

# Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 228

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

# Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr

von

Reinhold Baier  
Alexander Göbbels  
Alexandra Klemps-Kohnen

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

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 228

**bast**

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

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

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

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

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

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

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt: FE 82.0361/2009**  
Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr

**Fachbetreuung**  
Marco Irzik

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

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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

ISSN 0943-9331  
ISBN 978-3-95606-030-4

Bergisch Gladbach, September 2013

## Kurzfassung – Abstract

### Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr

Durch den zukünftig zu erwartenden Anstieg des Radverkehrsanteils am Gesamtverkehrsaufkommen und die Veränderung des Fahrzeugkollektivs sowie der Nutzergruppen durch die Zunahme von Elektrofahrrädern werden die Anforderungen an die Verkehrssicherheit im Radverkehr kontinuierlich steigen. Aus diesem Grund ist in dem vorliegenden Forschungsprojekt unter Berücksichtigung verschiedener Fachdisziplinen untersucht worden, welche Sicherheitskenngrößen im Radverkehr neben den bisher üblich verwendeten Unfallkennwerten geeignet sind, die Verkehrssicherheit zukünftig zu bewerten und darzustellen.

Zur Identifikation von „neuen“ bzw. zusätzlichen Sicherheitskenngrößen wurde eine Struktur zur Differenzierung von Sicherheitskenngrößen für unterschiedliche Stufen einer Fahrradfahrt von der Quelle bis zum Ziel bzw. einem potenziellen Unfall erstellt. Die Ergebnisse wurden in einem Expertenworkshop vor- und zur Diskussion gestellt und im Nachgang entsprechend den Diskussionsergebnissen überarbeitet und angepasst.

Durch Heranziehen von Verkehrs- und Unfalldaten mit Radverkehrsbeteiligung aus abgeschlossenen (Forschungs-)Projekten wird für den verkehrspolizerischen Bereich in Anwendungsbeispielen dargestellt, wie für unterschiedliche Stufen einer Fahrradfahrt durch Kombination von bestehenden Unfallkennwerten und Sicherheitsindikatoren „neue“ Sicherheitskenngrößen abgeleitet werden können.

Aufgrund eines fehlenden einheitlichen Verkehrs-sicherheitsverständnisses der unterschiedlichen Fachdisziplinen und der teilweise schwachen empirischen Datengrundlage konnte keine Grundlage zur Identifikation von interdisziplinären Sicherheitskenngrößen geschaffen werden. Aus diesem Grund beschränken sich die Ergebnisse primär auf den Bereich der Verkehrsplanung.

Für zukünftige Untersuchungen wird daher empfohlen, auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse eine Methodik zur interdisziplinären Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr zu erarbeiten.

### Safety parameters for bicycle traffic

Expected future increase of the share of cycling traffic in the total traffic volume, changes in vehicle collective, as well as in user groups with more electric bicycles, will continuously promote the increase of requirements for bicycle traffic safety. For this reason, and taking into account various disciplines, the present research project examined suitable safety parameters in bicycle traffic for future representation and evaluation of traffic safety, in addition to the previously commonly used bicycle accident characteristics.

For the identification of "new" or additional safety parameters, a structure has been set up in order to differentiate safety parameters during several stages of a bike ride, from departure to destination, or for a potential accident. The results were presented to and discussed with an expert workshop, and in the aftermath, according to discussion, the results were subsequently revised and adapted.

By consulting traffic and accident data with cyclist participation from completed (research) projects, the application examples of traffic planning show how "new" safety parameters can be derived for different stages of a bike ride, by combining existing accident characteristics and safety indicators.

Due to a lack of uniform understanding of traffic safety by the various disciplines, and to the sometimes weak empirical database, no basis for the identification of interdisciplinary safety parameters could be established. For this reason, the results are limited primarily to the field of traffic planning.

Hence, for future research, it is recommended to work out a methodology for interdisciplinary assessment of bicycle traffic safety, based on the present results.



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage, Ziel und Untersuchungsmethode</b> .....	7	5.1.2	Kriterien und Indikatoren aus dem dynamischen Bereich .....	32
<b>2</b>	<b>Vorhandene Erkenntnisse</b> .....	8	5.2	Verkehrsmedizinische Sicht .....	33
2.1	Sicherheitskenngrößen als „Unfallkennwerte“ im HVS-Entwurf .....	8	5.2.1	Indikatoren und Kenngrößen aus dem statischen Bereich .....	33
2.2	Sicherheitskenngrößen als „Unfallkennwerte“ aus Verkehrssicherheitsanalysen .....	10	5.2.2	Indikatoren und Kenngrößen aus dem dynamischen Bereich .....	34
2.3	Sicherheitskenngrößen aus der Analyse der Infrastruktur .....	17	5.3	Verkehrsplanerische Sicht .....	34
2.3.1	Verträglichkeitsanalysen .....	17	5.3.1	Voraussetzungen und Struktur der Sicherheitskenngrößen .....	34
2.3.2	Sicherheitsbewertung nach HVS-Entwurf .....	17	5.3.2	Strukturelle Randbedingungen .....	36
2.4	Sicherheitskenngrößen aus der Analyse des Verkehrsverhaltens .....	20	5.3.3	Indikatoren und Kenngrößen aus dem statischen Bereich .....	37
2.5	Sicherheitskenngrößen aus der Analyse von Verkehrskonflikten .....	20	5.3.4	Indikatoren und Kenngrößen aus dem dynamischen Bereich .....	38
2.6	Sicherheitskenngrößen aus der quantitativen Risikoanalyse .....	22	<b>6</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b> .....	40
<b>3</b>	<b>Strukturierungsvorschlag zur Ermittlung von Sicherheitskenngrößen</b> .....	24	6.1	Verkehrsstruktur .....	40
3.1	Statischer Bereich .....	25	6.1.1	Modal-Split (Radverkehrsanteil) .....	40
3.2	Dynamischer Bereich .....	26	6.2	Altersgruppen .....	41
<b>4</b>	<b>Expertenworkshop</b> .....	27	6.2.1	Anzahl von Radverkehrsunfällen nach Altersgruppen .....	41
4.1	Hintergrund und Ziel .....	27	6.2.2	Häufigkeit von Radverkehrsunfällen nach Altersgruppen und Unfallursache .....	43
4.2	Verkehrssicherheit aus Sicht unterschiedlicher Fachdisziplinen .....	27	6.2.3	Häufigkeit von Radverkehrsunfällen nach Altersgruppen und Unfalltypen .....	44
4.3	Grundlagenproblematik von Verkehrs- und Unfalldaten .....	28	6.3	Infrastrukturbezogene verkehrliche Kriterien .....	44
4.4	Strukturierung von Sicherheitskenngrößen .....	28	6.3.1	Kfz- und Radverkehrsstärke .....	45
4.5	Zusammenfassung .....	30	6.4	Infrastrukturbezogene bauliche Kriterien .....	46
<b>5</b>	<b>Sicherheitskriterien, -indikatoren und -kenngrößen</b> .....	31	6.4.1	Art der Radverkehrsführung – Beispiel 1 .....	47
5.1	Verkehrspsychologische Sicht .....	31	6.4.2	Art der Radverkehrsführung – Beispiel 2 .....	48
5.1.1	Kriterien und Indikatoren aus dem statischen Bereich .....	31	6.5	Infrastruktur- und straßennutzungsbezogene Kriterien .....	49
			6.5.1	Anzahl Grundstückszufahrten .....	49

6.6	Interaktions-/Konfliktaufkommen . . . . .	50
6.6.1	Interaktions-/Konfliktanzahl . . . . .	50
6.7	Unfallaufkommen . . . . .	51
6.7.1	Unfallanzahl nach Unfallschwere anteilig nach Unfalltypen und Knotenpunkten . . . . .	51
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen . . . . .</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>53</b>

## 1 Ausgangslage, Ziel und Untersuchungsmethode

Radfahren ist als Teilsystem des nicht-motorisierten Verkehrs neben dem Fußgängerverkehr die zweite relevante Verkehrsart, die der so genannten „Nahmobilität“ zugeordnet wird. Radfahren gilt als stadt-, sozial- und umweltfreundlich und ihm werden entsprechende Attribute wie schadstofffrei, lärmarm, gesunderhaltend, Ressourcen (Flächen, Energie) sparend zugewiesen. Diese positiven Umweltwirkungen lassen sich im Hinblick auf Fragen des Verkehrsablaufs in stark belasteten innerörtlichen Straßen grundsätzlich noch weiter fassen. Eine deutliche Erhöhung des Radverkehrsanteils am städtischen Modal-Split oder auf bestimmten Relationen (z. B. auch reisezweckspezifisch bedingt) könnte hier potenziell auch zur Verbesserung des Kfz-Verkehrsflusses beitragen sowie die Einsparung von Straßenneu- und -ausbaumaßnahmen ermöglichen (vgl. BAIER et al., 2011).

Daher ist eine konsequente Förderung des Radverkehrs als ein geeigneter verkehrsplanerischer Ansatz zur modalen Verkehrsverlagerung wünschenswert. Ungeklärt bleibt dabei jedoch die Frage, wie sich eine Erhöhung des Radverkehrsanteils und die zu erwartende Veränderung des Fahrzeugkollektivs durch einen zunehmenden Anteil von Elektrofahrrädern auf die Verkehrssicherheit auswirken und welche Sicherheitskenngrößen geeignet sind, dies entsprechend abzubilden.

Die Sicherheitskenngrößen, die bisher zur Beschreibung, Analyse und Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßenverkehrsanlagen und deren Nutzer (hier: Radfahrer) herangezogen werden, sind zum einen im „Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen“ (HVS, Entwurf 2008; vgl. BARK et al., 2008) als „Unfallkennwerte“ beschrieben und zum anderen sind Einschätzungen zur Verkehrssicherheit als „Konfliktpotenzial“ oder „Risikopotenzial“ heranziehbar. Erstere sind in der „klassischen“ Unfallanalyse und -bewertung verwendete Größen, Letztere werden von Fachdisziplinen wie der Verkehrspsychologie verwendet.

Um die Verkehrssicherheit für den Radverkehr aufgrund der zu erwartenden Radverkehrsentwicklung und der damit verbundenen Anforderungen auch zukünftig möglichst genau bewerten zu können, sollen in Ergänzung zu derzeit bereits verwendeten Kenngrößen zusätzliche Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr untersucht, dargestellt und bewer-

tet werden. Hierzu sollen neben bisherigen Anwendungen und Erfahrungen aus der Verkehrsplanung auch Erkenntnisse aus anderen Fachdisziplinen (wie z. B. Verkehrspsychologie/-medizin) herangezogen werden.

Die methodische Vorgehensweise zur Erreichung dieser Zielsetzung und das sich hieraus ergebende Arbeitsprogramm sehen vier aufeinander aufbauende Arbeitsschritte vor.

### 1. Literaturanalyse

Zunächst erfolgt eine systematische Literaturanalyse zu bisher verwendeten Sicherheitskenngrößen des Radverkehrs. Hierzu wird sowohl nationale als auch internationale Literatur ausgewertet.

### 2. Zusammenstellung bestehender Erkenntnisse

Aufbauend auf der Literaturanalyse und unter Einbeziehung der seitens des Auftragnehmers vorliegenden umfangreichen Erkenntnisse zu Unfallanalysen und -bewertung in Forschung und Planungspraxis wird ein Überblick der bestehenden Erkenntnisse über die Einflussgrößen auf die Unfallexposition von Radfahrern zusammengestellt.

### 3. Ermittlung möglicher zusätzlicher Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr

Für die Ermittlung möglicher zusätzlicher Sicherheitskenngrößen wird zunächst ein Strukturierungsvorschlag erarbeitet, in dem unterschiedliche Sicherheitskriterien und potenzielle Sicherheitsindikatoren identifiziert werden. Diese Strukturierung könnte beispielsweise nach

- der methodischen Grundausrichtung (z. B. Unfallanalysen, Verhaltensmodelle, Risikoanalysen),
- dem räumlichen Bezug (z. B. Gebiet, Straßennetz, Straßenverkehrsanlage),
- der Datengrundlage (z. B. Infrastrukturdaten, Unfalldaten oder Verhaltensdaten) oder
- dem Ablauf einer Fahrradfahrt von der Quelle bis zum Ziel (oder einem potenziellen Unfall)

erfolgen.

Die aufbereitete Zusammenstellung möglicher zusätzlicher Sicherheitsindikatoren sowie der be-

stehenden Erkenntnisse über die Einflussgrößen auf die Unfallexposition von Radfahrern wird in einem interdisziplinären Expertenworkshop vor- und zur Diskussion gestellt. Zur Ermittlung von Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr wird es als bedeutungsvoll und wichtig angesehen, neben dem Fachwissen von Verkehrsplanern auch die Expertise von Verkehrspsychologen und Verkehrsmedizinern zu berücksichtigen.

Die Diskussionsergebnisse des Expertenworkshops werden aufbereitet und zusammengefasst. Auf dieser Grundlage wird ein Vorschlag für ein relevantes Kenngrößenset erarbeitet.

#### 4. Detaillierte Ausarbeitung, Darstellung und Anwendung möglicher Kenngrößen

Abschließend erfolgen eine detaillierte und nach den unterschiedlichen Fachbereichen differenzierte Ausarbeitung, Darstellung und Anwendung möglicher Sicherheitskenngrößen. Nach Bedarf wird hierzu eine letzte Überarbeitung des Strukturierungsvorschlags auf Basis der Diskussionsergebnisse aus dem Expertenworkshop durchgeführt.

Hauptgegenstand des letzten Arbeitsschrittes ist es, die relevanten Sicherheitskenngrößen für die unterschiedlichen Fachdisziplinen zu identifizieren und die Anwendung bzw. Ermittlung dieser Sicherheitskenngrößen auf Basis von Verkehrs- und Unfalldaten aus abgeschlossenen Forschungsprojekten darzustellen und zu erläutern.

In Ergänzung o. g. Daten von Fallbeispielen aus Forschungsprojekten werden Datenbestände aus verschiedenen vom Auftragnehmer durchgeführten Sicherheitsanalysen – zu nennen sind hier z. B. die Sicherheitsanalysen für die Straßennetze von Berlin (BAIER et al., 2005) und Stuttgart (BAIER et al., 2009a) sowie Untersuchungen zum Unfallgeschehen einzelner Straßenzüge (BAIER/KLEMPS, 2006, BAIER et al., 2009b) – genutzt und auf deren Grundlage ebenfalls entsprechende Sicherheitskenngrößen ermittelt.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird die Aussagefähigkeit der einzelnen Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr bewertet. Aus diesen Schlussfolgerungen werden abschließend Empfehlungen zur Anwendung von zusätzlichen Sicherheitskenngrößen abgeleitet.

## 2 Vorhandene Erkenntnisse

Sicherheitskenngrößen werden von verschiedenen Fachdisziplinen verwendet und unterschiedlich definiert. Zum einen werden die Unfallkennwerte aus der „klassischen“ Unfallanalyse und -bewertung als „Sicherheitskenngrößen“ bezeichnet, zum anderen werden auch aus der Verkehrskonflikttechnik verschiedene „Sicherheitskenngrößen“ abgeleitet. Darüber hinaus beschreiben Fachdisziplinen wie die Verkehrspsychologie das Konfliktpotenzial als „Sicherheitskenngröße“ und in der quantitativen Risikoanalyse wird das Risikopotenzial als „Sicherheitskenngröße“ bezeichnet.<sup>1</sup>

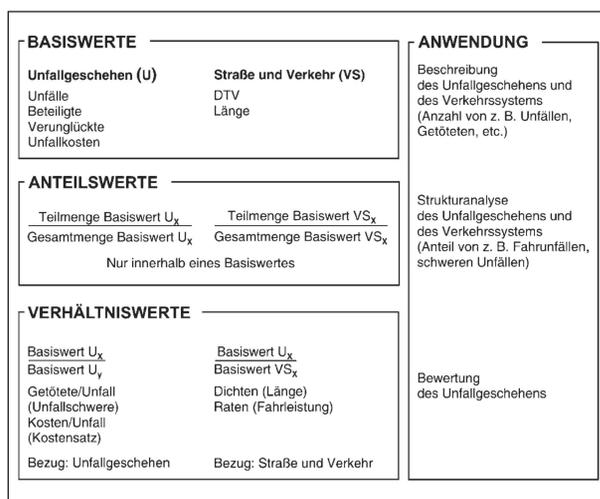
Aus verkehrsplanerischer Sicht ist das charakterisierende Merkmal einer Sicherheitskenngröße die Aussagefähigkeit zur Bewertungsmöglichkeit der Verkehrssicherheit mit Bezug zum Unfallgeschehen. Eine Sicherheitskenngröße in diesem Sinne ist also eine auf ein Unfallgeschehen bezogene quantifizierte Messgröße zur unmittelbaren Bewertung der Verkehrssicherheit.

Für eine breite Anwendung der hier zu erarbeitenden Vorschläge zur Sicherheitsbewertung im Radverkehr und zur Gewährleistung der Kompatibilität von Bewertungen zwischen den verschiedenen Verkehrsarten wird in Kapitel 2.1 zunächst geprüft, wie das „Kennwerte-Gebäude“ des HVS genutzt und für die spezifischen Fragestellungen des Radverkehrs erweitert und modifiziert werden kann.

### 2.1 Sicherheitskenngrößen als „Unfallkennwerte“ im HVS-Entwurf

Im Folgenden werden die Aussagen des HVS zu den Unfallkennwerten verkürzt wiedergegeben und deren Anwendung (smöglichkeiten) auf den Radverkehr dargestellt. Das HVS unterscheidet als Unfallkennwerte „Basiswerte“, „Anteilswerte“ und „Verhältniswerte“ (Bild 1).

<sup>1</sup> Im Rahmen der Literaturrecherche wurden die Begriffe Kriterien, Sicherheitskenngrößen, Kenngrößen, Unfallkennwerte und Kennwerte unverändert aus den Quellen übernommen. Aufgrund der nicht trennscharfen Definition dieser Begriffe wird darauf hingewiesen, dass diese Begriffe in Kapitel 2 nicht immer deckungsgleich mit den Begriffen in den nachfolgenden Kapiteln sind.



**Bild 1:** Kennwerte zur Beschreibung, Analyse und Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßenverkehrsanlagen nach HVS (BARK et al., 2008)

Die Basiswerte beschreiben sowohl das Unfallgeschehen als auch die Bedingungen aus der Infrastruktur (Straße) und dem Verkehr. Basiswerte zum Unfallgeschehen sind z. B. die Anzahl der Unfälle, differenziert nach Kategorie, Typ, Ortslage usw., die Anzahl der Beteiligten oder Verunglückten, differenziert nach Alter, Art der Verkehrsbeteiligung usw., sowie die Unfallkosten. Bei alleiniger Betrachtung der Radverkehrsunfälle (Unfälle mit Beteiligung von Radfahrern) erhält man somit die Basiswerte zum Unfallgeschehen für den Radverkehr.

Basiswerte zu Straße und Verkehr sind beispielsweise die Verkehrsstärke bezogen auf den Tag (DTV) oder die Länge des betrachteten Straßenabschnitts oder Straßennetzes. Bezüglich des Radverkehrs stellt sich hierbei die Frage, ob für die Verkehrsstärke nur die Radverkehrsstärke zu Grunde gelegt werden soll oder inwieweit die Kfz-Verkehrsstärke berücksichtigt werden muss (z. B. um Abbiege- und Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle „abzubilden“). Des Weiteren stellt sich die Frage, ob dies möglicherweise von der Art der Radverkehrsanlage abhängig ist (z. B. Schutzstreifen vs. Radweg) und eventuell sogar die Fußgängerkehrsstärke und der ruhende Verkehr mitberücksichtigt werden müssen (z. B. bei einem kombinierten Geh- und Radweg).

Mit Anteilswerten wird die Struktur des Unfallgeschehens analysiert. Anteilswerte werden durch den Quotienten aus Teilmenge zu Gesamtmenge eines bestimmten Basiswerts gebildet. Anteilswerte sind z. B. der Anteil eines bestimmten Unfalltyps an allen Unfällen oder der Anteil der Innerortsunfälle an allen Unfällen eines Betrachtungsgebiets. Für

den Radverkehr sind denkbar z. B. der Anteil von knotenpunktbezogenen Unfalltypen wie Abbiege- und Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle oder der Anteil von Radverkehrsunfällen an Straßen mit/ohne Radverkehrsanlagen an allen Unfällen in einem Straßennetz.

Mit Verhältniswerten wird das Unfallgeschehen bewertet, indem ein Basiswert des Unfallgeschehens zu einem anderen Basiswert des Unfallgeschehens oder zu einem Basiswert von Straße und Verkehr ins Verhältnis gesetzt wird. Solche Verhältniswerte sind z. B. Getötete pro Unfall (Unfallschwere), Kosten pro Unfall (Kostensatz) oder auch Dichten und Raten, die sich auf Längen bzw. die Fahrleistung beziehen.

Die Dichten beschreiben dabei die durchschnittliche Anzahl der Unfälle (Unfalldichte) oder der Verunglückten (Verunglücktdichte), die in einem Betrachtungszeitraum pro km Straßenlänge oder an einem Knotenpunkt registriert werden. Unfallkostendichten (UKD) beziffern die entsprechenden durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten (in 1.000 €/a) durch Straßenverkehrsunfälle, die pro km Länge des betrachteten Straßenabschnitts oder pro betrachtetem Knotenpunkt entstanden sind. Für den Radverkehr kann z. B. durch die Darstellung der Unfallkostendichten der Radverkehrsunfälle der vordringliche Handlungsbedarf im untersuchten Straßennetz veranschaulicht werden.

Die Unfallraten (UR) beschreiben die durchschnittliche Anzahl der Unfälle, die auf eine Fahrleistung von 1 Mio. Kfz km in einem Straßenbereich entfallen (für Knotenpunkte gilt: 1 Mio. Kfz-Überfahrten). Sie sind ein Maß für das fahrleistungsbezogene Risiko, dass sich auf einem Straßenabschnitt ein Unfall ereignet, und bewerten den Ausbaustandard. Unfallkostenraten (UKR) beziffern die entsprechenden durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten durch Straßenverkehrsunfälle, die bei einer Fahrleistung von 1.000 Kfz km auf einem Straßenbereich entstanden sind (für Knotenpunkte gilt: 1.000 Kfz-Überfahrten). Für die Bewertung des Unfallgeschehens im Radverkehr wären hierbei z. B. bei Mischverkehr auf der Fahrbahn die Kfz- und Radverkehrsfahrleistungen, bei Seitenraumführungen möglicherweise nur die Fahrleistungen im Radverkehr, gegebenenfalls aber auch Fußgängerkehrsstärken und an Knotenpunkten die Ein- und Abbiegeverkehrsstärken im Kfz-Verkehr zu berücksichtigen.

Unfalldichten und Unfallraten werden auch genutzt, um anhand des Vergleiches des tatsächlichen Un-

fallgeschehens mit dem zu erwartenden Unfallgeschehen das Sicherheitsniveau einer Straßenverkehrsanlage zu bestimmen. Dafür werden für bestimmte Straßentypen und Elemente von Straßenverkehrsanlagen Grundunfallraten bzw. Grundunfallkostenraten ermittelt.

Grundunfallkostenraten (gUKR) beschreiben den Sicherheitsgrad, der bei durchschnittlich sicherer Gestaltung einer Straßenverkehrsanlage erreicht werden kann. Bisher ermittelte und angegebene Grundunfallkostenraten, z. B. in den ESN (Ausgabe 2003) und dem HVS (Entwurf 2008; vgl. BARK et al., 2008), beziehen sich immer nur auf die Fahrleistung im Kfz-Verkehr.

Die Grundunfallkostendichte (gUKD) stellt diejenige zu erwartende mittlere jährliche Anzahl und Schwere von Straßenverkehrsunfällen je Kilometer dar, die bei der Gestaltung entsprechend der Entwurfsrichtlinien und vorhandenen oder prognostizierten durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) im Durchschnitt erreicht werden können.

Die Differenz zwischen der vorhandenen Unfallkostendichte eines Abschnittes in einem gewissen Betrachtungszeitraum und der Grundunfallkostendichte wird als Sicherheitsverbesserungspotenzial (SIPO) bezeichnet. Das Sicherheitsverbesserungspotenzial ist definiert als der Unterschied zwischen der vorhandenen Unfallkostendichte und der Unfallkostendichte, die bei einem richtliniengerechten Ausbau (Grundunfallkostendichte) im Durchschnitt zu erwarten ist. Das SIPO wird im Rahmen von sicherheitsbezogenen Netzanalysen nach den „Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen“ (ESN) berechnet.

Neben den Kennwerten zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßenverkehrsanlagen können auch Kennwerte bezogen auf Merkmale von Regionen oder Räumen gebildet werden.

Die Unfallbelastung (UB) ist ein Maß für die relative Anzahl der Straßenverkehrsunfälle eines Untersuchungsraums (beispielsweise ein räumlich abgegrenztes Untersuchungsgebiet wie eine Stadt, ein Landkreis usw. oder auch alle Straßen einer Kategorie in einem solchen Untersuchungsgebiet) während eines bestimmten Zeitraums bezogen auf alle Einwohner bzw. Teile davon (z. B. differenziert nach Altersgruppen bzw. -klassen) oder den gesamten Fahrzeugbestand bzw. den Bestand bestimmter Fahrzeuge (z. B. Pkw). Analog hierzu wird mit der Unfallkostenbelastung (UKB) neben der Anzahl auch die Schwere der Unfälle berücksichtigt.

Unfallbelastung und Unfallkostenbelastung sind geeignet, um z. B. unterschiedlich bebaute Gebiete miteinander zu vergleichen. Eine weitere Differenzierung kann durch die Berechnung von Beteiligtenbelastungen oder auch von Verunfallten- bzw. Verunglücktenbelastungen vorgenommen werden.

Je nach Erkenntnisziel und Datenlage können sich weitere Möglichkeiten der Bildung relativierter Unfallkenngrößen ergeben. Beispielsweise wäre es für den Radverkehr denkbar, die Anzahl der Unfälle zwischen zwei Verkehrsteilnehmergruppen, beispielsweise zwischen Radfahrern und Pkw, auf die Begegnungshäufigkeit zwischen Verkehrsteilnehmern dieser beiden Gruppen zu beziehen oder auch andere als die bisher genannten Unfallereignisse auf die Expositionsgrößen zu beziehen. Ferner wäre es denkbar, Kenngrößen auch für die Häufigkeit definierter Verkehrskonflikte zu ermitteln.

## 2.2 Sicherheitskenngrößen als „Unfallkennwerte“ aus Verkehrssicherheitsanalysen

Die zum Thema analysierte Literatur sowie die analysierten Untersuchungen unterscheiden (grob) zwei Anwendungs- und Aussagebereiche für die Sicherheitsbewertung des Radverkehrs:

- raumbezogene Kenngrößen und
- anlagenbezogene Kenngrößen.

Die raumbezogenen Kenngrößen werden in der Regel zur Bewertung der Sicherheit im Radverkehr auf Landes- oder Stadtebene verwendet. Bezugsgrößen sind dabei überwiegend Einwohneranzahlen und Fahrleistungen oder Modal-Split-Anteile.

Im Verkehrssicherheitsbericht 2007 für Berlin, der vom Auftragnehmer im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung erstellt wurde (BAIER, 2007), wird beispielsweise die Entwicklung der Verkehrsunfälle von 2000 bis 2006 dargestellt und Auswertungen und Analysen durchgeführt, in denen die Unfälle der Unfallkategorien 1-3 nach dem Modal-Split, d. h. nach dem Anteil der Verkehrsmittel an den täglichen Wegen, differenziert werden.

Die Analyse der Verkehrssicherheit für den Radverkehr führt dabei zu dem Ergebnis, dass der Anteil des Radverkehrs an allen in Berlin zurückgelegten Wegen 10 % und der Anteil der Unfälle mit Radfahrerbeteiligung an allen Verkehrsunfällen nur 4 % betragen (Bild 2).

Betrachtet man jedoch nur die Unfälle mit Personenschaden, so wird deutlich, dass in etwa jede vierte Person in Berlin als Fahrradfahrer verunglückt (26 %). Auch bei den Unfallkategorien 1 und 2 wird deutlich, dass Radfahrer im Vergleich zu ihrem Modal-Split-Anteil mit 26 % überdurchschnittlich oft schwer verletzt oder getötet werden (Bild 2).

Darüber hinaus werden in dem Verkehrssicherheitsbericht als weitere Kenngrößen verunglückte Radfahrer und schwerverletzte Radfahrer jeweils nach Altersgruppe in Relation zu ihrem Einwohneranteil gesetzt. Diese Kenngrößen werden auch mit den entsprechenden Kenngrößen bezogen auf alle Verkehrsteilnehmer in Bezug gesetzt.

In dem Forschungsprojekt „Einsparpotenziale des Radverkehrs im Stadtverkehr“ (vgl. BAIER et al., 2011) werden als Kennwerte für die Verkehrssicherheit Unfallkostenraten in €/1.000 Rad-km infolge von Radfahrunfällen mit Personenschaden dem Modal-Split-Anteil des Radverkehrs gegenübergestellt. Das Unfallkollektiv bestand aus den Unfällen mit Personenschaden aus den Jahren 2006 bis 2008. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen diesen Unfallkostenraten und dem Modal-Split ließ sich jedoch nicht feststellen.

Dahingegen haben BRÜDE/LARSSON (1993) in einer schwedischen Untersuchung einen Zusammenhang zwischen Verkehrsaufkommen und Unfallzahlen aus den Jahren 2000 bis 2004 abgeschätzt. Demnach steigt die Anzahl von Unfällen

mit Radfahrern um 0,6 %, wenn der Modal-Split-Anteil des Radverkehrs um 1 % steigt (und damit auch dessen Fahrleistung). In diese Untersuchung gingen 432 Unfälle an 377 Kreuzungen ein. Die Anzahl der Unfälle mit Fußgängern soll bei einem 1%igen Anstieg des Fußgängerverkehrs um 0,7 % steigen. Diese Aussage beruht auf 165 Unfällen an 285 Kreuzungen. Bei einem 1%igen Anstieg des Kfz-Verkehrsaufkommens soll jedoch auch die Anzahl der Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern um 0,5 % anwachsen.

