

# **Quantifizierung der Sicherheitwirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 201**

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. It is positioned in the bottom right corner of the page.



# Quantifizierung der Sicherheitwirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen

von

Michael Vieten  
Richard Dohmen  
Uli Dürhager  
Katharina Legge

Ingenieurgesellschaft Stolz mbH  
Neuss

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 201

**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 beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.311/2006**  
Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen

### Projektbetreuung

Markus Lerner

### 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

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9331  
ISBN 978-3-86918-076-2

Bergisch Gladbach, Dezember 2010

## Kurzfassung – Abstract

### **Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen**

Zentrale Zielsetzung dieses Forschungsvorhabens ist die Ableitung einer Grundlage für die quantitative Abschätzung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen von Landstraßen. Hierzu wurden erreichbare Unfallraten und Unfallkostenraten von Landstraßen differenziert nach Ausbaustandard und Betriebsformen abgeleitet. Die Unfallkenngrößen wurden dabei getrennt für die drei Teilbereiche eines Landstraßenzuges (freie Streckenabschnitte, Einflussbereiche von Knotenpunkten, Knotenpunkte) ermittelt.

Während die mittlere Unfallkostenrate eines Untersuchungskollektives von Straßenabschnitten nur eine Aussage über die durchschnittlichen Unfallkosten in Bezug auf die Fahrleistung dieses Kollektives trifft, soll die Grundunfallkostenrate die bei richtliniengerechter Anlage einer Straße (Gestaltung und Betrieb) möglichen fahrleistungsabhängigen Unfallkosten widerspiegeln. Bei der Ermittlung der Grundunfallkostenraten dürfen prinzipiell nur richtliniengerecht ausgebildete Straßen Berücksichtigung finden. Aus der zugrunde liegenden Datenbasis war allerdings nicht erkennbar, ob es sich im Einzelfall um richtliniengerechte oder nicht richtliniengerechte Straßen handelt. Es war davon auszugehen, dass das Untersuchungskollektiv auch nicht richtliniengerechte Anlagen umfasst. Dabei ist zusätzlich das Maß der Abweichung von einer richtliniengerechten Straße unbekannt, sodass keine Aussage darüber getroffen werden kann, inwieweit sich der „Grad der Unsicherheit“ auch auf das Unfallgeschehen auswirkt.

Bislang existiert kein Verfahren, um aus einem inhomogenen Untersuchungskollektiv, das sowohl richtliniengerechte Straßen als auch nicht richtliniengerechte Straßen umfasst, Grundunfallkostenraten abzuleiten. Daher wurde ein Verfahren entwickelt, das durch statistische Analysen eine Abschätzung der Grundunfallkostenraten aus einem inhomogenen Untersuchungskollektiv ermöglicht.

Anhand des entwickelten Verfahrens wurden anschließend die Grundunfallkostenraten für alle im Rahmen der vorliegenden Untersuchung betrachteten Straßen (differenziert nach Querschnittstypen und Knotenpunktarten) abgeleitet.

Der Originalbericht enthält in acht Anlagen zahlreiche weitere grafische Darstellungen zur behandelten Problematik. Auf den Abdruck dieser Abbildungen zu Unfallraten, Unfallkosten und Unfallkostenraten und deren Verteilung wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Die Anlagen liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

### **Quantification of road safety effects of different construction, design and operational forms on rural roads**

The general aim of the research project is to develop a basis for quantification of road safety effects which have different forms of construction, design and operation on rural roads. Therefore accident rates and accident cost rates were determined for rural roads regarding different forms of construction and operation. These accident parameters were determined distinguishing between sections with no influence of intersections, sections near to intersections and intersections themselves.

The mean accident cost rate of a collective of sections of rural roads only represents the average accident costs related to the traffic performance of this collective. In difference to that the basic accident cost rate reflects the accident costs related to the road performance of rural roads which are designed and operated according to the current guidelines. For the determination of basic accident cost rates only rural roads which are designed and operated according to the current guidelines may be considered. However the used database contains no information about the roads, if they are built and operated according to the guidelines or not. It had to be assumed that the analyzed collective contains also rural roads being not built and operated according to the guidelines. Additionally the rate of variance is unknown, so that the effect on the road accidents of rural roads which are not built an operated according to the current guidelines is unknown.

Until now no method exists to determine basic accident cost rates on the basis of a data collective

which contains also rural roads built and operated regarding the current guidelines and rural roads which do not. Therefore a method has been developed to determine the basic accident cost rates based on an inhomogeneous sampling collective by statistic analyses.

With the help of the developed method the basic accident cost rates were determined for all rural roads analyzed in the study (distinguished in types of cross section and intersections).

The original report contains numerous additional graphics concerning the issue at hand, in eight appendixes. The reproduction of these graphics on accident rates, accident costs and accident cost rates, and the distribution thereof, was omitted in the present publication. The appendixes are available at the Federal Highway Research Institute and may be viewed there. References in the report were retained for the reader's information.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Aufgabenstellung</b> .....	7	6.2.1	Verteilung nach Unfallkategorien .....	34
<b>2</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik</b> .....	7	6.2.2	Verteilung nach Unfalltypen .....	35
2.1	Unfallgeschehen und Verkehrssicherheit auf Landstraßen .....	7	6.2.3	Mittlere Unfallraten .....	36
2.1.1	Freie Streckenabschnitte .....	7	6.2.4	Mittlere Unfallkostenraten .....	39
2.1.2	Knotenpunkte .....	10	6.3	Unfallgeschehen in Einflussbereichen der Knotenpunkte .....	41
2.1.3	Einflussbereich <sup>3</sup> von Knotenpunkten .....	14	6.3.1	Verteilung nach Unfallkategorien .....	41
2.2	Verkehrsablauf auf Landstraßen .....	15	6.3.2	Verteilung nach Unfalltypen .....	42
<b>3</b>	<b>Untersuchungsmethodik</b> .....	16	6.3.3	Mittlere Unfallraten .....	43
3.1	Methodisches Vorgehen .....	16	6.3.4	Mittlere Unfallkostenraten .....	44
3.2	Unterteilung eines Landstraßenzuges .....	17	6.4	Unfallgeschehen an Knotenpunkten .....	46
<b>4</b>	<b>Datengrundlage und Datenaufbereitung</b> .....	19	6.4.1	Vorbemerkung .....	46
4.1	Grundlagen .....	19	6.4.2	Verteilung nach Unfallkategorien .....	46
4.2	Netzdaten .....	19	6.4.3	Verteilung nach Unfalltypen .....	48
4.3	Unfalldaten .....	23	6.4.4	Mittlere Unfallraten .....	49
4.4	Zusätzliche Datenquellen .....	24	6.4.5	Mittlere Unfallkostenraten .....	50
<b>5</b>	<b>Grundlagen der Unfalldatenanalyse</b> .....	25	<b>7</b>	<b>Verfahrensentwicklung zur Bestimmung von Grundunfallkenngrößen von Landstraßen</b> .....	52
5.1	Möglichkeiten zur Beschreibung der Verkehrssicherheit .....	25	7.1	Bedeutung der Grundunfallkenngrößen .....	52
5.2	Berücksichtigung der Unfallfolgen .....	28	7.2	Vorüberlegungen zur Verfahrensentwicklung .....	53
5.3	Ermittlung von relativen Unfallkenngrößen .....	30	7.3	Verfahren zur Bestimmung von Grundunfallkenngrößen .....	54
<b>6</b>	<b>Ergebnisse der Unfalldatenauswertung</b> .....	30	7.3.1	Vorbemerkung .....	54
6.1	Vorbemerkung .....	30	7.3.2	Schätzung der Häufigkeitsverteilung der zugrunde liegenden Unfallkenngrößen .....	55
6.2	Unfallgeschehen auf freien Streckenabschnitten .....	34	7.3.3	Annäherung der Häufigkeitsverteilung der Unfallkenngrößen durch eine Normalverteilung .....	57
			7.4	Empfehlung für die Bestimmung von Grundunfallkenngrößen .....	61

8	<b>Bestimmung der Grundunfall-</b> <b>kostenraten</b> .....	61
9	<b>Zusammenfassende Schluss-</b> <b>bemerkung</b> .....	64
	<b>Literatur</b> .....	65

## 1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Ein Großteil der Straßenverkehrsunfälle ist die Folge von Fehlern der Verkehrsteilnehmer, welche aber nicht selten ihre Ursache in der baulichen oder betrieblichen Gestaltung der befahrenen Verkehrsanlage haben. Einer betrieblichen und baulichen Optimierung einer Verkehrsanlage kommt daher eine große Bedeutung zu. Aus diesem Grund werden seit Jahren örtliche Unfalluntersuchungen durchgeführt, um unfallbegünstigende Eigenschaften der Verkehrsanlage zu identifizieren und beseitigen.

Um ein hohes Verkehrssicherheitsniveau auf Straßen von Beginn an zu gewährleisten, werden in der heutigen Praxis der Straßenplanung Sicherheitsaudits durchgeführt. Ziel der Sicherheitsaudits ist die auf die Verkehrssicherheit bezogene optimale Ausschöpfung des in den gültigen Regelwerken enthaltenen Ermessungsspielraums für die verkehrssichere Gestaltung und den Betrieb von Straßen. Die aus den Sicherheitsaudits resultierenden Änderungen – wenn diese mit höheren Bau- und Betriebskosten verbunden sind – sind mitunter jedoch nur schwer durchzusetzen. Dies liegt insbesondere darin begründet, dass eine quantitative Abschätzung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen derzeit nur bedingt möglich ist, sodass eine Gegenüberstellung verschiedener Maßnahmen mit den jeweiligen Kosten meist nicht erfolgen kann.

Zur Beurteilung der Verkehrssicherheit unterschiedlicher Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen von Landstraßen ist eine genaue Kenntnis des Unfallgeschehens auf diesen Straßen notwendig. Mittels dieser Kenntnis kann dann auch in jedem Einzelfall geprüft werden, ob die bestehende Straße oder die vorliegende Planung ein hohes Maß an Verkehrssicherheit für die Verkehrsteilnehmer gewährleistet oder ob Sicherheitsmängel vorliegen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollte daher die Grundlage für eine quantitative Abschätzung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen von Landstraßen erarbeitet werden. Hierzu sollen erreichbare Unfallraten und Unfallkostenraten, differenziert nach Ausbaustandard, Betriebsformen und unter Berücksichtigung kleinräumiger Gestaltungsvarianten, abgeleitet werden. Diese differenzierten Refe-

renzwerte liegen trotz einer Vielzahl von Untersuchungen zum Unfallgeschehen auf Landstraßen bislang nicht vor.

## 2 Stand der Wissenschaft und Technik

### 2.1 Unfallgeschehen und Verkehrssicherheit auf Landstraßen

#### 2.1.1 Freie Streckenabschnitte

In der Vergangenheit wurde eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt, die sich mit dem Unfallgeschehen auf Außerortsstraßen befassen. Die Charakteristik der Unfälle auf Außerortsstraßen lässt eine Unterteilung sinnvoll erscheinen. So wird im Folgenden das Unfallgeschehen auf Außerortsstraßen getrennt nach freien Streckenabschnitten, Knotenpunkten (siehe Kapitel 2.1.2) und Einflussbereichen von Knotenpunkten (siehe Kapitel 2.1.3) betrachtet.

Die umfangreichste Arbeit zur Bestimmung des Verkehrssicherheitsniveaus von Außerortsstrecken wurde dabei von (BRANNOLTE et al., 1993) durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden bundesweit Abschnitte von Außerortsstrecken mit verschiedenen Querschnitten bezüglich des Unfallgeschehens untersucht. Anhand der Auswertung von polizeilichen Verkehrsunfallanzeigen wurden Unfallkennzahlen ermittelt. Insgesamt wurden hierzu rd. 1.380 km Streckenlänge und 17.800 Unfälle ausgewertet.

Insgesamt ergeben sich aus der Untersuchung für die Querschnittstypen<sup>1</sup> deutliche Unterschiede im Unfallgeschehen. Die insgesamt günstigsten Werte für alle ermittelten Unfallkenngrößen weist Querschnittstyp b2+1 auf. Die drei Querschnittstypen b2ü, b2s und b2 weisen eng beieinanderliegende Unfallraten und Unfallkostenraten auf, die allerdings merklich über dem Wert des Querschnittstyps b2+1 liegen. Die Unfallrate und Unfallkostenrate des Typs c2 liegen wiederum geringfügig über diesen Werten. Ein deutlicher Sprung der Unfallkostenraten ergibt sich für die Querschnitte d2 und e2.

<sup>1</sup> Die Untersuchung von (BRANNOLTE et al., 1993) benutzt für die Bezeichnung der Querschnittstypen die Bezeichnungen der RAS-Q 1982 (FGSV, 1982).

Hier liegen die Werte um das 2,5- bis 3fache über dem Wert des Querschnittstyps b2+1. Detaillierte Ergebnisse der Untersuchung von (BRANNOLTE et al., 1993) enthält Anlage 1.

