

# Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 257

**bast**

# **Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**

von

Dirk Ohm  
Frank Fiedler  
Frank Zimmermann  
Tobias Kraxenberger

IVAS Ingenieurbüro für Verkehrsanlagen und -systeme  
Dresden

Reinhold Maier  
Sebastian Hantschel  
Michael Otto

Technische Universität Dresden  
Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik  
mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 257**

**bast**

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

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

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

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

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

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

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt: FE 77.0496/2010**  
Führung des Radverkehrs im Mischverkehr  
auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen

**Fachbetreuung:**  
Benjamin Schreck

**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 978-3-95606-169-1

Bergisch Gladbach, Juni 2015

## Kurzfassung – Abstract

### **Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**

Für die Förderung des Radverkehrs in Städten ist ein attraktives und sicheres Radverkehrsnetz unabdingbar. Dabei gewinnt die Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf Hauptverkehrsstraßen sowie insbesondere Schutzstreifen als Form der Führung im Mischverkehr zunehmend an Bedeutung. Mit einem Schutzstreifen wird dem Radfahrer auf der Fahrbahn eine Fläche zur Verfügung gestellt werden, die von anderen Fahrzeugen nur bei Bedarf und ohne Gefährdung des Radverkehrs befahren werden darf.

Erstes Ziel des Forschungsvorhabens war es, das Gefährdungspotenzial für Radfahrer auf Hauptverkehrsstraßen im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen zu bestimmen. Das zweite Ziel war die Bewertung der Einflüsse von Radverkehr im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen auf die Leistungsfähigkeit und die Verkehrsqualität von Straßenabschnitten.

Im Rahmen der Bearbeitung wurde der Erkenntnisstand zur Radverkehrsführung im Mischverkehr recherchiert und aufbereitet. Dazu gehörte auch eine Kommunalrecherche zur aktuellen und zukünftig geplanten Anwendung von Schutzstreifen.

Für die Bestimmung des Gefährdungspotentials erfolgte eine Verkehrssicherheitsanalyse durch die Auswertung von Unfalldaten. Die Auswertungen erfolgten für definierte Querschnittstypen.

Gleichzeitig wurde das Verkehrsverhalten anhand von Videobeobachtungen auf Strecken mit und ohne Schutzstreifen analysiert. Dazu wurden u. a. Geschwindigkeiten von Kfz- und Radverkehr sowie Überholvorgänge und Abstände erfasst und ausgewertet. Die Videobeobachtungen erfolgten sowohl an zweistreifigen als auch an vierstreifigen Strecken.

Da nicht alle denkbaren Verkehrsmengenkonstellationen beobachtet werden konnten, wurde aufbauend auf den Erhebungsdaten eine mikroskopische Simulation durchgeführt, bei der die Verkehrsqualität mit Radeinfluss auch für gegenwärtig nicht beobachtbare Verkehrsstärken von Kfz- und Radverkehr bestimmt wurde.

Im Ergebnis werden das Unfallgeschehen und Einflussfaktoren auf das Unfallgeschehen für Radverkehrsführungen im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen bewertet. Für die verschiedenen untersuchten Querschnittstypen werden die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Verkehrsqualität benannt und teilweise quantifiziert. Für den Kfz-Verkehr wurden Qualitätsstufen für die Querschnittstypen und Verkehrsstärkenkombinationen Kfz-Rad entsprechend der HBS-Kategorisierung ermittelt.

### **Cycling in mixed traffic on the carriageway on urban main roads**

A precondition for the promotion of cycling in cities and urban areas is to provide an attractive and safe cycling network. In this regard the role of cycle lanes forming part of the carriageway itself or as marked paths is increasingly important. On Road cycling facilities are classified in cycle lanes ("Radfahrstreifen"), which are reserved for bicycles only, and protective lanes ("Radschutzstreifen"), which can be used by vehicles as well. A protective lane provides a space on the carriageway for bicycles, which vehicles are only allowed to use if needed and without posing a danger to cyclists.

The first goal of the project was to determine the potential danger for cyclists on main roads with and without protective lanes. The second goal was the evaluation of the influence of cycling on the capacity and level of service of road sections in dependency of protective lanes.

As part of the processing the state of knowledge regarding cycling in mixed traffic was researched and processed. This included a municipal research for current and future planned use of protective strips.

For the determination of hazard potential traffic safety analysis was performed by the analysis of accident data. Evaluations were made for defined section types.

At the same time, the transport behaviour was analyzed based on video observations on carriageways with and without protective strips. For

those were, amongst others speeds of vehicle and bicycle traffic as well as overtaking and spacings recorded and evaluated. The video observations were carried out both on two-lane and four-lane routes.

Since not all possible traffic volume constellations could be observed, a microscopic simulation was carried out based on the survey data. With the simulation traffic quality as a function of bicycle influence could be determined also for currently unobservable traffic volumes of vehicle and bicycle traffic.

As a result the accident occurrence and influence factors on accidents for cycling in mixed traffic with and without protective strips are evaluated. For the different studied section types, the main influencing factors are named on the traffic quality and partially quantified. For motor vehicle traffic quality levels for the cross-section types and traffic volume combinations (vehicles/bicycles) were determined according to the HBS - categorization.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangssituation, Ziele und Rahmenbedingungen</b> . . . . .	9	<b>3</b>	<b>Netzanalyse Verkehrssicherheit</b> . . . . .	27
1.1	Aufbau des Berichtes . . . . .	9	3.1	Datengrundlage . . . . .	27
1.2	Ausgangssituation . . . . .	9	3.1.1	Streckenkollektiv . . . . .	27
1.3	Ziele und Fragestellungen . . . . .	9	3.1.2	Unfallkollektiv . . . . .	30
1.4	Begriffsdefinitionen . . . . .	10	3.1.3	Vergleichbarkeit von Primärkollektiv und Ergänzungskollektiv in Berlin . . . . .	31
1.4.1	Innerörtliche Hauptverkehrsstraßen . . . . .	10	3.2	Unfallstruktur . . . . .	31
1.4.2	Mischverkehr, Schutzstreifen und Kernfahrbahn . . . . .	11	3.2.1	Einführung . . . . .	31
1.4.3	Fahrbahn- und Parkstandsweite sowie Überholabstand . . . . .	12	3.2.2	Unfalldichte . . . . .	33
1.5	Typisierungen . . . . .	12	3.2.3	Unfallkostendichte . . . . .	35
1.5.1	Querschnittstypisierung . . . . .	12	3.2.4	Einfluss der Kfz-Verkehrsstärke auf das Unfallgeschehen . . . . .	37
1.5.2	Typisierung der Überhol- und Begegnungssituationen . . . . .	13	3.2.5	Unfalltyp . . . . .	37
<b>2</b>	<b>Erkenntnisstand</b> . . . . .	13	3.2.6	Beteiligte . . . . .	39
2.1	Rechtliche und entwurfstechnische Randbedingungen . . . . .	13	3.3	Streckencharakteristik und Unfalldichte . . . . .	40
2.2	Verkehrsablauf des Mischverkehrs von Radfahrern und Kfz . . . . .	14	3.3.1	Einführung . . . . .	40
2.2.1	Kfz-Verkehrsqualität . . . . .	14	3.3.2	Dichte von Einmündungen und von Zufahrten . . . . .	40
2.2.2	Verkehrsqualität Radverkehr . . . . .	15	3.3.3	Ruhender Verkehr . . . . .	42
2.2.3	Einflüsse des Radverkehrs im Mischverkehr auf die Kfz-Verkehrsqualität . . . . .	16	3.3.4	Führungsform Straßenbahn . . . . .	43
2.2.4	Simulation von Mischverkehr . . . . .	17	3.3.5	Schwerverkehrsanteil . . . . .	45
2.3	Verkehrssicherheit von Radfahrern und Kfz im Mischverkehr . . . . .	18	3.4	Weitere Einflüsse . . . . .	46
2.4	Kommunalrecherche zum Radverkehr im Mischverkehr . . . . .	24	3.4.1	Umfeldnutzung . . . . .	46
2.4.1	Methodik und Inhalte . . . . .	24	3.4.2	Modal Split der Städte . . . . .	48
2.4.2	Ergebnisse . . . . .	24	3.5	Analyse der Unfalltexte . . . . .	48
2.4.3	Zusammenfassung . . . . .	26	3.6	Fazit . . . . .	50
			<b>4</b>	<b>Verkehrsbeobachtungen</b> . . . . .	52
			4.1	Fallbeispielauswahl für Messstrecken . . . . .	52
			4.2	Methodik der Erhebung . . . . .	53

4.3	Methodik der Auswertung . . . . .	54	<b>6</b>	<b>Ergebnisse der Videobeobachtung an vierstreifigen Querschnitten . . . . .</b>	<b>71</b>
4.4	Auswertungsansatz . . . . .	56			
4.5	Kennwertbezogene Vorüberlegungen zur Datenauswertung . . . . .	56	6.1	Vorbemerkung . . . . .	71
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Videobeobachtung an zweistreifigen Querschnitten . . . . .</b>	<b>57</b>	6.2	Verkehrsmengenkonstellationen. . . . .	71
5.1	Vorbemerkung . . . . .	57	6.3	Typen und Häufigkeiten von Überholvorgängen . . . . .	72
5.2	Verkehrsmengenkonstellationen . . . . .	58	6.4	Seitenraumnutzung. . . . .	72
5.3	Überholtypen und -häufigkeiten . . . . .	58	6.5	Überholabstände . . . . .	73
5.4	Einflussfaktoren auf das Überholverhalten der Kfz . . . . .	60	6.6	Geschwindigkeiten und Verkehrsqualität . . . . .	73
5.5	Ungestörte Kfz-Geschwindigkeiten . . . . .	62	6.7	Sonderauswertungen . . . . .	74
5.6	Geschwindigkeit Radverkehr . . . . .	62	6.7.1	Vorher-/Nachher-Vergleich . . . . .	74
5.7	Flächennutzung . . . . .	62	6.7.2	Vierstreifiger Querschnitt und zulässige Höchstgeschwindigkeit 30 km/h. . . . .	75
5.8	Überholabstände . . . . .	63	6.8	Fazit . . . . .	75
5.9	Fahrlinien und Abstände zum ruhenden Verkehr. . . . .	64	<b>7</b>	<b>Mikroskopische Simulation der Verkehrsqualität mit Radeinfluss . . . . .</b>	<b>75</b>
5.10	Kernfahrbahn . . . . .	65	7.1	Simulationsziel . . . . .	75
5.11	Geschwindigkeiten und Verkehrsqualität . . . . .	66	7.2	Rahmenbedingungen und inhaltliche Abgrenzung . . . . .	75
5.11.1	Maßgebende fahrzustandsabhängige Geschwindigkeiten . . . . .	66	7.2.1	Rahmenbedingungen . . . . .	75
5.11.2	Geschwindigkeitsbeeinflussende Größen des Kfz-Verkehrs . . . . .	66	7.2.2	Abgrenzung . . . . .	76
5.11.3	Einfluss des Radverkehrs auf die Kfz-Geschwindigkeit . . . . .	67	7.3	Berücksichtigung der Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation . . . . .	78
5.11.4	Radverkehrsqualität . . . . .	67	7.4	Funktionsweise und Umsetzung der Simulationsmodells . . . . .	78
5.12	Übersicht über Größen ohne nachweisbaren Einfluss . . . . .	67	7.4.1	Vorbemerkung . . . . .	78
5.13	Sonderauswertungen . . . . .	69	7.4.2	Aufbau des VISSIM-Modells. . . . .	78
5.13.1	Vorher-/Nachher-Vergleich . . . . .	69	7.4.3	Prinzipielle Funktionsweise des VBA-Tools . . . . .	79
5.13.2	Strecken mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h . . . . .	69	7.4.4	Parameter der Simulation. . . . .	80
5.13.3	Schmale Fahrbahn neben Haltestelle . . . . .	69	7.4.5	Kalibrierung und Validierung. . . . .	81
5.14	Fazit . . . . .	70	7.5	Simulationsergebnisse Verkehrsqualität für Radverkehr im Mischverkehr . . . . .	82

7.5.1	Vorbemerkung .....	82
7.5.2	Ergebnisse der Simulation für die verschiedenen Fahrbahnbreiten .....	83
7.5.3	Fazit .....	84
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	84
8.1	Alle Querschnitte .....	84
8.2	Zweistreifige Querschnitte .....	85
8.3	Vierstreifige Querschnitte .....	86
<b>9</b>	<b>Weiterer Forschungsbedarf</b> .....	86
<b>10</b>	<b>Literatur</b> .....	88
	Lesehilfe zum Ausklappen .....	93

## Anlagen

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

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

## Abkürzungen/Glossar

AB	Unfalltyp 2 – Abbiege-Unfall
B	Untersuchungsstadt Berlin
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BauGB	Baugesetzbuch
BI	Untersuchungsstadt Bielefeld
BK	Bahnkörper
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
C	Untersuchungsstadt Chemnitz
DD	Untersuchungsstadt Dresden
DO	Untersuchungsstadt Dortmund
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke, an Knotenpunkten die Summe der Ver- kehrsstärken aller Zufahrten [Kfz/d]
EH	Umfeldnutzung ausschließlich Geschäfts- besatz
EK	Unfalltyp 3 – Einbiegen-/Kreuzen-Unfall
EW	Einwohner
F	Unfalltyp 1 – Fahrrunfall
FoPS	Forschungsprogramm Stadtverkehr des BMVBS
FS	Fahstreifen
Fuß	Fußgänger (auch als Index)
G	Umfeldnutzung sonstige gewerbliche Nut- zung
HBS	Handbuch für die Bemessung von Stra- ßenverkehrsanlagen
LA	Ruhender Verkehr – Längsaufstellung
LB	Länge Bebauung differenziert nach Art der Nutzung zu beiden Seiten zur Ermittlung des Umfeldfaktors [m]
LS	Bezugslänge zur Ermittlung des Umfeld- faktors [m]
LV	Unfalltyp 6 – Unfall im Längsverkehr
Lz	Lastzug (auch als Index)

MA	Untersuchungsstadt Mannheim
ML	Straßenbahnführung in Mittellage
MV	Mischverkehr
MV	Radverkehrsführung im Mischverkehr ohne Schutzstreifen
OG	Untersuchungsstadt Offenburg
QS	Querschnitt
QS/QS-Typ	Querschnitt/Querschnittstyp
QSV	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufes
Rad	Radfahrer (auch als Index)
RV	Unfalltyp 5 – Unfall durch ruhenden Verkehr
SA	Ruhender Verkehr – Schrägaufstellung
SL	Straßenbahnführung in Seitenlage
SO	Unfalltyp 7 – Sonstiger Unfall
SrV	System repräsentativer Verkehrserhebungen
SSF	Radverkehrsführung im Mischverkehr mit Schutzstreifen
SSF	Schutzstreifen
Strab	Straßenbahn
SV	Schwerverkehr (auch als Index)
T €	in 1.000 Euro
U	Unfall
U(LP)	Unfall mit leichtem Personenschaden (Unfallkategorie 3), bei dem mindestens ein Verkehrsteilnehmer leicht verletzt, aber kein Verkehrsteilnehmer getötet oder schwer verletzt wurde
U(P)	Unfall mit Personenschaden (Unfallkategorien 1-3), bei dem unabhängig von der Höhe des Sachschadens mindestens eine Person verletzt wurde
U(SP)	Unfall mit schwerem Personenschaden (Unfallkategorien 1+2), bei dem mindestens ein Verkehrsteilnehmer getötet oder schwer verletzt wurde

# 1 Ausgangssituation, Ziele und Rahmenbedingungen

## 1.1 Aufbau des Berichtes

In diesem Projekt wurden zu Fragen der Radverkehrsführung im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen<sup>1</sup> Befragungen, Strukturanalysen, Erhebungen und Simulationen durchgeführt. Der Bericht enthält 5 thematisch abgegrenzte Teile in 9 Kapiteln:

- Teil 1: Ausgangssituation, Erkenntnisstand und Kommunalrecherche (Kapitel 1 und 2),
- Teil 2: Netzanalysen zur Verkehrssicherheit (Kapitel 3),
- Teil 3: Verkehrsbeobachtungen und deren Auswertung (Kapitel 4 bis 6),
- Teil 4: mikroskopische Simulation zur Verdichtung der Erkenntnisse aus den Verkehrsbeobachtungen (Kapitel 7),
- Teil 5: Zusammenfassung und weiterer Forschungsbedarf (Kapitel 8 und 9).

## 1.2 Ausgangssituation

Für die Förderung des Radverkehrs ist die Vorhaltung eines entsprechend attraktiven und sicheren Radverkehrsnetzes unabdingbar. Dabei gewinnen Schutzstreifen als Element der Radverkehrsführung in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Dies spiegelt sich auch in aktuellen rechtlichen Vorgaben und technischen Regelwerken wider (z. B. der Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen, RAST [FGSV06A] oder der aktuellen Empfehlungen für Radverkehrsanlagen, ERA [FGSV10]. Dabei wird diese Führungsform vor allem entlang von Hauptverkehrsstraßen empfohlen, in denen die Anlage anderer Radverkehrsführungsformen nicht angemessen ist.

Gemäß den Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen, RAST 06 [FGSV06A] sowie der ERA [FGSV10] eröffnen Schutzstreifen die Möglichkeit,

dem Radfahrer im „Seitenbereich“ der Fahrbahn eine Fläche zur Verfügung zu stellen, die von anderen Fahrzeugen nur bei Bedarf und ohne Gefährdung des Radverkehrs befahren werden darf.

Entsprechend der ERA [FGSV10] sollten Schutzstreifen nur dann zum Einsatz kommen, wenn die Einsatzbedingungen für eine Führung im Mischverkehr (Geschwindigkeit, Fahrbahnbreite, Verkehrsstärke) erfüllt sind und der Raum für die Anlage von Radfahrstreifen nicht ausreicht. Das Verkehrsaufkommen von Lkw und Bussen sollte dabei weniger als 1.000 Kfz/24h betragen.

Zur Bewertung der Verkehrsqualität von Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen wurde der Kommission 3 der FGSV ein erster Kapitel-Entwurf für die HBS-Fortschreibung, HBS201X [FGSV12B] vorgelegt, in dem aufbauend auf den Erkenntnissen von BAIER et al. [BAI03] und BAIER [BAI06B] ein Verfahren beschrieben wird, welches eine Qualitätsbewertung des Kfz-Verkehrs auf Basis der Verkehrsdichte unter Berücksichtigung der Verkehrsnachfrage, der Entwurfsituation und der angrenzenden Umfeldnutzung ermöglicht. Das Verfahren berücksichtigt die Besonderheiten von Schutzstreifen jedoch nicht.

Für die Bewertung der Verkehrsqualität des Radverkehrs wird ein Verfahren vorgeschlagen, welches als Maß für die Verkehrsqualität die Störungsrate durch Überholungen oder Begegnungen in Abhängigkeit der Breite der Radverkehrsanlage und punktuellen Einflüssen verwendet wird. Dieses Verfahren gilt für benutzungspflichtige Radwege und Radfahrstreifen und kann auch für Radwege ohne Benutzungspflicht angewandt werden. Es gilt nicht für Radverkehr auf der Fahrbahn im Mischverkehr oder mit Schutzstreifen.

## 1.3 Ziele und Fragestellungen

Entsprechend der Aufgabenstellung bestehen die zwei Hauptziele des Projekts in

- der Bestimmung des Gefährdungspotenzials für Radfahrer auf Hauptverkehrsstraßen im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen sowie
- der Bewertung der Einflüsse eines Schutzstreifens auf die Leistungsfähigkeit bzw. Verkehrsqualität von Straßenabschnitten.

<sup>1</sup> Die Bezeichnungen sind je nach Veröffentlichung vor allem aber im Ausland oft abweichend. Im Rahmen dieser Untersuchung wird einheitlich und nach aktuellen Festlegungen der Begriff „Schutzstreifen“ verwendet.

Diese beiden Ziele werden im Projekt vorrangig betrachtet. Folgende Fragen wurden dazu u. a. in der Untersuchung erörtert:

- Welche Sicherheitsauswertungen sind netzweit möglich und was kann verglichen werden?
- Wie kann man Überholen und Begegnen per Video messen und welche Messanordnung eignet sich dafür?
- Wie kann man bei zweistreifigen Querschnitten Gegenverkehr, Überholen und Ausweichen simulieren bzw. statistisch in Qualitätsbewertungen einbeziehen?
- Was sind die typischen „Mengenkonstellationen“ von Kfz- und Radverkehr bei zwei- und vierstreifigen Abschnitten, die in der Praxis häufig auftreten?
- Wird bei Fahrbahnführung mit oder ohne Schutzstreifen bei vergleichbaren Verkehrsmengen mehr oder weniger oft überholt?
- Welche Unterschiede bestehen bei Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen hinsichtlich des seitlichen Überholabstandes und der Behinderungen des Verkehrsablaufes?
- Welche kapazitätsbeeinflussenden Konstellationen gibt es beim Überholen und Begegnen unter Berücksichtigung des Gegenverkehrs?
- Kann man aus den Messungen heraus die Einflüsse des Kurzzeitparkens und des Schwerverkehrs auf die Verkehrsqualität darstellen und

dabei den Einfluss auf den Radverkehr extrahieren?

- Wie können sich die Hauptaspekte der Untersuchung – nämlich „Sicherheit“ und „Verkehrsqualität“ – hinsichtlich Ihrer jeweiligen Aussagen und Empfehlungen ergänzen?

## 1.4 Begriffsdefinitionen

### 1.4.1 Innerörtliche Hauptverkehrsstraßen

Die Untersuchung behandelt ausschließlich innerörtliche Hauptverkehrsstraßen. Diese Abgrenzung ist insbesondere für die Unfallstrukturanalyse und die Messstreckenauswahl im Projekt wichtig. Welche Abgrenzungen für den Begriff „Hauptverkehrsstraße“ gelten, wird im Folgenden erläutert.

Für die Netzanalyse Verkehrssicherheit (siehe Kapitel 3.1) werden die Definitionen von Hauptverkehrsstraßen von den jeweiligen Kommunen übernommen. Einerseits wird davon ausgegangen, dass die Verbindungsfunktionsstufen der Netzelemente nach den RIN [FGSV08] und ihren Vorgängerrichtlinien bei den städtischen Kategorisierungen berücksichtigt werden und bauliche sowie betriebliche Standards entsprechend dieser stadteigenen Definition gesetzt werden. Andererseits ist eine netzweite Überprüfung der Straßenkategorien im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht möglich.

Für die Messstreckenauswahl muss die Definition der Hauptverkehrsstraße weiter eingegrenzt wer-

Kategorien- gruppe		Autobahnen	Landstraßen	anbaufreie Hauptverkehrs- straßen	angebaute Hauptverkehrs- straßen	Erschließungs- straßen
		AS	LS	VS	HS	ES
kontinental	0	AS 0		-	-	-
großräumig	I	AS I	LS I		-	-
überregional	II	AS II	LS II	VS II		-
regional	III	-	LS III	VS III	<b>HS III</b>	
nahräumig	IV	-	LS IV	-	<b>HS IV</b>	ES IV
kleinräumig	V	-	LS V	-	-	ES V
AS I	vorkommend, Bezeichnung der Kategorie					
	problematisch aufgrund von Konflikten aus Funktionsüberlagerungen					
	nicht vorkommend oder nicht vertretbar					

Tab. 1: Verbindungsfunktionsstufe und Verkehrswegekategorie nach RIN [FGSV08]

den. Zwar sollen auch hierfür nur Straßen genutzt werden, die von den Kommunen als Hauptverkehrsstraße eingestuft werden. Sie sollten aber vor allem der Kategorie „HS“ der RIN ([FGSV08], Tabelle 5) als angebaute Hauptverkehrsstraßen der Verbindungsfunktionsstufe III und IV entsprechen, da sonst nur bedingt mit Radverkehr und Interaktionen zwischen Rad- und Kfz-Verkehr zu rechnen ist.

Aus messtechnischen Erwägungen heraus muss für die Hauptverkehrsstraßen zudem eine minimale Verkehrsmenge definiert werden, um an jedem Querschnitt eine Mindestmenge an Überhol- und Begegnungssituationen Rad-Kfz innerhalb der Messungen erfassen zu können. Als Minimum wird der Wert von 5.000 Kfz/24h angesetzt, da dies in etwa dem minimalen Einsatzbereich für Schutzstreifen nach ERA ([FGSV10], Bild 7) für zweistreifige Stadtstraßen entspricht.

Bei vierstreifigen Querschnitten sollte die minimale Verkehrsmenge ebenfalls in Anlehnung an die ERA ([FGSV10], Bild 8) und nach Diskussion im Betreuerkreis ca. 15.000-18.000 Kfz/24h betragen.

Für das Radverkehrsaufkommen an Hauptverkehrsstraßen liegen in der Praxis kaum Zahlen vor, so dass hier kein quantitatives Kriterium zur Hauptverkehrsstraßendefinition abgeleitet werden kann. Da das Vorhandensein von Radverkehr aber für das Projektziel eine Schlüsselrolle spielt, wurde die Auswahl auf Basis lokaler Erkenntnisse vor Ort und radverkehrstypischer Lagegunst (zentrale städtische Lage oder wichtige Verbindungsstrecke, Straßenraum angebaut) spezifiziert.

Weiterhin sollten Hauptverkehrsstraßen im Sinne dieser Definition im Untersuchungsbereich verkehrsrechtlich gegenüber dem übrigen Netz bevorrechtigt sein. Ein SV-Anteil von über 3 % wird angestrebt, da dieser Anteil über dem von reinem Anliegerschwerverkehr liegt.

An allen zu untersuchenden Hauptverkehrsstraßen sollen zudem keine Radwege oder Radfahrstreifen vorhanden sein, sodass Radverkehr im Mischverkehr bzw. auf Schutzstreifen geführt wird.

Zusammengefasst werden innerörtliche Hauptverkehrsstraßen in diesem Projekt wie folgt definiert:

- Die Straße muss in der jeweiligen Stadt in den dort vorliegenden Konzepten bzw. Netzen als „Hauptverkehrsstraße“ ausgewiesen sein (für Unfallstrukturanalyse ausreichendes Kriterium).

- Sie muss in städtischen, angebauten Bereichen liegen, damit ausreichend Radverkehr vorkommt.
- Sie muss den anderen Netzelementen verkehrsrechtlich übergeordnet sein.
- Sie sollte einen DTV von minimal 5.000 Kfz/24h bei mindestens 3%-SV-Anteil aufweisen.
- Radverkehr muss auf der Fahrbahn im Mischverkehr mit Kfz bzw. auf Schutzstreifen geführt werden (siehe folgende Definition).

#### 1.4.2 Mischverkehr, Schutzstreifen und Kernfahrbahn

Mischverkehr ist gegeben, wenn der Radverkehr gemeinsam mit dem Kfz-Verkehr die Fahrbahn nutzt und keine weitere Radverkehrsführungsform mit einer angeordneten Benutzungspflicht nach StVO vorliegt. Es werden zwei Führungsformen im Mischverkehr unterschieden. Ergänzend zur normalen Mitnutzung der Fahrbahn durch Radverkehr zählt auch die Führung mit Schutzstreifen zum Mischverkehr.

Da auch für den Radfahrer das Rechtsfahrgebot gilt, ergibt sich bei Vorhandensein eines Schutzstreifens die Benutzungspflicht.

In den technischen Regelwerken sind die Ausprägungsmerkmale von Schutzstreifen im Hinblick auf Markierung und Beschilderung klar definiert. Allerdings sind in der Praxis Abweichungen von den Vorgaben in Breiten, Farbe und Markierungen (z. B. Strich-Lücken-Verhältnis) häufig zu beobachten (siehe HUPFER [HUP00], BAIER et al. [BAI06A]). Für das vorliegende Forschungsvorhaben wird folgende Definition für den Schutzstreifen aufgestellt:

Ein Schutzstreifen liegt vor, wenn auf der Fahrbahn ein Bereich für den Radverkehr mit Leitlinie (Z 340 StVO) markiert und gleichzeitig keine Beschilderung mit Z 237, Z 240 oder Z<sup>o</sup>241 StVO vorhanden ist.

Demnach sind sowohl das konkrete Strich-Lücken-Verhältnis wie auch die Breite der Leitlinie für die Einstufung als Schutzstreifen unerheblich. Sobald für einen mit unterbrochener Linie markierten Teil der Fahrbahn das Verkehrszeichen Z 237 angeordnet ist, wird dieser als Radfahrstreifen eingestuft.

Der Bereich zwischen Schutzstreifen wird bei zweistreifigen Straßen als „Kernfahrbahn“ bezeichnet.

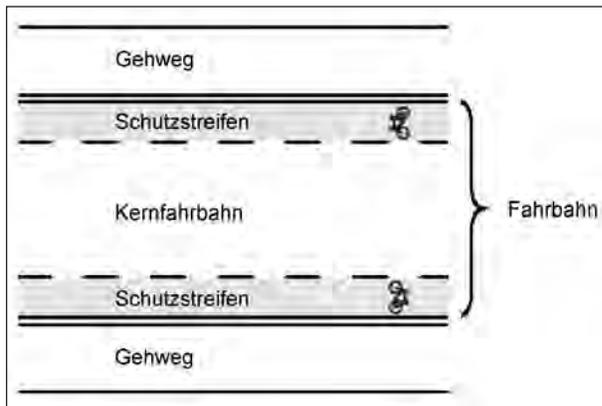


Bild 1: Schematische Darstellung der Kernfahrbahn

### 1.4.3 Fahrbahn- und Parkstandsbreite sowie Überholabstand

Als Fahrbahnbreite wird bei Fahrbahnen ohne Schutzstreifen der Abstand zwischen den Borden definiert.

Beim Vorhandensein von Schutzstreifen ist die Fahrbahnbreite die Breite zwischen der äußeren Schutzstreifenbegrenzung (z. B. bei einem Sicherheitsraum zum ruhenden Verkehr) oder den jeweils äußeren Borden (= Kernfahrbahn + Breite des Schutzstreifens).

Parallele Parkstände werden – wenn nicht baulich ausgebildet – nach Abstimmung in dem Betreuerkreis mit einem Breitenmaß von 2 m angesetzt.

Als Überholabstand wird in diesem Projekt der Abstand zwischen der äußeren Karosseriekante des Fahrzeugs (nicht Außenspiegel) und der Achse des Fahrrades bezeichnet. Dieser Abstand konnte messtechnisch erfasst und ausgewertet werden.

Er unterscheidet sich damit vom „lichten Abstand“ zwischen einem überholenden Kfz und einem Fahrrad. Um aus dem Überholabstand den „lichten Abstand“ zu berechnen, müssen die halbe Lenkerbreite und die Breite des Außenspiegels abgezogen werden. Im Mittel können dafür ca. 45 cm angesetzt werden. Da aber sowohl die Breite der Außenspiegel als auch die Lenkerbreiten deutlich variieren, wird bei den folgenden Auswertungen immer mit dem gemessenen Überholabstand gearbeitet.

## 1.5 Typisierungen

### 1.5.1 Querschnittstypisierung

Als Bewertungsgrundlage für die Sicherheitsbetrachtungen, für die Kommunalrecherche (siehe Kapitel 2.4) und als Grundlage für eine ausgewogene Auswahl von Messquerschnitten für die Videoanalysen (und deren Auswertung) wurde eine Typisierung von Querschnitten erarbeitet. Hauptunterscheidungsmerkmale dieser in Anlage 1 dargestellten Einteilung sind die Folgenden:

- Anzahl der Fahrstreifen (zwei- oder vierstreifige innerstädtische Hauptverkehrsstraßen),
- Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein von Schutzstreifen (einseitig bzw. zweiseitig),
- Klasseneinteilung von Fahrbahnbreiten, die ein tatsächliches Reagieren auf Radverkehr im Mischverkehr erfordern,
- Kfz-Verkehrsstärke.

Für die Typisierung ist es unerheblich, ob ein begleitender Gehweg für Radverkehr freigegeben ist oder nicht. Allerdings werden diese Einflüsse nach Möglichkeit mit erhoben (siehe Kapitel 4.2).

Aus den genannten Abgrenzungen wurden in Abstimmung mit dem Betreuerkreis 8 Typen zu betrachtender Querschnitte festgelegt, davon 6 zweistreifige (A1 bis A6) und 2 vierstreifige (B1 und B2).

Weitere Aspekte und grundlegende Unterscheidungskriterien wurden bei der Typeneinteilung selbst nicht eingebracht, da sonst die Anzahl der je Typ untersuchbaren Querschnitte zu gering wäre.

### Zweistreifige Querschnitte

- Typ A1: 5 Querschnitte ohne Schutzstreifen mit Breiten von 6,0 bis 7,0 m,
- Typ A2: 5 Querschnitte mit Schutzstreifen und einem DTV von maximal 12.000 Kfz/24h und Breiten von 7,0 bis 8,5 m,
- Typ A3: 5 Querschnitte mit Schutzstreifen und einem DTV von mindestens 12.000 Kfz/24h und Breiten von 7,0 bis 8,5 m,
- Typ A4: 5 Querschnitte ohne Schutzstreifen und einem DTV von maximal 12.000 Kfz/24h und Breiten von 7,0 bis 8,5 m,

- Typ A5: 6 Querschnitte ohne Schutzstreifen und einem DTV von mindestens 12.000 Kfz/24h und Breiten von 7,0 bis 8,5 m,
- Typ A6: 4 Querschnitte mit einseitigem Schutzstreifen und Breiten von 5,5 bis 7,0 m.

### Vierstreifige Querschnitte

- Typ B1: 6 Querschnitte mit Schutzstreifen und Breite der Richtungsfahrbahn zwischen 6,0 und 7,0 m,
- Typ B2: 4 Querschnitte ohne Schutzstreifen Breite der Richtungsfahrbahn zwischen 5,5 und 7,0 m.

### 1.5.2 Typisierung der Überhol- und Begegnungssituationen

Bei der Suche nach Möglichkeiten zur Beschreibung des Verkehrsablaufs beim Überholen von Radfahrern durch Kfz und den damit verbundenen Interaktionen der überholenden Kfz mit Fahrzeugen des Nachbarfahrstreifens (ob bei gleichgerichtetem oder entgegengerichtetem Verkehr) wurde im Forschungsprojekt Radverkehr im Mischverkehr (auf Basis der Erkenntnisse von ANGENENDT et al. [ANG93], FALKENBERG et al. [FAL03], REICHENBACH et al. [REI03], ALRUTZ et al. [ALR09]) ermittelt, dass das Fahrverhalten bei Begegnungs- und Überholssituationen wesentlich von folgenden Größen abhängt:

- Breite der zur Verfügung stehende Fahrbahn,
- tatsächlich eingehaltener Sicherheitsabstand,
- Vorhandensein von Gegenverkehr bei zweistreifigen Straßen.

Es wurde ein Schema „Überholen und Begegnen“ festgelegt, in welchem alle sinnvoll möglichen Situationen abgebildet sind (siehe Anlage 2). Anhand der Videoaufzeichnungen wurde ausgewertet, bei welchen verkehrlichen und infrastrukturellen Gegebenheiten welche Situationen in welchen Häufigkeiten tatsächlich auftreten.

Die Überhol- und Begegnungssituationen betreffen immer Kfz und Radfahrer (Typen 1 bis 18). Zusätzlich zu den 18 dargestellten Überholtypen wurde ein Typ 20 eingeführt, welcher das Überholen von Radfahrern untereinander beschreibt.

Generell wurden die Typen unterteilt in angenommene „ü“ (= überholt) und „a“ (= abgelehnte) Über-

holungen. Dabei gibt es aufgrund der veränderten Überholzustände Unterschiede in den Überholtypen von zweistreifigen und vierstreifigen Straßen, welche durch die Systematik veranschaulicht werden. Hervorzuheben ist, dass bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen das Überholen unter Nutzung der Fahrstreifen der Gegenrichtung nicht gestattet ist ([STVO09], § 7 Abs 3b).

## 2 Erkenntnisstand

### 2.1 Rechtliche und entwurfs-technische Randbedingungen

Schutzstreifen sind mit Z 340 in einem Strich-Lücken-Verhältnis von 1:1 und in regelmäßigen Abständen mit dem Sinnbild „Fahrräder“ zu markieren. Schutzstreifen können innerorts auf Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 50 km/h angewendet werden, wenn die Verkehrszusammensetzung eine Mitbenutzung des Schutzstreifens durch den Kfz-Verkehr nur in seltenen Fällen erfordert. Die verbleibende Restfahrbahn muss so breit sein, dass sich zwei Pkw gefahrlos begegnen können. Ab einer Restfahrbahnbreite von 5,50 m kann Zeichen 340 StVO in Fahrbahnmitteln markiert werden.

Im Zusammenhang mit dem Zeichen 340 StVO (Leitlinie) wird festgelegt, dass Fahrzeugführer durch Zeichen 340 StVO markierte Schutzstreifen für den Radverkehr bei Bedarf überfahren dürfen, jedoch ohne die Radfahrer zu gefährden. Darüber hinaus darf auf Schutzstreifen nicht geparkt werden, während das Halten zugelassen ist. Letzteres wurde mit der StVO-Novelle von 2009 ermöglicht, vorher war ruhender Verkehr grundsätzlich durch Zeichen 283 StVO (absolutes Haltverbot) auszuschließen.

Für weitere Bestimmungen zur Gestaltung von Radverkehrsanlagen wird auf die technischen Regelwerke (u. a. RAST 06 [FGSV06A] und ERA [FGSV10]) verwiesen. Dazu gehört auch das grundsätzliche Verfahren zur Vorauswahl einer geeigneten Führungsform. Es basiert auf der Definition von vier Belastungsbereichen (I bis IV) in Abhängigkeit von prognostizierter Belastung in der werktäglichen Spitzenstunde sowie zulässiger Höchstgeschwindigkeit, wobei nach zwei- und vierstreifigen Straßen differenziert wird. Für jeden der insgesamt vier Belastungsbereiche werden dort

mögliche Führungsformen des Radverkehrs inklusive Randbedingungen für Verschiebungen in angrenzende Belastungsbereiche beschrieben.

Der Mischverkehr ohne Führungshilfe auf der Fahrbahn ist nach den ERA [FGSV10] die Standardanwendung im Belastungsbereich I. Im Belastungsbereich II kann diese Führungsform in Kombination mit der freiwilligen Nutzung des Seitenraumes durch die Radfahrer (Gehweg mit dem Zusatz „Radfahrer frei“) eingesetzt werden, während sie in den höheren Belastungsbereichen III und IV nicht vorgesehen ist. Dabei werden zweistreifige Querschnitte mit einer Fahrbahnbreite unter 6 m bis zu einer Verkehrsstärke von 700 Kfz/h als verträglich angesehen, da im Begegnungsfall Kfz-Kfz keine Überholung des Radverkehrs möglich ist. Der Fahrbahnbreitenbereich zwischen 6 und 7 m wird demnach ab einer Kfz-Belastung von 400 Kfz/h als kritisch eingestuft. Oberhalb von 7 m Fahrbahnbreite ist die Führung im Mischverkehr ohne Schutzstreifen innerhalb des Belastungsbereiches uneingeschränkt verträglich, da auch im Begegnungsfall Kfz-Kfz der Radverkehr gefahrlos überholt werden kann. Der Einsatz auf vierstreifigen Querschnitten wird bis zu einer Verkehrsstärke von 2.200 Kfz/h als verträglich bezeichnet.

Schutzstreifen können laut den ERA [FGSV10] im Belastungsbereich II eingesetzt werden – auch in Kombination mit nicht benutzungspflichtigen Radwegen im Seitenraum. Innerhalb des Belastungsbereiches III sollen Schutzstreifen nur unter der Voraussetzung eines geringen SV-Anteiles und einer übersichtlichen Linienführung zur Anwendung kommen. Es wird darauf verwiesen, dass bei Schutzstreifen allgemein geprüft werden soll, ob die Präsenz unterschiedlicher Nutzergruppen eine Kombination mit einem Gehweg mit Zusatz „Radfahrer frei“ bzw. einem nicht benutzungspflichtigen Radweg sinnvoll macht. Ab einem Schwerverkehrsaufkommen von 1.000 SV-Fahrzeugen je Tag sollten Schutzstreifen vermieden werden.

Die Regelbreite von Schutzstreifen beträgt 1,50 m, während die Mindestbreite mit 1,25 m angegeben wird. Die Kernfahrbahn muss mindestens 4,50 m, bei hohen Kfz-Verkehrsstärken 5,00 m breit sein. Bei Mittelinseln oder -streifen muss die Kernfahrbahn mindestens 2,25 m breit sein, andernfalls endet der Schutzstreifen 20 m vor der Mittelinsel. Zu angrenzenden Parkstreifen soll bei hoher Parkwechselfrequenz ein baulich oder durch Markierung hergestellter Sicherheitstrennstreifen erkenn-

bar sein, wobei im Fall von wenigen Parkvorgängen eine Breite von 1,50 m für den Schutzstreifen inklusive Sicherheitsraum als ausreichend erachtet wird.

Ab einer Breite von 6,50 m der Richtungsfahrbahnen können Schutzstreifen auch bei vierstreifigen Straßen eingerichtet werden. Bei geringem SV-Anteil ist auch eine Kombination aus 1,50 m Schutzstreifen und zwei Kfz-Fahrstreifen von 2,75 m und 2,25 m Breite vertretbar. Ansonsten kommt eine Aufteilung in jeweils einen 5,00 m überbreiten Fahrstreifen mit 5,00 m und einen 1,50 m breiten Schutzstreifen infrage.

## 2.2 Verkehrsablauf des Mischverkehrs von Radfahrern und Kfz

### 2.2.1 Kfz-Verkehrsqualität

Aufbauend auf Untersuchungen durch BAIER et al. [BAI03] und BAIER [BAI06B] konnte im HBS Entwurf 201X [FGSV12B] ein Bewertungsverfahren für innerstädtische Hauptverkehrsstraßen abgeleitet werden. Unter Einfluss von Effekten der Erschließungsfunktion sowie verkehrlicher und betrieblicher Randbedingungen lässt sich die Verkehrsqualität des Kfz-Verkehrs als fahrestreifenbezogenen Verkehrsdichte beschreiben. Die Gültigkeit des Verfahrens beschränkt sich jedoch auf Hauptverkehrsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h die in der betrachteten Richtung ausschließlich vom Kfz-Verkehr genutzt oder nur geringfügig vom Radverkehr mitbenutzt werden (wobei „geringfügig“ nicht näher definiert wird).

Folgende Einflussgrößen werden in dem Verfahren berücksichtigt:

- Art des Fahrbahnquerschnitts (1 normalbreiter Fahrstreifen, 1 überbreiter Fahrstreifen oder 2 Fahrstreifen je Fahrtrichtung),
- Intensität der Störung aus Erschließungsvorgängen (Einparkvorgänge, Halte-/Liefervorgänge, Bushalte),
- Fahrtgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke.

Unter dem Zusammenwirken dieser Einflussgrößen lässt sich anhand der nachfolgenden Formel die fahrestreifenbezogene Verkehrsdichte als Maß der Verkehrsqualität ermitteln und in die Qualitätsstufen A-F einteilen.

$$k_{FS} = \frac{q}{v_F} \cdot f_s k_{FS} = \frac{q}{v_F} \cdot f_s$$

Gl. 1 **2.2.2 Verkehrsqualität Radverkehr**

mit

$k_{FS}$  = fahstreifenbezogene Verkehrsdichte  
[Kfz/km]

$q$  = Verkehrsstärke [Kfz/h]

$v_F$  = mittlere Fahrgeschwindigkeit [km/h]

$f_s$  = Faktor zur Berücksichtigung der Fahstreifenbelegung [-]

Hinsichtlich des Ziels dieser Arbeit ist es weiterhin erforderlich, den Radverkehr als Einflussgröße des Verkehrsablaufs zu erfassen und in geeigneter Form in die Qualitätsbetrachtung zu integrieren. Insgesamt wird in Abhängigkeit verschiedener Faktoren eine geschwindigkeitsreduzierende Wirkung auf den Kfz-Verkehr erwartet, welche im aktuellen HBS-Entwurf HBS 201X [FGSV12B] noch keine Berücksichtigung findet.

Neben den erwähnten Einflüssen der Verkehrsstärken auf die mittlere Geschwindigkeit nennt SCHÜLLER [SCÜ10] in seiner Arbeit zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen weiterführende geschwindigkeitsbeeinflussende Größen. Die gefahrene Geschwindigkeit steigt demnach tendenziell, wenn die Straße folgende Eigenschaften aufweist (nach Einflusstärke absteigend aufgelistet):

- eine geringe Umfeldnutzung,
- vergleichsweise breite Fahrbahn (mehrere Fahstreifen pro Richtung bzw. überbreiter Fahstreifen),
- hohe Verkehrsbedeutung (Verkehrsstärke steigt im Allgemeinen mit der Verkehrsbedeutung),
- qualitativ gute Fahrbahnoberfläche.

QSV	fahstreifenbezogene Verkehrsdichte $k_{FS}$ [Kfz/km]
A	$\leq 7$
B	$\leq 14$
C	$\leq 23$
D	$\leq 34$
E	$\leq 45$
F	$> 45$

Tab. 2: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) in Abhängigkeit der Verkehrsdichte [FGSV12B]

Das HBS 201X [FGSV12B] enthält ein Maß zur Beschreibung der Verkehrsqualität des Radverkehrs. Entscheidender Unterschied zum Kfz-Verkehr ist, dass im Radverkehr Einflussfaktoren wie Motivation und Kondition der einzelnen Radfahrer sowie die Ausstattung der Fahrräder einen Einfluss auf die Geschwindigkeit haben. Eine Qualitätsbeschreibung des Verkehrsablaufs allein unter Einbeziehung der Geschwindigkeit der Radfahrer führt folglich zu keinem aussagekräftigen Ergebnis.

Basierend auf dieser Überlegung wird die Qualität des Verkehrsablaufes anhand der Störungsrate durch Überholungen und Begegnungen definiert, welche hauptsächlich von der Breite der Radverkehrsanlage und punktuellen Einflüssen abhängt. Somit wird die Qualität primär durch die Einschränkung der Bewegungsfreiheit eines einzelnen Radfahrers bestimmt.

In der vorliegenden Untersuchung wird der Verkehrsablauf im Mischverkehr betrachtet. Im HBS 201X [FGSV12B] wird für die Radverkehrsführung im Mischverkehr von einer ausreichenden Möglichkeit für Überholung ausgegangen. Folglich ist dieses Verfahren für die Qualitätsbewertung des Radverkehrs bei Führung im Mischverkehr nicht anzuwenden.

Im Jahre 1998 veröffentlichte die Federal Highway Administration der Vereinigten Staaten ein Konzept zur Beschreibung der Kompatibilität des Radverkehrs mit der Führung auf der Fahrbahn [USA98]. Im Bicycle Compatibility Index (BCI) fanden folgende Eingangsgrößen Berücksichtigung:

- Verfügbarkeit eines Radfahrstreifens oder eines befestigten Randstreifens,
- Breite des Radfahrstreifens,
- Fahrbahnbreite,
- Kfz-Verkehrsbelastung aller Fahstreifen in Bezugsrichtung,
- $V_{85}$  des Kfz-Verkehrs,
- Anordnung von Parkständen,
- Umfeldnutzung,
- Schwerverkehrsanteile,
- Faktoren zur Berücksichtigung von Parkwechsel- und Abbiegevorgängen.

Mit Hinblick auf die Steigerung der Attraktivität des Radverkehrs stand bei diesem Ansatz jedoch nicht die Leistungsfähigkeit der Anlage (aus Sicht des Radverkehrs selbst) im Vordergrund, sondern eine Kombination aus Sicherheits- und Komfortempfinden.

Im aktuellen Highway Capacity Manual [TRB10] werden folgende Eingangsgrößen bei der Qualitätsbeschreibung (BLOS) des Radverkehrs berücksichtigt: Fahrstreifenanzahl, Fahrzeuggeschwindigkeit, Spitzenstundenverkehrsstärke, angeordnete Parkstände, anliegender Randstein, Anzahl Zufahrten im Abschnitt, Fahrbahnbeschaffenheit, Fahrbahnbreite, Radfahrstreifenbreite, Schwerverkehrsanteil und Breite der Richtungsfahrbahn.

Anhand dieser Einordnung in die Qualitätsstufen von A bis F lässt sich die generelle Radverkehrstauglichkeit von Straßenabschnitten bei der Führung des Radverkehrs abschätzen, jedoch keine direkte Leistungsfähigkeit ermitteln.

### 2.2.3 Einflüsse des Radverkehrs im Mischverkehr auf die Kfz-Verkehrsqualität

Untersuchungen der Vergangenheit zur Thematik Radverkehr im Mischverkehr hatten fast ausschließlich die Verbesserung der Verkehrssicherheit im Fokus. Dazu wurde das Potenzial zur Erhöhung der Sicherheit durch die Anlage von Schutzstreifen untersucht und betreffende Einsatzgrenzen abgeschätzt. Genauere Untersuchungen des Verkehrsablaufs und der daraus resultierenden Ergebnisse bezüglich der Verkehrsqualität der Verkehrsteilnehmer wurden nicht durchgeführt. Im Prozess der Sicherheitsuntersuchung wurden oftmals Geschwindigkeiten erhoben, aus denen sich in Verbindung mit Verkehrsmengenangaben auch Qualitätsaussagen für den Kfz-Verkehr ableiten lassen.

Im Schweizer Forschungsprojekt zum Thema der „Optimierten Führung des Veloverkehrs an engen Straßenquerschnitten“ der SVI [SVI99] konnten folgende Aussagen abgeleitet werden:

- Es gibt keinen direkten Zusammenhang von Querschnittsbreite und Kfz-Geschwindigkeit.
- Es besteht eine hohe Abhängigkeit der Kfz-Geschwindigkeit von der Randbebauung.
- Die Anlage von Schutzstreifen führt zu einer Verringerung der Kfz-Geschwindigkeiten von 3-4 km/h (Vorher-/Nachher-Vergleich).

Weiterhin wurde festgestellt, dass der Großteil der Radfahrer Schutzstreifen ab einer Mindestbreite von 1,25 m akzeptierte und somit der Anteil der auf der Fahrbahn fahrenden Radfahrer stieg (bei abnehmender Nutzung des Seitenraumes).

Insgesamt wurde die Leistungsfähigkeit bei Fahrbahnbreiten zwischen 7,45 und 8,30 m als sehr gut bewertet.

Bezüglich des Geschwindigkeitsverhaltens von Kfz mit und ohne Schutzstreifen führte ein weiteres Forschungsprojekt der SVI [SVI99] [SVI12] zu folgenden Ergebnissen:

- Die gefahrene Geschwindigkeit bleibt nach der Einführung der Schutzstreifen gleich oder reduziert sich nur minimal, ein signifikanter Einfluss lässt sich hieraus nicht ableiten.
- Durch die Einführung der Schutzstreifen kann keine einheitliche Änderung der Überholgeschwindigkeit wahrgenommen werden.

Neben den Betrachtungen des Verkehrsablaufs und der Radverkehrsführung im Mischverkehr auf zweistreifigen Straßen beschäftigte sich SCHELL [SCE07] mit den Möglichkeiten der Führung des Radverkehrs auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen. Diesbezüglich kam er zu dem Ergebnis, dass bei Verkehrsstärken bis zu etwa 10.000 Kfz/24h und Schwerverkehrsanteilen von maximal 10 % eine Kombination aus überbreitem Fahrstreifen und Schutzstreifen (gegebenenfalls bei vielen Parkvorgängen gepaart mit einem Sicherheitsstreifen von 0,5 m) eine zweckmäßige Möglichkeit der Harmonisierung des Verkehrsablaufs sei.

Durch die Einrichtung des überbreiten Fahrstreifens war es Kraftfahrzeugführern möglich, mit eingeschränktem Bewegungsspielraum nebeneinander zu fahren und dabei einen Radfahrer zu überholen. Hierbei konnten unnötige Verzögerungs- und Beschleunigungsvorgänge vermieden, die Geschwindigkeit der einzelnen „Fahrstreifen“ angenähert und der Gesamtablauf (für den Kfz- und den Radverkehr) verbessert werden. Bei Radverkehrsstärken von maximal 60 Rad/h konnten keine kapazitätsmindernden Einflüsse verzeichnet werden.

Weiterführende Literaturrecherchen zur Verkehrsqualität auf Hauptverkehrsstraßen innerhalb geschlossener Ortschaften außerhalb des mitteleuropäischen Raums erbrachten keine verwertbaren Erkenntnisse. Diese Art der Verkehrsorganisation und -führung, wie sie in Deutschland innerorts üb-

lich ist, konnte bei den Recherchen in anderen Ländern in dieser Ausprägung nicht vorgefunden werden. Radverkehr wird zwar auch dort im Mischverkehr geführt, es ergeben sich jedoch oftmals deutlich abweichende Rahmenbedingungen. Im Folgenden soll dies anhand ausgewählter Beispiele aus den Vereinigten Staaten und Indien verdeutlicht werden.

In den Vereinigten Staaten gibt es einige Untersuchungen, die sich mit dem Verkehrsablauf von Radverkehr im Mischverkehr beschäftigen. In Hinblick auf die Verkehrssicherheit wird dabei die Möglichkeit der Führung im Mischverkehr auf „Wide Curb Lanes“, überbreiten Fahrstreifen ab 4 m, und „Bicycle Lanes“ am Fahrbahnrand thematisiert (HARKEY/STEWART [HAR97]/HUNTER, FEAGANES [HUN04]). In allen Fällen handelt es sich dabei jedoch um Fahrbahnen mit mindestens 2 Fahrstreifen je Richtung, wodurch sich die Thematik des Überholens mit Gegenverkehr nicht ergibt.

Zweistreifige Fahrbahnen mit jeweils einem Fahrstreifen je Richtung werden vorzugsweise im untergeordneten Straßennetz mit geringen Verkehrsstärken angeordnet. Dort besitzen Qualitätsuntersuchungen keine Relevanz. Aber auch für mehrstreifige Straßen wurden keine Qualitätsuntersuchungen durchgeführt, da die betreffenden Fahrstreifen im Regelfall so ausgelegt sind, dass Radfahrer immer überholt werden können.

Andere Probleme ergeben sich beispielsweise in Indien. Im Gegensatz zu Deutschland herrscht in Indien eine deutlich stärkere Verkehrsdurchmischung aller Verkehrsarten. Eine starke Fahrstreifenorientierung, wie in Deutschland üblich, findet sich besonders auf hoch belasteten Innerortsstraßen nicht. CHATTARAJ [CHA12] untersuchte 2012 die Interaktion der verschiedenen Verkehrsteilnehmer, um den recht komplexen Verkehrsablauf zu verstehen und Methoden zur Beschreibung zu entwickeln.

#### 2.2.4 Simulation von Mischverkehr

Neben der reinen Erfassung und Auswertung von Daten besteht das Ziel, die gewonnenen Zusammenhänge in einem Simulationsmodell abzubilden und so Erkenntnisse auf weitere potenzielle Einsatzbereiche von Schutzstreifen auszuweiten. Hierfür wurde nach einem mikroskopischen Simulationsansatz gesucht, mit dessen Hilfe der Mischverkehr von Kraftfahrzeugen und Radfahrern abgebil-

det und ausgewertet werden kann. Innerörtliche Hauptverkehrsstraßen existieren typischerweise als zweistreifige und vierstreifige Straßenquerschnitte (von Richtungsfahrbahnen mit mehr als zwei Fahrstreifen wird abgesehen, da sich diese in Kombination mit Radverkehr im Mischverkehr im Allgemeinen aufgrund der hohen Kfz-Belastungen nicht vereinbaren lassen).