JACOBSON (2003) ermittelt in seiner Untersuchung, dass bei einer Verdopplung des Fahrradverkehrs die Häufigkeit von Unfällen mit Radfahrern um 32 % steigt und das individuelle Risiko eines Radfahrers zu verunglücken um 34 % sinkt. Es besteht kein linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl der Radfahrer und der Anzahl der Unfälle mit Radfahrbeteiligung. Die Datenbasis für seine Untersuchung bilden drei veröffentlichte Analysen, die auf 68 Städten aus Kalifornien, 47 Städten aus Dänemark und 14 europäischen Länder beruhen sowie auf zwei Zeitreihen aus Großbritannien (1950-1999) und den Niederlanden (1980-1998).

TURNER (2010) beschreibt in seiner Zusammenfassung verschiedener Forschungsarbeiten aus Neuseeland eine Studie, in der die Unfallrate bezogen auf die Radverkehrsstärke in Abhängigkeit zur Radverkehrsstärke und zur Kfz-Verkehrsstärke degressiv ansteigt (Bild 3).

CAIRNEY/OXLEY (2005) vergleichen in ihrer Untersuchung bei Unfällen verunglückte Radfahrer und Fußgänger in Neuseeland und Australien zwischen 2000 und 2004. Hier werden die Verun-

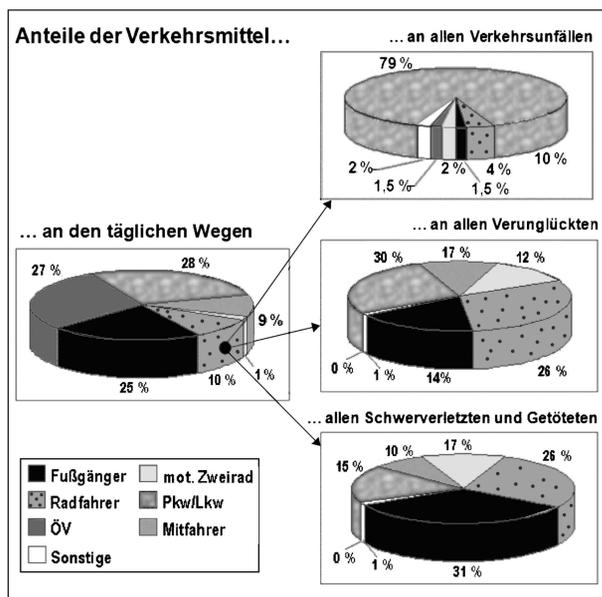


Bild 2: Anteile der Verkehrsmittel in Berlin an den Wegen, Verkehrsunfällen, Verunglückten, Schwerverletzten und Getöteten (BAIER, 2012)

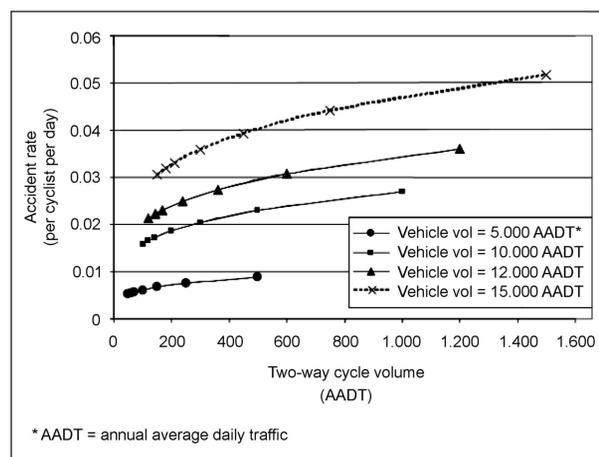


Bild 3: Crash rate with constant motorist and changing cyclist volumes (TURNER et al., 2006)

glückten differenziert nach Altersklassen in Relation zu ihrem jeweiligen Einwohneranteil gesetzt.

Dahingegen bezieht BJØRNSKAU (2008) in seiner Studie zur Verkehrssicherheit in Norwegen für die Jahre 2005 bis 2007 die Verunglückten je Verkehrsmittel auf die jeweiligen Personenkilometer bzw. auf Personenkilometer und Altersgruppen.

In einer niederländischen Studie des SWOV (2009) werden neben den absoluten Verunglücktenanzahlen der Radfahrer in den ganzen Niederlanden von 1987 bis 2008 u. a. die Verunglücktenanzahlen der Radfahrer zwischen 2005 und 2007 auf Fahrradkilometer nach Altersgruppen differenziert bezogen.

In dem schweizerischen Sicherheitsdossier für den Fahrradverkehr (WALTER et al., 2005) wird das Unfallgeschehen im Radverkehr verschiedener europäischer Länder verglichen. Dazu wird z. B. die Anzahl getöteter Radfahrer sowohl auf die jeweilige Einwohneranzahl als auch auf Personenkilometer bezogen. Das Untersuchungskollektiv für die Schweiz umfasst 16.287 verunglückte Radfahrer in den Jahren 1999 bis 2003. Auch das Untersuchungskollektiv für die anderen europäischen Länder umfasst jeweils die verunglückten Radfahrer aus drei Jahren.

In der österreichischen Diplomarbeit von TRUNK (2010) werden die Unfallkosten verunglückter Radfahrer (bezogen auf die Radverkehrsleistung) den Unfallkosten verunglückter Pkw-Nutzer (bezogen auf die Pkw-Verkehrsleistung) gegenübergestellt. Die für die Radfahrer ermittelte Unfallkostenrate, die aus den Unfällen mit Personenschaden für das Jahr 2009 mit 1 Getöteten, 70 Schwerverletzten und 482 Leichtverletzten resultiert, ist deutlich größer als die entsprechende Unfallkostenrate für die Pkw-Nutzer, die sich für den gleichen Zeitraum aus 7 Getöteten, 125 Schwerverletzten und 2.799 Leichtverletzten ergibt.

Die anlagenbezogenen Untersuchungen beziehen im Wesentlichen das Verkehrsaufkommen im Radverkehr ein.

So verwenden beispielsweise HERRSTEDT et al. (1994) in ihrer vergleichenden Untersuchung der Sicherheit von Radwegen und Radfahrstreifen in verschiedenen dänischen Städten die auf die Radverkehrsstärke bezogene Unfallrate, resultierend aus den Unfällen mit Personenschaden von 5 Jahren. In ihre Untersuchung gingen 72 Streckenabschnitte (ca. 60 km) mit Radfahrstreifen, auf denen 27 Unfälle mit

Radfahrerbeteiligung geschahen, und 28 Streckenabschnitte (ca. 25 km) mit Radwegen ein, auf denen 21 Unfälle mit Radfahrerbeteiligung passierten.

In seiner Vorher-Nachher-Untersuchung betrachtet JENSEN (2007) den Vergleich zwischen Radfahren auf der Fahrbahn ohne Radverkehrsanlage gegenüber Radfahren auf Radwegen und Radfahrstreifen in Dänemark und stellt die Anzahl hochgerechneter Unfälle und Verletzter gegenüber. Sein Untersuchungskollektiv umfasst ca. 21 km Straße mit beidseitigem Radweg und ca. 6 km Straße mit beidseitigem Radfahrstreifen. An Radwegen stieg die Unfall- und die Verletztenanzahl bezogen auf hochgerechnete Unfälle im Vorherzeitraum um jeweils 10 %, an Radfahrstreifen stiegen die Anzahl der Unfälle um 5 % und die Anzahl der Verletzten um 15 %. Dies führt JENSEN (2007) darauf zurück, dass zum einen die Gefahr an den Knotenpunkten für die Radwegnutzung um 18 % gestiegen ist. Zum anderen wurde weder bei den Radwegen noch bei den Radfahrstreifen eine regelwerkskonforme Ausbildung überprüft, noch wurden die Verkehrsstärke sowie deren Zusammensetzung berücksichtigt, die sich jedoch nachweislich geändert haben. Die Hochrechnungsmethodik der Unfälle basiert auf der „Second best methodology“ und sollte – auch nach JENSEN (2007) – noch einmal kritisch hinterfragt werden.

Auch KNOCHÉ (1981) verwendete bei seiner Untersuchung zum Einfluss von Radwegen auf die Verkehrssicherheit eine auf die Radverkehrsstärke bezogene Unfallrate. Darüber hinaus verwendete er auf die Kfz-Verkehrsstärke und auf die Kfz- und Radverkehrsstärke bezogene Unfallraten. Er stellt fest, dass an Straßen mit beidseitigen Radwegen – hier untersuchte er 320 km Straßenlänge, an denen 1.495 Unfälle mit Radfahrer- und Mofabeteiligung geschahen – das Risiko eines Unfalles für Rad- und Mofafahrer geringer ist als auf Straßen ohne Radweg, von denen er 460 km Straßenlänge mit 928 entsprechenden Unfällen betrachtete.

ANGENENDT et al. (1994) verwenden in ihrer Untersuchung zur verkehrssicheren Anlage und Gestaltung von Radwegen als Sicherheitskenngrößen neben der Unfalldichte auch die Unfallrate bezogen auf die Unfälle mit Radfahrerbeteiligung und die durchschnittliche tägliche Radverkehrsstärke. Hierbei stellten sie für 17 Untersuchungsbeispiele mit Radwegen, an denen auf insgesamt ca. 16 km Länge 468 Unfälle mit Radfahrerbeteiligung geschahen, einen leichten Zusammenhang zwischen der Unfallrate und der Radverkehrsstärke fest, ein

Zusammenhang mit der Kfz-Verkehrsstärke wurde nicht festgestellt. Hingegen wurde für 16 Fallbeispiele mit einer Radverkehrsführung auf der Fahrbahn, an der auf ca. 10 km Länge 162 Unfälle mit Radfahrerbeteteiligung passierten, festgestellt, dass sich die Unfallrate mit steigender Kfz-Verkehrsstärke erhöht. Dies ist jedoch erst bei Kfz-Verkehrsstärken ab etwa 15.000 Kfz/Tag gegeben. Ein Einfluss der Radverkehrsstärke – hier zwischen 800 und 2.400 Radfahrer pro Tag – auf die Unfallrate ist bei einer Fahrbahnführung nahezu nicht gegeben. Eine räumliche Unterscheidung nach Strecken und Knotenpunkten zeigt, dass in Streckenabschnitten die Führung auf der Fahrbahn und in Knotenpunktbereichen die Radverkehrsführung auf dem Radweg unsicherer ist. Das Kollektiv der 6 Untersuchungsbeispiele mit Radfahrstreifen entsprach ca. 4 km mit 25 Unfällen mit Radfahrerbeteteiligung und ließ auf Grund der geringen Anzahl keine gesicherten Aussagen zu.

ALRUTZ et al. (2009) analysierten im Rahmen ihrer Untersuchung zu Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Radfahrern insgesamt 193 seitenbezogene Untersuchungsabschnitte differenziert nach der Art der Radverkehrsanlage. Ca. 600 Unfälle mit Radfahrerbeteteiligung der Kategorie 1 bis 4 aus den Jahren 2003 bis 2005 ereigneten sich auf 60 Straßenseiten von Straßen mit benutzungspflichtigen Radwegen (ca. 40 km), 53 Straßenseiten von Straßen mit nicht benutzungspflichtigen Radwegen (ca. 32 km), 42 Straßenseiten von Straßen mit Radfahrstreifen (ca. 30 km) und 38 Straßenseiten von Straßen mit Schutzstreifen (ca. 22 km). Für die Analyse des Unfallgeschehens wurden neben der Unfalldichte und der Unfallkostendichte auch die auf die Radverkehrsstärke bezogene Unfallrate und Unfallkostenrate herangezogen. In dieser Untersuchung beschreiben ALRUTZ et al. (2009) den Einfluss der Radverkehrsstärke und der Kfz-Verkehrsstärke abhängig von der Radverkehrsführung auf die Unfalldichte. Dieser Einfluss wirkt sich abhängig von der Art der Radverkehrsanlage unterschiedlich stark aus. Ein belastbarer Zusammenhang zwischen der Unfalldichte und Unfallrate des Radverkehrs und der Kfz-Verkehrsstärke konnte nicht nachgewiesen werden.

DANIELS et al. (2009) analysieren in ihrer belgischen Untersuchung die Radverkehrsführung an 50 Außerorts- und 40 Innerortskreisverkehren über die Anzahl der Unfälle mit Radfahrerbeteteiligung und Personenschäden in Flandern. Das Untersuchungskollektiv umfasst 40 Kreisverkehre mit Füh-

rung des Radfahrers auf Radfahrstreifen, an denen 198 Unfälle passierten, 38 Kreisverkehre mit Führung des Radfahrers auf Radwegen, an denen 166 Unfälle auftraten, und 9 Kreisverkehre mit Führung des Radfahrers auf der Fahrbahn, bei denen 40 Unfälle geschahen. Insgesamt kamen DANIELS et al. (2009) zu dem Ergebnis, dass Kreisverkehre mit Radfahrstreifen deutlich unsicherer waren als Kreisverkehre mit Führung des Radfahrers auf der Fahrbahn oder auf Radwegen. Darüber hinaus stellten DANIELS et al. (2009) in einer Vorher-Nachher-Analyse an diesen 50 Außerorts- und 40 Innerortskreisverkehren eine Zunahme der Anzahl der schwerverletzten Radfahrer bei Umbau des Knotenpunktes in einen Kreisverkehr unabhängig von der Radverkehrsführung fest.

BAIER et al. (2011) analysieren zur Ableitung von Einsatzbereichen und -grenzen von Minikreisverkehren für 104 Minikreisverkehre das Unfallgeschehen der Unfälle der Kategorien 1 bis 4 über 3 Jahre. Hierbei stellten sie fest, dass ca. ein Fünftel der Beteiligten an 147 Unfällen Radfahrer waren (Bild 4).

In der praktischen Anwendung der oben genannten Unfallkennwerte, insbesondere der Unfallkostendichte und Unfallkostenrate, auf den Radverkehr ergeben sich Probleme mit der Ermittlung der Fahrleistung im Radverkehr und spezifischen Unfallkostensätzen bei Radverkehrsunfällen. So werden z. B. in einer norwegischen Untersuchung zur Radverkehrssicherheit umfassende und detaillierte Zählungen mit Zuordnung zur jeweiligen Führungsform als Grundlage für die Verkehrssicherheitsbewertung gefordert (VEISTEN/SÆLENSMINDE/HAGEN, 2005).

Einen Ansatz zur Berücksichtigung der spezifischen Kostenstruktur von Unfällen mit Radfahr-

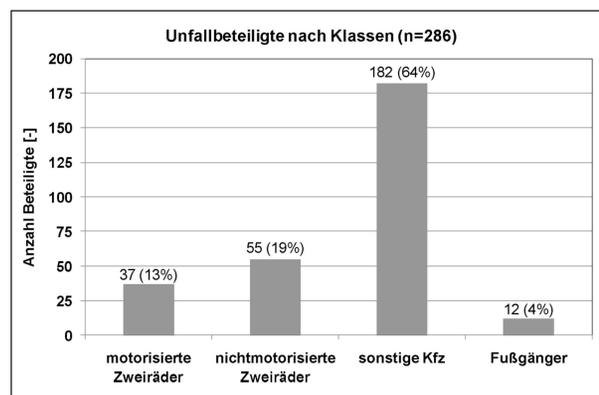


Bild 4: Unfallbeteiligte nach Verkehrsmittel (BAIER et al., 2011)

beteiligung entwickeln ALRUTZ et al. (2009) und ermitteln angepasste Unfallkostensätze für rund 500 Unfälle außerhalb von Knotenpunkten zwischen Hauptverkehrsstraßen. Für weitergehende Aussagen wäre dieser Datenumfang jedoch deutlich zu erweitern.

In Weiterentwicklung dieses Ansatzes ist auch eine radverkehrsspezifische Anwendung der ESN-Methodik denkbar, um ein „Sicherheitsverbesserungspotenzial Radverkehr –  $SIPO_{Rad}$ “ zu ermitteln. Eingangsgrößen hierfür könnten etwa die Unfälle mit Radfahrereteiligung, radverkehrsspezifi-

sche Unfallkostensätze und die Fahrleistung im Radverkehr sein.

Zusammenfassend lassen sich auf Grundlage der Literaturanalyse die Sicherheitskenngrößen des Radverkehrs, die sich als Unfallkennwert in Kombination mit einer Bezugsgröße verstehen, als „Unfallkennwerte“ in

- raumbezogene Kenngrößen und
- anlagenbezogene Kenngrößen

unterteilen.

Quelle	Untersuchungskollektiv				Sicherheitskenngrößen
	Infrastruktur	Unfälle	Unfallzeitraum	Unfallkategorie	
Verkehrssicherheitsbericht 2010 für Berlin	gesamtes Stadtgebiet		2002-2009	1-3	Unfallanzahl, Verunglücktenanzahl nach Schwere, Anteile Verunglückter nach Schwere im Vergleich zum Anteil am Modal Split, verunglückte Radfahrer und schwerverletzte Radfahrer jeweils nach Altersgruppe in Relation zu ihrem Einwohneranteil
MAIER et al.	Dresden	14.881 Unfälle	2005	1-5	Unfälle mit Radfahrereteiligung nach Kategorie anteilig nach Unfalltyp und nach Knotenpunkttyp
BAIER et al. (2011)	BRD (89.920.000 km Strecke) 13 Städte (1.767.143 km Strecke aus 11 Städten)	984.443, davon 236.406 mit Radfahrereteiligung 24.605, davon 5.815 mit Radfahrereteiligung			Verunglücktenstruktur, Unfall(kosten)rate der Unfälle mit Radfahrereteiligung bezogen auf Radverkehrsleistung, in Relation zum Modal-Split-Anteil
BRÜDE/LARSSON (2003)	285 Kreuzungen  377 Kreuzungen	165 Unfälle mit Fußgängerbeteiligung 432 Unfälle mit Radfahrerbeteiligung	2003-2008		Zusammenhang zwischen Verkehrsaufkommen und Unfallzahlen
JACOBSEN (2003)	68 Städte aus Kalifornien, 47 Städte aus Dänemark, 14 europäische Länder, Zeitreihe Großbritannien				Radverkehrsstärke bezogen auf die Unfallzahl mit Radfahrerbeteiligung
TURNER et al. (2010)	-	-	-	-	-
CAIRNEY/OXLEY (2005)	ganz Australien und Neuseeland		2000-2004		Verunglückte differenziert nach Altersklassen in Relation zu ihrem jeweiligen Einwohneranteil
BJØRNSKAU (2008)	Norwegen		2005 (1985, 1992, 1998, 2001)		Verunglückte je Verkehrsmittel auf die jeweiligen Personenkilometer, Verunglückte nach Personenkilometer und Altersgruppen, Verunglückte, Verletzte, Unfälle nach Personenkilometer

Tab. 1: Auswertung der Literaturgrundlagen

Quelle	Untersuchungskollektiv				Sicherheitskenngrößen
	Infrastruktur	Unfälle	Unfallzeitraum	Unfallkategorie	
SWOV (2009) SWOV-Factsheet-Fietsers	ganz Niederlande		1987-2008 2005-2007	Getötete und im Krankenhaus Behandelte	absolute Anzahl zu Verunglückten nach Schwere, Anzahl Verunglückte nach Schwere je Altersgruppe in Relation zur Radverkehrsleistung
WALTER et al. (2005)	Schweiz	16.287 Verunglückte Radfahrer	1999-2003	1-3	Anzahlen getöteter Radfahrer sowohl auf die jeweilige Einwohneranzahl als auch auf Personenkilometer bezogen
TRUNK (2010)	Wien	Rad: 1 GT 70 SV 482 LV  Pkw: 7 GT 125 SV 2.799 LV	2009	1-3	Unfallkosten bezogen auf die Radverkehrsleistung bzw. Pkw-Verkehrsleistung
HERRSTEDT et al. (1994)	59,3 km Radfahrstreifen (72 Strecken)  25,3 km Radwege (28 Strecken)  34,7 km Führung im Mischverkehr (45 Strecken)	27 Unfälle mit Radfahrer-beteiligung  21 Unfälle mit Radfahrer-beteiligung  18 Unfälle mit Radfahrer-beteiligung	1988-1992	1-3	die auf Radverkehrsstärke bezogene Unfallrate
JENSEN (2007)	20,6 km Straße mit beidseitigem Radweg  5,6 km Straße mit beidseitigem Radfahrstreifen	hochgerechnete Unfälle	1976-2004	Personen- und Sachschäden	Anzahl hochgerechneter Unfälle und Verletzter
KNOCHE (1981)	460 km Straße ohne Radweg  150 km Straße mit einseitigem Radweg  320 km Straße mit beidseitigem Radweg	928 Unfälle mit Radfahrer- und Mofabeteiligung  376 Unfälle mit Radfahrer- und Mofabeteiligung  1.495 Unfälle mit Radfahrer- und Mofabeteiligung	1-3 Jahre (1975-1978)	Personen- und Sachschäden	Unfalldichten, auf die Radverkehrsstärke bezogene Unfallrate, die Kfz-Verkehrsstärke und auf die Kfz- und Radverkehrsstärke bezogene Unfallrate
BAIER et al. (2010)	32 außerörtliche Zufahrten an ortsfernen und ortsnahen Außerortsknotenpunkten sowie 79 Zufahrten an innerörtlichen Kreuzungen und Einmündungen	32 außerörtliche Zufahrten an ortsfernen und ortsnahen Außerortsknotenpunkten sowie 79 Zufahrten an innerörtlichen Kreuzungen und Einmündungen	mindestens 3 Jahre	1-4	zufahrtsbezogene UKR <sub>Z, M, LA</sub> infolge der Unfälle mit Linksabbiegern jeweils bezogen auf verschiedene Konfliktverkehrsstärken
ANGENENDT et al. (1994)	17 Beispiele mit Radwegführung (ca. 16 km)  16 Beispiele mit Radwegführung auf der Fahrbahn (ca. 10 km)  6 Beispiele mit Radfahrstreifen (ca. 4 km)	468 Unfälle mit Radfahrer-beteiligung  162 Unfälle mit Radfahrer-beteiligung  25 Unfälle mit Radfahrer-beteiligung	3 Jahre (mit Ausnahmen 2 oder 1,5 Jahre)	1-6	Unfalldichte, Unfallrate bezogen auf die Unfälle mit Radfahrer-beteiligung und die durchschnittliche tägliche Radverkehrsstärke

Tab. 1: Fortsetzung

Quelle	Untersuchungskollektiv				Sicherheitskenngrößen
	Infrastruktur	Unfälle	Unfallzeitraum	Unfallkategorie	
ALRUTZ et al. (2009)	in 8 Städten: 60 Straßenseiten mit benutzungspflichtigen Radwegen (ca. 40 km) 53 Straßenseiten mit nicht benutzungspflichtigen Radwegen (ca. 32 km) 42 Straßenseiten mit Radfahrstreifen (ca. 30 km) 38 Straßenseiten mit Schutzstreifen (ca. 22 km)	ca. 600 Unfälle mit Radfahrereteiligung	2003-2005	1-4	Unfalldichte, Unfallkostendichte, auf die Radverkehrsstärke bezogene Unfallrate und Unfallkostenrate
DANIELS et al. (2009)	50 Außerorts- und 40 Innerortskreisverkehre: 9 Kreisverkehrsplätze mit Führung des Radfahrers im Mischverkehr 40 Kreisverkehrsplätze mit Führung des Radfahrers auf Radfahrstreifen 38 Kreisverkehrsplätze mit Führung des Radfahrers auf Radwegen	40 Unfälle mit Radfahrereteiligung  198 Unfälle mit Radfahrereteiligung  166 Unfälle mit Radfahrereteiligung	1991-2001 (mindestens 3 Jahre vor Umbau und 1 Jahr nach Umbau)	1-3	Wirksamkeitsindex bezogen auf einer Vorher-Nachher-Studie der Anzahl der Unfälle mit Radfahrereteiligung
BAIER et al. (2011)	104 Minikreisverkehre	147 Unfälle	3 Jahre	1-4	Anzahl Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung

Tab. 1: Fortsetzung

Art der Kenngröße	Bezugsebene	Indikatoren
Raumbezogene Kenngrößen	Bund, Länder, kommunale Gebietskörperschaften	z. B. Einwohneranzahlen, Modal-Split-Anteile, Radverkehrsaufkommen
Anlagenbezogene Kenngrößen	Radverkehrsführungsformen an Strecken und Knoten	z. B. Radverkehrs-, Kraftfahrzeugs- und Fußgängerkehrsstärken
Nutzerbezogene Kenngrößen	Individuum (Radfahrer)	z. B. Alter, Leistungsfähigkeit, Regelakzeptanz, Erfahrung

Tab. 2: Kategorisierung der (Sicherheits-)Kenngrößenarten

Unter der Berücksichtigung von Sicherheitskenngrößen aus weiteren Fachdisziplinen, wie z. B. der Verkehrspsychologie oder Verkehrsmedizin, können zusätzlich nutzerbezogene Kenngrößen zur Bewertung der Verkehrssicherheit herangezogen werden.

Die Bezugsebenen und Indikatoren für die drei unterschiedlichen Kenngrößenarten werden in Tabelle 2 genannt.

Dabei ist zu beachten, dass noch methodische Lücken hinsichtlich der Berücksichtigung der spezi-

fischen Kostenstruktur von Unfällen mit Radfahrern sowie der Ermittlung von Fahrleistungen im Radverkehr bestehen.

Darüber hinaus ist bei dem Heranziehen von Unfalldaten zu beachten, dass z. B.

- die nicht registrierten Unfälle (Dunkelziffer) nicht berücksichtigt werden können,
- Unfälle bezogen auf die Unfallorte und die Verkehrsteilnehmer seltene Ereignisse darstellen,
- sich auf Grund des registrierten Unfallgeschehens nur schwer Prognosen zum zukünftigen Unfallgeschehen erstellen lassen und
- die Aufnahme und Kategorisierung der Unfälle durch die zuständigen Polizeibeamten auch subjektiv geprägt sein können.

## 2.3 Sicherheitskenngrößen aus der Analyse der Infrastruktur

### 2.3.1 Verträglichkeitsanalysen

Die hierzu vorliegenden Untersuchungen analysieren systematisch – in der Ausgestaltung der Infrastruktur – angelegte Konflikte, die sich aus den „Verursachern“ (dem Kfz-Verkehr in seinen Ausprägungen, d. h. Belastung und Geschwindigkeit) in den jeweiligen straßenräumlichen Gegebenheiten für die „Betroffenen“ (Fußgänger und Radfahrer) ergeben. Sie werden netzweit nach dem „Modell der autonomen und relativen Standards“ (M.A.R.S.) anlagenbezogen ermittelt.

Grundlage dieser Bewertung ist eine Begehung des zu untersuchenden Netzes, bei der alle relevanten straßenräumlichen Gegebenheiten für die einzelnen Strecken (Abschnitte zwischen Knotenpunkten „gleichrangiger“ Straßen innerhalb des Untersuchungsnetzes),

- die Fahrbahnbreite,
- die Gehwegbreite,
- das Vorhandensein, die Art und die Wirksamkeit von Überquerungshilfen, einschließlich der Sichtverhältnisse bei der Überquerung,
- das Vorhandensein, die Art und die Abmessungen von Radverkehrsanlagen,

sowie für die Knotenpunkte von „gleichrangigen“ Straßen des Untersuchungsnetzes als relevante Gegebenheiten für jeden Knotenpunktarm, abhängig vom jeweiligen Knotenpunkttyp (Kreuzung/Einmündung mit LSA, Kreuzung/Einmündung mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen oder Kreisverkehr) erhoben werden.

In Abhängigkeit von den Merkmalen der Verursacher und den Ansprüchen der Betroffenen werden anhand von spezifischen Bewertungstabellen bezogen auf Streckenabschnitte und Knotenpunkte für die Betroffenengruppen „Fußgänger im Längsverkehr und Aufenthalt“, „Fußgänger im Querverkehr (Fahrbahnüberquerungen)“ und „Radfahrer im Längsverkehr“ Problempunkte vergeben (Bild 5). Damit ist die Möglichkeit zum Vergleich aller Strecken und Knotenpunkte von Straßen des Untersuchungsnetzes hinsichtlich systematisch angelegter Konflikte insgesamt, aber auch hinsichtlich der einzelnen Betroffenenengruppen, z. B. Radfahrer (Bild 6), gegeben.

Im Rahmen der Erarbeitung des VEK Stuttgart (BAIER et al., 2009a) wurden die so gewonnenen Ergebnisse aus der Verträglichkeitsanalyse mit den Ergebnissen aus der Verkehrssicherheitsanalyse in Anlehnung an die ESN (2003) überlagert.

### 2.3.2 Sicherheitsbewertung nach HVS-Entwurf

Das im HVS dargestellte Verfahren beschreibt eine formalisierte, standardisierte Bewertung der Verkehrssicherheit geplanter oder bestehender Straßen. Das Ergebnis der Bewertung ist ein aus Unfallkostenraten abgeleiteter Sicherheitsgrad für ein einzelnes Netzelement (Streckenabschnitt oder Knotenpunkt) und dessen Zuordnung zu einer Qualitätsstufe der Verkehrssicherheit. Die Bewertung erfolgt stets nur für ein einzelnes Netzelement.

Der Sicherheitsgrad eines Netzelements wird dabei aus der Grundunfallkostenrate gUKR des jeweiligen Netzelements als Unfallkostenrate einer regelwerkskonformen Ausbildung und einer Reihe von Zuschlägen für Abweichungen vom Regelwerk ermittelt.

Grundlage für die Bewertungsverfahren sind dementsprechend die Festlegungen in den neuen Entwurfsrichtlinien RAA, RAL und RASt. In den Verfahren sind aktuelle Forschungserkenntnisse berücksichtigt.

