crash-Phase). Einflussfaktoren, die zur Minderung der Unfallfolgen beitragen, werden insbesondere der passiven Sicherheit zugeordnet. In diesem Zusammenhang ist aber auch von entscheidender Bedeutung, ob infolge des Eingriffs eines aktiven Systems beispielsweise die Kollisionsgeschwindigkeit reduziert werden konnte. Um all diese Aspekte abzubilden, wird im Modell der Phase Verhalten eine weitere Phase mit der Bezeichnung Verhaltensfolgen nachgeschaltet.

Zur Zuordnung relevanter Einflussfaktoren ergeben sich demnach folgende sieben Prozessphasen, die sich wie folgt definieren:

1. Informationsbereitstellung: Einflussfaktoren, die den Verkehrsteilnehmer bzw. das Fahrzeug auf einen möglichen Konflikt hinweisen.
2. Informationszugang: Einflussfaktoren, die die Möglichkeiten einer Erkennung (visuell, akustisch, usw.) von konfliktrelevanten Gegebenheiten (Schilder, Verkehrsteilnehmer usw.) beschreiben.

3. Informationsaufnahme: Einflussfaktoren, die bestimmen, ob der Verkehrsteilnehmer bzw. das Fahrzeug die Information auf einen möglichen Konflikt wahrnehmen kann.
4. Verarbeitung: Einflussfaktoren, die bestimmen, ob der Verkehrsteilnehmer bzw. das Fahrzeug den möglichen Konflikt angemessen einschätzen kann.
5. Entscheidung: Einflussfaktoren, die bestimmen, welche Verhaltensentscheidung der Verkehrsteilnehmer bzw. das Fahrzeug trifft. Dazu gehören auch Entscheidungen zu bewussten Regelverstößen. Auf Seiten der Fahrzeugtechnik fallen hauptsächlich ethische Aspekte bezüglich der implementierten Entscheidungsregeln für das automatisierte Fahren in diese Kategorie.
6. Verhalten: Einflussfaktoren, die bestimmen, ob Verkehrsteilnehmer bzw. Fahrzeug eine angemessene/effektive Handlung zur Vermeidung eines Konflikts bzw. zur Minderung der möglichen Konfliktfolgen umgesetzt hat.
7. Verhaltensfolgen: Einflussfaktoren, die bestimmen, ob durch das Verhalten des Verkehrsteilnehmers bzw. das Fahrzeugs ein möglicher Konflikt vermieden oder die Folgen des Konflikts vermindert werden können.

Darüber hinaus werden für jede Fachdisziplin Randbedingungen aufgelistet, die relevant für das Unfallgeschehen sind und bei der Betrachtung der Einflussfaktoren somit zu berücksichtigen sind.

Von der Infrastrukturplanung wird als Randbedingung die Lage in Bezug zu bebauten Gebieten sowie im Straßennetz genannt. Durch die Verortung des Unfalls wird ein Rahmen für zahlreiche verkehrliche Bedingungen, wie z. B. Geschwindigkeiten und Verkehrsstärken, vorgegeben. Im Hinblick auf die Radverkehrssicherheit ist darüber hinaus entscheidend, welche Radverkehrsführung von der Infrastrukturplanung vorgeschrieben wird. Aus der vorgegebenen Radverkehrsführung und der tatsächlichen Nutzung von Verkehrsanlagen durch den Radfahrer kann abgeleitet werden, welches Verhalten der Radfahrer von den übrigen Verkehrsteilnehmern erwartet wird.

Aus Sicht der Verkehrspsychologie liegen, wie oben bereits erläutert, in fast allen Fällen die unmittelbaren Ursachen für Konflikte im Straßenverkehr im Verhalten des Menschen begründet – häufig in Mechanismen im Informationsverarbeitungsprozess. Bei einer weitergehenden Analyse möglicher Gründe für diese primären Ursachen können Gegebenheiten der äußeren Bedingungen (z. B. fehlende auf mögliche Konflikte hinweisende Beschilderung) genannt werden. Es können aber auch Gründe genannt werden, die beim Menschen als Individuum oder der Gesellschaft liegen.

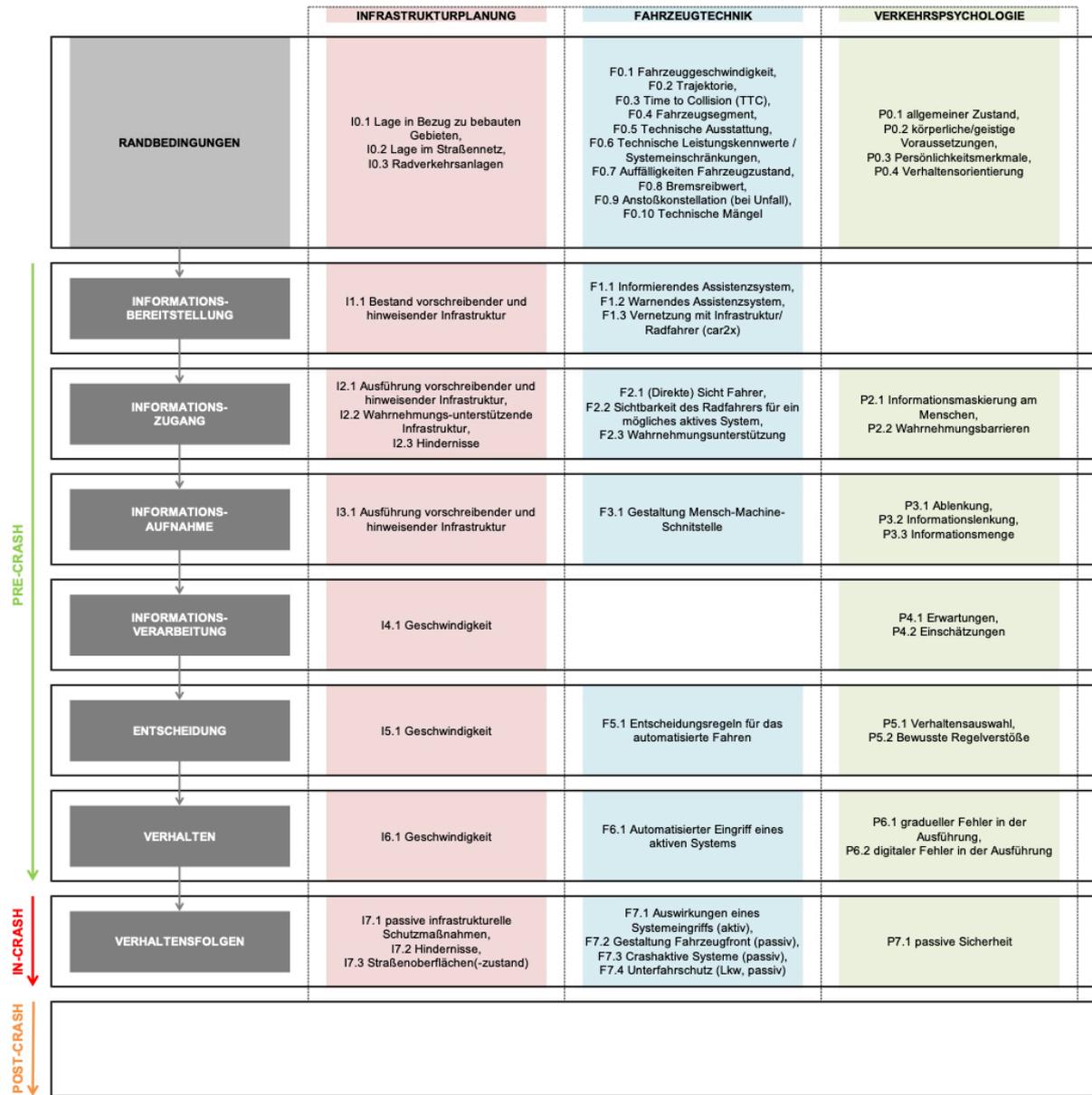
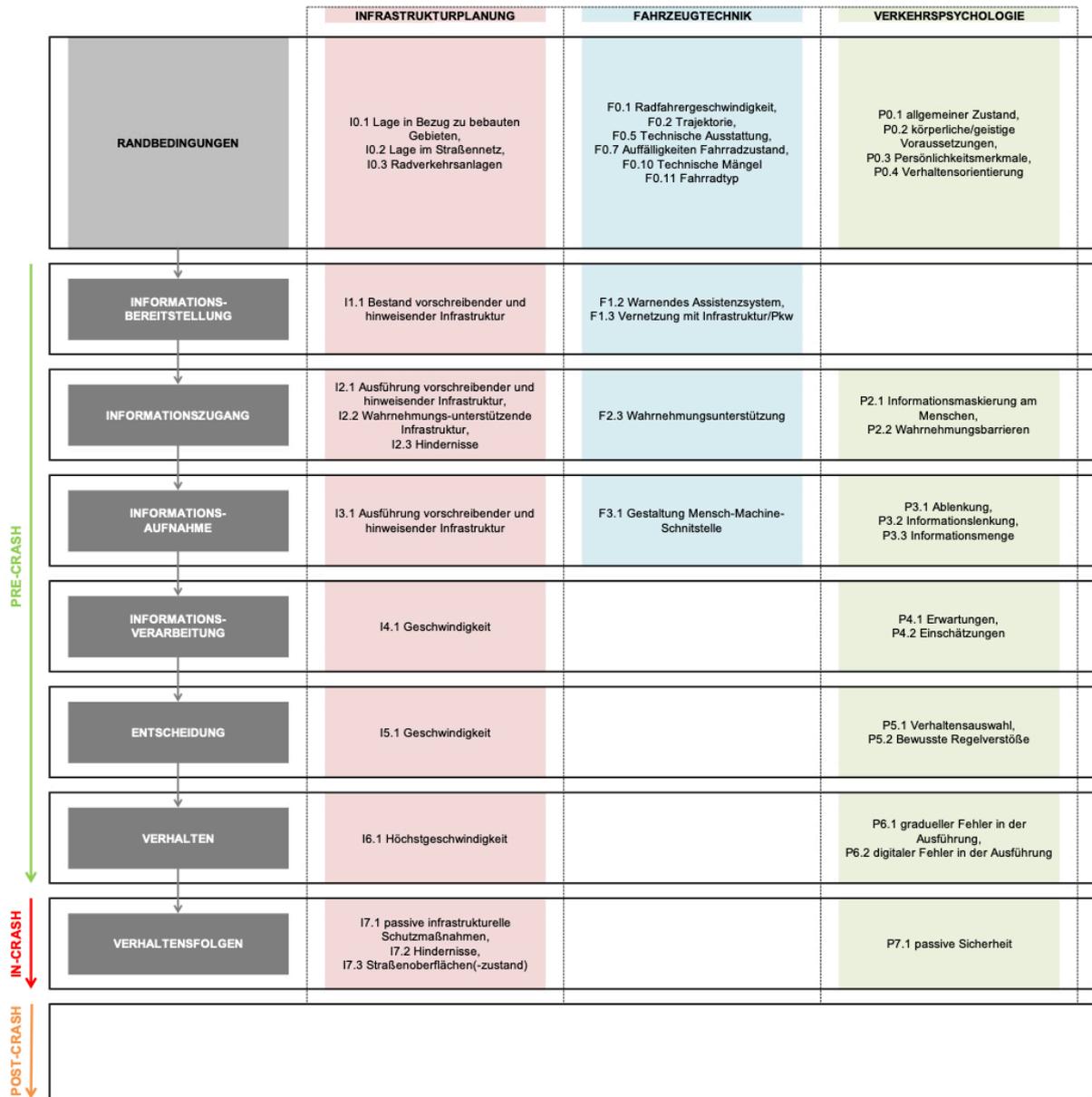


Bild 13: Phasenmodell der Einflussfaktoren für den beteiligten Kfz-Fahrer



**Bild 14:** Phasenmodell der Einflussfaktoren für den beteiligten Radfahrer

Ein Fehler wie ein fehlender Schulterblick kann beispielsweise liegen, dass gesundheitliche Probleme vorliegen und dieser deshalb gegebenenfalls unterlassen wird. Ein anderes Beispiel sind Wahrnehmungsfehler oder Aufmerksamkeitsfehler, die durch Drogen oder Alkohol verursacht sind. Als drittes Beispiel seien Verhaltensfehler genannt, die typisch für Verkehrsteilnehmer mit geringer Fahrpraxis sind (z. B. Fahranfänger). Generell sind diese Einflussfaktoren, bezogen auf den Konflikt im Individuum, verhältnismäßig zeitlich stabil. Unterlagerte Gründe können aber noch über das Individuum hinausgehen, wenn beispielsweise eine generelle Sicherheitskultur in der Gesellschaft das Verhalten des Einzelnen beeinflusst. In dieser Hinsicht kann dann auch über generelle gesellschaftliche Prozesse Einfluss auf die Verkehrssicherheit genommen werden.