Zusätzlich zur Ermittlung der Unfallkennzahlen wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, um eine Bewertung der Verkehrssicherheit in Abhängigkeit von der Querschnittsgestaltung zu ermitteln. Dazu wurden die Unfallraten der einzelnen Querschnittstypen mit Verkehrsbelastungen in Zusammenhang gebracht. Bei der Auswertung des Zusammenhangs zwischen Unfallraten und DTV ließ sich in der Untersuchung von (BRANNOLTE et al., 1993) im statistischen Sinn kein funktioneller Zusammenhang zwischen Unfallraten und Höhe des DTV feststellen.

Neben dem Zusammenhang zwischen Unfällen und Verkehrsbelastungen wurde ebenso das Unfallgeschehen auf den einzelnen Querschnittstypen in Abhängigkeit von Licht, Witterung und Straßenzustand untersucht. Hierbei konnte allerdings nur bei den Unfällen in der Dämmerung und Dunkelheit eine Unterscheidung nach Querschnittstypen festgestellt werden. Dabei macht sich bei den Unfällen in der Dämmerung und Dunkelheit allem Anschein nach die Straßenbreite bemerkbar, indem mit abnehmender Fahrbahnbreite der prozentuale Anteil der Unfälle, die sich in der Dämmerung und Dunkelheit ereignen, steigt.

Die Untersuchung (BRANNOLTE et al., 1993) bestätigt die bis dahin gewonnene Erkenntnis aus vorherigen Untersuchungen von (KREBS et al., 1977; EUTZBACH et al., 1988 und DOHMEN et al., 1989), dass die Unfallraten bei Berücksichtigung aller Unfälle mit zunehmender Fahrbahnbreite kontinuierlich abnehmen.

Diese Ergebnisse werden zusätzlich durch eine Untersuchung von (SCHMIDT, 1996) in ihrer Tendenz bestätigt. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden für die Querschnittstypen<sup>2</sup> b2, c2, d2 und e2 bei insgesamt 69 Untersuchungsstrecken für den Zeitraum 1988 bis 1990 rd. 3.600 Unfälle ausgewertet. Dabei wurden diese Unfalldaten ebenso wie Ge-

schwindigkeits- und Zeitlückendaten in Abhängigkeit von den qualitativen und quantitativen Streckenmerkmalen Linienführung, Längsneigung, Fahrbahnbreite sowie Verkehrsbelastung betrachtet. Insgesamt konnte dabei die bereits bestehende Erkenntnis, dass mit abnehmender Streckenqualität die Unfallraten und die Unfallkostenraten ansteigen, die Geschwindigkeiten dagegen zurückgehen, bestätigt werden. Bei detaillierter Betrachtung der Querschnittstypen hingegen konnte festgestellt werden, dass die Querschnittstypen b2 und d2 die geringsten Unfallraten aufweisen, die geringsten Unfallkostenraten jedoch für die Querschnittstypen c2 und e2 ermittelt wurden.

Als Ergebnis seiner Untersuchung hält (SCHMIDT, 1996) fest, dass Streckenabschnitte mit einem hohen Ausbaustandard generell geringere Unfallzahlen aufweisen, obwohl in der Praxis hier die höchsten Geschwindigkeiten beobachtet wurden. Das heißt, dass eine Verbesserung der Streckenqualität durch Verbreiterung der Fahrbahn und/oder eine Verbesserung der Linienführung zwar eine Erhöhung der Geschwindigkeit bewirkt, aber nicht gleichzeitig eine Erhöhung der Unfallzahlen mit sich bringt.

Um diese gewonnenen Erkenntnisse zu vertiefen, wurde eine Untersuchung von (PALM et al., 1999) zu der Auswirkung unterschiedlicher Querschnittsbreiten zweistreifiger Straßen auf die Verkehrssicherheit durchgeführt. Im Zuge der Untersuchung wurden insgesamt 115 Strecken mit einer Gesamtlänge von knapp über 760 km bezüglich des Unfallgeschehens im Zeitraum 1988 bis 1995 untersucht. Dabei konnten insgesamt 6.583 Unfälle mit Personenschaden oder schwerem Sachschaden ausgewertet werden.

Die Anteile der Unfälle der Kategorie 1 bis 4 weisen für die vier untersuchten Querschnittstypen<sup>3</sup> ein einheitliches Bild auf. Unterschiede im Unfallgeschehen der Querschnittstypen ergeben sich bei der differenzierten Betrachtung der Unfalltypen. Auffällig ist insbesondere der zunehmende Anteil der Fahrnfallfälle (Unfalltyp 1) bei schmaler werdendem Querschnitt. So steigt hier der Anteil von rd. 25 % beim Querschnittstyp b2 auf 40 % beim Querschnittstyp e2. Hauptunfallursache bei einem Unfall vom Typ 1 ist meist eine den Streckengegebenheiten nicht angepasste Geschwindigkeit, so lässt sich bei diesem Unfalltyp auf eine steigende Unsicherheit bei schmaler werdenden Querschnitten schließen. Eine gegenläufige Entwicklung ist bei

<sup>2</sup> Die Untersuchung von (SCHMIDT, 1996) benutzt für die Bezeichnung der Querschnittstypen die Bezeichnungen der RAS-Q 1982 (FGSV, 1982).

<sup>3</sup> Die Untersuchung von (PALM et al., 1999) benutzt für die Bezeichnung der Querschnittstypen die Bezeichnungen der RAS-Q 1982 (FGSV, 1982).

den Unfällen im Längsverkehr (Unfalltyp 6) zu erkennen. Hier nimmt die Anzahl der Unfälle mit schmaler werdendem Querschnitt ab. Da Unfälle im Längsverkehr im Wesentlichen durch die vorhandenen Verkehrsmengen beeinflusst werden, wird von (PALM et al., 1999) vermutet, dass aufgrund der geringeren Verkehrsmengen auf Straßen mit geringerer Breite auch die Anzahl der Unfälle im Längsverkehr zwangsläufig abnehmen muss.

Um neben dem Risiko des Eintritts eines Unfalls auch noch die Unfallfolgen zu bewerten, wurde ebenso die (angepasste) Unfallkostenrate ermittelt. Während der Unterschied bei den Unfallraten zwischen den Querschnittstypen b2 und c2 noch sehr gering war, fällt der Unterschied zwischen diesen beiden Typen bei den Werten der Unfallkostenrate deutlich größer aus. So liegt der Wert der Unfallkostenraten für den Querschnittstyp b2 um 50 % über dem des Typs c2. Weiterhin auffällig ist der nunmehr nur noch geringfügige Unterschied zwischen den Querschnittstypen b2 und e2. Den mit Abstand größten Wert der Unfallkostenrate weist nunmehr der Querschnittstyp d2 auf.

Zusätzlich zu den Merkmalen „Querschnittstyp“ und „Fahrbahnbreite“ wurde im Rahmen der Untersuchung von (PALM et al., 1999) auch der Einfluss der Verkehrsstärke auf die Unfallsituation betrachtet. Dabei wurde festgestellt, dass die Verkehrsstärke (DTV) einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Unfallsituation und Verkehrssicherheit einzelner Strecken hat. Daher wurden für eine detaillierte Betrachtung der Querschnitte Verkehrsstärkeklassen gebildet.

Für den Querschnittstyp b2 liegt die mittlere Unfallrate der Strecken mit einer DTV-Belastung zwischen 5.000 und 10.000 Kfz/24h um etwa ein Drittel über der mittleren Unfallrate der Strecken mit einer Belastung von weniger als 5.000 Kfz/24h. Die höchste Unfallkostenrate bei diesem Querschnittstyp liegt bei Strecken mit einer DTV-Belastung zwischen 5.000 und 10.000 Kfz/24h. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den Strecken vom Querschnittstyp c2. Auch hier nehmen die Unfallrate und die Unfallkostenrate mit zunehmender Verkehrsstärke ab.

Bei den Strecken der Querschnittstypen d2 und e2 ergibt sich ein gegenläufiges Bild. Hier weisen alle drei Unfallkenngrößen die größten Werte für die Strecken mit Verkehrsstärken < 5.000 Kfz/24h auf.

Neben dem Querschnittstyp und der Verkehrsbelastung wurden im Rahmen der Untersuchung von

(PALM et al., 1999) weitere Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit von Außerortsstraßen untersucht. Bei diesen Einflussgrößen handelte es sich um die Linienführung, die Längsneigung, die Fahrbahndecke, das Vorhandensein eines Radwegs, die Geschwindigkeit und Überholverbote. Mit Hilfe einer Kovarianzanalyse, die die Wirkung einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable (hier Unfallrate oder Unfallkostenrate) untersucht, wurde der signifikante Einfluss der verschiedenen Merkmale auf die Verkehrssicherheit betrachtet. Dabei konnten insgesamt nur die Einflussgrößen „Querschnittstyp“ und „Verkehrsstärke“ als signifikant für das Unfallgeschehen nachgewiesen werden.

Weitergehende Modellrechnungen ergaben dabei, dass die Verkehrsstärke (DTV) bei Betrachtung nur einzelner Querschnittstypen keinen signifikanten Einfluss hat. Die Streuung der Verkehrsstärken im Verhältnis zu der Anzahl der Untersuchungsstrecken ist zu groß. Insgesamt zeigt sich, dass der Querschnittstyp – wie erwartet – den weitaus größten Einfluss auf die Verkehrssicherheit zweistreifiger Landstraßen hat.

Zusätzlich zeigte sich im Rahmen der Untersuchung von (PALM et al., 1999), dass Überholunfälle eine größere Unfallschwere aufweisen und somit zu einer höheren Unfallkostenrate führen. Da die Verkehrssicherheit in engem Zusammenhang mit den Überholmöglichkeiten auf einer Außerortsstraße steht, wie dies auch der Vergleich von zweibahnigen und einbahnigen Außerortsstraßen zeigt, bietet insbesondere der b2+1-Querschnitt eine Möglichkeit zur Steigerung der Verkehrssicherheit bei gleichzeitiger Minimierung der Bau- und Betriebskosten. Daher wurde im Anschluss der Untersuchung der Verkehrssicherheit einbahniger Außerortsstraßen eine Sonderuntersuchung zum Querschnittstyp b2+1 von (PALM et al., 1999) durchgeführt. Insgesamt wurden im Rahmen der Untersuchung 14 Untersuchungsstrecken mit einer Gesamtlänge von fast 80 km betrachtet. Dabei wurden 489 Unfälle mit Personenschaden oder schwerem Sachschaden im Zeitraum von 1993 bis 1996 analysiert.

Auf den Streckenabschnitten vom Querschnittstyp b2+1 liegen die Unfallrate und die Unfallkostenrate deutlich niedriger als auf den Strecken vom Querschnittstyp b2. Ein Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke und der Unfallrate konnte für den b2+1-Querschnitt nicht festgestellt werden.

Detaillierte Ergebnisdarstellungen der Untersuchung von (PALM et al., 1999) sind in der Anlage 2 zusammengestellt.

Insgesamt erwies sich der Querschnittstyp b2+1 als sicherer im Vergleich zu Streckenabschnitten vom Querschnittstyp b2. Zu ähnlichen Erkenntnissen kommt eine Untersuchung von (WEBER et al., 2003), die sich mit der Verkehrssicherheit und dem Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken befasst. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden 7 Strecken vom Querschnittstyp b2+1 mit einer Gesamtlänge von rd. 59 km untersucht. Dabei wurden im Untersuchungszeitraum 1999 bis 2001 insgesamt 311 Unfälle im Bereich der freien Strecken zwischen den Knotenpunkten analysiert. Insgesamt machten auf den Untersuchungsstrecken Unfälle vom Typ „Fahrerunfall“ und vom Typ „Unfall im Längsverkehr“ mit knapp zwei Drittel den größten Anteil an den gesamten Unfällen aus.

Im Vergleich zur Verkehrssicherheit einbahniger Außerortsstraßen weisen die untersuchten Streckenabschnitte mit dem Querschnittstyp b2+1 ein überdurchschnittlich hohes Sicherheitsniveau auf. So weisen die Unfallraten für den Querschnittstyp b2+1 bei ausschließlicher Berücksichtigung von Unfällen mit Personenschaden einen Wert von 0,11 auf. Dieser Wert liegt um rd. ein Drittel unter der Unfallrate, die in der Untersuchung für den Querschnittstyp b2+1 von (PALM et al., 1999) ermittelt wurde. Ein direkter Vergleich der Unfallkostenraten ist aufgrund der unterschiedlichen Preisstände der angesetzten Unfallkostensätze in beiden Untersuchungen jedoch nicht möglich.