<b>Straßenabschnitt</b>		<b>Straße:</b> von _____ bis _____
		
<b>Nutzungen</b>		Verbindungsstraße
<b>Kfz-Belastung</b>		Rund 12.500 Kfz/Tag (Zwischen 12.283 Kfz/Tag und 12.534 Kfz/Tag)
<b>Bewertung der straßenräumlichen Bedingungen für</b>		
<b>Fußgänger (längs)</b>	Frequenz	Mittel
	Gehwege	Nutzbare Gehwegbreite links 2,30 m und rechts 1,40 m (erforderlich 2,50 m)
	<b>Bewertung</b>	<b>3 Punkte</b>
<b>Fahrrad</b>	Radverkehrsanlagen	Keine Radverkehrsanlage
	<b>Bewertung</b>	<b>4 Punkte</b>
<b>Überquerungen</b>	Anlagen	Keine Querungshilfe
	Überquerungsbreite	9,00 m
	<b>Bewertung</b>	<b>4 Punkte</b>
<b>Gesamtbewertung</b>		<b>11 Punkte</b>

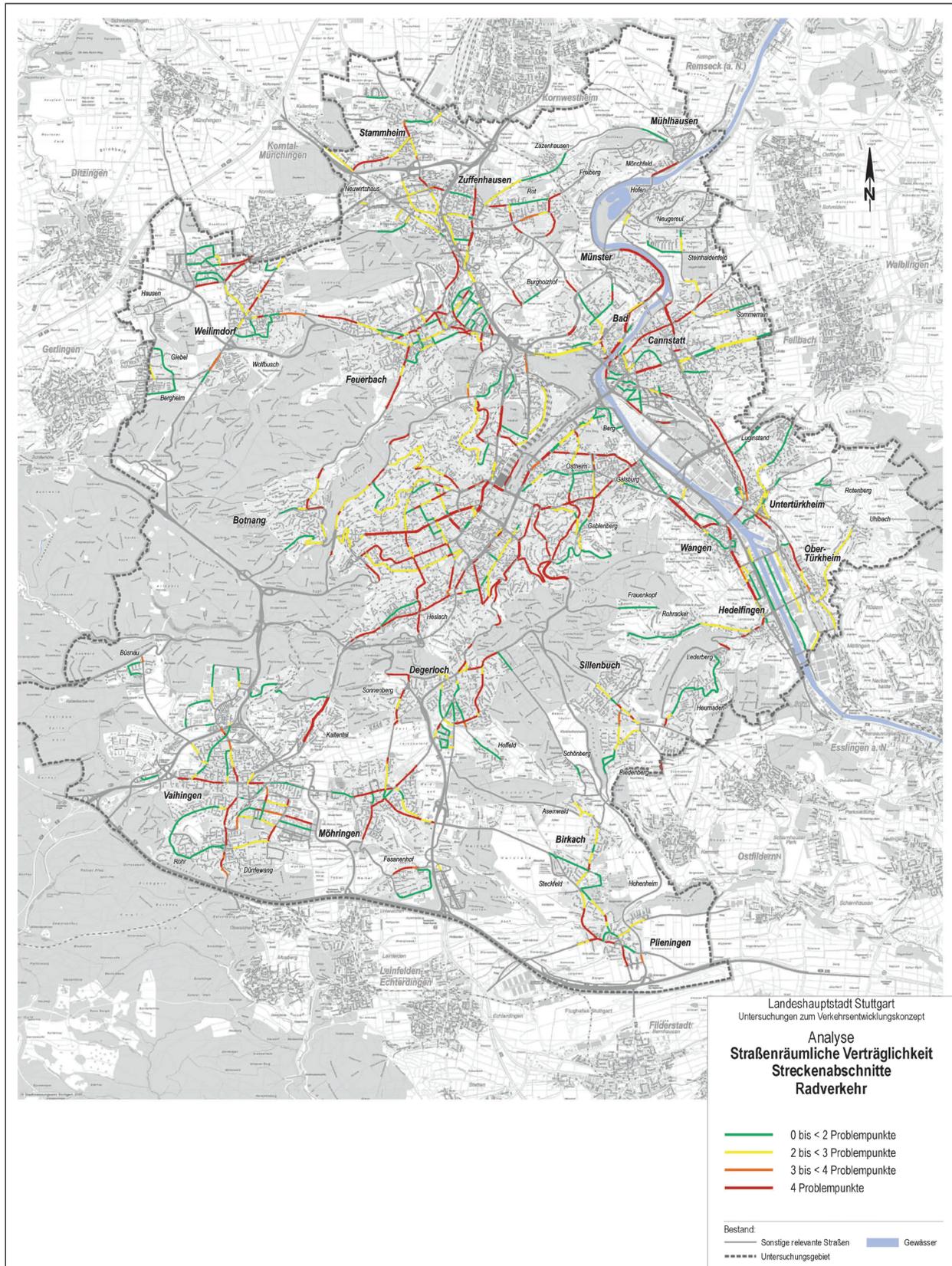
Bild 5: Bewertungsbeispiel Straßenräumliche Verträglichkeit (BAIER et al., 2009a)

Bei der Sicherheitsbewertung werden Verfahren zur Bewertung von Straßen außerhalb und innerhalb bebauter Gebiete unterschieden. Das Verfahren zur Bewertung von Straßen außerhalb bebauter Gebiete unterscheidet zusätzlich zwischen Autobahnen und Landstraßen. Das Verfahren zur Bewertung von Straßen innerhalb bebauter Gebiete beschränkt sich auf die Bewertung von Hauptverkehrsstraßen.

Als Ergebnis des Verfahrens werden die für jedes Netzelement berechneten Sicherheitsgrade sechs Qualitätsstufen der Verkehrssicherheit (A bis F) zugeordnet. Diese stehen stellvertretend für folgende Einstufungen:

- (A) – sehr hohe Sicherheit,
- (B) – hohe Sicherheit,
- (C) – hinreichende Sicherheit,
- (D) – eingeschränkte Sicherheit,
- (E) – erheblich eingeschränkte Sicherheit,
- (F) – unzureichende Sicherheit.

Die Qualitätsstufen der Verkehrssicherheit erleichtern den Vergleich verschiedener Untersuchungsfälle. Der vorhandene oder aufgrund einer Planung zu erwartende Sicherheitsgrad ist ein Indikator für das entwurfstechnische Verkehrssicherheitsniveau einer Straßenverkehrsanlage.



**Bild 6:** Darstellung der systematisch angelegten Konflikte im Radverkehr (BAIER et al., 2009a)

## 2.4 Sicherheitskenngrößen aus der Analyse des Verkehrsverhaltens

Die auf dem Verkehrsverhalten basierenden Kenngrößen sind im Wesentlichen anlagenbezogen und werden mit der so genannten Verkehrskonflikttechnik ermittelt.

Die Verkehrskonflikttechnik ist ein standardisiertes Beobachtungsverfahren zur Erfassung von Konflikten in Verkehrsanlagen mit dem Ziel, Gefährdungen abzuschätzen. Hier wurden erste Ansätze von ERKE/ZIMOLONG (1978) und ZIMOLONG (1982) entwickelt und von ERKE/GSTALTER (1985) für den Radverkehr weiterentwickelt. Dabei werden neben Begegnungen und definierten Konflikten auch folgenlose Verkehrsregelübertretungen aufgenommen sowie die Verkehrsmengen. Die beobachteten Konflikte können auf einem Erhebungsbogen (Bild 7) grafisch notiert werden.

Zur Bewertung der Verkehrssicherheit werden nach ERKE/GSTALTER (1985) folgende Kenngrößen berechnet, die „eine quantitative und qualitative Abschätzung der Gefährdungen erlauben“:

- Konfliktichte (Zahl der Konflikte pro Flächeneinheit),
- Konfliktrisiko (Zahl der Konflikte pro Verkehrsteilnehmer oder Bewegungslinie),
- Konfliktrate (Zahl der Konflikte pro Begegnung) und
- Konfliktanteile (Konflikte bezogen auf die Summe der Konflikte mit bestimmten Verkehrsteilnehmern oder Verhaltensweisen, z. B. Anteil aggressiv entstandener oder gelöster Konflikte mit Radfahrerbeteiligung).

Neben der „klassischen“ Unfallanalyse wurden im Rahmen einer Wirkungsanalyse für eine umgebaute Hauptverkehrsstraße (BAIER et al., 2009b) auch Konfliktanalysen für Radfahrer auf der Fahrbahn und für Radfahrer im Seitenraum durchgeführt. In zwei Abschnitten wurden dabei ganztägige (7:00 Uhr bis 19:00 Uhr) Videobeobachtungen hinsichtlich Interaktionen zwischen Radfahrern auf der Fahrbahn und Kraftfahrzeugen sowie Interaktionen zwischen Radfahrern im Seitenraum und Fußgängern analysiert.

Elemente der Verkehrskonflikttechnik enthält auch das in Entwicklung befindliche „Bestandsaudit“, bei dem neben der Ausgestaltung der Verkehrsanlage auch das Verkehrsverhalten analysiert wird (BAIER, 2006).

VKT-R: Begegnungen, Konflikte, Verkehrsregelübertretungen			
Ort _____ Datum _____ Blatt Nr. _____		P – Pkw, Kombi	
Knoten _____ Beobachter _____		L – Lkw, Bus	
Beobachtungszeit von _____ bis _____ Wetter _____		F – Fußgänger	
		R – Radfahrer	
		Mofa	
Nr.	Zeit	Schwere	Beteiligte
1			
2			
3			
4			
5			
		R	Mofa Kfz
Rotlicht nicht beachtet			
Radweg/Straße linksseitig			
Radweg nicht benutzt			
Gehweg befahren			

Bild 7: Beispiel für einen Erhebungsbogen für Abschnitte größerer Verkehrsanlagen und komplexere Knotenpunkte (ERKE/GSTALTER, 1985)

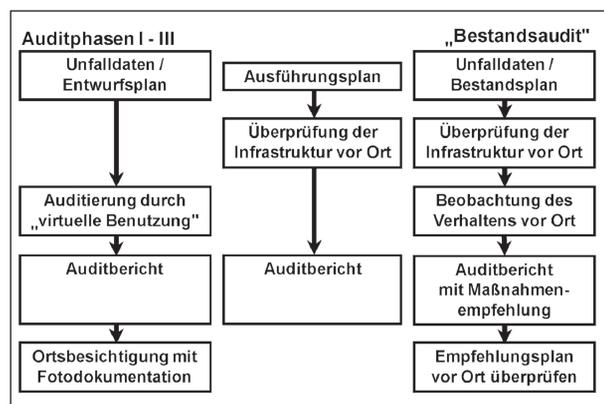


Bild 8: Auditstrukturen (BAIER, 2006)

## 2.5 Sicherheitskenngrößen aus der Analyse von Verkehrskonflikten

ANGENENDT et al. (1987) sind der Auffassung, dass „Verkehrssicherheit“ durch Unfallzahlen oder -raten nur indirekt und auch nur bedingt ausgedrückt werden kann, da zusätzlich zu den registrierten Unfällen auch die nicht registrierten Unfälle (Dunkelziffer) betrachtet werden müssten.

Daher hat sich bereits Mitte der 1980er Jahre eine Projektgruppe der Bundesanstalt für Straßenwesen mit „situationsbezogenen Sicherheitskriterien im Straßenverkehr“ beschäftigt und festgestellt, „dass jede einzelne Verkehrssituation durch eine große Zahl baulicher und betrieblicher Merkmale mit lokalbezogenem Charakter bestimmt wird“ (ANGENENDT et al., 1987). Dies trifft in besonderem Maße für den Radverkehr zu. In der weiterführenden Untersuchung (DAHMEN-ZIMMER/ZIMMER, 1997) wird zur Bestimmung von situativen Sicherheitskenngrößen direkt auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer Bezug genommen.

DAHMEN-ZIMMER/ZIMMER (1997) vertreten die These, dass „die Bestimmung und Bewertung von Sicherheitskenngrößen allein aufgrund physikalischer Gegebenheit (z. B. der ingenieurwissenschaftlichen Vorgaben für die straßenbauliche Gestaltung)“ nicht ausreichen sondern zusätzlich die Einbeziehung psychologischer Gesetzmäßigkeiten (z. B. die Grenzen der menschlichen Wahrnehmungsfähigkeit und Informationsverarbeitungskapazität) notwendig ist, „um dadurch Verkehrsteilnehmer in ihrer situativen Kompetenz zu unterstützen und Überforderungen zu vermeiden“. „Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen“ werden von DAHMEN-ZIMMER/ZIMMER (1997) wie folgt definiert: „Als Sicherheitskenngröße werden (...) die verhaltenswirksamen Gestaltungsmerkmale von einzelnen Situationen verstanden. Zur Situation gehören dabei sowohl die baulichen Gestaltungsmerkmale (z. B. Straßenbreite, Radverkehrsführung) wie auch die Merkmale des Verkehrsgeschehens (anderer Verkehrsteilnehmer), deren Einfluss auf Sicherheit vs. Unsicherheit über die Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer zu erfassen ist.“

Basierend auf dem Grundlagenwissen der Gebiete Psychologie, Straßenbau und Unfallforschung kategorisieren und bewerten DAHMEN-ZIMMER/ZIMMER (1997) situative Sicherheitskenngrößen, in welcher Weise sie das Verhalten der Verkehrsteilnehmer induzieren und steuern. Als das Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer steuernde Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit werden

- direkte bauliche Maßnahmen zur Verhinderung bestimmter gefährlicher Fahrmanöver sowie
- unbewusste und bewusste Prozesse zur Verhaltensänderung

genannt. Die durch diese Maßnahmen bewirkten Verhaltensänderungen lassen sich in ihrer Auswir-

kung auf die Homogenität der Verkehrsabläufe und die Geschwindigkeit nachweisen. Als die wichtigsten Verhaltenskenngrößen zur Beurteilung der Verkehrssicherheit von Straßenverkehrssituationen werden

- Geschwindigkeit,
- Bewegungslinien der Verkehrsteilnehmer,
- Fahrprobleme,
- Verkehrsregelübertretungen und
- Verkehrskonflikte

genannt. DAHMEN-ZIMMER/ZIMMER (1997) kategorisieren für die von ihnen verwendeten Sicherheitskenngrößen die erwarteten Effekte für die Verkehrssicherheit wie folgt:

erhöhte Sicherheit durch

- Reduktion der Geschwindigkeit:
  - direkte bauliche Maßnahmen – z. B. fahrdynamische Geschwindigkeitsdämpfung,
  - unbewusste Verhaltensänderung – z. B. optische Geschwindigkeitsdämpfung,
  - bewusste Verhaltensänderung – z. B. Verkehrsschilder,
- Reduktion von Konfliktzonen:
  - direkte bauliche Maßnahmen, z. B. Trennung der Verkehrsarten, Mitteltrennung, Anlage von Kreisverkehren, Vorrang für den schwächsten Verkehrsteilnehmer,
- größere Fehlertoleranz für individuelle Fahrzeugführer:
  - direkte bauliche Maßnahmen – z. B. Fahrbahnverbreiterung,
- bessere Information:
  - z. B. über den Fahrbahnverlauf, den Kurvenverlauf und andere Verkehrsteilnehmer, bessere Sichtbedingungen.

Zur Erfassung der Sicherheitskenngrößen für die Führung des Radverkehrs an Kreuzungen wurde mittels Fahrsimulatorstudien an 20 Versuchspersonen das Beschleunigungs- und Bremsverhalten bei Anfahrt und Rechtsabbiegen an drei Kreuzungen mit unterschiedlicher Radverkehrsführung überprüft. DAHMEN-ZIMMER/ZIMMER (1997) zeigen mit ihrer Untersuchung, dass die Gestaltung der

Radverkehrsführung an Knotenpunkten eine eindeutige Auswirkung auf das Brems- und Beschleunigungsverhalten der Kfz-Nutzer hat und damit auf die Sicherheit der Radfahrer. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass deutlich markierte, nicht abgesetzte Radfahrstreifen gegenüber einfach markierten Radfahrerfurten hinsichtlich rechts abbiegender Fahrzeuge wesentlich sicherer sind. Bei einem freien Rechtsabbieger mit einer Dreiecksinsel sind die Radfahrer trotz deutlich markierter, abgesetzter Radfahrerfurt am meisten gefährdet.

### 2.6 Sicherheitskenngrößen aus der quantitativen Risikoanalyse

Ebenso wie die zuletzt genannten Ansätze ist auch die so genannte „quantitative Risikoanalyse“ anlagenbezogen. Sie wurde für den Bereich der Kernkrafttechnik und Chemieindustrie entwickelt und in jüngerer Zeit auf die objektive Beurteilung des Sicherheitsniveaus in Straßentunneln übertragen (vgl. z. B. MAYER/HAASTERT, 2003).

Eine risikoanalytische Untersuchung, wie sie bei Straßentunneln durchgeführt wird, basiert auf dem risikoorientierten Ansatz, der sich in die Einzelschritte Risikoanalyse, Risikobewertung und Maßnahmenplanung/-beurteilung gliedert (Bild 9). Im Rahmen der Risikoanalyse, die die Grundlage für die Sicherheitsbewertung bildet, werden Gefahren identifiziert und die zu erwartenden Häufigkeiten und Schadensausmaße von Ereignissen (quantitativ) abgeschätzt. Im Rahmen der Risikobewertung wird die Akzeptanz der ermittelten Risiken bestimmt und in der Maßnahmenplanung/-beurteilung werden die risikominimierenden Maßnahmen in ihrer Wirksamkeit und ihren Kosten beurteilt (vgl. SISTENICH, 2007 und ZULAUF et al., 2009).

Bei der quantitativen Risikoanalyse wird versucht, das Verhalten des Systems – hier „Tunnel“ – gedanklich logisch und strukturiert nachzubilden. Für diese Ereignisablaufanalyse werden von einem

auslösenden Ereignis aus alle möglichen Ablaufvarianten simuliert und die jeweils zu erwartende Häufigkeit des Endzustandes sowie Art und Ausmaß der Auswirkungen bestimmt und somit das Gesamtrisiko ermittelt. Zur Abschätzung der Auswirkungen sind zum einen numerische Berechnungsverfahren, z. B. zur Hitzeentwicklung und Rauchausbreitung, und zum anderen wissenschaftliche Verfahren notwendig, die z. B. das Fluchtverhalten der Tunnelbenutzer im Brandfall abbilden können.

Der wesentliche Vorteil der quantitativen Methoden gegenüber der qualitativen Methode (Bild 10) ist laut ZULAUF et al. (2009) die transparente Darstel-

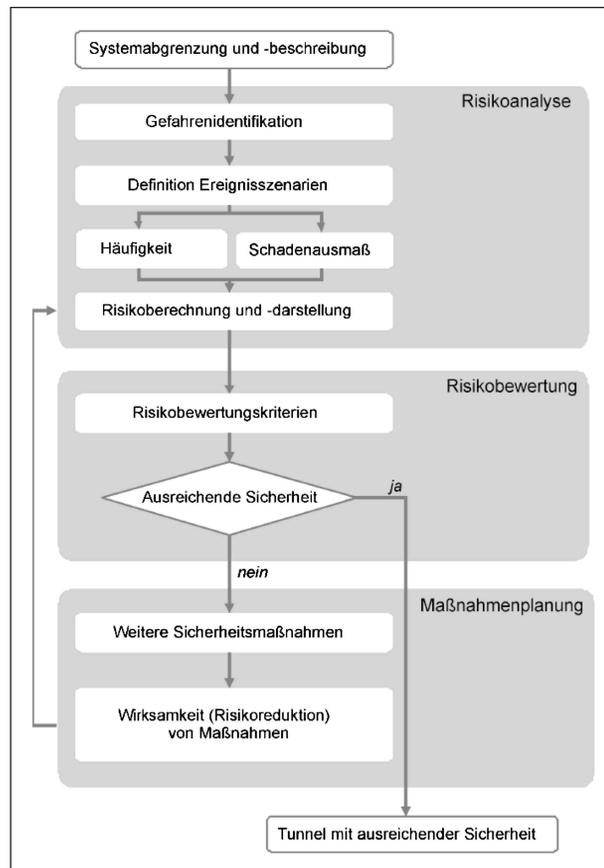


Bild 9: Elemente der risikoorientierten Sicherheitsbewertung für Tunnel (ZULAUF et al., 2009)

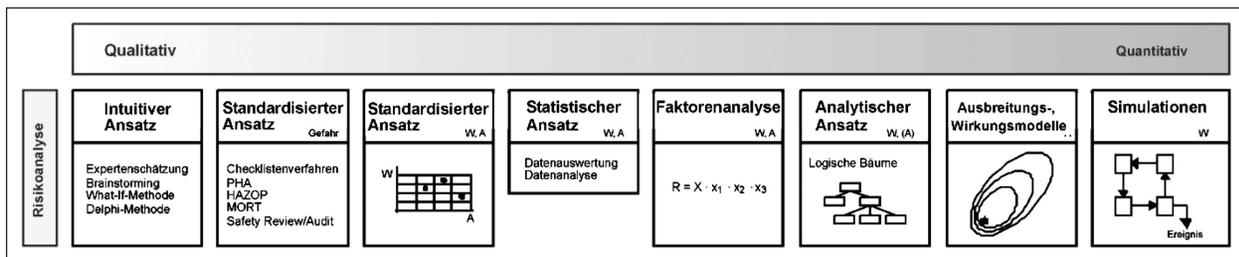


Bild 10: Qualitative und quantitative Methoden der Risikoanalyse (ZULAUF et al., 2009)

lung aller Berechnungsabläufe vom Ausgangsereignis über Folgeereignisse bis zum Endzustand, wodurch ein besseres Verständnis für komplexe Zusammenhänge erreicht werden kann.

Aufgrund des modularen Aufbaus der quantitativen Risikoanalyse kann auch die Auswirkung von einzelnen Systemkomponenten auf die Sicherheit analysiert werden. Deshalb ist die quantitative Risikoanalyse nicht nur zur objektiven Sicherheitsbewertung von Tunneln geeignet, sondern auch zur

deren Optimierung (vgl. MAYER/HAASERT, 2003).

Die Übertragung z. B. der Ereignisablaufanalyse auf Fragestellungen des Radverkehrs ist ähnlich der sog. „virtuellen Benutzung“ im Rahmen des Sicherheitsaudits von Straßen vorstellbar. „Virtuelle Benutzung“ heißt in diesem Fall, man versetzt sich in die Rolle eines Radfahrers und „durchfährt“ den im Plan dargestellten Verkehrsraum und stellt dazu sicherheitsrelevante Fragen (Bild 11).

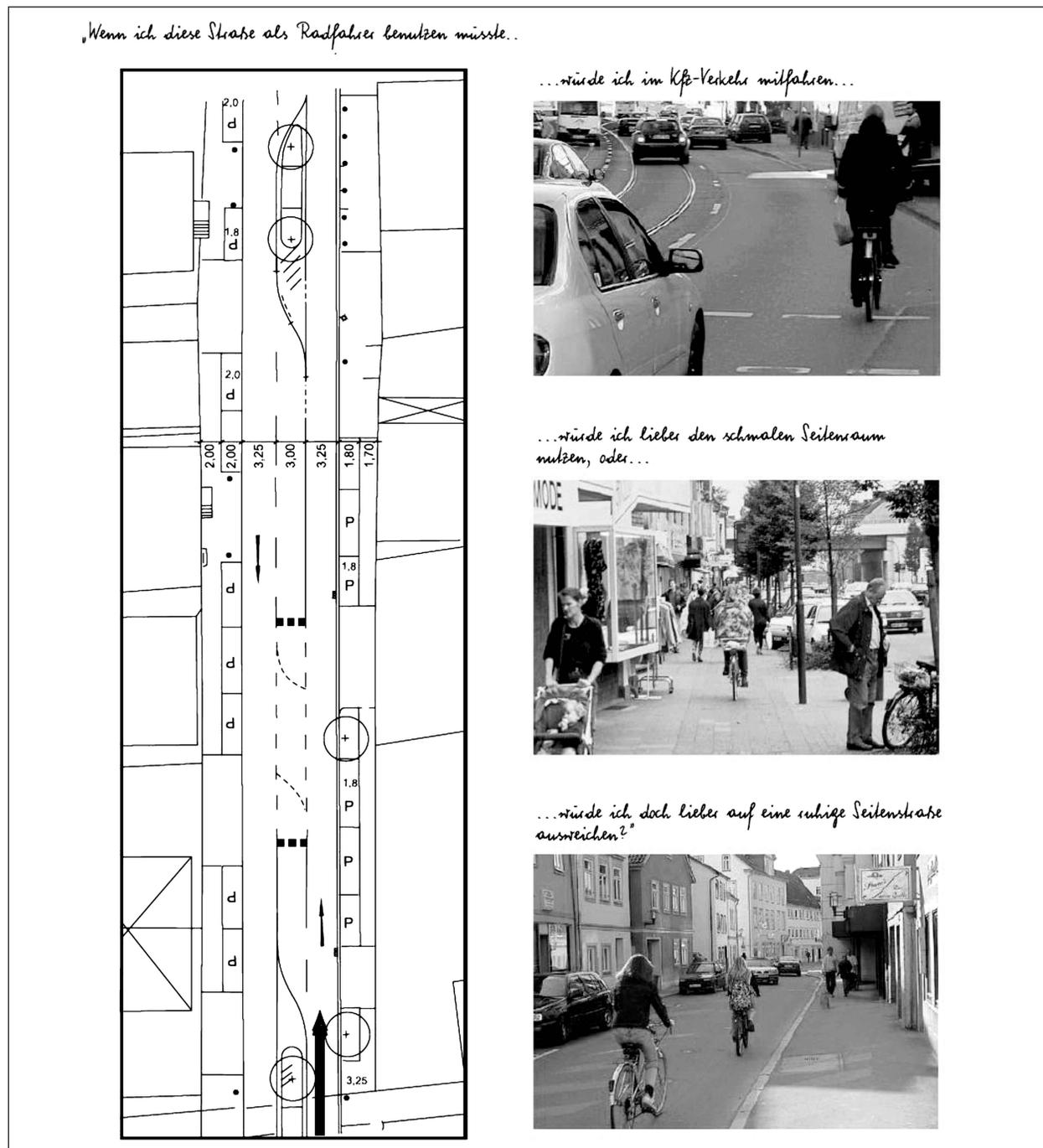


Bild 11: Virtuelle Benutzung beim Sicherheitsaudit (BAIER, 2004)

### 3 Strukturierungsvorschlag zur Ermittlung von Sicherheitskenngrößen

Zur Ermittlung von Sicherheitskenngrößen im Radverkehr wurde in einem ersten Arbeitsschritt ein Strukturierungsvorschlag zur Zusammenstellung von Sicherheitskriterien und potenziellen Sicherheitsindikatoren erarbeitet. Im Kern des Strukturierungsvorschlags (Bild 12) wird der Ablauf einer Fahrradfahrt von der Quelle bis zum Ziel oder einem potenziellen Unfall (bzw. Alleinunfall) in mehrere Stufen gegliedert. Die Stufen werden jeweils einem statischen und dynamischen Bereich zugeordnet. Während der statische Bereich mit dem Verkehrsteilnehmer, dem Anlass der Fahrradfahrt, der Verfügbarkeit des Fahrrads und der vorhandenen Infrastruktur die verkehrssicherheitsrelevanten Aspekte „vor Fahrtantritt“ aufgreift, werden in dem dynamischen Bereich mit der Fahrtcharakteristik, Interaktionen, Konflikten und Unfällen/Alleinunfällen

den die Stufen zugeordnet, die die Verkehrssicherheit „während einer Fahrradfahrt“ beeinflussen können.

Da sich Verkehrssicherheit im Radverkehr nicht ausschließlich aus Sicht der verkehrsplanerischen und verkehrstechnischen Fachdisziplin beschreiben und bestimmen lässt, werden in der Übersicht zusätzlich verkehrspsychologische und verkehrsmedizinische Sicherheitsaspekte berücksichtigt. In diesem Zusammenhang wurde erkannt, dass Sicherheitskenngrößen aus Sicht der Verkehrsplanung den einzelnen Stufen des statischen und dynamischen Bereichs einer Fahrradfahrt zugeordnet werden können, eine analoge Differenzierung für die verkehrspsychologischen und verkehrsmedizinischen Kenngrößen jedoch nicht möglich ist.