Auf Seiten der Fahrzeugtechnik ergeben sich zahlreiche Randbedingungen, die bei der Beurteilung eines Unfalls bzw. dessen technischer Adressierbarkeit zu berücksichtigen sind und die sich meist nicht unmittelbar in eine der definierten Ursachenkategorien einordnen lassen. Hier sind vor allem physikalische Parameter, wie etwa die Fahrzeuggeschwindigkeit oder der Bremsreiwert, zu nennen, welche die technischen Rahmenbedingungen bzw. Grenzen und damit die Anforderungen an eine entsprechende Maßnahme bestimmen. Das gilt sowohl für Systeme der aktiven Sicherheit, wo beispielsweise die zum Zeitpunkt der erstmaligen Sichtbarkeit des Radfahrers noch zur Verfügung stehende Zeitspanne bis zur Kollision (TTC) von entscheidender Bedeutung ist, als auch für Maßnahmen der passiven Sicherheit, die z. B. bei hohen Kollisionsgeschwindigkeiten kaum noch zum Tragen kommen. So ist für eine umfassende fahrzeugtechnische Bewertung eines spezifischen Unfallgeschehens neben den physikalischen Rahmenbedingungen stets auch ein Kenntnis der technischen Fahrzeugausstattung sowie der zugehörigen Leistungskennwerte und Systemeinschränkungen erforderlich. Darüber hinaus sind auch etwaige technische Mängel oder Auffälligkeiten zu betrachten.

Das entwickelte Phasenmodell der Einflussfaktoren ist in Bild 13 und Bild 14 dargestellt. Die relevanten Einflussfaktoren wurden für Unfälle mit zwei Beteiligten – bei denen der andere Beteiligte (neben dem beteiligten Radfahrer) ein Kfz (mit Ausnahme von motorischen Zweirädern) war – von allen drei Fachdisziplinen zugeordnet. Das Phasenmodell wird dabei je nach Beteiligten unterschieden. Dem Anlagenband können Beispiele für die zugeordneten Einflussfaktoren entnommen werden.

## 7 Beispielhafte Anwendung der Phasenmodelle

Die Anwendbarkeit bzw. Praxistauglichkeit des Phasenmodells der Einflussfaktoren erfolgte auf Grundlage von zuvor nicht betrachteten Unfallbeispielen aus der GIDAS-Datenbank erfolgen.

### 7.1 Beispiel der Konstellation K1

Im Jahr 2013 wurde ein Unfall mit schwerem Personenschaden an einer Einmündung mit vorfahrregelnden Verkehrszeichen erfasst, welcher der Konstellation K1 zugeordnet werden kann.

Zunächst hat der Adressat des Phasenmodells den Unfallhergang je Unfallbeteiligten zu rekonstruieren. Der Unfallanzeige mit Unfallhergangstext kann entnommen werden, dass die beteiligte Pkw-Fahrerin (44 Jahre) mit ihrem Fahrzeug die untergeordnete Straße befuhr, um nach rechts in die übergeordnete Straße einzubiegen. Hierbei achtete sie auf den von Links herannahenden Verkehr und übersah so die von Rechts kommende Radfahrerin.

Die Informationsbereitstellung erfolgt in der Regel durch die Infrastruktur. Auf Grundlage der Unfallanzeige sowie der vorliegenden Fotos können für den Verkehr aus der einmündenden Straße die folgenden hinweisenden Infrastruktureinrichtungen identifiziert werden:

- Die einmündende Straße ist durch das Vorschritzeichen 205 StVO (Vorfahrt gewähren) untergeordnet.
- Im Bereich der Einmündung ist der Geh- und Radweg der bevorrechtigten Straße durchgehenden angelegt. Dieser ist farblich abgesetzt, gepflastert und leicht erhöht.
- Oberhalb des oben genannten Vorschritzeichens ist das Zusatzzeichen 1000-32 befestigt, das auf den kreuzenden Radverkehr von links und rechts hinweisen soll.

Hinsichtlich der Ausführung des Zusatzzeichens 1000-32 ist zu bemerken, dass es zwar optisch erfassbar ist (Informationszugang) jedoch möglicherweise aufgrund seiner Größe und Position leicht übersehen werden kann (Informationsaufnahme). Weiter kann den Fotos entnommen werden, dass die Sicht bei Annäherung an den Knotenpunkt nach rechts durch den ruhenden Verkehr und durch Büsche verdeckt wird. Insofern liegt ein Hindernis vor (Informationszugang), welches die Sicht auf den Radfahrer verdeckt (Bild 15).



**Bild 15:** Blickrichtung der Pkw-Fahrerin bei Unfallbeispiel 1 (Konstellation K1) (Quelle: GIDAS, 2013)

Ob die menschlichen Denk- und Verhaltensprozesse erfolgreich durchgeführt wurden, kann bei der gegebenen Datengrundlage auf Grundlage der von der Polizei festgehaltenen Aussagen der Unfallbeteiligten bewertet werden. Nach Aussage der beteiligten Pkw-Fahrerin hat diese die Vorfahrt beachtet. Sie habe nach links geschaut und sich in den Einmündungsbereich vorgetastet. Die Radfahrerin habe sie vorher nicht gesehen. Ob sie die hinweisenden Infrastrukturelemente (Radwegüberfahrt, Beschilderung) auf den Radverkehr erkannt und wahrgenommen und dadurch mit Radfahrern gerechnet hat oder nur die beteiligte Radfahrerin nicht erkannt oder wahrgenommen hat, ist der Unfallanzeige nicht zu entnehmen. Daher ist anzunehmen, dass ein Fehler beim Informationszugang, der -aufnahme oder der -verarbeitung vorlag und die wesentlichen Einflussfaktoren durch diese Ursachenkategorien eingegrenzt werden können.

Die Unfallanzeige weist nicht auf eine Ablenkung im Fahrzeug oder eine emotionale Ablenkung hin. Jedoch ist der Aufmerksamkeitsfokus der Pkw-Fahrerin falsch. Die Pkw-Fahrerin achtet nur auf den fließenden Kfz-Verkehr (von links) auf der bevorrechtigten Straße, nicht jedoch auf den Radverkehr im Seitenraum (von rechts). Es ist daher abzuleiten, dass auch bei einer Verbesserung der oben genannten Infrastrukturmerkmale weiterhin das Konfliktpotential dieser Konstellation an der betrachteten Einmündung besteht.

Der Adressat des Phasenmodells wird dahingehend sensibilisiert, dass die Informationsbereitstellung durch die Infrastrukturmerkmale zufrieden stellend zu sein scheinen. In den Bereichen Fahrzeugtechnik und Verkehrspsychologie ergeben sich jedoch Verbesserungsmöglichkeiten. Aufklärungskampagnen für Kfz-Fahrer im Hinblick auf die mögliche Gefährdung von linksfahrenden Radfahrern sind besonders an Einmündungen mit einseitiger Radverkehrsführung geeignet.

Zieht man zukünftige fahrzeugtechnische Systeme in Betracht, können Unfälle dieser Konstellation durch eine von dem Fahrzeug ausgelöste Warnung bzw. Notbremsung vermutlich vermieden werden. Allerdings ist der Informationszugang für das System, d. h. die Erkennbarkeit des Radverkehrs auf dem Radweg sicherzustellen. Darüber hinaus kommen Maßnahmen der Verkehrserziehung oder entsprechende Kampagnen infrage, die auf die Gefahren linksfahrender Radfahrer hinweisen.

Der Unfallanzeige kann darüber hinaus eine hohe Verletzungsschwere (Fraktur des linken Beines) der Radfahrerin bei geringem Geschwindigkeitsniveau entnommen werden. Einflussfaktoren auf die Unfallfolge sind im Wesentlichen in der Ursachenkategorie Verhaltensfolgen aufgeführt. Aus der Unfallanzeige geht nicht hervor, ob sich die Radfahrerin die Verletzung beim Anprall an die Fahrzeugfront oder im Zuge des anschließenden Sturzes auf die Fahrbahn zugezogen hat. Aufgrund der linksseitigen Verletzung ist von einer durch den Kontakt mit dem Fahrzeug hervorgerufenen Fraktur auszugehen. Somit ist anzunehmen, dass die Folgen bei Unfällen dieser Konstellation gegebenenfalls durch eine Verbesserung der Gestaltung der Fahrzeugfront, d. h. Anpassung der Fahrzeuggeometrie und Steifigkeit, vermindert werden können.

Nach der Unfallanzeige hat die beteiligte Radfahrerin (53 Jahre) mit ihrem Fahrrad regelkonform den Radweg der übergeordneten Straße befahren. Sie sah den Pkw und verlangsamte ihre Geschwindigkeit. Da sie annahm, dass die Pkw-Fahrerin sie wahrgenommen hätte, fuhr sie in den Einmündungsbereich, wo es zum Unfall kam.

Auch der Radfahrerin standen Informationen aus der Infrastruktur bereit, die der Unfallanzeige sowie den Fotos entnommen werden können:

- Der linke Radweg ist durch die Beschilderung mit Zeichen 241 StVO benutzungspflichtig,
- im Bereich der Einmündung ist der Geh-/Radweg farblich durchgezogen und bevorrechtigt.

Den Fotos kann entnommen werden, dass auch für den Radfahrer die Sicht auf den einfahrenden Verkehr nach links durch Büsche verdeckt wird.

Für die Radfahrerin ist die mögliche Konfliktsituation mit dem Pkw aus der wartepflichtigen Richtung nicht eindeutig erkennbar. Durch die Fortführung des Seitenraums über den Einmündungsbereich hinaus wird dem Radverkehr vielmehr mitgeteilt, dass dieser die Fahrt ungehindert fortführen kann (Bild 16). Da der Radfahrer sich regelkonform auf der benutzungspflichtigen Radverkehrsanlage (linker getrennter Geh- und Radweg im Zweirichtungsverkehr) befindet, welche bevorrechtigt ist, ist die Radfahrerin nicht Hauptunfallverursacher.

Die Radfahrerin hat zunächst die Prozessphasen Informationsbereitstellung, Informationszugang, Informationsverarbeitung, Entscheidung und Verhalten fehlerfrei durchgeführt und ihre Geschwindigkeit verlangsamt.