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den bisherigen Untersuchungen zum Unfallgeschehen auf den freien Streckenabschnitten von Außerortsstraßen zusammenfassen:

- Der Querschnitt und die Fahrbahnbreite haben den größten Einfluss auf das Unfallgeschehen.
- Die Verkehrsbelastung hat einen geringen Einfluss auf die Unfallrate, wenn man die Gesamtheit des Unfallgeschehens betrachtet. In Verbindung mit dem Querschnitt ist der Einfluss der Verkehrsbelastung allerdings nicht eindeutig quantifizierbar.
- Ein signifikanter Einfluss anderer Merkmale der Gestaltung und des Betriebs auf das Unfallgeschehen an Landstraßen konnte bislang nicht ermittelt werden. Im Einzelfall können diese al-

erdings das Unfallgeschehen wesentlich beeinflussen.

- Aus Sicht der Verkehrssicherheit stellen sich der zweibahnig vierstreifige und der einbahnig dreistreifige Querschnitt als günstigste Querschnittstypen dar.
- Bei dem einbahnig zweistreifigen Querschnitt ist mit Zunahme der Fahrbahnbreite eine Verbesserung der Verkehrssicherheit festzustellen.

### 2.1.2 Knotenpunkte

Landstraßenzüge setzen sich zusammen aus freien Streckenabschnitten und Knotenpunkten. Daher wird im Folgenden ein Überblick über den derzeitigen Erkenntnisstand zur Verkehrssicherheit von Knotenpunkten an Außerortsstraßen gegeben.

Die erste umfassende Untersuchung, die sich mit dem Vergleich der Verkehrssicherheit von plangleichen und teilplangleichen Knotenpunkten von Außerortsstraßen befasst, ist die Arbeit von (STURM, 1989), der auf der Grundlage der zwischen 1984 und 1986 polizeilich erfassten Verkehrsunfälle insgesamt 42 plangleiche Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen und 24 teilplangleiche Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlagen hinsichtlich des Unfallgeschehens untersuchte. Abgesehen von der Verkehrsstärke wird das Unfallgeschehen an plangleichen Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage maßgeblich von der Art der signaltechnischen Führung der Linksabbiegerströme beeinflusst.

Bei einem Vergleich des Unfallgeschehens für plangleiche Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen fällt auf, dass die Werte für die Unfallrate sich auf einem vergleichbaren Niveau bewegen. Erwartungsgemäß liegt die Unfallrate für plangleiche Knotenpunkte mit Linksabbiegerschutz in Haupt- und Nebenrichtung am niedrigsten, während plangleiche Knotenpunkte ohne Linksabbiegerschutz die höchsten Werte für die Unfallrate aufweisen. Der Unterschied im Verkehrssicherheitsniveau bei plangleichen Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage wird noch deutlicher, wenn man die Unfallkostenrate betrachtet. Hier liegen die Werte für die Knotenpunkte ohne Linksabbiegerschutz um das 1,7fache über denen der Knotenpunkte mit Linksabbiegerschutz in Haupt- und Nebenrichtung.

Das Verkehrssicherheitsniveau der teilplangleichen Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage gemessen

an der Unfallkostenrate befindet sich in der Größenordnung des mittleren Verkehrssicherheitsniveaus über alle plangleichen Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage, unabhängig von ihrem signaltechnischen Schutz der Linksabbieger. Zwar weisen teilplangleiche Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage bei der mittleren Unfallschwere ähnlich hohe Werte auf wie plangleiche Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage, ohne Linksabbiegerschutz liegen die Unfallraten für diese Knotenpunktart allerdings in der Größenordnung der niedrigsten Unfallrate für plangleiche Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage. Insgesamt zeigt die Untersuchung, dass Knotenpunkte hinsichtlich ihrer Verkehrssicherheit dann günstig bewertet werden können, wenn die Abbiegerströme signaltechnisch gesichert geführt werden.

Um den Einfluss der Verkehrsstärke auf das Unfallgeschehen zu bestimmen, wurde von (STURM, 1989) die Abhängigkeit der einzelnen Unfallkennzahlen von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) überprüft. Dabei erwies sich die Unfallkostenrate der plangleichen Kreuzungen mit Lichtsignalanlage als von der Verkehrsstärke unabhängig. Bei den teilplanfreien Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage konnte hingegen ein linearer Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke und der Unfallkostenrate festgestellt werden, bei der mit steigender Verkehrsstärke eine sinkende Unfallkostenrate zu verzeichnen war. Zusätzlich konnte nachgewiesen werden, dass neben der Verkehrsstärke ebenso der Anteil der Verkehrsbelastung auf dem Rampenquerschnitt einen direkten Einfluss auf das Unfallgeschehen hat. Dabei steigt die Unfallkostenrate mit steigendem Anteil der Verkehrsbelastung des Rampenquerschnitts an der Gesamtbelastung des Knotenpunktes.

Eine vergleichbare Untersuchung des Unfallgeschehens für teilplangleiche Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage und plangleiche Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage wurde fast zeitgleich von (RICHTER, 1993) durchgeführt. Hierzu wurden entsprechende Knotenpunkte im Zuge von 8 ausgewählten Ortsumgehungen im Betrachtungszeitraum 1986 bis 1990 hinsichtlich des Unfallgeschehens betrachtet. Auch im Rahmen dieser Untersuchungen werden beim Vergleich der Unfallkennwerte einige Unterschiede zwischen den Knotenpunktarten deutlich. Die ermittelte Unfallrate der plangleichen Knotenpunkte mit LSA liegt um fast 50 % höher als diejenige der teilplangleichen Knotenpunkte ohne LSA. Werden hingegen die betrieblichen Maßnahmen an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage

(Nachtabschaltung, Sicherung der Linksabbieger) mit berücksichtigt, so erreicht die mittlere Unfallrate für die plangleichen Knotenpunkte mit LSA ein ähnliches Niveau wie die Unfallrate für die teilplangleichen Knotenpunkte ohne LSA. Die von (RICHTER, 1993) ermittelten Unfallraten liegen damit um über ein Drittel niedriger als die von (STURM, 1989) ermittelten Unfallraten.

Bei den Unfallkostenraten werden ebenfalls deutliche Differenzen zwischen den beiden Knotenpunktarten erkennbar. Hier spiegelt sich die höhere Unfallrate für die plangleichen Knotenpunkte mit LSA gegenüber den teilplangleichen Knotenpunkten ohne LSA wider. Entsprechend weisen die plangleichen Knotenpunkte mit LSA die höchsten mittleren Unfallkostenraten auf, während die mittleren Unfallkostenraten für die teilplangleichen Knotenpunkte ohne LSA rd. 40 % geringer liegen. Berücksichtigt man wiederum nur die plangleichen Knotenpunkte mit LSA, die eine signaltechnisch gesicherte Führung der Linksabbieger aufweisen und bei denen keine Nachtschaltung vorhanden ist, so liegt das Niveau der Unfallkostenrate für die plangleichen Knotenpunkte mit LSA wiederum auf Höhe der Unfallkostenraten der teilplanfreien Knotenpunkte ohne LSA.

Für die teilplangleichen Knotenpunkte ohne LSA wurden die Unfallkennwerte zusätzlich in Abhängigkeit zur gesamten Knotenpunktbelastung, den einzelnen Knotenstrombelastungen und der Geschwindigkeit im Knotenpunkt betrachtet. Für die Abhängigkeit der Unfallkostenrate von der Gesamtbelastung des Knotenpunktes ist dabei nur ein leicht sinkender Trend für die Unfallkostenraten bei abnehmender Knotenpunktbelastung festzustellen, wobei die Werte jedoch sehr stark streuen. Deutlicher ist dabei der Zusammenhang einzelner Knotenstrombelastungen mit den Unfallkostenraten für den gesamten Knotenpunkt. Die Unfallkostenrate für den gesamten Knotenpunkt sinkt deutlich mit abnehmenden Knotenströmen. Dieser Zusammenhang gilt insbesondere für die besonders gefährdeten Linksabbieger und Linkseinbieger. Dabei sind insgesamt aber immer noch sehr große Streuungen festzustellen.

Deutlich stärker wird der Zusammenhang zwischen der Unfallkostenrate und der Gesamtknotenpunktbelastung, wenn man den Anteil der Linkseinbiegerströme und Linksabbiegerströme an der Gesamtknotenbelastung betrachtet. Damit bestätigt die Untersuchung den schon von (STURM, 1989)

erkannten Zusammenhang zwischen dem Anteil der ab- und einbiegenden Kraftfahrzeuge an der Gesamtverkehrsbelastung im Knotenpunkt und der Unfallkostenrate für den Knotenpunkt.

Bei der Betrachtung der Zusammenhänge zwischen der Geschwindigkeit im Knotenpunkt und der Unfallkostenrate für den Knotenpunkt zeigt sich, dass bei höheren Geschwindigkeiten im Schnitt geringere Unfallkostenraten zu verzeichnen sind. Dabei streuen die Werte für die untersuchten Knotenpunkte so stark, dass diese Aussage nicht als gesichert angesehen werden kann.

Neben den plangleichen Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage und den teilplangleichen Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage wurde Anfang der 1990er Jahre auch eine Untersuchung des Unfallgeschehens von außerörtlichen, plangleichen Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage von (SCHNÜLL et al., 1994) durchgeführt. Im Rahmen dieser Unfalluntersuchung wurden die Verkehrsunfallanzeigen im Zeitraum von 1988 bis 1992 für 15 plangleiche Knotenpunkte ohne LSA und 12 plangleiche Knotenpunkte ohne LSA mit Rechtsversatz ausgewertet.

Der Vergleich der Unfallkennwerte für diese beiden Knotenpunktarten zeigte einige Unterschiede auf. Die Unfallrate der Kreuzungen liegt auf einem ähnlich hohen Niveau der Unfallraten der Knotenpunkte mit Rechtsversatz. Im Gegensatz dazu ist die Unfallkostenrate bei den Kreuzungen mehr als doppelt so hoch wie bei den Knotenpunkten mit Rechtsversatz. Die Ursache hierfür wird in der Unfalltypenverteilung vermutet, da bei den Kreuzungen die Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle dominieren, die i.d.R. sehr schwere Unfallfolgen verursachen. Dieser Unfalltyp dominiert bei den Kreuzungen mit einem Anteil von über 70 % an der Gesamtzahl der Unfälle eindeutig das Unfallgeschehen. Bei den Knotenpunkten mit Rechtsversatz fällt dieser Anteil deutlich geringer aus, da bei dieser Knotenpunktart keine Kreuzungsvorgänge stattfinden.

Bei den Knotenpunkten mit Rechtsversatz liegen dahingegen die Anteile der Unfalltypen „Fahrunfälle“, „Unfälle im Längsverkehr“ und „Abbiegen“ deutlich höher als bei den Kreuzungen. Dies hat zur Folge, dass für die Knotenpunkte mit Rechtsversatz knapp 80 % aller Unfälle als Unfallfolge lediglich Sachschaden zu verzeichnen hatten. Bei den Kreuzungen liegt hingegen der Anteil der Unfälle, die als Unfallfolge einen Personenschaden zu verzeichnen hatten, bei knapp über 40 %. Dies spiegelt sich bei

der mittleren Unfallschwere wider. So liegt die mittlere Unfallschwere der Kreuzungen nahezu doppelt so hoch wie bei den Knotenpunkten mit Rechtsversatz.

Seit Ende der 1980er Jahre kommen außerorts auch vermehrt Kreisverkehre als Knotenpunktform zum Einsatz. Daher wurde von (RICHTER, 1996) das Unfallgeschehen an 7 kleinen Kreisverkehren betrachtet. Hierzu wurden die polizeilich erfassten Unfälle im Zeitraum 1990 bis 1994 ausgewertet. Dabei konnte für die untersuchten Kreisverkehrsplätze eine mittlere Unfallrate ermittelt werden, die im Vergleich zu anderen Knotenpunktarten den geringsten Wert aufweist. Die mittlere Unfallkostenrate der untersuchten Kreisverkehre liegt sogar deutlich unter den entsprechenden Werten der anderen Knotenpunktarten außerhalb bebauter Gebiete. Während die Unfallhäufigkeit von Kreisverkehrsplätzen außerorts somit ungefähr auf dem gleichen Niveau von anderen Knotenpunktarten liegt, haben Kreisverkehre jedoch erhebliche Vorteile hinsichtlich der Unfallschwere, die bei den Kreisverkehren deutlich niedriger ist als bei den übrigen Knotenpunktarten.

Die Verkehrsuntersuchungen zu Sicherheitseigenschaften außerörtlicher Knotenpunkte werden Ende der 1990er Jahre durch eine Untersuchung von planfreien Knotenpunkten an zweistreifigen Landstraßen abgeschlossen (KÖLLE et al., 1999). Im Zuge der Unfalluntersuchung wurden für 25 planfreie Knotenpunkte die polizeilichen Verkehrsunfallanzeigen für den Zeitraum 1990 bis 1994 für unterschiedlich lange Untersuchungszeiträume ausgewertet. Für die planfreien Knotenpunkte ergab sich dabei eine mittlere Unfallrate, die in etwa dem Niveau der plangleichen Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage und der teilplanfreien Knotenpunkte entspricht. Die relativ geringe mittlere Unfallschwere der Unfälle in planfreien Knotenpunkten führt dazu, dass die Unfallkostenrate bei dieser Knotenpunktart im Vergleich mit den plangleichen bzw. den teilplanfreien Knotenpunkten trotz relativ hoher Unfallrate im Verhältnis niedrig ausfällt.