Mit der mikroskopischen Simulationssoftware VISSIM der PTV AG besteht die Möglichkeit den Richtungsverkehr zu simulieren. Dabei können Fahrzeuge und deren Interaktionen in Längs- sowie in Querrichtung implementiert und Überholvorgänge auf mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen dargestellt werden. Hierbei können sowohl Kfz in ihrer Zusammensetzung, als auch Radfahrer eingespeist werden und sich dynamisch nach fahrzeugspezifischem Geschwindigkeitsprofil bewegen und überholen. Alle Fahrzeugbewegungen funktionieren dabei auf Basis einer Fahrstreifenbindung. Es besteht die Möglichkeit auf einem Fahrstreifen zu fahren, wenn dieser nicht benutzt wird. Andernfalls muss die Geschwindigkeit an die des vorausfahrenden Verkehrsteilnehmers angepasst oder der Fahrstreifen gegebenenfalls verlassen werden, um auf dem Nachbarfahrstreifen zu überholen. Da die Akzeptanz dieser Fahrstreifenordnungen in einigen Ländern wie Indien nicht mit der in Deutschland oder USA zu vergleichen ist, bestand Forschungsbedarf in der Auswertung und Simulation nicht-fahrstreifengebundener Verkehre. Da die zur Untersuchung stehenden Verkehrssituationen im außereuropäischen Ausland nur von untergeordneter Rolle sind, gibt es auch dort keine Simulationstools, welche die geforderte Aufgabe ohne Anpassung erledigen konnten. Ein solcher Ansatz, ausgelegt auf das nicht-fahrstreifengebundene Fahren in einer Fahrtrichtung wurde 2011 von VORTISCH [VOR11] geliefert. Die fehlende Fahrstreifenbindung tritt oftmals mit einer starken Durchmischung verschiedenster Fahrzeugtypen auf. Durch den Wegfall der Fahrstreifenbindung kann die Fahrbahn frei durch die Verkehrsteilnehmer genutzt werden. Neben den durch das Fahrzeugfolgeverhalten (wie dem in VISSIM verwendete psycho-physischen Modell von Wiedemann) definierten Sicherheitsabständen in Längsrichtung, müssen ebenfalls Sicherheitsabstände quer zur Fahrtrichtung definiert werden. Diese wurden in abhängig vom Fahrzeugtyp und der gefahrenen Geschwindigkeit festgelegt.

Den Fahrzeugen ist es nun möglich sich frei in ihrer Richtungsfahrbahn zu orientieren und unabhängig

vom Fahrstreifen aufzustellen und zu bewegen. Die Fahrzeugposition jedes einzelnen Fahrzeugs wird abhängig von Sicherheitsabständen in Quer- und Längsrichtung so bestimmt, dass einem Fahrzeug die längste kollisionsfreie Fahrt ermöglicht wird. Die Fahrzeuge bewegen sich auf den für sie optimalen Fahrlinien, wodurch besonders in der Nähe von Knotenpunkten oder bei dichtem Verkehr die Lücken effektiv gefüllt werden.

Neben Bewegungen auf einer Richtungsfahrbahn und den damit verbundenen Verkehrsbeziehungen, gibt es außerdem zweistreifige Querschnitte, bei denen es im Falle von Überholungen zu Interaktionen mit dem Gegenverkehr kommt. Eine Möglichkeit der Darstellung des Überholverhaltens mit Berücksichtigung des Gegenverkehrs ist im Ansatz von VORTISCH [VOR11] jedoch nicht enthalten.

Neben dem Überholen von Radfahrern durch Kfz, spielt das Überholen mit Gegenverkehr im Allgemeinen auch auf Landstraßen eine Rolle. In das Simulationstool S-Paramics<sup>2</sup> von Quadstone konnte in den letzten Jahren ein Überholmodell eingebunden werden, mit dessen Hilfe das Überholverhalten auf Landstraßen abgebildet werden konnte. Ein Fahrzeug bestimmt anhand seiner Zielgeschwindigkeit und der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs den Wunsch zum Überholen. Wenn dieser gegeben ist, wird, unter Berücksichtigung einer verfügbaren Lücke vor dem zu überholenden Fahrzeug und einer erforderlichen Lücke im Gegenverkehr, der Überholvorgang eingeleitet. Mithilfe dieses Simulationsansatzes wurde ein bestehender zweistreifiger Landstraßenabschnitt in ein Modell übertragen und mit dem Verkehrsablauf einer mit Überholfahrstreifen ergänzten Strecke verglichen.

Mangels Software- und Serviceverfügbarkeit konnte dieses Programm jedoch nicht weiter untersucht werden. Stattdessen wurde auf der Basis dieses Ansatzes mit dem für Deutschland gebräuchlicheren Tool VISSIM eine Möglichkeit der Problemlösung entwickelt.

Unter Zuhilfenahme einer Programmierschnittstelle (COM-Schnittstelle) konnte letztendlich ein externes Skript entwickelt werden, mit dessen Hilfe in den Simulationsprozess von VISSIM eingegriffen und Überholentscheidungen vom Gegenverkehr abhängig gemacht werden konnten. Das durch

die PTV AG bereitgestellte vereinfachte Beispiel konnte angepasst und für die Simulation genutzt werden.

Im Falle der zu simulierenden zweistreifigen Straßenquerschnitte hat jedes Kfz anfänglich die Option, den vorausfahrenden Radfahrer zu überholen. Um den realen Verkehrsablauf abbilden zu können, musste diese Möglichkeit eingeschränkt werden, weshalb mittels des Tools diese Überholmöglichkeit unter zwei Bedingungen verboten wurde:

- Es befindet sich innerhalb eines vorgegebenen Mindestabstandes ein Kfz in Gegenrichtung, was ein Überholen unterbindet (das konkrete Überholverhalten der Verkehrsteilnehmer wird im Verlaufe dieser Arbeit untersucht).
- Es befindet sich in vorgegebenem Abstand vor dem betrachteten Kfz ein weiteres Kfz (hierdurch wird verhindert, dass sich Kraftfahrzeuge gegenseitig überholen).

Während der laufenden Simulation kann so ständig geprüft werden, ob das Überholen für jedes einzelne Fahrzeug erlaubt oder verboten ist. Anhand der Mindestabstände und Verhaltensparameter lassen sich unter Einbeziehung der Verkehrsmengen der Bezugs- und Gegenrichtung die konkreten Radverkehrseinflüsse der einzelnen erhobenen Strecken reproduzieren und Prognosen für andere Verkehrssituationen ermitteln. Weitere Informationen insbesondere zur Anwendung enthält Kapitel 7.

## 2.3 Verkehrssicherheit von Radfahrern und Kfz im Mischverkehr

Untersuchungen zu verschiedenen Führungsformen des Radverkehrs befassten sich unter anderem auch mit auf der Fahrbahn geführten Radfahrerströmen (ANGENENDT et al. [ANG93] und ALRUTZ et al. [ALR09]). Demnach unterscheidet sich die Unfallschwere zwischen einer separaten Führung der Radfahrer und der im Mischverkehr nicht. Gleichzeitig treten bei im Mischverkehr bzw. auf Schutzstreifen geführtem Radverkehr weniger Unfälle an Knotenpunkten, aber mehr auf der freien Strecke auf [ANG93]. Die Ergebnisse dieser Untersuchung wurden auch 15 Jahre später bestätigt [ALR09]. Straßen mit Schutzstreifen weisen dabei im Vergleich zu anderen Radverkehrsführungen (insbesondere Radwege und Radfahrstreifen) die geringste Unfallrate auf.

<sup>2</sup> PARAMICS REPORT 09

HÜLSEN [HÜL93] differenziert in einer Auswertung aller Radfahrerunfälle des Jahres 1990 in Bayern unter anderem Unfälle auf innerörtlichen Straßen mit und ohne Radverkehrsanlage. Deren Unfallgeschehen unterscheidet sich vor allen Dingen in Bezug auf die Struktur der Unfalltypen. Während auf Streckenabschnitten mit Radverkehrsanlage nahezu 40 % aller Unfälle Einbiegen-/Kreuzen- und Abbiege-Unfälle sind, liegt deren gemeinsamer Anteil auf Strecken ohne Radverkehrsanlage unter einem Viertel. Auf Strecken ohne Radverkehrsanlage tritt hingegen ein erhöhter Anteil an Unfällen mit dem ruhenden Verkehr auf (Unfalltyp 5).

Dieser strukturelle Unterschied im Unfallgeschehen beider Führungsformen lässt sich auf unterschiedliche Gefahren an Grundstückszufahrten und – größtenteils verkehrszeichengeregelten – Anschlussknotenpunkten<sup>3</sup> im Streckenverlauf zurückführen. Laut SCHNÜLL et al. [SCN92] sind geradeausfahrende Radfahrer an Knotenpunkten ohne LSA auf Furten deutlich stärker gefährdet als auf der Fahrbahn bzw. auf Radfahrstreifen. Dieser Umstand ist vor allem auf die ungünstige Sicherheitsbilanz linksfahrender Radfahrer zurückzuführen. Die Auswertungen von ANGENENDT et al. [ANG93] stützen diese Ergebnisse. Sie empfehlen daher für Streckenabschnitte mit dichter Folge einmündender Erschließungsstraßen oder einer Reihe stärker frequentierter Grundstückszufahrten Radfahrstreifen den Radwegen vorzuziehen, wenn eine Führung im Mischverkehr nicht in Frage kommt.

In seiner Auswertung des Radverkehrsunfallgeschehens an Knotenpunkten in Dresden kommt WOLF [WOL06] zu dem Ergebnis, dass auf Strecken mit Mischverkehr (ohne Schutzstreifen) an vorfahrtzeichengeregelten Knotenpunkten nahezu zwei Drittel der Radverkehrsunfälle durch linkseinschiebende Kfz verursacht werden. Die Schwere der Unfälle an Grundstückszufahrten, ausgedrückt durch die mittleren Unfallkosten, ist auf Strecken mit Mischverkehrsführung im Mittel höher als bei einer Radwegeführung (26.000 gegenüber 18.000 €/U). Bei Unfällen an Grundstückszufahrten bei Führung der Radfahrer im Mischverkehr sind drei Viertel der verunfallten Radfahrer regelwidrig auf dem Gehweg gefahren.

Radverkehrsunfälle mit einbiegenden Kfz ereignen sich WOLF [WOL06] zufolge an Knotenpunkten im

Zuge von Strecken mit Schutz- oder Radfahrstreifen sehr selten. Diese fahrbahnnahe Führungsformen erweisen sich ebenso wie die Führung der Radfahrer im Mischverkehr ohne Markierung trotz höherer Unfallschwere sicherer als Radwege, was auf eine deutlich geringere Unfallhäufigkeit zurückzuführen ist.

Ein Großteil des Unfallgeschehens bei Führung auf Radwegen ist auf regelwidrig linksfahrende Radfahrer zurückzuführen [WOL06]. Nach diesen Ergebnissen sind Radfahrer auf der Fahrbahn sicherer, eine quantitative Unterscheidung des Unfallrisikos ist aufgrund fehlender Verkehrsstärken (sowohl des Kfz- als auch des Radverkehrs) nicht möglich.

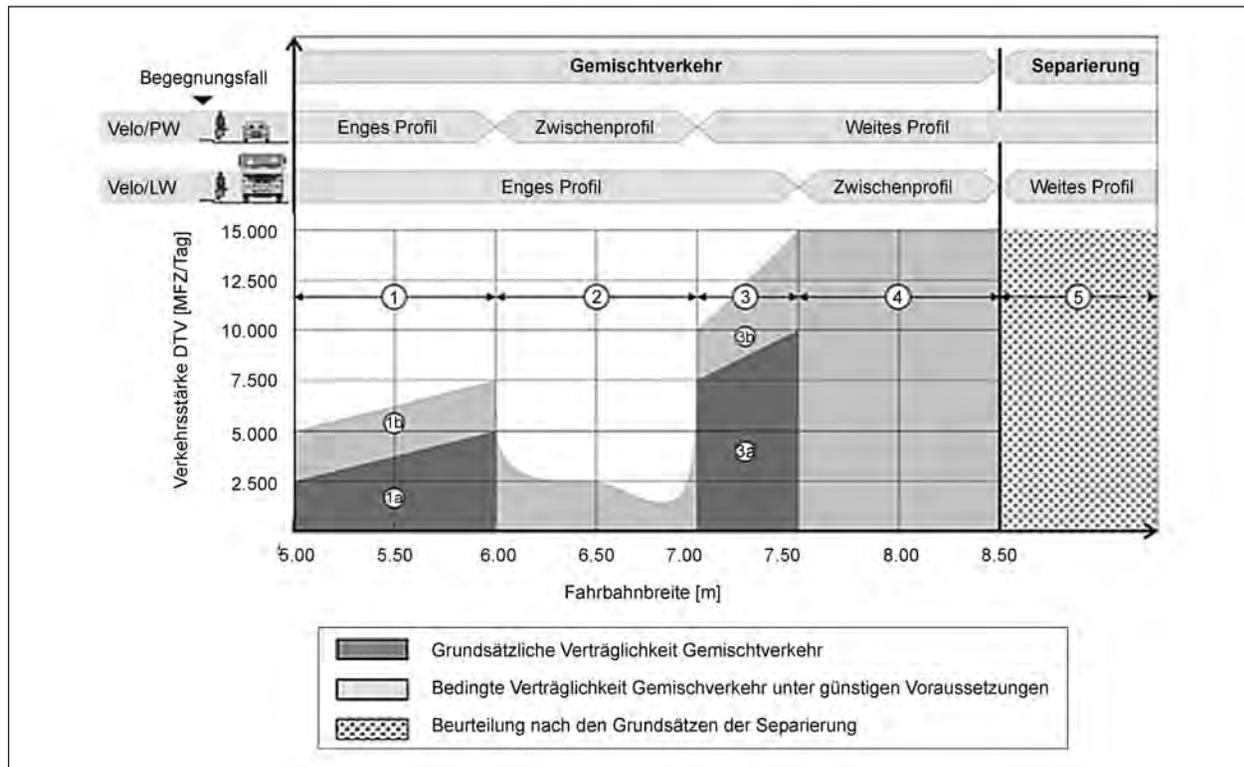
Etwa drei Viertel der Unfälle mit ruhendem Verkehr auf Strecken mit Radverkehr auf der Fahrbahn stehen laut ANGENENDT et al. [ANG93] im Zusammenhang mit dem Öffnen der Fahrtür parkender Kfz. Längsverkehrsunfälle ereignen sich im Mischverkehr größtenteils entweder im Parallelverkehr als seitliche Kollisionen beim Überholen von Radfahrern durch Pkw – oder infolge von Auffahren der Radfahrer auf haltende Kfz.

Auf Basis von Verhaltensbeobachtung kommen ANGENENDT et al. [ANG93] zu dem Resultat, dass die Führung des Radverkehrs im Mischverkehr bis zu einer Belastung von 10.000 Kfz/24 h relativ unproblematisch ist. In besonderen Fällen kann die Führung im Mischverkehr auf Strecken mit bis zu 15.000 Kfz/24 h eine adäquate Lösung sein, aber nur in dem Fall eines gefährdungsarmen Verkehrsablaufs mit einer  $V_{85}$  von unter 45 km/h.

Eine getrennte Führung des Radverkehrs sollte ANGENENDT et al. [ANG93] zufolge ab einem DTV von 20.000 Kfz/24h oder einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit über 50 km/h stets gegeben sein. In diesen Fällen ist ein erhöhtes Konfliktpotenzial für Radfahrer zu erwarten.

Zur Klärung der Einsatzgrenzen einer gemischten Radverkehrsführung in der Schweiz untersuchen REICHENBACH & AFFOLTER [REI03] unter anderem den Verkehrsablauf auf 19 Streckenabschnitten innerorts. Auf Basis des seitlichen Abstandsverhaltens beim Überholen von Radfahrern durch Pkw und durch Lkw sowie der polizeilich erfasster Unfalldaten formulieren sie Einsatzgrenzen in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite, des DTV sowie des Schwerverkehrsanteils (siehe Bild 2).

<sup>3</sup> Kreuzungen und Einmündungen von Erschließungsstraßen an Verkehrsstraßen



**Bild 2:** Verträglichkeit der Mischverkehrs-führung des Radverkehrs auf Straßen innerorts [REI03]

Die Untersuchung ergibt eine grundsätzliche Verträglichkeit

- enger Querschnitt bis zu einer Breite von 6 m und einer Verkehrsstärke von maximal 5.000 Kfz/24h (Bereich 1) sowie
- breiter Querschnitt mit einer Breite zwischen 7 und 7,5 m und einem DTW bis 10.000 Kfz/24h (Bereich 3).

Querschnittsbreiten zwischen 6 und 7 m führen im Mischverkehr zu kritischen Begegnungen (Überholungen) zwischen Kfz und Radfahrern und sind ausschließlich mit sehr geringen Verkehrsstärken verträglich (Bereich 2).

Fahrbahnbreiten zwischen 7,5 und 8,4 m erweisen sich hingegen als kritisch in Bezug auf Begegnungen (Überholungen) zwischen Lkw und Radfahrern (Bereich 4). Sie sollten nur bei sehr geringem Schwerverkehrsanteil eingesetzt werden [REI03].

BAIER et al. [BAI07B] vergleichen Sicherheitsgrade unterschiedlicher Querschnittstypen auf Stadtstraßen mit Straßenbahnführung. Die Vergleichsgrößen bilden hierbei angepasste Unfallkostenraten der Unfallkategorien 1 bis 4 (Unfälle mit Personenschaden und mit schwerem Sachschaden).

Sie differenzieren dabei einseitig und beidseitig vorhandene Radverkehrsanlagen sowie Querschnitte ohne Radverkehrsanlage. Während sich über alle unterschiedenen Querschnittstypen hinweg kein eindeutiges Bild abzeichnet, weisen zweistreifige Abschnitte mit straßenbündigem Gleiskörper ohne Radverkehrsanlagen eine im Mittel deutlich höhere Unfallkostenrate (ca. 65 €/1.000 Kfz/km) auf, als mit ein- oder beidseitiger Radverkehrsanlage (ca. 40 €/1.000 Kfz/km). Ein bedeutsamer Teil der Unfallkosten ist in diesen Fällen auf Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle an Zufahrten zurückzuführen.

In einer Auswertung über alle Querschnittstypen mit Straßenbahnführung weisen Fälle ohne Radverkehrsanlage mit ruhendem Verkehr die höchsten Kostenraten auf [BAI07B].

HAAG-BINGEMANN & HUPFER [HAA96] führen eine Vorher-/Nachher-Analyse einer Querschnittsumgestaltung durch. Auf einer innerörtlichen Strecke mit Radverkehrs-führung im Mischverkehr ohne Markierung (Vorher-Zustand) werden beidseits Schutzstreifen markiert (Nachher-Zustand). Der Streckenabschnitt weist in seinem Verlauf zwei unterschiedliche Querschnittsbreiten auf (B = 8,50 m und 6,40 m), die getrennt voneinander untersucht werden.

Aus Mangel an Unfalldaten bewerten HAAG-BINGEMANN & HUPFER [HAA96] die Verkehrssicherheit mittels Analyse des Geschwindigkeits- und Abstandsverhaltens unterschiedlicher Verkehrssituationen. Ihre Untersuchung führt zu folgenden Ergebnissen:

- Das Geschwindigkeitsniveau geht im Bereich des breiten Querschnitts deutlich zurück. Die  $V_{50}$  sinkt um 10 km/h auf 38 km/h. Im schmalen Querschnitt sinkt die  $V_{50}$  um 2 km/h auf 42 km/h.
- Im Verkehrsablauf ohne Begegnungsfall orientieren sich Kfz im Nachher-Zeitraum näher zur Mitte hin. Radfahrer ordnen sich mittig im Schutzstreifen ein.
- Die Zahl „kritischer“ Überholabstände (< 1 m) im Begegnungsfall zwischen Kfz und Radfahrern nimmt im Nachher-Zeitraum ab.

Im Nachher-Zeitraum traten weniger Begegnungsfälle zwischen überholenden Kfz und Radfahrern auf. Die Autoren führen diesen Umstand auf eine veränderte vorausschauende Fahrweise der Kfz-Führer im Querschnitt mit Schutzstreifen zurück.

Aus ihren Untersuchungsergebnissen leiten HAAG-BINGEMANN & HUPFER [HAA96] einen deutlichen Sicherheitsgewinn durch den Einsatz der Schutzstreifen ab.

ROBATSH & STRATIL-SAUER [ROB02] bestätigen in ihrer Meta-Analyse die Ergebnisse von HAAG-BINGEMANN & HUPFER [HAA96] in weiten Teilen. Die Autoren werten hierfür drei Vorher-/Nachher-Analysen (Vorher: Mischverkehr ohne Markierung; Nachher: Schutzstreifen) von Streckenabschnitten in Wien aus. Das Vorgehen und die untersuchten Größen (Geschwindigkeit und seitlicher Abstand) sind vergleichbar mit der deutschen Studie. Auch bei ROBATSH & STRATIL-SAUER [ROB02] stellte sich in den Nachher-Fällen mit Schutzstreifen ein vergleichbares Abstandverhalten ein. In den wiener Anwendungsfällen sank die  $V_{85}$  im Vergleich zum Vorher-Zustand im Mittel um 2 km/h.

ROBATSH & STRATIL-SAUER [ROB02] stellen darüber hinaus fest, dass zu schmale Schutzstreifen neben parkenden Kfz die Radfahrer zur Einhaltung eines zu geringen seitlichen Abstands verleiten. Sie empfehlen auf dieser Grundlage eine – mit den Empfehlungen der RAS 06 [FGSV06A] übereinstimmende – Mindestbreite von 1,25 m.

Aufbauend auf einer Analyse der Unfallabläufe rät HUPFER [HUP00] bei der Einrichtung von Schutzstreifen zu

- einer zusätzlichen Kennzeichnung der Schutzstreifen im Bereich von Einmündungen (bspw. durch rote Einfärbung) sowie
- zur Durchsetzung des in der StVO vorgesehenen Halteverbots<sup>4</sup> im Bereich von Schutzstreifen.

Darüber hinaus stellt HUPFER [HUP00] die Unfall- und Unfallkostenraten von Vorher- und Nachher-Zeiträumen an 20 Untersuchungsstrecken einander gegenüber. In fünf Fällen liegen die Unfallkenngrößen der Nachher-Zeiträume über denen der Vorher-Zeiträume, in 15 Fällen darunter. Die Ergebnisse sind von sehr kurzen Zeiträumen (u. a. 2 Monate) und unterschiedlicher Dauer der Vorher- und Nachher-Zeiträume geprägt. Kurze Zeiträume bergen das Problem kleiner Zahlen und damit verbundener Ungenauigkeiten, unterschiedliche Auswertungszeiträume können zu Verzerrungen aufgrund saisonaler Unterschiede des Unfallgeschehens führen. Die Gefahr solcher Fehler gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Witterungsabhängigkeit des Radverkehrs. Die Ergebnisse dienen ausschließlich zur Ableitung von Tendenzen (s. auch ALRUTZ et al. [ALR09]).

In einem weiteren Arbeitsschritt untersucht HUPFER [HUP00] den Verkehrsablauf vor und nach Markierung von Schutzstreifen mithilfe einer automatisierten Auswertung von Videobildern (vergleichbares Vorgehen wie in HAAG-BINGEMANN & HUPFER [HAA96]). Er stellt dabei fest, dass

- sich bei Kfz-Führern auf Strecken mit Schutzstreifen ein sicheres Geschwindigkeits-Abstandsverhalten feststellen lässt,
- im Fall einer verbleibenden Fahrstreifenbreite von 2,25 m, bzw. einer verbleibenden Kernfahrbahnbreite von 4,5 m zwischen den Markierungen, der Schutzstreifen häufig von Kfz-Führern überfahren wird, ohne dass es aus der Verkehrssituation heraus erforderlich wäre sowie
- Schutzstreifen zu einer Bündelung des Radverkehrs im Bereich der Mitte des Streifens führen.

<sup>4</sup> Zum Zeitpunkt dieser Untersuchung galt die StVO 1997. Nach der zugehörigen Verwaltungsvorschrift können Schutzstreifen nur markiert werden, wenn „der ruhende Verkehr auf der Fahrbahn durch Zeichen 283 ausgeschlossen wird.“

ZWEIBRÜCKEN & von KÄNEL [ZWB99] ermittelten mit HUPFER [HUP00] vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich einer verbleibenden Fahrstreifenbreite von 2,25 m (bzw. einer Restbreite von 4,5 m zwischen beiden Schutzstreifen). In ihrer Untersuchung von sechs Fallbeispielen in der Schweiz stellen sie in den betreffenden Fällen ebenfalls ein häufiges Überfahren des Schutzstreifens durch Pkw fest. Dennoch wird in allen Fallbeispielen ein ausreichender seitlicher Abstand überholender Pkw gegenüber Radfahrern eingehalten (1,20 bis 1,92 m).

Ihre Auswertung der Pkw-Geschwindigkeiten zeigt einen Rückgang der mittleren Geschwindigkeit zwischen 3 und 5 km/h mit Einrichtung von Schutzstreifen.

In ihrer Auswertung des Erkenntnisstandes stellen ALRUTZ et al. [ALR09] fest, dass Aussagen über anlagentypische Unfallrisiken auf breiter Datenbasis bislang nur für benutzungspflichtige Radwege möglich sind, nicht jedoch für Radfahr- oder Schutzstreifen.

Die Autoren unterscheiden in ihrer Untersuchung die Führungsformen Radweg mit/ohne Benutzungspflicht, Radfahrstreifen und Schutzstreifen. Eine Kontrollgruppe von Streckenabschnitten mit Mischverkehr ohne Markierung gibt es nicht.

Zur Bewertung des Unfallrisikos für Radfahrer berechnen ALRUTZ et al. [ALR09] Unfall- und Unfallkostenraten auf Grundlage der Radverkehrsstärke. Ein belastbarer Zusammenhang zwischen der Dichte aller Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung und der Kfz-Verkehrsstärke kann nicht nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu ist ein positiver Zusammenhang zwischen Unfalldichte und der Radverkehrsstärke auf allen Anlagen deutlicher ausgeprägt.

Die geringsten mittleren Unfallkostenraten weisen die Abschnitte mit einem Schutzstreifen auf, gefolgt von Radfahrstreifen. Die Mittelwerte der Strecken mit Radwegen mit und ohne Benutzungspflicht unterscheiden sich kaum. Die Einzelwerte aller Anlagen weisen dabei große Streuungen auf.

Der Sicherheitsvorteil der Schutzstreifen erklärt sich mithilfe einer differenzierten Betrachtung der spezifischen Unfallraten für rechts- und (regelmäßig) linksfahrender Radfahrer. Sowohl die mittleren Unfallraten rechtsfahrender als auch die mittleren Unfallraten linksfahrender Radfahrer liegen

jeweils anlagenübergreifend auf einem ähnlichen Niveau.

Die Unfallraten linksfahrender Radfahrer sind dabei allerdings vier- bis zehnmal so hoch (anlagenabhängig) wie die Unfallraten rechtsfahrender Radfahrer. Linksfahrende Radfahrer sind dabei auf Schutz- und Radfahrstreifen im Mittel einer größeren Gefahr ausgesetzt als auf Radwegen.

Der Unterschied zwischen den Anlagentypen in den Gesamtraten erklärt sich demnach wesentlich aus dem doppelt so hohen Anteil linksfahrender Radfahrer bei Radwegen gegenüber einer markierten Führung und deren überproportionaler Gefährdung.

Abschließend kommen ALRUTZ et al. [ALR09] zu dem Ergebnis, dass

- die Unfallabläufe an allen Anlagen die Notwendigkeit ausreichender Sichtbeziehungen zwischen Kfz und Radfahrern auf der Strecke sowie an Grundstückszufahrten und Einmündungen zeigen,
- Straßen mit Schutzstreifen einen unterdurchschnittlichen Anteil an Einbiegen-/Kreuzen-Unfällen und einen überdurchschnittlichen Anteil an Unfällen mit dem ruhenden Verkehr (Typ 5) aufweisen,
- fast alle Unfälle mit ruhendem Verkehr sich auf Straßen mit einem Sicherheitstrennstreifen zwischen Radverkehrsanlage und Kfz-Parkständen < 0,75 m ereigneten und
- die Sicherheitsvorteile, die Regelwerke und Untersuchungen einzelnen Anlagen zusprechen, insgesamt nicht bestätigt werden können.

Vielmehr sind ALRUTZ et al. [ALR09] zufolge baulich-betriebliche Einzelmerkmale der untersuchten Strecken prägend für das Unfallgeschehen. In diesem Punkt decken sich die Ergebnisse weitgehend mit den Erkenntnissen von ANGENENDT et al. [ANG93]. Die Autoren können auch keine sicherheitsspezifischen Auffälligkeiten der untersuchten Abschnitte mit Verkehrsstärken oder Querschnittsbreiten außerhalb der geforderten Einsatzbereiche feststellen.

Bei zweistreifigen Abschnitten mit Schutzstreifen weisen auch Abschnitte mit täglichen Verkehrsstärken zwischen 10.000 und 15.000 Kfz in der Mehrzahl keine höheren Unfalldichten auf. Auch zeigen Abschnitte mit Schutzstreifen auf Fahrbahnen unter

7 (Minimum = 6,5 m) und über 8,5 m Breite (Maximum = 11 m) keine Unfallsauffälligkeit.

Im Rahmen der Entwicklung eines multivariaten Prognosemodells zum Unfallgeschehen des Hauptverkehrsstraßennetzes Berlins untersuchen MAIER et al. [MAI12B] unter anderem die Führung des Radverkehrs auf Radwegen, Radfahrstreifen, gemeinsamen Geh- und Radwegen sowie die Mischverkehrsführung mit und ohne Markierung von Schutzstreifen. Das Untersuchungskollektiv wird längenmäßig von der Mischverkehrsführung mit Kfz-Verkehr dominiert. Das Prognosemodell beruht auf multivariaten verallgemeinerten Regressionsmodellen (GLM) unter Annahme negativ binomialverteilter Verteilungen. Die Modellergebnisse für das Unfallgeschehen auf Streckenabschnitten lassen folgende Schlüsse zu:

- Für keinen Unfalltyp ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen einer Führung auf Schutzstreifen und einer Führung im Mischverkehr ohne Markierung.
- Auf Strecken mit Radwegen oder Radfahrstreifen steigt die Gefahr von Abbiege-Unfällen mit Personenschaden und nichtmotorisierter Verkehrsbeteiligung gegenüber einer Mischverkehrsführung um den Faktor 1,8.

Abmessungen der Radverkehrsanlagen konnten in der Arbeit ebenso wenig berücksichtigt werden wie Verkehrsstärken des Radverkehrs.

In einer aktuellen Untersuchung von DIETTIKER et al. [DIE12] in der Schweiz zur Sicherheit von Kernfahrbahnen<sup>5</sup>, wurde das Unfallgeschehen von sieben Streckenabschnitten analysiert, wobei gezielt überprüft wurde, ob Unfälle in Verbindung mit der Führung des Radverkehrs im Mischverkehr stehen. Für sechs der sieben Streckenabschnitte wurde ein Vorher-/Nachher-Vergleich (mit und ohne Markierung) durchgeführt. Es zeigt sich, dass nur wenige Unfälle in Zusammenhang mit der Markierung von Schutz- oder Radfahrstreifen stehen können. Allerdings ist die Anzahl der ausgewerteten Unfälle zu gering um statistisch gesicherte Aussagen zu treffen, weshalb die Autoren keine Aussage treffen können, ob und wie sich die Markierung auf die Verkehrssicherheit auswirkt.

<sup>5</sup> Fahrbahnen auf denen ein Schutz- oder Radfahrstreifen (in der Schweiz als Radstreifen bezeichnet, welcher sowohl mit einer ununterbrochenen als auch unterbrochenen Linie markiert wird) markiert ist, aber keine Leitlinie in der Mitte.

Von DIETTIKER et al. [DIE12] ebenfalls durchgeführte Verhaltensbeobachtungen an zehn Streckenabschnitte teils mit Vorher-/Nachher-Vergleichen zeigen, dass sich mit der Markierung

- die Fahr- und Überholgeschwindigkeiten kaum verändern,
- die Überholabstände der Kraftfahrzeuge gegenüber den Radfahrern kaum verändern,
- der Abstand der Radfahrer vom Fahrbahnrand etwas erhöht und
- die Anzahl der Radfahrer, welche den Gehweg nutzen, bei genügender Breite der Fahrbahn reduziert werden kann.

### Fazit

Die Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit von Radverkehrsführungen im Mischverkehr lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Unfallhäufigkeit im Radverkehr im Mischverkehr wird überwiegend von der Radverkehrsstärke und der Führungsform aber nur wenig von der Kfz-Verkehrsstärke sowie der Markierung beim Mischverkehr (mit/ohne Schutzstreifen) bestimmt.
- Zur Unfallschwere gibt es uneinheitliche Erkenntnisse. Sie deuten allerdings darauf hin, dass Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung bei einer Führung im Mischverkehr schwerer als bei Radwegen sind.
- Unterschiede in der Sicherheit von Radwegen gegenüber Führungen auf der Fahrbahn (Radfahrstreifen, Schutzstreifen) an Einmündungen und Grundstückszufahrten sind stark von linksfahrenden Radfahrern geprägt.
- Im Mischverkehr sind generell höhere Anteile an Unfällen mit ruhendem Verkehr zu erwarten.
- Erfahrungen aus der Schweiz geben Hinweise auf kritische Einsatzfälle des Mischverkehrs zwischen 6 und 7 m Fahrbahnbreite sowie bei einer Fahrbahnbreite über 7,5 m verbunden mit einem hohen Schwerverkehrsanteil.
- Kombinationen von Radverkehr im Mischverkehr mit Straßenbahnführungen und/oder ruhendem Verkehr wirken sich nachteilig auf die Sicherheit aus.

## 2.4 Kommunalrecherche zum Radverkehr im Mischverkehr

### 2.4.1 Methodik und Inhalte

Die im Zuge des Projekts schriftlich durchgeführte Kommunalrecherche sollte insbesondere folgende Ziele erreichen:

- Analyse des bestehenden und geplanten Umfangs zur Anwendung von Schutzstreifen,
- Erhalt von Aussagen zum Einsatz von Mischverkehr auf der Fahrbahn mit und ohne Schutzstreifen in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung und der Querschnittaufteilung,
- subjektive fachliche Bewertung zur Auswirkung von Schutzstreifen auf die Verkehrssicherheit,
- Erhalt von Angaben zu einer möglichen Kooperation bei den Fallbeispielanalysen und geplante Umgestaltungen 2012.

Aus diesen Angaben sollte zudem abgeleitet werden, welche Fragen für die planerische Praxis von Kommunen im Umgang mit Mischverkehr auf der Fahrbahn besonders wichtig sind, unter welchen Bedingungen Schutzstreifen derzeit am häufigsten eingesetzt werden und welche Potenziale daraus entstehen. Die Ergebnisse sollten dazu auch nach Stadtgröße differenziert ausgewertet werden, was insbesondere bei den Fragen nach Konflikten oder der Entwicklung der Einsatzhäufigkeit von Interesse ist.

Es wurden alle Städte mit mehr als 50.000 Einwohnern in Deutschland sowie alle Städte mit mehr als 20.000 Einwohnern in den Bundesländern Baden-Württemberg, Sachsen und Sachsen-Anhalt angeschrieben. In diesen Bundesländern liegen flächendeckend digitale Unfalldaten vor. Insgesamt betrug die Grundgesamtheit der Erhebung 308 Städte.

Adressaten der Fragebögen waren – je nach Verfügbarkeit der Kontaktdaten – die Radverkehrsverantwortlichen bzw. die „Fachabteilungen Verkehr“ der einzelnen Städte.

Der Fragebogen war dabei so aufgebaut, dass er zügig und leicht ausfüllbar ist, mit dem Ziel einer möglichst hohen Rücksendequote. Deshalb wurden entsprechende Einschränkungen bei der Auswertung durch das kompakte Befragungsdesign

bewusst in Kauf genommen und z. B. auf detaillierte Längenangaben bei der Verwendung von Schutzstreifen verzichtet und stattdessen Klasseneinteilungen genutzt.

In der Klasseneinteilung wurden bei zweistreifigen Straßen Grenzwerte der Verkehrsstärken von 5.000 und 12.000 Kfz/24h genutzt. Diese decken sich mit der im Projekt verwendeten Hauptverkehrsstraßendefinition (über 5.000 Kfz/24h) und auch den Einsatzempfehlungen der ERA ([FGSV10], Bild 7) für Schutzstreifen im Bereich II bei 50 km/h (von ca. 400-500 bis ca. 1.100 Kfz/Sph<sup>6</sup>).

Für vierstreifige Querschnitte wurde ein Minimalwert von 18.000 Kfz/24h nach ERA ([FGSV10], Bild 8) gewählt (1.600 Kfz/Sph). Bei Werten deutlich darunter sind vierstreifige Querschnitte außerhalb von Verflechtungsstrecken zumeist verkehrlich nicht erforderlich.

Auch konnten in der Befragung subjektive fachliche Einschätzungen vorgenommen werden. Auf Basis der Kontaktdaten konnte bei interessanten Ergebnissen detailliert rückgefragt werden, wovon insbesondere bei der Auswahl der Messstrecken und für Beispiele potenzieller Vorher-/Nachher-Untersuchungen Gebrauch gemacht wurde.

Das verwendete Anschreiben und der Fragebogen sind als Anlage 3 beigefügt.

### 2.4.2 Ergebnisse

Von den insgesamt 308 Kommunen wurden 121 kleine Städte (20.000-50.000 EW), 107 mittlere Städte (50.000-100.000 EW) und 80 große Städte (über 100.000 EW) angeschrieben. Davon antworteten 178 Städte, was einer Quote von 58 % entspricht, bei großen Städten 75 % (siehe Bild 3).

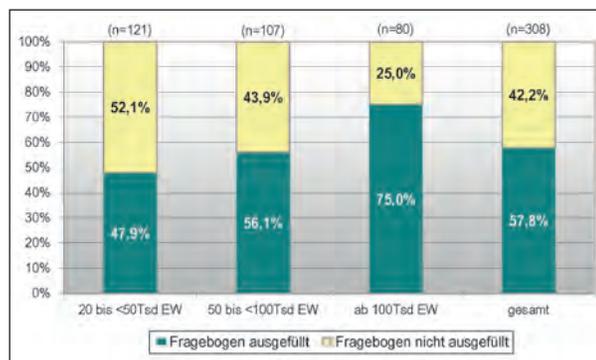


Bild 3: Rücklaufquote nach Stadtgrößenklassen

<sup>6</sup> Spitzenstunde

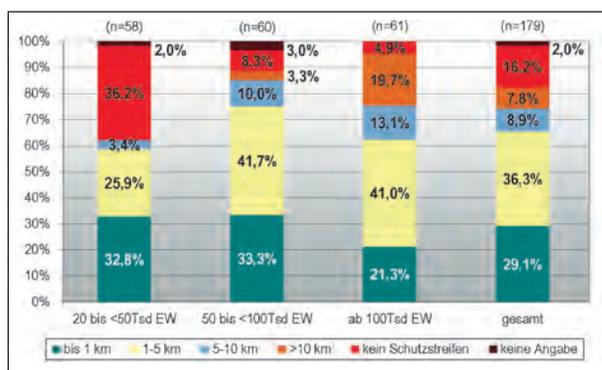
Damit wurde eine für derartige Befragungen überdurchschnittliche hohe Rücklaufquote erreicht. Es liegt damit eine Übersicht zum kommunalen Einsatz von Schutzstreifen vor. Diese enthält zudem Angaben zum perspektivischen Einsatz von Schutzstreifen und zu auftretenden Konflikten aus Sicht der Befragten.

Die gegenüber der ursprünglichen Planung realisierte Ausweitung der Befragung von 30 Kommunen auf ein Kollektiv von 308 Kommunen hat sich damit als richtige Entscheidung erwiesen.

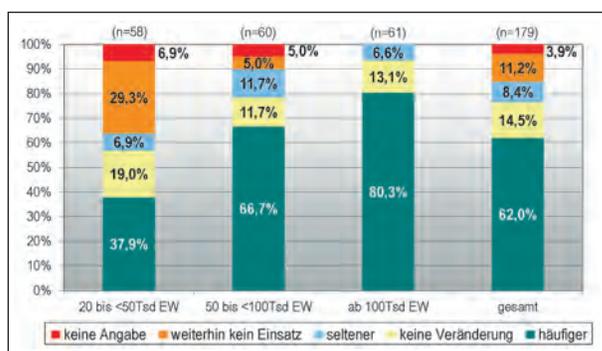
Im Folgenden werden wichtige Aussagen dargestellt.

### Häufigkeit und Entwicklungsperspektiven von Mischverkehr

- In 82 % der antwortenden Städte werden derzeit Schutzstreifen eingesetzt.
- Je größer die Stadt, desto höher ist der Anteil längerer Strecken mit Schutzstreifen.
- In 53 % der Nennungen der Städte sind Schutzstreifen auf einer Streckenlänge von mehr als 1 km anzutreffen.



**Bild 4:** Gesamtlängen der Straßenbereiche, wo derzeit Schutzstreifen eingesetzt werden

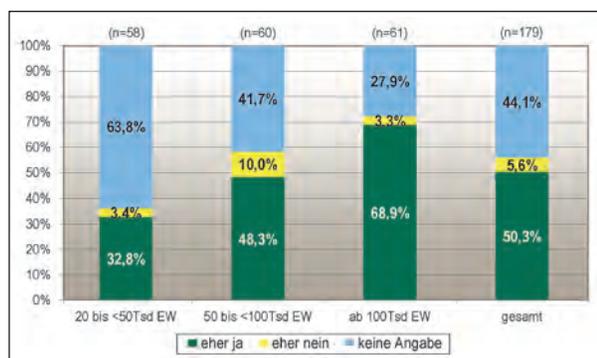


**Bild 5:** Einschätzung zum Einsatz von Schutzstreifen in den nächsten Jahren

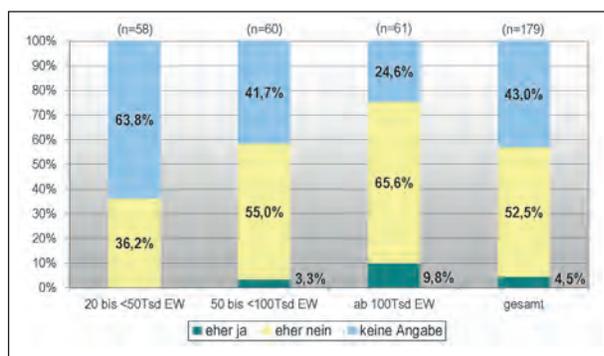
- Nur 7,8 % der Städte haben derzeit Längen von mehr als 10 km mit Schutzstreifen markiert.
- In 62 % der Städte ist zukünftig ein häufigerer Einsatz von Schutzstreifen geplant. Nur in 8 % der Städte soll dies zukünftig seltener vorkommen.
- Daraus ergibt sich ein hoher potenzieller Nutzen der Forschungsaufgabe für die Kommunen ganz im Sinne des Forschungsprogramms Stadtverkehr.
- 60 % aller Städte wollen 2012 weitere Schutzstreifen markieren und kommen u. U. damit auch im Sinne eines Vorher-/Nachher-Vergleichs in Frage.
- 50 % der Städte haben ihre prinzipielle Mitwirkungsbereitschaft im Forschungsprojekt und Interesse an Rückmeldungen zu Ergebnissen signalisiert.

### Konfliktentwicklung

- Lediglich 6 % der antwortenden Fachverantwortlichen stimmen der Aussage zu, dass sich durch Schutzstreifen die Konflikte zwischen Radfahrern und Fußgängern eher nicht verringern. Im Gegensatz dazu geben aber 50 % an, dass sich die Konflikte eher verringern.
- 44 % der antwortenden Städte können keine Angaben zum Einfluss von Schutzstreifen auf die Konflikte zwischen Fußgängern und Radfahrern machen (siehe Bild 6).
- Auch bei der Frage nach sich durch Schutzstreifen ggf. neu entwickelnden Konflikten zwischen Kfz- und Radverkehr stimmen lediglich 5 % der antwortenden Fachverantwortlichen der Aus-



**Bild 6:** Verringern sich Konflikte zwischen Radverkehr und Fußgängern durch Schutzstreifen?



**Bild 7:** Entwickeln sich neue Konflikte zwischen Radfahrern und Kfz auf der freien Strecke?

sage eher zu, dass sich die Anzahl der Konflikte durch Schutzstreifen erhöht haben.

- 53 % der antwortenden Städte gehen von eher verringerten Konflikten aus.
- In Großstädten über 100.000 EW geben sogar 66 % der Antwortenden an, dass die Konflikte in diesem Bereich eher geringer geworden sind.
- 43 % der Städte können zu dieser Frage noch keine Angaben machen.

Da 70 % der antwortenden Städte Schutzstreifen eine generelle Eignung als Alternative zu anderen Radverkehrsanlagen bei beengten Querschnitten zuspochen, wird deutlich, dass Schutzstreifen nach Einschätzung der Fachverantwortlichen der Kommunen in der Gesamtschau die Sicherheit im Radverkehr steigern und Konflikte mit Fußgängern und auch Kfz (hier auch im Knotenbereich) vermeiden können. Diese Aussage korreliert mit der in den meisten Kommunen geplanten deutlichen Ausweitung des Einsatzes von Schutzstreifen im Straßennetz.

### Einsatzbereiche

Derzeitiger Einsatzbereich von Radverkehr im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen bezüglich der Verkehrsmengen und der Fahrstreifenanzahl (jeweils in Bezug zur Anzahl der Nennungen der antwortenden Städte und nicht der jeweiligen Streckenlänge):

- Die meisten Städte geben an, Schutzstreifen auf zweistreifigen Fahrbahnen und bei Verkehrsstärken zwischen 5.000 und 12.000 Kfz/24h anzuwenden (117 von 178 antwortenden Städten) – das entspricht dem Belastungsbereich nach ERA.

- In 45 der 178 antwortenden Städte werden auch oberhalb von 12.000 Kfz/24h und damit im Belastungsbereich III nach Bild 7 der ERA Schutzstreifen eingesetzt.
- Über die Hälfte der antwortenden Städte geben an, Schutzstreifen in Kombination mit Parkmöglichkeiten im Straßenraum eingesetzt zu haben.
- Straßenbündige Bahnkörper in Kombination mit Schutzstreifen werden zwar in den Antworten seltener erwähnt als ruhender Verkehr am Straßenrand, aber dennoch oft genug, um diesen Fall von möglichen Betrachtungen nicht per Festlegung auszuschließen.
- Bei vierstreifigen Straßen überwiegt der Mischverkehr ohne Schutzstreifen (28 Städte) gegenüber vierstreifigen Straßen mit Schutzstreifen (13 Städte).
- Schutzstreifen auf vierstreifigen Straßen werden seltener als auf zweistreifigen Straßen eingesetzt und am häufigsten bei Verkehrsstärken von über 18.000 Kfz/24h, was dem Bereich III nach ERA, Bild 8, entspricht.

### 2.4.3 Zusammenfassung

Die formulierten Ziele der Befragung wurden erreicht. Durch die Ergebnisse konnte die Typisierung der Querschnitte nochmals überarbeitet und angepasst werden. Wenn vorausgesetzt wird, dass Strecken mit schon derzeit häufigem Einsatz von Schutzstreifen auch das höchste Ausbaupotenzial für die Zukunft bieten, so bilden zweistreifige Querschnitte im Belastungsbereich von über 5.000 Kfz/24h einen wichtigen Beobachtungstyp für die Videoanalysen (siehe auch Kapitel 5).

Schutzstreifen besitzen aus Sicht der Kommunen hohes Potenzial für die Radverkehrsförderung und die Konfliktvermeidung zwischen Fußgängern und Radfahrern aber auch zwischen Kfz- und Radverkehr. Damit wurde nochmals die Notwendigkeit unterstrichen, vertieft Daten und Einsatzempfehlungen zu liefern. Aus Sicht der Städte wurde zudem mehrfach darauf hingewiesen, dass auch die Fragestellungen zu Schutzstreifen im Knotenbereich (die in diesem Projekt nicht betrachtet werden) von hoher Bedeutung sind.

In der Diskussion der Ergebnisse der Kommunalrecherche mit interessierten Kommunen sowie dem Betreuerkreis wurden noch verschiedene qualita-

tive Aspekte benannt, die für den Einsatz von Schutzstreifen sprechen können. Ohne diese statistisch belegen oder auf Vollständigkeit prüfen zu können, sind sie als Anregung nachfolgend benannt:

Schutzstreifen werden eingesetzt um

- das „Mitfahren“ des Radverkehrs auf der Fahrbahn im Mischverkehr symbolisch gegenüber dem Kfz-Verkehr zu legitimieren und zu stärken (Linie und Piktogramme auf der Fahrbahn) und so dem noch weit verbreiteten Klischee „der Radfahrer gehört in den Seitenraum“ zu begegnen,
- die Konflikte zwischen Fußgängern und Radfahrern zu mindern,
- direkte Abbiegevorgänge an signalisierten Knotenpunkten auch für Radverkehr bzw. bei indirekter Radverkehrsführung zuzulassen,
- den Fahrbahnbereich optisch einzuengen und so umfeldverträgliche Geschwindigkeiten für den Kfz-Verkehr naheulegen bzw. bestehende Geschwindigkeitsvorgaben besser durchzusetzen,
- die Verkehrssicherheit an Einmündungen und Zufahrten sowie vor Laden- oder Hauseingängen zu verbessern (Radverkehr nicht mehr auf dem Gehweg),
- bei beengten Verhältnissen Platz zu sparen, den eine breitere Radverkehrsanlage ansonsten beanspruchen würde und
- Diskussionen und Klagen zur Benutzungspflicht von baulich abgetrennten Radwegen begegnen zu können, wenn beengte Verhältnisse vorliegen und Radfahrstreifen nicht umsetzbar sind.

Zum Einsatz von Schutzstreifen auf vierstreifigen Straßen sei noch erwähnt, dass aus verkehrstechnischer Sicht ein vierstreifiger Querschnitt bei 18.000 Kfz/24h außerhalb von Verflechtungsbereichen überdimensioniert ist, sodass sich dort eher Radfahrstreifen anstelle von Schutzstreifen anordnen ließen.

Die aus der Kommunalrecherche gewonnenen Informationen dienen nicht nur als Erkenntnisgewinn im Sinne der Aufgabenstellung (aktueller Nutzungsstand) sondern flossen zudem in die Ausgestaltung der Querschnittstypisierung und damit in die Messstreckenauswahl ein. Zudem wurden sie dazu ge-

nutzt, geeignete Vorher-/Nachher-Untersuchungsorte, die eine Einrichtung von Schutzstreifen in 2012 planen, zu identifizieren (siehe Kapitel 5.13.1 und 6.7.1).

## 3 Netzanalyse Verkehrssicherheit

### 3.1 Datengrundlage

#### 3.1.1 Streckenkollektiv

Für die Ermittlung der Unfallstruktur müssen zunächst geeignete Untersuchungsabschnitte im Straßennetz ausgewählt werden. Die Auswahl erfolgt in Städten, für die bei den Forschungsnehmern bereits umfangreiche Datensätze zum Straßennetz und zugehörigen Infrastrukturmerkmalen vorliegen bzw. zu denen enge Kontakte bestehen und ein effektiver Zugang zu den Unfalldaten mit Ortsbezug möglich ist. Im Ergebnis dieser Vorüberlegungen steht die Auswahl der sieben Städte Berlin (B), Bielefeld (BI), Chemnitz (C), Dortmund (DO), Dresden (DD), Mannheim (MA) und Offenburg (OG)<sup>7</sup>. Weitere Städte wurden überprüft, konnten aber keine oder keine nennenswerte Länge bei Abschnitten von Schutzstreifen aufweisen, die der vorgenommenen Querschnittstypisierung (vgl. Kapitel 1.5.1) entsprechen.

Nach der aktuell gültigen StVO sind die Einsatzmöglichkeiten und Ausprägungsmerkmale von Schutzstreifen im Hinblick auf Markierung und Beschilderung klar definiert (vgl. Kapitel 1.4.2), obwohl in der Praxis Abweichungen hiervon nicht selten zu beobachten sind (HUPFER [HUP00], BAIER et al. [BAI06A]). Da eine eindeutige Interpretation durch die aktuelle Rechtsprechung den Autoren nicht bekannt ist, wird für das vorliegende Forschungsvorhaben die in Kapitel 1.4.2 aufgestellten Definitionen zugrunde gelegt.

In Abhängigkeit der Typisierung der Querschnitte (vgl. Kapitel 1.5.1) werden ausschließlich zweistreifige Strecken mit einer Fahrbahnbreite zwischen 6,00 m und 8,50 m sowie vierstreifige Strecken mit einer Breite der Richtungsfahrbahnen zwischen 5,50 m und 7,00 m in die Untersuchung einbezogen.

<sup>7</sup> Die in Klammern aufgeführten Abkürzungen werden in den folgenden Bildern und Tabellen verwendet.

Die Abgrenzung der Streckenabschnitte gegenüber Knotenpunkten erfolgt entsprechend der Erkenntnisse von MAIER et al. [MAI12A]. So wird an Hauptverkehrsstraßenknotenpunkten ein Annäherungsbereich von 50 m festgelegt. Diese Annäherungsbereiche werden in der vorliegenden Untersuchung nicht behandelt, da das Unfallgeschehen und die Verkehrssituationen auf diesen Abschnitten wesentlich von der Charakteristik der Knotenpunkte geprägt ist und deshalb nicht den Streckenabschnitten zugeordnet werden kann. Im Gegensatz zu den Hauptverkehrsstraßenknoten üben Anschlussknoten keinen Einfluss auf das Verkehrsgeschehen des übergeordneten Streckenabschnittes aus. Sie werden daher als Eigenschaft der Streckencharakteristik behandelt. Demnach wird ein Hauptverkehrsstraßenabschnitt als derjenige Teil einer Strecke definiert, der außerhalb der Einflussbereiche von Knotenpunkten zwischen zwei Hauptverkehrsstraßen, jedoch einschließlich der Anschlussknotenpunkte, liegt (BAIER [BAI06B], BAIER et al. [BAI07B]). Sehr kurze Streckenabschnitte (< 20 m, bspw. bei sehr geringen Knotenpunktabständen) wurden aus dem Kollektiv ausgeschlossen.

In der Praxis werden Schutzstreifen nicht selten an Querschnitten angeordnet, die andere Fahrbahnbreiten aufweisen als die in der Typisierung definierten Grenzwerte. Zur Quantifizierung der Menge der ausgeschlossenen Schutzstreifenstrecken in den Untersuchungsstädten werden zusätzlich die Querschnittstypen G1 bis G4 definiert. Diese erfassen alle Fahrbahnbreiten, welche kleiner bzw. größer als der in der primären Typisierung festgelegte Breitenbereich sind, aber ansonsten den Strecken-

typen entsprechen. Zur Fokussierung auf relevante Querschnittsvarianten mit hinreichend großen Fallzahlen werden dabei ausschließlich Strecken mit symmetrischer Fahrbahnaufteilung berücksichtigt, d. h. einseitige Schutzstreifen oder Querschnitte mit drei Kfz-Fahrstreifen sind nicht enthalten. Dabei erfolgt eine Unterscheidung in zwei- und vierstreifige Querschnitte ohne Differenzierung nach der Verkehrsstärke. Tabelle 3 zeigt die Charakteristik sowie die sich für die Untersuchung ergebenden Längen aller betrachteten Querschnittstypen differenziert nach den Städten.