**Bild 16:** Blickrichtung der Radfahrerin bei Unfallbeispiel 1 (Konstellation K1) (Quelle: GIDAS, 2013)

Der Radfahrerin stehen ab dem Zeitpunkt der langsamen Annäherung an den Pkw abgesehen von dem vor ihr befindlichen Pkw keine weiteren Informationen zur Verfügung, um das folgende Verhalten der Pkw-Fahrerin abzuschätzen. Die Radfahrerin ist vermutlich nicht dazu in der Lage zu erkennen, wohin die Pkw-Fahrerin schaut. Entscheidend ist jedoch, dass die Radfahrerin die Information (Pkw steht im Einmündungsbereich) nicht richtig verarbeitet. Sie kommt zu der falschen Einschätzung „die Pkw-Fahrerin gewährt mir Vorfahrt“. Für den Radverkehr besteht zur Vermeidung eines Unfalls dieser Konstellation mit Verkehrssicherheitskampagnen möglicherweise ein hohes Verbesserungspotential, die auf die Gefahren für linksfahrende Radfahrer (auch bei bevorrechtigter Fahrt) aufmerksam machen.

Das Phasenmodell ist für die Analyse von Unfällen dieser Art besonders geeignet, weil es verdeutlicht, dass die Informationsbereitstellung allein nicht für die Unfallentstehung oder -vermeidung wesentlich ist. Der Mensch muss auf der Grundlage der bereitgestellten Information eine Reihe von Denk- und Verhaltensprozessen richtig ausführen um einen Konflikt unfallfrei zu bewältigen. Dazu kann das Modell helfen, den Unfallhergang in seine wesentlichen Bestandteile aufzugliedern und zu untersuchen. Im Ergebnis zeigt das Modell, dass Verkehrssicherheit das Zusammenspiel infrastruktureller, fahrzeugtechnischer und menschlicher Einflussfaktoren ist.

## 7.2 Beispiel der Konstellation K2

An der lichtsignalgeregelten Einmündung hat sich im Jahr 2013 ein Unfall der Konstellation K2 mit Getöteten zugetragen.

Nach Aussage des beteiligten Fahrers eines Sattelzugschleppers (männlich, 32 Jahre alt), befuhr dieser mit seinem Lkw die Zufahrt der lichtsignalisierten Einmündung, um nach rechts abzubiegen. Er hielt bei Rotlicht auf dem Rechtsabbiegestreifen an und fuhr bei Grünlicht an. Als sich die Front der Sattelzugmaschine mittig zwischen Fußgänger- und Radfahrerfurt befand, hielt der Lkw an, da von links kommend zwei Fußgänger die Fußgängerfurt überqueren wollten. Der Lkw-Fahrer hat (nach eigenen Angaben) anschließend nach rechts und links in die Außenspiegel geschaut und ist – da er weder Radfahrer noch Fußgänger sah – wieder angefahren. Im Einmündungsbereich kam es zum Zusammenstoß mit der beteiligten Radfahrerin (Endposition Lkw siehe Bild 17), wobei diese mit ihrem Fahrrad unter den vorderen rechten Reifen der Sattelzugmaschine geriet und tödliche Kopfverletzungen erlitt.

Auf Grundlage des Unfallhergangstextes ist es notwendig zwei Konflikte zu unterscheiden, einer ohne Unfallfolge und einer mit tödlicher Unfallfolge.



**Bild 17:** Endposition des Lkw bei Unfallbeispiel 2 (Konstellation K2) (Quelle: GIDAS, 2013)

Bei dem ersten Konflikt lagen dem Lkw-Fahrer ausreichende Informationen zur Einschätzung der Verkehrssituation vor und der Lkw-Fahrer hat alle Denk- und Verhaltensprozesse zur Vermeidung eines Unfalls fehlerfrei durchgeführt. Durch die Lichtzeichenanlage und die Markierung der Radfahrer- und Fußgängerfurt sowie die querenden Fußgänger, standen dem Lkw-Fahrer ausreichende Informationen hinsichtlich eines möglichen Konflikts mit querenden Fußgängern zur Verfügung (Informationsbereitstellung). Der Kfz-Fahrer hat das Signal, die Furten und die Fußgänger erkannt (Informationszugang). Er hat den möglichen Konflikt mit den Fußgängern angemessen eingeschätzt (Informationsverarbeitung) und daraufhin die richtige Entscheidung „ich muss halten“ getroffen. So konnte er das richtige Verhalten einleiten und an der Fußgängerfurt den Fußgängern Vorrang gewähren.

Bei dem zweiten Konflikt hat der Lkw-Fahrer nach wie vor alle Informationen, die ihm auch beim ersten Konflikt zur Verfügung standen. Darüber hinaus braucht er aber auch die Information, ob ein Radfahrer seinen Weg kreuzen wird. Der Lkw-Fahrer hat nach eigener Aussage (nachdem die Fußgänger die Furt gequert haben) nach Radfahrern Ausschau gehalten, die beteiligte Radfahrer aber nicht gesehen. Es ist anzunehmen, dass die beteiligte Radfahrer zu Beginn der Grünzeit den Einmündungsbereich noch nicht erreicht hatte. Somit lag im Informationszugang ein Fehler vor. Hier soll durch das Phasenmodell verdeutlicht werden, dass die Infrastrukturplanung und der Mensch an die Grenzen ihrer Möglichkeiten hinsichtlich der Unfallvermeidung geraten. Die Infrastruktur hat die Information „querende Radfahrer“ durch die markierte Radfurt bereitgestellt. Der Mensch hat die Informationen soweit richtig umgesetzt, dass er das notwendige Verhalten „nach Radfahrern schauen“ umgesetzt hat. Es ist in dem Fall anzunehmen, dass es dem Lkw-Fahrer nicht möglich war, aus dem Fahrzeug heraus den Radfahrer zu sehen. Der Adressat des Phasenmodells muss also zu dem Ergebnis kommen, dass die Infrastruktur und der Verkehrspsychologie hinsichtlich der Vermeidung dieses Unfalls zwar einen Handlungsspielraum haben (Vorgabe der StVO, mit Schrittgeschwindigkeit abzubiegen, Anordnung von Abbiegeverboten). Durch Anpassung der Einflussfaktoren aus der Fahrzeugtechnik kann möglicherweise ein solcher Unfall in vielen Fällen vermieden werden, unter der Voraussetzung, dass alle Lkw mit entsprechenden wirksamen Systemen ausgestattet sind.

Andernfalls sind durch die Infrastrukturplanung die Fahrwege durch räumliche (Anpassung Knotenpunktgestaltung) oder zeitliche (Anpassung Signalisierung) Trennung gänzlich zu entflechten. Diese Information kann in dem Phasenmodell jedoch nur indirekt durch die Randbedingungen abgebildet werden. Das Modell weist an dieser Stelle nur darauf hin, dass die Lage im Straßennetz (Knotenpunkt) und die Radverkehrsführung zu berücksichtigen sind.

Wird angenommen, dass der Lkw-Fahrer als Schutzbehauptung falsch ausgesagt hat, dass er nach Radfahrern geschaut hätte, liegt der Fehler bei der Informationsaufnahme. In diesem Fall sind menschliche Einflussfaktoren besonders zu berücksichtigen. Der Lkw-Fahrer hat einen falschen Aufmerksamkeitsfokus oder eine falsche Beobachtungsstrategie, daher wird die Radfahrer als Konfliktbeteiligte nicht wahrgenommen. Für die Vermeidung eines Unfalls dieser Konstellation, kommen dann (nur) Maßnahmen der Verkehrserziehung oder entsprechende Kampagnen infrage. Aufgrund der hohen Überrollgefahr sind passive Maßnahmen hier wenig wirkungsvoll

Nach der Unfallanzeige fuhr die beteiligte Radfahrer (weiblich, 70 Jahre alt) mit ihrem Damenrad auf dem rechtsseitigen Radweg in gleicher Richtung wie der Lkw, um den Einmündungsbereich über die Radfurt zu queren. Die Radfahrer versuchte nach Zeugenaussagen den Lkw-Fahrer auf sich aufmerksam zu machen, indem sie gegen das Führerhaus klopfte und "Sehen Sie mich denn nicht?", rief.

Die Radfahrer hat in dem Fall den Konflikt erkannt und wahrgenommen, aber nicht angemessen eingeschätzt (Informationsverarbeitung). Es ist anzunehmen, dass die Radfahrer eine falsche Erwartung hinsichtlich des Verhaltens des Lkw-Fahrers hatte und auf dieser Grundlage ein falsches Verhalten „klopfen und Fahrer ansprechen“ ausgewählt hat und daher den Unfall nicht vermeiden konnte. Für die Prozessphase Informationsverarbeitung und Verhalten ist aus Sicht der Infrastrukturplanung nur den Einflussfaktor zulässige Höchstgeschwindigkeit relevant, welche beeinflusst, wie schnell die Verkehrsteilnehmer sich fortbewegen dürfen und wie viel Zeit ihnen für verschiedene Prozesse zur Verfügung steht. Der Adressat hat in diesem Fall aus dem Unfallhergang abzuleiten, dass die Geschwindigkeiten sehr gering sind und daher keinen negativen Einfluss auf den Unfallhergang haben. Übrig bleiben Einflussfaktoren des Menschen, die nur durch entsprechende Verkehrserziehung oder Kampagnen verbessert werden können.

### 7.3 Beispiel der Konstellation S1

Im Jahr 2007 wurde ein Unfall der Konstellation S1 mit dem ruhenden Verkehr am Fahrbahnrand erfasst, bei dem ein Beteiligter getötet wurde.



**Bild 18:** Endposition der beteiligten Fahrzeuge bei Unfallbeispiel 3 (Konstellation S1) (Quelle: GIDAS, 2007)

Dem Unfallhergangstext ist zu entnehmen, dass die Beifahrerin eines beteiligten Pkw (weiblich, 45 Jahre) die vordere rechte Fahrzeurtür zunächst zu drei Vierteln geöffnet hatte. Anschließend schaute sie zu ihren Kindern auf dem Rücksitz. In diesem Moment kollidierte der beteiligte Radfahrer (67 Jah-

re) mit der Beifahrertür. Weitere Anmerkungen zu den gedanklichen Vorgängen der Beifahrerin können der polizeilichen Anzeige nicht entnommen werden.

Aufgrund des geringen Informationsumfangs ist nicht genau abzuleiten, wo der Fehler im Unfallhergang lag. Wird angenommen, dass die Beifahrerin, den Radfahrer nicht gesehen hat, ist der Fehler hinsichtlich der Informationsbereitstellung, -zugang, -aufnahme und -verarbeitung einzugrenzen.

Den Fotos kann entnommen werden, dass im Seitenraum ein Radweg vorhanden ist, der sich durch das Material (Asphalt) von dem Gehweg (Gehwegplatten) unterscheiden lässt. Ansonsten stehen der Beifahrerin keine Informationen zur Verfügung, die auf den Radverkehr hinweisen (Informationsbereitstellung). Ein warnendes aktives Assistenzsystem (Ausstiegswarnung) ist für Unfälle von Radfahrern mit dem ruhenden Verkehr eine geeignete Maßnahme, welche jedoch derzeit Einsatzgrenzen aufweist. Allerdings ist bei dem betrachteten Unfall zu berücksichtigen, dass die Tür bereits geöffnet war.