Neben den beiden Bereichen des Radverkehrsablaufs (statisch und dynamisch) und der Betrachtung der Verkehrssicherheit aus Sicht unterschiedlicher Fachdisziplinen findet in dem Strukturierungsvor-

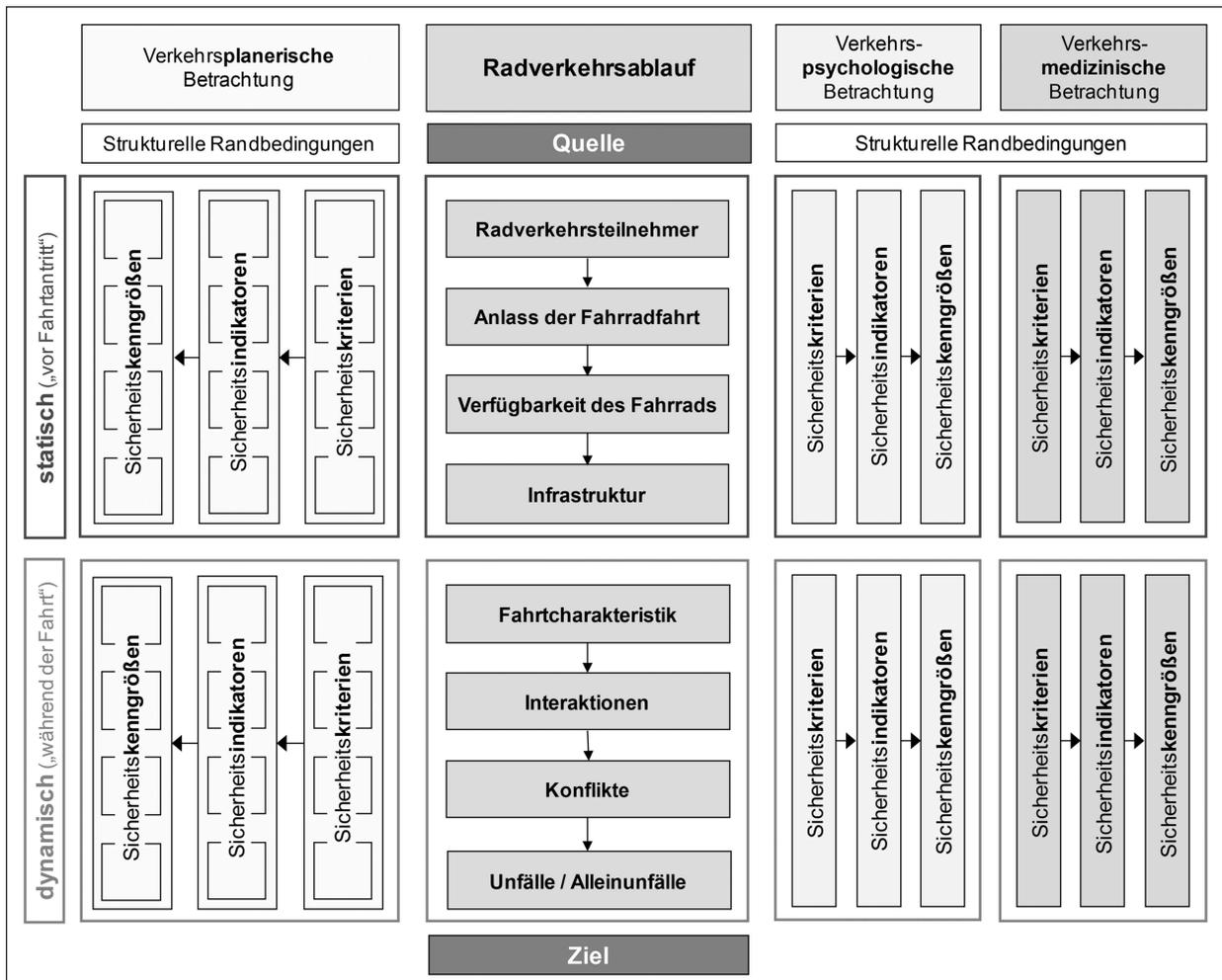


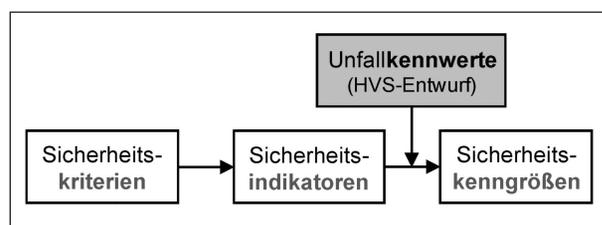
Bild 12: Vorschlag zur Strukturierung von Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr

schlag eine Differenzierung zwischen Kriterien, Indikatoren und Kenngrößen statt. Sicherheitskriterien stellen in diesem Zusammenhang Themen und Fragestellungen dar, für die unterschiedliche von einem Unfallgeschehen unabhängige Sicherheitsindikatoren identifiziert und differenziert werden können. Im Gegensatz dazu werden als Sicherheitskenngrößen quantifizierbare Messgrößen bezeichnet, die sich aus verkehrsplanerischer Sicht immer auf ein Unfallgeschehen beziehen und zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr herangezogen werden können.

Während sich die „klassischen“ Sicherheitskenngrößen als Unfallkennwerte nach dem HVS-Entwurf (siehe Kapitel 2.1) in erster Linie dadurch auszeichnen, dass Unfallanzahlen oder Unfallkosten ins Verhältnis zu einer Verkehrsstärke, Fahrleistung oder einer Streckenlänge gesetzt werden, so bildet der Strukturierungsvorschlag die Grundlage dafür, auf den unterschiedlichen Ebenen bzw. Stufen einer Fahrradfahrt neue Bezüge zwischen Sicherheitsindikatoren und Unfallkennwerten und somit „neue“ Sicherheitskenngrößen herzustellen.

Auch wenn die Unfallkennwerte nach dem HVS-Entwurf (für sich betrachtet) die Qualität und Aussagekraft von Sicherheitskenngrößen aufweisen, so werden sie im Rahmen dieses Projektes primär als erforderliche Bewertungsgrößen des Unfallgeschehens angesehen, die in Kombination mit einem Sicherheitsindikator „neue“ Sicherheitskenngrößen erzeugen können, mit denen differenzierte Aussagen zur Verkehrssicherheit möglich sind (Bild 13).

Als übergeordnete Bezugsebene lassen sich für eine Fahrradfahrt von der Quelle bis zum Ziel strukturelle Randbedingungen bzw. übergeordnete Kriterien, Indikatoren und Kenngrößen identifizieren, die einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit aus Sicht aller Fachdisziplinen besitzen. Auf dieser Ebene können z. B. Kriterien wie die Siedlungs- und Bevölkerungsstruktur, die Verkehrsstruktur, die geografische Lage oder das vorhandene „Fahrrad-



**Bild 13:** Einsatz der Unfallkennwerte innerhalb der Struktur zur Ermittlung von Sicherheitskenngrößen

klima“ genannt werden. Mögliche übergeordnete Indikatoren sind beispielsweise die Einwohneranzahl/-dichte, die Netzqualität des Radverkehrs oder der Modal-Split. Auf Basis vorhandener Unfalldaten kann als Sicherheitskenngröße z. B. die Unfallkostenrate für eine Stadt in Abhängigkeit des Modal-Splits bzw. vorhandenen Radverkehrsanteils dargestellt werden.

Im Folgenden wird der Radverkehrsablauf als Grundlage des Strukturierungsvorschlags beschrieben und anhand von beispielhaften verkehrsplanerischen Sicherheitskriterien und Sicherheitsindikatoren für die einzelnen Stufen einer Fahrradfahrt erläutert. Auf die zur Quantifizierung und Bewertung der Verkehrssicherheit erforderlichen Sicherheitskenngrößen wird in Kapitel 5 konkret eingegangen.

### 3.1 Statischer Bereich

#### Radverkehrsteilnehmer

Der Ursprung bzw. Auslöser für eine Fahrradfahrt entsteht bei der bewussten Entscheidung einer Person für die Benutzung des Fahrrads im öffentlichen Straßenraum. Die Radverkehrsteilnehmer können dabei in unterschiedliche Alters- oder Personengruppen unterteilt werden. Als Sicherheitsindikatoren lassen sich gruppenbezogene Merkmale wie z. B. die Größe, typische Eigenschaften oder repräsentative Fahrleistungen von bestimmten Alters- oder Personengruppen zuordnen.

#### Anlass der Fahrradfahrt

Der Anlass einer Fahrradfahrt ist mit der bewussten Entscheidung des Fahrradfahrers verknüpft und stellt unmittelbar nach dem „Radverkehrsteilnehmer“ die zweite Stufe des Radverkehrsablaufs dar. Im Regelfall wird der Anlass einer Fahrt durch den Reisezweck (z. B. Arbeiten, Einkaufen, Bildung, Freizeit) festgelegt. Als „besonderer“ Reisezweck ist in diesem Zusammenhang der sportliche Radverkehr zu nennen, da er im Gegensatz zu den anderen Reisezwecken auf einer intrinsischen Motivation „zum Selbstzweck“ beruht und häufig nicht an einem Ziel, sondern meist wieder bei der Quelle bzw. dem Startpunkt der Fahrt endet.

Zur konkreten verkehrssicherheitsrelevanten Bewertung des Fahrtanlasses könnten z. B. die Anzahl, Anteilswerte oder durchschnittliche Wegelängen von unterschiedlichen Wegezwecken als Sicherheitsindikatoren herangezogen werden.

## Verfügbarkeit des Fahrrads

Grundsätzlich sollte bei Sicherheitsanalysen zwischen einem Privat- und Leihfahrrad unterschieden werden. Hierbei spielen insbesondere der „Gewöhnungs-Effekt“ und eine zur Körpergröße entsprechend passende Rahmengröße eines Fahrrads eine wichtige Rolle. Auch wenn die Verfügbarkeit von mehreren Fahrrädern einen Ausnahmefall darstellt, besteht die Möglichkeit, dass „vor Fahrtantritt“ ein Fahrrad ausgewählt werden muss. Neben den unterschiedlichen Fahrradtypen stellen hierbei auch der Zustand des Fahrrads und die potenzielle Beförderung von zusätzlichen Lasten z. B. Anhänger, Taschen oder Kinder(-sitz) relevante Verkehrssicherheitskriterien dar.

Als Sicherheitsindikatoren können in diesem Zusammenhang Fahrradtypen/-arten mit unterschiedlichen Merkmalen und/oder konkrete verkehrssicherheitsrelevante Messwerte herangezogen werden, die ein potenzielles Risiko für den Fahrradfahrer darstellen (z. B. Zustand der Bremsen, Dicke des Reifenprofils, Helligkeit der Lichtquellen, Gewicht von zusätzlichen Lasten).

## Infrastruktur

Die Stufe der vorhandenen Infrastruktur stellt die letzte Stufe des statischen Bereiches dar, bevor mit der Benutzung des Fahrrads und der Infrastruktur der „dynamische Teil“ des Radverkehrsablaufs beginnt. Aufgrund der Tatsache, dass die Infrastruktur stets gegeben ist und somit keinen dynamischen Einflussgrößen unterliegt, können auf dieser Stufe bauliche und straßennutzungsbezogene, jedoch auch verkehrliche und routenbezogene Kriterien zur Bewertung der Radverkehrssicherheit herangezogen werden. Potenzielle Sicherheitsindikatoren sind z. B. Streckenlängen oder Sanierungsbedürftigkeit von Radverkehrsanlagen, streckenbezogene Verkehrsbelastungswerte oder routenbezogene Radverkehrsführungswechsel.

## 3.2 Dynamischer Bereich

### Fahrtcharakteristik

Der dynamische Bereich der Verkehrssicherheit im Radverkehr basiert zunächst auf der individuellen Fahrtcharakteristik einer jeden Fahrradfahrt, die sich nicht nur ausschließlich aus den personenbezogenen Merkmalen des Fahrradfahrers wie z. B. der Altersgruppe ergibt. Neben den personenbezo-

genen Merkmalen kann die Fahrtcharakteristik z. B. zusätzlich durch strecken- und routenbezogene Kriterien oder durch Umwelteinflüsse wie die Witterung oder Tageszeit beeinflusst werden. Als weiteres Kriterium ist eine Differenzierung von Fahrradfahrten „alleine“ oder „in einer Gruppe“ möglich. Bezogen auf das Kriterium „Strecke“ kann die Radverkehrssicherheit z. B. durch die Indikatoren Streckenlänge, Fahrtdauer oder durchschnittliche Geschwindigkeit weiter klassifiziert werden. Zur Bewertung der Umwelt- und Witterungseinflüsse stellen die Niederschlagsmenge oder gemessene tageszeitabhängige Lichtverhältnisse relevante messbare Indikatoren dar.

### Interaktionen und Konflikte

Durch die Teilnahme im Straßenverkehr entstehen bei einer Fahrt mit dem Fahrrad regelmäßig Interaktionen und Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern, die unterschiedlichen Konstellationen zugeordnet werden können – z. B.:

- Radfahrer ↔ Kfz-Fahrer,
- Radfahrer ↔ Radfahrer,
- Radfahrer ↔ Fußgänger.

Eine Interaktion wird im Allgemeinen als eine Beeinflussung des individuellen Fahrverhaltens durch einen anderen Verkehrsteilnehmer beschrieben. Interaktionen stellen meist „normale“ Fahrverhaltensanpassungen dar, die im Regelfall zu keiner Gefahrensituation führen. Im Gegensatz dazu kommt es bei einem Konflikt zu einer direkten Beeinflussung des Fahrverhaltens, die sich z. B. durch eine Anpassung der Geschwindigkeit (bremsen) oder eine notwendige Lenkkorrektur (ausweichen) auswirken kann.

Neben den unterschiedlichen Konstellationsmöglichkeiten lässt sich die Verkehrssicherheit zudem durch die Beteiligten, den Interaktions- bzw. Konflikt-Typ und die Interaktionsauswirkung bzw. Konfliktschwere beschreiben. Als messbare Indikatoren können in diesem Zusammenhang z. B. die Anzahl und Dichte von bestimmten Interaktions- und Konflikttypen herangezogen werden.

### Unfälle/Alleinunfälle

Als potenziellen Ausgang eines Konfliktes stellt der Unfall eine weitere mögliche Stufe im Ablauf einer Fahrradfahrt dar. Alternativ ist auch ein Alleinunfall des Fahrradfahrers denkbar. Diesem geht jedoch

weder ein Konflikt noch eine Interaktion mit einem anderen Verkehrsteilnehmer voraus.

Für den Bereich der Verkehrsplanung können für das Unfallaufkommen, die Unfallbeteiligten und die Unfallauswirkungen jeweils unterschiedliche Indikatoren identifiziert werden, die zur Ermittlung von Sicherheitskenngrößen herangezogen werden können. An dieser Stelle sind z. B. die Unfalltypen, Unfallkategorien, Unfallbeteiligtenstrukturen oder die Unfallschwere zu nennen. Sofern ermittelbar kann zusätzlich die „Unfall Dunkelziffer“ zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr als Indikator herangezogen werden.

## 4 Expertenworkshop

### 4.1 Hintergrund und Ziel

Wie bereits in Kapitel 3 erläutert und in dem Strukturierungsvorschlag dargestellt, beschäftigen sich außer der Verkehrsplanung noch weitere Fachrichtungen mit den Themen Sicherheit und Risikobewertung im Verkehrswesen. Aus diesem Grund ist im Rahmen des Projektes ein interdisziplinärer Workshop mit Experten aus unterschiedlichen Fachdisziplinen durchgeführt worden, in dem die bisherigen Projektergebnisse vor und zur Diskussion gestellt wurden.

Schwerpunkt und Ziel des Workshops war es, den Strukturierungsvorschlag zur Zusammenstellung von potenziellen Sicherheitsindikatoren zur Ableitung von Sicherheitskenngrößen einem Kreis von Experten aus den Fachdisziplinen Verkehrsplanung, Verkehrspsychologie und Verkehrsmedizin vorzustellen und die Aussagefähigkeit, Anwendbarkeit, Erfassbarkeit und Evaluierbarkeit der potenziellen Sicherheitsindikatoren gemeinsam zu bewerten. Des Weiteren sollte eine Aussage dazu getroffen werden, inwieweit es analog zu der verkehrsplanerischen Betrachtung auch aus Sicht der Fachdisziplinen Verkehrspsychologie und Verkehrsmedizin möglich ist, potenzielle Sicherheitskriterien/-indikatoren einzelnen Stufen eines Radverkehrsablaufs zuzuordnen.

### 4.2 Verkehrssicherheit aus Sicht unterschiedlicher Fachdisziplinen

Nach der Vorstellung der bis dato erarbeiteten Projektergebnisse wurde zu Beginn des Workshops

über die unterschiedlichen Auffassungen der Bewertung und Erfassbarkeit von Verkehrssicherheit im Straßenverkehr diskutiert.

So waren bzw. sind die Experten aus dem Fachbereich der Verkehrsplanung der Ansicht, dass Verkehrssicherheit letztendlich nur durch die Abwesenheit von Unfällen definiert und evaluiert werden kann. Sie untermauerten ihren Standpunkt durch die Aussage, dass in empirischen Untersuchungen der Konfliktanalyse nachgewiesen werden konnte, dass man aus der Anzahl von beobachteten Konflikten nicht automatisch auf die Anzahl und Häufigkeit von Unfällen schließen kann.

Aus diesem Grund stellen die im HVS-Entwurf definierten Verhältniswerte zwischen Basiswerten des Unfallgeschehens (wie z. B. Unfallanzahl oder Unfallkosten) und anderen unfall-, straßen- oder verkehrsbezogenen Basiswerten (wie z. B. Verkehrsstärken oder Streckenlängen) Kennwerte dar, mit denen unmittelbare Aussagen zur Verkehrssicherheit eines Netzausschnittes oder einer Radverkehrsanlage getroffen werden können.

Im Gegensatz dazu wurde aus Sicht der Verkehrspsychologen die Ansicht vertreten, dass eine ausschließliche Betrachtung von Unfällen keine repräsentative Methodik zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr darstellt. Begründet wurde dies mit der häufig unzureichend vorhandenen empirischen Datengrundlage von unfallbezogenen Verkehrssicherheitsanalysen. Nach Meinung der verkehrspsychologischen Experten wird es daher als zielführender erachtet, bereits auf der Verhaltensebene Einflussgrößen und Zielvariablen zu definieren, anhand derer evaluiert werden kann, durch welche Faktoren das Verhalten eines Fahrradfahrers und somit auch die verkehrliche Situation beeinflusst werden.

In diesem Zusammenhang kann die Wahrnehmung des Umfeldes als ein zentrales Kriterium für das Verkehrsverhalten von Fahrradfahrern angesehen werden. So kann das Fahrverhalten eines Radfahrers in Abhängigkeit von der Infrastruktur und Radverkehrsführung auch durch antizipierte „Konflikte im Kopf“ beeinflusst werden. Als Beispiel sei an dieser Stelle die Meidung von Schutzstreifen aufgrund der (subjektiven) Angst vor Türöffnungen bei längsparkenden Kraftfahrzeugen genannt.

Zudem wird aus verkehrspsychologischer Sicht darauf hingewiesen, dass es zentrale Steuerungsmerkmale des Fahrverhaltens (u. a. das subjektive

Empfinden) gibt, auf deren Grundlage Aussagen zu der Verkehrssicherheit im Radverkehr getroffen werden können. Hierbei werden bestehende Erkenntnisse zu dem Einfluss der Wahrnehmung im Straßenraum auf das Fahrverhalten berücksichtigt.

Zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Verkehrssicherheitswahrnehmung aus Sicht der Verkehrsplanung und Verkehrspsychologie in der Praxis wurde abschließend auf das Verkehrssicherheitsaudit verwiesen, in dem ausschließlich infrastrukturbezogene Planungsdefizite aufgedeckt werden und keine potenziellen Defizite, die sich auf negative Einflüsse auf das individuelle Personen- und Fahrverhalten zurückführen lassen.

### 4.3 Grundlagenproblematik von Verkehrs- und Unfalldaten

Verkehrs- und Unfalldaten stellen die wesentliche Grundlage zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Straßenverkehr dar. Während bei verkehrsplannerischen und verkehrstechnischen Fragestellungen häufig auf statistische Verkehrsdaten (z. B. aus der bundesweiten Straßenverkehrszählung) und auf empirische Erhebungsergebnisse (z. B. von Knoten-/Querschnittszählungen) zurückgegriffen wird, werden zur Analyse des Unfallgeschehens meist die zeitlich und räumlich relevanten Unfalldaten aus vergangenen Jahren ausgewertet. Zur Bewertung der Verkehrssicherheit auf untersuchten Streckenabschnitten kommen zudem häufig Video-beobachtungen und Verkehrsverhaltensanalysen zum Einsatz.

Während die Datenlage von Verkehrsbelastungen oft lückenhaft und veraltet ist, stellt sich die Ausgangssituation von Unfalldaten und vorhandenen Informationen zum Verkehrsverhalten im Radverkehr als noch problematischer dar. So liegen bislang für den Großteil des Straßen- und Radverkehrsnetzes zu wenig Ergebnisse aus Verkehrsverhaltensbeobachtungen vor, aus denen statistisch belastbare Aussagen zur Verkehrssicherheit im Radverkehr abgeleitet werden können.

Häufig fehlt den Städten und Gemeinden sogar eine aktuelle Grunddatenbasis über die vorhandene Radverkehrsinfrastruktur im eigenen Zuständigkeitsbereich. Diese Tatsache erschwert es, Untersuchungen und aussagekräftige Analysen zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr zu erstellen. Auch wenn in den Städten meist Informa-

tionen zu dem Verkehrsaufkommen des Kraftfahrzeugverkehrs auf dem Hauptverkehrsstraßennetz vorliegen, so ist dies für den Radverkehr nur sehr selten der Fall. Diese Ausgangssituation führt daher oft zu der Notwendigkeit, dass Sicherheitskenngrößen nur auf Verkehrsstärken oder Fahrleistungen im Kraftfahrzeugverkehr bezogen werden können. Eine Übertragung dieser Ergebnisse auf den Radverkehr mit einem vorhandenen Modal-Split stellt meist nur eine Abschätzung dar.

Unabhängig von der problematischen Datengrundlage ist in dem Expertenworkshop zum Ausdruck gebracht worden, dass die alleinige Existenz einer umfassenden Verkehrsdatenbasis es nicht automatisch ermöglicht, belastbare Aussagen über die Verkehrssicherheit im Radverkehr treffen zu können. Vorhandene Verkehrsdaten bieten einem Betrachter jedoch wichtige Ansatzpunkte, um Überlegungen zu lokalen und überregionalen Verkehrssicherheitsbetrachtungen anstellen zu können.

Des Weiteren belegen Untersuchungen, dass aus der Verkehrsbelastung im Kfz- und/oder Radverkehr meist keine direkten Rückschlüsse auf die Häufigkeit und/oder Verletzungsschwere von Radverkehrsunfällen gezogen werden können. So ist es beispielsweise aufgrund einer nachlassenden Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer in den Schwachlastzeiten möglich, dass die Unfallgefahr insbesondere in diesen Zeiträumen zunimmt.

Aufgrund nur eingeschränkt verfügbarer Verkehrs- und Unfalldaten und der dadurch implizierten geringen statistischen Grunddatenbasis im Radverkehr sind sich die Experten einig, dass die empirische Datenbasis zur Ableitung, Festlegung und Evaluierung von Sicherheitskenngrößen nach wie vor lückenhaft und in Zukunft zu verbessern ist.

### 4.4 Strukturierung von Sicherheitskenngrößen

Die in dem Workshop vorgestellte Übersicht zur Strukturierung und Zusammenstellung von Sicherheitskenngrößen im Radverkehr wurde von den Experten positiv bewertet und befürwortet, da sie mit der differenzierten Betrachtung einer Fahrradfahrt eine transparente Zuordnung von statischen und dynamischen Sicherheitskenngrößen aus unterschiedlichen Fachrichtungen ermöglicht und einen umfassenden Überblick über verkehrssicherheitsrelevante Kriterien, Indikatoren und Kenngrößen darstellt.

Gleichzeitig wird in einer umfassenden und komplexen Übersicht jedoch auch die Problematik gesehen, dass sich die Struktur nach dem konkreten Benennen der Sicherheitskriterien, -indikatoren und -kenngrößen auch als unübersichtlich darstellen könnte. Aus diesem Grund wurde von den Experten empfohlen, sich bei den Kriterien nur auf die wesentlichen Sicherheitsaspekte zu beziehen und in einer Übersicht nur beispielhaft einige potenzielle Indikatoren und Kenngrößen aufzuführen.

Neben den Kriterien, Indikatoren und Kenngrößen, die den einzelnen Stufen bzw. Bereichen (statisch und dynamisch) einer Fahrradfahrt zugeordnet werden können, spielt die Ortsüblichkeit für die Verkehrssicherheit im Radverkehr eine entscheidende Rolle. Hierbei kann grundsätzlich zwischen einer lokalen bzw. streckenbezogenen und einer kommunalen Ortsüblichkeit unterschieden werden. Während mit einer streckenbezogenen Ortsüblichkeit z. B. eine dominierende Radachse oder besondere Radverkehrsanlage im Fokus stehen kann, ergibt sich eine kommunale Charakteristik meist durch einen überdurchschnittlich hohen Radverkehrsanteil (wie z. B. in der Stadt Münster) oder einer überdurchschnittlich guten Qualität des Radverkehrsnetzes. In beiden Fällen kann ein erhöhtes Radverkehrsaufkommen auch zu einer höheren Verkehrssicherheit beitragen, da die kontinuierliche Aufmerksamkeit und das grundlegende Bewusstsein der Kraftfahrzeugfahrer bei einem hohen Radverkehrsanteil im Regelfall größer sind als bei einem geringen Radverkehrsanteil.

Neben den so genannten injunktiven Normen spielen daher im Radverkehr insbesondere die deskriptiven Normen<sup>2</sup> eine besondere Rolle, die bei sicherheitsrelevanten Kenngrößen Berücksichtigung finden sollten.

Im Zuge der Diskussion der zu berücksichtigenden Sicherheitskriterien, -indikatoren und -kenngrößen wurden im Rahmen des Expertenworkshops folgende Aspekte hervorgehoben:

### **Gesonderte Verkehrssicherheitsbetrachtung für Kinder**

Bei der Betrachtung von unterschiedlichen Radverkehrsteilnehmern und zu differenzierenden Alters- und Personengruppen ist zu berücksichtigen, dass sich das Radverkehrsverhalten von Kindern und insbesondere von jüngeren Kindern sehr stark von dem Verkehrs- und Fahrverhalten von Erwachsenen unterscheidet. Die Gründe hierfür liegen in einer häufig grundlegend anderen Motivation (z. B. spielen) und in der Tatsache, dass bei jüngeren Kindern weniger die Fahrleistung und die Anzahl der Wege, sondern vielmehr die Aufenthaltsdauer im Straßenraum als maßgebende Verhaltensausprägungen und somit relevanter Sicherheitsindikator betrachtet werden müssen.

### **Berücksichtigung von Umwelt- und Witterungseinflüssen**

Die Verkehrssicherheit im Radverkehr wird nicht nur durch die Infrastruktur, das Verkehrsgeschehen und das individuelle Fahrverhalten des Fahrradfahrers beeinflusst, sondern auch durch die sich ständig verändernden Umwelt- und Witterungseinflüsse. Eine umfassende Verkehrssicherheitsbewertung bedarf daher stets der Berücksichtigung von aktuellen oder im Durchschnitt vorhandenen Umwelt- und Witterungsverhältnissen.

### **Führungskontinuität von Radverkehrsanlagen**

Aufgrund der Tatsache, dass sich Radfahrer meist wesentlich „wahlfreier“ als Kfz-Fahrer verhalten, kommt den infrastrukturbezogenen Sicherheitskriterien grundsätzlich eine große Bedeutung zu. Neben dem Ausbau und Zustand der Radverkehrsinfrastruktur sollte bei der Bewertung der Verkehrssicherheit auch die Kontinuität der Führungsform bzw. Anzahl der Wechsel von unterschiedlichen Radverkehrsführungen im Gesamtnetz auf einer Route berücksichtigt werden.

### **Berücksichtigung von gesundheitsfördernden Effekten des Radfahrens**

Regelmäßige körperliche Aktivität steigert die Lebensqualität, beugt verschiedenen Leiden vor und fördert bei vielen Krankheiten Therapie und Rehabilitation. Diesen Potenzialen wird insbesondere deshalb verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt, weil in Deutschland eine allgemeine Bewegungsarmut zu beobachten ist. In diesem Zusammenhang wirkt sich Radfahren positiv auf Körper und Gesundheit

<sup>2</sup> Bei der Untersuchung von Normen unterscheidet man zwischen deskriptiven und injunktiven Normen: Deskriptive Normen beziehen sich auf das, was die Mehrheit tut bzw. als angemessen betrachten würde; injunktive Normen umfassen ein ausdrückliches Werturteil, also die Unterscheidung, was in der jeweiligen Situation als angemessenes (richtiges) oder unangemessenes (strafbares) Verhalten zu gelten hat.

aus und kann von Menschen verschiedenen Alters ausgeübt werden (HAGEMEISTER et al., 2011).

Dieser gesundheitsfördernde Effekt des Radfahrens, kann durch die „verlorenen Lebensjahre“ (DALY<sup>3</sup>) berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu den „harten“ Sicherheitskriterien wird jedoch empfohlen, diesen positiven Nutzen nur zur zusätzlichen Bewertung und nicht als maßgebenden Indikator der Verkehrssicherheit heranzuziehen.

## 4.5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Expertenworkshops können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die vorgestellte Struktur zur Identifikation, Differenzierung und Darstellung von Sicherheitskenngrößen im Radverkehr wird von den Experten positiv bewertet und stellt eine gute Grundlage dar, die maßgebenden Verkehrssicherheitsaspekte im Radverkehr aus Sicht unterschiedlicher Fachdisziplinen abzubilden.
- Bei der Betrachtung der Verkehrssicherheit von unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern wird empfohlen, die Personengruppe „Kinder“ gesondert zu analysieren und zu bewerten.
- Aufgrund der Wahlfreiheit von Fahrradfahrern bei der Nutzung der Infrastruktur sollte die „Führungskontinuität“ bzw. die Anzahl von Radverkehrsführungswechseln als strecken- bzw. routenbezogener Sicherheitsindikator berücksichtigt werden.
- Umwelt- und Witterungszustände können einen maßgeblichen Einfluss auf die Verkehrssicherheit im Radverkehr ausüben. Aufgrund der kontinuierlichen Veränderungen der Witterung sind die entsprechend messbaren Größen (z. B. Niederschlagsmenge) dem dynamischen Bereich zuzuordnen.
- Im Gegensatz zum Kraftfahrzeugverkehr besitzen die Ortsüblichkeit, die „Radkultur“ und die damit einhergehende Verkehrserziehung der Verkehrsteilnehmer einer Stadt einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Verkehrssicherheit im Radverkehr. Eine potenzielle Sicherheitskenngröße lässt sich jedoch meist nur auf Basis umfangreicher Befragungen wie z. B. der bundeweiten Haushaltsbefragung „Mobilität in Deutschland“ (MiD) ableiten.
- Die bei den Kommunen und Städten häufig nicht vorhandenen Daten und Informationen über die Radverkehrsinfrastruktur (z. B. Radverkehrsanlagenart, Fahrtraumbreiten, Führungskontinuität) im eigenen Zuständigkeitsbereich stellen ein großes Problem für die Bewertung der Verkehrssicherheit dar.
- Da in dem Projekt keine empirischen Untersuchungen durchgeführt werden, sollte es ein Ziel sein, neue Wege und Möglichkeiten zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr aufzuzeigen und ggf. auf den Bedarf von weiteren empirischen Untersuchungen hinzuweisen.
- Unter dem medizinischen Gesichtspunkt, dass Radfahren auch einen gesundheitsfördernden Effekt besitzt, wird vorgeschlagen, den Indikator „verlorene Lebensjahre“ (DALY) zur Berücksichtigung des positiven Nutzens des Radfahrens zu betrachten. Im Gegensatz zu den Sicherheitskriterien sollte dieser Indikator jedoch nur zur zusätzlichen Bewertung und nicht zur Ermittlung von Sicherheitskenngrößen herangezogen werden.
- Aus Sicht der Verkehrspsychologie und der Verkehrsmedizin ist das Quantifizieren von Sicherheitskenngrößen aufgrund der vielfältigen Einflussgrößen wesentlich komplexer und daher auch schwieriger, als dies in der Verkehrsplanung der Fall ist. Im Gegensatz zu verkehrlichen Analysen reichen z. B. aus Sicht der Verkehrspsychologie quantitative Angaben wie die Gruppengröße von bestimmten Alters-/Personengruppen nicht aus. Stattdessen wären differenzierte Betrachtungen auf Basis von unterschiedlichen Persönlichkeits- und Typenmerkmalen erforderlich.
- Während den unterschiedlichen Stufen eines Radverkehrsablaufs aus verkehrsplanerischer Sicht Sicherheitskriterien, -indikatoren und -kenngrößen zugeordnet werden können, ist dies bei den Fachdisziplinen Verkehrspsychologie und Verkehrsmedizin nicht möglich.