Es zeigt sich, dass im Vergleich zur primären Typisierung deutlich längere Abschnitte von Schutzstreifenstrecken mit größeren Fahrbahnbreiten (QS-Typ G2 und G4) zu verzeichnen sind. Lediglich in Berlin treten auf 190 m Länge Schutzstreifen auf vierstreifigen Straßen mit einer geringeren Breite als in der primären Typisierung auf (QS-Typ G3), während auf schmaleren Fahrbahnen mit zwei Fahrstreifen in keiner der sieben Untersuchungsstädte einseitig Schutzstreifen vorhanden sind (QS-Typ G1). Die von der primären Typisierung nicht erfassten Strecken sind ausschließlich in der Stadt Berlin registriert worden. Solche mit Schutzstreifen sind dabei mit einer Gesamtlänge von etwa 3 km vertreten. Das ist umso bemerkenswerter, da in Berlin lediglich 0,49 km Streckenlänge mit Schutzstreifen der primären Typisierung entsprechen.

Betrachtet man die zweistreifigen Streckenabschnitte mit beidseitigem Schutzstreifen – welche mit einer Gesamtlänge von 5,62 km (A2) bzw. 2,58 km (A3) vertreten sind – detailliert (siehe

QS-Typ	Fahrbahnbreite [m]	Verkehrsstärke [Kfz/24 h]	Anz. FS	Führung Radverkehr	Streckenlänge [km]							
					B	BI	C	DD	DO	MA	OG	Σ
A1	6-7	-	2	Mischverk.	17,02	5,53	30,02	29,07	0,49	2,71	1,68	86,52
A2	7-8,5	< 12.000	2	SSF beids.	0,04	1,99	1,14	0,51	-	1,38	0,56	5,62
A3	7-8,5	> 12.000	2	SSF beids.	-	0,88	-	0,76	0,42	0,52	-	2,58
A4	7-8,5	< 12.000	2	Mischverk.	19,80	6,92	34,50	17,70	2,63	7,44	0,53	89,51
A5	7-8,5	> 12.000	2	Mischverk.	11,13	0,70	14,87	13,52	0,45	-	-	40,68
A6	5,5-7,5	-	2	SSF eins.	0,13	1,32	0,14	0,41	-	-	-	2,00
B1	12-14	> 15.000	4	SSF beids.	0,44	-	-	-	0,25	-	-	0,70
B2	11-14	> 15.000	4	Mischverk.	15,74	7,40	7,37	6,11	3,45	-	-	40,07
G1	< 7	-	2	SSF beids.	-	-	-	-	-	-	-	-
G2	> 8,5	-	2	SSF beids.	21,70	-	-	-	-	-	-	21,70
G3	< 12	-	4	SSF beids.	0,19	-	-	-	-	-	-	0,19
G4	> 14	-	4	SSF beids.	3,21	-	-	-	-	-	-	3,21

Tab. 3: Charakteristik und Streckenlängen primäre Typisierung und Querschnittstypen des Ergänzungskollektives G1-G4 nach Stadt

Tabelle 4; eine Übersicht zu den entsprechenden Einzelstrecken enthält Anlage 4), zeigt sich, dass das Kollektiv des Querschnittstyps

- A2 mit 21 Einzelstreckenabschnitten auf zehn Straßenzüge in sechs der sieben Untersuchungsstädte und
- A3 mit 15 Einzelstreckenabschnitte auf sieben Straßenzüge in vier der sieben Untersuchungsstädte

verteilt ist. Damit ist eine gleichmäßige Verteilung sowohl im Netz als auch zwischen den Untersuchungsstädten zu erkennen. Vergleicht man die entsprechenden mittleren Unfallzahlen je Einzelstreckenabschnitt ist festzustellen, dass hinsichtlich des Querschnittstyps A2 in Mannheim (drei Einzelstrecken) und Berlin (eine Einzelstrecke) die höchsten Werte erreicht werden. Bei dem Querschnittstyp A3 sind dies ebenfalls Mannheim (eine Einzelstrecke) sowie Bielefeld (eine Einzelstrecke). Da die Unfalldichten allerdings nicht je Einzelstrecken sondern über die Gesamtlänge je Querschnittstyp gebildet werden, wird einer Verzerrung der Ergebnisse durch die Verteilung der Unfälle auf die Einzelstrecken entgegengewirkt.

Nach der Identifizierung der relevanten Streckenabschnitte in den sieben Städten, wurden den ein-

zelnen Netzelementen die für die Netzanalyse notwendigen Merkmale erhoben und zugeordnet. Hierzu wurden Knoten-Kanten-Modelle innerhalb eines Geoinformationssystems genutzt. Dadurch war es möglich, die relevanten Informationen im räumlichen Kontext auszuwerten. Tabelle 5 zeigt die streckenspezifischen Merkmale im Überblick.

Merkmals	Ausprägung/Einheit
DTV	Kfz/24h
SV-Anteil*	%
Anzahl Fahrstreifen	Anzahl
Ruhender Verkehr	nicht zugelassen Längsaufstellung unmarkiert Längsaufstellung markiert Schräg-/Senkrechtaufstellung unmarkiert Schräg-/Senkrechtaufstellung markiert
Strabführung	nicht vorhanden straßenbündiger Bahnkörper in Mittellage straßenbündiger Bahnkörper in Randlage besonderer Bahnkörper in Mittellage besonderer Bahnkörper in Randlage
Umfeldfaktor	-
Dichte Einmünd./ Zufahrten	Anzahl/km
Modal Split	%

\* Daten zum Schwerverkehr liegen für die Städte Chemnitz und Bielefeld nicht vor

Tab. 5: Erhobene streckenspezifische Merkmale

QS-Typ	Merkmals	B	BI	C	DD	DO	MA	OG
A2	Streckenlänge [km]	0,04	1,99	1,14	0,51	-	1,38	0,56
	Einzelstrecken [Anzahl]	1	5	4	6	-	3	2
	Streckenzüge [Anzahl]	1	5	1	1	-	2*	2
	mittlere Länge Einzelstrecken [km]	0,04	0,40	0,28	0,09	-	0,46	0,28
	maximale Länge Einzelstrecken [km]	0,04	0,50	0,44	0,17	-	0,60	0,38
	minimale Länge Einzelstrecken [km]	0,04	0,33	0,17	0,02	-	0,18	0,18
	U(P)/Einzelstrecke*a	1,4	1,2	0,3	0,2	-	2,9	0,8
	URad(P)/Einzelstrecke*a	0,2	0,4	0,0	0,1	-	1,9	0,8
	U(SS)/Einzelstrecke*a	0,0	0,2	0,0	0,1	-	0,3	0,0
A3	Streckenlänge [km]	-	0,88	-	0,76	0,42	0,52	-
	Einzelstrecken [Anzahl]	-	1	-	10	3	1	-
	Streckenzüge [Anzahl]	-	1	-	3	2	1	-
	mittlere Länge Einzelstrecken [km]	-	0,88	-	0,08	0,14	0,52	-
	maximale Länge Einzelstrecken [km]	-	0,88	-	0,19	0,18	0,52	-
	minimale Länge Einzelstrecken [km]	-	0,88	-	0,01	0,08	0,52	-
	U(P)/Einzelstrecke*a	-	4,4	-	0,7	0,3	2,5	-
	URad(P)/Einzelstrecke*a	-	1,4	-	0,3	0,0	0,8	-
	U(SS)/Einzelstrecke*a	-	0,2	-	0,0	0,0	1,0	-

\* zwei entgegengesetzte Einbahnstraßen

Tab. 4: Detaillierte Zusammensetzung der Querschnittstypen A2 und A3

### 3.1.2 Unfallkollektiv

Für alle sieben Untersuchungsstädte liegen Daten der polizeilichen Unfallaufnahme in standardisierter sowie georeferenzierter Form vor und können so den jeweiligen Untersuchungstrecken zugeordnet werden. Das vorliegende Format erlaubt es im Rahmen der Auswertung aller Streckenabschnitte jedoch nicht, Unfallumstände detailliert aufzuklären. Dies betrifft beispielsweise die Fragestellung nach der konkreten Örtlichkeit von Radverkehrsunfällen (Fahrbahn oder Gehweg). Aus diesem Grund wurde eine Analyse ausgewählter Unfallsituationen (siehe Kapitel 3.5) auf Basis der Beschreibungen zu den Unfallhergängen (Unfalltexte) durchgeführt. Entsprechende Daten lagen für die beiden Städte Chemnitz und Dresden vor.

Neben der Verfügbarkeit von Unfalltexten ergeben sich im Hinblick auf den Datenumfang weitere Einschränkungen: So ist nicht in jeder Stadt der angestrebte Fünfjahreszeitraum verfügbar. Für die Städte Bielefeld, Dortmund und Mannheim lagen Unfalldaten von vier Jahren (2007-2010) und für Offenburg von drei Jahren (2008-2010) vor. Hinsichtlich der Unfälle mit Sachschaden sind ebenfalls Einschränkungen zu verzeichnen. So standen die Unfälle mit Sachschaden (Kat. 4-6) für die Städte Berlin, Mannheim und Offenburg für ein Jahr (2010) zur Verfügung. Für die Stadt Dortmund lagen nur Unfälle der Kategorien 1 bis 4 vor. Um einen einheitlichen Vergleichszeitraum zu schaffen, werden die Daten jeweils auf ein Jahr normiert. Für Dortmund waren ausschließlich Daten zu den Kategorien 1 bis 4 verfügbar, weshalb diese Stadt nur dann in die Analysen einbezogen werden kann, wenn leichte Sachschadenumfälle (Kat. 5) sowie Sachschadenumfälle unter Einfluss berauschender Mittel (Kat. 6) in die Betrachtung nicht mit einfließen.

Ein Überblick über die verfügbaren Unfalldaten zeigt Tabelle 6.

Bielefeld (BI), Mannheim (MA) und Offenburg (OG) weisen bei den leichten Sachschadenumfällen (Kat. 5) einen deutlich geringeren Anteil auf als die anderen drei Städte. Bei den Absolutwerten der Unfalldichte fällt dieser Effekt noch klarer aus, weshalb strukturelle Unterschiede im Unfallgeschehen als alleinige Ursache nicht infrage kommen.

Daraus ergibt sich die Vermutung, dass in den Städten Bielefeld, Mannheim und Offenburg die Unfälle der Kategorie 5 systematisch anders erhoben werden als in den übrigen Städten und die

Häufigkeit dieser Unfälle somit nicht über alle Städte vergleichbar ist. Erfahrungen aus anderen Untersuchungen bestätigen diesen Umstand (MAIER & HANTSCHER [MAI12A]).

Bei den anderen Unfallkategorien sind zwar ebenfalls Schwankungen der Unfalldichte zu verzeichnen, diese liegen jedoch durch die grundsätzlich geringeren Fallzahlen im Erwartungsbereich und sind eher ein Ausdruck struktureller Unterschiede im Unfallgeschehen.

Als Konsequenz aus den aufgeführten Inkonsistenzen im Unfalldatensatz müssen im Rahmen der Unfallstrukturanalyse (Kapitel 3.2) entweder die Anzahl der Untersuchungsstädte oder die Anzahl der betrachteten Unfallkategorien reduziert werden. Folgende zwei Teilkollektive sind daher eindeutig voneinander abzugrenzen:

- Unfälle der Kategorie 1 bis 4 in allen Untersuchungsstädten,
- Unfälle der Kategorie 1 bis 6 in den Städten Berlin, Chemnitz und Dresden.

Stadt	Unfalldaten		
	Zeitraum	Unfallkategorie	Unfalltexte
Berlin	2006-2010	1-6*	nein
Bielefeld	2007-2011	1-6	nein
Chemnitz	2006-2010	1-6	ja
Dortmund	2007-2010	1-4	nein
Dresden	2006-2010	1-6	ja
Mannheim	2007-2010	1-6*	nein
Offenburg	2008-2010	1-6*	nein

\* Unfälle der Kategorien 4-6 ausschließlich für 2010

Tab. 6: Übersicht Unfalldaten

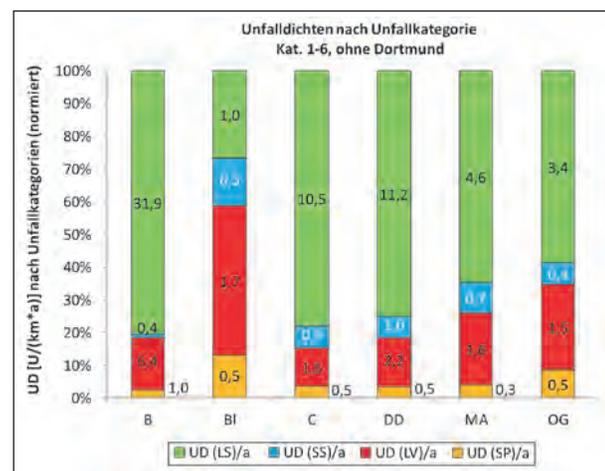


Bild 8: Unfalldichten je Kategorie und Stadt im Primärkollektiv

Hierzu ist zu erwähnen, dass durch die Städte Berlin, Chemnitz und Dresden lediglich ein Drittel der Streckenabschnittslänge mit Schutzstreifen abgedeckt wird, obwohl mehr als 80 % der Gesamtstreckenlänge in diesen Städten zu verzeichnen ist (vgl. Kapitel 3.1.1, Tabelle 3 und Kapitel 3.2, Bild 9).

### 3.1.3 Vergleichbarkeit von Primärkollektiv und Ergänzungskollektiv in Berlin

Im Kapitel 3.1.1 wurde die grundsätzliche Möglichkeit dargestellt, das (primäre) Untersuchungskollektiv der Schutzstreifenstrecken, bei dem die Breitenabmessungen den Vorgaben in der Querschnittsdefinition entsprechen, durch die Einbeziehung zusätzlicher Querschnittstypen in Berlin zu erweitern. Als Voraussetzung für eine gemeinsame Auswertung muss jedoch die Struktur des Unfallgeschehens auf den potenziellen Ergänzungsstrecken mit der des Primärkollektives vergleichbar sein.

Aus diesem Grund wurden die Berliner Streckenabschnitte mit Schutzstreifen der primären Typisierung (A2, A3, B1) sowie dem Ergänzungskollektiv (G1-G4) vergleichend analysiert. Es hat sich dabei gezeigt, dass ein eingeschränkt vergleichbares Bild bezüglich Unfalldichte und Unfalltypenverteilung gewonnen wird (siehe Anlage 4)

Da der Querschnittstyp G1 überhaupt nicht und der Typ G3 nur mit einer Länge von insgesamt 190 m vorkommt, werden in der anschließenden Unfallstrukturanalyse Schutzstreifenabschnitte auf zweistreifigen Straßen in Berlin mit einer Fahrbahnbreite von über 8,5 m (QS-Typ G2) sowie solche auf vierstreifigen Straßen mit einer Breite von mehr als 14,0 m (QS-Typ G4) für eine ergänzende Betrachtung herangezogen. Dabei muss jedoch auf mögliche Besonderheiten in der Interpretation der Ergebnisse aufgrund der strukturellen Abweichungen sowohl im Unfallgeschehen als auch bei der mutmaßlichen Interaktionsintensität zwischen Rad- und Kfz-Verkehr geachtet werden. Eine Zusammenfassung dieser Streckenabschnitte mit solchen der primären Typisierung (bspw. zur Anpassung Unfallkostensätze, vgl. Kapitel 3.2.3) ist somit nicht möglich, das heißt: Die Querschnittstypen G2 und G4 sind grundsätzlich getrennt vom Primärkollektiv zu betrachten. Zur besseren Unterscheidung wird die Gesamtheit der Querschnittstypen G2 und G4 im Folgenden als Ergänzungskollektiv bezeichnet.

## 3.2 Unfallstruktur

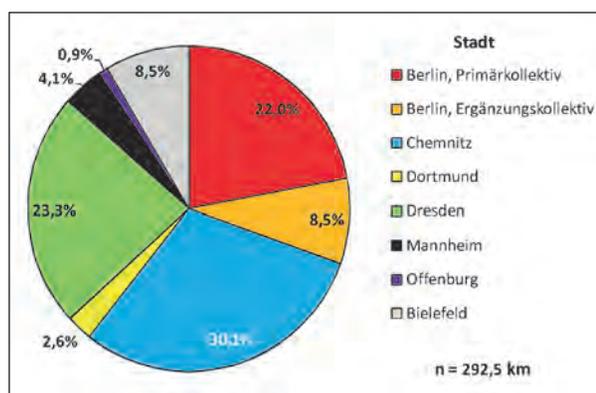
### 3.2.1 Einführung

Durch die in Kapitel 3.1.3 erläuterte Einbeziehung von ergänzenden Strecken mit Schutzstreifen in Berlin bilden insgesamt 292,5 km Strecken den Untersuchungsumfang. Dabei haben nur solche Streckenabschnitte in die Auswertung Eingang gefunden, deren Charakteristik den Kriterien der in Kapitel 1.5.1 dargestellten Querschnittstypisierung sowie den Typen G2 und G4 des Ergänzungskollektives entspricht.

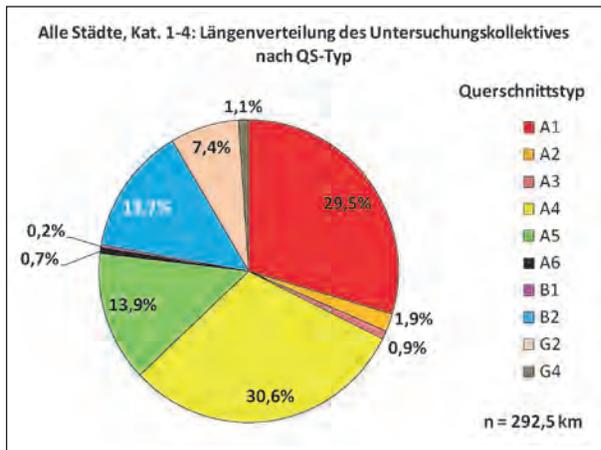
Die Streckenlängen sind über die einzelnen Städte nicht gleichmäßig verteilt. Insgesamt entfallen rund 84 % der Längen auf die drei Städte Berlin, Dresden und Chemnitz, während sich Bielefeld, Mannheim, Dortmund und Offenburg in die übrigen 16 % aufteilen (vgl. Bild 9). Dieses Ungleichgewicht beruht auf folgenden drei Ursachen:

- Für Dortmund sind ausschließlich Daten für den Innenstadtbereich verfügbar.
- In Mannheim wird der Radverkehr auf Hauptverkehrsstraßen nur in geringem Umfang im Mischverkehr geführt.
- Aus Bielefeld und Offenburg werden ausschließlich ausgewählte Strecken des Radverkehrs im Mischverkehr in das Kollektiv einbezogen.

Es ist jedoch zu beachten, dass im Primärkollektiv die Dominanz der drei ostdeutschen Städte ausschließlich auf die Querschnitte im reinen Mischverkehr wirkt, während für Strecken mit Schutzstreifen eine ausgewogene Längenverteilung vorliegt. Das Ergänzungskollektiv beschränkt sich auf die Stadt Berlin.



**Bild 9:** Längenverteilung des Untersuchungskollektives nach Städten



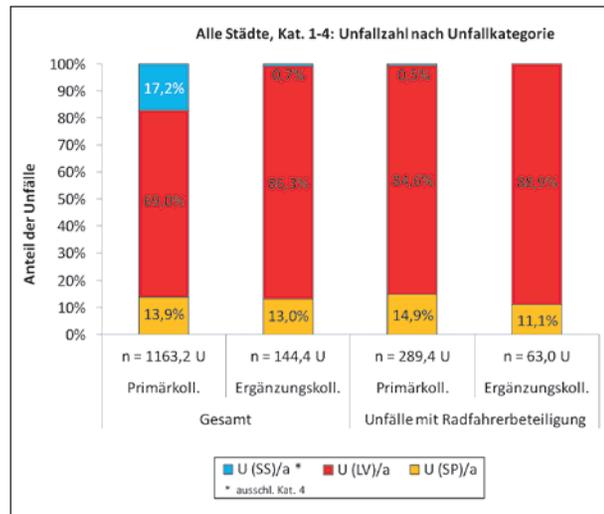
**Bild 10:** Längenverteilung des Untersuchungskollektives nach Querschnittstyp

Auch die Längenverteilung innerhalb der Querschnittstypen zeigt das bereits in Kapitel 3.1.1 erwähnte deutliche Ungleichgewicht (vgl. Bild 10). Die vier Querschnittstypen, welche den Mischverkehr ohne Schutzstreifen repräsentieren (A1, A4, A5 und B2), sind mit Werten zwischen 40,1 km und 89,5 km in der Untersuchung vertreten. Die Querschnittstypen mit Schutzstreifen kommen im Primärkollektiv (A2, A3, A6 und B1) dagegen insgesamt nur mit 10,9 km Länge vor. Aus der Kommunalrecherche und anschließenden Ortsbesichtigungen zeigte sich die sehr geringe Verbreitung der Einsatzfälle von Schutzstreifen im eingangs definierten Sinn.

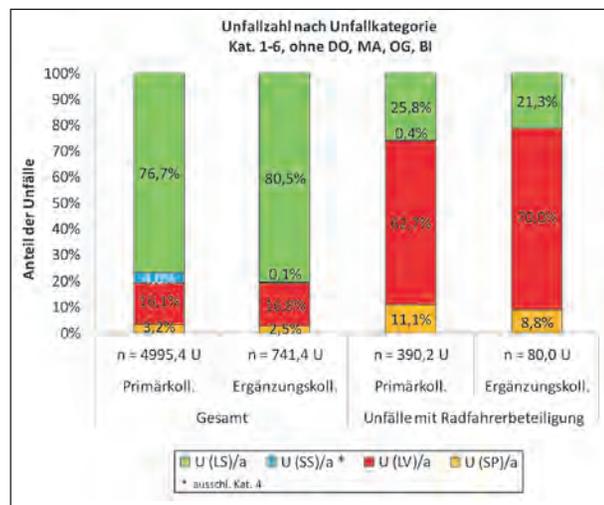
Vor allem bei der Unterscheidung von Straßenkollektiven nach weiteren sicherheitsrelevanten Kriterien erschwert daher die geringe Kollektivgröße in einzelnen Querschnittstypen die Interpretation.

Insgesamt liegen ca. 22.600 Unfälle auf den Untersuchungsstrecken der Auswertung zugrunde. Da die Betrachtungszeiträume der Unfälle mit Personenschaden je Stadt zwischen drei und fünf Jahre sowie bei den Sachschadensunfällen zwischen einem und fünf Jahren betragen, werden die Unfallzahlen grundsätzlich auf ein Jahr normiert (vgl. Kapitel 3.1.2). Da die Sachschadensunfälle eine höhere Häufigkeit aufweisen und die erfassten Unfälle mit Radfahrerbeteiligung überwiegend Unfälle mit Personenschaden darstellen, ist die tendenziell längere Betrachtungszeit bei Personenschadensunfällen zur Abbildung einer größeren Fallzahl vorteilhaft.

Die Verteilung der jährlichen Unfallanzahlen nach den Unfallkategorien 1 bis 4 zeigt Bild 11. Die Unfälle mit schwerem Personenschaden erreichen in allen Teilkollektiven ein annähernd gleiches Niveau.



**Bild 11:** Anteile der Unfälle nach Unfallkategorie 1-4 in den Untersuchungskollektiven



**Bild 12:** Anteile der Unfälle nach Unfallkategorie 1-6 in den Untersuchungskollektiven

Demgegenüber treten Unfälle der Kategorie 4 innerhalb der Ergänzungskollektives und auch bei den Radverkehrsunfällen des Primärkollektives nur sehr selten auf, während sie auf Ebene aller Unfälle im Primärkollektiv einen Anteil von 18,5 % aufweisen.

Die Verteilung der Unfallzahlen über alle Unfallkategorien (auf Basis der drei ostdeutschen Städte) zeigt einen deutlicher Unterschied zwischen den Unfällen mit Radverkehrsbeteiligung und dem Gesamtunfallgeschehen (Bild 12). Der Anteil der schweren Personenschadensunfälle liegt bei Radverkehrsbeteiligung etwa um den Faktor 3,5 über dem Wert des Gesamtkollektives.

Die Unfälle mit leichtem Personenschaden nehmen bei Radverkehrsbeteiligung einen Anteil von ca. zwei Drittel aller Unfälle ein, während ihr Anteil im

Gesamtkollektiv mit lediglich rund 15 % um den Faktor 4 niedriger liegt.

Bei Einbezug der leichten Sachschadenunfälle kehrt sich das Bild um. Die Vielzahl der leichten Unfälle prägt aber das Gesamtbild aller Unfälle.

Generell bestätigt sich in dieser Auswertung die Erkenntnis vorangegangener Untersuchungen, dass bei den polizeilich erfassten Radverkehrsunfällen die Personenschadenunfälle überwiegen und die Sachschadenunfälle einen deutlich geringeren Anteil einnehmen als beim Unfallgeschehen mit alleiniger Kfz-Beteiligung. Dies ist teilweise auf die größere Unfallschwere der Radverkehrsunfälle, teilweise aber auch durch die höhere Dunkelziffer nicht erfasster Sachschadenunfälle mit Radverkehr zurückzuführen.

Die detaillierte tabellarische Übersicht über die Unfallzahlen in den einzelnen Teilkollektiven findet sich in Anlage 6.

### 3.2.2 Unfalldichte

Als Kenngröße für den Sicherheitsgrad unterschiedlicher Querschnittstypen wird die Anwendung der Unfalldichte sowie der Unfallkostendichte (vgl. Kapitel 3.2.3) geprüft. Dies berücksichtigt die unterschiedliche Verbreitung und Anwendungshäufigkeit der verschiedenen Querschnittslösungen. Ein Bezug auf die Verkehrsstärke und zur Bildung von Unfallraten ist nicht möglich, da zum einen die Verkehrsstärke des Radverkehrs nur ausnahmsweise bekannt ist und zum anderen ein Zusammenhang des Radverkehrsunfallgeschehens mit der Kraftfahrzeugverkehrsstärke nicht festgestellt werden konnte (vgl. Kapitel 3.2.4 und ALRUTZ et al. [ALR09]). Um dennoch die Kfz-Verkehrbelastung bei der Auswertung zu differenzieren, wurde die Kraftfahrzeugverkehrsstärke in einer Klasseneinteilung als Einsatzkriterium bereits bei der Definition der Querschnittstypen berücksichtigt.

Die Verteilung der Unfalldichte aller Unfälle mit den Kategorien 1 bis 4 ist in Bild 13 dargestellt. Da die einzelnen Querschnittstypen mit Schutzstreifen jeweils eine geringe Länge aufweisen, werden diese sinnvoll zusammengefasst. Dies betrifft die Querschnittstypen A2 und A3, welche sich lediglich hinsichtlich der Kfz-Verkehrsstärke unterscheiden (vgl. Kapitel 1.5.1); analog dazu werden auch die komplementären Querschnittstypen A4 und A5 (ohne Schutzstreifen) zusammengefasst. Die weiteren

Querschnittstypen werden separat dargestellt. Auf eine Darstellung des Ergänzungskollektives wird in diesem Zusammenhang verzichtet.

Im Bereich der zweistreifigen Querschnitte ist festzustellen, dass die Streckenabschnitte mit Schutzstreifen höhere Unfalldichten aufweisen als die entsprechenden Fälle mit reinem Mischverkehr. Das heißt, der direkte Vergleich bei den Querschnitten mit 7,0 m bis 8,5 m Breite weist bei den Querschnitten mit Schutzstreifen (A2 und A3) eine annähernd anderthalb mal so hohe Unfalldichte der Unfälle mit Personenschaden auf im Vergleich zum reinen Mischverkehr (A4 und A5). Die Unfalldichte der Unfälle mit Personenschaden auf den schmalen Querschnitten mit reinem Mischverkehr (A1) ist ebenfalls niedriger als bei den entsprechenden Streckenabschnitten mit einseitigem Schutzstreifen (A6).

Bei den vierstreifigen Querschnittstypen des Primärkollektives besitzen die Strecken im reinen Mischverkehr (B2) eine um etwa den Faktor 3 höhere Unfalldichte als vergleichbare Querschnitte mit Schutzstreifen (B1). Im Querschnittstyp B2 treten auch allgemein die höchste Dichte bei Personenschadenunfällen und die zweithöchste bei den Sachschadenunfällen auf.

Hinsichtlich der Unfälle der Kategorie 4 zeigt sich, dass die Unfalldichten beim Vergleich der jeweils vergleichbaren Querschnittstypen mit bzw. ohne Schutzstreifen (A1 mit A6, A2/A3 mit A4/A5, B1 mit B2) in allen Fällen etwa auf einem Niveau liegen. Die Unterschiede in der Radverkehrsführung lassen sich ausschließlich bei den Personenschadenunfällen erkennen.

Für die vorliegende Untersuchung ist neben der Betrachtung des Gesamtunfallgeschehens das Ergebnis der Sicherheit im Radverkehr von besonderer Bedeutung. Bild 14 zeigt die Unfalldichten der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung, wobei die Untersuchungsstrecken der Querschnittstypen A2 und A3 sowie A4 und A5 ebenfalls zusammengefasst wurden.

Während Sachschadenunfälle der Kategorie 4 keine Rolle spielen, sind dieselben Auffälligkeiten wie bei allen Unfällen zu erkennen – hinsichtlich der zweistreifigen Querschnitte allerdings in anderen Größenordnungen. So weisen zweistreifige Fahrbahnen mit Schutzstreifen und einer Breite von 7,0 bis 8,5 m (A2 und A3) zweieinhalb mal so hohe Unfalldichte der Unfälle mit Personenschaden auf als ihre vergleichbaren Pendanten im reinen Mischver-

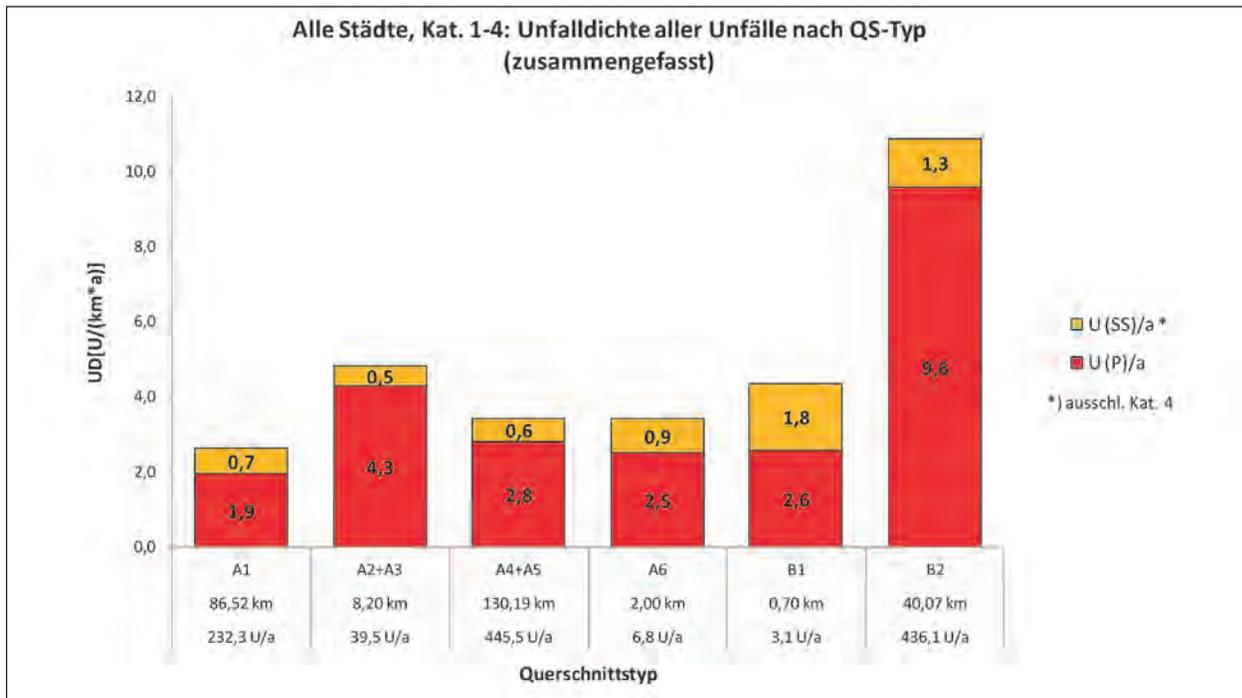


Bild 13: Unfalldichte aller Unfälle nach Querschnittstyp

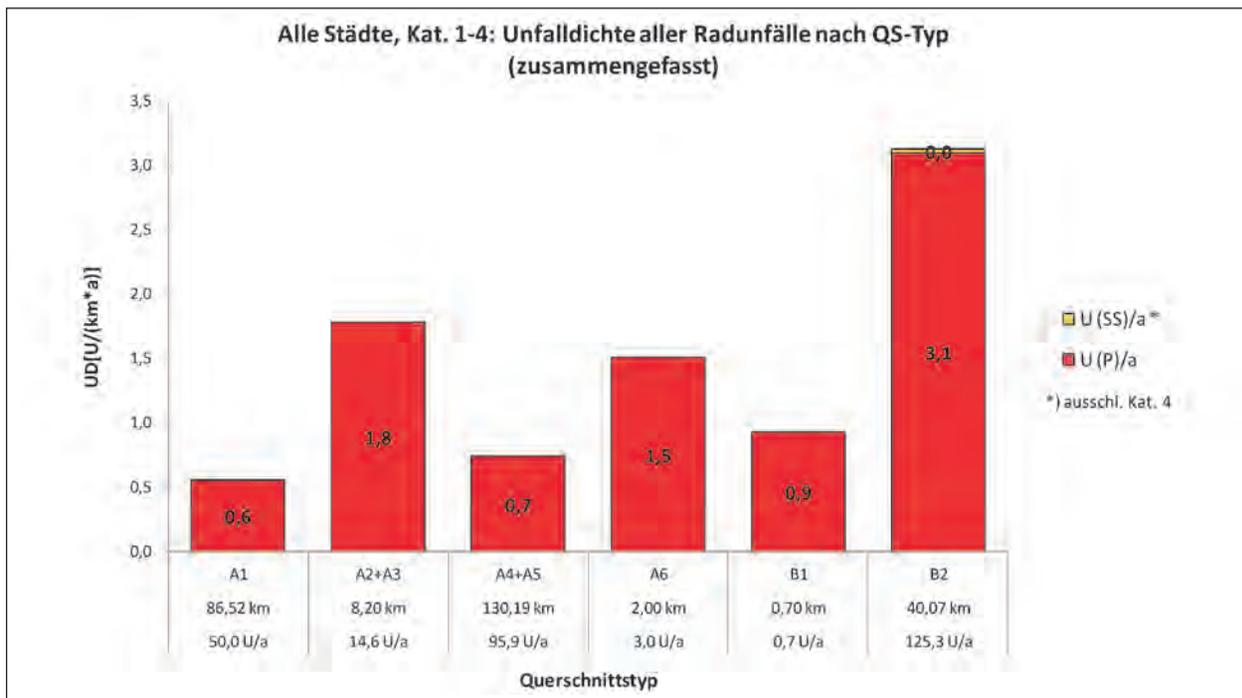


Bild 14: Unfalldichte der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung nach Querschnittstyp

kehr (A4 und A5). Bei den schmalen zweistreifigen Querschnitten sind mit (einseitigem) Schutzstreifen (A6) etwa anderthalb mal so hohe Unfalldichten wie im reinen Mischverkehr (A1) zu verzeichnen.

Bei den vierstreifigen Fahrbahnen weisen auch bei Betrachtung der Radverkehrsunfälle Strecken im reinen Mischverkehr (B2) eine um etwa den Faktor

3 höhere Unfalldichte als vergleichbare Querschnitte mit Schutzstreifen (B1) auf. Allerdings schränkt die kleine Streckenlänge bei B1 die Belastbarkeit dieser Aussage erheblich ein.

Zum Vergleich: Auf Basis von 17 zweistreifigen und drei vierstreifigen Streckenabschnitten mit Schutzstreifen ermittelten ALRUTZ et al. [ALR09] mittlere

Unfalldichten der Radverkehrsunfälle (Kategorie 1-4) von etwa 1 U/(km\*a).

Der Einfluss der Kraftfahrzeugbelastung lässt sich tendenziell bei einer Differenzierung nach den Querschnittstypen A2 und A3 sowie A4 und A5 erkennen. Wegen der geringen Fallzahl sind die Ergebnisse aber nicht verallgemeinerbar (siehe Anlage 6). Es zeigt sich aber eine Tendenz, dass sich eine hohe Kfz-Belastung vor allem bei reinem Mischverkehr ohne Schutzstreifen nachteilig auf die Unfallzahl des Radverkehrs auswirkt.

In den Städten Berlin, Chemnitz und Dresden wird die Analyse auch auf die Unfallkategorien 5 und 6 erweitert (siehe Anlage 8), bei denen höhere Gesamtunfalldichten aufgrund der größeren Absolutzahlen auftreten. Dabei bleiben die bereits genannten Zusammenhänge zwischen den einzelnen Querschnittstypen grundsätzlich bestehen. Die einzige Abweichung in diesem Teilkollektiv besteht im QS-Typ A2 (mit Schutzstreifen, geringe Kfz-Belastung), dessen Gesamtunfalldichte in Vergleich zu den anderen Querschnitten niedrig ist und unter dem Wert des vergleichbaren Typs mit reinem Mischverkehr (A4) liegt.

Der Vergleich zum bisherigen Kenntnisstand aus der Literatur (vgl. Kapitel 2.2.3) mit den Darstellungen in Bild 13 und Bild 14 lässt zur längenbezogenen Unfallhäufigkeit (Unfalldichten) folgende Schlussfolgerungen erkennen:

- Alle Unfälle sind auf den zweistreifigen Querschnitten mit einem DTV > 12.000 Kfz/24h deutlich häufiger als bei einem DTV < 12.000 Kfz/24h.
- Die (längenbezogene) Häufigkeit der Radverkehrsunfälle unterscheidet sich bei den zweistreifigen Querschnitten mit Schutzstreifen und einem DTV > 12.000 Kfz/24h sowie < 12.000 Kfz/24h kaum. Im Mischverkehr (Querschnitte A4 und A5) ist dies anders.
- Bei tendenziell geringer belasteten Strecken ohne Schutzstreifen (Querschnittstypen A1 und A4) hat die Breite über oder unter 7 m offensichtlich keinen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit, sowohl insgesamt als auch für den Radverkehr.
- Bei Querschnitten mit zwei Fahrstreifen haben solche mit Schutzstreifen (A2, A3, A6) sowohl insgesamt als auch bei Radverkehrsunfällen eine erhöhte Unfalldichte gegenüber denjenigen mit Mischverkehr ohne Schutzstreifen (A1, A4, A5).

- Bei Querschnitten mit 4 Fahrstreifen sind diese Unfalldichten-Unterschiede in der Form der Radverkehrsführung nicht zu erkennen, die Zahlen sind allerdings auch mengenmäßig wenig belastbar.

### 3.2.3 Unfallkostendichte

Zur Bestimmung der Sicherheitsgrade unterschiedlicher Querschnittstypen mit Berücksichtigung der Unfallschwere, werden Unfallkostendichten verwendet. Durch die Verwendung von Unfallkosten können Anzahl und Schwere der Unfälle zusammengefasst werden, indem volkswirtschaftliche Verluste in Form von Unfallkostensätzen den jeweiligen Unfallkategorien zugeordnet werden. Eine Berechnung von aussagefähigen Unfallraten und -kostenraten ist nicht möglich, da entsprechend der zu untersuchenden Verkehrsteilnehmerart Radverkehrsstärken betrachtet werden müssten, welche nicht in erforderlichem Umfang vorliegen (ein Bezug auf die Kfz-Verkehrsstärke erfolgt über die Typisierung, vgl. Kapitel 1.5.1 und 3.2.2).

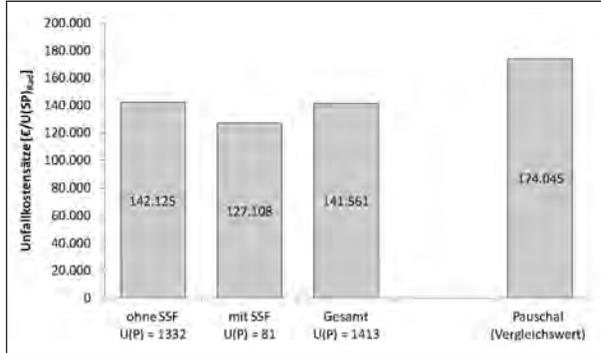
Für die Bestimmung der Unfallkostendichten werden die Unfallkostensätze für Radverkehrsunfälle der Kategorie 1-3 nach dem Preisstand 2010 (LERNER et al. [LER12]) angepasst. Entsprechend dem Untersuchungsgegenstand wurde hierbei zwischen Radverkehrsunfällen auf Streckenabschnitten mit und ohne Schutzstreifen unterschieden.

Nach den Ergebnissen des Vergleiches der Unfallstruktur von Primär- und Ergänzungskollektiv in Berlin (vgl. Kapitel 3.1.3) werden in den folgenden Auswertungen ausschließlich Streckenabschnitte der primären Querschnittstypisierung berücksichtigt.

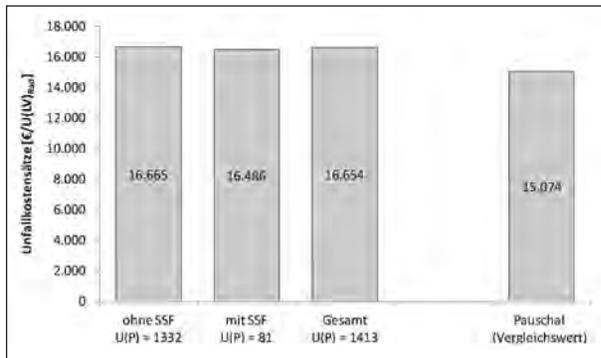
Bild 15 zeigt die angepassten Unfallkostensätze der Unfälle mit schwerem Personenschaden und Radverkehrsbeteiligung. Es ist festzustellen, dass:

- die Kostensätze auf Strecken mit Schutzstreifen deutlich unter denen ohne Schutzstreifen liegen und
- die Kostensätze der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung deutlich unter den pauschalen Unfallkostensätzen nach LERNER et al. 2012 liegen, dabei aber
- für die Anpassung der Kostensätze auf Strecken mit Schutzstreifen lediglich 81 U(P) zur Verfügung stehen, womit der Grenzwert für innerört-

liche Verkehrsstraßen von 300 U(P) nicht erreicht wird (vgl. [FGSV97]).



**Bild 15:** Angepasste Unfallkostensätze der Unfälle mit schwerem Personenschaden mit Radverkehrsbeteiligung – Primärkollektiv



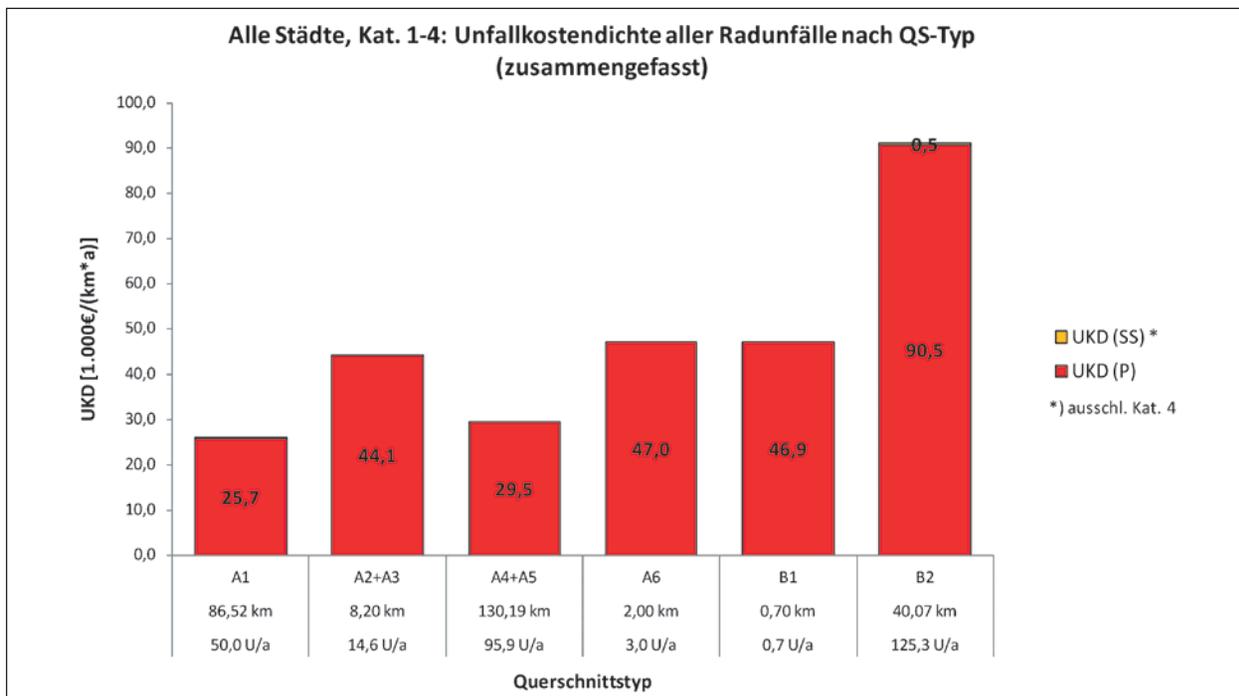
**Bild 16:** Angepasste Unfallkostensätze der Unfälle mit Leichtverletzten mit Radverkehrsbeteiligung – Primärkollektiv

Die Tendenz zur geringeren Unfallschwere bei Schutzstreifen steht im Einklang mit dem bisherigen Kenntnisstand (vgl. Kapitel 2.3).

Dass die Kostensätze der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung deutlich unter den pauschalen Unfallkostensätzen nach LERNER et al. [LER12] liegen, ist darauf zurückzuführen, dass bei Unfällen mit Radverkehrsbeteiligung meist der Radfahrer die schwersten Unfallfolgen davon trägt, während bei Unfällen zwischen Kraftfahrzeugen und schwerem Personenschaden tendenziell mehr als ein Verletzter zu beklagen ist.

Die angepassten Unfallkostensätze der Unfälle mit Leichtverletzten und Radverkehrsbeteiligung zeigen hingegen keine weiteren Auffälligkeiten (siehe Bild 16). So liegen die Kostensätze der Unfälle auf Streckenabschnitten mit und ohne Schutzstreifen etwa auf einem Niveau und geringfügig über den pauschalen Kostensätzen nach LERNER et al. [LER12].

Eine Darstellung der Sicherheitsgrade auf Basis von Unfallkostendichten der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung unter Verwendung der angepassten Kostensätze zeigt Bild 17, wobei analog zur Darstellung der Unfalldichten (vgl. Kapitel 3.2.2, Bild 13) die Querschnittstypen A2 und A3 bzw. A4 und A5 zusammengefasst wurden. Eine nach allen Querschnittstypen differenzierte Darstellung enthält Anlage 9.



**Bild 17:** Unfallkostendichte der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung; Querschnittstypen zusammengefasst

Es ergeben sich grundsätzlich die gleichen Aussagen wie bei Verwendung von Unfalldichten als Sicherheitsgrade. Bei den zweistreifigen Fahrbahnen weisen die Querschnittstypen mit Schutzstreifen (A2 und A3, A6) höhere Unfallkostendichten der Unfälle mit Personenschaden auf als im reinen Mischverkehr (A1, A4 und A5). Bei den vierstreifigen Querschnittstypen werden durch Strecken im reinen Mischverkehr (B2) deutliche höhere Unfallkostendichten der Unfälle mit Personenschaden erreicht als innerhalb vergleichbarer Querschnitte mit Schutzstreifen (B1). Die nach allen Querschnittstypen differenzierte Darstellung bringt dazu keine weiteren Erkenntnisse.

Vergleicht man die Ergebnisse mit denen nach ALRUTZ et al. [ALR09] (ca. 25.000 €/km\*a) auf Basis von 17 zweistreifigen und drei vierstreifigen Streckenabschnitten mit Schutzstreifen) zeigt sich, dass die Unfallkostendichten auf Streckenabschnitten mit Schutzstreifen (A2, A3, A6, B1) in dieser Untersuchung deutlich darüber liegen. Gründe dafür können in der Auswahl der Schutzstreifenstrecken liegen, welche im Gegensatz zu dieser Untersuchung keinen Randbedingungen zu den Querschnittsabmessungen unterlagen. Zudem ist nicht bekannt, ob in ALRUTZ et al. [ALR09] ebenfalls ausschließlich das Hauptverkehrsstraßennetz betrachtet wurde.

Aus folgenden Gründen ist allerdings von einer Verwendung der Unfallkostendichten für die weiteren Auswertungen kein Informationsgewinn zu erwarten:

- Sollen alle Städte betrachtet werden, kommt nur ein Vergleich der Unfälle der Kategorien 1-4 in Betracht (vgl. Kapitel 3.1.2). Die Beiträge durch die Unfälle der Kategorie 4 bei den Unfallkostendichten sind allerdings vernachlässigbar. Die Unterschiede in der Radverkehrsführung äußern sich ausschließlich bei den Personenschadenunfällen.

Innerhalb der Anpassung der Unfallkostensätze der Unfälle Personenschaden und Radverkehrsbeteiligung auf Streckenabschnitten mit Schutzstreifen wird der Grenzwert von 300 U(P) nicht erreicht, so dass ggf. erkennbare Unterschiede nicht als gesichert gelten können.

### 3.2.4 Einfluss der Kfz-Verkehrsstärke auf das Unfallgeschehen

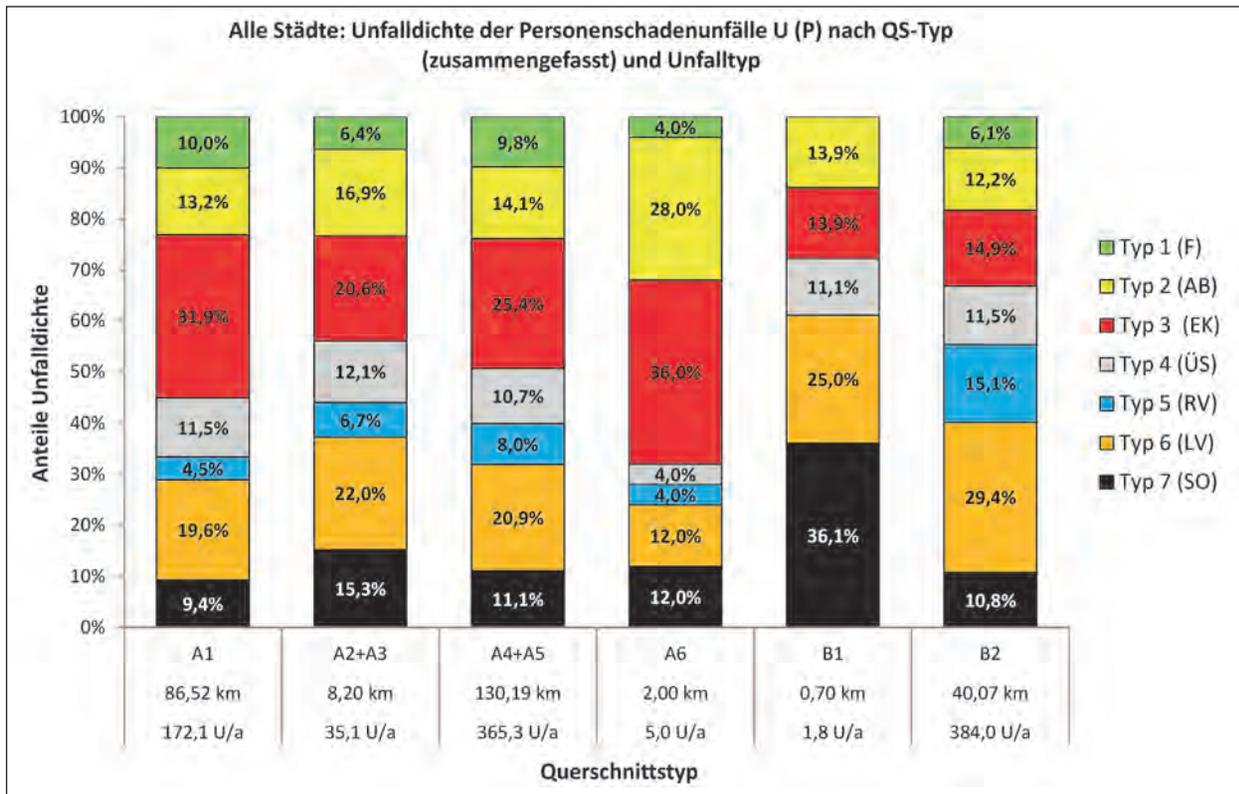
Die Analyse des bisherigen Erkenntnisstandes (bspw. ALRUTZ et al. [ALR09]) sowie die bisherigen Auswertungen (vgl. Kapitel 3.2.2) lassen keinen systematischen Einfluss der Kfz-Verkehrsstärke auf das Unfallgeschehen erkennen. Um dies zu überprüfen, wurden die Unfalldichten der Unfälle mit Personenschaden der einzelnen Untersuchungsstrecken dem entsprechenden DTV der Querschnittstypen A2 und A3 (zusammengefasst), A4 und A5 (zusammengefasst), B1 sowie B2 gegenübergestellt (vgl. Anlage 10). Es hat sich über alle Querschnittstypen kein eindeutiger Einfluss der Verkehrsstärke des Kfz-Verkehrs sowohl auf die Unfalldichte aller Unfälle mit Personenschaden als auch der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung ableiten lassen.