Darüber hinaus haben die Kinder auf dem Rücksitz für die Beifahrerin eine Ablenkung dargestellt (Informationsaufnahme). Möglich ist jedoch auch, dass die Beifahrerin eine falsche Erwartung über das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer hatte (Informationsverarbeitung). Es kann angenommen werden, dass sie davon ausgegangen ist, dass die geöffnete Tür für Radfahrer und Fußgänger deutlich erkennbar ist und dass sie damit ohne Beachtung der übrigen Verkehrsteilnehmer im Seitenraum aus dem Fahrzeug aussteigen kann.

Unklar ist, warum der Radfahrer der geöffneten Beifahrertür nicht ausgewichen ist. Um Unfälle mit dem ruhenden Verkehr zu vermeiden, werden in der Infrastrukturplanung Sicherheitstrennstreifen empfohlen.

Hinsichtlich der relevanten Einflussfaktoren auf den Radfahrer können aufgrund des geringen Informationsumfangs keine Aussagen getroffen werden.

## 7.4 Beispiel der Konstellation S2

Im Jahr 2013 wurde außerorts ein Unfall der Konstellation S2 erfasst, bei dem ein Beteiligter getötet wurde (Bild 19).

Nach der Unfallanzeige ereignete sich der Unfall bei Dunkelheit und nassem/feuchtem Straßenzustand. Die beteiligte Pkw-Fahrerin (weiblich, 61 Jahre) fuhr dabei gegen das Hinterrad des Fahrrads der beteiligten Radfahrerinnen (weiblich, 25 Jahre). Die Pkw-Fahrerin wollte sich bezüglich des Unfallhergangs nicht äußern.

Die Radfahrerinnen konnten aufgrund ihrer Verletzungen nicht befragt werden. Ob die Radfahrerinnen das Fahrradlicht eingeschaltet hatte, ist nicht bekannt. Sie trug zum Unfallzeitpunkt eine gelbe Warnweste sowie einen neon-grünen Rucksack.



**Bild 19:** Endposition des beteiligten Kfz bei Unfallbeispiel 4 (Konstellation S2) (Quelle: GIDAS, 2013)

Da sich die Unfallbeteiligten nicht detailliert zu dem Unfallhergang äußern wollen oder können, kann der Unfallhergang nicht genau rekonstruiert werden. Laut Angaben der Polizei ist der Pkw mit der rechten Fahrzeugfront ungebremst gegen das Hinterrad des Fahrrads gefahren. Den Fotos zum Unfallort ist zu entnehmen, dass es sich bei dem Unfallort um eine zweistreifige Landstraße ohne begleitenden Geh- und Radweg handelt. Nach dem Unfallbericht der Unfallforschung ist die Radfahrerinnen daher auf der rechten Fahrbahnseite gefahren.

Für die Pkw-Fahrerin stand (außer der Radfahrerinnen selbst) keine Information hinsichtlich eines möglichen Konflikts mit Radverkehr zur Verfügung. Die Radfahrerinnen wurden aber trotz ihrer auffälligen Kleidung offensichtlich nicht erkannt oder die Kfz-Fahrerin war abgelenkt. Die Fehler aus Sicht der Pkw-Fahrerin sind daher der Informationsbereitstellung, dem Informationszugang oder der Informationsaufnahme zuzuordnen.

Die Radfahrerinnen wiederum scheinen sich der Problematik der Sichtbarkeit bei Dunkelheit bewusst zu sein und daher eine gelbe Weste zu tragen (und gegebenenfalls ihr Fahrradlicht eingeschaltet zu haben). Zudem scheint sie nah am Fahrbahnrand gefahren zu sein. Die von ihr gewählten Maßnahmen zur Vermeidung eines Konflikts sind jedoch nicht zielführend gewesen.

Der Anwender des Phasenmodells muss auf Grundlage der Randbedingung „Lage in Bezug zu bebauten Gebieten“ selbstständig zu dem Ergebnis kommen, dass sich zur Vermeidung eines Unfalls der betrachteten Konstellation kaum Maßnahmen ergreifen lassen.

Der Unfall ist jedoch gegebenenfalls durch zukünftige aktive Fahrzeugsysteme adressierbar. Problematisch ist, dass auf Grundlage des Modells keine Abschätzung getroffen werden kann, inwieweit passende Systeme bereits auf dem Markt zur Verfügung stehen und wie schwierig die Implementierung dieser Systeme ist.

### 7.5 Beispiel der Konstellation S3

Im Jahr 2008 wurde an einer Grundstückszufahrt ein Unfall der Konstellation S3 erfasst, bei dem ein Beteiligter leicht verletzt wurde. Dabei fuhr der beteiligte Pkw-Fahrer (männlich, 38 Jahre) aus einer Grundstückszufahrt mit der Absicht, nach links einzubiegen. Auf dem Gehweg fuhr regelwidrig der beteiligte Radfahrer (keine weiteren Angaben vorliegend) und kollidiert mit dem ausfahrenden Pkw.



**Bild 20:** Blickrichtung Pkw-Fahrerin bei Unfallbeispiel 5 (Konstellation S3) (Quelle: GIDAS, 2008)



**Bild 21:** Blickrichtung Radfahrerin bei Unfallbeispiel 5 (S3) (Quelle: GIDAS, 2008)

Da keine Aussagen der Beteiligten zum Unfallhergang vorliegen, ist die Rekonstruktion der Wahrnehmungs- und Verhaltensprozesse nicht möglich. Den Fotos kann entnommen werden, dass die Sicht des

Pkw-Fahrers auf den Gehweg durch die Einzäunung eingeschränkt ist (Bild 20).

Ebenso ist die Grundstückszufahrt vom Gehweg kaum einsehbar. Lediglich die vom asphaltierten Gehweg durch Pflasterung zu unterscheidende Oberfläche im Bereich der Grundstückszufahrt kann als hinweisendes Hilfsmittel erkannt werden (Bild 21).

Ohne weitere Daten ist die Identifizierung der primären Unfallursache nicht möglich, daher können auch die relevanten Einflussfaktoren nicht identifiziert werden. Auf der geringen Datengrundlage kann das Phasenmodell lediglich helfen, hinsichtlich möglicher Einflussfaktoren sensibilisiert zu werden.

### 7.6 Schlussfolgerungen

Auf Grundlage der Unfallbeispiele konnte dargestellt werden, wie auf Grundlage des Phasenmodells der Unfallhergang in einzelne Prozessbestandteile zerlegt werden kann, um die zugehörigen Einflussfaktoren entsprechend zu unterscheiden.

Die Prozessphasen können dann einzeln abgearbeitet werden. Das Phasenmodell nennt für jede Prozessphase eine begrenzte Anzahl von Einflussfaktoren, allerdings in allgemeiner Form. Der Anwender muss selbstständig auf Grundlage der ihm zur Verfügung stehenden Daten überprüfen, welche spezifischen Einflussfaktoren vorliegen. Das Modell setzt damit ein Verständnis für relevante Zusammenhänge in der Radverkehrssicherheit voraus. Die Einflussfaktoren zeigen Möglichkeiten auf, geeignete Maßnahmen zur Unfallvermeidung abzuleiten.

Entscheidend ist, wie detailliert die zur Verfügung stehende Datengrundlage ist und ob Aussagen der Unfallbeteiligten vorliegen, um deren Denkprozesse nachzuvollziehen. Der Adressat wird dadurch für Wirkungszusammenhänge sensibilisiert, muss jedoch selbstständig bewerten, ob die Einflussfaktoren unfallbegünstigend, unfallvermeidend oder wirkungslos sind.

## 8 Fazit und Ausblick

Das vorliegende Forschungsprojekt verfolgt einen interdisziplinären Ansatz, um Radverkehrsunfälle aus Sicht der drei Fachdisziplinen Infrastrukturplanung, Verkehrspsychologie und Fahrzeugtechnik zu analysieren und zu bewerten.

Bereits die Grundlagenanalyse macht deutlich, dass die Radverkehrssicherheit durch die Fachdisziplinen unterschiedlich behandelt wird. Die Infrastrukturplanung versucht in der Regel auf Grundlage des Unfallgeschehens Infrastrukturmerkmale

(z. B. Führungsformen für den Radverkehr) zu bewerten. Maßnahmen entsprechen häufig einer Anpassung der unfallursächlichen infrastrukturellen Einflussfaktoren selbst und sind entsprechend nur lokal wirksam (z. B. Änderung der Führung des Radverkehrs). Die Verkehrspsychologie beschäftigt sich dagegen nicht ausschließlich mit Unfällen, sondern mit dem Erleben und Verhalten von Menschen im Verkehr in Interaktion mit der Infrastruktur und dem Fahrzeug sowie den zugrunde liegenden psychischen Prozessen. Einflussfaktoren des Menschen (z. B. Persönlichkeitsmerkmale) sind kaum oder nur sehr schwierig anzupassen. Persönlichkeitsmerkmale, Einstellungen oder Erwartungen sind zwar teilweise sehr änderungsresistent, kommunikative Maßnahmen zur Sensibilisierung für die Gefahren als Radfahrende im Straßenverkehr sind dennoch wichtig. Längerfristig können sich dadurch solche Einflussfaktoren ändern. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn bestimmte Erwartungen durch Auflösung von Wissensdefiziten angepasst werden.

Allerdings können aus verkehrspsychologischen Erkenntnissen Maßnahmen der Infrastrukturplanung und Fahrzeugtechnik abgeleitet werden. Die Fahrzeugtechnik verknüpft die Bewertung der Verkehrssicherheit mit der Erfüllung definierter Prüfanforderungen, die aus den relevantesten bzw. schwerwiegendsten Unfallszenarien abgeleitet werden. Es werden weniger unfallursächliche fahrzeugtechnische Einflussfaktoren, sondern vielmehr Maßnahmen im Sinne von Schutzsystemen der aktiven und passiven Sicherheit betrachtet, die vor allem ortsunabhängig wirksam sind.

Für die Analyse der Radverkehrssicherheit auf Grundlage von Unfalldaten ist eine Fokussierung auf ausgewählte Konstellationen notwendig, die Unfälle bezüglich der räumlichen und zeitlichen Interaktion von Unfallbeteiligten in einem baulichen und situativen Kontext beschreiben und klassifizieren. Die ausgewählten Merkmale der Konstellation sind nicht für alle Fachdisziplinen gleichermaßen relevant, sind jedoch als Gerüst für eine interdisziplinäre Bewertung der Einflussfaktoren auf die Radverkehrssicherheit notwendig. Es wurden fünf Konstellationen abgeleitet, die auf Grundlage der zuvor gewonnenen Erkenntnisse, u. a. aus Analyse der Unfallstatistik bzw. der Literatur als relevant eingeschätzt wurden.

Zu diesen Konstellationen wurden in der GIDAS insgesamt 1.125 Unfälle der Jahre 2005 bis 2018 identifiziert. Aus dieser Datenstichprobe wurde eine Unterstichprobe von 40 Unfällen entnommen und jeder Unfall interdisziplinär im Dialog hinsichtlich relevanter Einflussfaktoren bewertet. Unabhängig von dem Hauptunfallverursacher sowie der Regelkonformität des Verhaltens der Beteiligten wurde diskutiert, ob durch die Veränderung eines Einflussfaktors der Infrastruktur, des Menschen oder des Fahrzeugs der

Unfall bzw. die Unfallfolge verhindert bzw. vermindert hätte werden können. Dabei wurden durch die Infrastrukturplanung die Infrastrukturmerkmale auf Grundlage der Angaben der Polizei zum Unfallort aus der Unfallanzeige, den Fotos aus der Datenbank der GIDAS sowie aus im Internet frei zugänglichen Luftbildern entnommen. Darauf aufbauend wurden aus Sicht der Verkehrspsychologie auf Grundlage der Aussagen der Beteiligten aus den Unfallanzeigen der Polizei menschliche Einflussfaktoren untersucht. Diese Datengrundlage war dabei jedoch deutlich weniger ergiebig als bei der Infrastrukturplanung. Im Wesentlichen wurden daher die Wahrnehmung und das Verständnis der verkehrlichen Situation bewertet. Relevante Informationen für die Fahrzeugtechnik waren in geringem Umfang (Angaben zur Fahrzeugart und zum Hersteller in der Unfallanzeige) vorhanden. Zudem konnte bei den betrachteten Unfällen aller Konstellationen weder eine erfolgte Warnung noch ein Eingriff durch ein Fahrzeugassistenzsystem festgestellt werden. Daher wurde insbesondere diskutiert, ob die betrachteten Konstellationen durch verfügbare bzw. zukünftige Assistenzsysteme adressiert werden können.