Die Zusammenstellung der genannten Untersuchungen und deren Ergebnisse lässt folgende Rangreihung von Knotenpunktarten hinsichtlich ihres Verkehrssicherheitsniveaus (von sicher bis unsicher) zu:

- (1) kleine Kreisverkehre,
- (2) planfreie Knotenpunkte (halbe Kleeblätter),

- (3) plangleiche Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen und Linksabbiegerschutz,
- (4) plangleiche Knotenpunkte mit Rechtsversatz ohne Lichtsignalanlagen,
- (5) teilplanfreie Knotenpunkte,
- (6) plangleiche Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage,
- (7) plangleiche Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage, aber ohne Linksabbiegerschutz.

In Anlage 3 sind die wesentlichen Unfallkenngrößen der Knotenpunkte aus den o. g. Untersuchungen zusammengestellt.

Da die vorgenannten Untersuchungen allerdings nicht auf einer einheitlichen Basis und mit einer durchgängigen Methodik zur Berechnung der Unfallkostenraten durchgeführt wurden, ist keine widerspruchsfreie vergleichende Beurteilung bezüglich des Sicherheitsniveaus unterschiedlicher Knotenpunktarten möglich. Daher wurde eine vergleichende Untersuchung von unterschiedlichen Knotenpunktarten auf einer einheitlichen Basis und durchgängig widerspruchsfreien Methodik von (ECKSTEIN et al., 2002) durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden insgesamt 74 Knotenpunkte im Zuge von anbaufreien einbahnigen zweistreifigen Außerortsstraßen untersucht. Hierzu wurden über einen Zeitraum von mindestens 3 und maximal 5 Kalenderjahren sämtliche der Polizei zur Kenntnis gelangten Verkehrsunfälle ausgewertet. Der Betrachtungszeitraum reicht dabei vom 01.01.1989 bis zum 31.12.1995. Insgesamt wurden 10 Knotenpunktarten unterschieden.

Die Bewertung der Unfälle wurde einheitlich nach dem Preisstand von 1995 durchgeführt und nach Abschluss der Untersuchung wurden die Ergebnisse auch auf den Preisstand 2000 umgerechnet. Für die Unfälle mit Sachschaden wurden einheitlich über den gesamten Betrachtungszeitraum konstante Werte angenommen.

Unabhängig vom zugrunde gelegten Preisstand ergeben sich folgende generelle Erkenntnisse:

- Das Verkehrssicherheitsniveau der unterschiedlichen Knotenpunktarten unterscheidet sich erheblich voneinander.
- Zusätzlich zur Knotenpunktgrundform hat die Verkehrsregelung einen entscheidenden Einfluss auf die Verkehrssicherheit.

- Die sichersten Kreuzungsformen stellen die kleinen Kreisverkehre und die planfreien Knotenpunkte dar.
- Die Verkehrssicherheit an Knotenpunkten wird durch Lichtsignalanlagen gegenüber Knotenpunkten mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen nur erhöht, wenn die Linksabbieger signaltechnisch sicher geführt werden.
- Eine ortsfeste Überwachung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h in der übergeordneten Straße führt zu einer spürbaren Erhöhung des Verkehrssicherheitsniveaus.

Da aus vorherigen Untersuchungen bekannt war, dass die Unfallkenngrößen in einem Zusammenhang mit der Verkehrsstärke bzw. mit Abbiegeranteilen an den Knotenpunkten stehen und vermutlich eine Abhängigkeit zwischen den Unfallkenngrößen und der Geschwindigkeit im Knotenpunktbereich besteht, wurden auch diese Interdependenzen im Rahmen der Untersuchung von (ECKSTEIN et al., 2002) betrachtet. Dabei konnte kein Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke und den Unfallkenngrößen der Knotenpunktarten festgestellt werden. Es zeigte sich lediglich, dass die mittleren Verkehrsstärken an den Knotenpunktarten umso höher sind, je aufwändiger die Regelungsform (zwei- bzw. mehrphasige Signalsteuerung) oder die Ausbauform ist. Allerdings konnten auch für alle Knotenpunktarten (mit Ausnahme der Kreuzungen mit mehr als dreiphasiger Steuerung) Untersuchungsbeispiele gefunden werden, bei denen die Verkehrsstärke unter 1.000 Kfz/24h lag. Daraus lässt sich schließen, dass die Ausbildung der Knotenpunktart nicht zwangsläufig von der Verkehrsstärke abhängt.

Da für die mittleren Verkehrsstärken einer Knotenpunktart im Vergleich mit anderen Knotenpunktarten und den Unfallkenngrößen kein Zusammenhang festgestellt werden konnte, wurde zusätzlich der Einfluss der Verkehrsstärke auf die Unfallkostenraten innerhalb der einzelnen Untersuchungskollektive der jeweiligen Knotenpunktarten untersucht. Allerdings konnte auch hier kein aussagekräftiger Zusammenhang zwischen Unfallkostenrate und Verkehrsstärke festgestellt werden. Festgestellt werden konnte nur, dass bei den hohen mittleren Unfallkostenraten die Spannweite der Verkehrsstärken an den jeweiligen Knotenpunkten deutlich größer ist als an den Knotenpunkten mit geringerer mittlerer Unfallkostenrate. Zusammenfassend wurde festgehalten, dass die Verkehrsstärke

ke keinen nachweisbaren Einfluss auf den Sicherheitsgrad von Knotenpunkten hat. Entscheidend sind vielmehr die Ausbauf orm und die Verkehrsregelung. Im Zuge dieser Untersuchung wurde allerdings nicht der Zusammenhang zwischen den Abbiegeranteilen an der Gesamtverkehrsstärke im Knotenpunkt und den Unfallkenngrößen betrachtet. Daher kann der von (STURM, 1989) und (RICHTER, 1993) festgestellte Zusammenhang zwischen dem Anteil der Abbiegerströme an der gesamten Knotenpunktbelastung und den Unfallkostenraten nicht auf alle Knotenpunktarten erweitert werden.

Neben der Verkehrsstärke wurde ebenso der Einfluss der Geschwindigkeit im Knotenpunktbereich auf die Unfallkenngrößen betrachtet. Dazu wurden an 36 Knotenpunkten die Geschwindigkeiten von unbeeinflusst fahrenden Kraftfahrzeugen im Zuge der Hauptrichtung in den Knotenpunkt gemessen. Dabei konnte kein genereller Zusammenhang zwischen den Unfallkenngrößen und der 85%-Geschwindigkeiten im Knotenpunktbereich für die Hauptrichtungen festgestellt werden.

Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchung von (ECKSTEIN et al., 2002) sind in Anlage 4 zusammengefasst.

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den bisherigen Untersuchungen zum Unfallgeschehen an den Knotenpunkten von Außerortsstraßen zusammenfassen:

- Die Knotenpunktgrundform und die Regelungsart haben den größten Einfluss auf das Unfallgeschehen.
- Ein Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallgeschehen konnte nicht festgestellt werden.
- Die Geschwindigkeit im Knotenpunktbereich hat keinen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen.

### 2.1.3 Einflussbereiche von Knotenpunkten

Die bisherigen Ausführungen zur Unfallsituation auf außerörtlichen Straßen lassen erkennen, dass sowohl die Querschnittsgestaltung als auch die Ausbildung der Knotenpunkte wichtige Einflussgrößen für die Verkehrssicherheit eines Straßenzuges sind. Für beide Bereiche existieren verschiedene Untersuchungen zum Unfallgeschehen. Da allerdings Streckenabschnitte und Knotenpunkte erst zusam-

mengenommen ein Verkehrsnetz darstellen, liegt die Vermutung nahe, dass sich beide Netzelemente bezüglich des Unfallgeschehens gegenseitig beeinflussen könnten. Hierzu werden im Folgenden nochmals die schon in Kapitel 2.1.1 und 2.1.2 erwähnten Untersuchungen zum Unfallgeschehen auf außerörtlichen Straßen und an außerörtlichen Knotenpunkten herangezogen.

In der für die EWS (FGSV, 1997) grundlegende Bedeutung habenden Untersuchung zur Verkehrssicherheitsbewertung von Querschnitten außerörtlicher Straßen von (BRANNOLTE et al., 1993) wird der Zusammenhang zwischen dem Unfallgeschehen an Knotenpunkten und dem Unfallgeschehen auf den freien Streckenabschnitten im Zuge der Netzabschnitte nur bedingt betrachtet. Begründet liegt dies in der Tatsache, dass im Rahmen der Untersuchung Angaben über das Ausmaß und die Zusammensetzung der abbiegenden bzw. kreuzenden Verkehre im Zuge der Untersuchungsstrecken nicht vorlagen. Daher konnte das Unfallgeschehen an Knotenpunkten nicht hinreichend genau eingeschätzt werden.

Auch die übrigen in Kapitel 2.1.1 erwähnten Arbeiten zur Verkehrssicherheit der knotenpunktfreien Streckenabschnitte an Außerortsstraßen befassen sich ebenso wie die Untersuchung von (BRANNOLTE et al., 1993) nur am Rande mit dem Unfallgeschehen an Knotenpunkten, sodass aus diesen Arbeiten keine Erkenntnisse zum Einfluss der Knotenpunkte auf die freien Streckenabschnitte oder umgekehrt ermittelt werden können.

Im Gegensatz dazu haben sich die Untersuchungen, die sich mit dem Unfallgeschehen an außerörtlichen Knotenpunkten befassen, i.d.R. auch detailliert mit der Wechselwirkung auf die benachbarten Streckenabschnitte befasst.

So kommt (RICHTER, 1993) in seiner Arbeit zu dem Schluss, dass eine sektorale Betrachtung von Knotenpunkten und knotenpunktfreien Streckenabschnitten nur bedingt brauchbare Ergebnisse liefert. Dabei wurden der Knotenpunkt und die angrenzenden Streckenabschnitte als Gesamtsystem betrachtet. Dieses Gesamtsystem bestand dabei aus dem Knotenpunkt selbst und je 1.000 m knotenpunktfreier Streckenabschnitte auf der übergeordneten Straße vor und hinter dem Knotenpunkt. Wird dieses Gesamtsystem betrachtet, so ist auffällig, dass das Unfallgeschehen für dieses Gesamtsystem vom Unfallgeschehen im Knotenpunkt dominiert wird. Eine Quantifizierung der Wechselwirkung zwischen

Knotenpunkt und anschließenden Streckenabschnitten wird allerdings nicht durchgeführt.

In der Arbeit von (SCHNÜLL et al. 1994) zum Sicherheitsvergleich der Knotenpunktgrundform Kreuzung und Rechtsversatz an außerörtlichen Straßen wird ebenfalls die Knotenpunktzufahrt zu Vergleichszwecken der beiden Knotenpunktgrundformen mit dem Knotenpunkt selbst für die Betrachtung des Unfallgeschehens als Gesamtsystem aufgefasst. Allerdings wurde auch hierbei das Unfallgeschehen nur in der Gesamtheit betrachtet und nicht die Wechselwirkung zwischen freiem Streckenabschnitt und Knotenpunkt.

Die erste Untersuchung, die sich umfassend mit der Wechselwirkung zwischen Knotenpunkten und unmittelbar angrenzenden Streckenabschnitten befasst hat, wurde von (ECKSTEIN et al., 2002) erstellt. Untersucht wurde im Rahmen dieser Arbeit, ob es einen wesentlichen Einfluss des Knotenpunktes auf das Unfallgeschehen der angrenzenden Streckenabschnitte gibt und wie groß die räumliche Ausdehnung dieses Einflusses ist. Um diesen Einfluss quantifizieren zu können, wurde das Unfallgeschehen auf den Zufahrten zu den Knotenpunkten betrachtet. Hierzu wurden sowohl die Unfallkostenrate als auch die Unfallrate bestimmt. Dabei wurde jeweils die unmittelbare Knotenpunktzufahrt auf einer Streckenlänge von 1.000 m betrachtet und diese Kenngrößen in Abständen zum Knotenpunkt bestimmt.

Eine Betrachtung der Gesamtheit aller Knotenpunkte zeigt einen erkennbaren Einfluss der Knotenpunkte auf die Verkehrssicherheit der angrenzenden Streckenabschnitte auf. Die Betrachtung aller auswertbaren Zufahrten zeigt, dass sich die Knotenpunkte bis zu einem Abstand von rd. 500 m auf die Streckenunfallkenngrößen auswirken. Für größere Abstände zum Knotenpunkt sind keine Änderungen der Unfallkostenrate mehr zu erkennen. Auffällig ist allerdings, dass der Knotenpunktabstand keinerlei Einfluss auf die Unfallrate auf den Streckenabschnitten hat. Dies bedeutet, dass ein Knotenpunkt nicht das Unfallrisiko generell auf den unmittelbar angrenzenden Streckenabschnitten verringert, sondern dass bis zu einem Abstand von 500 m die Unfallschwere auf den Knotenpunktzufahrten deutlich geringer ist als auf den knotenpunktfernen Streckenabschnitten.