### 3.2.5 Unfalltyp

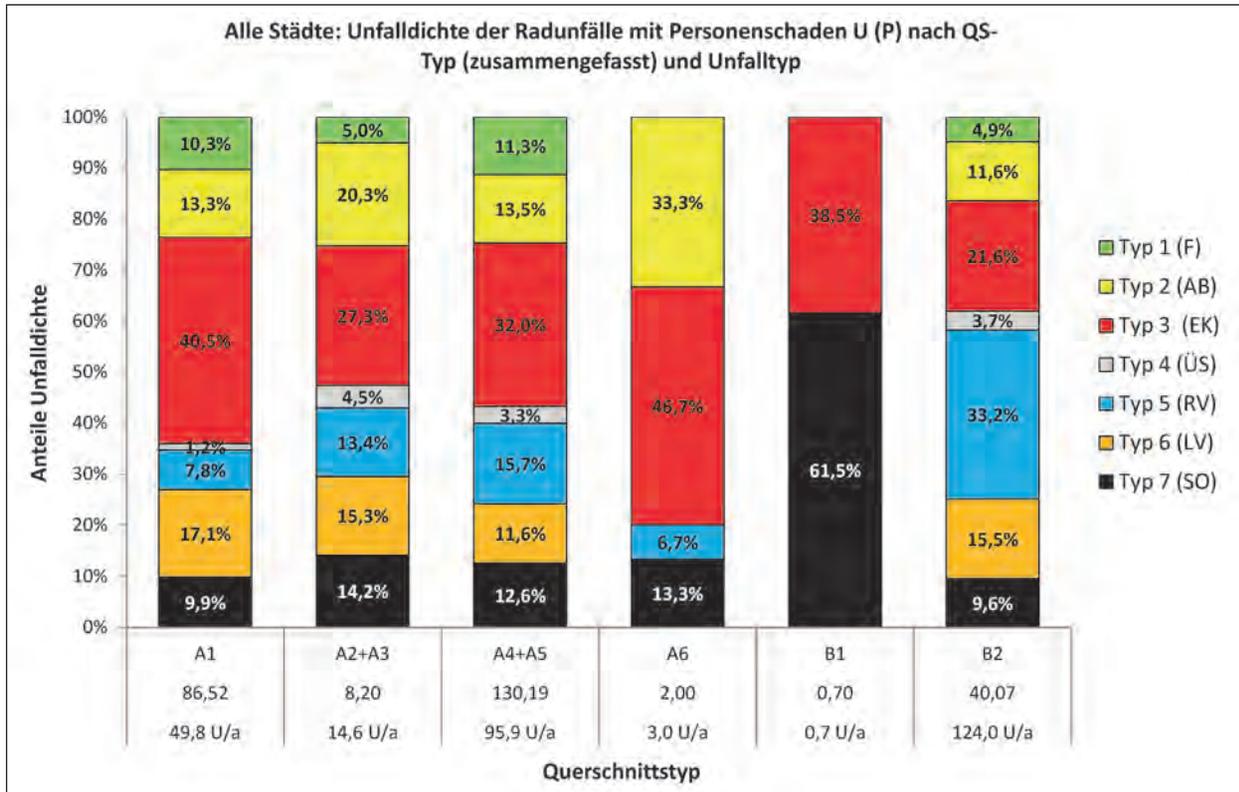
Die Verteilung aller Personenschadenunfälle auf die Unfalltypen ist in Bild 18 aufgeschlüsselt. Die Querschnittstypen A2 und A3 sowie A4 und A5 wurden zunächst zusammengefasst. Dabei fällt auf, dass Fahrurfälle (Typ 1) auf Querschnitten mit reinem Mischverkehr grundsätzlich einen höheren Anteil darstellen als auf den jeweils zugehörigen Pendants mit Schutzstreifen (z. B. A4 und A5 gegenüber A2 und A3). Die Rolle der zunehmenden Fahrurfälle im Mischverkehr soll und kann hier nicht vertieft untersucht werden.

Bei den für Knotenpunkte charakteristischen Unfalltypen 2 und 3 ist ebenfalls ein klarer Unterschied zwischen den betrachteten Radverkehrsführungsformen erkennbar. Während bei den Abbiege-Unfällen (Typ 2) die Querschnitte mit Schutzstreifen jeweils einen höheren Anteil als bei den Vergleichstypen mit reinem Mischverkehr aufweisen, ist bei den Einbiegen-/Kreuzen-Unfällen (Typ 3) genau der gegenteilige Effekt zu erkennen. Auch die sonstigen Unfälle (Typ 7) sind auf den Schutzstreifenstrecken grundsätzlich stärker vertreten. Bei den Überschreiten-Unfällen (Typ 4), Unfälle durch ruhenden Verkehr (Typ 5) und Unfälle im Längsverkehr (Typ 6) ergibt sich kein eindeutiges Bild. Die Aussagen aus dem bisherigen Kenntnisstand zum Beitrag des ruhenden Verkehrs können daher nicht bestätigt werden.

Bei alleiniger Betrachtung der Personenschadenunfälle mit Radverkehrsbeteiligung treten im Be-



**Bild 18:** Unfalldichte aller Personenschadenunfälle nach Unfalltyp; Querschnittstypen zusammengefasst



**Bild 19:** Unfalldichte der Personenschadenunfälle mit Radverkehrsbeteiligung nach Unfalltyp; Querschnittstypen zusammengefasst

reich der zweistreifigen Querschnitte des Primärkollektives bei den Unfalltypen 1, 2, 3 und 7 dieselben strukturellen Effekte auf wie in der Gesamtheit

aller Personenschadenunfälle (Bild 19). Die Differenzen in den relativen Anteilen zwischen den Radverkehrsführungsformen sind jedoch stärker aus-

geprägt. Ausnahmen der Unfalltyp 3 bei den einseitigen Schutzstreifen (A6), welche sich jeweils dem beschriebenen Trend entziehen. Ein Vergleich der beiden vierstreifigen Querschnittstypen B1 und B2 ist aufgrund sehr geringer Fallzahlen in B1 nicht möglich.

Die Analyse der Auswertungen aller Unfälle mit Personenschaden sowie der Radverkehrsunfälle mit Personenschaden differenziert nach allen Querschnittstypen (Anlage 11) bestätigt die festgestellten Tendenzen. Aus dieser Struktur ist darüber hinaus abzuleiten, dass die Zunahme von Unfällen bei den Querschnitten mit Schutzstreifen tendenziell bei geringen Verkehrsstärken des Kfz-Verkehrs aus Längsverkehrs- und sonstigen Unfällen und bei höherer Kfz-Belastung ebenfalls aus sonstigen aber auch Überschreiten- sowie Abbiege-Unfällen (Knotenpunktunfällen) herrührt. Die Analyse des Ergänzungskollektives liefert keine weiteren Erkenntnisse.

Eine deutlich andere Verteilung der Unfalltypen je Querschnittstyp liegt bei den Sachschadenunfällen in den drei ostdeutschen Untersuchungsstädten vor (Anlage 12). Die Anteile der Fahrnfälle sowie der knotenpunktbezogenen Unfalltypen Abbiegen und Einbiegen/Kreuzen sind hier deutlich schwächer ausgeprägt und es ist kein eindeutiger Unterschied zwischen den Radverkehrsführungsformen mehr erkennbar. Auf der anderen Seite nehmen Unfälle im ruhenden Verkehr sowie im Längsverkehr erheblich mehr Bedeutung ein als bei den Personenschadenunfällen. Allerdings ist diese Analyse aufgrund geringer Fallzahlen und teilweise nicht besetzter Typklassen kaum zu interpretieren.

Zur Klärung der genauen Unfallumstände wurde für ausgewählte Streckenabschnitte innerhalb der Städte Dresden und Chemnitz zusätzlich eine Analyse der Verkehrsunfallanzeigen mit Beschreibungen zum Unfallhergang durchgeführt. (vgl. Kapitel 3.5).

### 3.2.6 Beteiligte

Bei 28 % aller Unfälle der Kategorien 1 bis 4 auf den Strecken des Primärkollektives sind Radfahrer beteiligt (Tabelle 7). Radfahrer werden auf Querschnitten mit Schutzstreifen häufiger als Hauptunfallverursacher eingestuft (13,3 % bis 14,7 %) als auf den Strecken im reinen Mischverkehr (7,8 % bis 10,3 %). Bei schmalen Quer-

QS-Typ	U <sub>Gesamt</sub> /a	U <sub>Rad</sub> /a			
		Hauptunfallverursacher		weiterer Unfallbeteiligter	
		Anz.	Anteil an U <sub>Gesamt</sub>	Anz.	Anteil an U <sub>Gesamt</sub>
A1	232,3	23,6	10,2 %	28,1	12,1 %
A2	22,8	3,1	13,7 %	7,1	31,3 %
A3	16,7	2,4	14,1 %	2,9	17,1 %
A4	239,1	20,5	8,6 %	30,1	12,6 %
A5	206,4	16,1	7,8 %	31,7	15,3 %
A6	6,8	1,0	14,7 %	2,0	29,4 %
B1	3,1	0,5	14,8 %	0,2	6,6 %
B2	436,1	44,9	10,3 %	85,1	19,5 %
G2	120,4	19,8	16,4 %	36,0	29,9 %
G4	24,0	3,2	13,3 %	7,6	31,7 %
Σ	1.307,7	135,1	10,3 %	230,8	17,6 %

Tab. 7: Verkehrsbeteiligung der Radfahrer an allen Unfällen (Kat. 1-4)

schnitten (A1) liegen die Anteile hauptbeschuldigter Radfahrer im hohen Bereich. Ein Unterschied zwischen Primär- und Ergänzungskollektiv bzw. zwischen zwei- und vierstreifigen Straßen innerhalb des Primärkollektives ist hierbei nicht auszumachen. Der Radfahreranteil an den weiteren Unfallbeteiligten ist in allen Querschnitten mit Ausnahme des Typs B1 höher als bei den Hauptunfallverursachern, wobei teilweise mehr als der doppelte Wert erreicht wird. Betrachtet man nur die vierstreifigen Querschnitte, dann weisen auch bei den weiteren Unfallbeteiligten die Radfahrerunfälle auf Schutzstreifenabschnitten wiederum mit Ausnahme des Querschnittes B1 einen höheren Anteil als im reinen Mischverkehr auf.

Dass die Gesamtanzahl der Unfälle (Anzahl Unfälle der Hauptunfallverursacher und der weiteren Beteiligten) nach Tabelle 7 die eigentliche Summe der Radverkehrsunfälle übersteigt ist auf Unfälle zwischen zwei oder mehr Radfahrern zurückzuführen. So gehen Unfälle mit zwei Radfahrern doppelt ein.

Die Analyse der der Unfallbeteiligten im Kollektiv der Radverkehrsunfälle (siehe Anlage 13) zeigt, dass in allen Querschnittstypen mit Ausnahme des Typs B1 Radfahrer überwiegend nicht Hauptunfallverursacher sind. Strukturelle Unterschiede zwischen Schutzstreifen und reinem Mischverkehr sind nicht erkennbar.

### 3.3 Streckencharakteristik und Unfalldichte

#### 3.3.1 Einführung

Zur Identifikation weiterer Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit von Radverkehr im Mischverkehr wird das Unfallgeschehen verschiedenen baulichen und betrieblichen Merkmalen gegenübergestellt. Als Kenngröße wird die Unfalldichte der Unfälle vorrangig der Kategorien 1-4 betrachtet (vgl. Kapitel 3.1.2). Folgende Kriterien werden im Einzelnen betrachtet (vgl. Kapitel 3.1.1, Tabelle 5):

- Längenbezogene Häufigkeit von Einmündungen und Zufahrten, nachfolgend auch als „Dichte von Einmündungen und Zufahrten“ bezeichnet: Vor allem bei Radverkehrsführungen im Seitenraum ist die Unfallgefahr des Radverkehrs nach bisherigen Kenntnissen (vgl. Kapitel 1.4) in starkem Maße durch Zufahrten und Einmündungen geprägt. Es ist daher zu prüfen, inwieweit dieser Zusammenhang auch bei Mischverkehrsführung des Radverkehrs auf der Fahrbahn auftritt.
- Anlagen des ruhenden Verkehrs im Straßenraum: Dabei wird zwischen Längsaufstellung und Schräg- bzw. Senkrechtaufstellung unterschieden. Bei Parkwechsellvorgängen kreuzen sich die Bewegungslinien von parkendem Fahrzeug und fließendem Radverkehr, wobei je nach geometrischer Konstellation zwischen Radverkehrsführung und Aufstellungsart unterschiedliche Einflüsse auf die Verkehrssicherheit zu vermuten sind.
- Führungsform des schienengebundenen ÖPNV im Straßenraum: Das Vorhandensein von Straßenbahnen in Stadtstraßen hat sich in früheren Untersuchungen regelmäßig als sicherheitsrelevantes Kriterium herausgestellt (vgl. Kapitel 2.3), ohne dass die Begründung für diesen Einfluss bisher ausreichend geklärt ist. Die erhöhten Unfallkennziffern von Straßen mit Straßenbahn sind jedenfalls nicht ausschließlich oder vorrangig durch Unfälle mit Straßenbahnen zu begründen.
- Anteil des Schwerverkehrs an der Gesamtverkehrsstärke (für die Städte Chemnitz und Bielefeld liegen keine Daten zum Schwerverkehr vor): Die größeren Fahrzeugbreiten im Schwerverkehr legen bei gleichbleibenden Fahrbahnbreiten eine höhere Interaktionsintensität und

möglicherweise ein höheres Unfallrisiko gegenüber dem Radverkehr nahe. Es wird daher untersucht, ob die Führungsform des Radverkehrs diese Effekte beeinflussen kann.

- Art der Umfeldnutzung: Die Stärke der beteiligten Verkehrsströme ist eine wichtige Expositionsgröße für das Unfallgeschehen. Da Radverkehrsstärken nicht flächendeckend vorliegen, wird entsprechend der Methodik von SCHÜLLER [SCÜ10] die Nutzung der angrenzenden Gebäude in Form eines „Umfeldfaktors“ bewertet und dieser als Ersatzgröße herangezogen. In SCHÜLLER [SCÜ10] wurde ein Zusammenhang zwischen dem Umfeldfaktor und dem Unfallgeschehen von Fußgängern nachgewiesen. Es wird daher überprüft, ob auf den Radverkehr ebenfalls ein Einfluss besteht.
- Modal Split der Städte: Um das Radverkehrsaufkommen zumindest ansatzweise und in abstrakter Form zu berücksichtigen, werden die Unfalldichten der einzelnen Strecken den zugehörigen Modal Split-Werten der Städte gegenübergestellt.

Aus Übersichtsgründen werden in den folgenden Auswertungen die zweistreifigen Querschnittstypen mit (A2, A3, A6) und ohne Schutzstreifen (A1, A4, A5) zusammengefasst. Bei den vierstreifigen Querschnittstypen werden lediglich die des Primärkollektives dargestellt (B1, B2). Nach allen Querschnittstypen (auch Ergänzungskollektiv) differenzierte Auswertungen finden sich jeweils in den Anlagen.

#### 3.3.2 Dichte von Einmündungen und von Zufahrten

Für die Erhebung der Einmündungsdichte wurde an allen Anschlussknotenpunkten die Anzahl der untergeordneten Knotenarme erfasst. Daraus folgt, dass beispielsweise eine vierarmige Kreuzung mit der doppelten Wertigkeit in das Kriterium einfließt im Vergleich zur Einmündung. Damit wird dem unterschiedlichen Gefährdungspotenzial aufgrund der je nach Knotenpunktform unterschiedlichen Anzahl von Konfliktpunkten Rechnung getragen.

Grundstückszufahrten wurden ebenfalls erfasst, sofern die per Luftbild dokumentierte Situation die grundsätzliche Nutzbarkeit sowie eine tatsächliche Nutzung als Zufahrt für Kfz vermuten lässt. Zufahrten an Brachflächen o. Ä. wurden demzufolge in der Untersuchung nicht berücksichtigt. Eine zwi-

schen Einmündungen und Zufahrten differenzierte Betrachtung kann auf Basis der vorhandenen Daten nicht erfolgen.

In Bild 20 ist die Unfalldichte aller Unfälle (Kategorien 1-4) und aller Untersuchungsstädte in Abhängigkeit der Einmündungshäufigkeit für die Querschnittstypen in aggregierter Form dargestellt. Es zeigt sich, dass

- auf zwei- und vierstreifigen Streckenabschnitten ohne Schutzstreifen ein Anstieg der Unfalldichte mit zunehmender Dichte der Einmündungen und Zufahrten zu verzeichnen ist,
- der Anstieg der Unfalldichte auf vierstreifigen Streckenabschnitten ohne Schutzstreifen stärker ist im Vergleich zu den zweistreifigen Streckenabschnitten,

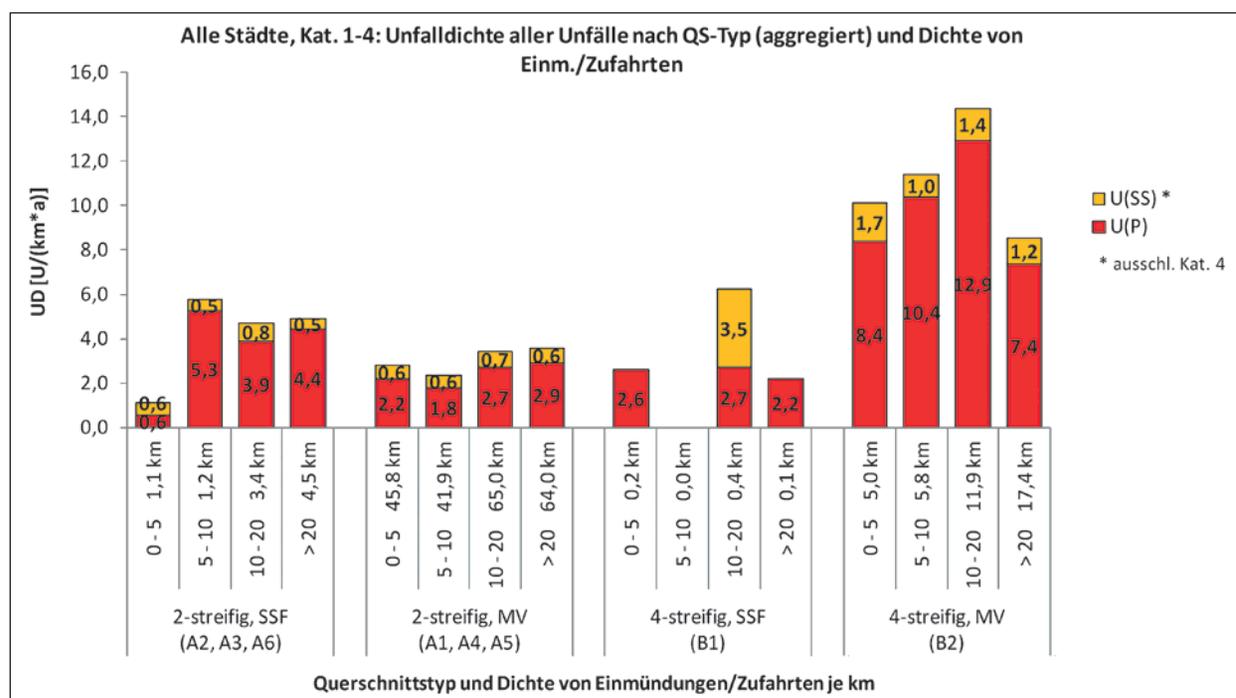


Bild 20: Unfalldichte aller Unfälle nach Dichte von Einmündungen und Zufahrten

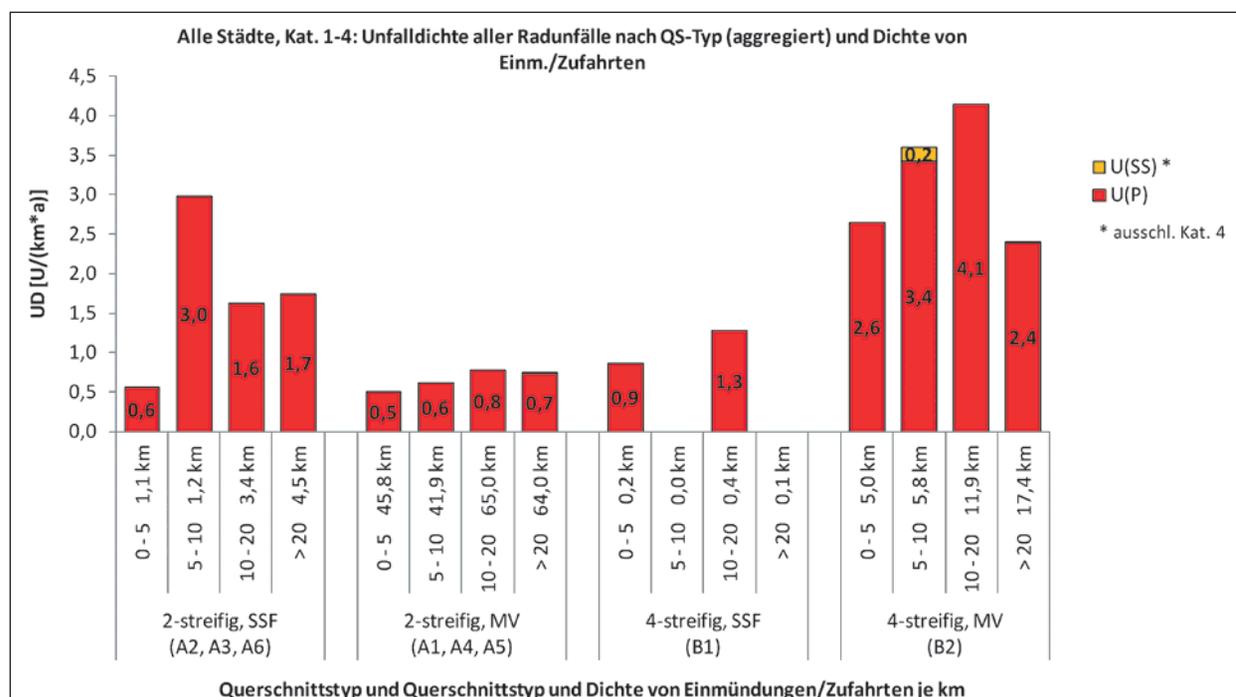


Bild 21: Unfalldichte der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung nach Dichte von Einmündungen und Zufahrten

- auf Streckenabschnitten mit Schutzstreifen (zwei- und vierstreifig) kein Einfluss der Einmündungs- und Zufahrtsdichte auf das Unfallgeschehen abzuleiten ist.

Betrachtet man ausschließlich Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung (Bild 21), bestätigen sich die für die Querschnittstypen ohne Schutzstreifen (zwei- und vierstreifig) festgestellten Zusammenhänge. Zudem lässt sich auch für Streckenabschnitte mit Schutzstreifen ein Anstieg der Unfalldichte mit zunehmender Dichte von Einmündungen und Zufahrten ableiten.

Nach allen Querschnittstypen (auch Ergänzungskollektiv) differenzierte Auswertungen für Unfälle der Kategorie 1-4 (siehe Anlage 14) sowie einer zusätzlichen Einbeziehung der Unfälle der Kategorien 5 und 6 in den Städten Berlin Chemnitz und Dresden (siehe Anlage 15) können diese Zusammenhänge bestätigen.

Die gewonnenen Erkenntnisse gehen vom Grundsatz her mit früheren Untersuchungen konform, bei denen ähnlich gelagerte Kriterien der „Anschlussknotendichte“ regelmäßig als sicherheitsrelevant erkannt worden sind.

### 3.3.3 Ruhender Verkehr

Die Organisation des ruhenden Verkehrs am Fahrbahnrand wird nach den Ausprägungen Längsauf-

stellung, Schrägaufstellung, „nicht zugelassen“ sowie unsymmetrischen Kombinationen aus beiden Fahrbahnseiten differenziert. Dabei ist allein die durch Verkehrszeichen und/oder baulichen Maßnahmen vorgegebene Situation maßgeblich. Die Senkrechtaufstellung wird im Rahmen dieser Untersuchung als Sonderfall der Schrägaufstellung eingestuft. Eine grafische Darstellung der Unfalldichten aller Unfälle der Kategorie 1-4 differenziert nach der Aufstellungsart des ruhenden Verkehrs zeigt Bild 22.

Ist ruhender Verkehr im Seitenraum vorhanden sind über alle Querschnittstypen höhere Unfalldichten zu verzeichnen als wenn dies nicht der Fall ist. Dabei weisen zweistreifige Abschnitte mit Schutzstreifen und vierstreifige Abschnitte ohne Schutzstreifen mit Schrägaufstellung höhere Unfalldichten im Vergleich zur Längsaufstellung auf. Bei den zweistreifigen Abschnitten mit Schutzstreifen ist eine umgekehrte Tendenz festzustellen, wobei darauf hinzuweisen ist, dass Streckenabschnitte mit Schrägaufstellung geringe Längen im Gesamtkollektiv aufweisen.

Somit kann kein eindeutiger Zusammenhang hinsichtlich der Radverkehrsführungsform abgeleitet werden. Lediglich der Vergleich der zweistreifigen Abschnitte mit und ohne Schutzstreifen lässt einen je nach Radverkehrsführung unterschiedlichen Einfluss des ruhenden Verkehrs vermuten.

Betrachtet man lediglich Radverkehrsunfälle (Bild 23) kann der unfallerhöhende Einfluss durch ruhenden

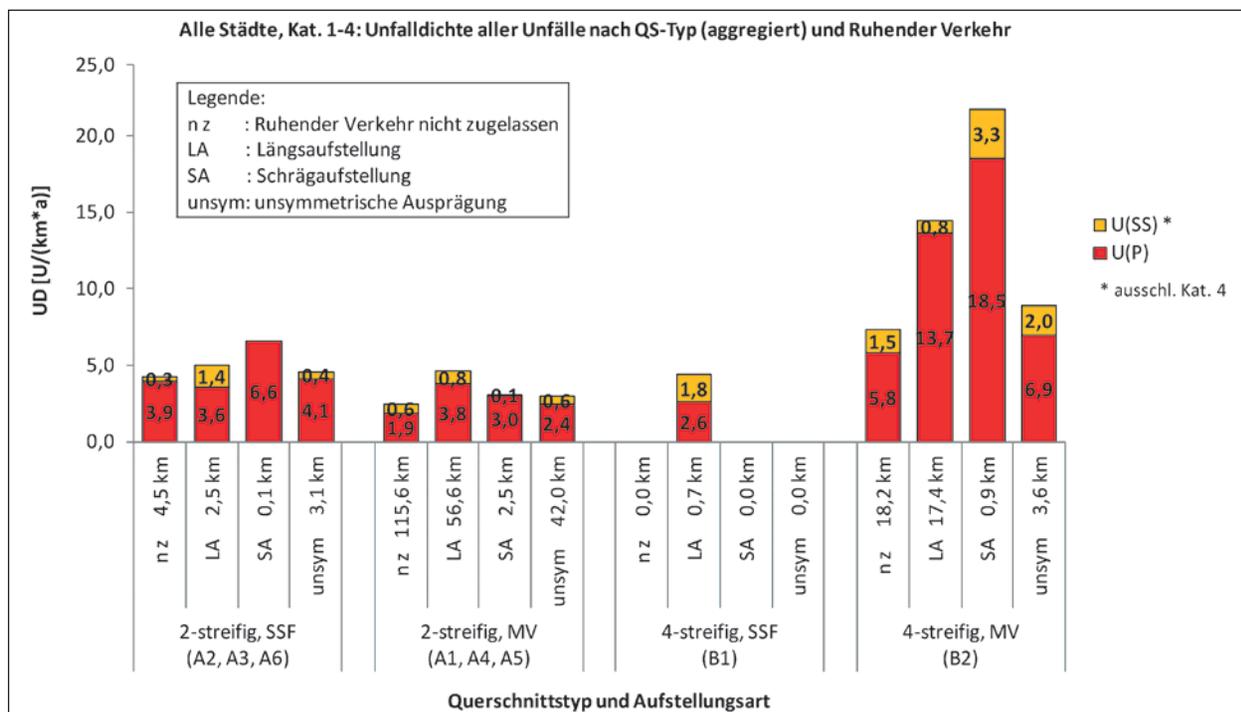
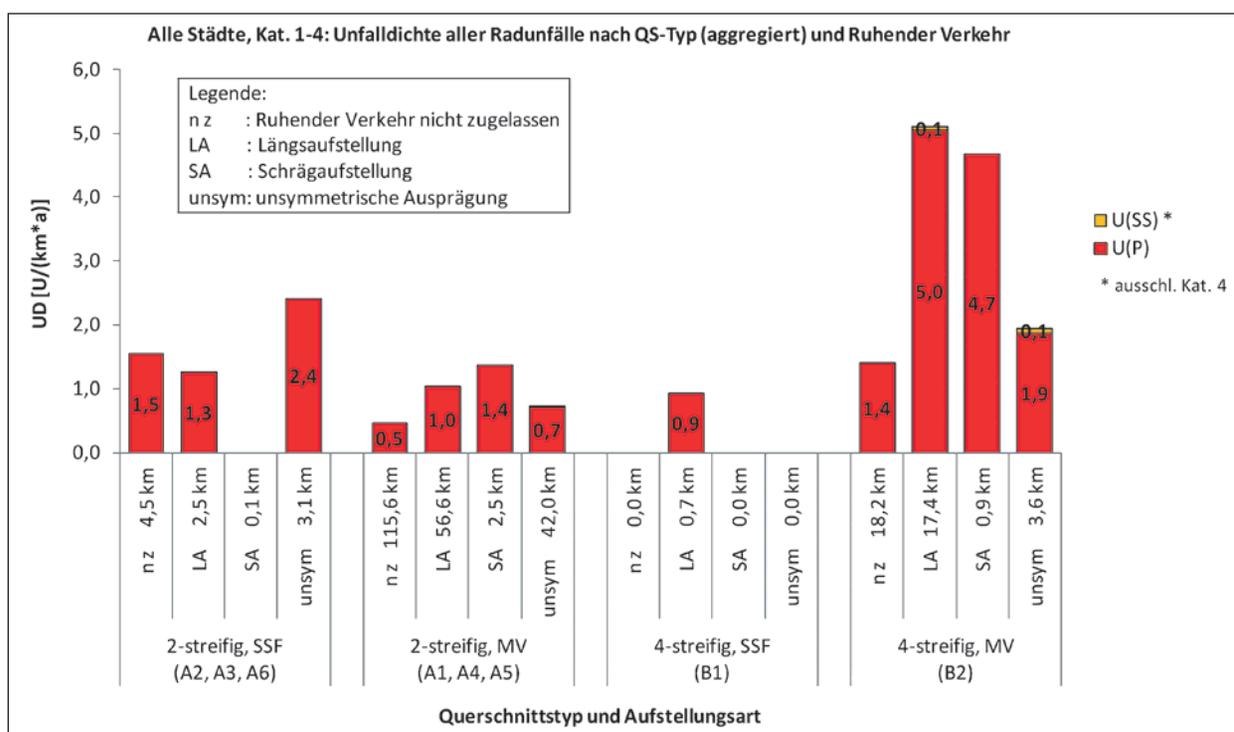


Bild 22: Unfalldichte aller Unfälle nach Aufstellungsart des ruhenden Verkehrs



**Bild 23:** Unfalldichte der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung nach Aufstellungsart des ruhenden Verkehrs

den Verkehr im Seitenraum bestätigt werden. Die Wirkung der unterschiedlichen Aufstellungsarten zeigt eine im Vergleich zum gesamten Unfallgeschehen andere Tendenz: So erreichen zweistreifige Abschnitte ohne Schutzstreifen mit Schrägaufstellung höhere und vierstreifige Abschnitte ohne Schutzstreifen geringere Unfalldichten im Vergleich zur Längsaufstellung. Eine eindeutige Tendenz zur Aufstellungsart und Radverkehrsführung ist auch hier nicht abzuleiten.

Nach den Querschnittstypen differenzierte Auswertungen für Unfälle der Kategorie 1-4 sowie 1-6 für die Städte Berlin, Chemnitz und Dresden lassen ebenfalls keine eindeutigen Tendenzen erkennen (siehe Anlage 16 und Anlage 17).

Die Erkenntnis aus anderen Untersuchungen, dass Strecken ohne ruhenden Verkehr tendenziell die geringsten Unfallzahlen aufweisen, bestätigt sich.

### 3.3.4 Führungsform Straßenbahn

Bei den Auswertungen zur Sicherheit im Hinblick auf den schienengebundenen ÖPNV ist grundsätzlich dessen geringes Auftreten im Untersuchungskollektiv zu beachten. Nennenswerte Streckenlängen sind lediglich bei den Querschnittstypen des reinen Mischverkehrs im Primärkollektiv zu verzeichnen (A1, A4, A5 und B2). Die Interpretations-

möglichkeiten in Bezug auf die Sicherheit der Radverkehrsführungsform sind daher begrenzt. Zudem wird zunächst lediglich nach den Ausprägungen „Straßenbahn vorhanden“ und „Straßenbahn nicht vorhanden“ differenziert. Auswertungen mit zusätzlicher Berücksichtigung der Straßenbahnführungsform zeigt Anlage 18 (Unfälle der Kategorie 1-4) und Anlage 19 (Unfälle der Kategorie 1-6 in den Städten Berlin, Chemnitz und Dresden).

Bild 24 zeigt die Unfalldichte aller Unfälle der Kategorie 1-4 in Abhängigkeit des Bestandes einer Straßenbahnführung. Es zeigt sich, dass zweistreifige Querschnitte (mit und ohne Schutzstreifen) mit Straßenbahn deutlich höhere Unfalldichten aufweisen als ohne Straßenbahn.

Dabei nehmen die Unfalldichten auf zweistreifigen Querschnitten mit Schutzstreifen (Faktor 2,6) bei Vorhandensein einer Straßenbahn deutlicher zu als solche ohne Schutzstreifen (Faktor 1,7).

Bei den vierstreifigen Abschnitten ohne Schutzstreifen, welche mit großen Längen im Kollektiv vertreten sind, kann kein unfallerhöhender Einfluss durch Führung einer Straßenbahn festgestellt werden. Eine Auswertung der Radverkehrsunfälle (Bild 25) zeigt die gleichen Tendenzen.

Die aus anderen Untersuchungen abgeleiteten Zusammenhänge wonach sich Straßenbahnen im

Straßenraum unfallerhöhend auswirken, kann anhand dieser Auswertung für zweistreifige Streckenabschnitte bestätigt werden.

Eine nach allen Querschnittstypen sowie der Straßenbahnführungsform differenzierte Auswertung (Anlage 18 und Anlage 19) bestätigt die Tendenzen.

Hinsichtlich der Straßenbahnführungsform konnte darüber hinaus festgestellt werden, dass Querschnitte mit besonderem Bahnkörper in Seitenlage („bes BK SL“) geringere Unfalldichten im Vergleich zur Mittellage, sowohl straßenbündig („strb BK ML“) als auch mit besonderem Bahnkörper („bes BK ML“), aufweisen.

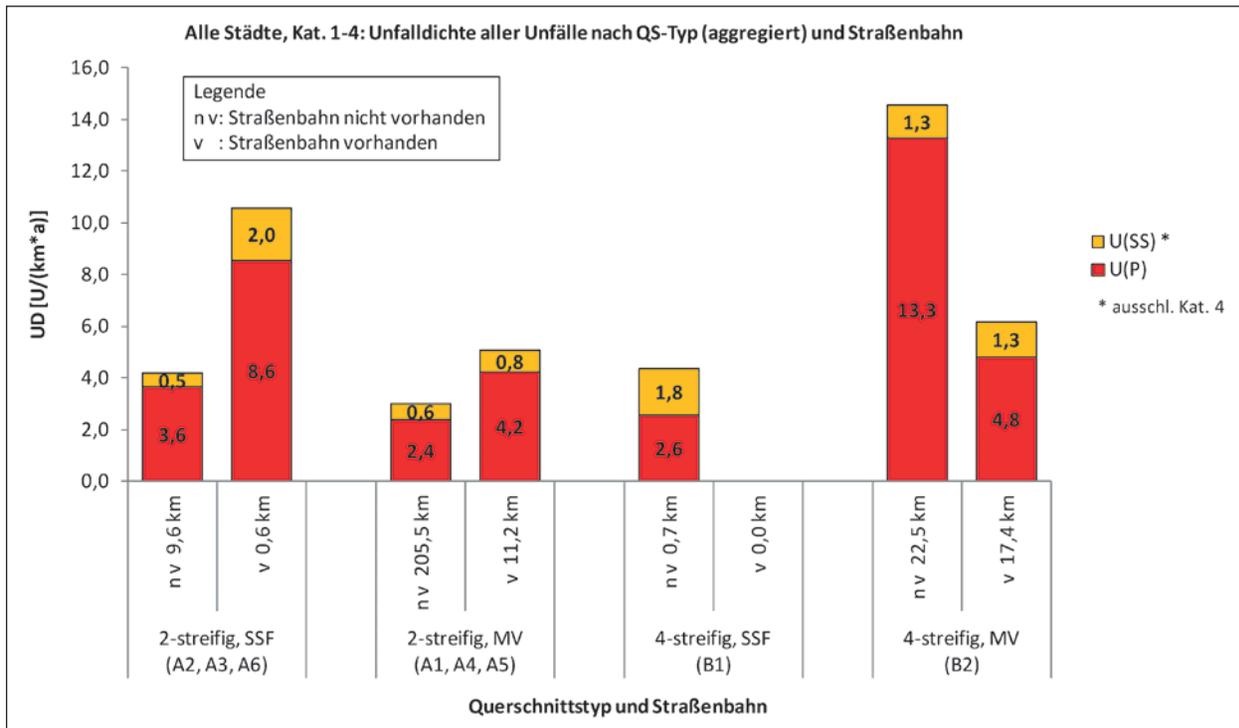


Bild 24: Unfalldichte aller Unfälle nach Führungsform Straßenbahn

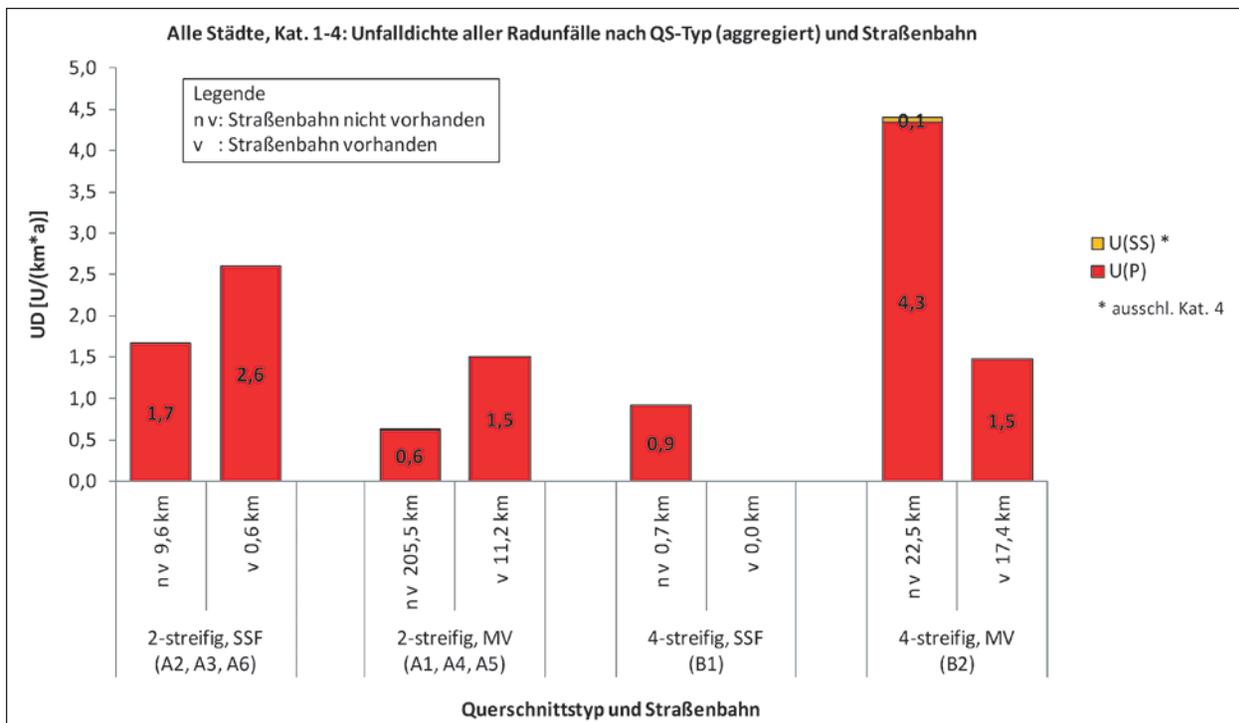


Bild 25: Unfalldichte der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung nach Führungsform Straßenbahn

### 3.3.5 Schwerverkehrsanteil

Für die Betrachtung des Schwerverkehrsanteils wird das Streckenkollektiv in vier Klassen aufgeteilt, so dass in Summe die Streckenlänge je Klasse in etwa gleich groß ist. Es konnten lediglich die Städte Berlin, Dortmund, Dresden, Mannheim und Offenburg einbezogen werden. Für die Städte Chemnitz und Bielefeld lagen keine Daten zum Schwerverkehr vor. Daraus ergibt sich eine Klassenbreite von jeweils 2%-SV-Anteil. Bild 26 zeigt die Unfalldichten aller Unfälle der Kategorie 1-4.

Bei zweistreifigen Streckenabschnitten (mit und ohne Schutzstreifen) ist kein steigendes Unfallaufkommen bei steigendem SV-Anteil festzustellen. So nimmt die Unfalldichte auf diesen Streckenabschnitten mit zunehmendem SV-Anteil ab. Zufällige Schwankungen können bei den Querschnitten ohne Schutzstreifen ausgeschlossen werden, da hier große Streckenlängen zugrunde liegen.

Einzig die vierstreifigen Querschnitte ohne Schutzstreifen lassen bei gemeinsamer Betrachtung der Unfälle mit Personen- und schwerwiegendem Sachschaden eine Zunahme der Unfalldichte mit höherem SV-Anteil erkennen. Ein je nach Radverkehrsführung unterschiedlicher Einfluss des SV-Anteils ist nicht abzuleiten.

Die Betrachtung der Radverkehrsunfälle (Bild 27) zeigt ein ähnliches Bild, mit dem Unterschied, dass bei zweistreifigen Streckenabschnitten ohne Schutzstreifen kein inverser Verlauf der Unfalldichten mit Zunahme des SV-Anteils und bei vierstreifigen Streckenabschnitten ohne Schutzstreifen keine Zunahme der Unfalldichte mit höherem SV-Anteil zu verzeichnen ist.

Die Auswertungen der Unfalldichten der Kategorie 1-4 sowie 1-6 (Berlin und Dresden) aller Querschnittstypen bestätigen aufgezeigte Tendenzen (siehe Anlage 20 und Anlage 21).

Insgesamt lässt diese Auswertung die Interpretation zu, dass kein Zusammenhang zwischen Radverkehrsunfällen und Schwerverkehr sowohl im reinen Mischverkehr als auch bei Schutzstreifen besteht. Es ist aber nicht auszuschließen, dass sich ein hoher SV-Anteil beispielsweise in Verbindung mit einer hohen Einmündungsdichte zu einem erhöhten Unfallgeschehen führt. Dies kann im Rahmen dieser Auswertungen nicht abschließend geklärt werden. Außerdem ist in Betracht zu ziehen, dass in der Praxis Schutzstreifen bei höheren Schwerverkehrsanteilen auch nur bei größeren (als den hier untersuchten) Breiten eingesetzt werden.

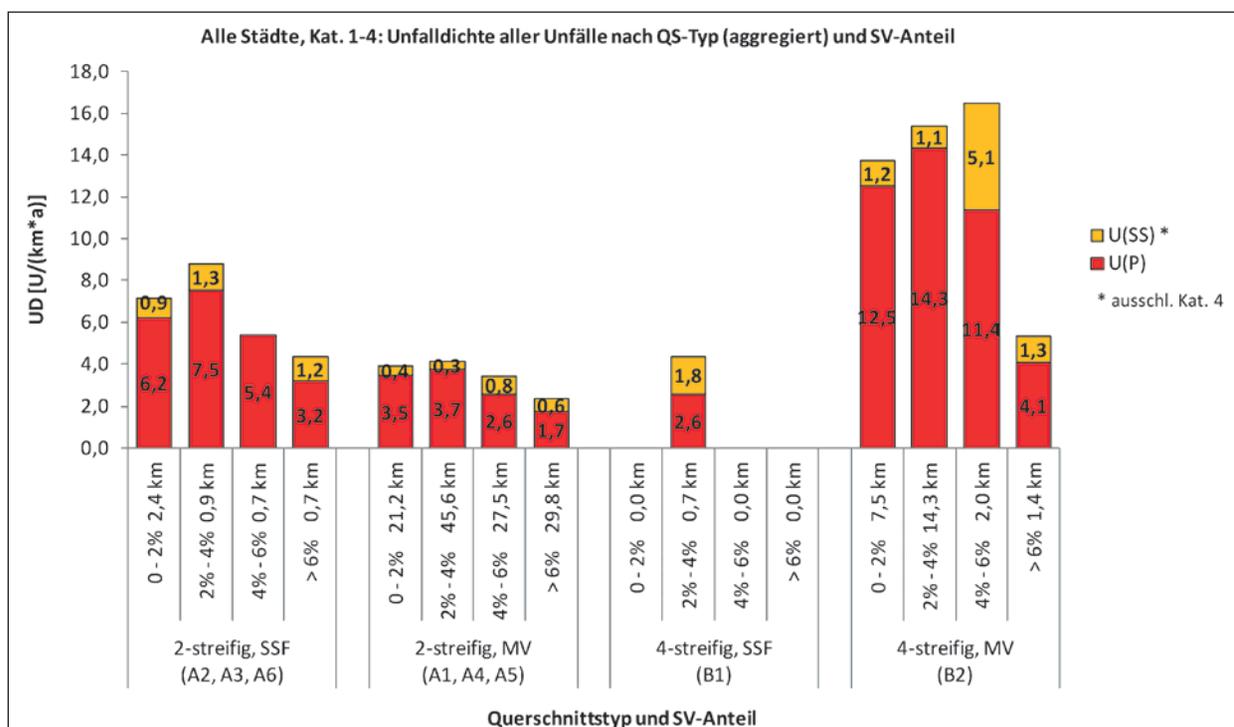


Bild 26: Unfalldichte aller Unfälle nach Schwerverkehrsanteil

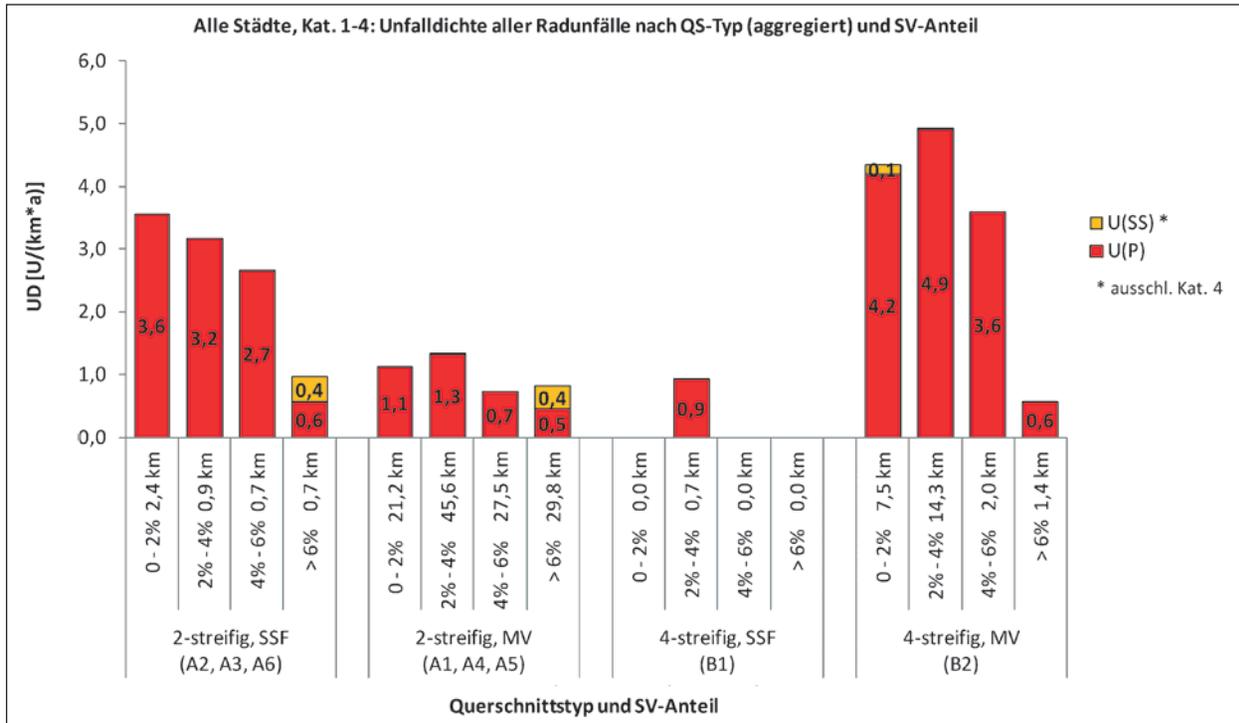


Bild 27: Unfalldichte der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung nach Schwerverkehrsanteil

### 3.4 Weitere Einflüsse

#### 3.4.1 Umfeldnutzung

Die Nutzungsintensität des Straßenumfeldes wird anhand des Umfeldfaktors nach SCHÜLLER [SCÜ10] bemessen (vgl. Kapitel 3.1.1, Tabelle 5), welcher auf der Länge der angrenzenden Bebauung beruht. Diese wird als senkrechte Projektion der zur betrachteten Straße zugewandten Seiten der Gebäude gemessen (Bild 28).

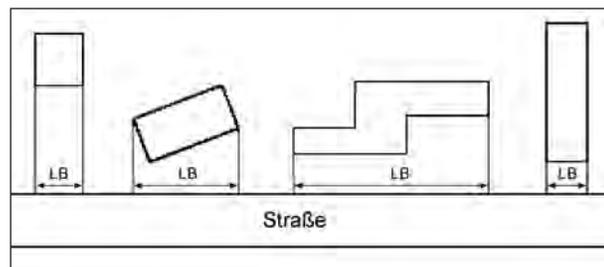


Bild 28: Definition Länge der Randbebauung ([SCÜ10])

Die Bebauungslängen werden differenziert nach reiner Wohnbebauung, Wohnbebauung mit Geschäftsbesatz, Gebäude mit ausschließlich Geschäftsbesatz und anderweitig gewerblich genutzten Gebäuden. Die Zuordnung des vorkommenden Nutzungsspektrums zu den Kategorien zeigt Tabelle 8.

Die unterschiedlichen Randnutzungen werden von SCHÜLLER [SCÜ10] entsprechend ihrer Bedeutung mit dem Aufkommen nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer bzw. der Komplexität des Straßenraumes gewichtet. Dabei erhält die sonstige gewerbliche Nutzung (z.B. Gewerbegebiet) die niedrigste Wichtung, da hier nur vergleichsweise wenige Fußgänger und Radfahrer auftreten. Im Gegensatz dazu sind z. B. Geschäftsstraßen in Kernstadtgebieten komplexe Straßenräume, bei denen sich oft eine relevante Verbindungsfunktion mit einer hohen Erschließungsfunktion überlagert. Diese Straßenräume sind geprägt durch Wohnbe-

bauung mit Geschäftsbesatz, welche die höchste Wichtung erhält. Die gewichteten Gebäudelängen gehen in den Umfeldfaktor nach folgender Gleichung ein:

$$UF = \frac{2 \cdot LB_W + 3 \cdot LB_{WEH} + 2 \cdot LB_{EH} + LB_G}{LS} \quad \text{Gl. 2}$$

mit

UF Umfeldfaktor [ ]

LB Länge Bebauung differenziert nach Art der Nutzung zu beiden Seiten [m]

LS Bezugslänge (doppelte Länge der Straße zwischen zwei Knotenpunkten) [m]

Für die Auswertung wird das Streckenkollektiv in vier Klassen aufgeteilt unter der Maßgabe, dass in Summe die Streckenlänge je Klasse in etwa gleich

ausschließlich Wohnung (W)	Wohnung mit Geschäftsbesatz (WEH)	ausschließlich Geschäftsbesatz (EH)	sonstige gewerbliche Nutzung (G)
Einfamilienhäuser	W + Einzelhandel	Einkaufszentren	Arbeitsstätten
Mehrfamilienhäuser	W + Einkaufszentren	Gaststätten	Tankstellen
Hotels	W + Gaststätten	sonstiger Einzelhandel	Autohäuser
Krankenhäuser		Bibliotheken	Industrie
		Kinos Schulen	Lagerhallen

Tab. 8: Differenzierung der Randbebauung nach Nutzungsart ([SCÜ10])

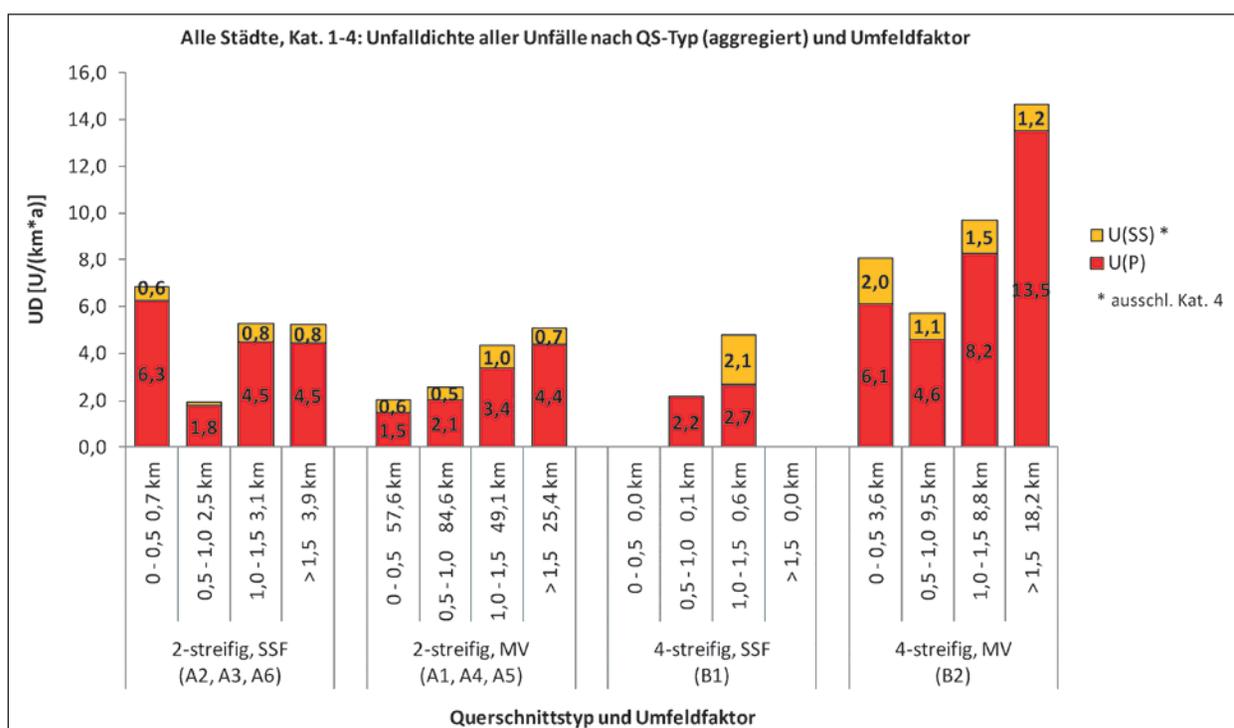


Bild 29: Unfalldichte aller Unfälle nach Umfeldfaktor

groß ist. Daraus ergibt sich eine Klassenbreite von jeweils 0,5.

Die Unfalldichte der Unfallkategorien 1 bis 4 in Abhängigkeit des Umfeldfaktors ist in Bild 29 dargestellt. Auf den zweistreifigen Streckenabschnitten ohne Schutzstreifen ist eine deutliche Zunahme der Unfalldichte der Unfälle mit Personenschaden bei steigender Randnutzungsintensität festzustellen. Die gleichen Tendenzen sind auch hinsichtlich der vierstreifigen Querschnitte ohne Schutzstreifen festzustellen.

Auf zwei- und vierstreifigen Streckenabschnitten mit Schutzstreifen ist kein Zusammenhang zwischen Unfalldichte und Umfeldfaktor abzuleiten.

Die Betrachtung der Radverkehrsunfälle zeigt mit Ausnahme der vierstreifigen Abschnitte mit Schutzstreifen, welche aufgrund zu geringer Strecken-

längen nicht zu bewerten sind, für alle Querschnitte eine Zunahme der Unfalldichte mit steigender Intensität der Umfeldnutzung.