Auf Grundlage der gewonnenen Ergebnisse wurde eine Anleitung zur interdisziplinären Analyse von Radverkehrsunfällen entwickelt, die dem Adressaten ein Vorgehen aufzeigt, um die Radverkehrssicherheit auf Grundlage von Unfalldaten zu analysieren. Im Ergebnis soll der Adressat im Rahmen einer Unfalldatenanalyse auf Grundlage des Unfallgeschehens ausgewählter Unfallkonstellationen in die Lage versetzt werden, die relevanten Einflussfaktoren für die identifizierten menschlichen (oder systemseitigen) Fehler im Unfallhergang herauszuarbeiten, um daraus Maßnahmen zur Vermeidung von Radverkehrsunfällen zu entwickeln. Dazu wird dem Adressaten ein Phasenmodell für Unfälle mit Beteiligung von Kfz und Radfahrern zur Verfügung gestellt. In dem Phasenmodell werden den Prozessphasen (Informationsbereitstellung, Informationszugang, -aufnahme, -verarbeitung, Entscheidung, Verhalten und Verhaltensfolge) Einflussfaktoren der Infrastruktur, des Fahrzeugs oder des Menschen auf Radverkehrsunfällen zugeordnet. Mit beispielhaften Darstellungen des Analysevorgehens wird demonstriert, wie für Wirkungszusammenhänge sensibilisiert wird.

Der im Rahmen des Projekts erarbeitete erste Ansatz des Phasenmodells für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Analyse von Radverkehrsunfällen bedarf einer Evaluierung in der Praxis. Eine wesentliche Frage ist, ob das disziplinübergreifende Phasenmodell der Einflussfaktoren die Bedarfe der unterschiedlichen Anwendergruppen abdeckt. In Forschungsprojekten müssten dazu die Anwender nach einer Analyse des Tätigkeitsfelds begleitet und

die Praktikabilität des Modells überprüft werden. Gütekriterien der Bewertung sind beispielsweise die Verständlichkeit (disziplinübergreifend), die Verfügbarkeit der erforderlichen Informationen oder der Nutzen. Ergebnis müsste es sein, das Modell zu optimieren und gegebenenfalls an die Bedarfe einzelner Nutzergruppen speziell anzupassen. Darüber hinaus ist das Modell für die Anwendung bei Unfällen ohne weitere Beteiligte (Alleinunfall eines Radfahrers) bzw. bei Unfällen mit anderen bisher nicht betrachteten Beteiligten (z. B. Radfahrer-Fußgänger-Unfälle, Radfahrer-Radfahrer-Unfälle) weiter zu entwickeln. Wissenslücken bestehen hinsichtlich der Wirkung interdisziplinärer Maßnahmenbündel, die sich aus der interdisziplinären Betrachtung der Einflussfaktoren ergeben.

Durch die gemeinsame Projektbearbeitung konnten die Auftragnehmer der einzelnen Fachdisziplinen für die jeweiligen Denk- und Verfahrensweisen der anderen Disziplinen sensibilisiert werden. Nicht möglich war es jedoch, im Rahmen des Projekts sich das Fachwissen aus den jeweils anderen Fachdisziplinen anzueignen. Entsprechend kann auch der Adressat des Phasenmodells nur für relevante Einflussfaktoren aus allen drei Fachdisziplinen sensibilisiert werden und muss im Bedarfsfall Experten der entsprechenden Fachdisziplinen zur Beratung hinzuziehen.

Die entwickelte Anleitung zur Analyse von Radverkehrsunfällen sollte ergänzend zu den bisherigen Verfahren der Verkehrssicherheitsarbeit genutzt werden. Es kann und sollte insbesondere dann zum Einsatz kommen, wenn das Unfallgeschehen durch die gängigen Methoden nicht plausibel erklärbar bzw. lösbar ist. Ebenso kann es in der Verkehrssicherheitsforschung je nach spezifischer Fragestellung (in weiter entwickelter Form) zum Einsatz kommen, wenn neben der Unfallanalyse weitere Hintergrundforschung betrieben werden soll.

## Literatur

- ALRUTZ, D.; BOHLE, W.; MÜLLER, H.; PRAHLOW, H. (2009): Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 184. Bergisch Gladbach.
- ALRUTZ, D.; BOHLE, W.; MAIER, R.; ENKE, M.; POHLE, M.; ZIMMERMANN, F.; ORTLEPP, J.; SCHREIBER, M. (2015a): Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Forschungsbericht Nr. 29. Berlin.
- ALRUTZ, D.; BOHLE, W.; BUSEK, S. (2015b): Nutzung von Radwegen in Gegenrichtung - Sicherheitsverbesserung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 261. Bergisch Gladbach.
- AUDI AG (2018): Ausstiegswarnung. <https://www.audi-mediacyber.com/de/technik-lexikon-7180/fahrerassistenzsysteme-7184>, letzter Zugriff: 15.2.2018.
- BADKE-SCHAUB, P. (2004): Human Factors-Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen. 2. Auflage.
- BAIER, M.; SCHÄFER, K.; KLEMPES-KOHNNEN, A. (2009): Verbesserung der Verkehrssicherheit älterer Verkehrsteilnehmer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, SV-Projekt 5003-07. Berlin.
- BAIER, R.; JANSEN, P. G.; SCHÄFER, K. H.; WAGNER, D. (1987): Verkehrssicherheitsarbeit in den Kommunen, Anregungen für Planung und Durchführung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 62. Bergisch Gladbach.
- BAIER, R.; GÖBBELS, A.; KLEMPES-KOHNNEN, A. (2013): Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 228. Bergisch Gladbach.
- BAIER, R.; LEU, P.; RITTERHAUS, J. (2015): Führung des Radverkehrs an Landstraßen. Bericht zum FE 21.0055/2013, vorgesehen zur Veröffentlichung in: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik. Bergisch Gladbach.
- BAMBACH, M. R., MITCHELL, R. J., GRZEBIETA, R. H., OLIVER, J. (2013): The effectiveness of helmets in bicycle collisions with motor vehicles: A case-control study. In: Accident Analysis & Prevention 53, S. 78-88.
- BAY AREA BICYCLE LAW (2018): Common Bicycle Accidents: How to Avoid Getting Hit by a Car Pulling Onto Your Road. <https://bayareabicycledlaw.com/common-bicycle-accidents-how-to-avoid-getting-hit-by-a-car-pulling-onto-your-road/> - letzter Zugriff: 20.3.2018.
- von BELOW, A.; HOLTE, H. (2014): Psychologische Aspekte des Unfallrisikos für Motorradfahrerinnen und -fahrer. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 247. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- von BELOW, A. (2016): Verkehrssicherheit von Radfahrern: Analyse sicherheitsrelevanter Motive, Einstellungen und Verhaltensweisen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 264. Bergisch Gladbach.

- BFU - Beratungsstelle für Unfallverhütung. (2013). SINUS-Report 2013: Sicherheitsniveau und Unfallgeschehen im Strassenverkehr 2012. Bern: bfu.
- BOELE-VOS, M. J.; van DUIJVENVOORDE, K.; DOUMEN, M. J. A.; DUIJVENVOORDE, C. W. A. E.; LOUWERSE, W. J. R.; DAVIDSE, R. J. (2017): Crashes involving cyclists aged 50 and over in the Netherlands: An in-depth study. In: *Accident Analysis & Prevention* 105, S. 4-10.
- BONDZIO, L.; SCHEIT, M.; BERGHAUS, B.; BISSANTZ, B.; BAKABA, E.; ORTLEPP, J. (2017): Sicherung von bevorrechtigten umlaufenden Radwegen an innerörtlichen Kreisverkehren. Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Forschungsbericht Nr. 46.
- ROBERT BOSCH GMBH (2017): Bosch eBike ABS. <https://www.bosch-ebike.com/de/produkte/abs/>, letzter Zugriff: 30.11.2017.
- BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN BAST (2017): Daten & Fakten kompakt 01/17.
- BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN BAST (2015): Unfallforschung – GIDAS. Informationen auf der Internetseite der BAST. <http://www.bast.de/DE/Fahrzeugtechnik/Fachthemen/f2-gidas/f2-gidas.html>
- BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN BAST (n.a.): Maßnahmenkatalog gegen Unfallhäufungen. Ziele des Maßnahmenkatalogs. <https://ma-kau.bast.de> - letzter Zugriff: 26.5.2017.
- BÜRGLIN, J., GARDAS-SCHMID, D., & PLATHO, C. (2017): Identifikation der Anspracheformen gefährdeter Motorradfahrertypen. Abschlussbericht zum Projekt [FE 82.0603/2013] für die Bundesanstalt für Straßenwesen.
- CHUANG, K.H.; HSU, C.C.; LAI, C.H.; DOONG, J.L.; JENG, M.C. (2013): The use of aquasi-naturalistic riding method to investigate bicyclists' behaviors when motorists pass. In: *Accident Analysis & Prevention* 56, S. 32-41.
- DAUBITZ, S.; SCHWEDES, O.; KLINDWORTH, V. (2015): Von der Verkehrserziehung zur Mobilitätsbildung. IVP-Discussion Paper. 01/2015. Berlin.
- DEUTSCHER VERKEHRSSICHERHEITSRAT e.V. (DVR) (2003): Unfälle in der Dunkelheit. Dokumentation eines Expertengesprächs beim Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften auf Einladung des Deutschen Verkehrssicherheitsrates e. V. Schriftenreihe Verkehrssicherheit Heft 12. Bonn.
- DIFU (2010): Forschung Radverkehr: Bewertung der Radverkehrsqualität – Methoden der Wirkungskontrolle und stadtweite Fahrradbilanzen. Ausgabe 2010. Deutsches Institut für Urbanistik.
- DIN VDE 31000 Teil 2 (1987): Allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse – Begriffe der Sicherheitstechnik, Grundbegriffe. Deutsches Institut für Normung e.V.. Berlin.
- DOZZA, M.; SCHINDLER, R.; PICCININI, G.; KARLSSON, J. (2016): How do drivers overtake cyclists? In: *Accident Analysis and Prevention* 88, S. 29-36.
- ELVIK, R. (2009): The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport. In: *Accident Analysis & Prevention* 41(4), S. 849-855.
- DVW (2019). Begleitetes Fahren ab 17. <https://deutsche-verkehrswacht.de/themen/autofahren-lernen-bf-17/>, Letzter Zugriff am 16.09.2019.
- Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA) (2010). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Köln.
- EVGENIKOS, P.; YANNIS, G.; FOLLA, K.; BAUER, R.; MACHATA, K.; BRANDSTAETTER, C. (2016): How safe are cyclists on European roads? In: *Transportation Research Procedia* 14, S. 2372-2381.
- FAHLSTEDT, M.; HALLDIN, P.; KLEIVEN, S. (2014): Importance of the Bicycle Helmet Design and Material for the Outcome in Bicycle Accidents. Proceedings, International Cycling Safety Conference 2014, S. 18-19, Göteborg (SWE).
- FOLLMER, R.; GRUSCHWITZ, D.; JESKE, B.; QUANDT, S.; LENZ, B.; NOBIS, C.; MEHLIN, M. (2010): Mobilität in Deutschland 2008 Ergebnisbericht. Struktur–Aufkommen–Emissionen–Trends. ifas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH. Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt eV. Bonn und Berlin.
- FREDRIKSSON, R.; RANIJBAR, A.; ROSEN, E. (2015): Integrated Bicyclist Protection Systems - Potential of Head Injury Reduction combining Passive and Active Protection Systems. ESV Paper 15-0051, 24th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), S. 8.-11, Göteborg (SWE).
- FRIEMEL, THOMAS N.; BONFADELLI, HEINZ (2015): Rezeption und Wirkung der Kampagne Slow Down. Take it Easy 2009 bis 2012. In: Klimmt, C., Maurer, M., Holte, H., Baumann, E. (Hrsg.): Verkehrssicherheitskommunikation. Wiesbaden: Springer VS, S. 135-157.
- GEHLERT, T.; KRÖLING, S. (2018): Verkehrssicherheit. In: Schwedes, O. (Hrsg.): Verkehrspolitik. Wiesbaden: Springer VS, S. 271-292.