<sup>3</sup> Das DALY-Konzept (disability adjusted life years) wurde erstmals 1993 im Weltentwicklungsbericht von der Weltbank präsentiert. Mit diesem Konzept soll die Bedeutung verschiedener Krankheiten für die Gesellschaft gemessen werden. Auch soll die Effizienz von Vorbeugung und Behandlung messbar werden. Mit DALY soll nicht nur die Sterblichkeit, sondern auch die Beeinträchtigung des normalen, beschwerdefreien Lebens durch eine Krankheit erfasst werden und in einer Maßzahl zusammengerechnet werden. Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/DALY>.

- Die Erkenntnisse des Expertenworkshops führten zu dem Entschluss, sich im Rahmen des weiteren Projektes auf die Abhandlung der verkehrsplanerischen Sicherheitskenngrößen zu fokussieren und sich bei der Erarbeitung bzw. Identifikation von verkehrspsychologischen und verkehrsmedizinischen Kriterien, Indikatoren und Kenngrößen auf einen ersten Strukturierungsansatz zu beschränken.

## 5 Sicherheitskriterien, -indikatoren und -kenngrößen

Auf Basis des Strukturierungsvorschlags und der Ergebnisse aus dem Expertenworkshop wurden für die drei Fachdisziplinen Verkehrspsychologie, Verkehrsmedizin und Verkehrsplanung exemplarisches Sets von relevanten Kriterien, Indikatoren und Kenngrößen zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr identifiziert und dargestellt.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse und des Feedbacks aus dem Expertenworkshop beschränken sich die Aussagen aus Sicht der Verkehrspsychologie und Verkehrsmedizin auf eine fachbezogene Zuordnung von potenziellen Sicherheitskriterien und -indikatoren für den statischen und dynamischen Bereich. Aufgrund der fachlichen Überschneidungen wird in diesem Zusammenhang zudem auf die Schwierigkeit einer klaren Abgrenzung zwischen den verkehrspsychologischen und verkehrsmedizinischen Kriterien und Indikatoren hingewiesen. Im Gegensatz dazu ist für den verkehrsplanerischen Bereich eine klare Differenzierung von Sicherheitskriterien, -indikatoren und -kenngrößen nach den einzelnen Stufen einer Fahrradfahrt durchgeführt worden.

Auf einer übergeordneten Ebene sind zudem strukturelle Randbedingungen identifiziert und Kriterien, Indikatoren und Kenngrößen benannt worden, die für alle drei Fachdisziplinen relevant sind und zur Bewertung der Verkehrssicherheit aus unterschiedlichen Betrachtungsweisen herangezogen werden können. Aufgrund der detaillierten Ausarbeitung für den verkehrsplanerischen Bereich wird jedoch erst in Kapitel 5.3 auf die zugehörigen Kriterien, Indikatoren und Kenngrößen der strukturellen Randbedingungen eingegangen.

Hauptintention dieses Kapitels ist es, die Ergebnisse aus Sicht der drei unterschiedlichen Fachdisziplinen darzustellen und inhaltlich wiederzugeben.

### 5.1 Verkehrspsychologische Sicht

Analog zu dem Strukturierungsvorschlag gliedern sich die Sicherheitskriterien und -indikatoren aus Sicht der Verkehrspsychologie in die Bereiche

- strukturelle Randbedingungen,
- statischer Bereich,
- dynamischer Bereich.

Zur Ausarbeitung und Konkretisierung des Strukturierungsvorschlags wurde als Grundlage ein verkehrspsychologisches Handlungs- und Entscheidungsmodell nach SCHLAG (2006) herangezogen. Ähnlich wie in dem Strukturierungsvorschlag wird in dem Modell das Fahrverhalten als hierarchische Handlungsregulation auf unterschiedlichen Handlungsebenen abgebildet. Während es auf der strategischen Ebene primär um die Intention und Planung „vor Fahrtantritt“ einer Fahrt geht, findet auf der Manöver- und Kontrollebene („während der Fahrt“) ein Abgleich zwischen den Handlungsvorhaben und situativen Anforderungen bzw. Handlungsmöglichkeiten statt.

Aufgrund der vergleichbaren Bedeutung und Struktur können die Kriterien auf der strategischen Ebene nach SCHLAG (2006) dem statischen Bereich des Strukturierungsvorschlags zugeordnet werden und die Kriterien auf der Manöver- und Kontrollebene dem dynamischen Bereich.

#### 5.1.1 Kriterien und Indikatoren aus dem statischen Bereich

Aus verkehrspsychologischer Sicht sind folgende Sicherheitskriterien identifiziert worden:

- Grundeinstellung zum Radverkehr,
- Gefahren- und Risikobewusstsein,
- Planung einer Fahrradfahrt „vor Fahrtantritt“,
- Planung des Fahrverhaltens mit einem Fahrrad „vor Fahrtantritt“.

Zur weiteren Analyse der Verkehrssicherheit im Radverkehr können den Kriterien folgende Sicherheitsindikatoren zugeordnet werden:

- Regelakzeptanz durch Be- und Missachtung von Verkehrsregeln,
- (Körper-)Schutzverhalten z. B. durch regelmäßiges Tragen von Fahrradhelmen oder Warnwesten,

- individuelle Bedeutung und Bewertung des Fahrrads,
- individuelle Ausprägung des Bewusstseins für gegebene und/oder selbst verursachte Gefahren und Risiken,
- Ziel- und Streckenwahl „vor Fahrtantritt“ zur Festlegung, wohin und welche Route gefahren wird,
- Zeit- und Geschwindigkeitsplanung „vor Fahrtantritt“ zur Festlegung, wann und wie schnell gefahren werden muss, um das Ziel zu einem gewünschten Zeitpunkt zu erreichen.

**5.1.2 Kriterien und Indikatoren aus dem dynamischen Bereich**

Zur Bewertung der Radverkehrssicherheit „während einer Fahrradfahrt“ werden aus verkehrspsychologischer Sicht die Kriterien

- situationsbezogene Wahrnehmung und Einschätzung von Gefahren und Risiken

und das

- situationsbezogene Fahr- und Risikoverhalten

als „kontrollierte“ Handlungsmuster gewählt.

Als potenzielle Sicherheitsindikatoren sind in diesem Zusammenhang denkbar:

- Erfahrung des Fahrradfahrers,
- Identifikation, Einschätzungen und Bewertung von Gefahren und Risiken,
- Verhältnis von objektiver gegebener und subjektiv empfundener Sicherheit,
- Wahl oder Anpassung der Geschwindigkeit,
- Wahl oder Anpassung des Fahrverhaltens (z. B. Überholvorgänge, Brems- und/oder Beschleunigungsverhalten).

Analog zu den verkehrsplanerischen Sicherheitskriterien/-indikatoren können aus verkehrspsychologischer Sicht auch motorische und bereits „automatisierte“ Handlungsausführungen/-muster zur Bewertung der Radverkehrssicherheit herangezogen werden. In diesem Zusammenhang kann z. B. die Anzahl von Brems-, Anhalte- oder Ausweichvorgängen als Sicherheitsindikatoren ermittelt und dargestellt werden.



**Bild 14:** Verkehrspsychologische Sicherheitsindikatoren

## 5.2 Verkehrsmedizinische Sicht

Die Verkehrsmedizin erhebt den Anspruch, durch Anwendung medizinischer Erkenntnisse und Erfahrungen die Sicherheit des Menschen im Verkehr zu fördern und damit aus präventiver Sicht verkehrsbedingte Gesundheitsstörungen abzuwehren. Insbesondere beschäftigt sie sich im weitesten Sinne mit der Unfallursachenforschung, soweit „menschliches Versagen“ anzunehmen ist. Greift man die Charakterisierung der Verkehrsmedizin als Anwendung ärztlichen Wissens auf Probleme der Verkehrssicherheit auf, würde die Verkehrsmedizin eigentlich nicht nur die wissenschaftliche Analyse von Determinanten der Verkehrssicherheit selbst umfassen, sondern auch Fragen des Einflusses des Verkehrs auf die Gesundheit des Menschen, d. h. auf die medizinischen Aspekte, die für den Einzelnen bzw. die Gesellschaft aufgrund der Fahrtätigkeit selber und der Lärm- und Abgasbelastung resultieren (MADEA/MUßHOFF/BERGHAUS, 2007).

Da letztgenannte Thematik jedoch meist in umwelt- oder arbeitsmedizinischen Disziplinen aufgegriffen wird, beschäftigt sich die Verkehrsmedizin im Regelfall mit der wissenschaftliche Analyse von Determinanten der Verkehrssicherheit (MADEA/MUßHOFF/BERGHAUS, 2007).

### 5.2.1 Indikatoren und Kenngrößen aus dem statischen Bereich

Aus verkehrsmedizinischer Sicht werden folgende statischen Kriterien dargestellt, die unabhängig von der (dynamischen) Fahrradfahrt einen entscheidenden Einfluss auf die Verkehrssicherheit bei der Teilnahme im Verkehr haben können. Dies sind z. B. das Alter, Krankheiten, Bewegungseinschränkungen, Einnahme von Medikamenten, Alkohol, Drogen oder der individuelle Intellekt bzw. die Intelligenz eines Radfahrers.

Als konkrete Ausprägung können für diese Kriterien u. a. folgende Sicherheitsindikatoren identifiziert werden:

- Einschränkungsgang der Fahrfähigkeit,
- Seh- und Hörvermögen,
- Krankheitsart, Behinderungsart/-grad,
- Menge, Dosierung und Nebenwirkungen von Medikamenten,
- Blutalkoholkonzentration,
- Drogenart,
- Antizipations-, Selektions- und Bewertungsfähigkeit von Informationen, Gefahren und Risiken.

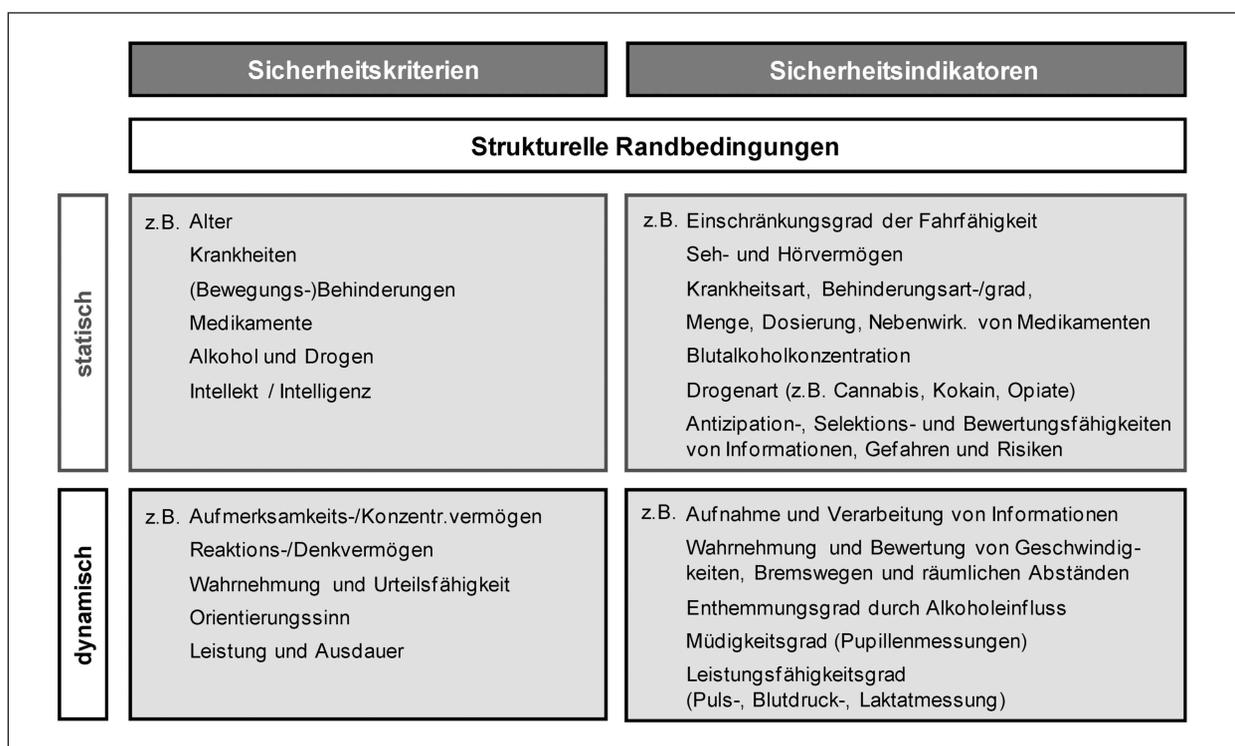


Bild 15: Verkehrsmedizinische Sicherheitsindikatoren

### 5.2.2 Indikatoren und Kenngrößen aus dem dynamischen Bereich

Aus verkehrsmedizinischer Sicht sind u. a. folgende Sicherheitskriterien für den dynamischen Bereich einer Fahrradfahrt dargestellt worden:

- Aufmerksamkeits-/Konzentrationsvermögen,
- Reaktions-/Denkvermögen,
- Wahrnehmung und Urteilsfähigkeit,
- Orientierungssinn,
- Leistung und Ausdauer.

Zur weiteren Beschreibung der Verkehrssicherheit können in diesem Zusammenhang z. B. folgende Sicherheitsindikatoren herangezogen werden:

- Aufnahme und Verarbeitung von Informationen,
- Fahrverhaltensanpassungen,
- Be- und Missachtung von Verkehrsregeln,
- Enthemmungsgrad durch Alkoholeinfluss,
- Müdigkeitsgrad.

Ähnlich wie in der Verkehrspsychologie wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass zur Ermittlung von verkehrsmedizinischen Indikatoren meist nur

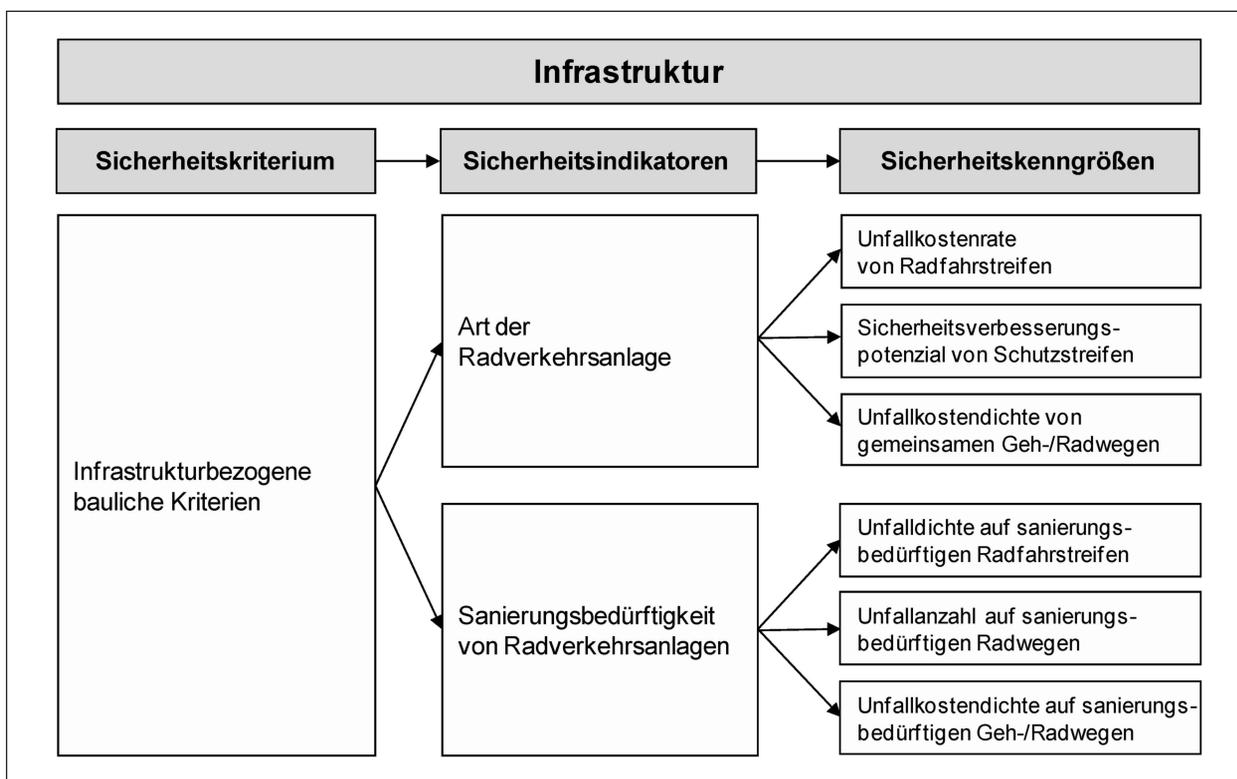
Einzeldaten (z. B. von einzelnen Blutuntersuchungen) vorliegen. Aus diesem Grund können im Regelfall nur selten statistisch belastbare Aussagen getroffen werden.

### 5.3 Verkehrsplanerische Sicht

Im Gegensatz zu den Fachdisziplinen Verkehrspsychologie und Verkehrsmedizin wurde für den verkehrsplanerischen Bereich eine differenzierte Analyse von Sicherheitskriterien, -indikatoren und -kenngrößen durchgeführt. Neben den übergeordneten Sicherheitsaspekten der „strukturellen Randbedingungen“ wurden dabei allen Stufen einer potenziellen Fahrradfahrt Kriterien, Indikatoren und Kenngrößen zugeordnet.

#### 5.3.1 Voraussetzungen und Struktur der Sicherheitskenngrößen

Wie im Expertenworkshop diskutiert (Kapitel 4.2), setzt die Quantifizierung von Sicherheitskenngrößen aus verkehrsplanerischer Sicht voraus, dass den Sicherheitskriterien bzw. Sicherheitsindikatoren ein Unfallgeschehen mit vorhandenen Unfalldaten zugeordnet werden kann, auf deren Basis referenzierte Aussagen über die Verkehrssicherheit



**Bild 16:** Exemplarische Baumstruktur auf der Stufe „Infrastruktur“ einer potenziellen Fahrradfahrt

möglich sind. Aus diesem Grund setzen sich die in Bild 17 exemplarisch aufgeführten Verkehrssicherheitskenngrößen i. d. R. aus einem Verkehrssicher-

heitsindikator und einem nach dem HVS-Entwurf definierten Sicherheitskennwert zusammen.

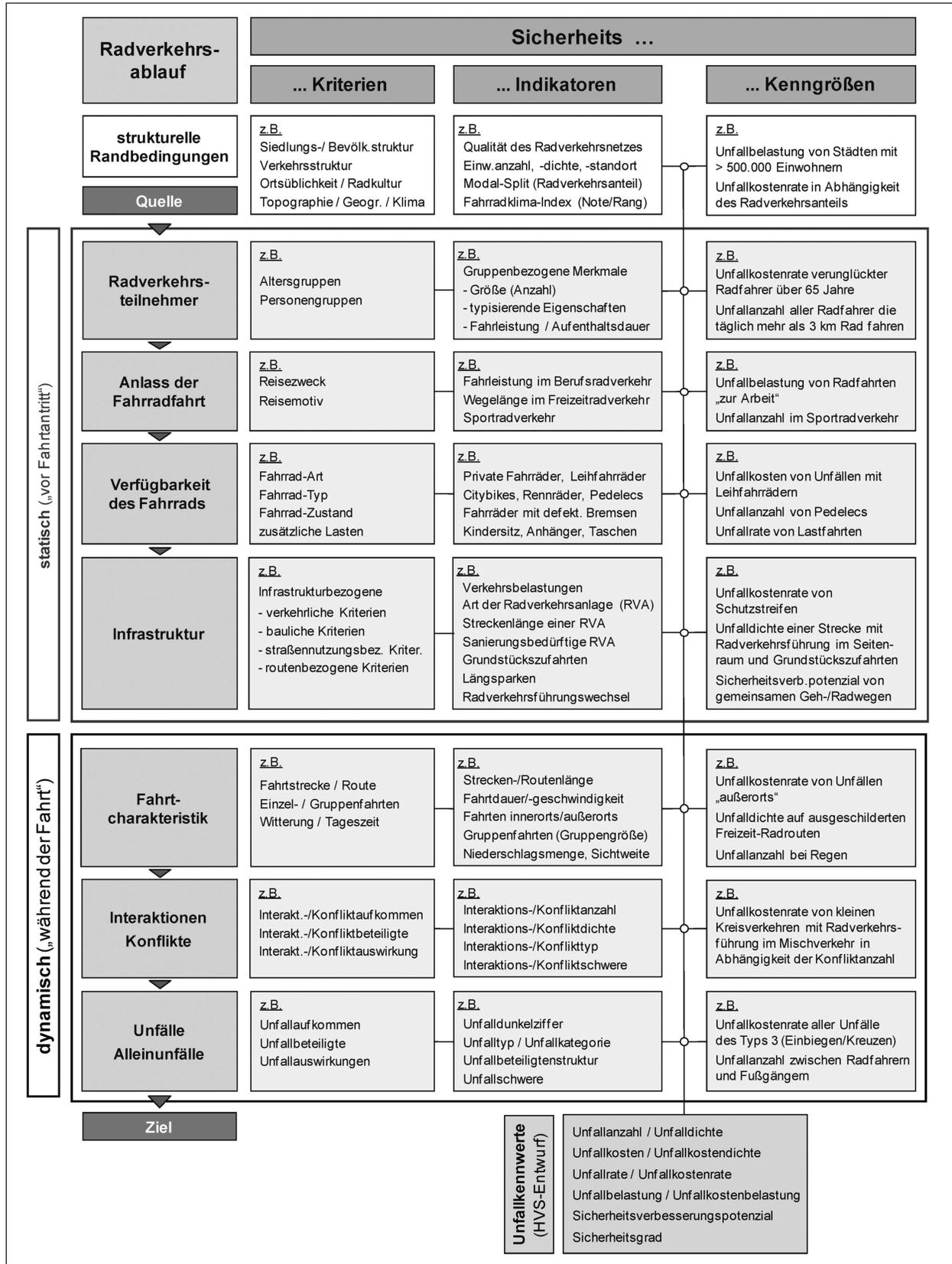


Bild 17: Verkehrsplanerische Sicherheitskriterien, -indikatoren und -kenngrößen

Verkehrssicherheitskennwerte nach dem HVS-Entwurf sind z. B.:

- Unfallaufkommen/-anzahl,
- Unfalldichte/Unfallkostendichte,
- Unfallrate/Unfallkostenrate,
- Unfallbelastung/Unfallkostenbelastung.

Zur Bewertung der Radverkehrssicherheit kann als Vergleichsgröße zusätzlich die Grundunfallkostenrate herangezogen werden, die den Sicherheitsgrad beschreibt, der bei durchschnittlich sicherer, d. h. regelwerkskonformer Gestaltung einer Radverkehrsführungsform erreicht werden kann (BAIER et al., 2008). Zur Überprüfung der Regelwerkskonformität von Radverkehrsanlagen können Daten aus Verträglichkeitsanalysen – wie z. B. nach dem „Modell der autonomen und relativen Standards“ (M.A.R.S.)<sup>4</sup> – oder aus Planungsgrundlagen verwendet werden.

Auch das Sicherheitsverbesserungspotenzial, das als Unterschied zwischen der vorhandenen Unfallkostendichte und der Unfallkostendichte, die bei regelwerkskonformem Ausbau zu erwarten wären, definiert ist, kann als ein unfallbezogener Kennwert herangezogen werden, um in Kombination mit identifizierten Indikatoren „neue“ Sicherheitskenngrößen zu ermitteln. Durch Auswertung der Unfallbeteiligung können zudem differenzierte Sicherheitsverbesserungspotenziale für die unterschiedlichen Verkehrsteilnahmemöglichkeiten ermittelt werden. So ist es z. B. auf Basis der Unfälle mit Radfahrer-beteiligung möglich, ein  $SIPO_{RAD}$  zu berechnen, das man wiederum ins Verhältnis zu einem  $SIPO_{GES}$  setzen kann. Neben diesem Verhältniswert kann zudem die Differenz  $SIPO_{GES} - SIPO_{RAD}$  dazu verwendet werden, Aussagen darüber zu treffen, wie hoch der absolute Anteil des Sicherheitsverbesserungspotenzials im Radver-

kehr an dem Sicherheitsverbesserungspotenzial im Gesamtverkehr ist.

Wie den Bildern 17 und 16 zu entnehmen ist, wurden den unterschiedlichen Stufen einer Fahrradfahrt exemplarische Beispiele für Sicherheitskriterien, Sicherheitsindikatoren und Sicherheitskenngrößen aus Sicht der Verkehrsplanung zugeordnet (Bild 17). Auf jeder Stufe kann dabei jeweils eine Baumstruktur aufgespannt werden, die sich analog zu dem dargestellten Beispiel für die Infrastruktur (Bild 16) aus der zunehmenden Detaillierung und Spezifizierung von Kriterien über Indikatoren zu Kenngrößen ergibt.

### 5.3.2 Strukturelle Randbedingungen

Die für alle Fachdisziplinen gültigen bzw. relevanten Sicherheitskriterien zur Bewertung der strukturellen Randbedingungen des Radverkehrs beziehen sich auf übergeordnete und meist geografische bzw. ortsbezogene Aspekte, die einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit im Radverkehr haben können.

So sollte z. B. das Kriterium Siedlungs- und Bevölkerungsstruktur nicht nur aufgrund des demografisch üblichen Indikators Einwohneranzahl zur Bewertung der Verkehrssicherheit herangezogen werden, sondern auch aufgrund des Standortes. Als Beispiel kann in diesem Zusammenhang die generalisierbare Aussage getroffen werden, dass sich auf stark belasteten Hauptverkehrsstraßen Einwohner aus ländlichen Bereichen tendenziell eher unsicherer fühlen als Menschen, die in Großstädten aufgewachsen sind oder dort seit mehreren Jahren leben.

Weitere übergeordnete Sicherheitsindikatoren können zudem aus den Kriterien „Ortsüblichkeit“ und vorherrschenden „Radkulturen“ abgeleitet werden. So besitzen z. B. Städte wie Münster oder Freiburg mittlerweile ein bundesweit bekanntes Image als „Fahrradstädte“. Zur Bewertung der Radkultur einer Stadt im Sinne gegenseitiger Rücksichtnahme unter den verschiedenen Verkehrsteilnehmern kann die individuelle Multimodalität der Menschen herangezogen werden, da Verkehrsteilnehmer, die regelmäßig unterschiedliche Verkehrsmittel benutzen, mehr Verständnis für das Verhalten von Verkehrsteilnehmern mit dem jeweils anderen Verkehrsmittel haben.

Einer der gegenwärtig am häufigsten verwendeten übergeordneten Sicherheitsindikatoren ist der

<sup>4</sup> Bei den mit M.A.R.S. durchgeführten Verträglichkeitsanalysen werden die systematisch angelegten Konflikte herausgearbeitet, die sich aus den „Verursachern“ (der Kfz-Verkehr in seinen Ausprägungen, d. h. Belastung und Geschwindigkeit) in den jeweiligen straßenräumlichen Gegebenheiten für die „Betroffenen“ (Fußgänger und Radfahrer) ergeben. Grundlage dieser Bewertung ist eine Begehung des zu untersuchenden Netzes, bei der alle relevanten straßenräumlichen Gegebenheiten für die einzelnen Strecken erhoben werden. Radverkehrsanlagen nach M.A.R.S. werden nach Anlagen mit „normaler Bedeutung“ und nach „Radverkehrsachsen“ unterschieden.

Modal-Split bzw. der damit berücksichtigte Radverkehrsanteil am Gesamtverkehrsaufkommen. Dieser dient dazu, die Verkehrsstruktur (Kriterium) eines Untersuchungsbereiches zu beschreiben, und bildet letztendlich auch die Einflüsse von anderen übergeordneten Kriterien ab. So findet man z. B. in Städten mit einem hohen Studentenanteil (Kriterium: Bevölkerungsstruktur) oder in „flachen“ Städten mit wenig Steigungen (Kriterium: Topografie) tendenziell eher einen höheren Radverkehrsanteil vor, als dies z. B. in Städten ohne Hochschulen oder sehr gebirgigen Gebieten der Fall ist.