Der Einfluss, den die Knotenpunkte auf die angrenzenden Streckenabschnitte haben, ist im Mittel positiv zu bewerten, und zwar ausschließlich durch

eine Abnahme der Unfallschwere. Im Mittel aller Knotenpunktzufahrten verringert sich die mittlere Unfallschwere auf den ersten 500 m der Knotenpunktzufahrt um etwas mehr als 30 % gegenüber der Unfallschwere der angrenzenden von Knotenpunkten unbeeinflussten Strecke.

Zusätzlich zur Gesamtheit aller Knotenpunktzufahrten wurden die Zufahrten ebenso getrennt nach der Zufahrtsregelung betrachtet. Insgesamt lassen sich aus dieser detaillierten Betrachtung die folgenden Erkenntnisse ableiten:

- Mit Ausnahme der wartepflichtigen Knotenpunktzufahrten lässt sich ein positiver Einfluss des Knotenpunktes auf das Unfallgeschehen auf den angrenzenden Streckenabschnitten bei jeder Art der Zufahrtsregelung feststellen.
- Die Einflusslänge  $L$  ist abhängig von der Zufahrtsregelung, sie liegt im Bereich zwischen 300 und 700 m.
- Das Maß der Abminderung der Unfallkostenraten liegt für die einzelnen Zufahrten deutlich höher als im Mittel aller Knotenpunktzufahrten. Dieser Unterschied folgt daher, dass die unterschiedlichen Einflusslängen  $L$  die bei den einzelnen Regelungsarten größeren Rückgänge der Unfallkostenrate teilweise nivellieren.
- In Knotenpunktzufahrten mit ortsfester Geschwindigkeitsüberwachung (OGÜ) ist neben einer Abnahme der Unfallschwere auch eine Abnahme der Unfallrate festzustellen.
- Bei den wartepflichtigen Zufahrten deutet sich ein leicht negativer Einfluss des Knotenpunktes auf die Zufahrt an; da die ausgewerteten Unfallzahlen bei wartepflichtigen Zufahrten allerdings sehr gering sind, kann dieser Zusammenhang nicht als statistisch sicher angesehen werden.

Zusätzlich zu den untersuchten Knotenpunktzufahrten wurden weitere Knotenpunktzufahrten, deren auswertbare Länge jedoch kleiner als 1 km war, untersucht. Auch dieses zweite Kollektiv von Zufahrten bestätigt die Befunde aus der Analyse des ersten Kollektivs.

## 2.2 Verkehrsablauf auf Landstraßen

Die aktuellste und umfassendste Untersuchung zum Verkehrsablauf auf Landstraßen stammt von (STEINAUER et al., 2008). Im Rahmen dieser Un-

tersuchung wurden umfangreiche empirische Untersuchungen des Verkehrsablaufes auf insgesamt 11 ausgewählten Landstraßenzügen sowie mikroskopische Verkehrsflusssimulationen durchgeführt. Ziel der Untersuchung war die Entwicklung eines Verfahrensansatzes zum Nachweis der Verkehrsqualität von Landstraßenzügen.

Der wesentliche Aspekt dieser Arbeit für die vorliegende Untersuchung war die Untersuchung des Einflusses der Knotenpunkte auf den Verkehrsablauf auf den Streckenabschnitten, die an die Knotenpunkte angrenzen. Es wurden anhand von Differenzgeschwindigkeitganglinien Einflussbereiche von Knotenpunkten ermittelt, die die längenbezogene verkehrliche Auswirkung auf die angrenzenden Streckenabschnitte vor und nach dem Knotenpunkt beschreiben. Dabei wurde zur Ermittlung der Einflussbereiche nach Knotenpunktarten unterschieden.

In Abhängigkeit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf den anschließenden freien Streckenabschnitten ergeben sich die in Tabelle 1 und Tabelle

2 zusammengefassten mittleren Längen der Einflussbereiche vor und nach Knotenpunkten.

Aus den Messergebnissen werden Standardeinflussbereiche von 400 m vor und nach Knotenpunkten bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf den freien Streckenabschnitten und 300 m vor und nach Knotenpunkten bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h auf den freien Streckenabschnitten abgeleitet.

Die Untersuchung von (STEINAUER et al., 2008) zeigt auf, dass ebenso wie beim Unfallgeschehen Unterschiede im Verkehrsablauf zwischen den knotenpunktfreien Streckenabschnitten und den Streckenabschnitten im unmittelbaren Einflussbereich von Knoten existieren. Daher ist eine Unterteilung der Landstraßenzüge in Knotenpunkte, Einflussbereiche von Knotenpunkten und knotenpunktfreie Streckenabschnitte sowohl aus Gründen der Verkehrssicherheit als auch aus Gründen des Verkehrsablaufes erforderlich (vgl. Kapitel 3.2).

Knotenpunktart	V <sub>zul</sub> freie Strecke	Anzahl Messfahrten	mittlerer Einflussbereich
Kreuzung mit LSA	100 km/h	557	419 m
Einmündung mit LSA	100 km/h	348	387 m
	70 km/h	-	-
Kreisverkehr	100 km/h	252	377 m
	70 km/h	145	317 m
Einmündung (untergeordnete Ströme)	100 km/h	146	353 m

Tab. 1: Mittlere Länge gemessener Einflussbereiche vor Knotenpunkten (nach (STEINAUER et al., 2008))

Knotenpunktart	V <sub>zul</sub> freie Strecke	Anzahl Messfahrten	mittlerer Einflussbereich
Kreuzung mit LSA	100 km/h	557	420 m
Einmündung mit LSA	100 km/h	279	383 m
	70 km/h	79	279 m
Kreisverkehr	100 km/h	337	453 m
	70 km/h	174	321 m
Einmündung (untergeordnete Ströme)	100 km/h	94	458 m

Tab. 2: Mittlere Länge gemessener Einflussbereiche nach Knotenpunkten (nach (STEINAUER et al., 2008))

## 3 Untersuchungsmethodik

### 3.1 Methodisches Vorgehen

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Grundlage für eine quantitative Abschätzung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen von Landstraßen zu erarbeiten. Hierzu sollten die bei richtliniengerechter Gestaltung erreichbaren Unfallraten und Unfallkostenraten, differenziert nach Ausbaustandard, Betriebsformen und unter Berücksichtigung kleinräumiger Gestaltungsvarianten abgeleitet werden.

Eine Vielzahl von Untersuchungen hat sich in der Vergangenheit mit der Analyse des Unfallgeschehens an Landstraßen befasst (vgl. Kapitel 2.1). Alle diese Untersuchungen haben sich – bedingt durch ihre jeweilige Aufgabenstellung – auf ein im Umfang begrenztes Untersuchungskollektiv gestützt. Daher sollte die vorliegende Untersuchung auf einer möglichst großen Datengrundlage basieren.

Um an ein möglichst großes Untersuchungskollektiv zu gelangen, wurde auf die Straßeninformationsbanken und die Unfalldatenbanken der Bundesländer zurückgegriffen. Hierzu wurden die Straßeninformationsbanken von Bayern, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz durch die jeweiligen Bundesländer freundlicherwei-

se zur Verfügung gestellt (siehe Kapitel 4.1). Da die Straßeninformationsbanken einerseits eine Vielzahl von Informationen enthalten, die zum Teil für die Untersuchung nicht relevant sind, und andererseits die Informationen in mehreren Datenbanktabellen sortiert vorliegen, war zunächst eine umfangreiche Aufbereitung der Datengrundlage erforderlich (siehe Kapitel 4.2). Gleiches gilt für die Unfalldatenbanken. Hier wurden von den Bundesländern – ebenso wie bei den Netzdaten – die Informationen in einem unterschiedlichen Umfang übermittelt (siehe Kapitel 4.3). Abschließend wurden die Daten auf Plausibilität geprüft.

Aufbauend auf der aufbereiteten Datengrundlage wurden die Möglichkeiten zur Analyse der Unfalldaten im Sinne der Zielsetzung diskutiert. Demnach konnten die vorliegenden Unfalldaten nach Unfallkategorie, Unfalltyp und Unfallart ausgewertet werden (siehe Kapitel 5.1). Zur Berücksichtigung der Unfallfolgen kamen sowohl pauschale Kostensätze sowie auch über den Unfalltyp angepasste Kostensätze zur Anwendung (siehe Kapitel 5.2). Als beschreibende Unfallkenngrößen für die unterschiedlichen Verkehrsanlagen wurden Unfallraten und Unfallkostenraten berechnet.

Die Unfalldaten wurden zusammenfassend und getrennt für die drei Bereiche eines Landstraßenzuges – freier Streckenabschnitt, Einflussbereich des Knotenpunktes, Knotenpunkt – hinsichtlich der Verteilung, der Unfallschwere, des Unfalltyps und der Unfallart ausgewertet. Darüber hinaus wurden die Unfallraten und die Unfallkostenraten nach verschiedenen Gestaltungsformen und Betriebsarten vertiefend betrachtet (siehe Kapitel 6).

Während die mittleren Unfallkostenraten eines Untersuchungskollektives von Straßenabschnitten nur eine Aussage über die durchschnittlichen Unfallkosten in Bezug auf die Unfälle dieses Kollektives treffen, sollen Grundunfallkostenraten die bei richtliniengerechter Anlage einer Straße (Gestaltung und Betrieb) möglichen fahrleistungsabhängigen Unfallkosten widerspiegeln. Bei der Ermittlung der Grundunfallkostenraten dürfen prinzipiell nur richtliniengerecht ausgebildete Straßen Berücksichtigung finden. Aus der zugrunde liegenden Datenbasis ist allerdings nicht erkennbar, ob es sich im Einzelfall um richtliniengerechte oder nicht richtliniengerechte Anlagen handelt. Es ist davon auszugehen, dass das Untersuchungskollektiv auch nicht richtliniengerechte Anlagen umfasst. Dabei ist zusätzlich das Maß der Abweichung von einer richtli-

niengerechten Straße unbekannt, sodass keine Aussage darüber getroffen werden kann, inwieweit sich der „Grad der Unsicherheit“ auch auf das Unfallgeschehen auswirkt.

Bislang existiert kein Verfahren, um aus einem inhomogenen Untersuchungskollektiv Grundunfallkostenraten abzuleiten, das sowohl richtliniengerechte als auch nicht richtliniengerechte Straßen umfasst. Daher wurde zunächst auf Grundlage einer Auswahl an unterschiedlichen Verkehrsanlagen ein mögliches Verfahren entwickelt, das eine Abschätzung der Grundunfallkostenraten aus einem inhomogenen Untersuchungskollektiv ermöglicht (siehe Kapitel 7).

Anhand des entwickelten Verfahrens wurden anschließend die Grundunfallkostenraten für alle im Rahmen der vorliegenden Untersuchung betrachteten Straßen abgeleitet (siehe Kapitel 8).

### 3.2 Unterteilung eines Landstraßenzuges

Das Unfallgeschehen und der Verkehrsablauf an Landstraßen unterscheiden sich in den Teilbereichen deutlich voneinander (siehe Kapitel 2), daher wurden die Teilbereiche in der vorliegenden Untersuchung auch getrennt voneinander behandelt. Die Unterteilung erfolgte dabei in die drei Teilbereiche (vgl. Bild 1)

- freier Streckenabschnitt,
- Einflussbereich eines Knotenpunktes und

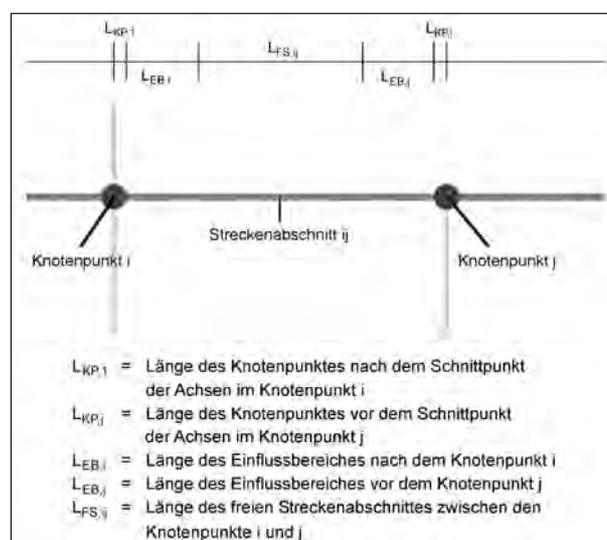


Bild 1: Prinzipdarstellung der Unterteilung eines Landstraßenzuges in die drei Teilbereiche

- Knotenpunkt.