- GERLACH, J.; KESTING, T.; THIEMEYER, E.-M. (2009): Möglichkeiten der schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 185. Bergisch Gladbach.
- GERLACH, J.; SEIPELI, S.; POSCHADEL, S.; BOENKE, D. (2014): Sichere Knotenpunkte für schwächere Verkehrsteilnehmer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Forschungsbericht Nr. 23. Berlin.
- de GEUS, B.; VANDENBULCKE, G.; PANIS, L. I.; THOMAS, I.; DEGRAEUWE, B.; CUMPS, E.; AERTSENS, J.; TORFS, R.; MEEUSEN, R. (2012): A prospective cohort study on minor accidents involving commuter cyclists in Belgium. In: *Accident Analysis & Prevention* 45, S. 683-693.
- GIMM, K.; KNAKE-LANGHORST, S.; DOTZAUER, M.; URBAN, U.; ARNDT, R. (2016): Increasing cyclist safety with infrastructural supported cooperative ADAS in EU XCYCLE by extending test site AIM Research Intersection - concept & status. EU-Projekt XCYCLE, Proceedings, International Cycling Safety Conference 2016, Bologna (ITA).
- GOHL, I.; SCHNEIDER, A.; STOLL, J.; WISCH, M.; NITSCH, V. (2016): Car-to-cyclist accidents from the car driver's point of view. EU project PROSPECT (Proactive Safety for Pedestrians and Cyclists), Proceedings, International Cycling Safety Conference 2016, Bologna (ITA).
- GONTER, M.; SEIFFERT, U.; SCHWARZ, T.; ZOBEL, R. (2013): Fahrzeugsicherheit. In: Braess, H.; Seiffert, U. (Hrsg.): *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 985-1038.
- HAMACHER, M.; KÜHN, M.; HUMMEL, T. (2017): Effectiveness of Pedestrian Safety Measures at the Vehicle Front with regard to Cyclists. ESV Paper 17-0177, 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Detroit (USA).
- HAGENZEIKER, M. (2014): Distraction among bicyclists and pedestrians. Presentation at the OECD/TIF Seminar on distracted driving and fatigue, Paris (FRA).
- HOHENADEL, D. (1983): Symposium'82 – Wirksamkeit von Verkehrssicherheitsmaßnahmen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Unfall- und Sicherheitsforschung, Heft 41.
- HOLTE, H. (2012): Einflussfaktoren auf das Fahrverhalten und das Unfallrisiko junger Fahrerinnen und Fahrer. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 229. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- HOLTE, H.; PFAFFEROTT, I. (2015): Wirkungsmechanismen und Erfolgsfaktoren von Verkehrssicherheitskampagnen. In: Klimmt C., Maurer M., Holte H., Baumann E. (Hrsg.): *Verkehrssicherheitskommunikation*. Wiesbaden: Springer VS, S. 99-116.
- HÖVDING (2017): Wie der Hövding funktioniert. <https://hovding.de/wie-der-hovding-funktioniert/>, letzter Zugriff: 30.11.2017
- HUEMER, A. K.; BUTTERSACK, H.; LAUBERSHEIMER, S.; FÜHRER, R. (2015): Motivation for traffic-rule infringements among cyclists in Germany. Presentation at the 4th International Conference on Cycling Safety, Hannover.
- HUEMER, A. K.; ECKHARDT-LIEBERAM, K. (2016): Regelkenntnisse bei deutschen RadfahrerInnen: Onlinebefragungen unter Erwachsenen und SchülerInnen. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 62(5), S. 250-260.
- JOHANNSEN, H.; JÄNSCH, M. (2017): Analysis of Single-Bicycle Accidents. 6th Annual International Cycling Safety Conference, Davis, California (USA).
- JOHANNSEN, H. (2013): Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion: Grundlagen der Unfallaufklärung (ATZ/MTZ-Fachbuch), Springer Vieweg, 2013
- JOHNSON, M.; NEWSTEAD, S.; OXLEY, J.; CHARLTON, J. (2013): Cyclists and open vehicle doors: crash characteristics and risk factors. *Safety Science* 59, S. 135-140.
- JÜRGENSOHN, T.; SCHWARZ, J., HESS, R.; PLATHO, C. (2017): Sicherheitspotentiale durch Fahrradhelme. Studie im Auftrag der Bundesländer Baden-Württemberg und Thüringen.
- JÜRGENSOHN, T.; BÖHME, S.; GARDAS, D.; STEPHANI, T. (2018): Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 280.
- JUHRA, C.; WIESKÖTTER, B.; CHU, K.; TROST, L.; WEISS, U.; MESSERSCHMIDT, M. (2012): Bicycle accidents - Do we only see the tip of the iceberg? A prospective multi-centre study in a large German city combining medical and police data. In: *Injury* 43, S. 2026-2034.
- KLEBELSBERG, D. (1982): Fahreignung. In: Klebelsberg, D. (Hrsg.): *Verkehrspsychologie*. Berlin und Heidelberg: Springer, S. 153-184.
- KLIMMT, C.; MAURER, M.; BAUMANN, E. (2014): Prozessevaluation der Kampagnenfortsetzung 2011-2012 „Runter vom Gas!“. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 246. Bergisch Gladbach.

- KLIMMT, C.; MAURER, M. (2015): Rezeption und Wirkung einer längerfristigen Kampagne: Runter vom Gas!, 2008 bis 2010. In: Klimmt, C., Maurer, M., Holte, H., Baumann, E. (Hrsg.): Verkehrssicherheitskommunikation. Wiesbaden: Springer VS, S. 117-133.
- KOLREP-ROMETSCH, H.; LEITNER, R.; PLATHO, C.; RICHTER, T.; SCHREIBER, A.; SCHREIBER, M.; BUTTERWEGGE, P. (2013): Abbiegeunfälle Pkw/Lkw und Fahrrad. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Unfallforschung der Versicherer, Forschungsbericht Nr. 21. Berlin.
- KREMS, J. F.; VOLLRATH, M. (2011): Verkehrspsychologie: Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- KUBITZKI (2013): Nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer und Pedelec-fahrer. München.
- KULLGREN, A.; RIZZI, M.; STIGSON, H.; YDENIUS, A.; STRANDROTH, J. (2017): The Potential of Vehicle and Road Infrastructure Interventions in Fatal Pedestrian and Bicyclist Accidents on Swedish Rural Roads - What Can In-Depth Studies Tell Us?. ESV Paper 17-0284, 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Detroit (USA).
- KURT, M.; LAKSARI, K.; KUO, C.; GRANT, G., A.; CAMARILLO, D., B. (2016): Modeling and Optimization of Airbag Helmets for Preventing Head Injuries in Bicycling. In: Annals of Biomedical Engineering 45(4), S. 1148-1160.
- LAMONDIA, J.; BURMESTER, B. (2017): Comparing Preferred-Safe Cycling Infrastructure Networks that Support Safety Perceptions of Cautious Versus Experienced Cyclists. Paper zu 6th Annual International Cycling Safety Conference.
- LIMBOURG, M. (1997): Kinder unterwegs im Verkehr. In: Deutsche Verkehrswacht 3, S. 1-42.
- MAIER, R.; BERGER, R.; SCHMOTZ, M.; BÄRWOLFF, M.; SCHIMPF, M.; BUTTERWEGGE, P.; ORTLEPP, J. (2016): Kostengünstige Maßnahmen an Unfallhäufungen im Vorher/Nachher-Vergleich. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Forschungsbericht Nr. 42. Berlin.
- MARBE, K. (1926): Praktische Psychologie der Unfälle und Betriebsschäden. München: Oldenbourg.
- MARTINEZ-RUIZ, V.; JIMENEZ-MEJIAS, E.; AMEZCUA-PRIETO, C.; OLMEDO-REQUENA, R.; de DIOS LUNA-del-CASTILLO, J.; LARDELLI-CLARET, P. (2015): Contribution of exposure, risk of crash and fatality to explain age- and sex-related differences in traffic-related cyclist mortality rates. In: Accident Analysis & Prevention 76, S. 152-158.
- MAYER, G.; HAASTERT, J. (2003): Grundlagen zur quantitativen Sicherheitsbewertung von Straßentunneln. In: Perspektiven für das Straßenwesen, Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau Nr. 43, Institut für Straßenwesen, Aachen. Aachen.
- Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko) (2012). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Köln.
- MWAKALONGE, J.L.; WHITE, J.; SIUHI, S. (2014): Distracted Biking: A Review of the Current State-of-Knowledge. In: International Journal of Traffic and Transport Engineering 3(2), S. 42-51.
- MWAKALONGE, J.L.; SIUHI, S.; WHITE, J. (2015): Distracted walking: Examining the extent to pedestrian safety problems. In: Journal of Traffic and Transport Engineering (English version) 2(5), S. 327-337.
- O'HERN, S.; OXLEY, J.; STEVENSON, M. (2017): Validation of a bicycle simulator for road safety research. In: Accident Analysis & Prevention 100, S. 53-58.
- OHLIN, M.; STRANDROTH, J.; TINGVALL, C. (2014): The Combined Effect of Vehicle Frontal Design, Speed Reduction, Autonomous Emergency Braking and Helmet Use in Reducing Real Life Bicycle Injuries. Proceedings, International Cycling Safety Conference 2014, Göteborg (SWE).
- OHM, D.; FIEDLER, F.; ZIMMERMANN, F.; KRAXENBERGER, T.; MAIER, R.; HANTSCH, S.; OTTO, M. (2015): Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 257. Bergisch Gladbach.
- ORTLEPP, J. (2009): Verbesserung der Verkehrssicherheit in Münster – Ein Pilotprojekt zur systematischen Unfallanalyse in Kommunen. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Unfallforschung der Versicherer, Unfallforschung kompakt Nr. 10. Berlin.
- OTTE, D., JÄNSCH, M., WIESE, B. (2014): Injury severity and causation factors of motorcyclists in traffic accidents in comparing drivers of motorcycle and all kinds of motorized two-wheelers. MSC International Motorcycle Safety Conference Orlando USA.
- OTTE, D., JÄNSCH, M., HAASPER, C. (2012): Injury protection and accident causation parameters for vulnerable road users based on German In-Depth Accident Study GIDAS. In: Accident Analysis & Prevention 44, S. 149–153.