Die Betrachtung der Unfalldichten (Kategorien 1-4, siehe Anlage 22 sowie der Kategorien 1-6, siehe Anlage 23) differenziert nach allen Querschnittstypen sowie der Umfeldnutzung zeigt keine weiteren Zusammenhänge und bestätigt für die Querschnittstypen ohne Schutzstreifen einen deutlich positiven Zusammenhang zwischen Unfalldichte und Intensität der Randnutzung. Bei den Querschnitten mit Schutzstreifen ist dieser nicht so deutlich ausgeprägt. Dennoch ist auf Basis der Ergebnisse der zusammengefassten Querschnittstypen davon auszugehen, dass sowohl auf Strecken mit als auch ohne Schutzstreifen die Unfalldichten mit steigender Randnutzungsintensität zunehmen.

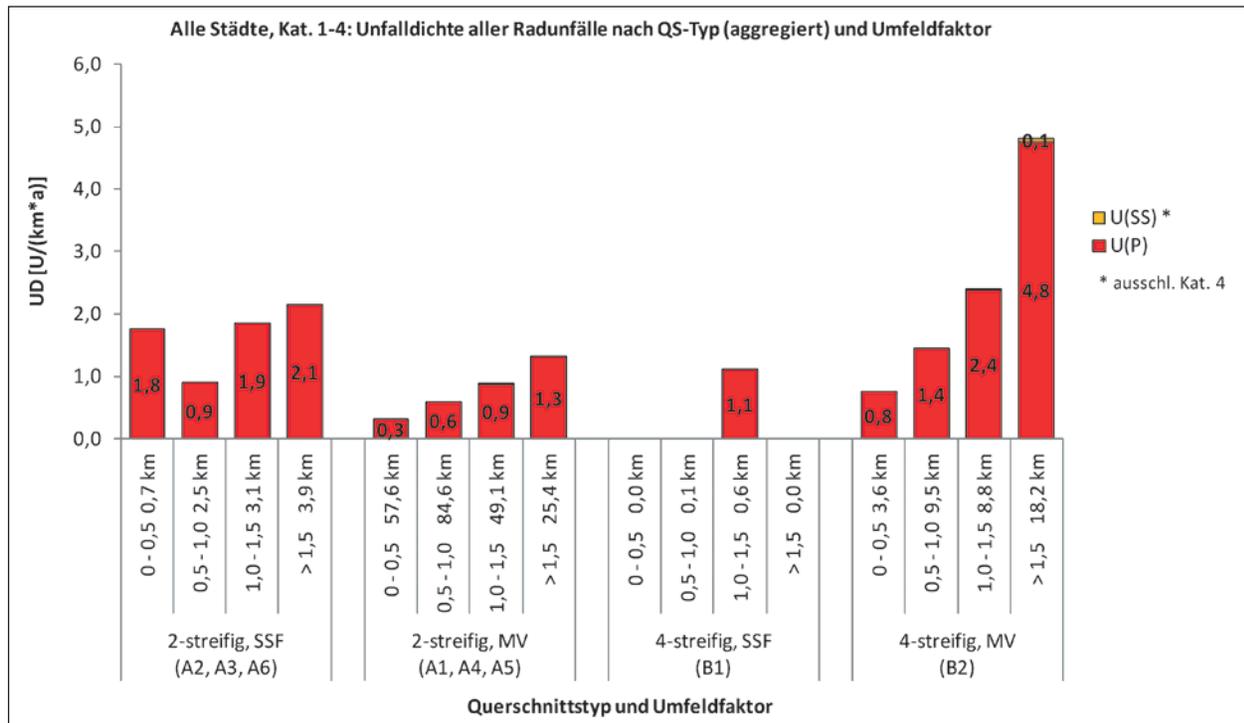


Bild 30: Unfalldichte der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung nach Umfeldfaktor

### 3.4.2 Modal Split der Städte

Eine Verwendung von Unfall- und Unfallkostenraten wurde wie bereits erwähnt aufgrund fehlender Radverkehrsstärken als nicht zielführend erachtet (vgl. Kapitel 3.2.2). Aus diesem Grund wurden die Unfalldichten der Strecken den Modal-Split-Werten der entsprechenden Städte gegenübergestellt. Damit erfolgt ansatzweise eine Berücksichtigung des Radverkehrsaufkommens.

Die Streckenabschnitte werden dazu in drei Klassen nach dem Modal Split der Untersuchungsstädte aufgeteilt (vgl. Anlage 24):

- Radverkehrsanteil:  
0 bis 10 % (Dortmund, Chemnitz),
- Radverkehrsanteil:  
> 10 bis 15 % (Mannheim, Berlin),
- Radverkehrsanteil  
> 15 % (Offenburg, Dresden, Bielefeld).

Gegenstand dieser Untersuchung werden lediglich die Unfälle der Kategorien 1-4 sein. Eine Betrachtung der Kategorien 1-6 auf Basis der Städte Berlin, Dresden und Chemnitz erscheint unter Berücksichtigung der o. g. Klasseneinteilung nicht sinnvoll.

Darüber hinaus werden bei der Betrachtung aller Querschnittstypen lediglich die Streckenabschnitte

des Primärkollektives berücksichtigt, da sich die Streckenabschnitte im Ergänzungskollektiv auf die Stadt Berlin beschränken. Die Ergebnisse der Analyse sind in Anlage 24 dargestellt, wobei sowohl die Auswertung aller Unfälle als auch der Radverkehrsunfälle keinen Zusammenhang zwischen Unfalldichte und Modal Split erkennen lässt. Die gilt auch wenn alle Querschnittstypen differenziert betrachtet werden.

### 3.5 Analyse der Unfalltexte

Für Streckenabschnitte innerhalb der Städte Dresden und Chemnitz war zusätzlich eine Analyse der Verkehrsunfallanzeigen mit Beschreibungen zum Unfallhergang möglich (vgl. Kapitel 3.1.2). Diese soll Aufschlüsse über die konkreten Unfallabläufe geben, wobei der Schwerpunkt auf einem Vergleich von Streckenabschnitten mit und ohne Schutzstreifen liegt.

Um aussagefähige Ergebnisse zu erzielen wurden 5 km Strecke je Stadt und Führungsform<sup>8</sup> angestrebt. Da für die Städte Chemnitz und Dresden ausgehend von der primären Typisierung (vgl. Ka-

<sup>8</sup> Es wurde hierbei nur zwischen Führung im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen unterschieden.

pitel 1.5.1) lediglich 3 km Strecke des Kollektives „mit Schutzstreifen“ zur Verfügung stehen, wurden in diese Untersuchung Streckenabschnitte, einschließlich derjenigen die keinem Querschnittstyp (vgl. Kapitel 1.5.1) zuzuordnen sind, einbezogen. Für das Kollektiv „ohne Schutzstreifen“ wurden aus dem größeren Untersuchungsumfang Streckenabschnitte zufällig ausgewählt.

Grundlage der Auswertungen bildete das Unfallgeschehen mit Radverkehrsbeteiligung der Kategorien 1 bis 6 im Betrachtungszeitraum 2006 bis 2010 (vgl. Kapitel 3.1.2). Im Resultat standen für diese Untersuchung

- 65 Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung auf 10,2 km Strecke „ohne Schutzstreifen“ sowie
- 68 Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung auf 8,3 km Strecke „mit Schutzstreifen“<sup>9</sup>

zur Verfügung.

Auf Basis der vorliegenden Unfalltexte wurden zunächst relevante Unfallkonstellationen definiert. Eine Auflistung dieser zeigt Anlage 25. Bild 31 zeigt

die Unfalldichten der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung nach Unfallkonstellationen auf Strecken mit und ohne Schutzstreifen in Chemnitz und Dresden 2006 bis 2010, wobei je Teilkollektiv nur die fünf Unfallkonstellationen mit den höchsten Unfalldichten dargestellt wurden. Die tabellarische Übersicht der Unfalldichten aller Unfallkonstellationen je nach Teilkollektiv zeigt Anlage 26. Die höchsten Unfalldichten sind mit linksfahrenden Radfahrern und generell an Knotenpunkten aufgetreten. Fünf (221, 31, 32, 36, 52) der zehn dargestellten Unfallkonstellationen (die ersten vier davon typisch für Knotenpunkte oder Zufahrten) weisen Unterschiede zwischen den Führungsformen mit und ohne Schutzstreifen auf:

#### Linksabbiegender Kraftfahrzeug und entgegenkommender Radfahrer, Anschlussknotenpunkt (221)

Streckenabschnitte mit Schutzstreifen (1,1 U/(km\*a)) weisen im Vergleich zu solchen ohne Schutzstreifen (0,2 U/(km\*a)) eine etwa fünfmal so hohe Unfalldichte auf. Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass Radfahrer bei der Führung mit Schutzstreifen an den rechten Fahrbahnrand „gedrängt“ werden, dadurch parallel neben anderen Fahrzeu-

<sup>9</sup> Kein Unfall in Chemnitz

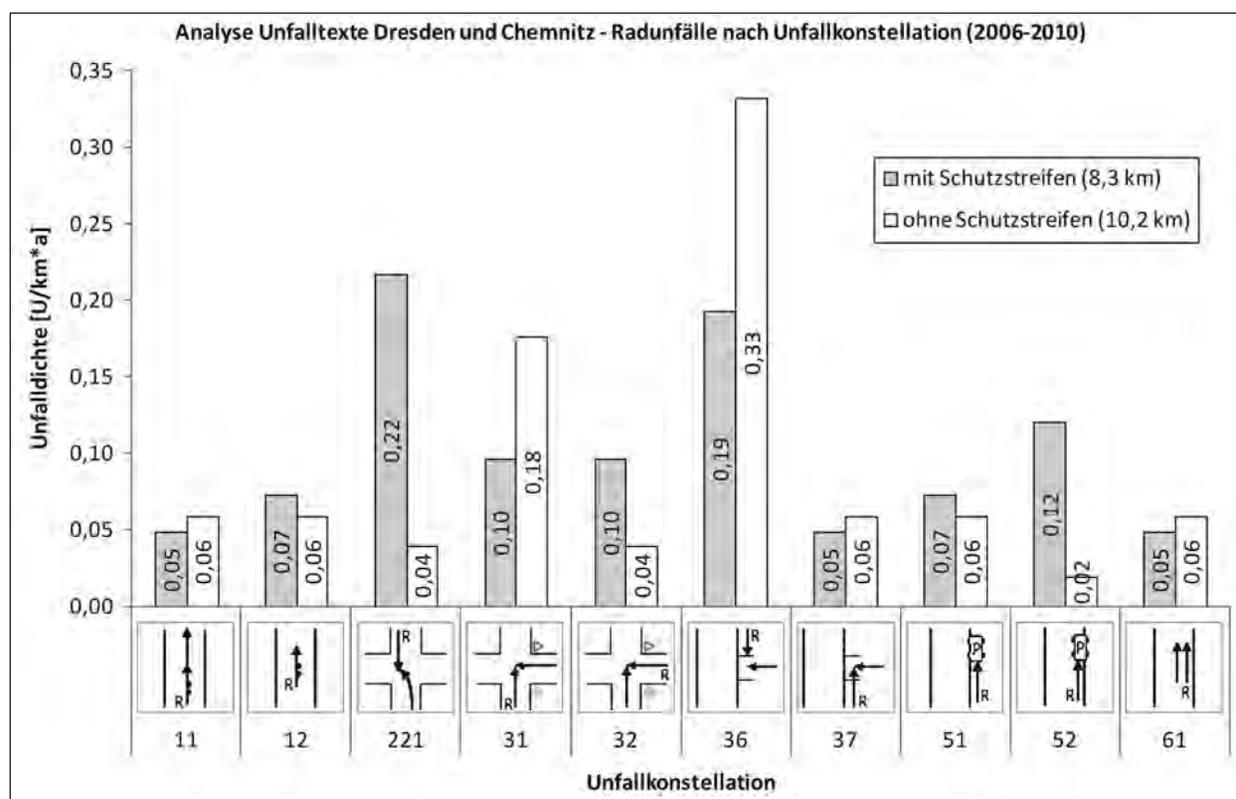


Bild 31: Unfalldichten der Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung nach Unfallkonstellationen auf Strecken mit und ohne Schutzstreifen in Chemnitz und Dresden 2006 bis 2010

gen unterwegs sind und deshalb weniger gut erkennbar sind. Positiv sollte sich auswirken, dass eine markierte Radverkehrsführung die Aufmerksamkeit von Kraftfahrzeugführern beim Abbiegen erhöht.

Sieben der neun relevanten Unfälle wurden auf zwei Streckenabschnitten registriert. Ob bei diesen zwei Streckenabschnitten evtl. Besonderheiten der Örtlichkeit mitwirken könnten, konnte nicht geklärt werden, da die Unfalltexte dazu keine Aussagen lieferten und eine örtliche Unfalluntersuchung nicht durchgeführt werden konnte. Das Ergebnis deckt sich allerdings mit der in Kapitel 3.2.4 festgestellten Tendenz, dass Abbiege-Unfälle auf Schutzstreifenstrecken häufiger auftreten als im reinen Mischverkehr.

#### **Einbiegendes/kreuzendes Kraftfahrzeug beachtet Radfahrer nicht, Anschlussknotenpunkt (31)**

Streckenabschnitte ohne Schutzstreifen ( $0,9 \text{ U}/(\text{km} \cdot \text{a})$ ) weisen im Vergleich zu solchen mit Schutzstreifen ( $0,5 \text{ U}/(\text{km} \cdot \text{a})$ ) eine etwa doppelt so hohe Unfalldichte auf. Dieses Ergebnis könnte darauf zurückzuführen sein, dass allein durch eine Markierung der Radverkehrsführung die Aufmerksamkeit der Kraftfahrzeugführer auf Radfahrer erhöht wird. Dieses Ergebnis bestätigt die in Kapitel 3.2.4 festgestellten Tendenzen, wonach Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle auf Strecken mit reinem Mischverkehr häufiger sind als bei Schutzstreifen.

#### **Einbiegender/kreuzender Radfahrer beachtet Kraftfahrzeug nicht, Anschlussknotenpunkt (32)**

Streckenabschnitte mit Schutzstreifen ( $0,5 \text{ U}/(\text{km} \cdot \text{a})$ ) weisen im Vergleich zu solchen ohne Schutzstreifen ( $0,2 \text{ U}/(\text{km} \cdot \text{a})$ ) eine mehr als doppelt so hohe Unfalldichte auf. Dieses Ergebnis ist vor dem Hintergrund der Radverkehrsführung nicht zu interpretieren, da die entsprechenden Radfahrer aus dem Nebennetz kommen. Die Radverkehrsführung im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen ist hier nur für die Hauptrichtung relevant. Ob oder warum dadurch wartepflichtige Radfahrer sich beeinflussen lassen, war aus den Unfalltexten nicht zu klären.

#### **Einbiegendes/kreuzendes Kraftfahrzeug und Radfahrer in „falscher“ Richtung auf Gehweg, Grundstückszufahrt (36)**

Streckenabschnitte ohne Schutzstreifen ( $1,7 \text{ U}/(\text{km} \cdot \text{a})$ ) weisen im Vergleich zu solchen mit

Schutzstreifen ( $1 \text{ U}/(\text{km} \cdot \text{a})$ ) eine etwa doppelt so hohe Unfalldichte auf. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Führung im Mischverkehr mit Schutzstreifen eine höhere Akzeptanz aufweist als ohne Schutzstreifen. Allerdings wurden alle entsprechenden Unfälle auf Strecken mit Schutzstreifen in Dresden und auf Strecken ohne Schutzstreifen in Chemnitz registriert. Dabei verteilen sich wiederum sechs der acht Unfälle in Dresden sowie 15 der 17 Unfälle in Chemnitz auf lediglich zwei Strecken, weshalb auch in diesem Bereich Besonderheiten der Örtlichkeit mitwirkend für das Unfallgeschehen sein könnten: Chemnitz hat einen wesentlich kleineren Radverkehrsanteil (Radverkehr gehört nicht zum regelmäßigen Straßengeschehen) und die Tendenz zum Linksfahren ist aufgrund der hohen Trennwirkung vieler Straßen (besonderer Gleiskörper für die Straßenbahn) besonders ausgeprägt.

#### **Radfahrer und parkendes Kfz (52)**

Streckenabschnitte mit Schutzstreifen ( $0,6 \text{ U}/(\text{km} \cdot \text{a})$ ) weisen im Vergleich zu solchen ohne Schutzstreifen ( $0,1 \text{ U}/(\text{km} \cdot \text{a})$ ) eine sechsmal so hohe Unfalldichte auf. Drei der fünf auf Strecken mit Schutzstreifen registrierten Unfälle ereigneten sich mit ordnungswidrig abgestellten Kraftfahrzeugen. Möglicherweise wird dieses Fehlverhalten der Kraftfahrer vom Radverkehr und anderen Verkehrsteilnehmern nicht erwartet. Die Auswertungen zu den Unfalltypen (vgl. Kapitel 4.3.2) zeigt hierzu allerdings keine eindeutige Tendenz.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die festgestellten Unterschiede zwischen Streckenabschnitten mit und ohne Schutzstreifen Tendenzen aus den vorangegangenen Auswertungen insbesondere zur Verteilung der Unfalltypen (vgl. Kapitel 3.2.4) bestätigen können.

Allerdings ist auch nicht auszuschließen, dass Besonderheiten der Örtlichkeiten unabhängig von der Radverkehrsführung die Ergebnisse zusätzlich beeinflussen.

### **3.6 Fazit**

Die Vielzahl der Einsatzfälle von Schutzstreifen in den Untersuchungsstädten entspricht vor allem bezüglich der Fahrbahnbreiten nicht den Vorgaben der technischen Regelwerke und lässt sich daher nicht den in dieser Untersuchung vereinbarten

Querschnittstypen zuordnen. Somit standen für die Analyse des Unfallgeschehens 10,9 km Streckenlänge mit sowie 256,8 km Streckenlänge ohne Schutzstreifen in sieben Untersuchungsstädten zur Verfügung.

Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Verbreitung und Anwendungshäufigkeit der verschiedenen Querschnittslösungen wurden für die Bewertung der Verkehrssicherheit Unfalldichten ermittelt, wobei im Wesentlichen die Unfallkategorien 1-4 betrachtet wurden. Das Unfallgeschehen der Kategorien 5 und 6 lag zusätzlich für die Städte Berlin, Chemnitz und Dresden vor. Die getrennte Betrachtung der Unfallkategorien 1 bis 4 in allen Untersuchungsstädten und der Unfallkategorien 1 bis 6 in drei Städten zeigte weitestgehend keine strukturellen Unterschiede.

Auf eine Verwendung von Unfallkostendichten wurde verzichtet, da die Anpassung der Kostensätze für Strecken mit Schutzstreifen lediglich auf 81 Unfälle mit Personenschaden basiert und erkennbare Unterschiede in der Unfallschwere nicht als gesichert gelten können. Die Bildung von Unfallraten ist nicht angebracht, da die Verkehrsstärke des Radverkehrs nicht bekannt war und ein Zusammenhang des Radverkehrsunfallgeschehens mit der Kraftfahrzeugverkehrsstärke nicht abgeleitet werden konnte.

Zusammenfassend hat sich gezeigt, dass innerhalb der Untersuchungsstrecken an 26 % der Unfälle der Kategorien 1 bis 4 Radfahrer beteiligt sind. Dabei weist die Gesamtzahl aller Unfälle und das Teilkollektiv der Radverkehrsunfälle eine weitgehend identische Charakteristik auf. Unabhängig von dem Vorhandensein eines Schutzstreifens auf den Untersuchungsstrecken mit Radverkehrsführung im Mischverkehr hat sich sowohl bei Betrachtung aller Unfälle als auch der Radverkehrsunfälle der Kategorien 1-4 gezeigt, dass

- Radfahrer grundsätzlich häufiger als weitere Unfallbeteiligte in Erscheinung treten denn als Hauptunfallverursacher,
- mit steigender Dichte von Einmündungen und Zufahrten entlang einer Strecke auch die Unfalldichte steigt,
- ruhender Verkehr am Fahrbahnrand zu höheren Unfalldichten führt, wobei kein Einfluss der Aufstellungsart (Schräg-/Längsaufstellung) auf die Unfalldichte erkennbar ist,

- eine Straßenbahn, wie auch schon in anderen Untersuchungen, die Unfalldichten erhöht, wobei die Führung der Straßenbahn mit besonderem Bahnkörper in Seitenlage geringere Unfalldichten aufweist als die Führung in Mittellage (straßenbündig oder mit besonderem Bahnkörper),
- kein Zusammenhang zwischen Schwerverkehrsanteil und Unfalldichte feststellbar ist und
- mit steigender Nutzungsintensität des Straßenumfeldes sowohl auf Strecken mit als auch ohne Schutzstreifen erhöhte Unfalldichten zu verzeichnen sind.

Beim Vergleich der Untersuchungsstrecken mit und ohne Schutzstreifen hat sich gezeigt, dass auf Ebene der Gesamtunfälle der Kategorie 1-4 Radfahrer auf Schutzstreifen anteilig häufiger als Hauptunfallverursacher in Erscheinung treten als auf Querschnitten mit reinem Mischverkehr. Darüber hinaus sind sowohl bei der Betrachtung aller Unfälle als auch der Radverkehrsunfälle (Kategorien 1-4) folgende Unterschiede zwischen der Führung des Radverkehrs mit Schutzstreifen und der Führung im reinen Mischverkehr innerhalb der Untersuchungsstrecken festzustellen:

- Zweistreifige Querschnitte mit Schutzstreifen haben insgesamt eine höhere Unfalldichte als vergleichbare Strecken mit reinem Mischverkehr. Auf vierstreifigen Querschnitten ist dieser Zusammenhang nicht erkennbar.
- Zwei- und vierstreifige (zusammengefasst) Querschnitte mit Schutzstreifen weisen insgesamt eine geringere Unfallschwere als vergleichbare Strecken mit reinem Mischverkehr auf.
- Die Unfalltypen Fahrnfall und Einbiegen-/Kreuzen-Unfall treten auf Strecken mit reinem Mischverkehr häufiger als bei Schutzstreifen auf.
- Die Unfalltypen Abbiege-Unfall und sonstiger Unfall treten demgegenüber auf Schutzstreifenstrecken häufiger auf.

Die genannten Unterschiede bei den Unfalltypen sind für Radverkehrsunfälle deutlicher ausgeprägt als im Gesamtkollektiv.

Die auf Basis der Städte Chemnitz und Dresden durchgeführte Analyse der Unfalltexte (Kategorien 1-6, Betrachtungszeitraum 2006-2010) konnte Ten-

denzen hinsichtlich des Unterschiedes von Strecken mit und ohne Schutzstreifen bei den Unfalltypen bestätigen.

So treten Unfälle der Konstellation „einbiegendes/kreuzendes Kraftfahrzeug und Radfahrer in ‚falscher‘ Richtung auf Gehweg an Grundstückszufahrt“ sowie „einbiegendes/kreuzendes Kraftfahrzeug beachtet Radfahrer/Radfahrer nicht innerhalb von Knotenpunkten“ tendenziell häufiger auf Strecken des reinen Mischverkehrs auf während Unfälle der Konstellation „linksabbiegendes Kraftfahrzeug und entgegenkommende Radfahrer“ außerhalb von Knotenpunkten häufiger auf Streckenabschnitten mit Schutzstreifen registriert wurden. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass die Ergebnisse durch örtliche Besonderheiten mitbestimmt werden.

## 4 Verkehrsbeobachtungen

Die Beobachtung des realen Verkehrsablaufes an ausgewählten Messstrecken ist ein wesentlicher Bestandteil des Forschungsvorhabens und dient folgenden drei Zielen:

- Erfassung von Daten zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufes des Kfz-Verkehrs auf Basis der Verkehrsdichte in Abhängigkeit der Querschnittsgestaltung und der Überholvorgänge,
- Ermittlung der Eingangsparameter zur Kalibrierung der mikroskopischen Simulation (vgl. Kapitel 7),
- Bewertung der Verkehrssituation und des tatsächlichen Konfliktpotenzials zweistreifiger Querschnitte vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Unfallanalyse.

### 4.1 Fallbeispielauswahl für Messstrecken

Um die Charakteristik der Messstrecken den Gegebenheiten in der zugehörigen Gesamtstadt gegenüberstellen zu können, wurde in erster Linie eine Auswahl der Fallbeispiele aus den sieben Untersuchungsstädten für die Unfallstrukturanalyse angestrebt. Dazu wurde aus den aufbereiteten Streckendaten das Vorkommen der gesuchten Querschnittstypen gefiltert und die einzelnen Strecken

auf ihre Eignung hin untersucht. Die dabei ausgewählten Messstrecken bilden das Primärkollektiv, wobei neben der Abdeckung aller Querschnittstypen auch eine regional ausgewogene Verteilung zwischen den einzelnen Städten angestrebt wird, um eine überregionale Repräsentativität der Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten.

Da nicht alle Querschnittstypen in den sieben Untersuchungsstädten der Unfallstrukturanalyse in hinreichender Eignung und Häufigkeit auftreten, wurde die Recherche auf weitere Städte ausgedehnt, welche im Rahmen der Kommunalrecherche befragt worden und wo das Vorhandensein geeigneter Messstrecken zu erwarten war. Die daraus resultierende Auswahl bildet das Sekundärkollektiv. Daraus wurden aus arbeitsökonomischen Gründen vorrangig diejenigen Orte betrachtet, die sich regional zu einem räumlichen Cluster mit den bereits in den vorangegangenen Auswahlritten festgelegten Strecken zusammenfassen lassen.

Für die Eignung einer potenziellen Messstrecke mussten neben der grundsätzlichen Einhaltung der Querschnittstypisierung noch weitere Kriterien beachtet werden. Dazu gehörten einerseits die Verfügbarkeit von Kamerastandorten, wobei ein ausreichendes Sichtfeld und die Vermeidung von Beeinträchtigungen der Verkehrsteilnehmer, besonders auch des Fußgängerverkehrs berücksichtigt wurden. Andererseits ist für eine aussagekräftige Datenbasis die Dokumentation einer möglichst großen Anzahl an Interaktionen zwischen Rad- und Kfz-Verkehr wichtig, weshalb ein möglichst hohes Radverkehrsaufkommen angestrebt wurde.

Aufgrund fehlender Angaben zu Radverkehrsstärken wurde auf qualitative Einschätzungen der Kommunen, eigene Erfahrungen der Forschungsnehmer sowie Erfahrungen aus dem Betreuerkreis zurückgegriffen. Bestandteil des Messprogramms sind auch je eine Messstelle in Aachen und Rottenburg am Neckar, welche für eine Vorher-/Nachher-Betrachtung genutzt wurden.

Die räumliche Verteilung der im Ergebnis dieser Recherche ausgewählten Messstrecken innerhalb Deutschlands zur Erhöhung der Aussagekraft der Verkehrsbeobachtung unter gleichzeitiger Berücksichtigung einer regionalen Clusterung zur effizienten Datenerhebung geht aus Bild 32 hervor. Eine zusammenfassende Übersicht der einzelnen Messstrecken zeigt Tabelle 9. Eine ausführliche Übersicht mit den wesentlichen baulichen und betrieb-

QS-Typ	Stadt	Straße	Bez.
A1	Dresden	Pillnitzer Landstraße	A1-1
		Radeberger Straße	A1-2
		Schlüterstraße	A1-3
	Bielefeld	Wertherstraße	A1-4
	Rottenburg	Gartenstraße	A1-5
A2	Dresden	Karl-Marx-Straße	A2-1
	Aachen	Alexianergraben	A2-2
		Karlsgraben	A2-3
	Karlsruhe	Kanalweg	A2-4
Offenburg	Zähringerstraße	A2-5	
A3	Dresden	Chemnitzer Straße	A3-1
	Bielefeld	Potsdamer Straße	A3-2
	Dortmund	Semerteichstraße	A3-3
	Köln	Neusser Straße	A3-4
	Rottenburg	Sprollstraße	A3-5
A4	Berlin	Oranienstraße	A4-1
	Dresden	Chemnitzer Straße	A4-2
		Pfotenhauer Straße	A4-3
		Gleueler Straße	A4-4
	Offenburg	Griesheimer Straße	A4-5

Tab. 9: Fallbeispielauswahl Messstrecken



Bild 32: Lage der Messstrecken innerhalb Deutschlands

lichen Merkmalen sind in Anlage 27 dargestellt. Darüber hinaus ist zur Dokumentation der konkre-

QS-Typ	Stadt	Straße	Bez.
A5	Berlin	Helmholtzstraße	A5-1
		Drakestraße	A5-2
	Dresden	Bodenbacher Straße	A5-3
		Lommatzcher Straße	A5-4
		Breitscheidstraße	A5-5
		Rayskistraße	A5-6
A6	Dresden	Glacisstraße	A6-1
	Bielefeld	Vogteistraße	A6-2
	Offenburg	Wasserstraße	A6-3
	Rottenburg	Gartenstraße	A6-4
B1	Berlin	Lichtenberger Straße	B1-1
	Radebeul	Meißner Straße	B1-2
	Dortmund	Jägerstraße	B1-3 <sup>1</sup>
	Karlsruhe	Kaiserallee	B1-4
	Aachen	Wilhelmstraße	B1-5
B2	Berlin	Karl-Marx-Straße	B2-1
	Dresden	Parkstraße	B2-2
	Aachen	Wilhelmstraße	B2-3
	Bielefeld	Detmolder Straße	B2-4

<sup>1</sup> Bezugsrichtung und Gegenrichtung ausgewertet

Tab. 9: Fortsetzung

ten örtlichen Situation zu jeder dieser Strecken ein standardisiertes Datenblatt mit näheren Angaben in Anlage 28 zu finden.

## 4.2 Methodik der Erhebung

Die Messgrößen zum Verkehrsgeschehen werden mit Ausnahme der lokalen Geschwindigkeit durch indirekte Verkehrsbeobachtungen mithilfe von Videomessungen erhoben. Gegenüber einer direkten Beobachtung bestehen folgende Vorteile (ANGENENDT [ANG84]):

- Reproduzierbarkeit von Verkehrssituationen,
- Registrierung auch unerwarteter, plötzlich auftretender Situationen,
- kontinuierliche Beobachtung ohne Ausfallzeiten durch manuelle Aufzeichnungen,
- keine spontanen Beurteilungen notwendig,
- Möglichkeit zur nachträglichen Überprüfung.

Nachteilig sind hingegen (ANGENENDT [ANG84]):

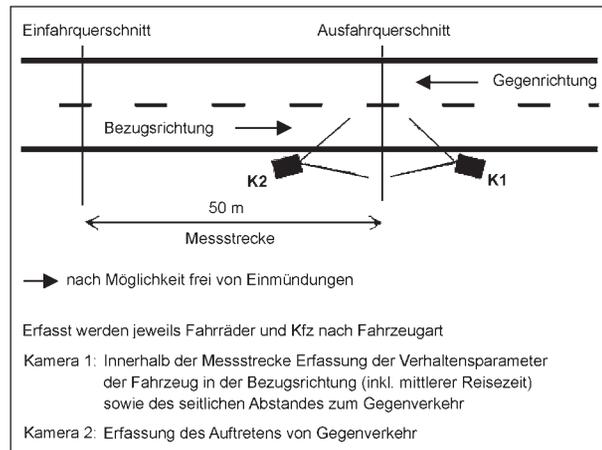
- die räumliche Begrenzung des einsehbaren Raumes,
- eine kurzzeitige Verdeckung eines Bildausschnittes durch große Fahrzeuge,
- ein eingeschränkter Einsatz bei schlechten Licht- und Witterungsverhältnissen
- Qualitätsgrenzen der Aufnahme und optische Verzerrung aufgrund der Objektive.

Für jede Messstelle wird eine Bezugsrichtung definiert, in welcher die Überholvorgänge zwischen Kfz- und Radverkehr erfasst werden. Da das Verhalten der Verkehrsteilnehmer, welche sich in der Bezugsrichtung bewegen, auch maßgeblich durch die Situation im Gegenverkehr beeinflusst wird, müssen beide Fahrtrichtungen in die Untersuchung einbezogen werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit zum gleichzeitigen Einsatz zweier Kameras.

Die Kameras werden im Seitenraum auf Stative aufgebaut, mit denen je nach örtlicher Gegebenheit eine Höhe von bis zu 5 m über Straßenniveau erreicht werden kann. Mit dieser Anordnung lassen sich in einem Streckenabschnitt von 50 m Länge Daten mit hinreichender Genauigkeit (keine personenbezogenen bzw. beziehbaren Daten auf den Aufnahmen erkennbar, wie z. B. Gesichter oder Kfz-Kennzeichen) auswerten.

Eine Kamera erfasst die eigentliche Messstrecke in der Bezugsrichtung und damit den Großteil der zu erhebenden Messgrößen. Eine zweite Kamera nimmt die Verkehrssituation in der Gegenrichtung auf, wobei in diesem Bereich keine quantitative Erhebung von Entfernungen und Zeiten erfolgt, sondern eine qualitative Einschätzung. Für die spätere Ermittlung von geometrischen Maßen sowie der Zeitstempel für die Fahrzeuge werden im Sichtbereich der Kameras Referenzpunkte definiert und deren Lage vermessen. Bild 33 gibt einen Überblick über die Messanordnung, wobei in Abhängigkeit der spezifischen Randbedingungen vor Ort die Kamera 2 fallweise auch am gegenüberliegenden Fahrbahnrand aufgestellt und eine zweite Messstrecke in der Gegenrichtung ausgewiesen wurde, um zusätzliche Auswertungen zu ermöglichen.

Die Erhebungsdauer je Messstelle beträgt vier Stunden, wobei in acht Fällen aufgrund von Regenereignissen eine Verkürzung auf bis zu drei Stunden notwendig wurde. Parallel zu den Videoauf-



**Bild 33:** Messanordnung für Videoerhebung

zeichnungen erfolgt die Messung der lokalen Geschwindigkeit von unbeeinflusst fahrenden Kfz bzw. Radfahrern manuell mit Radarmessgeräten. Nach SCHÜLLER [SCÜ10] besteht dabei die Mindestkollektivgröße aus 80 Verkehrsteilnehmern. Im Gegensatz zu einer undifferenzierten Totalerhebung mittels Seitenradar ist durch eine manuelle Messung die zielgerichtete Erfassung geeigneter Verkehrsteilnehmer möglich. Rad- und Kfz-Verkehrsstärke werden differenziert nach Fahrzeugklassen für die Bezugsrichtung ebenfalls parallel zu den Videoaufzeichnungen erhoben.

Die Lage der konkreten Kamerastandorte wurde den örtlichen Randbedingungen der jeweiligen Messstelle angepasst. Einflussgrößen können die Flächenverfügbarkeit im Seitenraum, das Vorhandensein von Straßenbegleitgrün sowie die spezifischen Interessen bzw. die Kooperationsbereitschaft von Anliegern sein. Die Messungen erfolgen von Mai bis September 2012 sowie im Juni 2013. Es wurde insgesamt 264 h Videomaterial aufgenommen. Eine tabellarische Übersicht der Messstellen ist in Anlage 27 zusammengestellt.

### 4.3 Methodik der Auswertung

Die Verkehrssituationen wurden sowohl qualitativ als auch quantitativ erhoben. Für die Auswertung der Videos wurde über die Aufnahmen eine Maske gelegt, auf der anhand der vor Ort festgelegten Referenzpunkte mehrere Referenzquerschnitte abgetragen werden. Auf dieser Grundlage konnten alle benötigten Abstände und geometrischen Maße über Interpolation ermittelt werden. Außerdem dienen die Querschnitte zur Ermittlung der Zeitstempel beim Überfahren durch die Verkehrsteilnehmer. Der

Einfluss der optischen Verzerrung durch das Kameraobjektiv kann als vernachlässigbar gering eingeschätzt werden.

Es wurden grundsätzlich alle Überholvorgänge zwischen Rad- und Kfz-Verkehr sowie zwischen Radfahrern untereinander innerhalb der Radverkehrsspitzenstunde der Bezugsrichtung erhoben. Im Hinblick auf eine aussagefähige Auswertung wurden als Mindestumfang 20 dokumentierte Überholvorgänge je Messstelle angestrebt. Sollten innerhalb der Radverkehrsspitzenstunde weniger Überholvorgänge aufgetreten sein, wurde der Auswertzeitraum dementsprechend über die Spitzenstunde hinaus ausgedehnt. Die Rad- und Kfz-Verkehrsmengen der Gegenrichtung wurden für den Auswertzeitraum ebenfalls aus den Videoaufnahmen erhoben.

Die Bestimmung der spezifischen Verkehrskonstellation, in welcher der jeweilige Überholvorgang stattfindet, wurde anhand der in Kapitel 1.5.2 beschriebenen Typisierung der Überhol- und Begegnungssituationen vorgenommen. Für jeden Überholvorgang wurden folgende Größen erhoben:

- Typ Überholvorgang,
- Abstand Fahrbahnrand-Fahrrad,
- Abstand Fahrrad-Überholender,
- Fahrzeugbreite Überholender,
- Abstand Überholender-Gegenverkehr.

Parallel dazu wurden auch Kfz und Fahrräder erhoben, welche nicht an Überholvorgängen beteiligt sind. Folgende Größen wurden hierbei beachtet:

- Verkehrsmittelart,
- lokale Geschwindigkeit,
- Fahrlinie (qualitativ mit Bereichen von je 25 cm Breite).

Für die Messstelle Karl-Marx-Straße in Dresden wurden für einen Stichprobenumfang von 480 Kfz jeweils Fahrlinie und lokale Geschwindigkeit bestimmt. Unter der Annahme, dass die zulässige Abweichung des Mittelwertes der Stichprobe vom Erwartungswert der Grundgesamtheit bei der lokalen Geschwindigkeit 1 km/h und bei der Fahrlinie 0,25 m beträgt, ergibt sich mit einer Sicherheit von 95 % ein notwendiger Stichprobenumfang von 78 Kfz für die lokale Geschwindigkeit und 67 Kfz für die Fahrlinie.

Damit wurde das Ergebnis von SCHÜLLER [SCÜ10] zur Mindestkollektivgröße für die Erhebung der lokalen Geschwindigkeit bestätigt und für die Gruppe der Kfz, welche nicht an Überholvorgängen beteiligt sind, ebenfalls ein Erhebungsumfang von 80 Fahrzeugen festgelegt. Für die Gruppe der Fahrräder, welche nicht an Überholvorgängen beteiligt sind, wurde analog verfahren, wobei der Zielwert aufgrund der vorhandenen Radverkehrsmengen nur an wenigen Messstellen erreicht wurde.

Zur Beschreibung der Einflüsse des ruhenden Verkehrs wurden darüber hinaus folgende Kenngrößen erhoben:

- Anzahl Ein- und Ausparkvorgänge,
- Dauer Einparkvorgang,
- Behinderung von Radfahrern während des Parkwechselforgangs.

In den Datensatz wurden die Angaben zur Verkehrsstärke für den Auswertzeitraum richtungsgetrennt integriert. Dabei bleibt der Bezug zu den 15-min-Intervallen erhalten, so dass Einzelauswertungen über unterschiedliche Zeitscheiben möglich sind. Zusätzlich werden Radfahrer erhoben, die entgegen der verkehrsrechtlichen Regelung anstelle der Fahrbahn den Gehweg benutzen.

Zu allen aufgeführten empirischen Messgrößen wurden wichtige Verteilungsparameter ermittelt:

- arithmetisches Mittel,
- Quantil  $Q_{0,15}$ ,
- Quantil  $Q_{0,50}$  (Median),
- Quantil  $Q_{0,85}$ ,
- Standardabweichung,
- Minimum und Maximum.

Zusätzlich wurden je nach Vorkommen die statischen Randbedingungen der jeweiligen Messstelle erfasst, wie z. B.:

- Breite aller Querschnittelemente,
- Regelungen zum ruhenden Verkehr.

Insgesamt wurden an den 40 Messstellen für 80,25 h der Verkehrsablauf ausgewertet und dabei 1.036 Überholvorgänge zwischen Rad- und Kfz-Verkehr dokumentiert.

#### 4.4 Auswertungsansatz

Mit der richtungsbezogenen Dichte lässt sich nach dem HBS-Entwurf 201X [FGSV12B] die Kfz-Verkehrsqualität auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen und in Qualitätsstufen von A bis F einteilen. Durch die Auswertung der Kenngrößen Geschwindigkeit und Verkehrsstärke des Kfz-Verkehrs liegen die Eingangsdaten zur Berechnung der Dichte vor.

Ziel der Auswertung ist damit in erster Linie die Ermittlung von geschwindigkeitsrelevanten Einflussgrößen auf den Kfz-Verkehr.

Das im HBS-Entwurf 201X [FGSV12B] enthaltenen Maß für die Radverkehrsqualität ist nicht für Mischverkehrsstrecken anwendbar, da es sich in erster Linie auf Störungen durch fehlende Überholmöglichkeiten (Rad-Rad) bezieht und im Mischverkehr im Allgemeinen das problemlose Überholen gewährleistet ist.

Weitere mögliche Störungen, welche die Radverkehrsqualität beeinträchtigen, ergeben sich infolge von Behinderungen durch abbiegende, haltende oder parkende Kfz. Diese traten bei den Erhebungen nicht als Störungen für die Radfahrer auf.

Anhand der durch Videobeobachtungen gewonnenen Kenngrößen wurde ein mikroskopisches Simulationsmodell kalibriert und im späteren Verlauf anhand der resultierenden Verkehrsqualität des Kfz-Verkehrs auf Basis der Verkehrsdichte validiert. Unter Berücksichtigung belastbarer Kenngrößen, ob infrastrukturell oder fahrverhaltensspezifisch, wurden auch auf andere Gegebenheiten übertragbare Ergebnisse abgeleitet.

#### 4.5 Kennwertbezogene Vorüberlegungen zur Datenauswertung

Für die spätere Qualitätsbewertung ist der Quotient aus abgelehnten und angenommenen Überholvorgängen bei Gegenverkehr (Abhängigkeiten zu verschiedenen Einflussgrößen sind dafür zu untersuchen) entscheidend für den Einfluss des Radverkehrs. Es ist davon auszugehen, dass sich die Häufigkeit der potenziellen Überholsituationen mit steigenden Querschnittsverkehrsstärken von Radfahrern und Kraftfahrzeugen erhöhen wird.

Zusätzlich zu dem Quotienten aus angenommenen und abgelehnten Überholvorgängen bei Gegenver-

kehr, fließt die Geschwindigkeit in die Berechnung der Verkehrsqualität des Kfz-Verkehrs ein. Da es in diesem Zusammenhang verschiedene zu beachtende Geschwindigkeiten gibt, werden diese zunächst definiert.

Ausgehend von den mittleren Geschwindigkeiten der einzelnen frei fahrenden Kraftfahrzeuge werden die resultierenden mittleren Geschwindigkeiten des gesamten richtungsbezogenen Kfz-Verkehrs unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit anderen Kfz und mit dem Radverkehr beschrieben. Hierfür wurden die verschiedenen Fahrzustände mit den zugehörigen Geschwindigkeiten auf Basis der in den Videomessungen aufgenommenen Daten analysiert. Folgende Geschwindigkeiten werden unterschieden:

- Wunschgeschwindigkeit (völlig frei fahrendes Kfz)  
Mittels Radar-/Lasermessung gewonnene Geschwindigkeiten derjenigen Verkehrsteilnehmer, die sich völlig unabhängig von anderen Verkehrsteilnehmern bewegen konnten und deren Fahrverhalten ausschließlich durch die Infrastruktur bestimmt wurde.
- Geschwindigkeit ungestört fahrender Kfz  
Geschwindigkeit, die sich ausschließlich durch die Einflüsse anderer, sich in gleicher Fahrrichtung bewegender Kfz ergibt; keine Beeinträchtigung durch Radfahrer oder weitere verkehrliche Störungen wie Bushalte, Parkvorgänge, Abbieger etc.
- Geschwindigkeit radbeeinflusster Kfz  
Geschwindigkeit der Fahrzeuge, welche direkt durch einen Radfahrer beeinflusst wurden. Es spielt dabei keine Rolle, ob das Fahrzeug den Radfahrer im beobachteten Abschnitt überholt hat oder ob es hinterher gefahren ist; keine Beeinträchtigung durch weitere verkehrliche Störungen.
- Gesamtgeschwindigkeit  
Sich aus ungestörter und radbeeinflusster Geschwindigkeit ergebende Gesamtgeschwindigkeit, dabei haben Kfz in gebundenem Verkehr ebenso wie Radfahrer einen Einfluss; zusätzliche verkehrliche Störungen bleiben weiterhin unberücksichtigt.
- Beeinflusste Gesamtgeschwindigkeit  
Resultierende Geschwindigkeit aus allen auf den Verkehrsablauf wirkenden Einflüsse (auf-

bauend auf der Störintensität nach HBS werden diese Einflüsse bei der nachfolgenden Betrachtung vorerst nicht berücksichtigt).

Relevant für Qualitätsbewertung des Kfz-Verkehrs ist die Differenz der Geschwindigkeit ungestört fahrender Kfz und der durch den Radverkehr resultierenden Gesamtgeschwindigkeit der Kfz. Wichtig ist, dass dieser Geschwindigkeitseinfluss des Radverkehrs isoliert betrachtet wird und zusätzliche Einflüsse wie Einparkvorgänge, kreuzende Fußgänger und Linksabbieger (beeinflusste Gesamtgeschwindigkeit) nicht dem Radverkehrseinfluss zugeordnet werden.

Zu untersuchende Einflüsse auf die Gesamtqualität des fließenden Kfz-Verkehrs setzen sich aus der resultierenden mittleren Gesamtgeschwindigkeit der Kfz sowie den zugehörigen Kfz-Verkehrsmengen zusammen (siehe Kapitel 2.2.1). Die resultierende mittlere Kfz-Geschwindigkeit setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen, aufbauend auf den Qualitätsansätzen des HBS-Entwurfs 201X [FGSV12B].

Zur detaillierten Beschreibung der Geschwindigkeiten müssen alle relevanten Einflussfaktoren überprüft werden. Im Folgenden sollen alle zu prüfenden Abhängigkeiten aufgezeigt werden.

### Mögliche Abhängigkeiten

- Wunschgeschwindigkeit  
Fahrbahnbreite, Vorhandensein eines Schutzstreifens, Schutzstreifenbreite, Längsneigung
- Geschwindigkeit ungestört fahrender Kfz  
Fahrbahnbreite, Schutzstreifenexistenz, Schutzstreifenbreite, Längsneigung, SV-Anteil, Kfz-Verkehrsstärke,
- Geschwindigkeit radbeeinflusster Kfz/Gesamtgeschwindigkeit  
Fahrbahnbreite, Schutzstreifenexistenz, Schutzstreifenbreite, Längsneigung, SV-Anteil, Kfz-Verkehrsstärke, Radverkehrsstärke, Radverkehrsgeschwindigkeit, Anteil angenommener Überholungen mit Gegenverkehr, Überholgeschwindigkeit,
- Gesamtgeschwindigkeit  
Fahrbahnbreite, Schutzstreifenexistenz, Schutzstreifenbreite, Längsneigung, SV-Anteil, Kfz-Verkehrsstärke, Radverkehrsstärke, Radverkehrsgeschwindigkeit, Anteil angenommener

Überholungen mit Gegenverkehr, Überholgeschwindigkeit, Abbieger, Parkvorgänge, Liefervorgänge, Bushalte.

Zusätzlich zu den beschriebenen Einflüssen könnten Faktoren wie Seitenraumgestaltung (Bebauung, Nutzung) sowie Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahn geschwindigkeitsrelevant sein.

Im Zuge der Datenauswertung werden die Ergebnisse differenziert aufgezeigt. In der Auswertung wird dabei grundsätzlich zwischen zwei- und vierstreifigen Querschnitten unterschieden. Es wurde eine Vielzahl möglicher Zusammenhänge geprüft und ausgewertet, von denen im Bericht nur ausgewählte beschrieben werden können. Die dargestellten Ergebnisse zeigen die gefundenen Zusammenhänge aber auch Erkenntnisse darüber, wo es keine nachweisbaren oder belastbaren Zusammenhänge gibt.

## 5 Ergebnisse der Video-beobachtung an zweistreifigen Querschnitten

### 5.1 Vorbemerkung

In Abhängigkeit vom jeweiligen Ziel einer konkreten Auswertung wurden die relevanten Querschnitte aus den 30 erhobenen zweistreifigen Querschnitten ausgewertet. Ursache dafür, dass einige Erhebungsdaten in einem Teil der Auswertungen nicht berücksichtigt wurden, waren z. B. nicht voraussehbare lokale Effekte wie fehlende Überholvorgänge oder nur sehr geringe Radverkehrsstärken. Die Ergebnisse der zwei Tempo-30-Strecken wurden bezogen auf die Verkehrsqualität nicht zusammen mit den Tempo-50-Strecken betrachtet, da die Geschwindigkeit in die Qualitätsbewertung der Kfz eingeht.

Die Auswertungen wurden jeweils nach den Untersuchungsgegenständen Verkehrsqualität (Bezug jeweils zur Radspitzenstunde) und Konflikte/Abstände (jeweils für den gesamten ausgewerteten Zeitraum) differenziert. Für die Verkehrsqualität konnten 25 der 30 Querschnitte genutzt werden, für die Konfliktanalysen 27 der 30 Querschnitte.

Zur Übersicht und verbesserten Zuordnung wurde in Anlage 29 eine Kennwerttabelle beigefügt, die die jeweiligen Grundwerte aller Querschnitte und deren Nutzung in den Auswertungen aufzeigt.

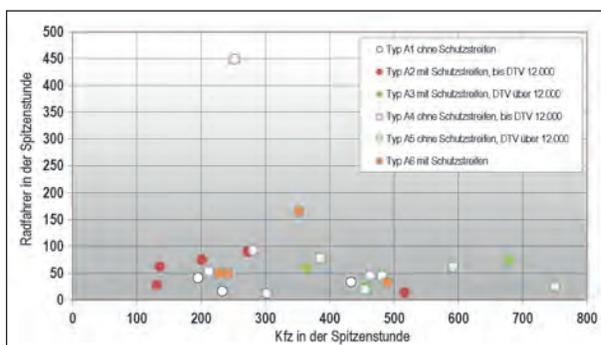
Alle grafischen Auswertungen zu zweistreifigen Querschnitten, die nachfolgend erläutert werden, sowie weitere Grafiken sind auch in den Anlagen in vergrößerter Darstellung enthalten. Diese sind zudem thematisch gruppiert:

- Anlage 30: Grafische Auswertungen – Verkehrsmengen bei zweistreifigen Querschnitten,
- Anlage 31: Grafische Auswertungen – Überholverhalten bei zweistreifigen Querschnitten,
- Anlage 32: Grafische Auswertungen – Überholabstände bei zweistreifigen Querschnitten,
- Anlage 33: Grafische Auswertungen – Seitenraumnutzung bei zweistreifigen Querschnitten,
- Anlage 34: Grafische Auswertungen – Geschwindigkeiten bei zweistreifigen Querschnitten,
- Anlage 35: Grafische Auswertungen – Fahrlinien und Kernfahrbahnbreiten bei zweistreifigen Querschnitten,
- Anlage 36: Grafische Auswertungen – Ergebnisse Simulation/Verkehrsqualität bei zweistreifigen Querschnitten.

Die benannten Anlagen beginnen auf Seite A-84.

## 5.2 Verkehrsmengenkonstellationen

Bei der Bemessung von innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen und der später angestrebten Verkehrssimulation bilden die Stundenwerte die Basis der Qualitätsbewertung. Da das Hauptaugenmerk dieses Forschungsvorhabens auf der Auswertung des Radverkehrseinflusses auf dem Verkehrsablauf des Kfz-Verkehrs liegt, wird die Radspitzenstunde als entscheidendes Auswahlkriterium gewählt. Ihr zugeordnet wurden die zugehörigen qualitätsrelevanten Kenngrößen. In Bild 34 sind die auf-



**Bild 34:** Verkehrsstärkenkombination Kfz/Rad in Bezugsrichtung der Radspitzenstunden

tretenden Verkehrsmengenkombinationen der betreffenden Querschnittstypen dargestellt.

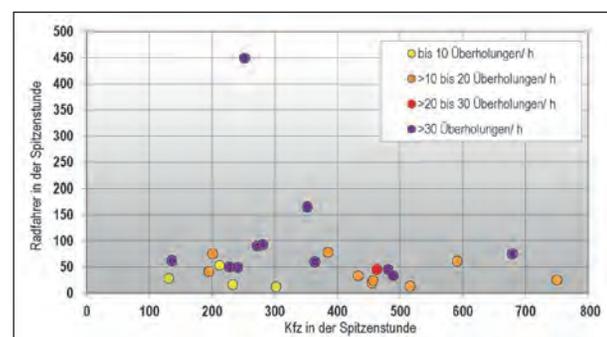
Es zeigt sich, dass die Radverkehrsstärken auf fast allen Strecken gering sind. Mit Ausnahme von 2 Strecken, passieren in der Spitzenstunde maximal 100 Radfahrer den Messquerschnitt. In Kombination mit ebenfalls geringen Kfz-Verkehrsstärken führte dies dazu, dass oft nur wenige Fälle von Interaktionen zwischen Rad und Kfz in dem 50-m-Messabschnitt auftraten.

## 5.3 Überholtypen und -häufigkeiten

In den Spitzenstunden der 25 ausgewerteten Querschnitte konnten insgesamt 566 Überholsituationen (angenommene und abgelehnte) zwischen Kfz und Radfahrern beobachtet werden. Um eine Zuordnung zu auftretenden Verkehrsmengenkombinationen treffen zu können, wurden die Daten in 4 Klassen eingeteilt: bis einschließlich 10, 11 bis 20, 21 bis 30 und über 30 Überholungen (Kfz überholen Radfahrer).

Bild 35 zeigt den Zusammenhang zwischen steigenden Verkehrsmengen und der Anzahl der Überholungen. Bei geringen Radverkehrsmengen unter 50 Radfahrern/h und Kfz-Verkehrsstärken von unter 400 Kfz/h in Bezugsrichtung wurden kaum Überholsituationen im Untersuchungsbereich beobachtet. Beim Vergleich von Querschnitten mit ähnlichen Kfz-Verkehrsstärken zeigt sich, dass mit steigender Radverkehrsstärke die Zahl der Überholereignisse in den meisten Fällen steigt. Sowohl bei Verkehrsstärken von 130 als auch 280 Kfz/h, steigt die Zahl der Überholereignisse bei höheren Radmengen sichtbar an.

Als deutlicher Ausreißer zeichnet sich der Querschnitt 4-1 ab, welcher mit 449 Rad/h bei 252 Kfz/h



**Bild 35:** Klassifizierte Überholhäufigkeit von Radfahrern nach Kfz- und Radverkehrsmenge ohne Berücksichtigung von Rad-Rad-Überholungen

die mit Abstand höchste Radbelastung aufweist. Hierbei kommt es zu 68 Überholereignissen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Steigerung des Radverkehrs den Verkehr in stärkerem Maße beeinflusst als eine Steigerung des Kfz-Verkehrs.

Um die verschiedenen Überhol- und Begegnungsereignisse im Detail auszuwerten, wird in Bild 36 für die einzelnen Querschnittstypen jeweils die dokumentierte Häufigkeit der verschiedenen Überholtypen (Anlage 2) dargestellt.