Der Knotenpunkt wurde auf einen Bereich von 50 m um den Schnittpunkt der beiden im Knotenpunkt zusammentreffenden Straßenachsen definiert. Der Knotenpunkt hat damit eine betrachtete Längenausdehnung von  $L_{KP,i} = 50$  m in jede Richtung  $i$  der anschließenden Strecken. In der durchgehenden Richtung hat der Knotenpunkt somit eine räumliche Ausdehnung von 100 m. D. h., alle Unfälle, die sich im Umkreis von 50 m des Schnittpunktes der Straßenachsen ereigneten, wurden dem Knotenpunkt zugeordnet (vgl. auch Kapitel 5.3).

Sowohl die Untersuchung von (ECKSTEIN et al., 2002) zum Unfallgeschehen an Landstraßen als auch die Untersuchung von (STEINAUER et al., 2008) zum Verkehrsablauf auf Landstraßen kommen zu dem Ergebnis, dass die Knotenpunkte im Wesentlichen bis zu einem Abstand von bis zu 500 m das Unfallgeschehen bzw. den Verkehrsablauf auf dem an den Knotenpunkt anschließenden Streckenabschnitt beeinflussen. Der Einflussbereich der Knotenpunkte wird somit auf einen Abstand von 500 m vom Schnittpunkt der Straßenachsen festgelegt. Der betrachtete Einflussbereich erstreckt sich damit auf eine Länge von:

$$L_{EB,i} = 500 - L_{KP,i} = 500 - 50 = 450 \quad (\text{Gl. 1})$$

mit:

$L_{EB,i}$ : Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunktes  $i$  auf die angrenzende Strecke [m]

$L_{KP,i}$ : Länge der Ausdehnung des Knotenpunktes  $i$  in Richtung der angrenzenden Strecke [m]

Nach (ECKSTEIN et al. 2002) gibt es 3 Möglichkeiten, wie Knotenpunkte die Unfallkosten der angren-

zenden Streckenabschnitte beeinflussen (siehe auch Bild 2):

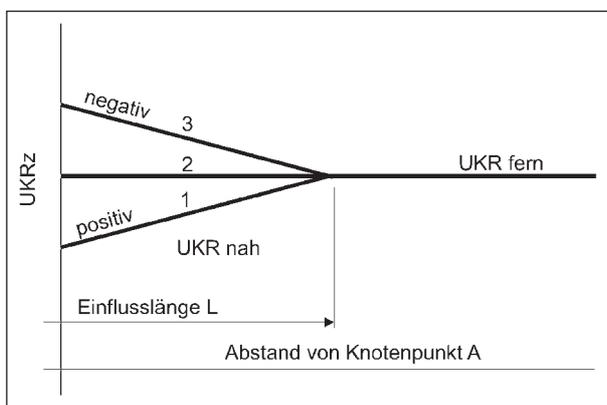
- (1) Der Knotenpunkt hat einen positiven Einfluss ( $- \Delta UKRz$ ) auf den angrenzenden Einflussbereich.
- (2) Der Knotenpunkt hat keinen Einfluss auf die Unfallkostenrate der angrenzenden Strecke.
- (3) Der Knotenpunkt hat einen negativen Einfluss ( $+ \Delta UKRz$ ) auf den angrenzenden Einflussbereich.

Demnach sinkt der Einfluss des Knotenpunktes, wenn dieser vorhanden ist (Fall 1 oder 3), mit Abstand zum Knotenpunkt.

Nach (ECKSTEIN et al., 2002) beträgt die Länge  $L$  des Einflussbereiches in Abhängigkeit von der Knotenpunktart zwischen 0 m und 700 m (Abstand vom Mittelpunkt des Knotenpunktes). In der vorliegenden Untersuchung wurde die Länge des Einflussbereiches einheitlich auf 450 m festgelegt, da nicht für alle untersuchten Streckenabschnitte die angrenzende Knotenpunktart bekannt ist. Dies bedeutet, dass der Einflussbereich zwischen 50 m und 500 m vom Mittelpunkt des Knotenpunktes entfernt liegt.

In der Untersuchung nach (ECKSTEIN et al., 2002) wird lediglich für die bevorrechtigte Knotenpunktzufahrt ohne ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung ein längerer Einflussbereich als 500 m festgestellt (700 m). Bei den übrigen Knotenpunktzufahrten liegt die Länge des Einflussbereiches bei maximal 500 m. Daher wurde in der vorliegenden Untersuchung nur der Einflussbereich der bevorrechtigten Knotenpunktzufahrten ohne ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung zu kurz gewählt. Allerdings ist der Anteil des Einflusses bei diesen Knotenpunktzufahrten im Bereich zwischen 500 m und 700 m am gesamten Einfluss gering. In der Untersuchung von (STEINAUER et al., 2008) konnte in keiner Knotenpunktzufahrt ein Einfluss des Knotenpunktes auf den Verkehrsablauf in einem Abstand von über 500 m zum Knotenpunkt festgestellt werden. Es erscheint daher zulässig, den maximalen Einflussbereich eines Knotenpunktes auf 500 m zu begrenzen.

Die Länge des freien Streckenabschnittes zwischen zwei Knotenpunkten ergibt sich aus dem Knotenpunktabstand abzüglich der Längen der Knotenpunktausdehnung und den Längen der



**Bild 2:** Grundsätzliche Möglichkeiten des Einflusses von Knotenpunkten auf die Verkehrssicherheit der Knotenpunktzufahrt (nach (ECKSTEIN et al., 2002))

überlagernden Einflussbereiche. Aus (Gl. 1) folgt die Länge eines freien Streckenabschnittes zwischen zwei Knotenpunkten zu:

$$\begin{aligned} L_{FS,ij} &= L_{ij} - L_{KP,i} - L_{EB,i} - L_{EB,j} - L_{KP,j} \\ &= L_{ij} - 50 - 450 - 450 - 50 \\ &= L_{ij} - 1.000 \end{aligned} \quad (\text{Gl. 2})$$

mit:

$L_{FS,ij}$ : Länge des freien Streckenabschnittes zwischen den Knotenpunkten i und j [m]

$L_{ij}$ : Abstand zwischen den Achsen der Knotenpunkte i und j [m]

$L_{KP,i}$ : Länge der Knotenpunktausdehnung des Knotenpunktes i in Richtung der angrenzenden Strecke [m]

$L_{EB,i}$ : Länge des Einflussbereichs des Knotenpunktes i auf die angrenzende Strecke ij [m]

$L_{EB,j}$ : Länge des Einflussbereichs des Knotenpunktes j auf die angrenzende Strecke ij [m]

$L_{KP,j}$ : Länge der Knotenpunktausdehnung des Knotenpunktes j in Richtung der angrenzenden Strecke [m]

Eine Unterschätzung der Länge des Einflussbereiches führt dazu, dass ein Teil des Einflusses des Knotenpunktes auf die Strecke dem freien Streckenabschnitt zugerechnet wird. Eine Überschätzung der Länge hingegen hat keine nachteilige Auswirkung auf die Höhe des Einflusses auf den angrenzenden Streckenabschnitt. Ein entsprechender Nachweis hierfür findet sich in Anlage 5. Für eine einheitliche Berechnung wurde der Einflussbereich daher für alle Knotenpunktarten auf den Bereich zwischen 50 und 500 m vom Achsenschnittpunkt festgelegt.

## 4 Datengrundlage und Datenaufbereitung

### 4.1 Grundlagen

Die der vorliegenden Untersuchung zugrunde liegenden Daten stammen aus den Straßeninformationssystemen (SiB) der Bundesländer. Zu Untersuchungsbeginn wurde eine Recherche bei den Bundesländern durchgeführt, ob eine entsprechende

Datenbank bei den Bundesländern vorhanden ist und inwieweit die notwendigen Informationen zur Durchführung der vorliegenden Untersuchung in den Datenbanken enthalten sind.

Insgesamt konnten von vier Bundesländern die notwendigen Daten in Form von Datenbanktabellen zur Verfügung gestellt werden. Dabei handelt es sich um die Bundesländer Bayern, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Allerdings wurden die Datensätze in unterschiedlichen Umfängen übermittelt.

Die zur Verfügung gestellten Daten wurden mit Hilfe der Programme Access 2007 und Excel 2007 aufbereitet. Neben einer Plausibilitätskontrolle der Datensätze wurden die je nach Bundesland unterschiedlichen Daten in ein einheitliches Format über- und anschließend zusammengeführt.

Der Umfang und Inhalt der Datensätze werden getrennt nach Netzdaten (siehe Kapitel 4.2) und Unfalldaten (siehe Kapitel 4.3) nachfolgend erläutert.

### 4.2 Netzdaten

Die Daten des Straßennetzes standen für das Jahr 2007 bzw. 2008 – Zeitpunkt der Übermittlung der Daten durch die Bundesländer – zur Verfügung. Die Datensätze selbst werden bei den Bundesländern nicht historisiert gespeichert, sondern im Regelfall nur fortgeschrieben. Daten für die Jahre 2002 bis 2006 standen somit nicht zur Verfügung. Für die vorliegende Untersuchung wurde angenommen, dass die zur Verfügung stehenden Netzdaten auch für den Untersuchungszeitraum Gültigkeit besaßen.

Die Straßennetze werden auf Grundlage der Anweisung Straßeninformationssystem (ASB) – Teilsystem: Netzdaten (BMVBW, 1998) systematisiert. Dabei wird das Straßennetz in Netzknoten und Abschnitte bzw. Äste unterteilt. In Bild 3 ist beispielhaft das systematisierte Straßennetz des Bundeslandes Brandenburg dargestellt. In Bild 4 ist ein Ausschnitt aus dem systematisierten Straßennetz des Landes Nordrhein-Westfalen dargestellt.

In der Systematik nach ASB werden die Abschnitte zwischen zwei Netzknoten nicht unterteilt, wenn auf ihnen ein Wechsel der Ortslage stattfindet. Daher wurden die vorliegenden Abschnitte zunächst in Teilabschnitte untergliedert, die entweder nur innerorts oder nur außerorts liegen.

Die vier zur Verfügung stehenden Netze weisen nach der Unterteilung in Teilabschnitte insgesamt 53.926 Abschnitte bzw. Äste mit einer Gesamtlänge von 47.959 km auf. Die Verteilung der Abschnitte und der Länge auf die Straßenklassen und die Ortslage ist Tabelle 3 zu entnehmen.



**Bild 3:** Nach ASB systematisiertes Straßennetz des Landes Brandenburg

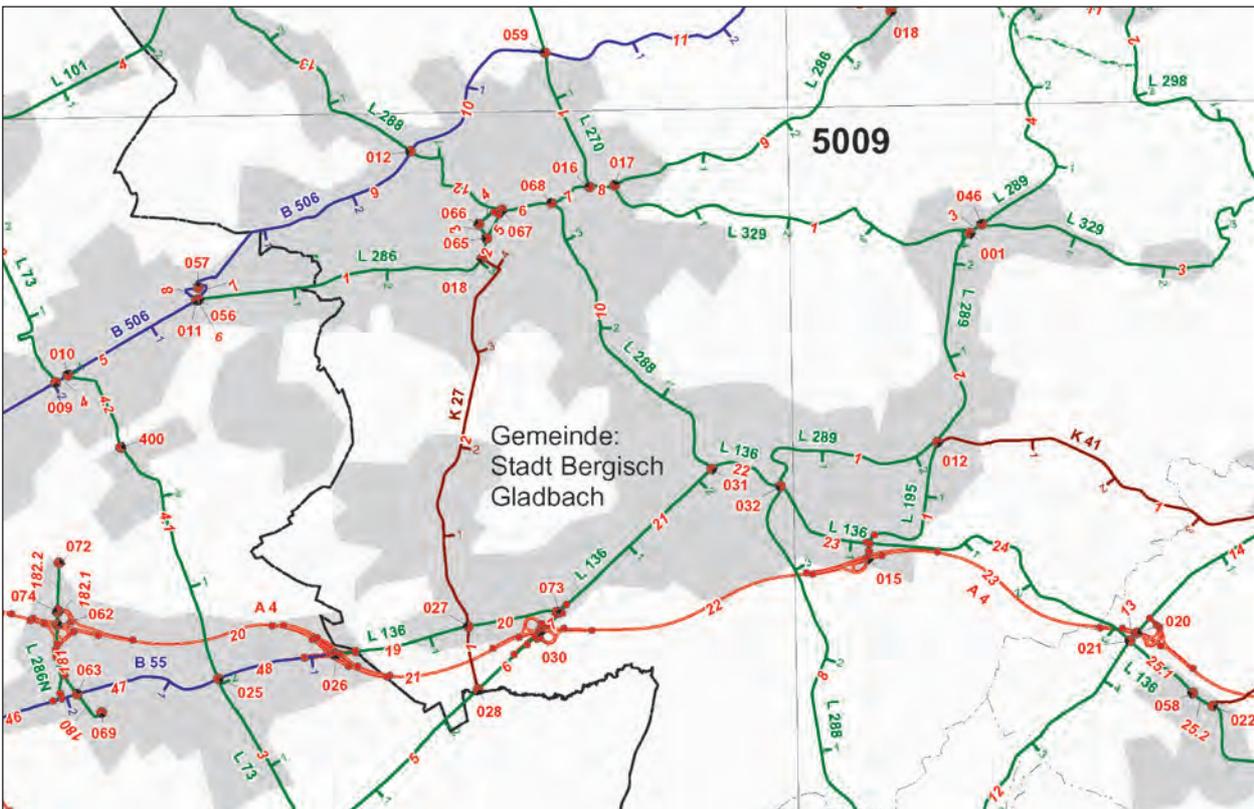
Aus den Straßennetzdaten wurden zunächst alle Äste (Rampen in Knotenpunkten) entfernt, da für diese keine Informationen zu den Verkehrsmengen vorlagen. Ferner wurden aufgrund der Aufgabenstellung der vorliegenden Untersuchung alle Innerortsabschnitte entfernt.