- PLATHO, C.; PAULENZ, A.; KOLREP, H. (2016): Wahrnehmungspsychologische Analyse der Radfahraufgabe. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 267. Bergisch Gladbach.
- POKORNY, P.; PITERA, K. (2016): Risk Factors in Bicycle-Truck Encounters. Proceedings, International Cycling Safety Conference 2016, Bologna (ITA).
- PUND, B.; DUNTSCH, K.; JAENSCH, M.; OTTE, D. (2013): Application possibilities of the Accident Causation Analysis System ACAS using an example of an extreme group comparison of older and younger drivers. In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Unterreihe Fahrzeugtechnik, Heft F 87.
- RASLAVICIUS, L.; BAZARAS, L.; KERSYS, R. (2017): Accident Reconstruction and Assessment of Cyclist's Injuries Sustained in Car-to-Bicycle Collision. *Procedia Engineering* 187, S. 562-569.
- REASON, J. (1990): Human error. Cambridge university press.
- REINARTZ, A.; ASSMUSS, D.; BAIER, M. (2018): Bestandaufnahme zur Bewertung der Wirksamkeit von innerörtlichen Radverkehrsmaßnahmen. (unveröffentlichter 1. Zwischenbericht zum FE 82.0671/2016).
- Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), (2012). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Köln.
- Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt), (2006). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Köln.
- Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN) (2008). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Köln.
- RÖHLING, W.; BURG, R.; SCHÄFER, T.; WALTHER, C. (2008): Kosten-Nutzen-Analyse: Bewertung der Effizienz von Radverkehrsmaßnahmen. Forschungsprogramm Stadtverkehr (FoPS) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bauen und Stadtentwicklung (BMVBS), Projekt 70.785/2006. Karlsruhe.
- ROSEN, E. (2013): Autonomous Emergency Braking for Vulnerable Road Users. IRCOBI Conference 2013, Göteborg (SWE).
- SAFETYCUBE DSS (n. a.): The SafetyCube Road Safety Decision Support System - A Quick Guide. <https://www.roadsafety-dss.eu/assets/data/pdf/A.Quick.Guide.to.the.SafetyCube.DSS.pdf>
- SCHEPERS, J. P.; HEINEN, E. (2013): How does a modal shift from short car trips to cycling affect road safety?. In: *Accident Analysis and Prevention* 50, S. 1118-1127.
- SCHEPERS, P.; HAGENZIEKER, M.; METHORST, R.; Van WEE, B.; WEGMAN, F. (2014): A conceptual framework for road safety and mobility applied to cycling safety. In *Accident Analysis & Prevention* 62, S. 331-340.
- SCHEPERS, P.; AGERHOLM, N.; AMOROS, E.; BENINGTON, R.; BJORNSKAU, T.; DOHNDT, S. de GEUS, B.; HAGEMEISTER, C.; LOO B.P., NISKA, A. (2015a): An international review of the frequency of single-bicycle crashes (SBCs) and their relation to bicycle modal share. In: *Injury Prevention* 21(e1), S. e138-e143.
- SCHEPERS, P.; TWISK, D.; FISHMAN, E.; FYHRI, A.; JENSEN, A. (2015b): The Dutch road to a high level of cycling safety. In: *Safety Science* 92, S. 264-273.
- SCHLÄGER, N.; WÜHRL, B.; WOYWOD, T., FROMBERG, A.; GWIASDA, P.; NIKLAS, K.; SCHREIBER, M.; POHLE, M. (2016): Verkehrssicherheit von Fahrradstraßen und geöffneten Einbahnstraßen. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Forschungsbericht Nr. 41. Berlin.
- SCHLEINITZ, K.; FRANKE-BARTHOLDT, L.; PETZOLDT, T.; SCHWANITZ, S.; GEHLERT, T.; KÜHN, M. (2014): Pedelec – Naturalistic Cycling Study. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Forschungsbericht Nr. 27. Berlin.
- SCHLEINITZ, K.; PETZOLDT, T.; KREMS J., KÜHN, M.; GEHLERT, T. (2015): Geschwindigkeitswahrnehmung von einspurigen Fahrzeugen. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Forschungsbericht Nr. 33. Berlin.
- SCHRECK, B. (2016): Radverkehr – Unfallgeschehen und Stand der Forschung. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 62(2).
- SCHRECK, B.; SEINIGER, P. (2015): Abbiege-Assistenzsystem für Lkw. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Fahrzeugtechnik, Heft F 104. Bergisch Gladbach.
- SCHREIBER, M. (2013): Innerörtliche Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Unfallforschung kompakt Nr. 39. Berlin.
- SCHWAB, A., L.; APPLEMAN, N. (2013): Proceedings, Bicycle and Motorcycle Dynamics 2013 Symposium on the Dynamics and Control of Single

- Track Vehicles, 11.–13. November 2013, Narashino (JPN).
- SCOPATZ, R.A.; ZHOU, Y. (2016): Effect of electronic device use on pedestrian safety: A literature review (Report Nr. DOT HS 812 256). Washington, D.C. (USA): National Highway Traffic Safety Administration.
- SEE.SENSE (2017): See.Sense. <https://seesense.cc/>, letzter Zugriff: 30.11.2017.
- SEECK, A. (2019): Milestones of Euro NCAP's Roadmap 2025, 14. Praxiskonferenz Fußgängerschutz, 26.-27. Juni, 2019, Bergisch Gladbach.
- SEINIGER, P.; SCHRECK, B.; BARTELS, O.; GAIL, J. (2016): Requirements and Test Procedure for a Driver Assistance System for Right-Turning Trucks. Proceedings, International Cycling Safety Conference 2016, Bologna (ITA).
- SEINIGER, P.; HELLMANN, A.; BARTELS, O.; GOHL, I. (2017): NEXT-GENERATION Active Safety and Testing: The Horizon 2020 Project PROSPECT. ESV Paper 17-0254, 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Detroit (USA).
- SISTENICH, C. (2007): Quantitative Risikoanalysen für Straßentunnel. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 58.
- STATISTISCHES BUNDESAMT DESTATIS (Hrsg.) (2017): Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2016.
- SUMMALA, H.; PASANEN, E.; RÄSÄNEN, M.; SIEBÄNEN, J. (1996): Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns. In: Accident Analysis & Prevention 28(2), S. 147-153.
- THOMAS, P.; FILTNESS, A.; YANNIS, G.; PAPADIMITRIOU, E.; THEOFILATOS, A.; MARTENSEN, H.; DIEPENDAELE, K. (2016): Developing the European Road Safety Decision Support System. Paper zu 7th Expert Symposium on Accident Research 2016. Download: <https://www.safetycube-project.eu/wp-content/uploads/SafetyCube-ESAR-2016-Full-Paper.pdf>.
- THOMAS, P.; FILTNESS, A.; YANNIS, G.; PAPADIMITRIOU, E.; THEOFILATOS, A.; MACHATA, K.; MARTENSEN, H.; DIEPENDAELE, K. (2017): SafetyCube - the European Road Safety Decision Support System. PowerPoint-Präsentation zu 8th International Congress on Transportation Research. Download: <https://www.safetycube-project.eu/wp-content/uploads/SafetyCube-ICTR2017-Presentation-Yannis.pdf>.
- UITTENBOGAARD, J.; Op den CAMP, O.; van MONTFORT, S. (2016a): Overview of main accident parameters in car-to-cyclist accidents for use in AEB-system test protocol. Proceedings, International Cycling Safety Conference 2016, Bologna (ITA).
- UITTENBOGAARD, J.; Op den CAMP, O.; van MONTFORT, S. (2016b): CATS car-to-cyclist accident parameters and test scenarios. Project CATS, Deliverable 2.2.
- UITTENBOGAARD, J.; Op den CAMP, O.; van MONTFORT, S. (2016c): CATS verification of test matrix and protocol. Project CATS, Deliverable 5.1.
- VANPARIJS, J.; PANIS, L. I.; MEEUSEN, R.; DE GEUS. (2016): Characteristics of bicycle crashes in an adolescent population in Flanders (Belgium). In: Accident Analysis & Prevention 97, S. 103-110.
- VARIA (2017): Garmin VARIA. <https://buy.garmin.com/de-DE/DE/clntoSports-cCycling-p1.html>, letzter Zugriff: 30.11.2017.
- VOLLRATH, M.; HUEMER, A. K.; HUMMEL, T. (2015): Ablenkung durch Informations- und Kommunikationssysteme. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Unfallforschung der Versicherer, Forschungsbericht Nr. 26. Berlin.
- VOLLRATH, M., HUEMER, A.K., TELLER, C., Likhacheva, A., FRICKE, J. (2016). Do German drivers use their smartphone safely? – Not really! In: Accident Analysis and Prevention 96, S. 29-38.
- WANDTNER, B. (2015): Gurte, Kindersitze, Helme und Schutzkleidung - 2014. Bundesanstalt für Straßenwesen. Forschung kompakt 09/15. <http://www.bast.de/DE/Publikationen/Foko/2015-2014/2015-09.html>.
- WILLINGER, R.; DECK, C.; HALLDIN, P.; OTTE, D. (2014): Towards advanced bicycle helmet test methods. Proceedings, International Cycling Safety Conference 2014, Göteborg (SWE).
- WISCH, M.; LERNER, M.; KOVACEVA, J.; BALINT, A.; GOHL I.; SCHNEIDER, A.; JUHASZ, J.; LINDMAN, M. (2017): Car-to-Cyclist Crashes in Europe and Derivation of Use Cases as Basis for Test Scenarios of Next Generation Advanced Driver Assistance Systems - Results from PROSPECT. ESV Paper 17-0396, 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Detroit (USA).
- WISMANS, J. (2016): What are the most significant safety improvements that can be made to trucks used in urban and rural areas?. 25th ACEA Scientific Advisory Group Report.
- WOOLSGROVE, C. (2016): ECF Position on the Revision of the General Safety and Pedestrian Protection Regulations. Position Paper ECF-European Cyclists' Federation.

ZANDER, O.; GEHRING, D., U.; LESSMANN, P. (2013): Improved Safety of Bicyclists in the Event of a Collision with Motor Vehicles and during Single Accidents. ESV Paper 13-0180, 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Seoul (KOR).

ZANDER, O.; HAMACHER, M. (2017a): Revision of passive pedestrian test and assessment procedures to implement head protection of cyclists. ESV Paper 17-0367, 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Detroit (USA).

ZANDER, O.; OTT, J.; WISCH, M.; FORNELLS, A.; FUCHS, T.; HYND, D.; LEMMEN, P.; BURLEIGH, M.; LOPEZ-VALDES, F.; LUERA, A.; LUNDGREN, C. (2017b): Safety Enhanced Innovations for Older Road Users (SENIORS): Further Development of Test and Assessment Procedures towards an improved Passive Protection of Pedestrians and Cyclists. ESV Paper 17-0268, 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Detroit (USA).

ZANDER, O. (2019): Safety Assessment of Airbag based Bicyclist Head Protection Systems, 14. Praxiskonferenz Fußgängerschutz, 26.-27. Juni, 2019, Bergisch Gladbach.

ZEUWTS, L. H.; VANSTEENKISTE, P.; DECONINCK, F. J.; CARDON, G.; LENOIR, M. (2017): Hazard perception in young cyclists and adult cyclists. In: Accident Analysis & Prevention 105, S. 64-71.