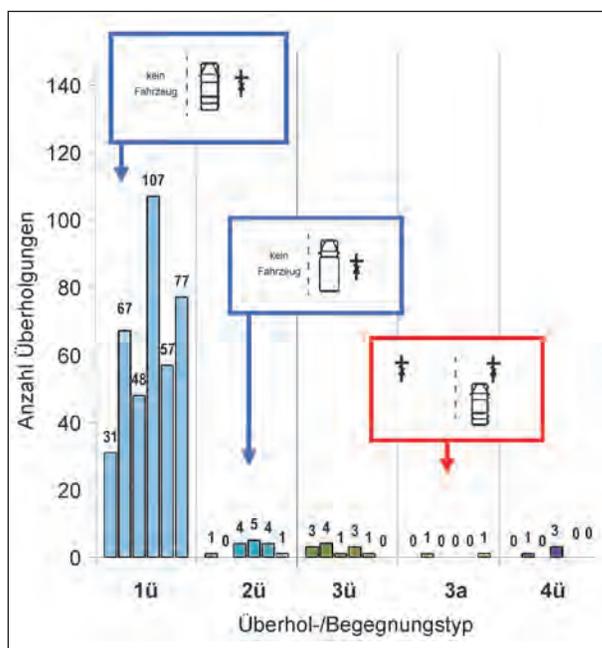
Bei dem Großteil aller Überholereignisse treffen Pkw auf Radfahrer, der Anteil an Interaktionen zwischen Schwerverkehr und Radfahrern ist aufgrund der geringeren Schwerverkehrsstärke deutlich kleiner. Wie erwartet wird mit Ausnahme eines Ereignisses (Typ 3a) immer überholt, wenn sich kein Kfz im Gegenverkehr befindet. Bei Fahrbahnbreiten ab 6 m ist es im Allgemeinen möglich, dass sich Radfahrer begegnen und dazwischen einer der Radfahrer von einem Kfz überholt wird.

Bei Überholungen mit Kfz im Gegenverkehr (Bild 37) zeigt sich deutlich, dass nur Überholungen zwischen Pkw und Rad auftreten. Zwischen Schwerverkehrsfahrzeugen und dem Radverkehr kamen nur abgelehnte Überholsituationen vor (Typ 7a).

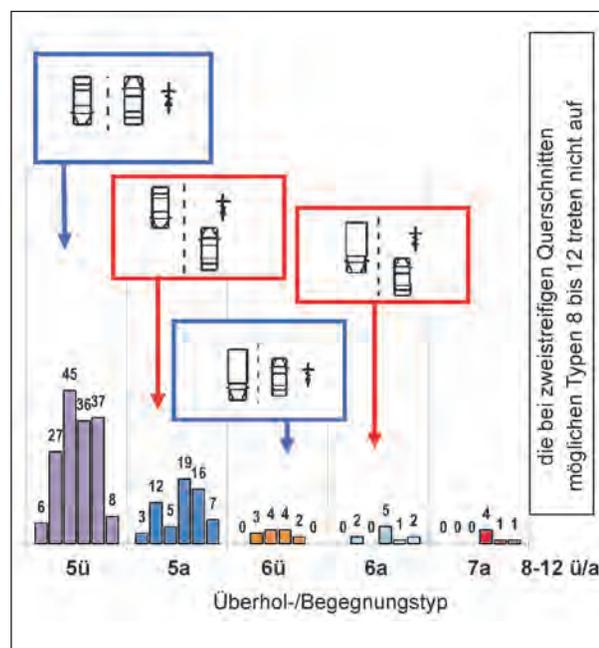
Wenn man die Verteilung zwischen abgelehnten und angenommenen Überholvorgängen mit der Beteiligung von einem Schwerverkehrsfahrzeug mit der von zwei Pkw vergleicht, ist festzustellen, dass ein hoher Schwerverkehranteil negative Auswirkungen auf die Häufigkeit angenommener Überholung hat. Bei der Begegnung von zwei Pkw während der Überholung eines Radfahrers werden über alle Einzelquerschnitte aggregiert ca. 75 % der Überholungen angenommen. Sobald sich ein Schwerverkehrsfahrzeug in Bezugs- oder Gegenrichtung befindet, werden nur noch ca. 50 % der Überholmöglichkeiten wahrgenommen.

Es wurde keine Situation erfasst, in der ein SV-Fahrzeug mit Gegenverkehr überholt hat. Ebenso wenig begegneten sich zwei Schwerverkehrsfahrzeuge während einer möglichen Überholung.

In den Erhebungen gab es zudem keine Situation, in der Radverkehr im Gegenverkehr in Kombination mit einem Gegenverkehrsfahrzeug auftrat (Überhol- bzw. Begegnungstypen 8-12). Im Gegenverkehr wurden dabei in einer Stunde bis zu 115 Radfahrer erhoben. Bis zu einer solchen Verkehrsmenge ist damit nicht von einem Einfluss des Radverkehrs im Gegenverkehr auf die Überholhäufigkeiten und die Verkehrsqualität in der Bezugsrichtung auszugehen.



**Bild 36:** Häufigkeiten der Begegnungs- und Überholtypen von 1ü bis 4ü, (aller Messstunden, keine Kfz im Gegenverkehr; jeweils linke Balken Typ A1 bis rechter Balken Typ A6)



**Bild 37:** Häufigkeiten der Begegnungs- und Überholtypen von 5ü bis 7a, (aller Messstunden, mit Kfz im Gegenverkehr; jeweils linke Balken Typ A1 bis rechter Balken Typ A6)

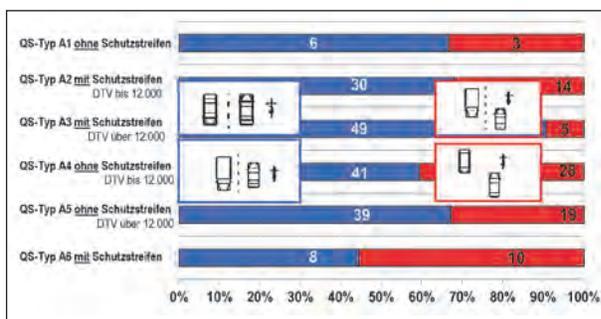
Im Bild 38 werden die aggregierten Überhol- und Begegnungsfälle der Querschnittstypen dargestellt, es werden dabei nur die Typen 5 bis 7 (mit Kfz im Gegenverkehr) berücksichtigt.

Es lassen sich dabei folgende Effekte beobachten:

- Ein Schutzstreifen hat an Fahrbahnen bei gleichbleibender Breiten- und Verkehrsmengenklasse hinsichtlich der Überholungen keinen eindeutigen Einfluss (Anteil abgelehnter Überholungen mit Schutzstreifen bei A1 bis A6 höher, bei A2 bis A4 geringer und bei A3-A5 gleichbleibend).
- Auf höher belasteten Strecken (A3, A5) werden weniger Überholungen abgelehnt. Bild 38 lässt jedoch nicht den Schluss zu, dass eine höhere Belastung gleichzeitig zu einem höheren Anteil an angenommenen Überholungen führt (Beispielsweise können Straßen mit höherer verkehrlicher Bedeutung im Allgemeinen auch breiter sein, was einen unberücksichtigten weiteren Einfluss darstellen würde.).

Den Überholungen vom Typ 20ü (Überholen von Radfahrern untereinander) konnte kein Einfluss auf den Kfz-Verkehr nachgewiesen werden. Überholungen dieses Typs wurden in allen Messstunden insgesamt 74 mal erfasst, 43 davon im Querschnitt 4-1.

Bei den auftretenden 449 Rad/h kommt es auch zu vermehrten Interaktionen zwischen den Radfahrern. Allerdings konnten keine abgelehnten Überholvorgänge zwischen Radfahrern festgestellt werden. Dies ist auch damit begründbar, dass Radfahrer aus energetischen oder sozialen Gründen dazu tendieren, in der Gruppe zu fahren und sich dabei der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Radfahrers anzupassen, ohne dabei zwangsläufig überholen zu wollen.



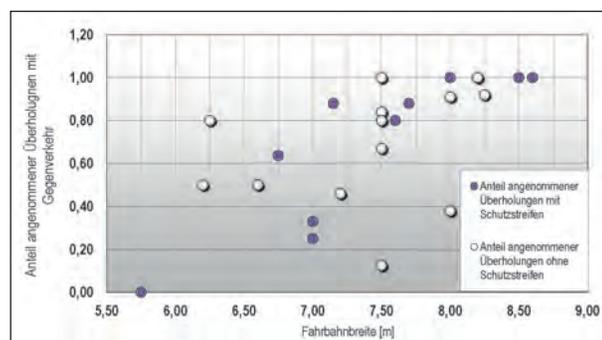
**Bild 38:** Häufigkeiten von Überhol- und Begegnungstypen mit Gegenverkehr (Kfz) nach Querschnittstypen

## 5.4 Einflussfaktoren auf das Überholverhalten der Kfz

Im welchem Maße der Verkehrsablauf des motorisierten Verkehrs durch Radfahrer beeinflusst wird, hängt in erster Linie davon ab, wie hoch der Anteil der Kraftfahrzeuge ist, die infolge des Radverkehrs ihrer Geschwindigkeit reduzieren müssen, da sie nicht überholen können. Wie schon im vorangegangenen Kapitel beschrieben, wird davon ausgegangen, dass Radfahrer immer überholt werden, wenn sich im Gegenverkehr keine anderen Kraftfahrzeuge befinden (im Rahmen der vorgegebenen Fahrbahnbreiten von 6,0 bis 8,5 m). Als Maß für den Einfluss des Radverkehrs fungiert damit der „Anteil angenommener Überholungen mit Gegenverkehr“. Berücksichtigt werden hierfür die Überhol- und Begegnungstypen 5 bis 7 (die weiteren Typen 8 bis 12 konnten auf den gewählten Querschnitten nicht beobachtet werden).

### Fahrbahnbreite

Der Anteil angenommener Überholungen steigt mit der Fahrbahnbreite. Ab einer Breite von 8,25 m wird fast immer überholt, der Radeinfluss minimiert sich bei dieser Breite und ist im üblichen Verkehrsmengenbereich für Radverkehr im Mischverkehr vernachlässigbar. Bei schmaleren Fahrbahnen steigt die behindernde Wirkung des Radverkehrs. Die Fahrbahnbreite ist die Haupteinflussgröße auf den Überholanteil, was sich in Bild 39 zeigt. Von den 30 untersuchten zweistreifigen Querschnitten konnten 24 für diese und die folgenden verkehrstechnischen Auswertungen berücksichtigt werden, da diese die Randbedingungen erfüllen (zul. Höchstgeschwindigkeit 50 km/h, Radüberholungen müssen vorkommen).



**Bild 39:** Anteil angenommener Überholungen mit Kfz im Gegenverkehr in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite

### Verkehrsstärken Kfz und Rad

Eine Korrelation zwischen der Kfz-Verkehrsstärke und der Häufigkeit angenommener Radüberholungen konnte nicht ermittelt werden.

Dagegen hat die Radverkehrsstärke einen direkten Einfluss die Häufigkeit der Überholungen. Mit steigender Radverkehrsstärke kommt es häufiger zu Überholereignissen welche entsprechend häufiger abgelehnt werden. Damit hat die Radverkehrsstärke gleichzeitig einen Einfluss auf die Kfz-Geschwindigkeit und damit auf die Kfz-Verkehrsqualität. Mit zunehmender Radverkehrsstärke geht somit die Kfz-Geschwindigkeit zurück und die Kfz-Verkehrsqualität nach HBS-Definition sinkt.

### Vorhandensein von Schutzstreifen

Bei Fahrbahnbreiten zwischen 7,5 und 8,5 m lassen sich keine deutlichen Unterschiede der Überholanteile zwischen Strecken mit und ohne Schutzstreifen erkennen (siehe ebenfalls Bild 39). Bei Fahrbahnbreiten unter 7,5 m weisen Strecken ohne Schutzstreifen tendenziell einen höheren Überholanteil auf als Strecken mit Schutzstreifen. Werden allerdings die beiden schmalsten Querschnitte aus der Betrachtung ausgeschlossen, so erscheint dieser Trend vernachlässigbar. Bei der Betrachtung der Datengrundlage der beiden Querschnitte ohne Schutzstreifen (6,20 und 6,25 m breite Fahrbahn) zeigt sich, dass sich auf deren Basis keine verlässlichen Ergebnisse ableiten lassen. Auf dem 6,20 m breiten Querschnitt A1-3 wurden lediglich 2 Überholvorgänge mit Gegenverkehr beobachtet, davon einer abgelehnt und einer angenommen. Auf dem 6,25 m breiten Querschnitt A1-1 wurden von den 5 Überholvorgängen, 4 angenommen und einer abgelehnt.

Auf Basis der ausgewerteten Daten lassen sich somit keine Anhaltspunkte finden, die Unterschiede bei der Überholhäufigkeit zwischen Fahrbahnen mit und ohne Schutzstreifen zeigen. Die Anlage eines Schutzstreifens hat demzufolge keinen Einfluss auf die Überholhäufigkeiten und behindert damit den Verkehrsfluss nicht. Entscheidend bleiben hier weiterhin die Fahrbahnbreiten und die Verkehrsmengen.

### Schwerverkehr

Um eine Abhängigkeit des Schwerverkehrsanteils zum Überholanteil bei Gegenverkehr bestätigen zu

können, müsste sich eine sichtbare Änderung des Überholanteils nachweisen lassen. Über alle untersuchten Querschnitte hinweg, gab es bei 568 Interaktionen zwischen Kfz und Radverkehr in Summe lediglich 38 Begegnungssituationen mit der Beteiligung von Schwerverkehrsfahrzeugen (jeweils nur in einer Richtung, da 2 beteiligte SV-Fahrzeuge nie beobachtet werden konnten). In 22 Fällen wurde überholt, in 16 Fällen wurde nicht überholt. In den beobachteten 58,25 Stunden konnten so im Mittel nur weniger als 1 Begegnungsfall mit Schwerverkehrsbeteiligung je Stunde beobachtet werden. Es lassen sich auf Grundlage der gewonnenen Daten deshalb keine signifikanten Einflüsse auf den Überholanteil nachweisen.

### Weitere Einflüsse

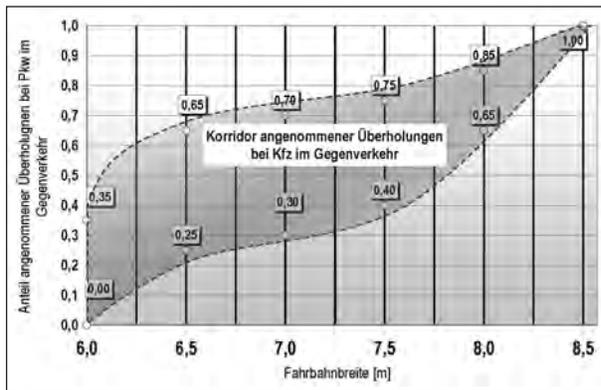
Zur Bestätigung der Erkenntnisse wurde neben der eigenständigen Betrachtung der einzelnen Einflussgrößen eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt.

Der einzig nachweisbare Einfluss besteht zwischen den Überholanteilen bei Gegenverkehr und der Fahrbahnbreite. Unter Berücksichtigung der starken Streuung wurde von einer Beschreibung mittels eines linearen Zusammenhangs abgesehen. Es wird vielmehr von korridorbildenden weiteren Einflussgrößen des Entscheidungsverhaltens ausgegangen, welche jedoch nicht erfasst werden können (Kurvigkeit, detaillierte Seitenraumgestaltung, Straßenoberfläche, Ausbildung der Gerinnestreifen, Sicht, Mobilitätskultur, Entfernung zu Knotenpunkten usw.).

Unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse wird deshalb zur Beschreibung des Anteils angenommener Überholungen ein Wertekorridor in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite abgeschätzt. Dieser gibt die möglichen Einflüsse durch die Infrastrukturgestaltung und Nutzung sowie der Verkehrszusammensetzung und -menge in seiner möglichen Bandbreite wieder.

Ohne die Möglichkeit, die Einflüsse und die daraus entstehenden Effekte ursachenfein erfassen zu können, erscheint die Lösung in Form einer Korridorbildung als praktikabel.

Bild 40 ist wie folgt zu lesen: Bei einer Fahrbahnbreite von 6,5 m schwankt der Anteil der Kfz-Fahrer, die einen Radfahrer auch bei Gegenverkehr überholen zwischen 25 und 65 %.

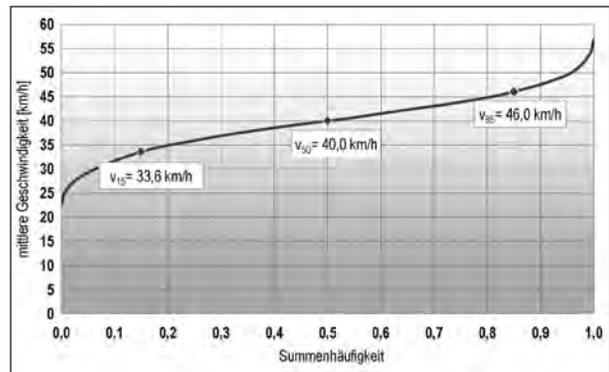


**Bild 40:** Korridor des Anteils angenommener Überholungen mit Kfz im Gegenverkehr in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite

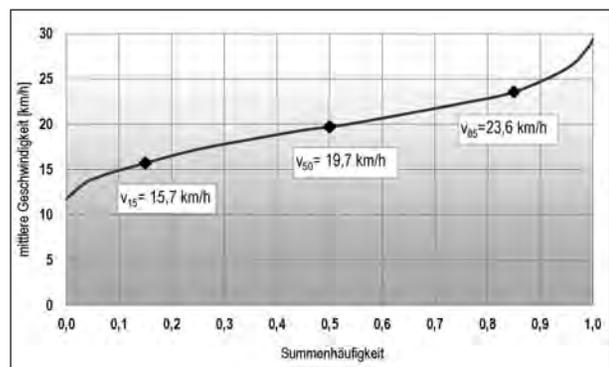
Der dargestellte Bereich bildet die Grundlage für die verkehrstechnischen Simulationen zur Bewertung der Verkehrsqualität in Kapitel 7.

## 5.5 Ungestörte Kfz-Geschwindigkeiten

Neben den Geschwindigkeiten beim Überholen von Radfahrern sind die Geschwindigkeiten der ungestört fahrenden Kfz (nur Einflüsse durch Kfz-Pulkbildung) von Bedeutung – insbesondere als Parameter für die mikroskopischen Simulationen (siehe Kapitel 7). Es konnten keine Abhängigkeiten der ungestörten Geschwindigkeiten zur Fahrbahnbreite oder Verkehrsmenge abgeleitet werden. Bild 41 zeigt, welche Geschwindigkeitsbereiche von 15 % der Kfz jeweils nicht unter- bzw. überschritten wurden.



**Bild 41:** Geschwindigkeitsverteilung aller ungestörten Kfz



**Bild 42:** Geschwindigkeitsverteilung aller ungestört fahrenden Radfahrer auf der Fahrbahn (n = 1.894 Radfahrer)

weichende Längsneigung hatten und sich die Radgeschwindigkeit dieser 7 Querschnitte im Streubereich der restlichen 15 Querschnitte befanden, konnte keine quantitativen Aussagen zur konkreten Geschwindigkeitsreduktion getroffen werden.

## 5.6 Geschwindigkeit Radverkehr

Neben der Überholwahrscheinlichkeit nimmt der einzelne Radfahrer durch seine gefahrene Geschwindigkeit Einfluss auf die Verkehrsqualität der Kfz. Bei schnellen Radfahrern ergibt sich, bei gleichbleibendem Geschwindigkeitsniveau der Kfz, eine geringere Behinderungswirkung auf den Kfz-Verkehr als bei langsamer fahrenden Radfahrern. Mit sinkender Geschwindigkeitsdifferenz sinkt die tatsächlich erfassbare Verzögerungswirkung.

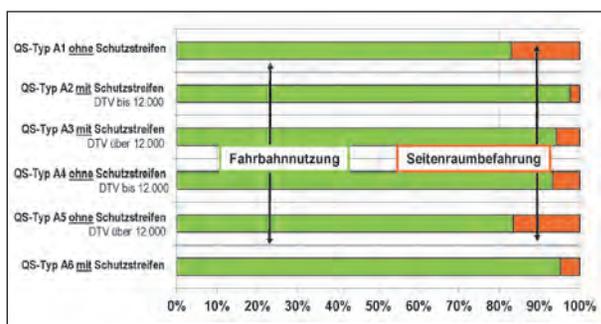
Bei der Untersuchung der Zusammenhänge von Radgeschwindigkeit und möglichen Einflusskriterien konnten nur Bezüge zur Längsneigung hergestellt werden. Weder der Verkehrsmenge noch dem Schutzstreifen oder der Fahrbahnbreite konnte ein Einfluss nachgewiesen werden. Da von den 22 Querschnitten nur 7 Querschnitte eine von null ab-

Aufbauend darauf wird für weiterführende Untersuchungen von einer einheitlichen Geschwindigkeitsverteilung ausgegangen, welche jedoch nicht in Beziehung zu speziellen Randbedingungen gesetzt werden kann.

Wie in Bild 42 dargestellt, beträgt die mittlere Radgeschwindigkeit ca. 20 km/h und ergibt sich aus allen unbehindert fahrenden Radfahrern, welche sich auf den untersuchten Strecken (über den gesamten Auswertzeitraum) auf der Fahrbahn in entsprechender Bezugsrichtung bewegten.

## 5.7 Flächennutzung

Der Radverkehr, der sich entlang einer Strecke bewegt, setzt sich bei den hier untersuchten Querschnitten (Radverkehr im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen) aus Radfahrern zusammen,



**Bild 43:** Anteil der Flächennutzung nach Querschnittstyp, (nur zweistreifige Querschnitte, 100 % = Radfahrer/h)

welche tatsächlich die Fahrbahn nutzen und solchen die den Seitenraum (und damit vorschriftswidrig den Gehweg) befahren. Dies ist besonders unter Sicherheitsaspekten relevant, da die Analysen zur Verkehrssicherheit zeigen, dass die Seitenraumnutzung bei bestimmten Unfalltypen (Einbiegen/Kreuzen) kritisch sein kann (siehe auch Kapitel 3.5).

Aus Bild 43 lassen sich zudem weitere Trends ableiten. Die Nutzung des Seitenraumes verringert sich durch

- das Vorhandensein eines Schutzstreifens,
- breitere Schutzstreifen und
- geringere Kfz-Verkehrsstärken.

Die untersuchten Beispiele mit einer zul. Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h (Querschnitte A1-4 und A3-5) zeigen, dass diese nicht unbedingt zu einer geringeren Seitenraumnutzung führt.

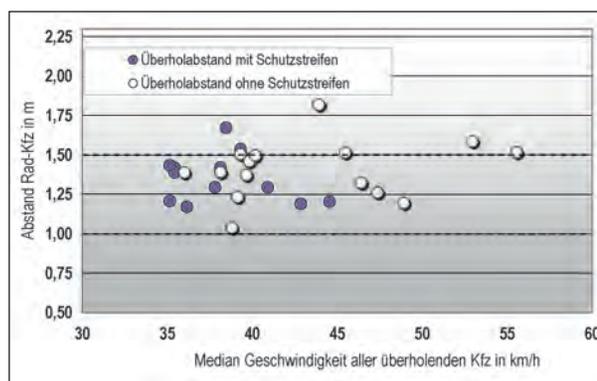
Aus den Aussagen wird deutlich, dass Schutzstreifen die Fahrbahnnutzung unterstützen können, was wiederum Konflikte zwischen Radfahrern und Fußgängern sowie Konflikte an einmündenden Straßen und Zufahrten verringern kann.

## 5.8 Überholabstände

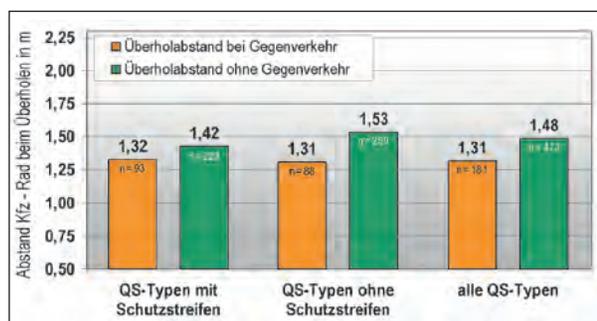
Die Überholabstände sind kein Kriterium der Verkehrsqualität für den Kfz-Verkehr, welche hier durch die realisierten bzw. abgelehnten Überholungen und die Geschwindigkeiten beschrieben wird.

Die Auswertung der Überholabstände gibt zudem qualitative Hinweise zum subjektiven Sicherheitsempfinden der Radfahrer und zu Konfliktpotenzialen zwischen Radverkehr und Kfz-Verkehr.

Tendenziell sinken durch das Vorhandensein eines Schutzstreifens die Geschwindigkeiten beim Über-



**Bild 44:** Überholabstände Kfz-Rad in Abhängigkeit zur Überholgeschwindigkeit (jeweils Darstellung des Abstands, der von 85 % aller Kfz mindestens eingehalten wird)



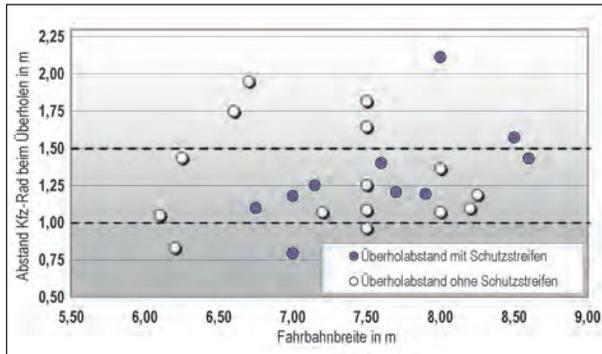
**Bild 45:** Überholabstände Kfz-Rad mit und ohne Gegenverkehr (bei 30 und 50 km/h zul. Höchstgeschw., jeweils Darstellung der Breite, die von 85 % der Kfz eingehalten wird)

holen, dies zeigt Bild 44. Als Abstand wird die Achse des Fahrrades und der Außenrand der Kfz-Fahrgastzelle genutzt, da diese Bezugspunkte in der Videoanalyse optisch erkannt und ausgewertet werden konnten.

Die Auswertungen ergaben, dass insbesondere die Überholabstände bei gleichzeitigem Gegenverkehr das kritische Maß darstellen. Hier sind die Abstände deutlich niedriger als bei Überholungen ohne Gegenverkehr. Bei Gegenverkehr wird um bis zu 17 cm enger überholt als ohne Gegenverkehr (siehe Bild 45).

Das Vorhandensein eines Schutzstreifens hat wiederum nur einen Einfluss auf das Überholen ohne Gegenverkehr. Hier wird mit Schutzstreifen enger überholt, was mit dem Leitlinieneffekt des Schutzstreifens begründet werden kann.

Als typische Überholabstände (Abstand zwischen Außenkante Fahrzeug und Fahrlinie des Radverkehrs) wurden Werte zwischen 1,30 und 1,50 m festgestellt – je nachdem ob Gegenverkehr vorhanden ist oder nicht. Zieht man davon das Außen-



**Bild 46:** Überholabstände Kfz-Rad bei Gegenverkehr in Abhängigkeit zur Fahrbahnbreite (jeweils Darstellung des Abstands, der von 85 % aller Kfz mindestens eingehalten wird und der Fahrbahnbreite)

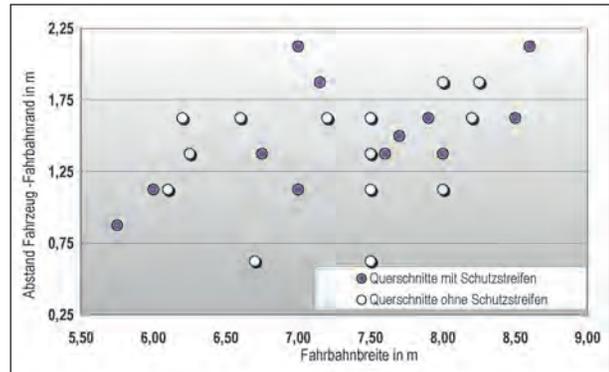
spiegelmaß (ca. 15 cm) und eine halbe Radlenkerbreite (ca. 30 cm) ab, ergibt sich ein „lichter Abstand“ zwischen 0,85 m mit Gegenverkehr und 1,05 m ohne Gegenverkehr.

Ein weiterer Trend ist zudem bei Fahrbahnen mit höheren Breiten (ab 7,50 m) und dem Vorhandensein von Schutzstreifen zu erkennen. Wie Bild 46 zeigt, wird ab diesem Wert die 1-m-Marke deutlich überschritten. Der Überholabstand steigt allerdings in geringerem Maß, als die Fahrbahn breiter wird.

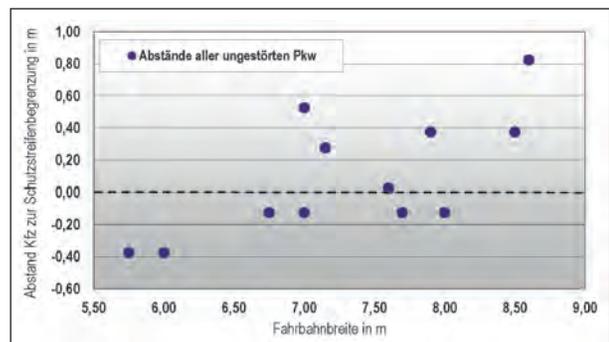
Aus diesen Betrachtungen lässt sich ableiten, dass die teilweise in der Rechtsprechung<sup>10</sup> geforderten 1,50 m Abstand zwischen überholenden Kfz und Radfahrern bei weitem nicht eingehalten werden – selbst wenn der Platz auf der Fahrbahn dafür ausreicht. Die Abstände beim Überholen unterscheiden sich durch das Vorhandensein eines Schutzstreifens nicht maßgeblich. Da aber durch Schutzstreifen die Geschwindigkeiten beim Überholen tendenziell sinken, kann zumindest aus dieser Sicht von einer Verbesserung für den Radverkehr ausgegangen werden.

## 5.9 Fahrlinien und Abstände zum ruhenden Verkehr

Weiterhin wurde das Abstandsverhalten von Kfz und Radfahrern zum Fahrbahnrand untersucht. Bild 47 zeigt, dass die Abstände zwischen Kfz und Fahrbahnrand stark streuen aber tendenziell bei größeren Breiten zunehmen. Wie auch bei den Überholabständen orientiert sich dabei die Fahrlinie der Kfz nicht in dem Maß weiter in Richtung Straßenmitte wie die Breiten ansteigen.



**Bild 47:** Abstand Kfz zu Fahrbahnrand in Abhängigkeit zur Fahrbahnbreite (jeweils Darstellung des Medians für Abstand Fahrzeug-Fahrbahnrand und die Fahrbahnbreite)

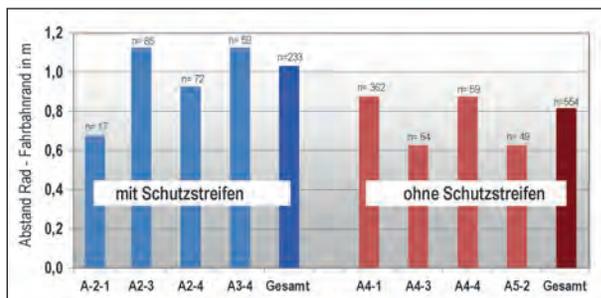


**Bild 48:** Abstand von Kfz zur Schutzstreifenmarkierung in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite (Median des Abstandes zwischen Pkw und der Schutzstreifenmarkierung, ohne Einfluss durch Radfahrer (negativ = Überfahrung der Markierung))

Bild 48 zeigt, dass eine Mitbenutzung des Schutzstreifens durch Kfz außerhalb von Begegnungsfällen oder Überholungen ab Breiten von ca. 7 m nur noch selten vorkommt, während Schutzstreifen an schmalen Querschnitten häufiger und weiter überfahren werden. Da für weitere Aspekte wie Verkehrsstärken im Gegenverkehr, Breiten der Schutzstreifen oder Randnutzungen kein Einfluss festgestellt werden konnte, kann über die tatsächlichen Auswirkungen der Überfahrungen auf die Verkehrsqualität oder die Konfliktsituationen hier keine Aussage getroffen werden. Das Ergebnis wird dann jedoch relevant, wenn sich durch das Befahren des Schutzstreifens durch Kfz negative Auswirkungen ergeben würden.

Ein besonderes Sicherheitsrisiko für den Radverkehr sind sich öffnende Türen von Kfz, wenn die Kfz parallel zur Straße parken. Wie Bild 49 zeigt, konnten in der Untersuchung jeweils 4 Querschnitte mit und ohne Schutzstreifen betrachtet und die Abstände analysiert werden. Es handelt sich um die Querschnitte A2-1, A2-3, A2-4 und A3-4 mit Schutzstreifen

<sup>10</sup> Bezugsrichtung und Gegenrichtung ausgewertet



**Bild 49:** Abstand Fahrlinie Rad-Fahrbahnrand bei straßenparallelem Parken (Median der Abstände, jeweils Querschnitte der vergleichbaren Typen A2/A3 und A4/A5 mit und ohne Schutzstreifen)

fen und um die Querschnitte A4-1, A4-3, A4-4 und A5-2 ohne Schutzstreifen. Die Schutzstreifenabschnitte verfügen dabei über Sicherheitsräume zwischen 30 und 50 cm bis zu den Parkständen, womit deren Breite teilweise unter den von der ERA geforderten 50 cm liegt.

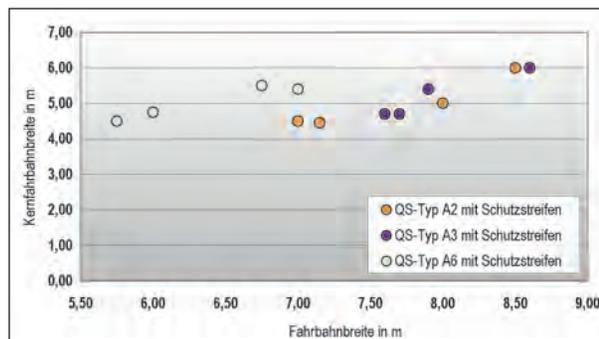
Die Markierung von Schutzstreifen mit Sicherheitsräumen zu parkenden Kfz führt tendenziell zu einem größeren Abstand zwischen Radfahrern und parkenden Kfz um ca. 20 cm. Schutzstreifen mit Sicherheitsräumen sind folglich dazu geeignet, das Risiko eines Unfalls durch Türöffnungen zu verringern.

## 5.10 Kernfahrbahn

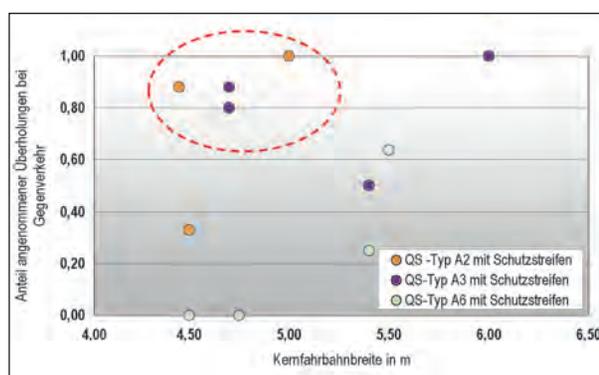
Wie REICHENBACH et al. [REI03] für die Schweizer Vereinigung der Ingenieure schrieb, ist die „Kernfahrbahn“ als Bereich zwischen der Schutzstreifenmarkierung ebenfalls ein wichtiges und gut darstellbares Bemessungskriterium. Für 12 Querschnitte aus dem Messprogramm war es möglich, Aussagen zu quantifizieren. Bild 50 zeigt dass die Kernfahrbahnbreite mit zunehmender Breite der Fahrbahn ebenfalls zunimmt, allerdings nicht in dem Maß wie die Fahrbahn insgesamt. Demnach wird eine größere Fahrbahnbreite auch für die Markierung breiterer Schutzstreifen Breiten genutzt.

Geprüft wurde zudem, ob die Kernfahrbahnbreite ähnlich wie die Fahrbahnbreite einen direkten Einfluss auf die Überholanteile hat (Bild 51). Ein Zusammenhang zwischen Überholanteilen und Breite der Kernfahrbahn konnte nicht nachgewiesen werden.

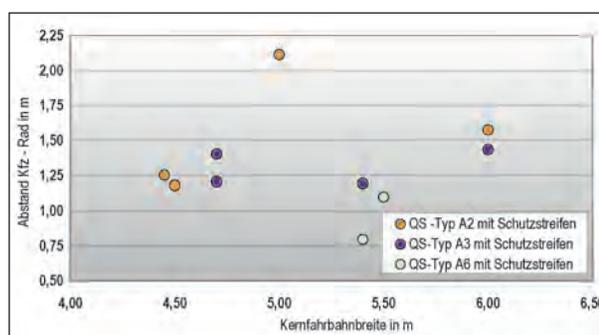
Bild 51 zeigt, dass selbst bei geringen Kernfahrbahnbreiten von 4,5-5,0 m der Anteil angenommener Überholungen bei über 80 % liegen kann, wobei hier lokale Gegebenheiten und insbesondere



**Bild 50:** Vergleich Kernfahrbahnbreite zur Fahrbahnbreite (jeweils Darstellung für zweistreifige Querschnitte mit Überholungen bei Gegenverkehr sowie mit Schutzstreifen)



**Bild 51:** Anteil angenommener Überholungen bei Gegenverkehr zur Kernfahrbahnbreite (jeweils Darstellung für zweistreifige Querschnitte mit Überholungen bei Gegenverkehr sowie mit Schutzstreifen)



**Bild 52:** Überholabstände Kfz-Rad bei Gegenverkehr zur Kernfahrbahnbreite (Überholabstand Rad-Kfz bei Überholungen mit Gegenverkehr, nur zweistreifige Querschnitte, Wert der von 15 % der Kfz noch unterschritten wurde (Q15))

die vorherrschenden Verkehrsmengen zu berücksichtigen sind. Im gekennzeichneten Bereich sind das die Querschnitte A2-1, A2-2, A3-1 und A3-2 mit bis zu 679 Kfz/h in der Bezugsrichtung.

Bezüglich der Überholabstände bei Gegenverkehr sind keine nachweisbaren Zusammenhänge zwischen der Breite der Kernfahrbahnen und dem Überholabstand erkennbar (siehe Bild 52).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Aussagen zu Kernfahrbahnen die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Auswertungen bestätigen.

## 5.11 Geschwindigkeiten und Verkehrsqualität

### 5.11.1 Maßgebende fahrzustandsabhängige Geschwindigkeiten

Zur Bewertung der Verkehrsqualität der Kfz der einzelnen Streckenabschnitte nach HBS wird neben der Verkehrsmenge die Erhebung und Auswertung der mittleren Geschwindigkeiten notwendig. Um Aussagen über das Geschwindigkeitsverhalten treffen zu können, müssen die verschiedenen Verkehrszustände mit ihren unterschiedlichen Einflüssen ausgewertet und Zusammenhänge abgeleitet werden.

Eine Definition der gemessenen und ausgewerteten Geschwindigkeiten erfolgte in Kapitel 4.5.

Zur Bestimmung der Wunschgeschwindigkeiten wurden für die einzelnen Querschnitte mittels Radar- oder Lasermessung jeweils 80 völlig frei

QS-Typ	$V_{\text{Wunsch}}$	$V_{\text{ungestört}}$	$V_{\text{radbeeinflusst}}$	$V_{\text{gesamt}}$
A1	48,3	45,1	41,7	44,8
A2	43,4	39,7	36,1	39,3
A3	47,2	39,3	37,4	38,8
A4	43,9	40,1	38,1	39,7
A5	46,4	38,4	37,4	38,5
A6	47,4	41,0	38,2	40,3

Tab. 10: Mittlere Geschwindigkeiten auf zweistreifigen Querschnittstypen [km/h]

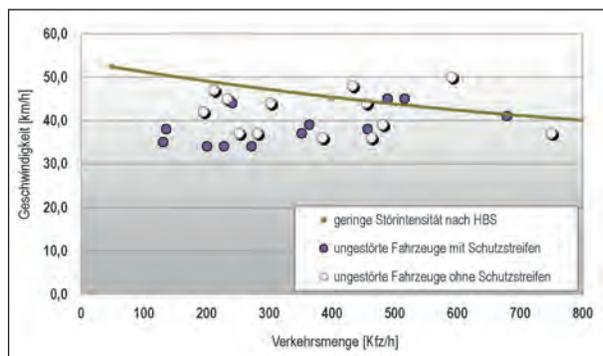


Bild 53: Geschwindigkeit ungestörter Kfz in Abhängigkeit von Verkehrsmenge in Bezugsrichtung (jeweils Darstellung Mittelwerte der Geschwindigkeit und Kfz/Sph, Vergleich mit HBS-Werten)

fahrende Kfz gemessen. Durch die Auswahl der völlig unbeeinflusst fahrenden Kfz und die Messung der Momentangeschwindigkeit konnten geschwindigkeitsdämpfende Einflüsse im Verlauf der Messstrecke ausgeschlossen werden.

Alle weiteren Geschwindigkeiten ergaben sich aus der Reisezeitmessung beim Überfahren des Messabschnitts, bei denen die konkret erwünschten bzw. unerwünschten Einflüsse berücksichtigt oder ausgeschlossen werden konnten.

### 5.11.2 Geschwindigkeitsbeeinflussende Größen des Kfz-Verkehrs

Die Wunschgeschwindigkeit der einzelnen Verkehrsteilnehmer beschreibt das zu erwartende Geschwindigkeitsniveau der einzelnen Strecken. Sie ist im Idealfall nur von der Infrastruktur abhängig und sollte möglichst nicht durch verkehrliche Einflüsse bzw. andere Fahrzeuge beeinflusst werden.

Im HBS-Entwurf 201X [FGSV12B] ist der Zusammenhang zwischen mittlerer Verkehrsstärke  $q$  in [Kfz/h] und mittlerer Fahrtgeschwindigkeit  $v$  in [km/h] in Abhängigkeit von der Störintensität/Erschließungsintensität beschrieben. Da im vorliegenden Projekt die Erhebungen bewusst außerhalb von externen Einflüssen wie Knotenpunkten, Haltestellen u. Ä. erfolgten, spielten derartige Störungen keine Rolle.

Bild 53 zeigt, dass bei den untersuchten 25 zweistreifigen Querschnitten die Wechselwirkungen zwischen den Kfz bei den vorhandenen Verkehrsstärken so gering sind, dass diese keinen messbaren Einfluss auf die mittlere ungestörte Kfz-Geschwindigkeit ausüben. Diese Aussage gilt sowohl für Abschnitte mit und ohne Schutzstreifen.

Nach der Untersuchung von SCHÜLLER [SCÜ10] könnte besonders die Randnutzung in Form von Wohnbebauung, Freiflächen, Industrieflächen oder Geschäftsflächen entscheidende Auswirkungen auf die Wunschgeschwindigkeit haben. Bei allen gewählten Strecken wurden vorwiegend gemischte Wohn- und Freiflächen erhoben, weshalb keine randnutzungsbedingten Unterschiede erfasst werden konnten.

Neben der Wunschgeschwindigkeit als infrastrukturabhängige Größe ist die ungestörte Geschwindigkeit der Kraftfahrzeuge im gebundenen Verkehr maßgeblich für die resultierende Verkehrsqualität

eines Streckenabschnitts. Diese beschreibt, unabhängig von weiteren Störungen, die Wirkung der einzelnen Kfz aufeinander. Dabei spielt die Verkehrszusammensetzung neben der Verkehrsstärke eine Rolle. Auf den ausgewerteten Strecken wurde das Geschwindigkeitsniveau der Schwerverkehrsfahrzeuge mit dem der verbleibenden motorisierten Fahrzeuge verglichen. Insgesamt entstand durch den Schwerverkehr über alle Querschnitte eine Reduktion der ungestörten Geschwindigkeit von unter 0,1 km/h. Selbst auf der Strecke mit dem höchsten Schwerverkehrsanteil (SV-Anteil 9,5 %, QS A4-2) konnte lediglich eine SV-bedingte Minderung der ungestörten Geschwindigkeit von 0,4 km/h verzeichnet werden. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird das Geschwindigkeitsverhalten des ungestörten Verkehrs unabhängig vom Schwerverkehrsanteil betrachtet. Die Kfz-Verkehrsstärke ist damit ohne weitere Differenzierung ausschlaggebend.

### 5.11.3 Einfluss des Radverkehrs auf die Kfz-Geschwindigkeit

Neben der Betrachtung möglicher Geschwindigkeitsreduktionen durch Interaktionen zwischen Kraftfahrzeugen und ihrer Infrastruktur ist das Hauptziel dieser Untersuchung, Erkenntnisse zu Einflüssen des Radverkehrs auf die Geschwindigkeiten des Kfz-Verkehrs bei der Führung im Mischverkehr zu gewinnen.

Bei der Beobachtung des Verkehrsablaufs ohne Einfluss von Radfahrern und anderen Störungen auf einstreifigen Richtungsfahrbahnen spielt einzig der Verkehrsablauf auf einem Fahrstreifen und die Interaktion mit dem vorausfahrenden und hinterherfahrenden Fahrzeug eine Rolle. Bei typischen Verkehrssituationen wird nicht von Überholvorgängen ausgegangen. Sobald jedoch Radfahrer mit deutlich geringeren Geschwindigkeiten und Abmessungen die Fahrbahn mitbenutzen, wird unter teilweiser Mitbenutzung des Gegenfahrstreifens der langsamere Radfahrer überholt.

Neben den Einflüssen der in Bezugsrichtung fahrenden Kraftfahrzeuge und Radfahrer werden ebenfalls die Fahrzeuge der Gegenrichtung in das Verkehrsgeschehen einbezogen.

Aus Sicht der Verkehrsqualität des motorisierten Verkehrs ist entscheidend, wie stark der Radverkehr die mittlere Geschwindigkeit der Kfz beeinflusst. Dieser Einfluss hängt vom Geschwindigkeitsniveau der Kfz und der Radfahrer, der Ver-

kehrsstärke beider Gruppen sowie dem Verhältnis von angenommenen und abgelehnten Überholvorgängen ab.

An den meisten der untersuchten Querschnitte ist keine sichtbare Änderung der resultierenden mittleren Geschwindigkeit aller Fahrzeuge durch Radverkehrseinfluss zu verzeichnen. Die maximale Geschwindigkeitsreduktion von Kfz, die durch den Radverkehr verursacht wurde, betrug 1,5 km/h. Eine solche Reduktion um 1,5 km/h würde beispielsweise bei einer mittleren Geschwindigkeit von 40 km/h und 500 Kfz/Richtung einen Anstieg der Fahrzeugdichte von 12,5 auf 13,0 Kfz/km bewirken.

### 5.11.4 Radverkehrsqualität

Im HBS 201X ist kein Verfahren zur Bewertung der Radverkehrsqualität bei Mischverkehr enthalten.

Auf den ausgewerteten 25 Querschnitten wurden in der Spitzenstunde im Mittel 56 Radfahrer in der Bezugsrichtung beobachtet. Bei den vorhandenen geringen Radverkehrsstärken konnten keine qualitativen Beeinträchtigungen für Radfahrer in den Videoanalysen festgestellt werden.

In den Messabschnitten wurden insgesamt 71 Rad-Rad-Überholungen (Überholtyp 20ü) erfasst, wovon 43 auf dem Querschnitt A4-1 (mit 449 Rad/h in Bezugsrichtung) beobachtet wurden. Mit steigender Radverkehrsstärke gibt es mehr Überholvorgänge im Radverkehr, welche bei geringen Verkehrsbelastungen jedoch störungsfrei durchgeführt werden können.

In welchem Maße Rad-Überholungen von Radfahrern abgelehnt wurden, lässt sich nicht ableiten. Teilweise tendieren Radfahrer dazu, freiwillig aus sozialen oder witterungsbedingten Gründen im Pulk zu fahren. Aus den optischen Aufzeichnungen lässt sich nicht erkennen, ob ein Überholwunsch bestand oder nicht und warum er ggf. nicht realisiert werden konnte.

## 5.12 Übersicht über Größen ohne nachweisbaren Einfluss

Im Zusammenhang mit der Qualitätsbewertung ergeben sich verschiedene Größen, die sich nicht direkt in die Qualitätsauswertung einbeziehen lassen. Nachfolgend werden die wichtigsten Kenngrößen zusammengefasst.

### **Zusammenhang Kfz-Geschwindigkeit und Verkehrsmenge**

Die nach HBS 201X S3 „Strecken“ angenommen Zusammenhänge zwischen der richtungsbezogenen Verkehrsstärke und der daraus abgeleiteten mittleren Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs konnte auf Basis der erhobenen Daten nicht bestätigt werden. Eine Geschwindigkeitsminderung, wie in Bild 53 für Strecken mit geringer Störintensität dargestellt, war nicht zu verzeichnen.

### **Einfluss der Störintensität auf die mittlere Geschwindigkeit**

Nach HBS 201X Tabelle S3-3 ergibt sich die Intensität von Störungen auf den Verkehrsablauf aus Einparkvorgängen, Halt-/Liefervorgängen und Bushalten. In den ausgewerteten Abschnitten wurden weder Liefervorgänge noch Bushalte beobachtet. Ebenso konnten in der Spitzenstunde maximal 10 Einparkvorgänge registriert werden, was nach HBS der Störintensität „gering“ zuzuordnen ist. Im Mittel wurden 0,8 Rad/h durch Einparken behindert. Aus diesem Grund wird für alle folgenden Auswertungen der Einfluss weiterer Störungen ausgeschlossen und sich lediglich auf die Einflüsse der fließenden Kfz und Radfahrer beschränkt. Unter dieser Annahme ergibt sich die fahrstreifenbezogene Verkehrsdichte als Maß der Verkehrsqualität aus dem Quotienten von Verkehrsstärke und mittlerer Fahrgeschwindigkeit.

### **Schwerverkehrseinfluss**

Der SV-Einfluss auf die Kfz-Verkehrsqualität ergibt sich im Wesentlichen aus Geschwindigkeit und Überholverhalten. In Anbetracht dessen, dass keine eindeutigen Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Schwerverkehrsfahrzeugen und Pkw festgestellt wurden (Einfluss auf die Gesamtgeschwindigkeit nie mehr als 0,3 km/h), ist dem Schwerverkehr keine Relevanz bzgl. der Geschwindigkeit zuzuschreiben.

Wie bereits in Kapitel 5.4 beschrieben, sind lediglich 38 Begegnungssituationen mit der Beteiligung von Schwerverkehrsfahrzeugen beobachtet worden. Bei hohem SV-Anteil ist prinzipiell eine Verschlechterung der Kfz-Verkehrsqualität zu erwarten. In den Erhebungen gab es diese hohen SV-Anteile nicht. Dies entspricht auch der ERA, wonach Schutzstreifen bei hohen Schwerverkehrsstärken vermieden werden sollen.

### **Längsneigung**

Die mittlere Kfz-Geschwindigkeit streut unabhängig von der Längsneigung, die Radgeschwindigkeit korreliert mit der Neigung. Insofern ist auf Steigungstrecken mit häufigeren Überholungen aufgrund der Geschwindigkeitsdifferenzen zu rechnen. Da im Untersuchungskollektiv nur wenige Steigungstrecken vorkamen, konnte dieser Zusammenhang nicht verifiziert werden.

### **Ruhender Verkehr**

Ruhender Verkehr kam nur in wenigen der untersuchten Querschnitte vor (Hauptverkehrsstraßen). Entsprechend konnten keine Zusammenhänge zwischen ruhendem Verkehr und Kfz-Verkehrsqualität abgeleitet werden.

Der Anteil beeinflusster Radfahrer konnte über alle erfassten Querschnitte ermittelt werden. Im Messzeitraum wurden im Mittel 56 Rad/h erfasst. Es gab durchschnittlich 1,4 Parkvorgänge/h welche im Mittel 0,8 Rad/h beeinflussten.

### **Seitenraumgestaltung (Bebauung, Nutzung)**

Die Vielzahl an verschiedenen Seitenraumgestaltungen ließ keine Schlussfolgerungen auf mögliche Einflüsse zu. Einflüsse z. B durch Zufahrten kamen so gut wie nicht vor und konnten somit nicht bewertet werden.

### **Kurvigkeit**

Mögliche Einflüsse der Streckenführung waren nicht relevant, da gerade Strecken für die Beobachtung ausgewählt wurden (Sichtweite für die Videobeobachtung).

### **Straßenoberfläche**

Die Straßenoberfläche sowie die Beschaffenheit und Breite des angrenzenden Seitenraumes wurden erfasst. Defizite, die das Verkehrsgeschehen beeinflusst hätten, waren nicht festzustellen.

### **Öffentlicher Verkehr**

Das Vorhandensein von öffentlichem Verkehr konnte bei den Auswertungen nicht mit sicherheits- oder verkehrsqualitätsrelevanten Größen in Verbindung gebracht werden. Busverkehr spiegelt sich im Schwerverkehrsanteil wieder, welcher in der untersuchten Größenordnung jedoch keinen Einfluss hatte.

### Anzahl/Häufigkeit von Zufahrten

Wenn die Radverkehrsführung durch eine Vielzahl von Einmündungen oder Zufahrten in Ihrer Homogenität gestört wird und Radfahrer häufig durch ein- oder abbiegende Fahrzeuge behindert werden, steigt die Beeinträchtigung des ungestörten Radverkehrsflusses zusätzlich. In welchem Maße diese Größen jedoch im Einzelnen die Verkehrsqualität beeinflussen, welche zusätzlichen Störungen unbeachtet bleiben und welches Qualitätsmaß für die Beschreibung der Radverkehrsqualität im Mischverkehr geeignet ist, lässt sich aus dieser Untersuchung nicht ableiten.

## 5.13 Sonderauswertungen

### 5.13.1 Vorher-/Nachher-Vergleich

Im Zuge des Projekts war es möglich, an einem zweistreifigen (und einem vierstreifigen Querschnitt, siehe Kapitel 6.7.1) Vorher-/Nachher-Untersuchungen durchzuführen. Die Vorher-Untersuchung am zweistreifigen Querschnitt A1-5 erfolgte im Mai 2012 und die Nachher-Untersuchung als Querschnitt A6-4 im Mai 2013.

Bild 54 zeigt die Situation auf der Gartenstraße in Rottenburg Vorher (links QS A1-5, ohne Schutzstreifen) und Nachher (rechts, QS A6-4, einseitiger Schutzstreifen).

Der Vergleich kann nur Tendenzen herausarbeiten, allerdings lassen sich die Unterschiede von Mischverkehr ohne und mit Schutzstreifen klarer herausarbeiten, da bis auf die Anlage des Schutzstreifens selbst und der damit verbundenen Änderungen vergleichbare örtlichen und zeitliche Randbedingungen vorzufinden sind. Für das Beispiel Gartenstraße Rottenburg konnten die folgenden Effekte nachgewiesen werden:

- deutliche Zunahme der Radverkehrsstärke (von 17 auf 50 Rad/h),



**Bild 54:** Gartenstraße in Rottenburg im Vorher-/Nachher-Vergleich

- sinkende Verkehrsstärke der unberechtigt den Gehweg nutzender Radfahrer (von 5 auf 3 Rad/h),
- abnehmendes Geschwindigkeitsniveau im Kfz-Verkehr (ungestörte Kfz-Geschwindigkeit von 39 auf 33 km/h),
- verringerte Überholabstände Kfz-Rad (von 1,59 m auf 1,43 m; ohne Gegenverkehr).

In der Nachher-Untersuchung wurden keine Überholungen bei Gegenverkehr (auch keine abgelehnten) beobachtet.

Die subjektive Betrachtung der Anlage mit Schutzstreifen zeigt, dass diese Strecke für Radverkehr im Mischverkehr attraktiver wurde. Zwar verringern sich die Überholabstände etwas, allerdings fahren die Kfz insgesamt etwas langsamer und überholen auch langsamer.