Zusätzliche Aussagen und Bewertungen der Verkehrssicherheit im Radverkehr können z. B. dadurch getroffen werden, indem der Radverkehrsanteil einer Stadt jeweils ins Verhältnis zu der fahrleistungsbezogenen Unfallkostenrate gesetzt wird und mit anderen Städten bzw. Verhältniswerten verglichen wird.

Im den folgenden beiden Kapiteln werden für die unterschiedlichen Stufen und Kriterien einer Fahrradfahrt exemplarische Indikatoren und Kenngrößen genannt, mit denen die Verkehrssicherheit im Radverkehr bewertet werden kann.

### 5.3.3 Indikatoren und Kenngrößen aus dem statischen Bereich

#### Radverkehrsteilnehmer

Zur Bewertung der Verkehrssicherheit durch Analyse der Radverkehrsteilnehmer werden i. d. R. unterschiedliche Alters- oder Personengruppen betrachtet. Für diese können beispielsweise folgende Indikatoren herangezogen werden:

- Größe bzw. Gesamtanzahl von Alters- und Personengruppen,
- typisierende Eigenschaften von unterschiedlichen Alters- und Personengruppen,
- alters- und personengruppenbezogene Fahrleistungen und/oder Aufenthaltsdauern im Radverkehr.

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass in der Gerontologie mehrere Altersbegriffe verwendet werden, um den individuell sehr unterschiedlich verlaufenden Alterungsprozessen Rechnung zu tragen. Unterschieden wird zwischen dem „Alter“, welches einen Zustand beschreibt, und dem „Altern“, welches einen Prozess beschreibt. In diesem Zu-

sammenhang ist es durch entsprechende (verkehrsmedizinische und verkehrspsychologische) Untersuchungen möglich, neben dem „normalen“ kalendarischen Alter auch das biologische, funktionale, psychologische oder soziale Alter zu bestimmen (HAGEMEISTER, 2011).

Als potenzielle Kenngrößen zur Bewertung der Verkehrssicherheit für unterschiedliche Radverkehrsteilnehmer können z. B. die nach unterschiedlichen Alters- oder Personengruppen differenzierten Unfallkostenraten herangezogen werden. Voraussetzung zur Ermittlung dieser Kenngrößen sind Unfalldaten, auf deren Basis entsprechende Differenzierungen möglich sind – z. B. Altersangabe der unfallbeteiligten Fahrradfahrer.

#### Anlass der Fahrradfahrt

Als Anlass für eine Fahrradfahrt werden in dem Strukturierungsvorschlag der Reisezweck und das Reisemotiv als exemplarische verkehrssicherheitsrelevante Kriterien festgelegt. Entgegen den üblichen bzw. in Haushaltsbefragungen differenzierten Reisezwecken wird es aufgrund des Sicherheitsaspektes dabei als sinnvoll angesehen, den „sportlichen Radverkehr“ gesondert und nicht als Teilmenge des Freizeit-Radverkehrs zu betrachten.

Mögliche Sicherheitsindikatoren zur Bewertung des Kriteriums „Reisezweck“ sind z. B.:

- Fahrleistungen im Berufsradverkehr,
- durchschnittliche Wegelänge im Freizeitradverkehr,
- Anteil des sportlichen Radverkehrs am gesamten Radverkehrsaufkommen.

Neben dem Reisezweck können unter dem Kriterium Reisemotiv weitere Indikatoren identifiziert werden, die nicht unmittelbar einem Reisezweck zugeordnet werden können. Hierzu gehören z. B. kürzere Fahrtauern/Reisezeiten mit dem Fahrrad oder schlechte Parksituation für Kraftfahrzeuge am Zielort.

Als potenzielle Kenngrößen zur Bewertung der Verkehrssicherheit für unterschiedliche Reisezwecke können z. B. die nach Reisezwecken differenzierten Unfallbelastungen von Radfahrern herangezogen werden. Voraussetzung zur Ermittlung solcher Kenngrößen sind nach Reisezwecken differenzierte Unfalldaten.

### Verfügbarkeit des Fahrrads

Für eine geplante Fahrt mit dem Fahrrad wird das jeweils verfügbare Fahrrad benutzt oder, wenn mehrere Fahrräder zur Verfügung stehen, ein Fahrrad ausgewählt. Neben den verkehrssicherheitsrelevanten Indikatoren Fahrrad-Typ, Fahrrad-Zustand und/oder zusätzliche Lasten könnte es für die Verkehrssicherheit zudem eine Rolle spielen, ob die Fahrt mit einem privaten Fahrrad oder einem „fremden“ Leihfahrrad durchgeführt wird.

Zur Ermittlung von Sicherheitskenngößen, die zur Bewertung der Verkehrssicherheit herangezogen werden können, sind in diesem Zusammenhang folgende Indikatoren denkbar:

- unterschiedliche Fahrradarten z. B. private Fahrräder oder Leihfahrräder,
- unterschiedliche Fahrradtypen z. B. Citybikes, Rennräder, Pedelecs,
- Zustand/Fahrtauglichkeit von Fahrrädern z. B. Funktionsfähigkeit von Licht/Bremsen,
- potenzielle zusätzliche Lasten, z. B. Kindersitze, Anhänger, Reisetaschen.

Als potenzielle Kenngößen zur Bewertung der Verkehrssicherheit in Abhängigkeit des Verkehrsmittels bzw. des Fahrrads können z. B. die Unfallanzahlen oder -dichten von unterschiedlichen Fahrradtypen (z. B. „normale“ Citybikes, Rennräder, Pedelecs, E-Bikes) herangezogen werden. Voraussetzung zur Ermittlung solcher Kenngößen sind nach Fahrradtypen differenzierte Unfalldaten. Zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Leihfahrrädern wäre eine weitere Unterscheidung von privaten und geliehenen Fahrrädern erforderlich.

### Infrastruktur

Die gegebene Infrastruktur stellt für den statischen Bereich die Stufe mit den meisten relevanten Sicherheitskriterien und -indikatoren dar. Grundsätzlich können verkehrliche, bauliche, straßennutzungs- und routenbezogene Kriterien unterschieden werden.

Mögliche Sicherheitsindikatoren sind:

- Verkehrsbelastungen,
- Art der Radverkehrsanlage,
- Streckenlänge einer Radverkehrsanlage,

- sanierungsbedürftige Radverkehrsanlage,
- Grundstückszufahrten,
- Längsparken,
- Radverkehrsführungswechsel.

Als potenzielle Kenngößen zur Bewertung der Verkehrssicherheit für die unterschiedlichen infrastrukturbezogenen Kriterien können z. B. Grundunfallkostenraten oder Sicherheitsverbesserungspotenziale für unterschiedliche Radverkehrsanlagen ermittelt werden. Neben infrastrukturbezogenen baulichen Kriterien können Unfalldaten jedoch auch nach Kriterien differenziert werden, die auf die Straßennutzung zurückgeführt werden können, so z. B. die Anzahl und Dichte von Grundstückszufahrten auf einem bestimmten Streckenabschnitt.

### 5.3.4 Indikatoren und Kenngößen aus dem dynamischen Bereich

#### Fahrtcharakteristik

Die Verkehrssicherheit im Radverkehr „während der Fahrt“ wird unabhängig von möglichen verkehrlichen Risiken und Gefahrensituationen durch die grundsätzliche individuelle Fahrtcharakteristik einer Fahrradfahrt bestimmt. In diesem Zusammenhang stehen weniger die personenbezogenen Merkmale und Charaktereigenschaften des Fahrradfahrers im Fokus, sondern eher der „Charakter einer Fahrt“, der z. B. durch die Strecke, Route, Verkehrszusammensetzung (Einzel- oder Gruppenfahrten), Witterung oder auch die Tageszeit beeinflusst wird.

Mögliche Sicherheitsindikatoren zur Ermittlung von Sicherheitskenngößen sind:

- Länge, Dauer oder durchschnittliche Geschwindigkeit (auf) einer Route,
- Innerorts- und Außerorts-Radfahrten bzw. Aufteilung der Streckenanteile (Fahrleistungen) innerorts und außerorts,
- Gruppenfahrten (Anzahl  $\geq 2$  Radfahrer) in Abhängigkeit der Gruppengröße,
- Niederschlagsmenge,
- Sichtweite (Helligkeit, Dunkelheit).

Als potenzielle Kenngößen zur Bewertung der unterschiedlichen Indikatoren, die eine Fahrradfahrt

maßgeblich charakterisieren können, sind z. B. folgende Kenngrößen denkbar:

- Unfallkostenrate von Außerortsunfällen,
- Unfalldichte auf ausgeschilderten Freizeit-Radrouten,
- Unfallanzahl bei Regen.

### Interaktionen und Konflikte

Während der Teilnahme am Rad- bzw. Straßenverkehr entstehen zwangsläufig Interaktionen und potenzielle Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern, die im Rahmen von Beobachtungen analysiert und bewertet werden können. Im Rahmen einer Interaktions-/Konfliktanalyse werden dabei zum einen verkehrstechnische und -statistische Kriterien (z. B. Struktur, Anzahl, Aufkommen und Beteiligte) und zum anderen die Auswirkungen der Interaktionen/Konflikte auf die Beteiligten betrachtet.

Da eine Interaktion per Definition nicht zu einem Konflikt oder Unfall mit einem anderen Verkehrsteilnehmer führen muss, können sich die Auswirkungen von Interaktionen auch nur auf die individuelle Anpassung des Fahrverhaltens beschränken. Die theoretisch möglichen Zusammenhänge von Interaktionen, Konflikten und (Allein-)Unfällen, die während einer Fahrradfahrt von der Quelle bis zu dem Ziel bzw. Ende einer Fahrt auftreten können, sind in dem Flussdiagramm in Bild 18 dargestellt.

Mögliche Sicherheitsindikatoren zur Bewertung von Interaktionen und/oder Konflikten sind:

- Interaktions-/Konfliktanzahl,
- Interaktions-/Konfliktdichte,
- Interaktions-/Konflikttyp,
- Interaktions-/Konfliktschwere.

Als potenzielle Kenngröße zur Bewertung der Verkehrssicherheit können z. B. Grundunfallkostenraten von Knotenpunkten mit unterschiedlichen Verkehrsregelungen in Abhängigkeit der Konfliktanzahl dargestellt werden. Voraussetzung ist, dass sowohl Daten aus Konfliktbeobachtungen als auch von Unfällen vorliegen.

### Unfälle und Alleinunfälle

Neben dem Erreichen eines Ziels kann eine Fahrradfahrt auch durch einen Unfall oder Alleinunfall beendet oder unterbrochen werden. Eine quantita-

tive Bewertung der Verkehrssicherheit bzw. der dargestellten Sicherheitskriterien und -kenngrößen setzt das Vorhandensein von Unfalldaten und somit auch das Auftreten eines Unfalls oder Alleinunfalls voraus.

Analog zur Betrachtung von Interaktionen und Konflikten werden auch bei Unfällen die Kriterien Aufkommen (Anzahl und Dichte), Beteiligte und Auswirkungen unterschieden.

Mögliche Sicherheitsindikatoren zur Bewertung der unterschiedlichen Unfallkriterien sind:

- Unfalldunkelziffer (sofern vorhanden),
- Unfalltypen/Unfallkategorien,
- Unfallbeteiligtenstruktur,
- Unfallschwere.

Als Kenngrößen zur Bewertung der Verkehrssicherheit können die nach dem HVS-Entwurf in Kapitel 2.1 aufgeführten Kennwerte verwendet und je nach Fragestellung und Datenlage weiter differenziert werden.

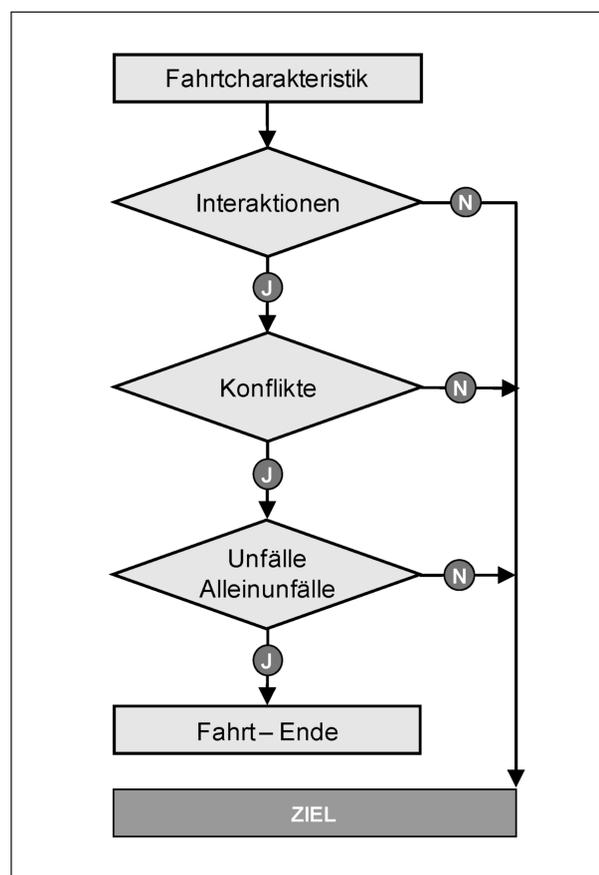


Bild 18: Dynamischer Radverkehrsablauf

## 6 Anwendungsbeispiele

Die nachfolgenden Anwendungsbeispiele sollen deutlich machen, wie die identifizierten und nach den unterschiedlichen Stufen einer Fahrradfahrt differenzierten Sicherheitsindikatoren für sich genommen oder durch Kombination mit Unfallkennwerten aus dem HVS-Entwurf dazu verwendet werden können, die Verkehrssicherheit im Radverkehr zu analysieren und zu bewerten. Als Grundlage wurde auf Verkehrs- und Unfalldaten aus abgeschlossenen Forschungsprojekten und empirischen Untersuchungen zurückgegriffen.

Wie in dem Expertenworkshop besprochen wurde (Kapitel 4.2), spiegeln auch die Anwendungsbeispiele wider, dass verkehrsplanerische Sicherheitsindikatoren stets in Abhängigkeit und im Zusammenhang mit Unfallgeschehen und daraus resultierenden Unfalldaten stehen.

In Anlehnung an die Strukturierung (Bild 17) werden in den nachfolgenden Kapiteln für verschiedene Stufen einer Fahrradfahrt Kriterien ausgewählt, für die verkehrsplanerische Sicherheitsindikatoren und potenzielle Sicherheitskenngrößen dargestellt und beschrieben werden. Zur Orientierung der nachfolgenden Kapitel und dargestellten Anwendungsbeispiele dient folgende Übersicht:

### Strukturelle Randbedingungen

- Kapitel 6.1:
  - Stufe: strukturelle Rahmenbedingungen,
  - Kriterium: Verkehrsstruktur.

### Statischer Bereich

- Kapitel 6.2:
  - Stufe: Radverkehrsteilnehmer,
  - Kriterium: Altersgruppen,
- Kapitel 6.3-6.5:
  - Stufe: Infrastruktur,
  - Kriterien:
    - infrastrukturbezogene verkehrliche Kriterien,
    - infrastrukturbezogene bauliche Kriterien,
    - infrastrukturbezogene straßen-nutzungsbezogene Kriterien.

### Dynamischer Bereich

- Kapitel 6.6:
  - Stufe: Interaktionen/Konflikte,
  - Kriterium: Interaktions-/Konfliktaufkommen,
- Kapitel 6.7:
  - Stufe: Unfälle,
  - Kriterium: Unfallaufkommen.

## 6.1 Verkehrsstruktur

### 6.1.1 Modal-Split (Radverkehrsanteil)

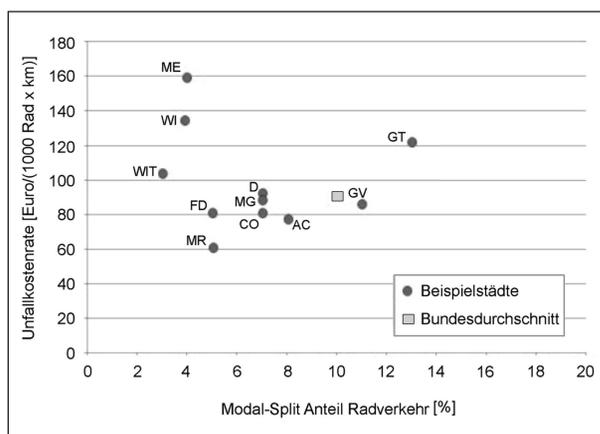
Das nachfolgende Anwendungsbeispiel kann der erarbeiteten Struktur zur Differenzierung der Sicherheitskenngrößen im Radverkehr wie folgt zugeordnet werden:

- Stufe: strukturelle Rahmenbedingungen,
  - Kriterium: Verkehrsstruktur,
  - Indikator: Modal-Split (Radverkehrsanteil),
  - Kenngröße: Unfallkostenrate in Abhängigkeit des Radverkehrsanteils.

Bei einem breiten gesellschaftlichen Konsens über die Vorteile eines hohen Radverkehrsanteils am Stadtverkehr für Umwelt und Gesundheit stellt sich auch die Frage nach der Entwicklung der Verkehrssicherheit. In diesem Zusammenhang stellt der Modal-Split, d. h. der Anteil des Radverkehrsaufkommens am Gesamtverkehr, einen wichtigen Indikator zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr dar.

In dem Forschungsprojekt „Einsparpotenzial des Radverkehrs im Stadtverkehr“ (BAIER et al., 2011) wurde für 11 Beispielstädte die Unfallkostenrate im Radverkehr ins Verhältnis zum jeweiligen Radverkehrsanteil der Stadt gesetzt. Zu diesem Zweck ist für alle Städte die Anzahl der täglichen Wege im Radverkehr mit Hilfe der durch ein Verkehrsmodell berechneten täglichen Wegeanzahl im Gesamtverkehr und des Modal-Split-Anteiles des Radverkehrs berechnet worden. Zudem wurde die mittlere Wegelänge im Radverkehr für jede Stadt aus den Verkehrsmodellen ermittelt.

Auf Basis der von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zur Verfügung gestellten Unfalldaten



**Bild 19:** Unfallkostenrate in Abhängigkeit des Radverkehrsanteils (Modal-Split) für unterschiedliche Städte (BAIER et al., 2011)

(Kategorie 1-3) mit Radfahrerbeteiligung aus den Jahren 2006-2008 wurde für jede Stadt eine durchschnittliche Unfallanzahl pro Jahr in Abhängigkeit der Verletzungsschwere berechnet. Mit pauschalen Unfallkostensätzen<sup>5</sup> für den Innerortsbereich konnten somit die durchschnittlichen Unfallkosten pro Jahr für jede Stadt ermittelt werden.

Auf dieser Datengrundlage wurde für alle Städte die Unfallkostenrate im Radverkehr nach folgender Formel berechnet:

$$UKR_{RAD} = 1.000 \cdot \frac{\sum UK_{RAD}}{\sum 365 \cdot DTW_{RAD} \cdot L_{RAD}}$$

mit

$UKR_{RAD}$  = Unfallkostenrate im Radverkehr

$DTW_{RAD}$  = Anzahl der tägl. Wege im Radverkehr

$L_{RAD}$  = mittlere Wegelänge im Radverkehr

Diese wurden ins Verhältnis zum jeweiligen Radverkehrsanteil gesetzt (Bild 19).

Aufgrund der geringen Stichprobe und der Verteilung lassen sich aus dem Diagramm keine statistisch belastbaren Aussagen ableiten. Es können jedoch folgende weiterführende Untersuchungsthesen formuliert werden:

- Auch Städte mit geringen Radverkehrsanteilen können hohe Unfallkostenraten aufweisen.
- Mit zunehmendem Radverkehrsanteil steigen die Unfallkostenraten leicht an.

Auf Basis einer größeren Grundgesamtheit – z. B. durch Heranziehen zusätzlicher Daten aus den Haushaltsbefragungen „Mobilität in Städten SrV“<sup>6</sup> – könnten diese Thesen geprüft werden.

## 6.2 Altersgruppen

Angesichts des demografischen Wandels und aktueller „Life-style“-Entwicklungen stellt sich zunehmend die Frage nach der Verkehrssicherheit der verschiedenen fahrradfahrenden Altersgruppen.

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden Anwendungsbeispiele bzw. Auswertungen aus dem Verkehrssicherheitsbericht 2010 der Bundeshauptstadt Berlin wiedergegeben (BAIER/SCHÄFER/KLEMPES-KOHNEN, 2010). Die Analyse der Verkehrsunfallentwicklung für das Berliner Stadtgebiet erfolgte auf Grundlage der polizeilichen Unfalldaten der Verkehrsunfälle mit Personenschaden (Kategorie 1-3) aus den Kalenderjahren 2000-2009. Um über die üblichen Jahresschwankungen hinweg eine zuverlässige Trendentwicklung im Unfallgeschehen beschreiben zu können, sind die Jahreswerte zu Drei-Jahres-Mittelwerten zusammengefasst worden.

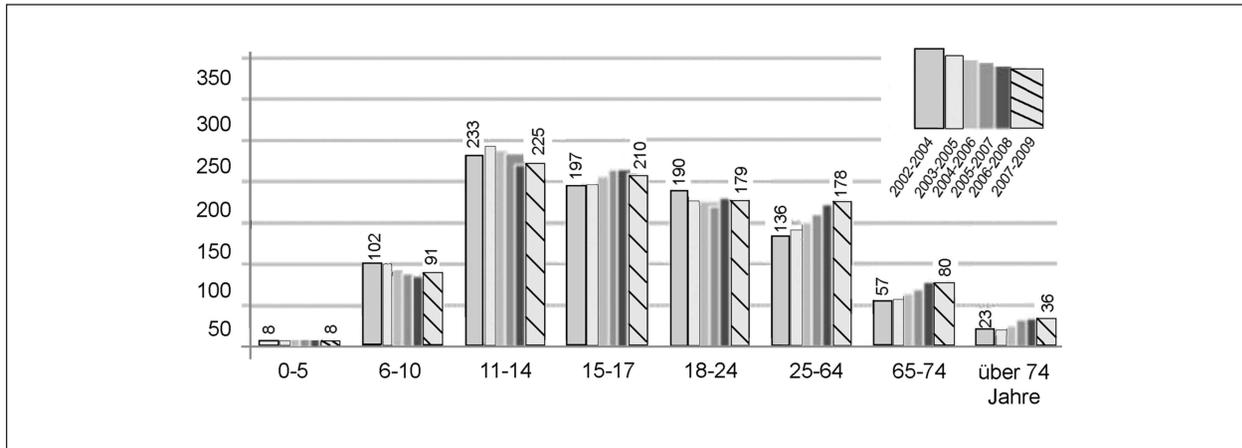
### 6.2.1 Anzahl von Radverkehrsunfällen nach Altersgruppen

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel kann der erarbeiteten Struktur zur Differenzierung der Sicherheitskenngrößen im Radverkehr wie folgt zugeordnet werden:

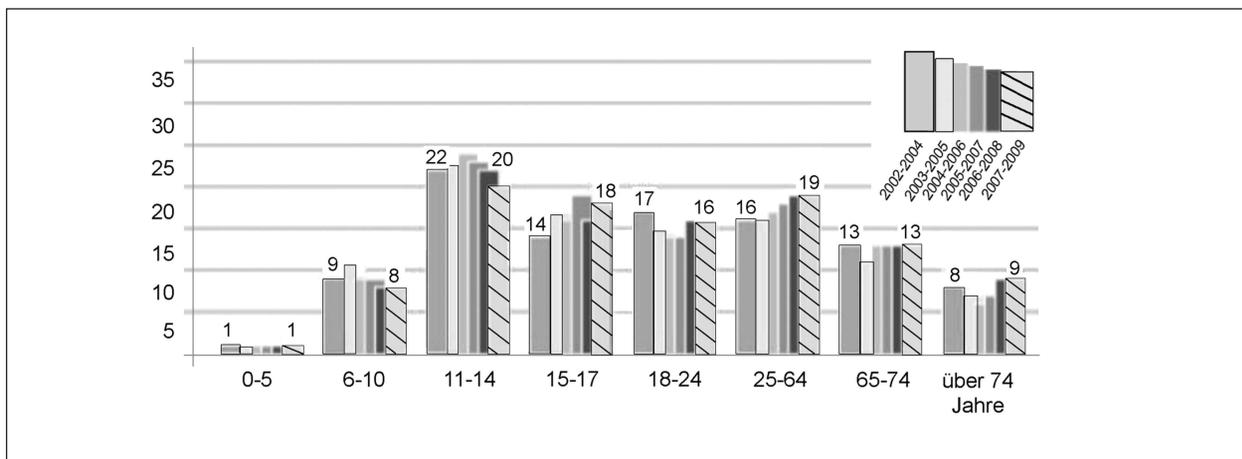
- Stufe: Radverkehrsteilnehmer,
  - Kriterium: Altersgruppen,
  - Indikator: Gruppengröße,
  - Kenngröße: Anzahl [abs.] von Radverkehrsunfällen nach Altersgruppen je 100.000 Personen der Altersgruppe.

<sup>5</sup> Die pauschalen Unfallkosten beziehen sich auf den gesamten Kfz-Verkehr und nicht ausschließlich auf den Radverkehr (Preisstand 2000, Unfallstruktur 1998, FGSV 2003).

<sup>6</sup> Der Untersuchungsraum der SrV 2008 umfasste 76 Städte, Gemeinden und Verwaltungsgemeinschaften in Deutschland.



**Bild 20:** Verunglückte Radfahrer je 100.000 Personen der Altersgruppe (BAIER/SCHÄFER/KLEMP-S-KOHNEN, 2010)



**Bild 21:** Verunglückte Radfahrer mit schweren Verletzungen je 100.000 Personen der Altersgruppe (BAIER/SCHÄFER/KLEMP-S-KOHNEN, 2010)

In Bild 20 ist die Entwicklung der verunglückten Radfahrer je 100.000 Personen für unterschiedliche Altersgruppen dargestellt. Bild 21 zeigt eine Detailauswertung der Entwicklung von Radverkehrsunfällen mit schweren Verletzungen.

Die Kernaussagen aus den beiden Diagrammen sind, dass ältere Kinder im Alter von 11-14 und Jugendliche in Relation zu ihrem Einwohneranteil am häufigsten mit dem Fahrrad verunglücken und auch bei den Unfällen mit schweren Verletzungen dominieren. Erwachsene in der Altersspanne von 18 bis 64 Jahren liegen in beiden Kategorien nicht weit darunter. Bezogen auf die Unfallschwere lässt sich bilanzieren, dass das Risiko, als Radfahrer bei Unfällen schwer verletzt zu werden, insbesondere für Senioren über 74 Jahren besonders hoch ist. So zeigen die Auswertungen, dass jeder 3.-4. verunglückte Radfahrer mit einem Alter von über 74 bei dem Unfall auch schwer verletzt wurde.

Im aktuellen Trend zeigen sich in Bezug auf die Radverkehrsunfälle eher geringfügige Veränderungen. Am günstigsten stellt sich der Trend bei den Kindern im Schulalter dar, ungünstige Trends ergeben sich bei den Altersgruppen ab 25 Jahren (BAIER/SCHÄFER/KLEMP-S-KOHNEN, 2010).

Es bleibt festzuhalten, dass die Unfallanzahl von Radverkehrsunfällen für unterschiedliche Altersgruppen eine wichtige Kenngröße zur Bewertung der Sicherheit im Radverkehr darstellt, die – wie in den beiden folgenden Kapiteln 6.2.2 und 6.2.3 dargestellt – noch weiter differenziert und spezifiziert werden kann.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass für unterschiedliche Altersgruppen unterschiedliche Expositionsgrößen herangezogen werden sollten (z. B. für Kinder im Alter von 6-10 und 11-14 die „Aufenthaltsdauer im Straßenraum“).

Unfallursache der Hauptverursacher	Kinder			Jugendliche			Junge Erwachsene				Erwachsene mittleren Alters				Senioren									
	0-5		6-10	11-14		15-17			18-24				25-64				65-74			über 74				
	Fuß	Fuß	Rad	Fuß	Rad	Fuß	Rad	Mot. Zweirad	Fuß	Rad	Mot. Zweirad	Pkw	Fuß	Rad	Mot. Zweirad	Pkw	Fuß	Rad	Mot. Zweirad	Pkw	Fuß	Rad	Pkw	
Nur Anteile ab 10 % bei einer Basis von mehr als 40 Unfällen																								
Zu geringer Abstand							○	●		○	●	●		○	●	●			○	○				●
Fehler beim Abbiegen											●				○				○	●				●
Nicht beachten der Vorfahrt												○			○					○			○	○
Nicht angepasste Geschwindigkeit								●		○	□	○		●	□			●	●				○	
Fehler beim Einfahren in den fließenden Verkehr			□		□		●			●					○			○					○	
Benutzen falscher Fahrbahnteile			●		●		●			●					●			●					○	
Fehler bei Überschreiten der Fahrbahn	■	■		■		■				□				■			■					■	○	
Rotlichtmissachtung				●		●				○					○				○				○	
Alkoholeinfluss										○				○	○									
Plötzliches Hervortreten hinter Hindernissen	□	□		●		○				○									○				○	

Legende: Anteil der Unfallursachen an den Unfällen beträgt langfristig überwiegend ■ > 60 %, □ 40-59 %, ● 20-39 %, ○ 10-19 % . Datenbasis 2000-2009

**Bild 22:** Unfallursachen der Hauptverursacher bei Unfällen mit Personenschaden, differenziert nach Altersgruppen und Verkehrsbeteiligung (BAIER/SCHÄFER/KLEMP-S-KOHNNEN, 2010)

### 6.2.2 Häufigkeit von Radverkehrsunfällen nach Altersgruppen und Unfallursache

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel kann der erarbeiteten Struktur zur Differenzierung der Sicherheitskenngrößen im Radverkehr wie folgt zugeordnet werden:

- Stufe: Radverkehrsteilnehmer,
  - Kriterium: Altersgruppen,
  - Indikator: Gruppengröße,
  - Kenngröße: Häufigkeit [%] von Radverkehrsunfällen nach Altersgruppen und Unfallursachen.