Zusätzlich mussten Abschnitte, die durch sog. „fiktive“ Netzknoten getrennt sind, zusammengeführt werden. Fiktive Netzknoten werden in den Netzdaten dann eingeführt, wenn z. B. eine Bauamtsgrenze oder eine Kreisgrenze auf dem betreffenden Abschnitt liegt. In Bild 5 ist die Definition der Netzknoten nach ASB dargestellt.

Außerdem stellte sich die Frage nach einer Mindestlänge der untersuchten Streckenabschnitte

Datumumfang	Bundesstraßen	Landesstraßen	Kreisstraßen
Anzahl außerorts	17.045	16.439	5.033
Länge außerorts	15.673 km	19.478 km	5.679 km
Anzahl innerorts	4.416	6.563	4.430
Länge innerorts	2.204 km	3.160 km	1.765 km

**Tab. 3:** Datumumfang der Netzdaten differenziert nach Straßenklassen und Ortslage



**Bild 4:** Ausschnitt des systematisierten Straßennetzes des Landes Nordrhein-Westfalen

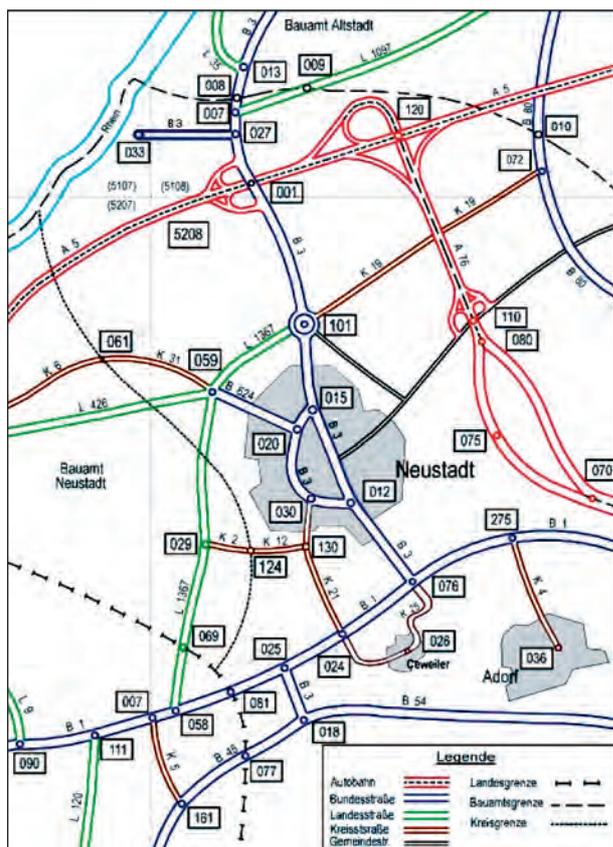


Bild 5: Definition der Netzknoten nach ASB (BMVBS, 2007)

zwischen den Knotenpunkten. Einerseits sollten die Abschnitte zwischen zwei Knotenpunkten so lang sein, dass sich die Einflussbereiche der Knotenpunkte nicht überschneiden. Andererseits sollte die zwischen den Einflussbereichen liegende freie Strecke mindestens so lang sein wie die Einflussbereiche (einschließlich der Knotenpunktbereiche). Daraus ergab sich eine Mindestlänge der für die Untersuchung infrage kommenden Teilabschnitte von 1.500 m (3 x 500 m).

Die Festlegung auf eine Mindestlänge von 500 m der freien Streckenabschnitte hat auch hinsichtlich der Ermittlung der Unfallkenngrößen eine Bedeutung. In die Ermittlung der Unfallraten und der Unfallkostenraten geht die Abschnittslänge mit ihrem Kehrwert in die Berechnung ein. Daraus folgt, dass sehr kurze Abschnitte überproportional hohe Raten aufweisen können (vgl. Bild 6).

Damit ergibt sich ein Untersuchungskollektiv von 9.155 Untersuchungsabschnitten mit einer Gesamtlänge von 25.939 km. Davon entfallen 9.155 km auf die Einflussbereiche der Knotenpunkte (einschließlich der Knotenpunktbereiche) und 16.784 km auf die freien Streckenabschnitte. Diesen Abschnitten wurden die Streckeninformationen

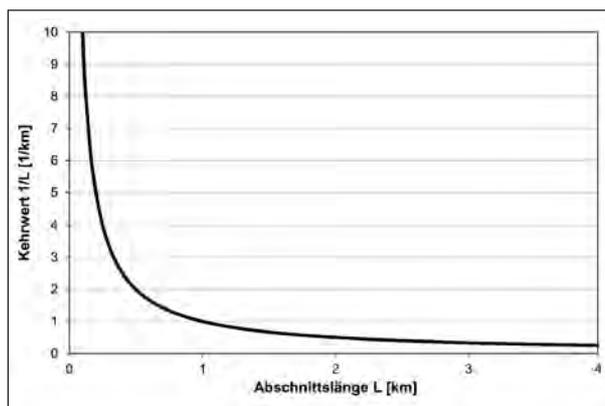


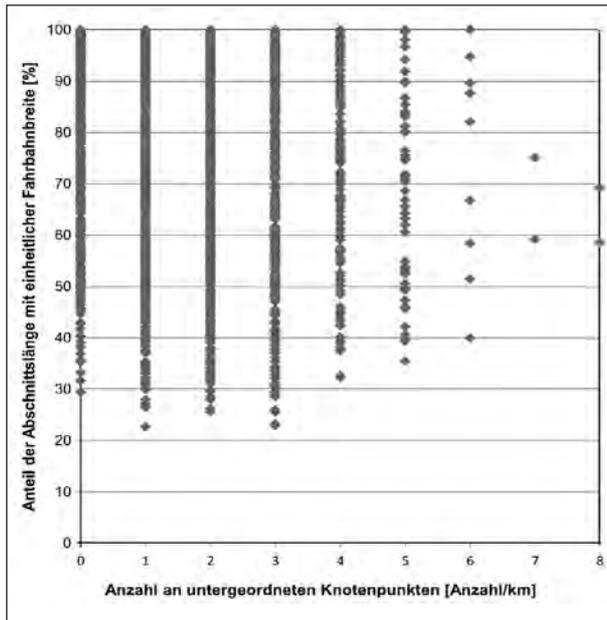
Bild 6: Einfluss kurzer Abschnittslängen auf die Unfallkenngrößen

(Querschnittsgestaltung, Fahrbahnanzahl etc.) der Datenbanken zugeordnet.

Aus der Zuordnung der Straßeninformationen ergab sich ein weiteres Problem. Für den Großteil der Abschnitte existieren für ihre einzelnen Teilbereiche unterschiedliche Fahrbahnbreiten. Diese variieren teilweise nur um wenige Zentimeter. Die Fahrbahnbreiten sind in 5-cm-Klassen in den Datenbanken angegeben. Durch eine Klassenbildung mit einer Breite von 50 cm konnten diese geringen Abweichungen behoben werden. Als Klassenmitte wurden im Straßenentwurf übliche Fahrbahnbreiten ab 3,00 m im Raster von 50 cm gewählt.

Diese Klassenbildung alleine reichte nicht aus, um für alle Untersuchungsabschnitte durchgehend eine einheitliche Fahrbahnbreite zu erhalten. Trotz der Klassenbildung weist ein Teil der Untersuchungsabschnitte weiterhin in ihren einzelnen Bereichen unterschiedliche Fahrbahnbreiten auf. Ursache hierfür ist die Definition der Netzknoten. Ein Netzknoten wird nach ASB immer dann gebildet, wenn klassifizierte Straßen zusammentreffen (Ausnahme sind die fiktiven Netzknoten). Zwischen den Netzknoten können allerdings weitere nicht klassifizierte Straßen an den Streckenabschnitt über weitere Knotenpunkte angebunden sein. An diesen Knotenpunkten existieren dann auf den „freien“ Streckenabschnitten Fahrbahnaufweitungen (z. B. Abbiegestreifen). Dies führt dazu, dass in diesen Bereichen die Fahrbahnbreite der Streckenabschnitte „sprunghaft“ ansteigt.

In den Datenbanken der Bundesländer Bayern, Brandenburg und Rheinland-Pfalz existieren keine Angaben zu untergeordneten Knotenpunkten. Für Nordrhein-Westfalen liegen diese Informationen allerdings vor. Daher wurde anhand der Untersu-



**Bild 7:** Zusammenhang zwischen der Fahrbahnbreite mit dem größten Anteil an der Streckenlänge und der Anzahl sonstiger Knotenpunkte

chungsabschnitte aus Nordrhein-Westfalen überprüft, inwieweit sich die Anzahl der zusätzlichen Knotenpunkte auf die Fahrbahnbreite auswirkt.

Hierzu wurde zunächst der Anteil der Fahrbahnbreite auf den Streckenabschnitten bestimmt, der den größten Anteil aufweist. Anschließend wurde die Anzahl der zwischen den Netzknoten angebotenen Gemeindestraßen und sonstigen nicht klassifizierten Straßen ermittelt. In Bild 7 ist der Zusammenhang zwischen der Fahrbahnbreite mit dem größten Anteil an der Streckenlänge und der Anzahl der untergeordneten Knotenpunkte dargestellt. Aus der Gegenüberstellung ist kein eindeutiger Zusammenhang zu erkennen, sodass aus dem Anteil der Länge mit einheitlicher Fahrbahnbreite an der Abschnittslänge nicht auf die Anzahl der untergeordneten Knotenpunkte geschlossen werden kann.

Damit den Unfallkenngrößen ein möglichst homogenes Untersuchungskollektiv zugrunde liegt und die zugewiesene Fahrbahnbreite auch eine gewisse Repräsentativität besitzt, wurde in Abstimmung mit der Betreuungsgruppe ein Grenzwert von 75 % festgelegt. Dies bedeutet, dass auf einer Abschnittslänge von 1.000 m mindestens 750 m des Abschnittes der gleichen Fahrbahnbreitenklasse zugeordnet werden können. Darin enthaltene „untergeordnete“ Anschlussknotenpunkte von nicht klassifizierten Straßen werden als Charakteristik der Strecken im Untersuchungsabschnitt belassen. Aus dieser Festlegung folgte, dass insgesamt

Anteil einheitlicher Fahrbahnbreite	Anzahl Untersuchungsabschnitte
75 % ≤ Anteil < 80 %	613
80 % ≤ Anteil < 85 %	626
85 % ≤ Anteil < 90 %	814
90 % ≤ Anteil < 95 %	985
95 % ≤ Anteil < 100 %	1.167
Anteil = 100 %	1.325

**Tab. 4:** Anzahl an Untersuchungsabschnitten differenziert nach dem Anteil einheitlicher Fahrbahnbreite

5.530 Untersuchungsabschnitte mit einer Gesamtlänge von 15.244 km als Grundlage der Untersuchung zur Verfügung stehen. Davon entfallen auf die freien Streckenabschnitte 9.714 km. In Tabelle 4 ist die Anzahl der Untersuchungsabschnitte differenziert nach dem Anteil einheitlicher Fahrbahnbreite zusammengefasst.

Das Untersuchungskollektiv wird dominiert von Untersuchungsabschnitten mit einer Länge der freien Streckenabschnitte (ohne Einflussbereiche) von unter 1.000 m. Der kumulierte Anteil dieser Abschnitte beträgt knapp 45 %. In Bild 8 ist die Verteilung der Abschnittslängen dargestellt.

Die Verteilung der Untersuchungsabschnitte bezogen auf die Fahrbahnbreite und die Anzahl der Fahrstreifen und Fahrbahnen ist in Tabelle 5 zusammengefasst. Der überwiegende Teil des Untersuchungskollektivs wird von einbahnig zweistreifigen Querschnitten gestellt. Weitere wesentliche Kollektive sind die einbahnig dreistreifigen und zweibahnig vierstreifigen Querschnitte.