### 5.13.2 Strecken mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h

Mit den Querschnitten A1-4 und A3-5 wurden 3 Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h ausgewertet. Erwartungsgemäß tritt dort ein geringeres Geschwindigkeitsniveau der Kfz sowohl bei ungestörter Fahrt als auch beim Überholen auf. Auf diesen Abschnitten wurden allerdings auch die geringsten seitlichen Abstände gemessen. Da es sich bei diesen Strecken nicht um Strecken mit besonders geringen Fahrbahnbreiten handelt, deuten die Messergebnisse auf einen Zusammenhang zwischen sinkender Geschwindigkeit und sinkenden seitlichen Abstand beim Überholen hin.

Die Seitenraumnutzung verringerte sich auf den beiden Strecken mit einer zugelassenen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h beim Vorhandensein eines Schutzstreifens.

### 5.13.3 Schmale Fahrbahn neben Haltestelle

In Dresden (Querschnitt A5-3) wurde ein 3,25 m breiter Fahrstreifen ohne Schutzstreifen und ohne Freigabe des Gehwegs für Radfahrer neben einer Haltestelle untersucht. Aufgrund dieser besonderen Rahmenbedingungen werden diese Ergebnisse isoliert betrachtet.

Für diesen 140 m langen Abschnitt zeigte sich, dass bei 490 Kfz/h und 26 Rad/h eine hohe Seiten-



**Bild 55:** Sonderfall Querschnitt A5-3 (3,25-m-Fahrbahn neben Haltestelle)

raumnutzung von 50 % stattfand (auf Strecken ohne Schutzstreifen durchschnittlich ca. 18 %), obwohl vor und nach dem Querschnitt Schutzstreifen als Führung angeboten werden.

Der Einfluss der auf der Fahrbahn verbliebenen Radfahrer auf den Kfz-Verkehr war gering. Im dem 3,25 m breiten Bereich wurde kein einziger Radfahrer überholt und insgesamt kam es in 4 Stunden zu 10 abgelehnten Überholungen.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass diese Lösung in dem kurzen Bereich insofern sicher ist, als dass es keine Überholungen (mit zu geringen) Abständen gab. Gleichzeitig deutet die starke Seitenraumnutzung darauf hin, dass dieser Bereich von den Radfahrern nicht als „attraktiv“ empfunden wird.

## 5.14 Fazit

Die Verkehrsstärken des Kfz- und des Radverkehrs lagen bei den untersuchten Querschnitten in Bereichen, die keine maßgeblichen Auswirkungen auf die Geschwindigkeiten des Kfz-Verkehrs hatten. Damit bestätigt die Untersuchung die Einsatzkriterien nach den ERA für Radverkehr im Mischverkehr.

### Kfz-Verkehr

Nach einer Prüfung verschiedener Einflüsse auf die Verkehrsqualität des Kfz-Verkehrs kann folgendes festgestellt werden:

- Entscheidend für die vom Radverkehr beeinflusste Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs ist der Anteil angenommener Überholungen bei Gegenverkehr.
- Im Bereich der bei den untersuchten Querschnitten vorkommenden Verkehrsstärken

hängt der Anteil angenommener Überholungen bei Gegenverkehr hauptsächlich von der Fahrbahnbreite ab.

- Das Vorhandensein von Schutzstreifen hat keinen nachweisbaren Einfluss auf die Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs.

### Radverkehr

- Potenzielle Störeinflüsse auf die Geschwindigkeit des Radverkehrs (z. B. durch ruhenden Kfz-Verkehr oder gegenseitige Radüberholungen) wurden nicht festgestellt.
- Schutzstreifen führen zu einer geringeren Seitenraumnutzung (Gehwegnutzung).
- Bei Gegenverkehr wurden teilweise sehr geringe Überholabstände festgestellt, wobei es keinen Unterschied zwischen Strecken ohne und mit Schutzstreifen gibt.
- Breitere Schutzstreifen führten zu größeren Seitenabständen. Der Abstand zu straßenparallel abgestellten Kfz bei der Nutzung von regelgerechten Schutzstreifen mit Sicherheitsbereich ist höher als im Mischverkehr ohne Schutzstreifen.

### Simulation

- Die Fahrbahnbreite ist relevant für den Anteil angenommener Überholungen. Dieser Anteil streut innerhalb eines Korridors. Die zur Erklärung der Streuung maßgebenden Faktoren konnten nicht bestimmt werden.
- Mit der Quantifizierung des Korridors liegt eine Eingangsgröße für die mikroskopische Simulationen vor.
- Die Simulation erfolgt für Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Simulationsmodelle für Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h können aufgrund der geringen Zahl an Messquerschnitten nicht erstellt werden.

## 6 Ergebnisse der Video - beobachtung an vierstreifigen Querschnitten

### 6.1 Vorbemerkung

Von den 10 erhobenen vierstreifigen Querschnitten wurden die 8 mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h für Auswertungen der Verkehrsqualität genutzt. Da ein Querschnitt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit vom 30 km/h aufweist und die Geschwindigkeit ein Kriterium für die Qualitätsbewertung des Kfz-Verkehrs ist, wurden dieser und ein Abschnitt ohne erfasste Geschwindigkeiten aus Gründen der Vergleichbarkeit nicht mit in die Qualitätsbewertung einbezogen. Für die Abstands- bzw. Konfliktanalysen wurden hingegen alle 10 Querschnitte ausgewertet.

Zur Übersicht und verbesserten Zuordnung wurde in Anlage 29 eine Kennwerttabelle beigefügt, die die jeweiligen Grundwerte aller Querschnitte und deren Nutzung in den Auswertungen aufzeigt.

Eine weitere Auffälligkeit sind die überbreiten Fahrstreifen. Bei 6 Querschnitten mit Schutzstreifen verfügen 3 über überbreite Fahrstreifen, was je nach Aufkommen auch ein versetztes Fahren ermöglicht.

Alle grafischen Auswertungen des Kapitels 6 zu vierstreifigen Querschnitten sowie hier nicht verwendete Grafiken werden als Anlagen geführt und sind thematisch gruppiert.

Die benannten Anlagen beginnen auf Seite A-112:

- Anlage 37: Grafische Auswertungen – Verkehrsmengen bei vierstreifigen Querschnitten,
- Anlage 38: Grafische Auswertungen – Überholverhalten und -abstände bei vierstreifigen Querschnitten,
- Anlage 39: Grafische Auswertungen – Seitenraumnutzung bei vierstreifigen Querschnitten,
- Anlage 40: Grafische Auswertungen – Geschwindigkeiten bei vierstreifigen Querschnitten.

### 6.2 Verkehrsmengenkonstellationen

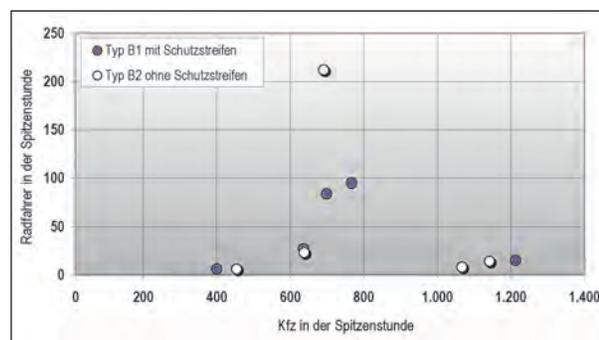
Vierstreifige Querschnitte zeichnen sich im Gegensatz zu zweistreifigen Querschnitten dadurch aus, dass den Nutzern jeweils nur die eigene Richtungsfahrbahn zur Verfügung steht und das Überholen

auf der Gegenfahrbahn nicht möglich ist. Hieraus ergeben sich insgesamt geringere Anfälligkeiten gegenüber Beeinflussungen durch andere Verkehrsteilnehmer, Abbieger und sonstige „Störungen“, da bei vorausschauender Fahrweise rechtzeitig der Fahrstreifen gewechselt und vorbeigefahren werden kann.

Nach den ERA wird Radverkehr im reinen Mischverkehr ohne zusätzliche Freigabe des Gehwegs oder Anordnung eines Schutzstreifens bis 1.600 Kfz/h empfohlen. Bei höheren Belastungen bis zu einer Belastungsgrenze von um 2.200 Kfz/h sollte dem Radfahrer ergänzend zur Führung auf der Fahrbahn ein Angebot geschaffen werden. Zusätzliche Schutzstreifenanordnung oder die Freigabe des Gehwegs für Radfahrer sind hierfür geeignet.

Im Bild 56 lässt sich erkennen, dass die Kfz-Verkehrsstärke auf den untersuchten Querschnitten für zweistreifige Richtungsfahrbahnen gering ist. So weisen nur 3 Querschnitte mehr als 1.000 Kfz pro Richtung auf, so dass generell von geringen Belastungen und ausreichend Raum für Interaktionen ausgegangen werden muss.

Auch die Radverkehrsstärken, besonders auf den Strecken ohne Schutzstreifen, sind nicht hoch. Lediglich auf 2 Streckenabschnitten wurden annähernd 100 Radfahrer in der Spitzenstunde erhoben. Die Verkehrsstärken von etwa 90 Rad/h bei weniger als 800 Kfz/h lassen in Verbindung mit den Vorteilen von zwei Richtungsfahrbahnen keine großen Einflüsse des Radverkehrs erwarten. Insbesondere die geringen Radverkehrsstärken der Strecken ohne Schutzstreifen lassen vermuten, dass sich nur geringe Erkenntnisse zum Einfluss des Radverkehrs auf vierstreifigen Straßen gewinnen lassen.



**Bild 56:** Verkehrsmengenkombinationen Kfz/Rad in Bezugsrichtung (jeweils Rad-Spitzenstunde des Messquerschnitts für vierstreifige Querschnitte mit 2 Richtungsfahrbahnen)

Aufgrund der Datengrundlagen sind keine relevanten Einflüsse des Schwerverkehrs (maximal 5 %) oder der Längsneigung zu erwarten.

### 6.3 Typen und Häufigkeiten von Überholvorgängen

Wie auch bei der Auswertung von zweistreifigen Strecken wurden die möglichen Überhol- und Begegnungszusammensetzungen durch Typen beschrieben, wobei auch bei vierstreifigen Querschnitten Überholtypen nur selten oder gar nicht beobachtet werden konnten (siehe Bild 57).

Es zeigt sich, dass vor allem Überholungen durch Pkw auf dem linken der beiden Fahrstreifen (bzw. auf überbreiten einstreifigen Strecken mit einer Orientierung zur Mittelmarkierung) vorgenommen wurden (Typ 13ü).

Als zweiter häufiger Überholtyp erweist sich Typ 15ü. Hier werden Radfahrer überholt, während beide Fahrstreifen durch Pkw belegt sind. Der Bewegungsspielraum aller Beteiligten ist dabei eingeschränkt, wodurch tendenziell geringe Überholabstände zu erwarten sind.

Von den 255 Überholsituationen wurde der Überholvorgang nur in 14 Fällen abgelehnt, 5 davon am Querschnitt B2-3, welcher mit einer Breite von 5,75 m die schmalste Fahrbahnbreite der 10 Querschnitte besitzt.

Schwerverkehr spielt bezüglich des Verkehrsablaufs keine Rolle. Von den beobachteten 255 Über-

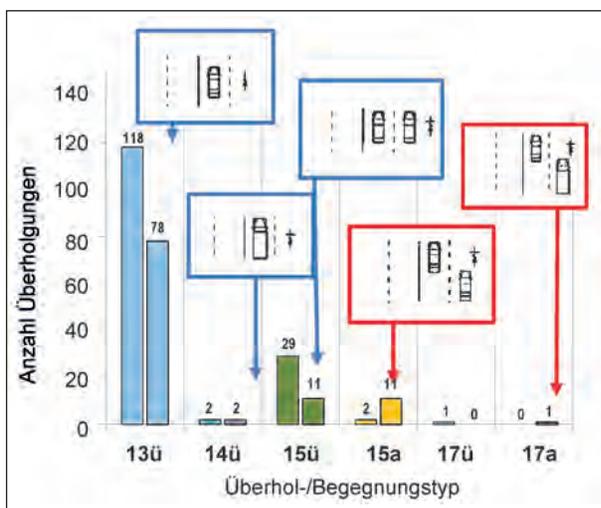
holsituationen wurde die Beteiligung von Schwerverkehr nur in 6 Fällen beobachtet, wovon nur 1 Überholvorgang abgelehnt wurde.

Wie bei zweistreifigen Querschnitten gilt bezüglich der Abhängigkeit des Überholverhaltens primär die Fahrbahnbreite als ausschlaggebend. Dieser Einfluss ist aufgrund der geringen Zahl beobachteter abgelehnter Überholungen nicht belegbar. Inwieweit der Schutzstreifen einen Einfluss auf das Überholverhalten ausübt, lässt sich so ebenfalls nicht abschätzen. Hauptursache dafür sind die geringen Kfz-Verkehrsstärken der Querschnitte. Die erfassten Verkehrsstärken könnten auch auf einer einstreifigen Richtungsfahrbahn leistungsfähig abgewickelt werden. Der Radverkehr auf der Fahrbahn führt hauptsächlich zu einer erhöhten Zahl von Fahrstreifenwechseln, was bei den auftretenden Verkehrsstärken allerdings keine starke Geschwindigkeitsverringerung zur Folge hat und damit kaum auf die Kfz-Verkehrsqualität wirkt.

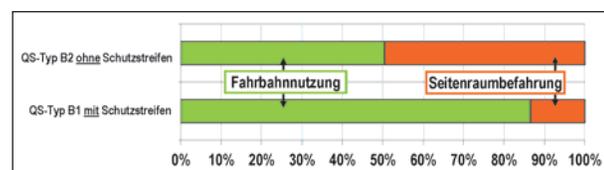
Auf den ausgewerteten Strecken konnten 16 Rad-Rad-Überholungen beobachtet werden, welche jedoch nicht mit einem abgelehnten Überholvorgang durch Kfz in Verbindung gebracht werden können. Für eine Beeinflussung der Kfz-Verkehrsqualität durch den Radverkehr sind deutlich höhere Radverkehrsstärken (und in Folge dessen ggf. mehr Rad-Rad-Überholungen) in Verbindung mit hohen Kfz-Verkehrsstärken notwendig.

### 6.4 Seitenraumnutzung

Als Kriterium für die Seitenraumnutzung wurde auch bei den vierstreifigen Querschnitten das Verhältnis von Radfahrern auf der Fahrbahn zu denen im Seitenraum erfasst. Bild 58 zeigt alle in den erhobenen Messstunden erfassten Radfahrer auf der Fahrbahn und im Seitenraum. Deutlich wird, dass Radfahrer einen vorhandenen Schutzstreifen auch annehmen und entsprechend weniger den Seitenraum nutzen (im Vergleich zu Strecken ohne



**Bild 57:** Häufigkeiten der Begegnungs- und Überholtypen für vierstreifige Querschnitte (mit 2 Richtungsfahrbahnen, jeweils linker Balken Typ B1, rechter Balken Typ B2)



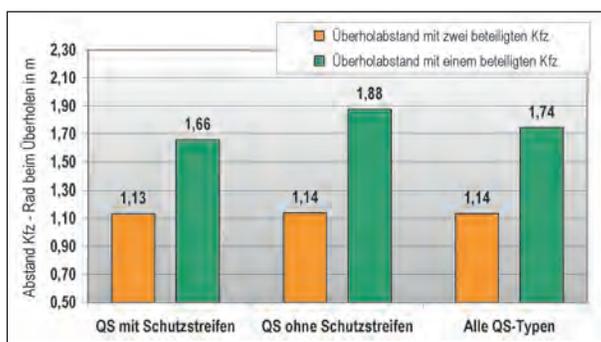
**Bild 58:** Anteil der Flächennutzung nach Querschnittstyp (vierstreifige Querschnitte, Summe der jeweiligen Typen, Basis: mittlere Anzahl Radfahrer/Stunde und Querschnitt)

Schutzstreifen). Dies konnte durch den Vorher-/Nachher-Vergleich (siehe Kapitel 6.7.1) bestätigt werden.

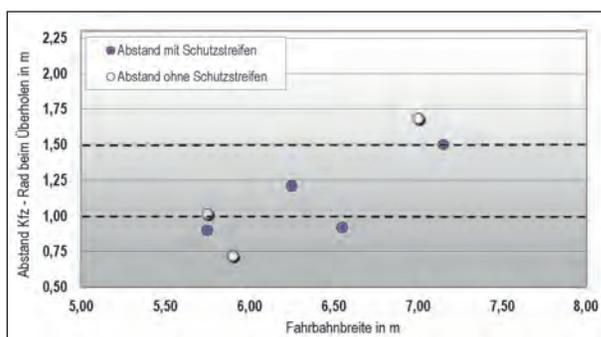
## 6.5 Überholabstände

Auch bei vierstreifigen Querschnitten sind die Seitenabstände beim Überholen ein Indikator für die Konfliktpotenziale und das subjektive Empfinden. Wie Bild 59 zeigt, ist hier das gleichzeitige Überholen durch 2 Pkw (Überholtypen 15ü) das kritische Maß. Dabei werden sehr geringe Abstände erreicht.

Bild 59 zeigt zudem, dass bei nur einem beteiligten Kfz die Überholabstände bei vierstreifigen Querschnitten deutlich höher sind als das bei Überholungen auf zweistreifigen Querschnitten ohne Gegenverkehr der Fall ist (bei vierstreifigen Querschnitten ca. 1,75 m, bei zweistreifigen Querschnitten ca. 1,50 m, siehe Bild 45). Bei zwei beteiligten Kfz wiederum sind die Abstände auf vierstreifigen Querschnitten deutlich geringer als bei zweistreifigen Querschnitten mit Gegenverkehr. Sie betragen



**Bild 59:** Überholabstände Kfz-Rad mit und ohne Gegenverkehr (vierstreifige Querschnitte, bei 30 und 50 km/h zul. Höchstgeschwindigkeit, jeweils Darstellung der Breite, die von 85 % der Kfz eingehalten wird)



**Bild 60:** Überholabstände Kfz-Rad bei 2 beteiligten Kfz in Abhängigkeit zur Fahrbahnbreite (jeweils Darstellung des Abstands, der von 85 % aller Kfz mindestens eingehalten wird und der Fahrbahnbreite bei vierstreifigen Querschnitten)

unter Berücksichtigung von 85 % aller Kfz ca. 1,14 m (lichte Breite: 69 cm bei Abzug von 45 cm für Außenspiegel und halbe Lenkerbreite) gegenüber ca. 1,32 m (lichte Breite: 87 cm bei Ansatz von 45 cm für Außenspiegel und halbe Lenkerbreite) bei zweistreifigen Querschnitten. Hinsichtlich der Überholabstände ist es allerdings unerheblich, ob ein Schutzstreifen vorhanden ist oder nicht.

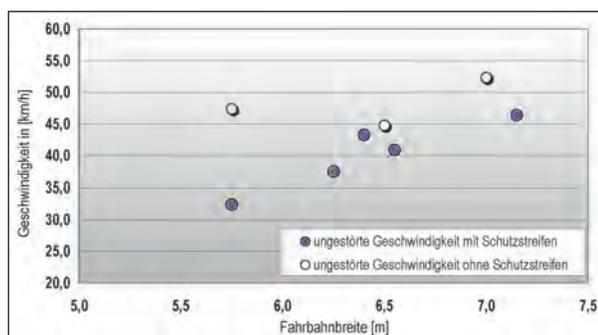
Bild 60 zeigt, dass die Abstände mit steigender Fahrbahnbreite zunehmen und im Bereich zwischen 6,5 und 7,0 m wieder Werte erreichen können, die denen der zweistreifigen Querschnitten entsprechen.

## 6.6 Geschwindigkeiten und Verkehrsqualität

Wie an zweistreifigen Querschnitten zeigt sich ebenso an vierstreifigen Querschnitten, dass die Fahrbahnbreite keinen starken Einfluss auf die frei fahrenden Kfz ausübt.

Die Geschwindigkeit der vom Radverkehr ungestört fahrenden Kfz liegt an Querschnitten mit Schutzstreifen jedoch deutlich unter der Geschwindigkeit der Fahrzeuge im Mischverkehr ohne Schutzstreifen. Auf Strecken mit Schutzstreifen fahren Kfz im Mittel 41 km/h, ohne Schutzstreifen 48 km/h schnell. Dem Schutzstreifen lässt sich folglich ein geschwindigkeitsreduzierender Einfluss zuschreiben. Drei der sechs Querschnitte mit Schutzstreifen haben hierbei einen überbreiten Fahrstreifen.

Des Weiteren hat die Fahrbahnbreite einen Einfluss auf die ungestörte Geschwindigkeit. Aus Bild 61 wird deutlich, dass sich die Geschwindigkeit der ungestört fahrenden Kfz insbesondere an Querschnitten mit Schutzstreifen mit zunehmender Fahrbahnbreite erhöht.



**Bild 61:** Geschwindigkeit in Abhängigkeit von Fahrbahnbreite (jeweils Darstellung des Medians der Geschwindigkeit und der Fahrbahnbreite für vierstreifige Querschnitte)

QS-Typ	V <sub>Wunsch</sub>	V <sub>ungestört</sub>	V <sub>radbeeinflusst</sub>	V <sub>gesamt</sub>
B1	50,5	41,9	44,0	42,3
B2	49,9	48,2	46,4	47,9

**Tab. 11:** Mittlere Geschwindigkeiten der vierstreifigen Querschnittstypen sowie der resultierende Radeinfluss [km/h]

Die mittlere Geschwindigkeit aller erfassten Kfz liegt mit 45 km/h aber etwa 5 km/h über der Geschwindigkeit auf einstreifigen Richtungsfahrbahnen. Aber auch Radfahrer fahren nach den vorliegenden Messungen auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen mit annähernd 24 km/h etwa 4 km/h schneller als Radfahrer auf einstreifigen Richtungsfahrbahnen.

Um schließlich die Auswirkungen des Mischverkehrs auf die Verkehrsqualität ableiten zu können, wurde die Geschwindigkeit ungestört fahrender Kfz der Gesamtgeschwindigkeit gegenübergestellt. Da die Geschwindigkeitsauswertungen nur jeweils für die Radverkehrsspitzenstunde möglich waren, konnten nicht alle Überholungen berücksichtigt werden. Von den im gesamten Auswertzeitraum abgelehnten 14 Überholvorgängen wurde nur einer in der Radspitzenstunde beobachtet. An allen betrachteten Strecken gab es in der Spitzenstunde lediglich 26 angenommene Überholvorgänge mit mehr als einem beteiligten Kfz, von denen allein 19 auf der Strecke B1-1 beobachtet wurden. Vom Radverkehr beeinflusste Kfz haben teilweise sogar eine höhere Geschwindigkeit als unbeeinflusste Kfz.

Aufgrund der unzureichenden Zahl an Überholungen – und hier insbesondere abgelehnter Überholungen – sind weiterführende Aussagen zu Wirkungen des Radverkehrs auf Kfz-Geschwindigkeiten auch als Grundlage für mikroskopische Simulationen nicht ableitbar.

## 6.7 Sonderauswertungen

### 6.7.1 Vorher-/Nachher-Vergleich

Im Zuge des Projekts war es möglich, auch an einem vierstreifigen Querschnitt Vorher-/Nachher-Untersuchungen durchzuführen. Die Vorher-Untersuchung fand am Querschnitt B2-3 im Juni 2012 statt und die Nachher-Untersuchung als Querschnitt B1-5 im Mai 2013.

Bild 62 zeigt die Situation auf der Wilhelmstraße in Aachen Vorher (QS B2-3 links, ohne Schutzstreifen) und Nachher (QS B1-5, rechts, mit Schutzstreifen).



**Bild 62:** Wilhelmstraße in Aachen im Vorher-/Nachher-Vergleich

Ein solcher Vergleich kann nur Tendenzen liefern (vgl. Kapitel 5.1.14), allerdings ist das Herausarbeiten von Trends offensichtlich, da es sich jeweils um identische räumliche Randbedingungen handelt. Vorher- und Nachher-Erhebung fanden zudem jeweils an Normalwerktagen statt. Für das Beispiel Wilhelmstraße in Aachen konnten folgende Effekte nachgewiesen werden:

- Radverkehrsstärke unverändert,
- ein deutlich geringerer Anteil von Radfahrern auf dem Gehweg (0 von 15 Rad/h gegenüber 9 von 14 Rad/h),
- ein sinkendes Geschwindigkeitsniveau im Kfz-Verkehr (ungestörte Kfz-Geschwindigkeit von 47 km/h auf 33 km/h) und gleichzeitig sinkende Überholabstände Kfz-Rad (von 1,94 m auf 1,27 m bei einfacher Kfz-Überholung und von 1,02 m auf 0,9 m bei Überholung mit zwei parallel fahrenden Kfz),
- ein häufiges Überholen auch bei zwei parallel in gleiche Richtung fahrenden Kfz (weniger abgelehnte Überholungen, 2 von 8 nachher gegenüber 5 von 7 vorher).

Wie auch bei den zweistreifigen Querschnitten in Rottenburg (siehe Kapitel 5.13.1) hat der Schutzstreifen die Nutzung der Fahrbahn für Radfahrer im Mischverkehr attraktiver gemacht. Zwar sinken die Überholabstände, allerdings wird insgesamt langsamer gefahren und damit auch langsamer überholt.

Insbesondere bei hohen Kfz-Verkehrsstärken, wie sie an der Wilhelmstraße auftreten (ca. 1.200 Kfz/(h\*Richtung)) hat der Schutzstreifen einen positiven Einfluss auf die Verkehrsqualität des Kfz-Verkehrs. Es kommt zu weniger Beeinträchtigungen durch Radfahrer, da diese häufiger überholt werden und dabei der Schutzstreifen scheinbar als Leitlinie genutzt wird.

Aufgrund des sehr geringen Radverkehrsaufkommens erfolgt kein Vergleich der Effekte zwischen

einerseits sinkenden Geschwindigkeiten und insgesamt häufigeren Überholungen.

### 6.7.2 Vierstreifiger Querschnitt und zulässige Höchstgeschwindigkeit 30 km/h

Mit dem Querschnitt B2-1 (Berlin, Karl-Marx-Straße) wurde eine vierstreifige Strecke ohne Schutzstreifen aber mit sehr hohem Radverkehrsaufkommen (212 Rad/h), relativ geringem Kfz-Aufkommen (691 Kfz/h) und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h untersucht.

Ein Großteil der analysierten Überholungen auf vierstreifigen Querschnitten fand hier statt. Die Seitenraumnutzung ist mit 5 % deutlich niedriger als an allen anderen vierstreifigen Querschnitten ohne Schutzstreifen. Auch die Überholgeschwindigkeiten liegen unter denen anderer Querschnitte. Bei vergleichender Betrachtung weist dieser Querschnitt eine gute Eignung für eine ausreichend bemessene Radverkehrsanlage mit ggf. überbreitem Fahrstreifen auf.

## 6.8 Fazit

### Kfz-Verkehr

- Eine Beeinflussung der Kfz-Geschwindigkeit durch Radfahrer erfolgt erst dann, wenn auf beiden Fahrstreifen einer Richtungsfahrbahn maßgebliche Verkehrsstärken des Kfz-Verkehrs vorhanden sind.
- Bei den erfassten Verkehrsstärken kann in der Regel ein Nebeneinanderfahren mehrerer Kfz beim Überholen durch frühzeitigen Fahrstreifenwechsel verhindert oder bei ausreichender Fahrbahnbreite störungsfrei vorgenommen werden. Quantifizierte Angaben zum Überholverhalten und Zusammenhänge zu radbedingten Geschwindigkeitseinflüssen können daher nicht erfolgen.

### Radverkehr

- Wie auch bei zweistreifigen Querschnitten verringern Schutzstreifen den Anteil der Radfahrer, die den Seitenraum (Gehweg) nutzen.
- Fahren zwei Kfz nebeneinander, was insbesondere bei hohen Verkehrsstärken auftritt, und wird dabei ein Radfahrer überholt, wurden geringe Überholabstände festgestellt. Dies gilt für Strecken mit und ohne Schutzstreifen.

- Auf Streckenabschnitten mit Schutzstreifen konnten im Vergleich zu solchen ohne Schutzstreifen geringere Kfz-Geschwindigkeiten festgestellt werden.
- Auf den Strecken mit Schutzstreifen wurden mit zunehmender Fahrbahnbreite zunehmende Kfz-Geschwindigkeiten beobachtet. Auf den untersuchten Strecken ohne Schutzstreifen war dies nicht der Fall.

### Simulation

- Aus den ermittelten Zusammenhängen zwischen dem Fahrzeugfahrverhalten und dem Radverkehr lässt sich kein mikroskopischer Simulationsansatz für vierstreifige Richtungsfahrbahnen ableiten.

## 7 Mikroskopische Simulation der Verkehrsqualität mit Radeinfluss

### 7.1 Simulationsziel

Ein wichtiges Ziel des Projektes ist u. a. die Bewertung der Kfz-Verkehrsqualität durch den Einfluss von Radverkehr im Mischverkehr. Auf Basis der in den Videountersuchungen gewonnenen Erkenntnisse zu verkehrlichen Zusammenhängen soll unter Nutzung mikroskopischer Simulationsmodelle eine Betrachtung dieser Wirkungen auch für Verkehrsstärkenbereiche erfolgen, die bisher nicht im Rahmen der empirischen Untersuchungen analysiert werden konnten.

Die bisherigen Erkenntnisse werden dazu genutzt, mikroskopische Simulationsmodelle auf Basis des Programmpaketes VISSIM zu erstellen und zu kalibrieren. Ausgehend von dieser Grundlage werden schließlich Ergebnisse für das gesamte Breiten- und Verkehrsmengenspektrum erarbeitet.

### 7.2 Rahmenbedingungen und inhaltliche Abgrenzung

#### 7.2.1 Rahmenbedingungen

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden innerörtliche Hauptverkehrsstraßen mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 30 und 50 km/h untersucht. Die Simulation erfolgte für die Quer-

schnitte mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Für die beiden Querschnitte mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h konnte aufgrund der wenigen Daten und insbesondere der geringen Radverkehrsstärken keine Simulation durchgeführt werden.

Die untersuchten Streckenabschnitte wurden so ausgewählt, dass nach Möglichkeit keine Störungen durch ein- oder abbiegende Fahrzeuge auftreten. Sie befinden sich auf der „freien“ Strecke zwischen zwei Knotenpunkten. Die mittlere Abschnittslänge der untersuchten Strecken beträgt 250 m zwischen zwei Knotenpunkten. Da es sowohl auf den ersten 100 m nach als auf den letzten 100 m vor einem Knotenpunkt, in Abhängigkeit der konkreten lokalen Situation zu Querschnittsänderungen (Aufweitungen), Störeinflüssen, Neuordnungen des Verkehrs, Rückstau, Vorbeifahrten oder Wartezeiten kommt, wurde der dazwischenliegende 50-m-Abschnitt als maßgebend definiert.

Für diese Länge ist die Videodatenerfassung und -auswertung noch praktikabel. Insofern konnten für die 50-m-Abschnitte,

- die für die Untersuchung relevanten Verkehrszustände auf der freien Strecke zwischen zwei Knotenpunkten erwartet werden,
- die Daten erhoben- und ausgewertet werden und
- damit als Grundlage für die Kalibrierung des Simulationsmodells dienen.

Folglich wurden die Simulationsergebnisse ebenfalls für die 50-m-Abschnitte ausgewertet. Eine Verlängerung der Messabschnittslänge über diese 50 m hinaus erscheint nicht sinnvoll, da nicht abschätzbar ist, inwieweit damit realitätsferne oder auch -nahe Einflüsse generiert werden. Der Auswerteabschnitt im Modell wurde 100 m nach Einspeisequerschnitt angeordnet. Der gesamte mikroskopische Simulationsbereich ist ca. 500 m lang. Somit ist gewährleistet, dass innerhalb der 50-m-Auswerteabschnitte keine Störeinflüsse benachbarter Knotenpunkte auftreten.

In den Videodaten wurden maximal 10 Einparkvorgänge in der Spitzenstunde erfasst. Liefervorgänge und Bushalte kamen nicht vor. Es lassen sich folglich keine Aussagen über weiterführende Einflüsse treffen und die betrachtete Störintensität wird in allen Fällen als „gering“ eingestuft. Dieser Effekt

ist auch untersuchungsmethodisch bedingt, da der Einfluss von Radüberholungen möglichst gut analysierbar sein sollte und deshalb „freie“ Strecken ohne „Störpotenzial“ analysiert wurden. Es lassen sich dementsprechend keine Aussagen zu weiterführenden Einflüssen oder anderen Störungen treffen.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits beschrieben, konnten keine Einflüsse der Fahrbahnbreite bzw. Kfz-Verkehrsstärke auf die ungestörte Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs nachgewiesen werden. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse wurde eine mittlere ungestörte Kfz-Geschwindigkeit von 40 km/h über alle Querschnitte ermittelt und anhand der Einzelwerte eine für die Simulation gültige Geschwindigkeitsverteilung angesetzt.

Für die Simulation wurde eine ungestörte Kfz-Geschwindigkeit zwischen 34 km/h und 46 km/h festgelegt (siehe Bild 41).

## 7.2.2 Abgrenzung

### Querschnitte

Simuliert wurden ausschließlich zweistreifige Querschnitte, da auf Grundlage der gewonnenen Zusammenhänge für vierstreifige Querschnitte keine geeigneten Zusammenhänge von Radverkehr im Mischverkehr als Modellgrundlagen abgeleitet werden konnten (vgl. Kapitel 6.8).

### Einfluss des Schutzstreifens

Das Vorhandensein von Schutzstreifen auf den untersuchten Streckenabschnitten hatte keinen systematischen, abbildbaren Einfluss auf die Fahrlinie der Radfahrer oder den Anteil angenommener Überholungen hatte (siehe Kapitel 5.4). Wesentliches Kriterium für die Bewertung der Verkehrsqualität ist, neben der Verkehrsstärke, die Fahrbahnbreite zwischen den Borden, unabhängig vom Vorhandensein eines Schutzstreifens.

Daher wurde auf eine separate Simulation des Mischverkehrs mit Schutzstreifen und Kernfahrbahn verzichtet.

### Beschleunigende Wirkung des Radverkehrs

Bei Radverkehr im Mischverkehr wird davon ausgegangen, dass sich dieser verzögernd auf die Kfz-Geschwindigkeit auswirkt. Bei der Untersuchung der ungestörten Geschwindigkeiten des

Kfz-Verkehrs und der radbeeinflussten Kfz zeigte sich, dass Fahrzeuge unter Radeinfluss den Messabschnitt an manchen Strecken im Mittel schneller passierten als ohne Radeinfluss. Dies lässt sich dadurch erklären, dass Kfz-Fahrer während des Überholvorgangs beschleunigen, um vor einem entgegenkommenden Fahrzeug wieder einzuscheren. Mit zunehmendem Gegenverkehrseinfluss verliert dieser Effekt aber an Bedeutung, d. h. er ist nur an Strecken mit geringen Verkehrsstärken messbar.

Unter welchen Bedingungen dies jedoch im Detail abläuft, konnte aus der Datenauswertung nicht abgeleitet werden. Da bei geringen Belastungen die Qualität erwartungsgemäß vergleichsweise hoch ist, spielt dieser Effekt bei der Simulation keine Rolle.

### Berücksichtigung besonderer Aspekte des Radverkehrs

Bei der Untersuchung der Radfahrer wurde ausschließlich auf einspurige Fahrräder Bezug genommen. Sonderformen wie mehrspurige Räder oder Fahrräder mit Anhänger wurden nicht differenziert berücksichtigt.

Die Radgeschwindigkeiten wurden in einem Bereich von den langsamsten 15 % bis zu den schnellsten 85 % der Radfahrer berücksichtigt (siehe Bild 42).

Des Weiteren wurde ausschließlich das „Störpotenzial“ des Radverkehrs auf die Verkehrsqualität der Kfz untersucht, womit andere Störungen wie gegenseitige Radüberholungen keine eigenständige Berücksichtigung fanden. In den Verkehrsstärkenbereichen bis 100 Rad/h wurden nur wenige gegenseitige Radüberholungen festgestellt. Lediglich an einem Querschnitt konnten bei 440 Rad/h über 40 Rad-Rad-Überholungen registriert werden. Dadurch kam es jedoch aufgrund der geringen Kfz-Verkehrsstärken zu keiner Beeinflussung des Kfz-Verkehrs.

Radverkehr im Gegenverkehr wird nicht simuliert, da diese Situation in den Beobachtungen nie auftrat (Überholtyp 9-12) und daher auch nicht kalibriert werden kann. Erst bei Radverkehrsstärken im Gegenverkehr von deutlich mehr als 100 Rad/h wird von Einflüssen ausgegangen. Da Radverkehrsströme beim Auftreten hoher Radverkehrsstärken i. d. R. eine asymmetrische Richtungsverteilung aufweisen (Spitzenstunden, besonders im

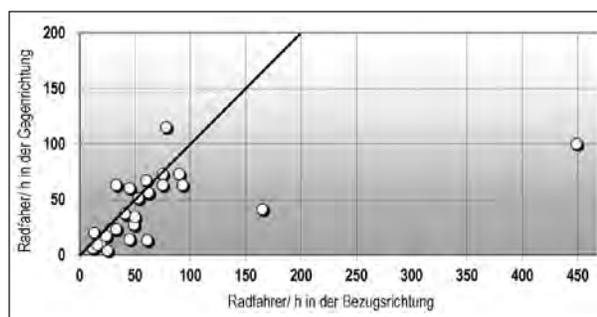


Bild 63: Radverkehrsmengen in Bezugs- und Gegenrichtung im Vergleich (Linie = Symmetriegerade)

Alltagsverkehr, s. a. Bild 63), ist Radverkehr im Gegenverkehr nicht Gegenstand der mikroskopischen Simulation.

### Einfluss des Schwerverkehrsanteils

Ein Einfluss des Schwerverkehrs auf die Verkehrsqualität der Kfz ergibt sich im Wesentlichen aus Geschwindigkeit und Überholverhalten. In Anbetracht dessen, dass keine eindeutigen Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Schwerverkehrsfahrzeugen und Pkw an den untersuchten Querschnitten festgestellt werden konnten (siehe Kapitel 5.4), bzw. diese in der betrachteten Größenordnung sowohl negativen als auch positiven Einfluss auf die Gesamtgeschwindigkeit haben, kann dem Schwerverkehr kein Einfluss zugeordnet werden.

Eine Differenzierung nach Beschleunigungsverhalten und den daraus resultierenden unterschiedlichen Überholabständen zu entgegenkommenden Fahrzeugen konnte mangels verwertbarer Daten nicht berücksichtigt werden.

Des Weiteren würde sich die Verkehrsqualität der Kfz durch den SV-Anteil nur dann ändern, wenn sich eine sichtbare Änderung des Anteils angenommener Überholungen mit Gegenverkehr und Schwerverkehrsbeteiligung zeigen würde. In den Untersuchungen wurde dieser Effekt mit einer mittleren Verringerung des Anteils angenommener Überholungen mit Gegenverkehr um 3,3 % beziffert (siehe Kapitel 5.4). Er ist in dem hinterlegten Wertekorridor (siehe Bild 40) bereits berücksichtigt.

Durch hohe SV-Anteile (ab ca. 10 %) ist theoretisch eine Minderung der Kfz-Verkehrsqualität zu erwarten. Im Untersuchungskollektiv ließ sich diese aber weder breitenabhängig aufschlüsseln noch größtmäßig darstellen.

Die ERA benennt dazu als Einsatzgrenzen von Schutzstreifen, gerade im Belastungsbereich III, ein geringes Schwerverkehrsaufkommen.

### Überholverhalten der Fahrzeuge bei Gegenverkehr

Mit den Untersuchungen zu Einflüssen auf das Überholverhalten bei Gegenverkehr konnte ein Zusammenhang zur Fahrbahnbreite aufgezeigt werden (siehe Bild 40). Weiteren Faktoren wie den Verkehrsstärken (Rad und Kfz) konnte kein derartiger Einfluss nachgewiesen werden. Allerdings führt Zunahme der Verkehrsstärke gleichzeitig zu einer Steigerung der Interaktionshäufigkeit. Bei einer höheren Verkehrsstärke (egal ob Rad oder Kfz) kommt es häufiger dazu, dass ein Kfz einen Radfahrer überholen will, während sich ein Kfz im Gegenverkehr nähert. Diese Situationen werden als Anteil angenommener Überholungen bei Gegenverkehr erfasst und dieser ist ausschließlich von der Fahrbahnbreite abhängig. Ohne konkret beschreibbare weitere Einflussgrößen (mit der Regressionsanalyse für die unabhängigen Merkmale SV-Anteil, Schutzstreifen u. a. konnte kein Einfluss nachgewiesen werden) lässt sich ein Einflussspielraum in Form eines Korridors definieren. Dieser Korridor bildet den minimal und maximal zu erwartenden Überholanteil bei Gegenverkehr ab (siehe Bild 40).

### 7.3 Berücksichtigung der Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation

Um eine ausreichende Genauigkeit der Simulationsergebnisse sicherstellen zu können, ist eine Mindestanzahl an Simulationsläufen notwendig. Diese basieren auf dem Mittelwert und der Streuung der betrachteten Kenngrößen sowie der gewünschten Genauigkeit und statistischen Sicherheit der Aussage (siehe „Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation“ der FGSV, Kapitel 4.4.5).

In einem ersten Schritt wurden die Streuung und das dazugehörige Konfidenzniveau der Kfz-Geschwindigkeit durch Beispielsimulationen ermittelt. Darauf aufbauend wurden Konfidenzintervalle für die Kfz-Geschwindigkeit berechnet. Tabelle 12 zeigt die berechneten Werte.

Aufbauend auf den Ergebnissen stellt sich die Frage, welches Konfidenzintervall in der Simulation akzeptiert wird. Da die empirischen Erkenntnisse

mittlere Streuung $s^2$	1,006		
Konfidenzniveau	0,95		
t-Wert Student-Verteilung	2,92		
Konfidenzintervall	0,5 km/h	1 km/h	2 km/h
Anzahl notwendiger Simulationsdurchläufe	34	9	2

Tab. 12: Ermittlung Konfidenzintervall und erforderliche Simulationsdurchläufe

zu Überholanteilen ebenso wie die Geschwindigkeitsverteilungen einen Korridor abbilden, lässt sich eine darüber hinaus gehende Genauigkeit der Simulationsergebnisse methodisch schwer rechtfertigen. Aus diesem Grund wurde bei der Wahl des Konfidenzintervalls eine Abweichung der Einzelwerte von 2 km/h toleriert. Zur Sicherung der Qualität der Simulationsergebnisse waren damit 2 Durchläufe je Simulation erforderlich.

## 7.4 Funktionsweise und Umsetzung der Simulationsmodells

### 7.4.1 Vorbemerkung

Das mikroskopische Simulationsmodell, dessen Kalibrierung und Validierung in Kapitel 7.4.2 beschrieben wird, bezieht sich auf die Verkehrsstärken und Einflussgrößen, welche die Zustände der erhobenen Strecken widerspiegeln. Die Veränderungen der Kfz-Verkehrsqualität durch den Einfluss des Radverkehrs fielen an allen untersuchten Strecken gering aus, da der Radverkehr die mittlere Kfz-Geschwindigkeit nur um maximal 1,5 km/h verringerte.

Mit der Simulation wird das Ziel verfolgt, den Einfluss des Radverkehrs auf die Kfz-Verkehrsqualität für Zustände zu quantifizieren, die in der empirischen Untersuchung nicht beobachtet werden konnten. Hierfür wurden Verkehrszustände mit deutlich höheren Verkehrsstärken (sowohl Rad als auch Kfz) untersucht.

### 7.4.2 Aufbau des VISSIM-Modells

Das Modell für zweistreifige Straßenquerschnitte wurde in VISSIM nach dem folgenden vereinfachten Prinzip aufgebaut:

Auf zweistreifigen Straßen fahren Kfz im Allgemeinen auf ihrer Richtungsfahrbahn (1 Fahrstreifen), welche in Bild 64 jeweils durch den hellgrauen Streifen in Bezugsrichtung sowie den dunkel-

grauen Streifen in Gegenrichtung dargestellt ist. Bei alleiniger Beteiligung von motorisierten Fahrzeugen kann davon ausgegangen werden, dass hierbei der eigene Fahrstreifen auf der freien Strecke nicht verlassen wird und die Fahrzeuge hintereinander ihren Fahrstreifen befahren.

Wenn Radfahrer auf der Richtungsfahrbahn fahren, müssen Kfz teilweise die Gegenfahrbahn zum Überholen mitnutzen. Da das Fahren auf Strecken im VISSIM richtungsbezogen ist, können Fahrzeuge nicht ohne Weiteres den Gegenfahrstreifen mitbenutzen. Um dieses Problem zu umgehen, wurde ein zusätzlicher Fahrstreifen in Bezugsrichtung angeordnet, welcher die Gegenfahrbahn überlagert. Dieser ist in Bild 64 schraffiert dargestellt.

Mit diesem Ansatz ist es möglich, dass Radfahrer am Fahrbahnrand in Bezugsrichtung fahren, sie

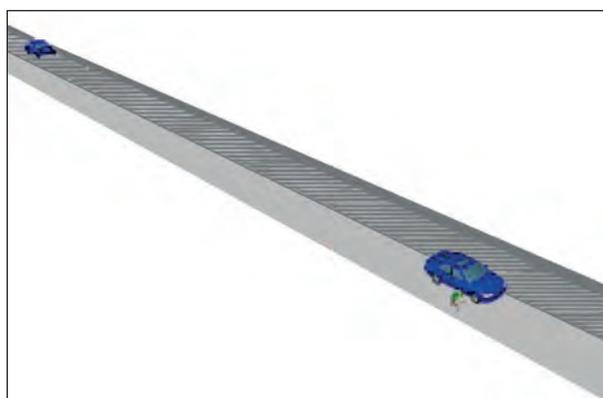


Bild 64: Aufbau des VISSIM Simulationsmodells

von Kfz unabhängig vom Gegenverkehr überholt werden können (im Modell dadurch dargestellt, dass das Kfz seinen vorgesehenen Fahrstreifen nicht verlässt) oder aber abhängig vom Gegenverkehr auf der Gegenfahrbahn überholt werden. Dieser Ansatz ist simulationsbedingt und bedeutet in der Realität nicht, dass ein Fahrzeug, welches mit Gegenverkehr überholt, tatsächlich den eigenen Fahrstreifen nicht verlässt.

Ein weiteres Problem mit VISSIM ist, dass Fahrzeuge in Bezugsrichtung nicht den Gegenverkehr berücksichtigen können. Um ein solches Verhalten zu ermöglichen, musste eine weitere Entscheidungsebene eingeführt werden, welche mittels eines VBA-Moduls programmiert und über die COM-Schnittstelle mit VISSIM verknüpft wurde.

### 7.4.3 Prinzipielle Funktionsweise des VBA-Tools

Um den Verkehrsablauf auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen dennoch simulieren zu können, muss neben der Interaktion von Fahrzeugen einer Fahrtrichtung auch der Einfluss entgegenkommender Fahrzeuge auf die Überholmöglichkeiten betrachtet werden. Durch die Anpassung eines von PTV zur Verfügung gestellten VBA-Moduls konnten über die COM-Schnittstelle von VISSIM zusätzliche Simulationsschritte integriert werden. In Tabelle 13 werden die in VISSIM bereitgestellten Eingangsparameter beschrieben und die durch das VBA-Zusatzmodul beigesteuerten Anpassungen erläutert.

	durch VISSIM festgelegte Größen	durch VBA-Modul veränderte Größen
Geschwindigkeit	Geschwindigkeitsverteilung für alle Kfz einheitlich	Keine Änderung
	Geschwindigkeitsverteilung für alle Radfahrer einheitlich	Keine Änderung
Verkehrsstärke	Kfz-Verkehrsstärke im Querschnitt zu gleichen Teilen auf Bezugs- und Gegenrichtung verteilt	Keine Änderung
	Rad-Verkehrsstärken in Bezugsrichtung	Keine Änderung
Fahrzeugtyp	Radfahrer sowie Kfz-Typen 100, 110 und 120 Typ 100: Überholen immer gestattet, Typ 110: Überholen immer gestattet, aber kein Fahrzeug eingespeist Typ 120: Überholen nicht gestattet. Überholanteil mit Gegenverkehr spiegelt sich in der Aufteilung auf Typ 100 (überholt immer, auch mit Gegenverkehr) und 120 (überholt nur, wenn VBA-Modul frei gibt) wider	Änderung von Typ 120 (Überholen nicht gestattet) auf Typ 110 (Überholen gestattet, wenn Gegenverkehrslücke groß genug)
überholunabhängige Verhaltensparameter	Sicherheitsabstände, Folgeverhalten	Keine Änderung
Überholparameter	-	Abstand zum vorausfahrenden Kfz, Abstand zum nächsten entgegenkommenden Kfz

Tab. 13: Eingangsgrößen und Stellgrößen von VISSIM und des VBA-Moduls

Die Herangehensweise basiert auf der Überlegung, dass Radfahrer nur unter gewissen Voraussetzungen überholt werden können. In der Regel besteht der Wunsch, vorausfahrenden Fahrzeuge (hier Radfahrer), bei einer deutlichen Geschwindigkeitsdifferenz zu überholen. Falls in diesem Moment kein Fahrzeug in Gegenrichtung unterwegs ist, wird der Radfahrer ohne merklichen Geschwindigkeitseinfluss überholt und vor ihm wieder eingeschert. Falls sich jedoch ein Fahrzeug im Gegenverkehr befindet, gibt es 2 Handlungsmöglichkeiten:

- Es kann trotz Gegenverkehr überholt werden.
- Es wird auf eine ausreichend große Weg- und Zeitlücke im Gegenverkehr gewartet und dann überholt.

Diese Differenzierung wird durch den Überholanteil mit Gegenverkehr abgebildet. Dieser Anteil angenommener Überholungen mit Gegenverkehr wird aus den erhobenen Daten abgeleitet und in die Simulation übertragen. Das Verhalten wird durch unterschiedliche Fahrzeugtypen in VISSIM eingestellt. Bei einem Anteil angenommener Überholvorgänge mit Gegenverkehr von beispielsweise 0,8 überholen 80 % der Fahrzeuge einen Radfahrer, auch wenn sich zu diesem Zeitpunkt im Gegenverkehr ein Fahrzeug befindet. Daraus lassen sich 2 Fahrzeugtypen ableiten:

- Fahrzeuge, die immer überholen,
- Fahrzeuge, welche nur überholen, wenn ihnen eine ausreichend große Lücke im Gegenverkehr zur Verfügung steht.

In VISSIM werden hierfür die Typen 100 und 120 festgelegt und mit der entsprechenden Verteilung belegt (siehe auch Tabelle 13).

Fahrzeuge vom Typ 100 überholen die Radfahrer unabhängig vom Gegenverkehr. Für alle Fahrzeuge vom Typ 120 gibt es 2 Kriterien, die das Überholen erlauben. Es darf sich vor dem Fahrzeug (in festgelegten Abstand) kein anderes Kfz befinden (hier 60 m), da sich sonst die Kfz teilweise gegenseitig überholen würden. Außerdem muss zum Zeitpunkt des Überholwunsches eine ausreichend große Lücke im Gegenverkehr vorhanden sein, welche der Pkw zum Überholen nutzen kann. Aus der Kalibrierung entstand eine erforderliche Weglücke von 120 m zwischen dem betreffenden Fahrzeug und nächsten entgegenkommenden Fahrzeug.

Am folgenden Beispiel soll die Vorgehensweise verdeutlicht werden:

- Ein Fahrzeug vom Typ 120 fährt in Bezugsrichtung und nähert sich einem vorausfahrenden Radfahrer. Da sich kein Kfz vor ihm befindet, wird überprüft, ob sich auf dem entgegenkommenden Fahrstreifen ein Fahrzeug innerhalb der Mindestweglücke befindet.
- Ist dies der Fall, fährt das Fahrzeug des Typs 120 hinter dem Radfahrer her. Sobald sich eine ausreichende Weglücke bietet, wechselt das Fahrzeug zum Typ 110 (dem das Überholen gestattet ist), überholt den Radfahrer und schert danach wieder ein.
- Dieser Prozess wiederholt sich für alle Fahrzeuge in Bezugsrichtung und ermittelt für jeden Konflikt die entsprechende Lösung. Kraftfahrzeuge im Gegenverkehr werden nicht differenziert, sie gelten jeweils als gleichwertige Hindernisse.

Anhand des Geschwindigkeitsunterschiedes zwischen der Geschwindigkeit mit der die Fahrzeuge ins Modell eingespeist werden und tatsächlicher mittlerer Geschwindigkeit im gestörten Verkehr wurde die resultierende fahrstreifenbezogene Verkehrsdichte (in Bezugsrichtung) als Maß der Verkehrsqualität ermittelt.

#### 7.4.4 Parameter der Simulation

Nach Erarbeitung der erfassten Zusammenhänge und Überprüfung der Simulationsmöglichkeiten wurde ein mikroskopisches Simulationsmodell aufgebaut, das mittels der folgenden Eingangsgrößen die Verkehrssituation der definierten Breitenklassen von 6,0 bis 8,5 m darstellt:

- Geschwindigkeitsverteilung Rad und Kfz,
- Verkehrsstärke Rad und Kfz,
- Überholanteil mit Gegenverkehr (Übertragung in das Modell über die Verteilung der Kfz-Menge auf die Kfz-Typen 100 und 120).

#### Geschwindigkeitsverteilung

Zur Darstellung der Geschwindigkeit wurde die ungestörte Kfz-Geschwindigkeit als Eingangsgröße übernommen, in die Simulation eingebunden und kalibriert. Die Geschwindigkeit des Schwerverkehrs

im gebundenen Verkehrsablauf unterscheidet sich nicht maßgebend von dem der anderen Fahrzeuge ( $\pm 0,4$  km/h), der SV wird folglich nicht separat berücksichtigt.

Da ein Zusammenhang zwischen ungestörter Geschwindigkeit und Verkehrsstärke bzw. Fahrbahnbreite nicht hergestellt werden konnte, wird über alle Breiten eine einheitliche Geschwindigkeitsverteilung angesetzt. Über alle ausgewerteten Querschnitte mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h wurde für die Simulation die Geschwindigkeitsverteilung über alle Einzelgeschwindigkeiten nach den  $Q_{15^-}$ ,  $Q_{30^-}$ ,  $Q_{50^-}$ ,  $Q_{70^-}$  und  $Q_{85^-}$ -Werten eingespeist (siehe Bild 41).

Für die Geschwindigkeitsverteilung des Radverkehrs wurde dieser Schritt wiederholt (siehe auch Bild 42). Die mögliche Geschwindigkeitsänderung in Folge einer starken Längsneigung konnte mangels Daten nicht differenziert berücksichtigt werden.

### Verkehrsmengen

Die Kfz-Verkehrsmenge wird ausgehend von der mittleren Querschnittsverkehrsstärke der Radspitzenstunde zu gleichen Teilen auf beide Fahrrichtungen verteilt. Die Radverkehrsstärke wird jeweils nur in Bezugsrichtung berücksichtigt.

### Überholanteil mit Gegenverkehr

Dieser Anteil spiegelt sich in der Art der eingespeisten Fahrzeuge und deren Aufteilung wieder. In der Simulation werden Fahrzeuge jeweils sowohl in Bezugs- als auch in Gegenrichtung eingespeist. Kraftfahrzeuge in Gegenrichtung werden alle einheitlich als Hindernisse betrachtet, in Bezugsrichtung werden 2 verschiedene Fahrzeugtypen eingeführt (siehe Kapitel 7.4.3).