Neben den absoluten Anzahlen verunglückter Radfahrer aus unterschiedlichen Altersgruppen stellt die altersgruppenspezifische Auswertung der Unfallhäufigkeiten nach der Unfallursache eine weitere Sicherheitskenngröße zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr dar.

Bild 22 zeigt die Auswertung aus dem Verkehrssicherheitsbericht 2010 für Berlin, in dem die Häufigkeiten der Unfallursachen der Hauptverursacher

bei Unfällen mit Personenschaden, differenziert nach Altersgruppen und Verkehrsbeteiligung dargestellt werden.

Bezogen auf die Radfahrer ist bei allen Altersgruppen zu erkennen, dass „Fehler beim Einfahren in den fließenden Verkehr“ und das „Benutzen falscher Fahrbahnteile“ die Hauptunfallursachen im Radverkehr sind. Insbesondere bei den Altersgruppen der Kleinkinder (6-10 Jahre) und der älteren Kinder (11-14 Jahre) ist dieser Anteil der langfristig überwiegenden Unfallursachen mit 40-59 % besonders hoch. Beim „Benutzen falscher Fahrbahnteile“ stellt dabei häufig das Befahren von Radverkehrsanlagen in falscher Richtung oder nicht für Radfahrer freigegebenen Gehwegen die eigentliche Ursache dar.

### 6.2.3 Häufigkeit von Radverkehrsunfällen nach Altersgruppen und Unfalltypen

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel kann der erarbeiteten Struktur zur Differenzierung der Sicherheitskenngößen im Radverkehr wie folgt zugeordnet werden:

- Stufe: Radverkehrsteilnehmer,
  - Kriterium: Altersgruppen,
  - Indikator: Gruppengröße,
  - Kenngröße: Häufigkeit [%] von Radverkehrsunfällen nach Altersgruppen und Unfalltypen.

Analog zur Auswertung der altersgruppenspezifischen Unfallhäufigkeit der Unfallursachen wurden in dem Verkehrssicherheitsbericht 2010 für Berlin auch Analysen und Auswertungen zu Unfallhäufigkeiten nach den Unfalltypen gemacht. Auch hierbei wurden nur Unfälle mit Personenschaden differenziert nach dem Alter und der Verkehrsbeteiligung der Hauptverursacher ausgewertet.

Auf Basis der Drei-Jahres-Mittelwerte von 2007-2009 ergeben sich für Radfahrunfälle in Bezug auf die Hauptverursacher folgende unfalltypenspezifische Schwerpunkte:

Radfahrer verursachen überwiegend Unfälle beim Einbiegen und Kreuzen (Typ 3), wobei dieser Unfalltyp am häufigsten bei den jüngeren Altersgruppen (6- bis 24-Jährige) und im hohen Alter (über 74-Jährige) zu verzeichnen ist.

Der Anteil von Sonstigen Unfällen (Typ 7) ist zwar mit einem durchschnittlichen Anteil von unter 20 % an allen Unfällen eher gering, die Tatsache, dass dieser Unfalltyp im Gegensatz zu den anderen Verkehrsbeteiligungen (Fuß, mot. Zweirad, Pkw) aber bei allen Altersgruppen vertreten ist, deutet auf das schwer typisierbare Unfallgeschehen im Radverkehr im Vergleich zu dem Unfallgeschehen von anderen Verkehrsteilnehmern hin.

### 6.3 Infrastrukturbezogene verkehrliche Kriterien

Da Straßen mit Radverkehrsanlagen i. d. R. unterschiedlich hohe Rad- und Kfz-Verkehrsstärken aufweisen, stellt der Zusammenhang zwischen dem Unfallaufkommen auf Straßen mit unterschiedlichen Radverkehrsanlagen und der dort vorhandenen Rad- und/oder Kfz-Verkehrsstärke eine wichtige Kenngröße dar. Liegen statistisch belastbare Datengrundlagen vor, können die Ergebnisse bei zukünftigen Planungen z. B. dazu verwendet werden, die möglichst „sicherste“ Führungsform für den Radverkehr zu wählen bzw. zu empfehlen.

Unfalltyp der Hauptverursacher	Kinder			Jugendliche			Junge Erwachsene				Erwachsene mittleren Alters				Senioren									
	0-5		6-10	11-14		15-17			18-24				25-64				65-74			über 74				
	Fuß	Fuß	Rad	Fuß	Rad	Fuß	Rad	Mot. Zweirad	Fuß	Rad	Mot. Zweirad	Pkw	Fuß	Rad	Mot. Zweirad	Pkw	Fuß	Rad	Mot. Zweirad	Pkw	Fuß	Rad	Pkw	
Nur Anteile ab 10 % bei einer Basis von mehr als 40 Unfällen																								
Typ 1: Fahrnfall (F)			○				□		○	□	○		○	□			●	□			○			
Typ 2: Abbiegeunfall (AB)							○			○	●		○	○	●		○	○	●				□	
Typ 3: Einbiegen-/Kreuzen-Unfall (EK)			■		■		■	○		■		●		●		●		□	○	●		■	●	
Typ 4: Überschreitenunfall (ÜS)	■	■		■		■			■								■				■			
Typ 5: Unfall durch ruhenden Verkehr (RV)															○									
Typ 6: Unfall im Längsverkehr (LV)						○	□			●	●		○	●	●			○	○				○	
Typ 7: Sonstiger Unfall (SO)			○		●		○	○		○					●	○			○	○	○		○	○

Legende: Anteil der Unfalltypen an den Unfällen beträgt ■ ≥ 40 %, □ 30-39 %, ● 20-29 %, ○ 10-19 %. Datenbasis 3-Jahres-Mittelwerte 2007-2009

**Bild 23:** Unfalltypen bei Unfällen mit Personenschaden, differenziert nach Alter und Verkehrsbeteiligung der Hauptverursacher (BAIER/SCHÄFER/KLEMP-S-KOHNEN, 2010)

### 6.3.1 Kfz- und Radverkehrsstärke

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel kann der erarbeiteten Struktur zur Differenzierung der Sicherheitskenngößen im Radverkehr wie folgt zugeordnet werden:

- Stufe: Infrastruktur,
  - Kriterium: infrastrukturbezogene verkehrliche Kriterien,
  - Indikator: Kfz- und Radverkehrsstärke,
  - Kenngröße: Unfalldichte in Abhängigkeit der Kfz- und Radverkehrsstärke für unterschiedliche Radverkehrsführungen.

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel zur Darstellung des Einflusses der Kfz- und Radverkehrsstärke auf das Unfallgeschehen unterschiedlicher Radverkehrsanlagen basiert auf der Datengrundlage des Forschungsprojektes „Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern“ (ALRUTZ et al., 2009).

Grundlage der Untersuchungen waren ca. 780 Unfälle mit Radfahrerbeteiligung der Kategorien 1-4 aus acht unterschiedlichen Städten. Zudem sind in diesen Städten auf insgesamt 193 Straßenseiten Querschnittszählungen zur Erfassung der Radverkehrsstärke durchgeführt worden. Die Erhebungen fanden sowohl in der morgendlichen als auch nach-

mittäglichen Spitze des Berufs- und Schülerverkehrs in zwei vierstündigen Zeiträumen statt. Insgesamt wurden dabei fast 39.000 Radfahrer erfasst.

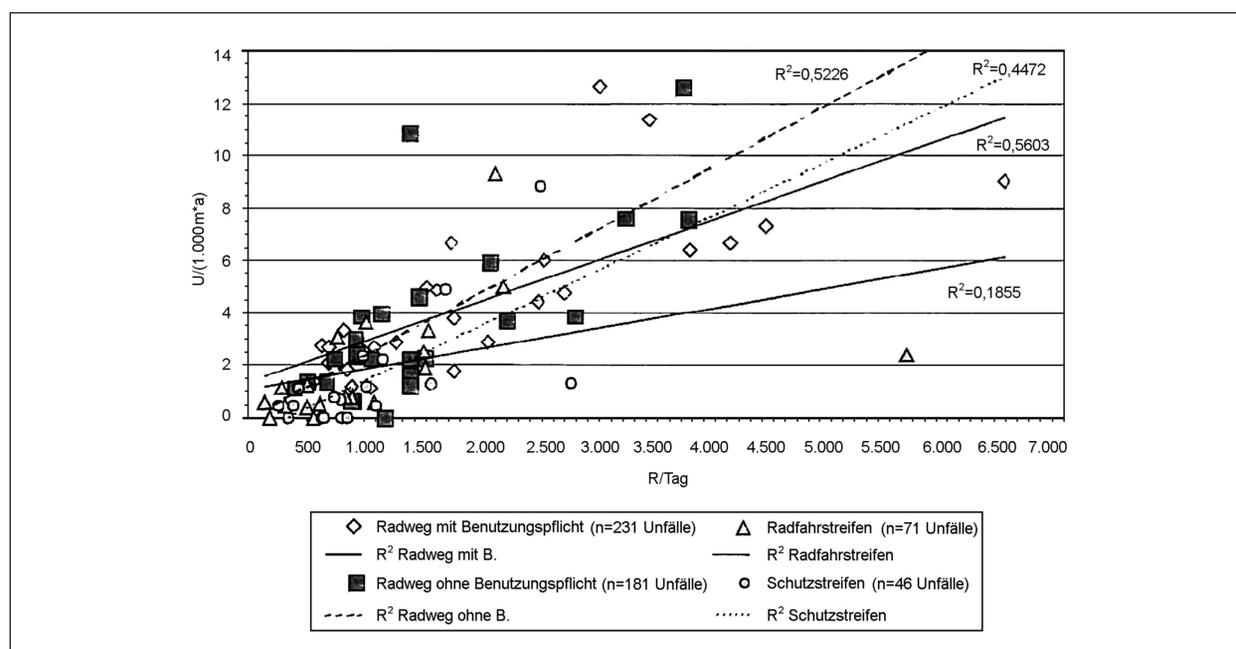
Bezogen auf das erhobene Radverkehrsaufkommen weisen die Straßen mit Radwegen (mit/ohne Benutzungspflicht) sowie mit Radfahr- und Schutzstreifen unterschiedlich hohe Verkehrsstärken auf. Für die untersuchten Streckenabschnitte wurden auf Basis der Unfalldaten jeweils die Unfalldichten in Abhängigkeit von der Radverkehrsführung berechnet. Diese sind über den erhobenen und für einen Tag hochgerechneten Radverkehrsstärken dargestellt worden (Bild 24).

Unterschieden wurden:

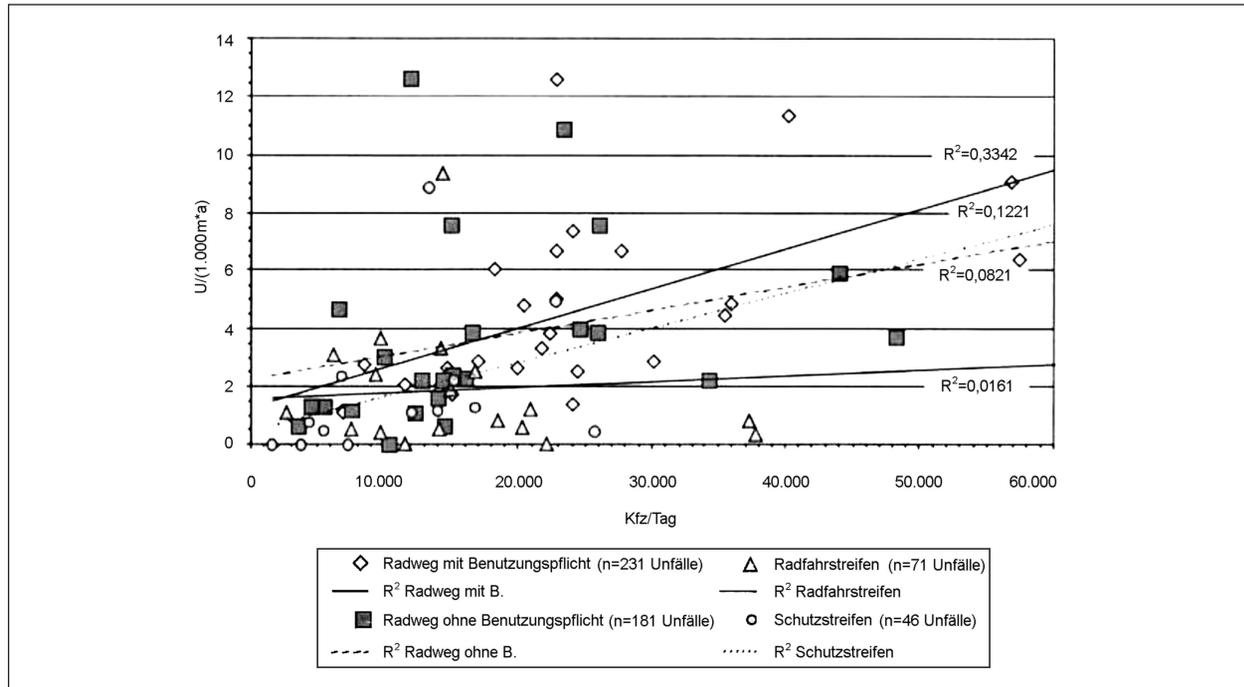
- Radwege mit Benutzungspflicht,
- Radwege ohne Benutzungspflicht,
- Radfahrstreifen,
- Schutzstreifen.

Zudem wurde die ermittelte Unfalldichte des Radverkehrs in Abhängigkeit der Kfz-Verkehrsstärke für die unterschiedlichen Radverkehrsanlagenarten dargestellt (Bild 25).

Die Analyse bezüglich des Einflusses der Radverkehrsstärken auf das Unfallgeschehen im Radverkehr führt u. a. zu folgenden Ergebnissen und Erkenntnissen (ALRUTZ et al., 2009):



**Bild 24:** Einfluss der Radverkehrsstärke auf die Unfalldichte in Abhängigkeit der Radverkehrsführung (ALRUTZ et al., 2009)



**Bild 25:** Einfluss der Kfz-Verkehrsstärke auf die Unfalldichte in Abhängigkeit der Radverkehrsführung (ALRUTZ et al., 2009)

- „Die Unfalldichte auf den Straßen mit benutzungspflichtigen Radwegen steigt ausgeprägt mit den Radverkehrsstärken.“
- Auch für Straßen mit nicht benutzungspflichtigen Radwegen besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Radverkehrsstärke und der Unfalldichte.
- Für Straßen mit Radfahrstreifen besteht kein linearer Zusammenhang zwischen der Radverkehrsstärke und der Unfalldichte.
- Auf den Straßen mit Schutzstreifen besteht tendenziell ein Einfluss der Radverkehrsstärke, der aber im Vergleich zu den Radwegen schwächer ist.
- Auch bei vergleichbaren Radverkehrsstärken streuen die Unfalldichten auf Straßen mit Radwegen bzw. Schutzstreifen.“

Die Tatsache, dass die zugrunde gelegten Kollektivgrößen auf den Radfahrstreifen (n = 71) und Schutzstreifen (n = 46) im Vergleich zu den Kollektivgrößen auf den Radwegen mit Benutzungspflicht (n = 231) und ohne Benutzungspflicht (n = 181) wesentlich geringer sind, sollte bei den Analysen und daraus resultierenden Gesamtaussagen berücksichtigt werden.

Was den Einfluss der Kfz-Verkehrsstärke auf das Unfallgeschehen bzw. die Unfalldichte betrifft, lässt sich resümieren, dass bei keinem der Anlagentypen ein belastbarer Zusammenhang zwischen der Kfz-Verkehrsstärke und der Unfalldichte des Radverkehrs besteht (ALRUTZ et al., 2009).

Als Gesamtfazit wird nach ALRUTZ et al. (2009) der Schluss gezogen, dass die gewonnenen Erkenntnisse einen prägenden Einfluss baulich-betrieblicher Einzelmerkmale oder von situativen Fehlverhaltensweisen auf das Unfallgeschehen erwarten lassen.

#### 6.4 Infrastrukturbezogene bauliche Kriterien

Angesichts der zunehmenden Anforderungen an eine möglichst sichere Führung und Abwicklung des Radverkehrs steigen auch die Anforderungen an eine differenzierte und belastbare Bewertung von unterschiedlichen Radverkehrsanlagen.

Insbesondere für Neuplanungen ist es wichtig, statistisch belastbare Aussagen zur Verfügung zu haben, bei welcher Radverkehrsanlage mit welcher Verkehrssicherheit bzw. mit welchen Gefahren und Risiken zu rechnen ist.

### 6.4.1 Art der Radverkehrsführung – Beispiel 1

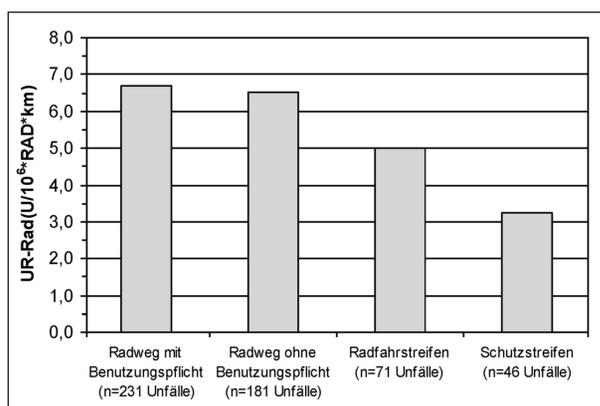
Das nachfolgende Anwendungsbeispiel kann der erarbeiteten Struktur zur Differenzierung der Sicherheitskenngrößen im Radverkehr wie folgt zugeordnet werden:

- Stufe: Infrastruktur,
  - Kriterium: infrastrukturbezogene bauliche Kriterien,
  - Indikator: Art der Radverkehrsanlage,
  - Kenngröße: Unfallrate und Unfalltyp in Abhängigkeit unterschiedlicher Radverkehrsführungen/-anlagen.

Analog zu Kapitel 6.3 basiert auch das nachfolgende Anwendungsbeispiel zur Darstellung des Einflusses der baulichen Kriterien und Kenngrößen auf den erhobenen Verkehrs- bzw. Unfalldaten aus dem Forschungsprojekt „Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern“ (ALRUTZ et al., 2009).

Die Analyse der dargestellten mittleren Unfallrate als fahrleistungsbezogene Sicherheitskenngröße führt nach ALRUTZ et al. (2010) zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Radwege mit bzw. ohne Benutzungspflicht unterscheiden sich im Sicherheitsniveau nur unwesentlich.
- Die schlechte Unfallbilanz der Radwege ist vor allem auf die höheren Anteile links fahrender Radfahrer zurückzuführen.
- Schutzstreifen werden im Mittel in weniger konfliktreichen Straßenräumen angelegt.



**Bild 26:** Mittlere Unfallrate der Untersuchungsabschnitte nach Art der Radverkehrsanlage (ALRUTZ, 2010)

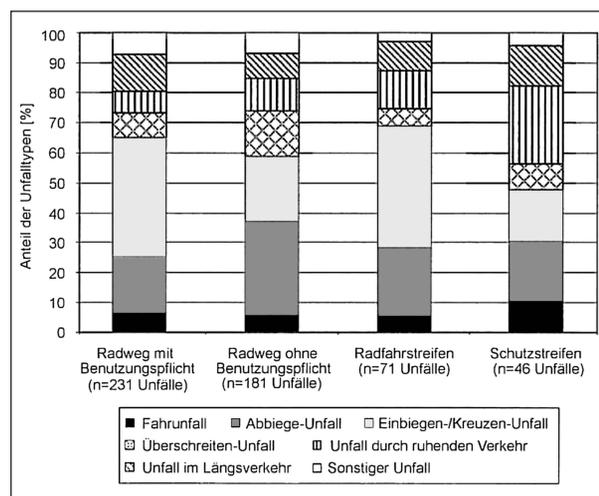
- Grundsätzlich besteht eine erhebliche Bandbreite der Unfallrate bei jedem Anlagentyp.

Als Gesamtfazit der Untersuchung wurde bilanziert, dass es keine generalisierbaren Unterschiede im Unfallrisiko der untersuchten Radverkehrsführungsformen gibt. Stattdessen ist das Unfallgeschehen häufig durch baulich-betriebliche Einzelmerkmale geprägt, die auf Defiziten in der Planung und Ausführung der Radverkehrsanlagen beruhen (ALRUTZ, 2010).

Im Rahmen einer weiteren Auswertung sind die Unfalldaten für die unterschiedlichen Radverkehrsanlagen zusätzlich nach den Unfalltypen 1-7 differenziert worden. Im Ergebnis wurden die prozentualen Anteile der Unfalltypen in einem Balkendiagramm dargestellt (Bild 27).

Die Analyse der Prozent-Verteilung der Unfalltypen auf die unterschiedlichen Radverkehrsanlagenarten führt zu folgenden Ergebnissen.

- Mit Ausnahme der Schutzstreifen treten die für Knotenpunkt charakterisierende Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle (Typ 3) und Abbiege-Unfälle (Typ 2) mit einer Summe von 50-65 % bei allen Radverkehrsanlagen am häufigsten auf.
- Insbesondere bei Radwegen mit Benutzungspflicht und Radfahrstreifen ist der Anteil der Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle mit ca. 40 % am größten.
- Unfälle durch den ruhenden Verkehr (Typ 5) sind vor allem auf Straßen mit Schutzstreifen



**Bild 27:** Unfalltypen nach Art der Radverkehrsanlage (ALRUTZ et al., 2009)

stärker ausgeprägt. Hier liegt der Anteil des Typs 5 mit über 20 % sogar über den Anteilen der Typen 2 und 3.

- Der Anteil von Unfällen im Längsverkehr (Typ 6) fällt bei allen Radverkehrsanlagen mit 5-15 % eher gering aus.

Die Auswertungen der Unfalldaten nach der Art der Radverkehrsanlage zeigen, dass die Verkehrssicherheit von unterschiedlichen Radverkehrsanlagen nicht nur von der Kfz- und Radverkehrsstärke, sondern auch von der Unfalltypenstruktur abhängt. Bei einer statistisch belastbaren Datengrundlage wird daher empfohlen auch die anlagenbezogene Unfalltypenstruktur zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr heranzuziehen.

In diesem Zusammenhang spielen für die Unfalltypen 2 und 3 in erster Linie die Anzahl der Knotenpunkte und Grundstückszufahrten und für den Unfalltyp 5 der Anteil des ruhenden Längsverkehrs im Seitenraum der Straße eine entscheidende Rolle. Diese Daten können wiederum als gesonderte bauliche und straßennutzungsbezogene Kriterien betrachtet und bewertet werden.

#### 6.4.2 Art der Radverkehrsführung – Beispiel 2

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel kann der erarbeiteten Struktur zur Differenzierung der Sicherheitskenngößen im Radverkehr wie folgt zugeordnet werden:

- Stufe: Infrastruktur,
  - Kriterium: infrastrukturbezogene bauliche Kriterien,
  - Indikator: Art der Radverkehrsanlage,
  - Kenngröße: Unfallkostenrate in Abhängigkeit unterschiedlicher Straßenquerschnittstypen und Radverkehrsführungen.

In dem Projekt „Sicherheitsgrad von Stadtstraßen mit und ohne schienengebunden ÖPNV“ (BAIER et al., 2007) wurde in vier deutschen Großstädten die Art der Radverkehrsführung auf Hauptverkehrsstraßen mit Straßenbahnen untersucht. Dazu wurden sieben Straßenquerschnittstypen (mit Straßenbahn) nach der Art der Radverkehrsführung unterschieden.

Zusätzlich wurde folgende Differenzierung für die sieben Querschnittstypen durchgeführt:

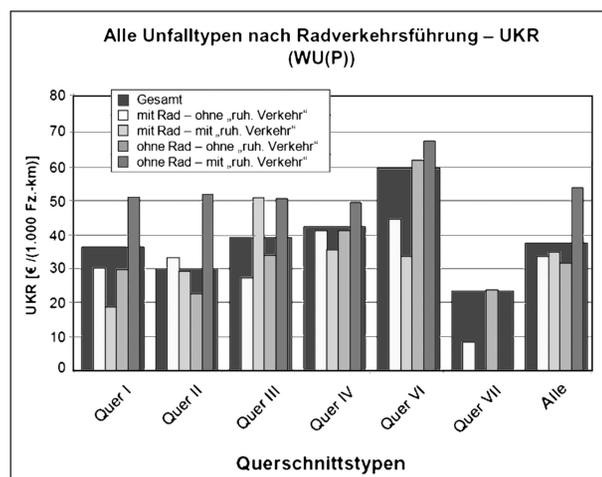
- Straßen mit beidseitiger Radverkehrsanlage und ohne ruhenden Verkehr,
- Straßen mit beidseitiger Radverkehrsanlage und mit ruhendem Verkehr,
- Straßen ohne Radverkehrsanlage und ohne ruhenden Verkehr,
- Straßen ohne Radverkehrsanlage und mit ruhendem Verkehr.

Auf Basis der Unfallkosten aller Unfälle mit Personenschäden und Sachschäden aus den Jahren 2002-2004 sind die Unfallkostenraten für die zutreffenden Streckenabschnitte berechnet worden.

Da bei keinem der betrachteten Streckenabschnitte des Querschnittstyps 7 ruhender Verkehr vorhanden war, kann dieser Typ nur in zwei Kombinationen verglichen werden.

Eine Analyse der Unfallkostenraten führt zu dem Ergebnis, dass Abschnitte ohne Radverkehrsanlage und mit ruhendem Verkehr in fast allen Fällen die höchsten Unfallkostenraten aufweisen. Dass diese Unfallkostenraten in einer gemeinsamen Betrachtung aller Querschnitte deutlich über den anderen liegen, deutet auf den ungünstigen Sicherheitsgrad solcher Straßenquerschnitte mit Straßenbahnen hin.

Der Vergleich der Abschnitte ohne Radverkehrsanlage und ohne ruhenden Verkehr ergibt hingegen kein eindeutiges Bild. Welche dieser Ausführungen bezüglich der Unfallkostenraten günstiger ist, ist sehr stark vom Querschnittstyp abhängig (BAIER et al., 2007).



**Bild 28:** Unfallkostenrate aller Unfalltypen für alle Querschnitte nach Art der Radverkehrsführung in Kombination mit dem ruhenden Verkehr (BAIER et al., 2007)

Während sich das Anwendungsbeispiel in erster Linie auf eine differenzierte und detaillierte Auswertung von Unfalldaten stützt, wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass durch weitere verkehrstechnische Erhebungen und Beobachtungen des Verkehrsverhaltens – z. B. durch Videoanalysen oder Geschwindigkeits- und Zeitlückenmessungen – vertiefende Aussagen zur Sicherheit der unterschiedlichen Streckentypen und Radverkehrsanlagen möglich sind.

## 6.5 Infrastruktur- und straßen-nutzungsbezogene Kriterien

### 6.5.1 Anzahl Grundstückszufahrten

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel kann der erarbeiteten Struktur zur Differenzierung der Sicherheitskenngrößen im Radverkehr wie folgt zugeordnet werden:

- Stufe: Infrastruktur,
  - Kriterium: infrastrukturbezogene straßen-nutzungsbezogene Kriterien,
  - Indikator: Anzahl Grundstückszufahrten,
  - Kenngröße: Unfallanzahl/-schwere bei Strecken mit vielen Grundstückszufahrten.

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel basiert auf einem Verkehrssicherheitsaudit, das im Zuge des Ausbauplans einer Hauptverkehrsstraße erstellt wurde (BAIER/KLEMPES-KOHNEN, 2011).

Bei der Auditierung wurden u. a. folgende Aussagen getroffen:

- Die Querschnittsaufteilung und insbesondere die Führung des Radverkehrs im Seitenraum müssen grundsätzlich überprüft werden. In den drei Jahren, die für das Unfallgeschehen zur Verfügung standen, sind auf dem Bauabschnitt insbesondere an den Knotenpunkten und an Grundstücksein- oder -ausfahrten insgesamt 31 Unfälle geschehen, an denen Radfahrer beteiligt waren. Bei diesen 31 Unfällen wurden 30 Personen verletzt, davon 3 schwer. Hier wurde der Radfahrer überwiegend im Seitenraum geführt. In 21 Fällen war die Unfallart dabei der „Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt“. Vor

diesem Hintergrund sollte überprüft werden, den Radfahrer auf einer Radverkehrsanlage auf der Fahrbahn bzw. auf Fahrbahnniveau zu führen.

- Die Radfahrer werden in der vorliegenden Planung fast durchgängig benutzungspflichtig im Seitenraum geführt. Aus Grundstückszufahrten ausfahrende Fahrzeuge müssen zwangsläufig auf dem Radweg stehen, um zum Ausfahren auf eine entsprechende Zeitlücke im Verkehr zu warten (Bild 29). Es ist zusätzlich zu prüfen, wie sichergestellt werden kann, dass Gehweg und Radweg an den Grundstückszufahrten von wartenden ausfahrenden Fahrzeugen frei gehalten werden können (BAIER/KLEMPES-KOHNEN, 2011).

Durch die Auszüge aus dem Auditbericht wird deutlich, dass die Anzahl von Grundstückszufahrten auf einem Streckenabschnitt, und insbesondere auf stark belasteten Hauptverkehrsstraßen, einen wichtigen Indikator zur Bewertung der Verkehrssicherheit von im Seitenraum geführten Fahrradfahrern darstellt.

Insbesondere bei links in eine Grundstückszufahrt abbiegenden Kraftfahrern besteht für den in Gegenrichtung im Seitenraum fahrenden Radverkehr eine erhöhte Gefahr, da den Autofahrern bei kurzen Zeitlücken im entgegengesetzten Verkehrsfluss häufig nur wenig Zeit verbleibt, in die Zufahrt abzubiegen. Der damit verbundene „Zwang“, den Gegenfahrstreifen des Kfz-Verkehrs so schnell wie möglich räumen zu müssen, kann dazu führen, dass Fahrradfahrern im Seitenraum zu wenig Aufmerksamkeit und Beachtung geschenkt wird.