## Bilder

- Bild 1: Arbeitsschritte
- Bild 2: Rahmenmodell nach SCHEPERS et al. (2014) zur Systematisierung verkehrssicherheitsrelevanter Fragestellungen und Erkenntnisse
- Bild 3: Merkmale einer Grundkonstellation
- Bild 4: Grundkonstellation K1
- Bild 5: Auswahl der Grundkonstellation K1
- Bild 6: Mögliche spezifische Konstellationen K1
- Bild 7: Grundkonstellation K2
- Bild 8: Grundkonstellation S1
- Bild 9: Grundkonstellation S2
- Bild 10: Grundkonstellation S3
- Bild 11: Prinzipieller Aufbau der ACAS-Kodierung (modifiziert nach JOHANNSEN, 2013)
- Bild 12: Ausschnitt aus dem Baum der ACAS-Kodierung für die Gruppe 1 „Menschliche Faktoren“ (eigene Darstellung auf Grundlage des ACAS-Codebooks von OTTE et al., 2014)
- Bild 13: Phasenmodell der Einflussfaktoren für den beteiligten Kfz-Fahrer
- Bild 14: Phasenmodell der Einflussfaktoren für den beteiligten Radfahrer
- Bild 15: Blickrichtung der Pkw-Fahrerin bei Unfallbeispiel 1 (Konstellation K1) (Quelle: GIDAS, 2013)
- Bild 16: Blickrichtung der Radfahrerin bei Unfallbeispiel 1 (Konstellation K1) (Quelle: GIDAS, 2013)
- Bild 17: Endposition des Lkw bei Unfallbeispiel 2 (Konstellation K2) (Quelle: GIDAS, 2013)
- Bild 18: Endposition der beteiligten Fahrzeuge bei Unfallbeispiel 3 (Konstellation S1) (Quelle: GIDAS, 2007)
- Bild 19: Endposition des beteiligten Kfz bei Unfallbeispiel 4 (Konstellation S2) (Quelle: GIDAS, 2013)
- Bild 20: Blickrichtung Pkw-Fahrerin bei Unfallbeispiel 5 (Konstellation S3) (Quelle: GIDAS, 2008)
- Bild 21: Blickrichtung Radfahrerin bei Unfallbeispiel 5 (S3) (Quelle: GIDAS, 2008)

## Tabellen

- Tabelle 1: Annahmen zum Umsetzungsgrad der Maßnahmen für ältere Fahrradfahrer in den Szenarien und den daraus abgeleiteten Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit für den Zielhorizont 2050 (BAIER/SCHÄFER/KLEMPES-KOHNEN, 2009)
- Tabelle 2: Zeichen zur Darstellung der Grundkonstellation und spezifischen Konstellation (in Anlehnung an M Uko, 2012)

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Mensch und Sicherheit“

## 2018

M 277: **Unfallgeschehen schwerer Güterkraftfahrzeuge**  
Panwinkler € 18,50

M 278: **Alternative Antriebstechnologien: Marktdurchdringung und Konsequenzen für die Straßenverkehrssicherheit**  
Schleh, Bierbach, Piasecki, Pöppel-Decker, Schönebeck  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 279: **Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw – Zweite Erhebungsphase**  
Glaser, Glaser, Schmid, Waschulewski  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 280: **Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung**  
Jürgensohn, Böhm, Gardas, Stephani € 19,50

M 281: **Rad-Schulwegpläne in Baden-Württemberg – Begleitevaluation zu deren Erstellung mithilfe des WebGIS-Tools**  
Neumann-Opitz € 16,50

M 282: **Fahrverhaltensbeobachtung mit Senioren im Fahrsimulator der BASt Machbarkeitsstudie**  
Schumacher, Schubert € 15,50

M 283: **Demografischer Wandel – Kenntnisstand und Maßnahmenempfehlungen zur Sicherung der Mobilität älterer Verkehrsteilnehmer**  
Schubert, Gräcmann, Bartmann € 18,50

M 284: **Fahranfängerbefragung 2014: 17-jährige Teilnehmer und 18-jährige Nichtteilnehmer am Begleiteten Fahren – Ansatzpunkte zur Optimierung des Maßnahmenansatzes „Begleitetes Fahren ab 17“**  
Funk, Schrauth € 15,50

M 285: **Seniorinnen und Senioren im Straßenverkehr – Bedarfsanalysen im Kontext von Lebenslagen, Lebensstilen und verkehrssicherheitsrelevanten Erwartungen**  
Holte € 20,50

M 286: **Evaluation des Modellversuchs AM 15**  
Teil 1: **Verkehrsbewährungsstudie**  
Kühne, Dombrowski  
Teil 2: **Befragungsstudie**  
Funk, Schrauth, Roßnagel € 29,00

M 287: **Konzept für eine regelmäßige Erhebung der Nutzungshäufigkeit von Smartphones bei Pkw-Fahrern**  
Kathmann, Scotti, Huemer, Mennecke, Vollrath  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 288: **Anforderungen an die Evaluation der Kurse zur Wiederherstellung der Kraftfahreignung gemäß § 70 FeV**  
Klipp, Brieler, Frenzel, Kühne, Hundertmark, Kollbach, Labitzke, Uhle, Albrecht, Buchardt € 14,50

## 2019

M 289: **Entwicklung und Überprüfung eines Instruments zur kontinuierlichen Erfassung des Verkehrsklimas**  
Schade, Rößger, Schlag, Follmer, Eggs  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 290: **Leistungen des Rettungsdienstes 2016/17 – Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2016 und 2017**  
Schmiedel, Behrendt € 18,50

M 291: **Versorgung psychischer Unfallfolgen**  
Auerbach, Surges € 15,50

M 292: **Einfluss gleichaltriger Bezugspersonen (Peers) auf das Mobilitäts- und Fahrverhalten junger Fahrerinnen und Fahrer**  
Baumann, Geber, Klimmt, Czerwinski € 18,00

M 293: **Fahranfänger – Weiterführende Maßnahmen nach dem Fahrerlaubniswerb – Abschlussbericht**  
Projektgruppe „Hochrisikophase Fahranfänger“ € 17,50

## 2020

M 294: **Förderung eigenständiger Mobilität von Erwachsenen mit geistiger Behinderung**  
Markowetz, Wolf, Schwaferts, Luginger, Mayer, Rosin, Buchberger  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 295: **Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitsystemen in Pkw 2017**  
Gruschwitz, Hölscher, Raudszus, Schulz € 14,50

M 296: **Leichte Sprache in der theoretischen Fahrerlaubnisprüfung**  
Schrauth, Zielinski, Mederer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 297: **Häufigkeit von Ablenkung beim Autofahren**  
Kreuzlein, Schleinitz, Krems € 17,50

M 298: **Zahlungsbereitschaft für Verkehrssicherheit**  
Obermeyer, Hirte, Korneli, Schade, Friebe € 18,00

M 299: **Systematische Untersuchung sicherheitsrelevanter Fußgängerhaltens**  
Schüller, Niestegge, Roßmerkel, Schade, Rößger, Rehberg, Maier € 24,50

M 300: **Nutzungshäufigkeit von Smartphones durch Pkw-Fahrer Erhebung 2019**  
Kathmann, Johannsen, von Heel, Hermes, Vollrath, Huemer € 18,00

M 301: **Motorräder – Mobilitätsstrukturen und Expositionsgrößen**  
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer € 16,00

M 302: **Zielgruppengerechte Ansprache in der Verkehrssicherheitskommunikation über Influencer in den sozialen Medien**  
Duckwitz, Funk, Schliebs, Hermanns € 22,00

M 303: **Kognitive Störungen und Verkehrssicherheit**  
Surges  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 305: **Re-Evaluation des Alkoholverbots für Fahranfängerinnen und Fahranfänger**  
Evers, Straßgüt € 15,50

### AKTUALISIERTE NEUAUFLAGE VON:

M 115: **Begutachtungsleitlinien zur Kraftfahreignung – gültig ab 31.12.2019**  
Gräcmann, Albrecht € 17,50

## 2021

### M 304: Zum Unfallgeschehen von Motorrädern

Pöppel-Decker

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 306: Stand der Wissenschaft: Kinder im Straßenverkehr

Schmidt, Funk, Duderstadt, Schreiter, Sinner, Bahlmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 307: Evaluation des Zielgruppenprogramms „Aktion junge Fahrer“ (DVW) – Phase II

Funk, Rossnagel, Bender, Barth, Bochert, Detert, Erhardt, Hellwagner, Hummel, Karg, Kondrasch, Schubert, Zens

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 308: Evaluation der Zielgruppenprogramme „Kind und Verkehr“ (DVR, DVW) und „Kinder im Straßenverkehr“ (DVW) – Phase II

Funk, Bender, Rossnagel, Barth, Bochert, Detert, Erhardt, Hellwagner, Hummel, Karg, Kondrasch, Schubert, Zensen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 309: Entwicklung und Evaluation effizienter Trainingsmaßnahmen für ältere Verkehrsteilnehmer zur Förderung ihrer Fahrkompetenz

Schoch, Julier, Kenntner-Mabiala, Kaussner

€ 16,00

### M 310: Erfassung der subjektiven Wahrnehmung und Bewertung verkehrssicherheitsrelevanter Leistungsmerkmale und Verhaltensweisen älterer Autofahrer – Entwicklung und Prüfung eines Selbsttests

Horn

€ 18,50

### M 311: Safety Performance Indicators im Straßenverkehr – Überblick und Erfahrungen aus der internationalen Praxis

Funk, Orłowski, Braun, Rücker

€ 20,50

### M 312: Konzept für eine regelmäßige Erhebung der Nutzungshäufigkeit von Smartphones bei Radfahrern und Fußgängern

Funk, Roßnagel, Maier, Crvelin, Kurz, Mohamed, Ott, Stamer, Stößel, Tomaselli

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 313: Analyse der Merkmale und des Unfallgeschehens von Pedelec Fahrern

Platho, Horn, Jänsch, Johannsen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 314: SENIORWALK

Holte

€ 19,00

### M 315: Untersuchungen zur wissenschaftlichen Begleitung des reformierten Fahrlehrerrechts

Bredow, Ewald, Thüs, Malone, Brünken

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 316: VERKEHRSKLIMA 2020

Holte

€ 16,50

### M 317: Alternative Antriebstechnologien – Marktdurchdringung und Konsequenzen für die Straßenverkehrssicherheit

Pöppel-Decker, Bierbach, Piasecki, Schönebeck

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 318: Verkehrssicherheitsberatung älterer Kraftfahrerinnen und -fahrer in der hausärztlichen Praxis – Bestandsaufnahme

Schoch, Kenntner-Mabiala

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 319: Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen – Prävalenz und Unfallrisiko

Friedrichs, Schmidt, Schmidt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 320: Eignung von Fahrsimulatoren für die Untersuchung der Fahrkompetenz älterer Autofahrer

Maag, Kenntner-Mabiala, Kaussner, Hoffmann, Ebert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 321: Entwicklung einer Methodik zur Untersuchung der Determinanten der Routenwahl von Radfahrern

Lux, Schleinitz

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

### M 323: Anwendungsmöglichkeiten von Motorradsimulatoren

Hammer, Pleß, Will, Neukum, Merkel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2022

### M 322: Influencer in der Verkehrssicherheitskommunikation: Konzeptentwicklung und pilothafte Anwendung

Duckwitz, Funk, Hielscher, Schröder, Schrauth, Seegers, Kraft, Geib, Fischer, Schnabel, Veigl

€ 19,50

### M 324: Interdisziplinärer Ansatz zur Analyse und Bewertung von Radverkehrsunfällen

Baier, Cekic, Engelen, Baier, Jürgensohn, Platho, Hamacher

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen  
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Webseite finden und bestellen.

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.