Simuliert werden Fahrbahnbreiten von 6 m bis 8,5 m in 0,5 m Schritten. Für die jeweiligen Breiten werden ein maximaler und ein minimaler Anteil überholender Fahrzeuge mit Gegenverkehr angenommen (siehe Bild 40 und Tabelle 14).

Bei einer Breite von 8 m wird beispielsweise von einem Maximalanteil von 85 %, minimal von 65 % Überholbereitschaft bei Gegenverkehr ausgegangen. Für die Simulation bedeutet dies, dass eine minimale und eine maximale zu erwartende mittlere Gesamtgeschwindigkeit der Kfz ermittelt wird.

Fahrbahnbreite	Minimaler Anteil angenommener Überholungen bei Gegenverkehr	Maximaler Anteil angenommener Überholungen bei Gegenverkehr
6,0 m	0,00	0,35
6,5 m	0,25	0,65
7,0 m	0,30	0,70
7,5 m	0,40	0,75
8,0 m	0,65	0,85
8,5 m	0,95	1,00

Tab. 14: Minimale und maximale Überholanteile bei Gegenverkehr als Eingangsgrößen der Simulation

### 7.4.5 Kalibrierung und Validierung

Um aussagekräftige Aussagen über den Verkehrsablauf der Realität mittels Modell wiedergeben zu können, muss das Modell die empirischen Erkenntnisse möglichst gut widerspiegeln. Hierfür war die Kalibrierung und Validierung anhand der empirischen Erhebungsdaten erforderlich. Zur Kalibrierung wurden sechs vollständige Datensätze von zweistreifigen Querschnitten verwendet. Mittels der Differenz aus der Geschwindigkeitsbetrachtung der Fahrzeuge im gebundenen Verkehr (Geschwindigkeit ohne Radeinfluss gegenüber der Geschwindigkeit unter Radeinfluss) wurde eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen empirischen Daten und Simulation angestrebt. Eingangsdaten waren hierfür

- die Kfz-Verkehrsstärke in Bezugsrichtung und in Gegenrichtung,
- die Radverkehrsmenge in Bezugsrichtung,
- der ermittelte Anteil angenommener Überholungen mit Gegenverkehr,
- die ungestörte Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs (ohne Radverkehrseinfluss) in Bezugsrichtung (welche ebenfalls für den Gegenverkehr angenommen wurde) sowie
- die mittlere ungestörte Radgeschwindigkeit.

Mithilfe dieser Eingangsgrößen wurde ein Parametersatz bestimmt, bei dem die Abweichung der Gesamtgeschwindigkeiten (incl. Radverkehr) zwischen Simulation und Empirie ihr Minimum erreichte. Um schließlich die unterschiedlichen Auswirkungen von Verkehrsstärken und Breiten verallgemeinert darstellen zu können, wurden die Kfz-Verkehrsstärke des Querschnitts, eine mittlere

Geschwindigkeitsverteilung über alle Kfz sowie alle Radfahrer und ein minimaler sowie maximaler Anteil angenommener Überholungen bei Gegenverkehr in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite als variable Faktoren der Simulation festgelegt.

Für die verschiedenen Breitenklassen von 6,0 m bis 8,5 m wurde die Dichte auf Basis der eingespeisten Verkehrsstärke und der im Ergebnis der Simulation ermittelten Kfz-Geschwindigkeit auf dem 50-m-Auswerteabschnitt bestimmt. Diese dichte bildete die Grundlage für die Qualitätsbewertung des Kfz-Verkehrs.

Entsprechend der „Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation“ wurden die verfügbaren Datensätze, welche nicht zu Kalibrierung verwendet wurden, in den Validierungsprozess integriert. Für die Validierung wurde 16 weitere, nicht für die Kalibrierung genutzte Datensätze mit dem kalibrierten Modell simuliert und mit den Erhebungsergebnissen verglichen.

Durch Anpassungen von Abstands- und Geschwindigkeitsparametern konnten die aus der Empirie und der Simulation ermittelten Dichtewerte relativ gut angenähert werden. Es blieb jedoch eine leichte Tendenz der Überschätzung des Radinflusses durch die Simulation. Dies resultiert hauptsächlich aus den beobachteten höheren Kfz-Geschwindigkeiten beim Überholen. Auf fünf der beobachteten Streckenabschnitte hatte der Radverkehr einen „positiven“ Effekt auf die Gesamtgeschwindigkeit der Kraftfahrzeuge. In der Simulation wurde diese Möglichkeit des beschleunigenden Effekts des Radverkehrs jedoch vernachlässigt, da sie nur bei sehr geringen Verkehrsbelastungen und sehr guter Verkehrsqualität überhaupt auftreten kann.

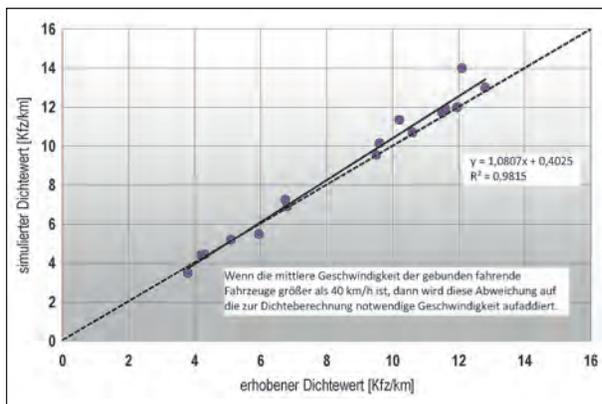


Bild 65: Ergebnisse der Validierung

## 7.5 Simulationsergebnisse Verkehrsqualität für Radverkehr im Mischverkehr

### 7.5.1 Vorbemerkung

Nachfolgend werden Simulationsergebnisse für zweistreifige Querschnitte vorgestellt. Für jede analysierte Fahrbahnbreite zwischen 6,0 m und 8,50 m (in 0,5-m-Schritten) ergeben sich jeweils 224 durch die Simulation berechnete Werte für die Kfz-Verkehrsqualität:

- 7 Werte für Kfz-Verkehrsstärken zwischen 250 und 1.750 Kfz/h im Querschnitt (in 250er Schritten bei symmetrische Richtungsverteilung der Verkehrsstärke),
- 16 Werte für Radverkehrsstärken zwischen 25 und 400 Rad/h in Bezugsrichtung (in 25er Schritten),
- jeweils 2 Korridorwerte für den Anteil der angenommenen Überholungen bei Gegenverkehr.

Die Simulationen wurden zur Sicherung der statistischen Zuverlässigkeit (entsprechend FGSV-Richtlinie für mikroskopische Simulationen siehe Kapitel 7.3) jeweils zweimal durchgeführt.

Die aus den Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten ermittelten Kfz-Verkehrsqualitäten (siehe Kapitel 2.2.1) können in Abhängigkeit der Verkehrsstärken (von Kfz- und Radverkehr) dargestellt werden. Da für die bei Gegenverkehr angenommenen Überholvorgänge ein Korridor angesetzt wurde, ergeben sich Überschneidungsbereiche der Verkehrsqualität.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit und der empirischen Datenbasis ist die Darstellung von Übergangsbereichen für die praktische Anwendung sinnvoll. In den Bildern 67 bis 72 sind die Ergebnisse der Simulationsläufe für die Fahrbahnbreiten von 6,0 m bis 8,5 m dargestellt. Die Farben (siehe Bild 66) entsprechen den zu erwartenden Qualitätsstufen nach HBS, welche sich aus der fahrstreifenbezogenen Kfz-Verkehrsdichte ableiten.

Da für jede Verkehrsmengenkonstellation ein minimaler und ein maximaler Anteil angenommener Überholungen in die Simulation eingeht, entstehen

Qualitätsstufe nach HBS	A	B	C	D	E	F
Dichte $K_{fs}$ [Kfz/km] je Fahrstreifen	$\leq 7$	$\leq 14$	$\leq 23$	$\leq 34$	$\leq 45$	$> 45$

Bild 66: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs in Abhängigkeit der Verkehrsdichte nach HBS

für jede Verkehrsmengenkombination verschiedene Verkehrsdichten. Wenn sich diese nicht in die gleiche Qualitätsstufen einordnen lassen, entstehen Überlappungsbereiche.

### 7.5.2 Ergebnisse der Simulation für die verschiedenen Fahrbahnbreiten

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Simulation differenziert nach den unterschiedlichen Fahrbahnbreiten vorgestellt.

#### Fahrbahnbreite 6,0 m

Bei einer Fahrbahnbreite von 6 m ist bereits im Bereich geringer Kfz-Verkehrsstärken (500 Kfz/h) und geringer Radverkehrsstärken ab 75 Rad/h eine Verschlechterung der Verkehrsverhältnisse zu erkennen (Übergang QSV A zu QSV B). Ebenso führen bei den höheren Kfz-Verkehrsstärken ab 1.250 Kfz/h bereits geringe Radverkehrsstärken zu einer Verschlechterung der Kfz-Verkehrsqualität. Da es bei dieser Breite zu einem völligen Ablehnen von Überholungen mit Gegenverkehr kommen kann, ist hier der Einfluss besonders stark (siehe Bild 67).

#### Fahrbahnbreite 6,5 m

Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Simulation der 6,0 m breiten Fahrbahn (siehe Bild 68).

Diese geringen Fahrbahnbreiten gehen in der Praxis i. d. R. mit geringen Verkehrsstärken einher. Die maximale erhobene Querschnittsverkehrsstärke

der Querschnittstypen A1 und A6 (bis 7 m Fahrbahnbreite) betrug 800 Kfz/h bei 150 Rad/h (in Bezugsrichtung). Sowohl ohne als auch mit Radverkehrseinfluss wurde für dafür Qualitätsstufe B ermittelt.

#### Fahrbahnbreite 7,0 m

Der Überholanteil ändert sich bei Fahrbahnbreiten zwischen 6,5 m und 7,0 m nur wenig (siehe Bild 40, Verschiebung um ca. 5 %). Die Wirkungen des Radeinflusses ändern sich demzufolge auch nur minimal. Bei annähernd gleicher Anzahl von Überholzuständen trotz geringerer Breite bedeutet dies, dass der Überholabstand sinkt. Dies hat zwar keinen Qualitätseinfluss, wäre aus Sicht der Verkehrssicherheit jedoch zu berücksichtigen (siehe Bild 69).

Bei Fahrbahnbreiten von 7,0 bzw. 7,5 m beginnt der kritische Belastungsbereich (ab QSV E) bei 1.500 Kfz/h (im Querschnitt) und 125 Rad/h (in Bezugsrichtung).

#### Fahrbahnbreite 7,5 m

Mit einer Breite von 7,7 m liegt der Querschnitt mit der gemessenen maximalen, durch den Radverkehr bedingten Geschwindigkeitsverringerung des Kfz-Verkehrs, in der Nähe der simulierten Breite von 7,5 m. Bei 1.210 Kfz/h (im Querschnitt) und 75 Rad/h (in Bezugsrichtung) wurde eine mittlere Geschwindigkeitsreduktion von 1,55 km/h erhoben. Ohne oder mit Radverkehr ergibt sich QSV C (siehe Bild 70).

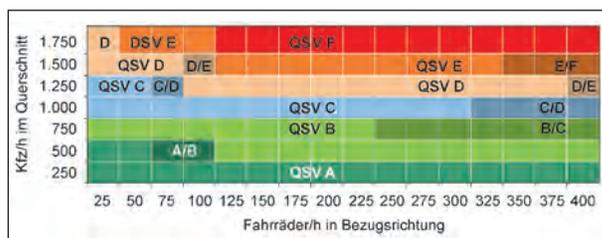


Bild 67: Einfluss von Radverkehr auf die Verkehrsqualität bei 6,0 m Fahrbahnbreite

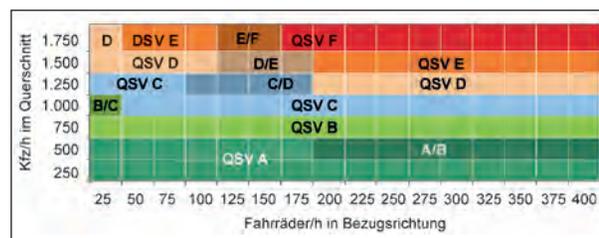


Bild 69: Einfluss von Radverkehr auf die Verkehrsqualität bei 7,0 m Fahrbahnbreite

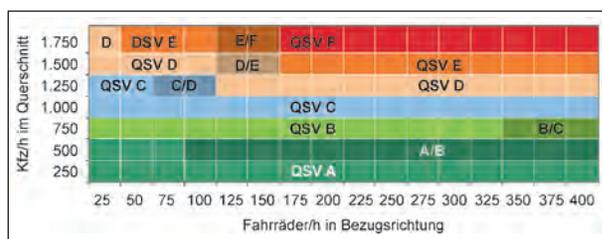


Bild 68: Einfluss von Radverkehr auf die Verkehrsqualität bei 6,5 m Fahrbahnbreite

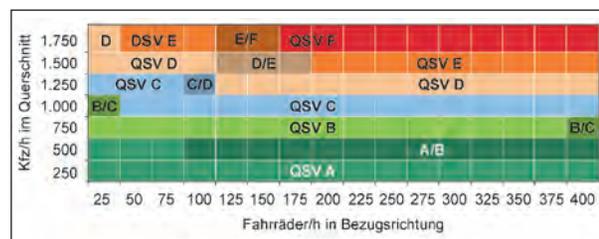


Bild 70: Einfluss von Radverkehr auf die Verkehrsqualität bei 7,5 m Fahrbahnbreite

Es lässt sich ebenfalls erkennen, dass 75 Rad/h (in Bezugsrichtung) bei 7,5 m Fahrbahnbreite und 1.250 Kfz/h im Querschnitt Qualitätsstufe C ergeben.

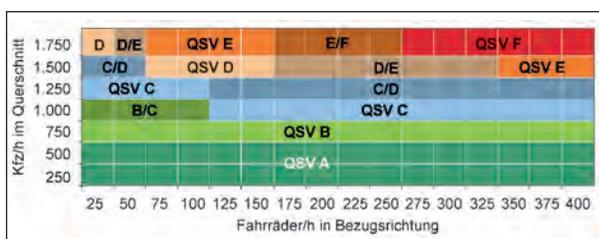
### Fahrbahnbreite 8,0 m

Bei Fahrbahnbreiten von 8,0 m und Verkehrsstärken bis zu 750 Kfz/h im Querschnitt hat der Radverkehr nur geringen Einfluss auf die Qualität. Die Mehrzahl der Kfz überholt bei Gegenverkehr. Zudem gibt es noch ausreichend Lücken im Gegenverkehrsstrom (Bild 71).

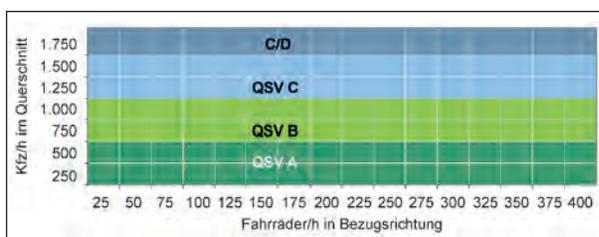
Ein stabiler Verkehrsablauf (bis einschließlich QSV D) ist bei bis zu 1.500 Kfz/h und 150 Rad/h je Richtung zu erwarten.

### Fahrbahnbreite 8,5 m

Für Breiten ab 8,5 m kann davon ausgegangen werden, dass der Radverkehr so gut wie keinen Einfluss (Anteil angenommener Überholungen mit Gegenverkehr zwischen 0,95 und 1,00) auf die Verkehrsqualität des Kfz-Verkehrs hat. Welche Qualitätsstufe dabei der Kfz-Verkehrsablauf besitzt, hängt primär von der Kfz-Verkehrsstärke ab. Da in der Simulation eine mittlere Geschwindigkeit von 40 km/h angesetzt wurde, ergibt sich bei 1.750 Kfz/h im Querschnitt eine Kfz-Verkehrsqualität zwischen den Stufen C und D (Bild 72).



**Bild 71:** Einfluss von Radverkehr auf die Verkehrsqualität bei 8,0 m Fahrbahnbreite



**Bild 72:** Einfluss von Radverkehr auf die Verkehrsqualität bei 8,5 m Fahrbahnbreite

### 7.5.3 Fazit

- Die Betrachtung der Radeinflüsse auf die Verkehrsqualität des Kfz-Verkehrs zeigt, dass auch weit über die derzeit in der Praxis auftretenden Verkehrsstärkenkombinationen Radverkehr im Mischverkehr abgewickelt werden kann, ohne dass die Qualität des Kfz-Verkehrs dadurch maßgeblich beeinträchtigt wird.
- Im Rahmen der Simulation wurden deutlich höhere Verkehrsstärken (Rad und Kfz) als die in der Praxis beobachteten eingespeist. Dabei traten deutlich größere Einflüsse auf, bis hin zur Annäherung der Kfz-Geschwindigkeit an die Radgeschwindigkeit. Dies führte zu einer Minderung der mittleren Kfz-Geschwindigkeit bis auf 24 km/h. Dass es bei solch starken Störungen zu einem von der Empirie abweichenden Überholverhalten kommen kann, ist nicht auszuschließen.
- Weitere Effekte wie Bushalte, Liefervorgänge oder hohes Fußgängerquerungsaufkommen wurden im Rahmen dieser Untersuchung nicht betrachtet und müssten bei kritischen Verkehrsstärken oder Breiten jeweils lokal differenziert untersucht werden.

## 8 Zusammenfassung

### 8.1 Alle Querschnitte

In dieser Untersuchung wurde Radverkehr im Mischverkehr auf Hauptverkehrsstraßen mit und ohne Schutzstreifen hinsichtlich der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufs analysiert. Dazu wurden Literaturrecherchen und Befragungen, eine Analyse des Unfallgeschehens in sieben Städten sowie Videobeobachtungen an 40 Querschnitten durchgeführt.

Als Grundlage wurden relevante Querschnittstypen in Anlehnung an die Vorgaben der technischen Regelwerke festgelegt. Innerhalb der Unfallanalyse sowie der Recherchen zu geeigneten Querschnitten für die Verkehrsbeobachtungen zeigte sich, dass die Vielzahl der Streckenabschnitte mit Schutzstreifen in den Untersuchungsstädten nicht den Kriterien der ERA, insbesondere den Fahrbahnbreiten, entspricht. Häufig war zu beobachten, dass Schutzstreifen bei größeren Fahrbahnbreiten eingesetzt werden und in

solchen Fällen auch Schutzstreifen mit Breiten über 1,50 m markiert wurden. Dies betrifft auch vierstreifige Querschnitte, deren Verkehrsaufkommen den Einsatz von Radfahrstreifen und einer begleitenden überbreiten Fahrbahn ermöglichen würde.

Weiterhin wurde festgestellt, dass aufgrund geringerer Rad- und/oder Kfz-Verkehrsstärken bei den untersuchten Strecken kaum Behinderungen des Kfz-Verkehrs durch Radverkehr im Mischverkehr auftraten. Deshalb wurde im Rahmen einer mikroskopischen Simulation Verkehrszustände mit deutlich höheren Verkehrsstärken abgebildet, um daraus Erkenntnisse für die Beeinflussung des Kfz-Verkehrs durch Radverkehr im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen zu gewinnen.

Nachfolgend werden die Ergebnisse für zwei- und vierstreifige Querschnitte getrennt dargestellt.

## 8.2 Zweistreifige Querschnitte

Hinsichtlich des Gesamtunfallgeschehens ist festzustellen, dass Querschnitte mit Schutzstreifen eine höhere Unfalldichte aufweisen als vergleichbare Strecken mit Mischverkehr ohne Schutzstreifen. Mögliche Ursache ist eine höhere Nutzungsintensität, dies zeigten zumindest die Verkehrsbeobachtungen. Hingegen weisen Streckenabschnitte ohne Schutzstreifen eine höhere Unfallschwere auf – so liegt der angepasste Unfallkostensatz für Unfälle mit schwerem Personenschaden deutlich über dem von Strecken mit Schutzstreifen. Zahlen zum Radverkehrsaufkommen lagen für das Streckenkollektiv der Unfallanalyse allerdings nicht vor.

Einflüsse des Schwerverkehrs auf die Verkehrssicherheit und -qualität konnten nicht abgeleitet werden. Innerhalb der Untersuchungsstrecken zur Verkehrsqualität lagen die Schwerverkehrsanteile im Regelfall deutlich unter 10 %.

Der Schutzstreifen als Element des Mischverkehrs zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass er die Nutzung der Fahrbahn für Radverkehr attraktiver gestaltet und damit Konflikte durch die Seitenraumnutzung der Radfahrer zurückgehen können. Dies wird durch die Analyse der Unfalltexte bestätigt. So treten die Unfallkonstellationen „einbiegendes Kfz und Radfahrer auf Gehweg an Grundstückszufahrten“ auf Strecken ohne Schutzstreifen häufiger auf als auf Strecken mit Schutzstreifen.

Die Geschwindigkeiten des Kfz-Verkehrs sind auf Strecken mit Schutzstreifen etwas geringer als auf Strecken ohne Schutzstreifen. Vorteilhaft sind dabei höhere Schutzstreifenbreiten (mehr als die Mindestbreite von 1,25 m).

Bei ruhendem Verkehr mit Längsaufstellung am rechten Fahrbahnrand führen Schutzstreifen durch ihren Sicherheitsabstand für eine von den ruhenden Kfz weiter entfernte Fahrlinie des Radverkehrs. Damit verringert sich das Konfliktpotenzial zwischen Radfahrern und ruhendem Verkehr. Die Analyse der Unfalltypen zeigt hierzu keine eindeutige Tendenz.

Es wurde auch deutlich, dass – unabhängig von der Anlage eines Schutzstreifens – die seitlichen Überholabstände durch Kfz unter 1,5 m liegen. Bei Gegenverkehr, hohen Kfz-Verkehrsstärken und niedrigen Fahrbahnbreiten verringern sich die Abstände nochmals.

Es zeigt sich aber auch, dass Unfälle der Konstellation „Kfz drängt Radfahrer beim Überholen ab“ häufiger auf Strecken ohne Schutzstreifen zu verzeichnen sind.

Die mikroskopischen Simulationen für zweistreifige Querschnitte haben gezeigt, dass typische Radverkehrsstärken, wie sie im Mischverkehr vorzufinden sind, auch noch bei über 1.500 Kfz/h im Querschnitt verträglich abgewickelt werden können. Wichtiges Kriterium für die Verträglichkeit von Kfz-Verkehr und Radverkehr ist, neben den Verkehrsstärken, vor allem die Fahrbahnbreite.

Der Breitenbereich ab 7,50 m bei einer Kernfahrbahnbreite ab 4,50 m ist bei höheren Verkehrsstärken von deutlich über 1.000 Kfz/h ein geeigneter zweistreifiger Querschnitt, in welchem auch bei höheren Radverkehrsstärken von mehr als 100 Rad/h und Richtung kaum Beeinträchtigungen des Kfz-Verkehrs eintreten. Radverkehr im Mischverkehr kann bei niedrigeren Fahrbahnbreiten eingesetzt werden, wenn Randbedingungen wie z. B. geringe Kfz- und/oder Radverkehrsstärken dies zulassen. Die in der Untersuchung definierten Verkehrsstärkenbereiche sind dabei als Anhaltspunkte zu verstehen, wobei keine weiteren Behinderungen des Verkehrsablaufs (wie z. B. Bushalte, Lieferr/Laden, hohes Fußgängerquerungsaufkommen) berücksichtigt sind. Im Zweifelsfall sollten durch lokale Untersuchungen vertiefende Erkenntnisse zur Verkehrsqualität (jeweils richtungsbezogen) gewonnen werden, wenn

- durch die entsprechenden Verkehrsstärkenkombinationen und die Fahrbahnbreite entsprechend der dargestellten Simulationsergebnisse QSV D erreicht werden kann,
- ein hohes Maß weiterer äußerer Einflüsse auf die Verkehrsqualität erwartet wird (mehr als 6 Bushalte/h und Richtung, häufiges Liefern/Laden, hohe Zahl querender Fußgänger),
- der Schwerverkehrsanteil nahe bei 10 % oder darüber liegt,
- mehr als 100 Rad/h entgegen der Bezugsrichtung verkehren oder
- gegenseitige Radüberholungen sehr häufig auftreten.

Zählungen sollten für die Radverkehrsspitzenstunde und fahrtrichtungsgetrennt durchgeführt werden sowie die Verkehrszusammensetzung berücksichtigen.

Besonders wichtig ist eine Überprüfung wenn Kfz-Verkehrsstärken von mehr als 1.000 Kfz/h im Querschnitt und Radverkehrsstärken von mehr als 100 Rad/h in Bezugsrichtung bei Fahrbahnbreiten von unter 7,5 m vorhanden sind. In solchen Fällen besteht die Gefahr geringer Überholabstände.

Die Ergebnisse zeigen, dass Schutzstreifen im Vergleich zum Mischverkehr ohne Schutzstreifen keine Nachteile hinsichtlich von Überholabständen oder Einflüssen auf die Verkehrsqualität des Kfz-Verkehrs aufweisen. Sie verringern vielmehr die Seitenraumnutzung und die Geschwindigkeiten im Kfz-Verkehr. Andererseits ist auf den Untersuchungsabschnitten mit Schutzstreifen eine höhere Unfalldichte, aber auch eine geringere Unfallschwere festgestellt worden. Auf eine sichere Gestaltung bei Schutzstreifen (Erkennbarkeit, Sicht, deutliche Führung an Zufahrten und Nebenstraßen) ist daher besonders zu achten.

### 8.3 Vierstreifige Querschnitte

Für die vierstreifigen Querschnitte wurden keine mikroskopischen Simulationen durchgeführt, da aus den Erhebungsergebnissen keine verallgemeinerbaren Aussagen zum Überholverhalten und radbedingten Geschwindigkeitseinflüssen (als maßgebende Eingangsparameter für die Simulation) abgeleitet werden konnten.

Bei Radverkehr im Mischverkehr auf vierstreifigen Straßen werden kaum Überholungen von Radfah-

ren abgelehnt. Stattdessen werden bei hohen Verkehrsstärken häufig auch enge Überholabstände in Kauf genommen.

Die vorliegenden Daten sind für eine quantifizierte Bewertung nicht ausreichend. Die vorliegenden Auswertungen zeigen, dass bei Breiten ab 6,50 m bei zwei Richtungsfahrbahnen Überholabstände in gleicher Größenordnung wie auch bei zweistreifigen Querschnitten vorzufinden sind.

Schutzstreifen führen auch bei vierstreifigen Fahrbahnen dazu, dass die Kfz-Geschwindigkeiten sinken und die Akzeptanz der Fahrbahnnutzung durch Radfahrer erhöht wird.

Einflüsse durch Schutzstreifen auf die Verkehrsqualität und auch Konflikte oder kritische Überholabstände konnten nicht nachgewiesen werden. Auch auf Basis der Unfallanalyse können keine Tendenzen abgeleitet werden. Allerdings kommt Radverkehr im Mischverkehr mit oder ohne Schutzstreifen auf vierstreifigen Streckenabschnitten nur sehr selten zur Anwendung. Die Ergebnisse der Kommunalrecherche zeigen, dass nach eigenen Angaben nur etwa jede sechste Stadt diese Form einsetzt. Dies spiegelt sich auch bei den entsprechenden Streckenkollektiven der Unfallanalyse insbesondere hinsichtlich der Querschnitte mit Schutzstreifen wider.

Darüber hinaus zeigt sich, dass auf vierstreifigen (oder überbreiten) Querschnitten das Überholen von Radfahrern bei nur einem parallelen Kfz mit einem größeren Abstand erfolgt als bei zweistreifigen Fahrbahnen ohne Gegenverkehr.

## 9 Weiterer Forschungsbedarf

Das Forschungsprojekt hat trotz einer Vielzahl neuer Erkenntnisse auch neue Fragen aufgeworfen, die nur durch weitere Vertiefungen beantwortet werden können. Im Folgenden sind ausgewählte, wichtige Fragestellungen aufgeführt.

Unfallanalysen mit Verwendung von Unfallkostenraten unter Berücksichtigung des Radverkehrsaufkommens könnten differenziertere Aussagen zur Verkehrssicherheit des Radverkehrs im Mischverkehr mit und ohne Schutzstreifen ermöglichen.

Zusätzliche Erhebungen von Radverkehr und Verkehrsqualität im Mischverkehr an zweistreifigen Strecken mit hohen Verkehrsstärken im Kfz- und

Radverkehr sind von hoher Bedeutung, um die in der Simulation ermittelten Ergebnisse weiter zu verifizieren.

Zudem müssten auch Daten zur Interaktion von Radverkehr im Gegenverkehr (Überholtypen 8-12) erhoben werden.

Aus den Datenerhebungen konnte keine eigenständige Betrachtung der Radverkehrsqualität abgeleitet werden. Anhand des Verfahrens der Störungsrate nach HBS könnte auch für Radverkehr im Mischverkehr ein ähnliches Verfahren abgeleitet werden. Dies müsste jedoch auf Strecken mit höheren Radverkehrsmengen über größere Zeiträume beobachtet werden, um Störungen zwischen Radfahrern untereinander (Rad-Rad-Überholungen), eine unterschiedliche Zusammensetzung des Radverkehrs (Elektrofahrräder, Räder mit Anhängern usw.) sowie Einflüsse durch ruhende und abbiegende Fahrzeuge ableiten zu können (siehe auch „Qualität des Radverkehrs“).

Besondere Bedeutung für weitere Forschungsaktivitäten haben vierstreifige Querschnitte. Hier ist insbesondere zu klären, mit welcher Führung des Kfz-Verkehrs (überbreite Fahrbahn oder markierte Fahrstreifen), bei welchen Breiten und bei welchen Verkehrsstärken vertretbare Überholabstände auftreten, um die Empfehlungen der ERA dahingehend zu konkretisieren.

### Integration HBS

Die Qualitätsbewertung des Kfz-Verkehrs für Strecken von Stadtstraßen erfolgt im HBS anhand der Dichte, wobei die Dichte von der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit abhängt. Die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Verkehrsstärke wird in q-v-Diagrammen dargestellt.

Im Ergebnis der Simulation wird für verschiedene Kombinationen aus Kfz- und Radverkehrsstärke eine Qualitätsbewertung des Kfz-Verkehrs vorgenommen. Diese ist neben den Verkehrsstärken von der Fahrbahnbreite anhängig.

Damit liegt ein Ansatz zur Bewertung der Qualität des Kfz-Verkehrs bei Radverkehr im Mischverkehr auf Basis von Qualitätsstufen vor. Dies ist noch nicht vollständig, da weitere Einflussfaktoren auf die Kfz-Verkehrsqualität nicht berücksichtigt sind (z. B. Bushalte-, Liefer- und Ladevorgänge), kann aber als Grundlage für eine zukünftige Erweiterung/Überarbeitung der Kfz-Qualitätsbewertung im HBS dienen.

### Qualität des Radverkehrs

Im Fokus der Untersuchung stand die Beeinflussung der Verkehrsqualität des Kfz-Verkehrs durch Radverkehr im Mischverkehr. Für die Qualitätsbewertung des Radverkehrs wird im HBS ein Verfahren vorgeschlagen, dass sich an den Überholmöglichkeiten der Radfahrer untereinander orientiert. Ein wesentliches Kriterium ist dafür die Breite der Radverkehrsanlage.

Es wird im entsprechenden Kapitel des HBS-Entwurfs explizit darauf hingewiesen, dass dieses Verfahren nicht für Radverkehr im Mischverkehr gilt, da hier von ausreichend Überholmöglichkeiten der Radfahrer untereinander ausgegangen wird. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass es bei Radverkehr im Mischverkehr keine Qualitätseinbußen gibt. Bei den hier untersuchten Querschnitten mit den dabei beobachteten Verkehrsstärken (Rad und Kfz) wurde diese Annahme bestätigt. Es konnten keine verhinderten Rad-Rad-Überholungen beobachtet werden.

Für weitergehende Ansätze zur Qualitätsbewertung des Radverkehrs im Mischverkehr konnten in der Untersuchung Ansätze gefunden werden, welche allerdings vertiefter Überlegungen und Untersuchungen bedürfen.

Behinderungen infolge fehlender Rad-Rad-Überholmöglichkeiten wurden nicht beobachtet, können aber bei hohen Rad- und Kfz-Verkehrsstärken relevant werden. Dies wäre der Fall, wenn Radfahrer Überholungen anderer Radfahrer unterlassen, weil sich Kfz hinter ihm befinden oder mit höherer Geschwindigkeit nähern. Insbesondere bei hohen Rad-Verkehrsstärken ist zu vermuten, dass sich ein gänzlich anderes Verkehrsverhalten einstellt. Dann lautet die Frage allerdings nicht mehr:

- Radverkehr im Mischverkehr mit oder ohne Schutzstreifen?

sondern:

- Welche Führungsformen sind angemessen (Radfahrstreifen, Radfahrstraße)?

Die Oberflächenbeschaffenheit ist ein weiteres Kriterium für die Radverkehrsqualität, die aber nicht im HBS-Verfahren einwirkt. In den untersuchten Querschnitten mit Radfahrern im Mischverkehr wurden diesbezüglich keine Mängel beobachtet.

Seitliche Überholabstände sind ein Kriterium für die Sicherheit und damit auch als Qualitätskriterium relevant:

- Erstens wurden im Mischverkehr generell geringe seitliche Überholabstände (Rad-Kfz) festgestellt. Dies sollte beachtet werden, wenn es um Fahrbahnführung des Radverkehrs gilt.
- Zweitens wurden auf den Strecken mit Schutzstreifen nochmals geringere seitliche Überholabstände festgestellt. Dies würde bedeuten, dass sich die Qualität des Radverkehrs bei Berücksichtigung dieses Kriteriums gegenüber dem Mischverkehr ohne Schutzstreifen verringert. Dieser Aspekt ist im bisherigen HBS-Verfahren nicht enthalten.
- Drittens führen Schutzstreifen zu einer vermehrten Fahrbahnnutzung bei verringerter Seitenraumnutzung. Dies wiederum bedeutet eine höhere Akzeptanz des Mischverkehrs mit Schutzstreifen.

## 10 Literatur

- [AHR08] AHRENS, G.-A., LIEßKE, F., WITTMER, R., HUBRICH, S.: Sonderauswertung zur Verkehrserhebung „Mobilität in Städten – SrV 2008“ – Städtevergleich. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr. TU Dresden, 2008
- [ANG84] ANGENENDT, W.: Führung des Radverkehrs im Innerortsbereich, Teil 3: Knotenpunkt. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Heft 96, Bergisch Gladbach 1984
- [ANG93] 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 1993
- [ALR09] ALRUTZ, D., BOHLE, W., MÜLLER, H., PRAHLOW, H.: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 184, Bergisch Gladbach 2009
- [AUR10] AURICH, A., MAIER, R., SCHÜLLER, H.: Sicherheitskonzept Dresden. Unveröffentlichter Schlussbericht. Stadt Dresden 2010
- [BAC07] BACHMANN, C.: Methoden der Verkehrssicherheitsforschung im Straßenwesen – Anwendungen und Erkenntnisse. Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau Leibniz Universität Hannover, 2007
- [BAI03] BAIER, M.: Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 108, Bergisch Gladbach 2003
- [BAI06A] BAIER, R., PETER-DOSCH C., SCHÄFER, K., SCHIFFER, D.: Umsetzung der Neuerung der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 144, Bergisch Gladbach 2006
- [BAI07A] BAIER, R., BENTHAUS, D., KLEMP, A., SCHÄFER, K., MAIER, R., ENKE, M., SCHÜLLER, H.: Potenziale zur Verringerung

- des Unfallgeschehens an Haltestellen des ÖPNV/ÖPSV. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 190, Bergisch Gladbach 2007
- [BAI07B] BAIER, R., MAIER, R., AURICH, A., KLEMPS, A.: Sicherheitsgrade von Stadtstraßen mit und ohne schienengebundenen ÖPNV. Unveröffentlichter Schlussbericht des Forschungsprojektes im Auftrag des Gesamtverbands der Versicherungswirtschaft e. V., Aachen 2007
- [BAI06B] BAIER, M.: Qualitätsstufenkonzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von vierstreifig befahrenen Hauptverkehrsstraßen. Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Nr. 48, Aachen 2006
- [BAN12] Bannock Transportation Planning Organization: Appendix C – 2011 and 2020 Bicycle Level of Service, 2012
- [BER08] BERGER, R.: Entwicklung und Überprüfung von Ansätzen für eine sicherheitstechnische Differenzierung des städtischen Verkehrsstraßennetzes. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung, Technische Universität Dresden, 2008
- [BRI03] BRILON, W., SCHNABEL, W.: Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen. Straßenverkehrstechnik, Heft 1. 2003, S. 21
- [CHA12] CHATTARAY, U.: Non-motorized vehicle characteristics and its effect on mixed traffic. Department of Civil Engineering National Institute of Technology, Rourkela 2012
- [DIE12] DIETTIKER, J., SOMMER, I., M., FROSSARD, J.-L., STEINER, R.: Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen? Forschungsauftrag SVI2004/053 auf Antrag der schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI). Winterthur/Zürich/Bern 2012.
- [DOR06] Dortmund, Stadtplanungsamt, Stadtrat Ullrich Sierau, Planungsdezernent, Amt für Statistik und Wahlen: Dortmunderinnen und Dortmunder unterwegs – Ergebnisse einer Befragung von Dortmunder Haushalten zu Mobilität und Mobilitätsverhalten, September 2005. Dortmund 2006
- [FAL03] FALKENBERG, G., BLASE, A. et al.: Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 103, Bergisch Gladbach 2003
- [FGSV97] Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – EWS. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 1997
- [FGSV01] Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln 2001
- [FGSV02] Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 2: Maßnahmen gegen Unfallhäufungen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2002
- [FGSV03] Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003
- [FGSV06A] Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen – RAS 06. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2006
- [FGSV06B] Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation: Grundlagen und Anwendung, FGSV-Verlag, 2006
- [FGSV08] Richtlinien für integrierte Netzgestaltung – RIN 08. FGSV-Verlag, Köln 2008
- [FGSV10] Empfehlungen für Radverkehrsanlagen – ERA, Ausgabe 2010. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2010
- [FGSV12A] Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen – M Uko. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2012
- [FGSV12B] Entwurf des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen 200X mit Stand 10.01.2012, Kapitel S3, S6 und S8, von der BAST. projektintern zur Verfügung gestellt, Köln 2012

- [FLE83] FLEISCHMANN, M.: Dynamischer Breitenbedarf der Radfahrer. Diplomarbeit am Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der Technischen Universität Wien, 1983
- [GOT05] GOTH, A.: Untersuchung der Verkehrsunsicherheit von Radfahrern infolge abbiegender Fahrzeuge unter besonderer Berücksichtigung des Schwerverkehrs an Knotenpunkten. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung, Technische Universität Dresden, 2005
- [HAA96] HAAG-BINGEMANN, H., HUPFER, C.: Vorher-/Nachher-Untersuchung: Suggestivstreifen für den Radverkehr. In: Internationales Verkehrswesen 48 (11), Seiten 37-44, 1996
- [HAN11] HANTSCHHEL, S., MAIER, R., NEUMANN, V.: Erarbeitung eines Sicherheitskonzeptes und Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in der Stadt Chemnitz. Unveröffentlichter Zwischenbericht. Stadt Chemnitz 2011
- [HAR97] HARKEY, D., STEWART, J.: Evaluation of Shared-Use Facilities for Bicycles and Motor Vehicles. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1578, No. -1. 1997
- [HAY71] HAYWARD, J. Ch.: Near misses as a measure of safety at urban intersections thesis. Dept. of Civil Engineering, The Pennsylvania State University, Pennsylvania 1971
- [TRB10] TRB 2010, Transportaton research board, 5<sup>th</sup> edition (2010): Highway Capacity Manual 2010. National Research Council, 2010
- [HEL10] HELMERT, C., HENNINGER K.: Das Verkehrsverhalten der Bielefelder Bevölkerung – Haushaltsbefragung 2010. Stadt Bielefeld, Amt für Verkehr. Bielefeld 2010
- [HUN04] HUNTER, W., FEAGANES, J.: Effect of Wide Curb Lane Conversions on Bicycle and Motor Vehicles Interactions. Highway Safety Research Center, University of North Carolina 2004
- [HÜL93] HÜLSEN, H.: Unfälle mit Radfahrern in Bayern. Beratungsstelle für Schadenverhütung Köln, Mitteilungen Nr. 33, Köln 1993
- [HUP00] HUPFER, C.: Einsatzbereiche von Angebotsstreifen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 74, Bergisch Gladbach 2000
- [IVA13] IVAS – Ingenieurbüro für Verkehrsanlagen und -systeme, TU Dresden, Professur für Straßenverkehrstechnik: Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen, Zwischenberichte 1 und 2, FoPS 77.0496, 2012/13
- [KOL10] KOLLMUS, B.: Auswirkungen der Reduzierung benutzungspflichtiger Radverkehrsanlagen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit an Knotenpunkten. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung, Technische Universität Dresden, 2010
- [KOR99] KORDA, C.: Quantifizierung von Kriterien für die Bewertung der Verkehrssicherheit mit Hilfe digitalisierter Videobeobachtungen. Dissertation, Fachbereich Bauingenieurwesen der Technischen Universität Darmstadt, 1999
- [LER12] LERNER, M., KRANZ, T., SCHEPERS, A.: Bewertung der Straßenverkehrsunfälle, Entwicklung der Unfallkosten in Deutschland 2005 bis 2010 – Unfallkostensätze 2010. Zeitschrift für Verkehrssicherheit – ZVS. Ausgabe 4/2012. Bonn 2012
- [MAI12A] MAIER, R., HANTSCHHEL, S.: Sicherheit von Grünpfeilen. Schlussbericht zum Forschungsprojekt im Auftrag des Gesamtverbands der Versicherungswirtschaft e. V., unveröffentlichter Entwurf, 2012
- [MAI12B] MAIER, R., SCHÜLLER, H., AURICH, A., HANTSCHHEL, S., KOLLMUS, B., KRETZSCHMAR, U., GIEHLER, R., KÄTKER, J., KLINGHAMMER, S.: Prognose für Verkehrssicherheit in Städten. Schlussbericht zum Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, unveröffentlichter Entwurf, Berlin 2012
- [NSN07] Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr – NLSV (Hrsg.): Schutzstreifen für den Radverkehr in Ortsdurchfahrten. Hannover 2007
- [OFB13] Stadt Offenburg: Integriertes Verkehrskonzept (Analyse 2006). URL: [http://www.offenburg.de/html/analyse\\_2006.html?t=1266f588bd](http://www.offenburg.de/html/analyse_2006.html?t=1266f588bd)

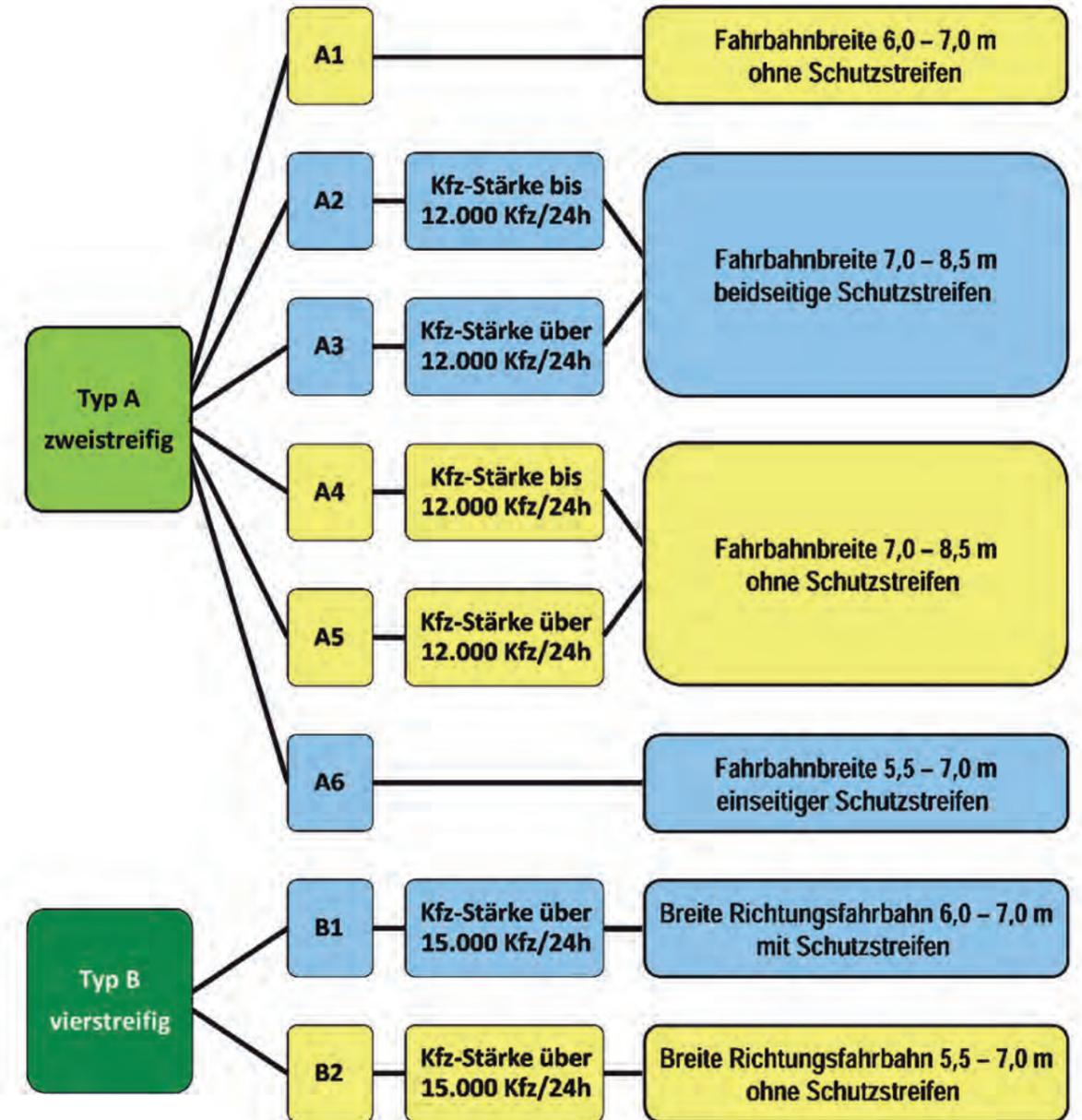
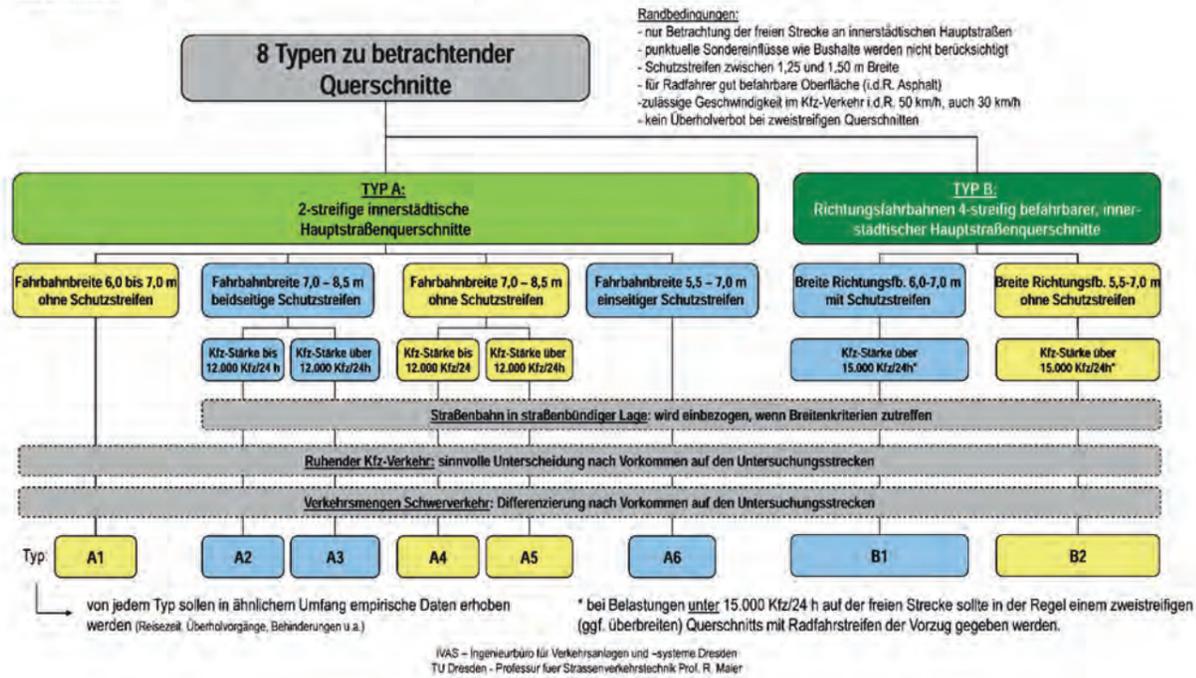
- 2bbf2621966d5c94feeabc&. Bericht von 2006. Letzter Zugriff: 19.09.2013
- [OTT06] OTTO, T.: Untersuchung der Verkehrsqualität auf Stadtstraßen: Gegenüberstellung der vorhandenen Bemessungsverfahren und ihrer Durchführbarkeit. Studienarbeit am Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung, Technische Universität Dresden, 2006
- [REI03] REICHENBACH, M., AFFOLTER, R.: Straßen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus Sicht der Zweiradfahrer. Schlussbericht des SVI-Forschungsprojekts 41/99, Solothurn 2003
- [ROB02] ROBATSCH, K., STRATIL-SAUER, G.: Mehrzweckstreifen – Radverkehrsführung auf schmalen Fahrbahnen. In: Internationales Verkehrswesen 54 (6), Seiten 277-282, 2002
- [UK09] S-Paramics Principles: Paramics Microsimulation, Edinburgh/UK, 2009
- [SCE07] SCHELL, J.: Möglichkeiten der Radverkehrsführung auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen. Masterthesis an Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, 2007
- [SCN92] SCHNÜLL, R., LANGE, J., FABIAN, I., KÖLLE, M., SCHÜTTE, F., ALRUTZ, D., FECHTEL, H. W., STELLMACHER-HEIN, J., BRÜCKNER, T., MEYHÖFER, H.: Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten. Bericht zum Forschungsprojekt 8925, Bergisch Gladbach 1992
- [SCO85] SCHOPF, J. M.: Bewegungsabläufe, Dimensionierung und Qualitätsstandards für Fußgänger, Radfahrer und Kfz-Verkehr. Dissertation an der Technischen Universität Wien, 1985
- [SCÜ10] SCHÜLLER, H.: Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung. Dissertation an der Technischen Universität Dresden, 2010
- [STVO09] Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) in der Fassung des Inkrafttretens vom 01.09.2009. Letzte Änderung durch: Sechsendvierzigste Verordnung zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften vom 5. August 2009
- [SVI99] Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten Forschungsprojekt „Optimierte Führung des Veloverkehrs an engen Straßenquerschnitten“, 1999
- [SVI12] Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten Forschungsprojekt „Mehr Sicherheit durch Kernfahrbahnen“, 2012
- [USA98] Unites States Federals Highway Administration: The Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept, Implementation Manual. 1998
- [HOR90] van der HORST, C.: A time-based analysis of road user behaviour in normal and critical encounters. TNO Institute for Perception, Soesterberg, The Netherlands, 1990
- [VOR11] VORTISCH, P.: Simulation von nicht fahrestreifengebundenem Verkehr. Beitrag zur „HEUREKA '11 – Optimierung in Verkehr und Transport“, Stuttgart 2011
- [VWV09] VwV StVO – Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung, geändert am 17.07.2009 mit Wirkung zum 01.09.2009
- [WEI97] WEIS, P.: Auswirkungen unterschiedlicher Fahrzeuggeschwindigkeiten auf die Verkehrssicherheit von Radfahrern an Vorfahrtstraßen ohne Radweg. Studienarbeit am Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der Technischen Universität Darmstadt, 1997
- [WOL06] WOLF, S.: Untersuchung der Verkehrsun-sicherheit von Radfahrern hinsichtlich Einbiegen-/Kreuzen-Unfällen an Knotenpunkten am Beispiel der Stadt Dresden. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung, Technische Universität Dresden, 2006
- [ZWB99] ZWEIBRÜCKEN, K., VON KÄNEL, T.: Kernfahrbahnen – Optimierte Führung des Veloverkehrs an engen Straßenquerschnitten. Schlussbericht des SVI-Forschungsprojekts 44/97, Brugg 1999



# Lesehilfe zum Ausklappen

## Anlage 1

FoPS 77.0496/2010/  
 „Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen“  
 Querschnittstypen  
 Stand: 19.11.2013



## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2011

#### V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM10-Belastung

Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann, Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00

#### V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit

Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

#### V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM10-Belastung

Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](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 Linkseinfädelsstreifen 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, Jährig € 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 Tausalzölösungen

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.

#### 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  
Hollдорf, 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

#### V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Messsystemen

Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50

#### V 230: Verkehrsadaptive Netzsteuerungen

Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50

#### V 231: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011

Fitschen, Nordmann € 28,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

#### V 232: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme

Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50

#### V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse

Lensing € 16,00

#### V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik

Lensing € 17,50

## 2014

V 235: **Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahr-  
bahnmarkierungen bei Nässe**  
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

V 236: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012**  
Fitschen, Nordmann € 28,50  
Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können au-  
ßerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)  
heruntergeladen werden.

V 237: **Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nach-  
weis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung  
im Rahmen der KP II – Maßnahmen**  
Bund-Länder Arbeitskreis  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden. Der Anhang ist  
interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.

V 238: **Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebs-  
dienst – Sommerdienst**  
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: **Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmar-  
kierungen**  
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

V 240: **Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und  
Einsatzgrenzen**  
Baier, Leu, Klemps-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50

V 241: **Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und  
Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme**  
Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50

V 242: **Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenin-  
dikatoren an Überquerungsstellen**  
Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock,  
Herrnsdorf, Pfeil € 20,00

V 243: **Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen  
über den gesamten Lebenszyklus**  
Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50

V 244: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013**  
Fitschen, Nordmann € 28,50

V 245: **Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunk-  
te mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs**  
Friedrich, Hoffmann, Axer, Niemeier, Tengen, Adams, Santel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 246: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in  
Einfahrten auf Autobahnen**  
Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 247: **Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw**  
Lippold, Schemmel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 248: **Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlage-  
ermittlung**  
Burg, Röhling  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

## 2015

V 249: **Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsge-  
richteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen**  
Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 250: **Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen  
mit Lang-Lkw**  
Lippold, Schemmel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 251: **Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumge-  
staltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken**  
Baier, Engelen, Klemps-Kohnen, Reinartz € 18,50

V 252: **Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprogno-  
se für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen**  
Gündra, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx,  
Peters, Reimer, Zipf € 15,00

V 253: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Sicherheit und den  
Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen**  
Baier, Kemper  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 254: **Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw**  
Wellner, Uhlig  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 255: **Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssi-  
cherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw**  
Zimmermann, Riffel, Roos  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 256: **Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagen-  
teile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Vor-  
aussetzung eines umfassenden Asset Managements**  
Zander, Birbaum, Schmidt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://  
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 257: **Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtli-  
chen Hauptverkehrsstraßen**  
Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier,  
Hantschel, Otto € 18,00

---

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7  
28195 Bremen  
Tel. (0421) 3 69 03-53  
Fax (0421) 3 69 03-48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.