Bild 29: Ausfahrten auf einer Hauptverkehrsstraße

Zur Vermeidung von Unfällen durch das „Zusammenstoßen mit einem anderen Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt“, sollte bei der Planung oder neuen Konzeptionierung einer Radverkehrsanlage (insbesondere an Hauptverkehrsstraßen) die Anzahl der Grundstückszufahrten als Sicherheitsindikator herangezogen und bewertet werden.

In diesem Zusammenhang stellt der Anteil von Parkständen und dadurch hervorgerufener Einschränkungen des Sichtfeldes einen weiteren Indikator dar, der in diesem Kontext berücksichtigt und bewertet werden sollte.

## 6.6 Interaktions-/Konfliktaufkommen

### 6.6.1 Interaktions-/Konfliktanzahl

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel kann der erarbeiteten Struktur zur Differenzierung der Sicherheitskenngrößen im Radverkehr wie folgt zugeordnet werden:

- Stufe: Interaktionen/Konflikte,
  - Kriterium: Interaktions-/Konfliktaufkommen,
  - Indikator: Interaktions-/Konfliktanzahl,
  - (Kenngröße): Interaktions-/Konfliktstruktur.<sup>7</sup>

Aufgrund der Zunahme des Radverkehrsaufkommens, der Veränderung des Fahrzeugkollektivs und des demografischen Wandels muss in Zukunft nicht nur mit einer Zunahme des Unfallaufkommens, sondern auch mit einer Zunahme von Interaktionen und Konflikten im Radverkehr gerechnet werden. Vor diesem Hintergrund stellen Interaktionen und Konflikte als potenzielle „Vorstufe“ für einen Unfall wichtige Indikatoren zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr dar.

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel basiert auf Unfalldaten und Verhaltensbeobachtungen, die im Rahmen einer Untersuchung zur „Überprü-

fung der Verkehrssicherheit eines Minikreisverkehrs (BAIER/KLEMP-S-KOHNEN, 2011) analysiert wurden.

Als Grundlage zur Bewertung der Verkehrssicherheit wurden von jeweils zwei unterschiedlichen Standorten Videoaufnahmen zur Beobachtung des Kraftfahrzeug- und Radverkehrs durchgeführt. Die Beobachtungszeiträume wurden auf Basis der Unfalldaten bzw. der Uhrzeiten festgelegt, in denen die meisten Unfälle zwischen 2006 und 2010 aufgetreten sind. Aufgrund dieser Analyse wurden zwei dreistündige Zeitbereiche in der morgendlichen und nachmittäglichen Hauptverkehrszeit erhoben und ausgewertet. Zusätzlich sind die Unfalldaten 2006-2010 ausgewertet worden.

Die Auswertung des Unfallgeschehens hat ergeben, dass insgesamt 39 Unfälle aufgetreten sind, die sich wie folgt auf die unterschiedlichen Unfallkategorien aufteilen:

- Unfallkategorie 1: 0 Unfälle,
- Unfallkategorie 2: 2 Unfälle,
- Unfallkategorie 3: 10 Unfälle,
- Unfallkategorie 4: 3 Unfälle,
- Unfallkategorie 5: 24 Unfälle.

Von den 15 Unfällen der in Bild 30 weiß dargestellten Kategorien 1-4 gab es insgesamt 6 Unfälle mit Radfahrerbeteiligung. 31 aller Unfälle waren Unfälle des Typs 3 (Einbiegen-/Kreuzen-Unfall).

Die Verhaltensbeobachtungen des Radverkehrs haben ergeben, dass zwar 130 Radfahrer beobachtet werden konnten, keiner von diesen jedoch einen Konflikt mit einem anderen Verkehrsteilnehmer hatte. Im Gegensatz dazu wurden im Kfz-Verkehr 25 Konflikte registriert, die größtenteils darauf beruhten, dass ein Kraftfahrzeugfahrer zu früh oder ohne zu halten in die Kreisfahrbahn einfuhr.

Als Auswerteanweisung wurde die nachfolgende Konfliktdefinition formuliert:

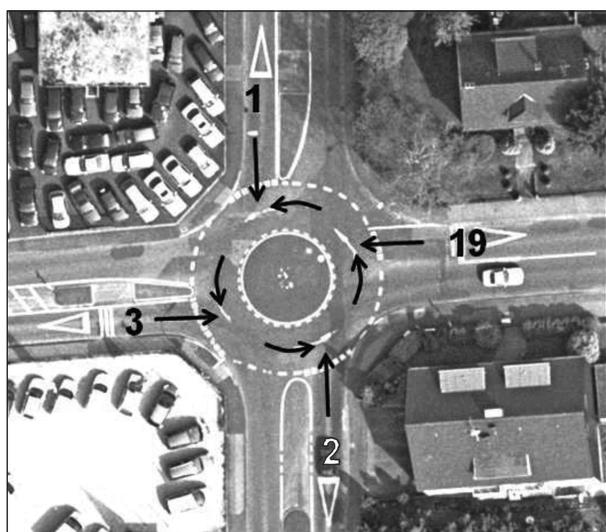
Ein „Konflikt“ entsteht, wenn ein Verkehrsteilnehmer auf Grund des Verhaltens eines anderen Verkehrsteilnehmers beim Befahren der Kreisfahrbahn bremsen oder seine Fahrt verzögern muss.

In Bild 31 ist die Verteilung der 25 Konflikte auf die unterschiedlichen Zufahrten dargestellt.

<sup>7</sup> Bei diesem Anwendungsbeispiel werden auf Basis von Interaktions-/Konfliktbeobachtungen und Unfallanalysen Aussagen zu der Struktur der Interaktionen/Konflikte getroffen. Dies entspricht jedoch nicht der in diesem Projekt festgelegten Definition, dass sich eine Sicherheitskenngröße aus einem Sicherheitsindikator und einem Unfallkennwert (HVS-Entwurf) zusammensetzt (siehe Bild 13).



**Bild 30:** Unfallanalyse des untersuchten Minikreisverkehrs (BAIER/KLEMP-S-KOHNEN, 2011)



**Bild 31:** Verteilung der Konflikte im Kfz-Verkehr auf die Zufahrten des Minikreisverkehrs (BAIER/KLEMP-S-KOHNEN, 2011)

Die Analyse der Untersuchung hat zu dem Ergebnis geführt, dass sich aus Konfliktbeobachtungen im Kfz-Verkehr die Konfliktstruktur und die potenziellen Abläufe von Unfällen (Unfalltypenstruktur) ableiten lassen. Aus der Konflikttanzahl lässt sich jedoch nicht auf die (zukünftige) Anzahl von Unfällen schließen.

## 6.7 Unfallaufkommen

Da es bezogen auf die Verkehrssicherheit das Ziel verkehrsplanerischen Handelns ist, Unfälle zu vermeiden bzw. Unfallfolgen zu minimieren, müssen folgerichtig für verkehrsplanerische Sicherheits-

kenngroßen Unfallkenngroßen zur Verfügung stehen, damit auf deren „Basis“ ein direkter Bezug zu Unfällen hergestellt werden kann.

Das Unfallaufkommen stellt somit eine „grundlegende Sicherheitskenngroße“ dar, die als Ausgangsgroße in fast allen verkehrssicherheitsrelevanten Untersuchungen verwendet und zu Grunde gelegt wird.

### 6.7.1 Unfallanzahl nach Unfallschwere anteilig nach Unfalltypen und Knotenpunkten

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel kann der erarbeiteten Struktur zur Differenzierung der Sicherheitskenngroßen im Radverkehr wie folgt zugeordnet werden:

- Stufe: Unfälle,
  - Kriterium: Unfallaufkommen,
  - Indikator: Unfalltyp,
  - Kenngroße: Unfallanzahl nach Unfallschwere, Unfalltypen und Knotenpunktformen.

In dem Sicherheitskonzept für Dresden (MAIER et al., 2010) wird das Unfallgeschehen für das Jahr 2005 analysiert. Im Radverkehr werden hier die Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung nach Kategorie anteilig nach Unfalltyp und nach Knotenpunkttyp betrachtet.

Bei den Unfällen mit Radverkehrsbeteiligung handelt es sich in den meisten Fällen um Unfälle der Typen 2 (Abbiegen) und 3 (Einbiegen/Kreuzen). Ein Viertel aller Unfälle mit Leichtverletzten und ein Fünftel aller Unfälle mit Schwerverletzten oder Todesfolge sind diesen Unfalltypen zuzuordnen.

Die Unfälle treten vor allem an Knotenpunkten und Grundstückszufahrten auf und sind im Allgemeinen auf nicht eindeutige Vorrangverhältnisse oder unzureichende Sichtbeziehungen zwischen den Verkehrsteilnehmern zurückzuführen. Nach MAIER et al. (2010) sind die Defizite, die zu Unfällen solchen Typs führen, erfahrungsgemäß oft mit einer verkehrsgerechten Führung der Radfahrer und mit ausreichenden Sichtverhältnissen zu beheben.

Die anteilige Unfallanzahl differenziert nach den Unfallkategorien und Unfalltypen stellt daher insbesondere für die Bewertung der Straßenraumgestal-

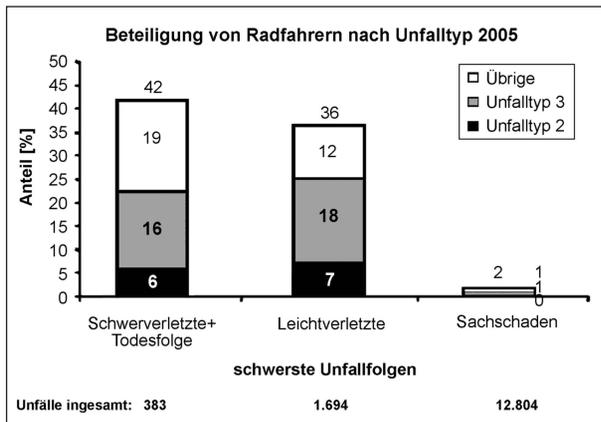


Bild 32: Unfälle mit Radfahrereteiligung nach Unfalltypen (2005) (MAIER et al., 2010)

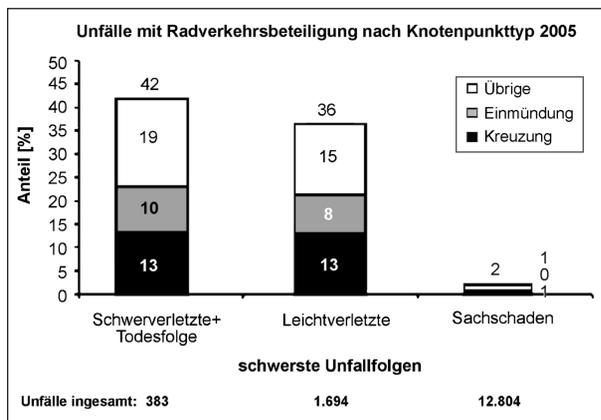


Bild 33: Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung an Knotenpunkten (MAIER et al., 2010)

tung in Knotenpunktbereichen eine relevante und gute Kenngröße zur Bewertung der Verkehrssicherheit dar.

Unterstützt wird diese Erkenntnis durch die ebenfalls im Sicherheitskonzept für Dresden (MAIER et al., 2010) dargestellte Unfallhäufigkeit der Unfallkategorien 1-4 mit Radverkehrsbeteiligung nach den Knotenpunkttypen (Bild 33).

Demnach tritt mehr als die Hälfte aller Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung und Schwerverletzten oder Toten an Kreuzungen oder Einmündungen auf. Auch bei den Unfällen der Unfallkategorie 3 (mit Leichtverletzten) tritt die überwiegende Anzahl der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung an Kreuzungen oder Einmündungen auf.

## 7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Untersuchungen zur Identifikation und Entwicklung von Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr aus Sicht unterschiedlicher Fachdisziplinen haben zu folgenden Erkenntnissen und Ergebnissen geführt:

- Unterschiedliche Fachdisziplinen ziehen unterschiedliche Kriterien und Indikatoren heran, um Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr zu ermitteln und die Verkehrssicherheit zu bewerten. Zudem besteht zwischen den unterschiedlichen Fachdisziplinen ein unterschiedliches Verständnis, was die Definition von Sicherheit im Radverkehr betrifft und welche (Daten-) Grundlagen und Methoden zur Bewertung der Sicherheit im Radverkehr erforderlich sind.
- Eine interdisziplinäre Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr konnte aufgrund der meist schwachen empirischen Datengrundlage und des fehlenden gemeinsamen Verkehrssicherheitsverständnisses noch nicht erfolgen.
- Aus Sicht der Verkehrsplanung setzt die Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr den unmittelbaren Bezug und Daten zu Unfällen, Interaktionen und/oder Konflikten voraus. Ist dieser nicht vorhanden bzw. nicht möglich, so können keine belastbaren Aussagen zur Verkehrssicherheit getroffen werden.
- Die aus Sicht der Verkehrsplanung dargestellten Sicherheitskenngrößen besitzen zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr die gleiche Qualität wie die Unfallkennwerte nach dem HVS-Entwurf. Im Gegensatz zu den „bestehenden Sicherheitskenngrößen“ nach dem HVS-Entwurf zeichnen sich die in dem Projekt neu identifizierten Sicherheitskenngrößen insbesondere durch eine differenzierte Bewertungsmöglichkeit aus.
- Die Verbesserung der Bewertungsmöglichkeit der Verkehrssicherheit für den Radverkehr besteht im Wesentlichen in zusätzlichen Kombinationen von Sicherheitsindikatoren und Unfallkennwerten zu „neuen“ Sicherheitskenngrößen sowie in der weiteren Klassifizierung, Detaillierung und Referenzierung von Unfalldaten zur Analyse und Bewertung der Verkehrssicherheit.

- Durch die Strukturierung der verkehrsplannerischen Sicherheitskenngößen wird die Grundlage für eine differenzierte Analyse und detaillierte Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr geschaffen.

Für zukünftige Untersuchungen und Forschungstätigkeiten werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Zur interdisziplinären Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr sollte eine Methodik entwickelt werden, die zum einen die unterschiedlichen Indikatoren der Fachdisziplinen berücksichtigt und zum anderen auf möglichst vorhandenen bzw. mit möglichst geringem Aufwand ermittelbaren Daten (z. B. Verkehrs-, Unfall-, Verhaltensdaten) basiert.
- Es sollte ein Anwendungskatalog mit Empfehlungen erstellt werden, bei welchem Anwendungsfall welche Kenngröße(n) zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Radverkehr herangezogen werden sollte(n).
- Die identifizierten Indikatoren und Kenngrößen sollten neben der Aussagefähigkeit zusätzlich nach den Kriterien Datenverfügbarkeit und Erhebungs-/Ermittlungsaufwand bewertet werden.
- Es sollten die Abhängigkeiten zwischen den Kriterien und Indikatoren innerhalb der Fachdisziplinen und zwischen den unterschiedlichen Fachdisziplinen dargestellt werden (z. B. Leistungs-/Ausdauerfähigkeit eines Radfahrers und Routenlänge/durchschnittliche Geschwindigkeit einer Radroute).
- Aufgrund der häufig unzureichend vorliegenden Radverkehrsstärken und Verkehrsverhaltensanalysen im Radverkehr sollte i. B. auf stark frequentierten Radverkehrsachsen auf den Bedarf und den Nutzen von Verkehrszählungen und Verkehrsverhaltensbeobachtungen hingewiesen werden.
- Die „individuelle Multimodalität“ als Indikator für das Sicherheitskriterium Radkultur kann über Haushaltsbefragungen zum Mobilitätsverhalten im MiD/SrV-Design ermittelt werden. Um diesen Indikator zu einer Sicherheitskenngöße weiterzuentwickeln, müssten in einem Forschungsprojekt die verschiedenen Ausprägungen individueller Multimodalität räumlicher Kollektive mit dem Unfallgeschehen im selben Raum ver-

knüpft werden. Weiter führender wäre noch der Ansatz, diese Verknüpfung für Kollektive mit sozio-demografischen Merkmalen durchzuführen.

- Sofern bei einer Analyse und Bewertung der Verkehrssicherheit entsprechend zusätzliche Daten und Informationen verfügbar sind, wird für zukünftige Verkehrssicherheitsbetrachtungen im Radverkehr empfohlen, auf Basis der hier erarbeiteten Struktur eine über die klassischen Unfallanalysen hinausgehende fallbezogene Bewertung der Radverkehrssicherheit vorzunehmen.

## 8 Literatur

- ALRUTZ, D., BOHLE, W., MÜLLER, H., PRAHLOW, H., HACKE, U., LOHMANN, G.: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 184, Bergisch Gladbach 2009
- ALRUTZ, D.: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern, Präsentation für die Fortbildungsveranstaltung Polizeiakademie Niedersachsen, Hannover 2010
- ANGENENDT, W., ERKE, H., HOFFMANN, G., MARBURGER, E. A., MOLT, W., ZIMMERMAN, G.: Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Nr. 18, Bergisch Gladbach 1987
- ANGENENDT, W., BADER, J., BUTZ, T., CIESLIK, B., DRAEGER, W., FRIESE, H., KLÖCKNER, D., LENSSEN, M., WILKEN, M.: Verkehrssichere Anlage und Gestaltung von Radwegen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 9, Bergisch Gladbach 1994
- BAIER, R.: Sicherheitsaudit für Straßen – 10 Fragen und Antworten. Bonn/Berlin 2004
- BAIER, R., HEBEL, C., KNAB, S., MAIER, R., SCHÜLLER, H.: Durchführung einer Sicherheitsanalyse des Straßennetzes von Berlin nach den ESN (2003). Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, unveröffentlichter Schlussbericht, Aachen/Dresden 2005

- BAIER, R., KLEMPES, A.: Sicherheitsanalyse der Gleisübergänge an den Haltestellen im Zuge der Luegallee in Düsseldorf. Gutachten im Auftrag der Rheinischen Bahngesellschaft AG, unveröffentlichter Schlussbericht, Aachen 2006
- BAIER, R.: Vortrag: Straßenentwurf – Sicherheit für Mensch und Umwelt – Erfahrungen mit dem Sicherheitsaudit. Deutscher Straßen- und Verkehrskongress, Karlsruhe 2006
- BAIER, R., KLEMPES-KOHNEN, A., MAIER, R., AURICH, A.: Sicherheitsgrad von Stadtstraßen mit und ohne schienengebundenen ÖPNV. Schlussbericht, Aachen/Dresden 2007
- BAIER, R., SCHÄFER, K. H.: Verkehrssicherheitsbericht 2007: Berlin sicher mobil – Verkehrssicherheitsprogramm Berlin 2010. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin 2017
- BAIER, R., BAIER, M. M., KLEMPES-KOHNEN, A., LOCKHART, L.: Untersuchungen im Rahmen der Erstellung des Verkehrsentwicklungskonzepts der Landeshauptstadt Stuttgart, Baustein: Sicherheitsanalyse. Studie im Auftrag der Landeshauptstadt Stuttgart, unveröffentlichter Schlussbericht, Aachen 2009
- BAIER, R., BAIER, M. M., KLEMPES-KOHNEN, A., LOCKHART, L.: Verkehrsuntersuchung Frankfurter Straße. Studie im Auftrag der Stadt Hennef, unveröffentlichter Schlussbericht, Aachen 2009
- BAIER, R., BAIER, M. M., KLEMPES-KOHNEN, A.: Untersuchungen zum Verkehrsentwicklungskonzept für die Landeshauptstadt Stuttgart – Modul 1/Bausteine: Erreichbarkeitsanalyse, Sicherheitsanalyse, Verträglichkeitsanalyse sowie deren Überlagerung. Aachen 2009
- BAIER, M. M., KLEMPES-KOHNEN, A., LEU, P., MÜLLER, A.: Überprüfung der Verkehrssicherheit für das Linksabbiegen bei unterschiedlichen Formen der Signalisierung. FE 03.421/2006/DRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, unveröffentlichter Schlussbericht, Aachen 2010
- BAIER, R., KLEMPES-KOHNEN, A., MAIER, R., ENKE, M.: Ermittlung von Grundunfallkostenraten auf Stadtstraßen. FE 82.0524/2011 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Aachen (laufend)
- BAIER, R., SCHÄFER, K. H., KLEMPES-KOHNEN, A.: Verkehrssicherheitsbericht 2010: Berlin sicher mobil – Verkehrssicherheitsprogramm Berlin 2010. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin 2010
- BAIER, R., KLEMPES-KOHNEN, A.: Überprüfung der Verkehrssicherheit am Minikreisverkehr Hermann-Löns-Straße/Buchholzstraße in Bergisch Gladbach. BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH im Auftrag der Stadt Bergisch Gladbach, 2011
- BAIER, R., KLEMPES-KOHNEN, A.: B 15, Ausbau der Ortsdurchfahrt Rosenheim, Kufsteiner Straße. Auditbericht, Aachen 2011
- BAIER, R., LEU, P., KLEMPES-KOHNEN, A., REINARTZ, A., MAIER, R., SCHMOTZ, M.: Ableitung von Einsatzbereichen und -grenzen von Minikreisverkehren. FE 77.491/2008 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, unveröffentlichter Schlussbericht im Entwurf, Aachen 2011
- BAIER, R., SCHUCKLIEß, W., DIEGMANN, V., PFÄFFLIN, F., GÄSSLER, G., WURSTHORN, H.: Einsparpotenziale des Radverkehrs im Stadtverkehr. FE 70.0819/2008 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, unveröffentlichter 2. Zwischenbericht, Aachen/Freiburg 2011
- BAIER, R., JACHTMANN, Y., KLEMPES-KOHNEN, A., MÜLLER, A., ROHN, J., SCHUCKLIEß, L.: Gesamtstädtisches Verkehrskonzept für Weiden in der Oberpfalz im Auftrag der Stadt Weiden in der Oberpfalz. Unveröffentlichter Bericht, Aachen 2011
- BAIER, R.: Radverkehrsförderung Besondere Gefahrenlage – Wo liegen die Risiken?, Präsentation Fahrradakademie Seminar: „StVO, VwV-StVO und ERA in der Praxis – Rechtssicherheit und Verkehrssicherheit bei der Radverkehrsförderung“. Nürnberg, Hannover, Mannheim, Leipzig, Bochum 2012
- BARK, A., KUTSCHERA, R., BAIER, R., KLEMPES-KOHNEN, A.: Handbuch der Verkehrssicherheit von Straßen – Entwurf eines Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS). FE 03.389/2005/FGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadt-

- entwicklung, unveröffentlichter Schlussbericht, Gießen/Aachen 2008
- BJØRNSKAU, T.: Risiko i trafikken 2005 2007. Transportøkonomisk institutt (TØI) rapport 986/2008, Oslo 2008
- BRÜDE, U., LARSSON, J.: Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How well do they fit? In: Accident Analysis and Prevention, 25 (1993), pp. 499 509
- CAIRNEY, P., OXLEY, J.: Managing the Safety of Young Pedestrians and Cyclists. Austroads No. 14, Sydney 2005
- DAHMEN-ZIMMER, K., ZIMMER, A.: Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen im Straßenverkehr. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 78, Bergisch Gladbach 1997
- DANIELS, S., BRIJS, T., NUYTS, E., WETS, G.: Injury crashes with bicyclists at roundabouts: influence of some location characteristics and the design of cycle facilities. In: Journal of Safety Research, 40 (2009), pp. 141-148
- DIW – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, INFAS – Institut für angewandte Sozialforschung 2004: Mobilität in Deutschland 2002 – Ergebnisbericht. Herausgegeben im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau und Wohnungswesen. Bonn/Berlin
- Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN), Ausgabe 2003. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003
- ERKE, H., GSTALTER, H.: Verkehrskonflikttechnik – Handbuch für die Durchführung und Auswertung von Erhebungen. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Nr. 52, herausgegeben im Auftrag des Bundesministers für Verkehr von der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach 1985
- ERKE, H., ZIMOLONG, B.: Verkehrskonflikte im Innerortsbereich – Eine Untersuchung zur Verkehrskonflikt-Technik. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Nr. 15, herausgegeben im Auftrag des Bundesministers für Verkehr von der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Köln 1978
- HAGEMEISTER, C., TEGEN-KLEBINGAT, A.: Fahrgewohnheiten älterer Radfahrerinnen und Radfahrer. Eine Schriftenreihe der Eugen-Otto-Butz-Stiftung, Köln 2011
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten, Ausgabe 2003. Köln 2003
- HERRSTEDT, L., NIELSEN, M. A., AGÚSTSSON, L., LEI, K. M., JØRGENSEN, N. O.: Cyklisters sikkerhed i byer. Trafiksikkerhed og miljø. Rapport 10, Vejdirektoratet, København 1994
- JACOBSEN, P. L.: Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. In: Injury Prevention, 9 (2003), pp. 205-209
- JENSEN, S. U.: Bicycle Tracks and Lanes: a Before-After Study. Trafitec: Kongens Lyngby, 2007
- KNOCHE, G.: Einfluß von Radwegen auf die Verkehrssicherheit, Band 2 – Radfahrerunfälle auf Stadtstraßen. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Nr. 62, Köln 1981
- MADEA, B., MUßHOFF, F., BERGHAUS, G.: Verkehrsmedizin – Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion. Köln 2007
- MAIER, R., AURICH, A., SCHÜLLER, H.: Sicherheitskonzept Dresden. Schlussbericht, Dresden 2010
- MAYER, G., HAASTERT, J.: Quantifizierung und Bewertung von Risiken in Straßentunneln. In: Perspektiven für das Straßenwesen, S. 695 713, Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Nr. 43, Aachen 2003
- Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Ausgabe 2008. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2008
- Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Entwurf 03/2008. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt), Ausgabe 2006. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2006

SCHLAG, B.: Risikoverhalten im Straßenverkehr. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden 55, Heft 3-4, S. 35-40, Dresden 2006

SISTENICH, C.: Quantitative Risikoanalysen für Straßentunnel. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 58, Bergisch Gladbach 2007

SWOV Factsheet: Fietsers. SWOV (Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid), Leidschendam 2009

TRUNK, G.: Gesamtwirtschaftlicher Vergleich von Pkw- und Radverkehr – Ein Beitrag zur Nachhaltigkeitsdiskussion. Diplomarbeit am Institut für Verkehrswesen, Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur der Universität für Bodenkultur Wien, 2010

TURNER, S., HUGHES, T., ALLATT, T., WOOD, G., LUO, Q.: Cycle safety – measuring the crash risk. In: Road & Transport Research, Vol. 19, Nr. 2 (2010), pp. 20-31

TURNER, S., ROOZENBURG, A. FRANCIS, A.: Predicting accident rates for pedestrians and cyclists. Research Report 289, Land Transport NZ, Wellington, 2006

VEISTEN, K., SÆLENSMINDE, K., HAGEN, K. E.: Syklistskader, risiko ved sykling og nyttekostnadsanalyseverktøyet for sykkeltiltak. Transportøkonomisk institutt (TØI) rapport 816/2005, Oslo 2005

WALTER, E., CAVEGN, M., ALLENBACH, R. SCARAMUZZA, G.: Fahrradverkehr – Unfallgeschehen, Risikofaktoren und Prävention. Sicherheitsdossier 02, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern 2005

ZIMOLONG, B.: Verkehrskonflikttechnik – Grundlagen und Anwendungsbeispiele. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Nr. 35, herausgegeben im Auftrag des Bundesministers für Verkehr von der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Köln 1982

ZULAUF, C., LOCHER, P., STEINAUER, B., MAYER, G., ZIMMERMANN, U., BALTZER, W., RIEPE, W., KÜNDIG, P.: Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 66, Bergisch Gladbach 2009

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM<sub>10</sub>-Emissionen von Straßen  
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung  
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit  
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen  
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen  
Roos, Zimmermann, Riffel, Cyra € 16,50
- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)  
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007  
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge  
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM<sub>x</sub>-Belastung an Straßen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, Becker, Richter, Schmidt € 29,00
- V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes  
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

## 2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw  
Schulze, Hübel € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24  
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen € 26,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik  
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn  
Hausmann € 14,50

- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen  
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50
- V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern  
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00
- V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen  
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00
- V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern  
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00
- V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit  
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00
- V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst  
Badelt, Moritz € 17,00
- V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes  
Kirschfink, Aretz € 16,50

## 2010

- V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb  
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00
- V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM<sub>10</sub>-Belastung an Straßen  
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50
- V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Lank, Steinauer, Busen € 29,50
- V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008  
Fitschen, Nordmann € 27,00  
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.
- V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme  
Gärtner, Egelhaaf € 14,00
- V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen  
Klöckner € 14,50
- V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement  
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50
- V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen  
Londong, Meyer € 29,50  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.
- V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung  
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen € 16,00
- V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008  
Lensing € 16,50
- V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006  
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50
- V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2006/2007  
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

**V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen**  
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz,  
Sommer, Wermuth € 18,00

**V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen**  
Vieten, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

## 2011

**V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM<sub>10</sub>-Belastung**  
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann,  
Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00

**V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit**  
Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

**V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM<sub>10</sub>-Belastung**  
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

**V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009**  
Fitschen, Nordmann € 27,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

**V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN**  
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

**V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen**  
Becker € 16,00

**V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten**  
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

**V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2008/2009**  
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

## 2012

**V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)**  
Maier, Berger € 18,50

**V 211: Innliegende Linkseinfädungstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete**  
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

**V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen**  
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

**V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB**  
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

**V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren**  
Schmellekamp, Tegethof  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 215: Stauprävention auf BAB im Winter**  
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

**V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)**  
Lippold, Weise, Jähig € 17,50

**V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen**  
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase,  
Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

**V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalösungen**  
Hausmann € 16,00

**V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter**  
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

## 2013

**V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie**  
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

**V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen**  
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

**V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS**  
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil,  
Rehberger € 19,50

**V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010**  
Fitschen, Nordmann € 16,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

**V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2**  
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

**V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst**  
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50

**V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen**  
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

**V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr**  
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann,  
Mahlau, Gässler € 17,00

**V 228: Sicherheitskenngößen für den Radverkehr**  
Baier, Göbbels, Klemps-Kohnen € 15,50

---

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7  
D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53  
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.