Die übrigen Querschnittstypen sind in ihrem Stichprobenumfang so gering, dass diese in der vorliegenden Untersuchung keine Berücksichtigung finden. Ebenso wurden bei den einbahnig zweistreifigen nur die Fahrbahnbreiten in die Untersuchung mit einbezogen, deren Stichprobe mindestens 150 Untersuchungsabschnitte umfasst.

Als zweibahnige Querschnitte sind hier Untersuchungsstrecken aufgefasst, bei denen die Fahrrichtungen durch eine bauliche Mitteltrennung voneinander getrennt sind. Entsprechend weisen die einbahnigen Querschnitte keine solche Mitteltrennung auf.

Die Fahrbahnbreite setzt sich gemäß den gültigen Richtlinien aus der Breite der Fahrstreifen und der Randstreifen zusammen.

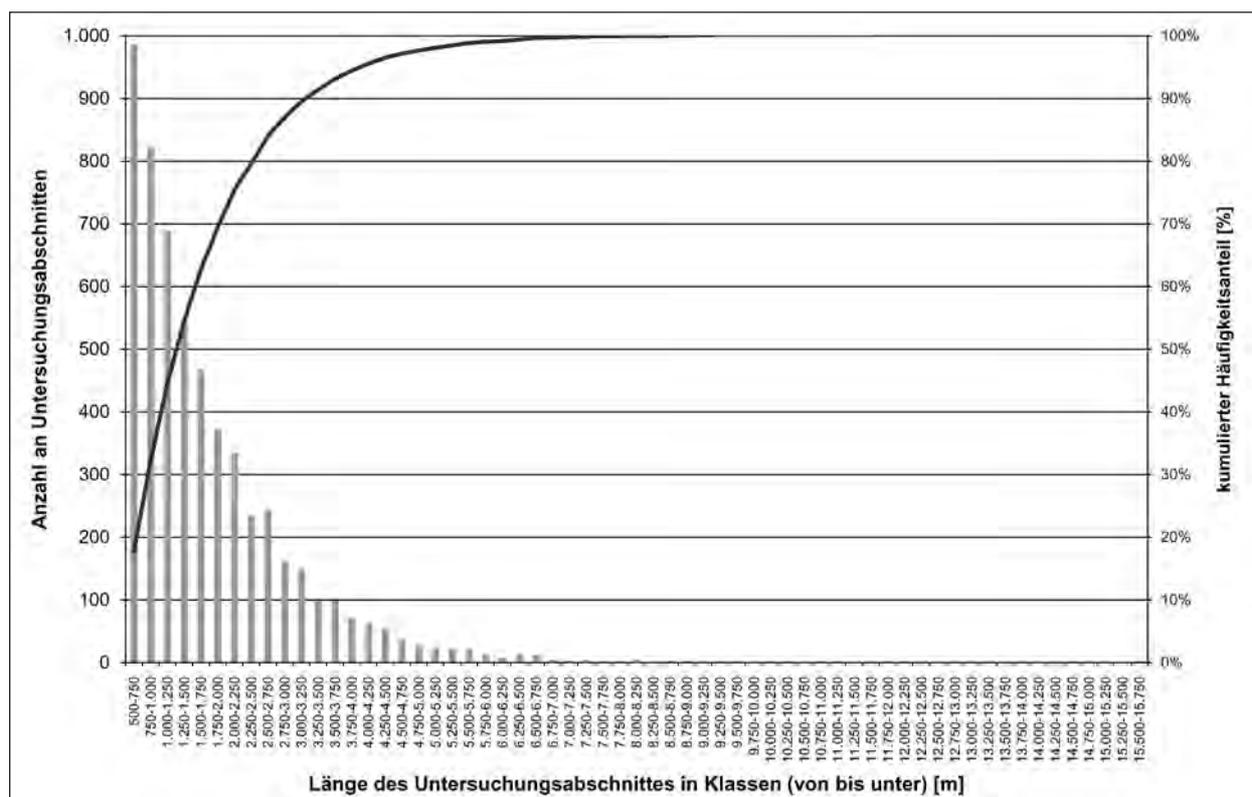


Bild 8: Verteilung der Untersuchungsabschnitte nach Länge des Abschnitts

Fahrbahn breite	Querschnitt		
	einbahnig		zweibahnig
	Fahrstreifenanzahl		
	2	3	4
5,00 m	457		
5,50 m	617		
6,00 m	954		
6,50 m	674		
7,00 m	438		
7,50 m	662		
8,00 m	516		
8,50 m	753		
10,00 m		7	
10,50 m		2	
11,00 m		15	
11,50 m		16	
12,00 m		4	
12,50 m		4	
14,00 m			17
14,50 m			4
15,00 m			37
15,50 m			21
16,00 m			23
16,50 m			2
17,00 m			15

Tab. 5: Anzahl an Untersuchungsabschnitten differenziert nach dem Querschnittstyp

Die für die zweibahnigen Querschnitte angegebenen Fahrbahnbreiten beziehen sich ausschließlich auf die gesamte Breite beider Fahrbahnen. Die Breite der Mitteltrennung ist nicht Bestandteil der hier angegebenen Fahrbahnbreite.

### 4.3 Unfalldaten

Die Unfalldaten auf Bundes-, Landes- und Kreisstraßen wurden für die Jahre 2002 bis 2006 zur Verfügung gestellt. Der Datensatz umfasste dabei je nach Bundesland – aufgrund der länderspezifischen statistischen Erfassung der Unfalldaten – unterschiedliche Unfalldaten. Der zur Verfügung gestellte Datenumfang, differenziert nach Unfallkategorien, kann der Tabelle 6 entnommen werden.

Die Unfalldatenbanken enthielten unterschiedlich detaillierte Informationen. Alle Datenbanken umfassen die folgenden Informationen, die für die Untersuchung aufbereitet wurden:

- Unfalldatum,
- Unfallkategorie,
- Unfalltyp (einstellig) und
- Lage (Streckenabschnitt und Station).

Bundesland	Kat. 1-4	Kat. 5	Kat. 6
Bayern	35.043	13.414	667
Brandenburg	33.346		973
Nordrhein-Westfalen	80.461		
Rheinland-Pfalz	49.650	142.558	1.103

Tab. 6: Datenumfang der Unfalldaten differenziert nach Unfallkategorien für den Außerortsbereich

Anzahl der Unfälle außerorts	Bundesstraßen	Landesstraßen	Kreisstraßen
Bayern	49.124	-*	-*
Brandenburg	18.589	15.730	-*
Nordrhein-Westfalen	30.788	49.673	-*
Rheinland-Pfalz	68.753	85.149	39.409
Insgesamt	167.254	150.552	39.409
Anteil nicht lokalisierbarer Unfälle (NRW/RP)	3,7 %/2,8 %	4,1 %/3,6 %	-/6,1 %
* Für diese Straßenkategorien wurden keine Daten zur Verfügung gestellt			

Tab. 7: Unfallkollektiv der Jahre 2002 bis 2006 außerorts

Für die Bundesländer Bayern und Brandenburg lagen nur Unfalldaten für Außerortsstraßen vor. Die Datensätze der Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz umfassten darüber hinaus auch Unfalldaten der Innerortsstraßen. Die Anzahl der in den Datenbanken enthaltenen Unfälle außerorts getrennt nach Straßenklassen ist in Tabelle 7 zusammengefasst.

In den Unfalldatensätzen der Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz sind Unfälle enthalten, die nicht eindeutig lokalisierbar sind. Bei diesen Unfällen fehlen eine oder mehrere Ortsinformationen (Abschnittsnummer, Stationsangabe), die eine eindeutige Zuordnung zu einer Station auf einem Streckenabschnitt ermöglichen würden. In den Unfalldatenbanken der Bundesländer Bayern und Brandenburg sind nur eindeutig lokalisierbare Unfalldaten enthalten. Für das Bundesland Bayern wurde je nach Jahr und Unfallkategorie (bezogen auf die Unfallkategorien 1 bis 4) für den Betrachtungszeitraum eine Zuweisungsquote der polizeilich aufgenommenen Unfälle in die Unfalldatenbank von 96,9 % bis 98,8 % gemeldet. Für das Bundesland Brandenburg konnte eine entsprechende Zuweisungsquote im Rahmen der Untersuchung nicht ermittelt werden. Es ist vermutlich davon auszuge-

hen, dass die Zuweisungsquote für die Unfalldatenbank des Landes Brandenburg ähnliche Werte wie für die drei übrigen Bundesländer aufweist. Für die vorliegende Datenbasis kann daher davon ausgegangen werden, dass die Zuweisungsquote bei über 95 % liegt. Im weiteren Verlauf der Untersuchung wurde nur auf die eindeutig lokalisierbaren Unfälle zurückgegriffen.

Die Auswertung der Unfälle bezogen auf die Untersuchungsstreckenabschnitte ist in Kapitel 6 zusammengefasst.

#### 4.4 Zusätzliche Datenquellen

Die Straßeninformationsbanken enthalten nur für einen Teil der Netzabschnitte Informationen zu den Verkehrsstärken. Um die Datenbasis zu erweitern, wurde auf die Verkehrsmengenkarten der Bundesländer zurückgegriffen.

In den Straßeninformationsbanken sind ferner nur eingeschränkte Informationen zu den Knotenpunkten enthalten. Die Knotenpunkte werden in den Datensätzen nur nach den Kriterien „Plangleich“, „Planfrei“ und „Kreisverkehr“ unterschieden. Darüber hinaus ist aus den Datensätzen nicht erkennbar, ob weitere Straßen (z. B. sonstige klassifizierte Straßen oder Gemeindestraßen) an den jeweiligen Knotenpunkten angebunden sind. Für die vorgesehene Unterscheidung nach Knotenpunktarten reichten diese Informationen nicht aus.

Um dennoch die Knotenpunkte bezüglich ihrer Art unterscheiden zu können, wurden zusätzlich Luftbilder über Google Earth ausgewertet. Anhand dieser Luftbildauswertung konnten die Knotenpunktart und die Anzahl der zusätzlichen angebundenen Straßen bestimmt werden. Ferner wurden die Verkehrsregelungen der jeweiligen Zufahrten (wartepflichtig, bevorrechtigt, signalgeregelt) erfasst.

Aus den Luftbildern, die zudem aus unterschiedlichen Jahren stammen, geht nicht hervor, ob es im Untersuchungszeitraum 2002 bis 2006 zu Umgestaltungen oder Umbauten der Knotenpunkt kam. Auch die Straßeninformationsbanken enthalten keine dementsprechende Information. Da eine weitergehende Recherche dieser Informationen den Rahmen der Untersuchung gesprengt hätte, wurde vereinfachend davon ausgegangen, dass – wie bei den Streckenabschnitten – keine diesbe-



**Bild 9:** Beispielfoto aus der Befahrung der klassifizierten Straßen in Nordrhein-Westfalen (Quelle: NW-SIB-online 2009 (<http://services.gis-consult.de/>))

züglichen (bzw. nicht relevanten) Änderungen an den Knotenpunkten im Untersuchungszeitraum erfolgt sind.

Da aus den Luftbildern nicht zu erkennen war, ob bei der Signalregelung ein Linksabbiegerschutz vorhanden ist oder nicht, wurde zunächst eine telefonische Befragung bei den zuständigen Stellen vor Ort durchgeführt. Die Informationen zur Signalsteuerung liegen allerdings auch nicht immer griffbereit – ohne erheblichen Aufwand für die jeweiligen Sachbearbeiter – vor, sodass nur für einen sehr geringen Teil der Knotenpunkte mit LSA die Angaben zum Linksabbiegerschutz per Telefon erfragt werden konnten. Um dennoch Informationen zum Linksabbiegerschutz zu erhalten, wurde auf die Online-Version der Straßeninformationsbank NW-SIB des Landes Nordrhein-Westfalen im Internet (<http://services.gis-consult.de/>) zurückgegriffen.

In der Online-Version von NW-SIB sind Fotos aus Befahrungen hinterlegt. Auf den Fotos sind die Signalgeber an den jeweiligen Knotenpunkten erkennbar. Für die Knotenpunkte mit Signalregelung in Nordrhein-Westfalen wurden diese Fotos ausgewertet. In Bild 9 ist ein Foto aus der Befahrung beispielhaft wiedergegeben.

Durch die Erschließung zusätzlicher Datenquellen konnten insgesamt Informationen zu 796 Knotenpunkten gewonnen werden. Die Differenzierung nach der Knotenpunktart enthält Tabelle 8.

Knotenpunktart	Anzahl
Einmündung – VZ-geregelt ohne Linksabbiegestreifen	253
Einmündung – VZ-geregelt mit Linksabbiegestreifen	272
Kreuzung – VZ-geregelt ohne Linksabbiegestreifen	42
Kreuzung – VZ-geregelt mit Linksabbiegestreifen	65
Einmündung – LSA-geregelt ohne Linksabbiegerschutz	6
Einmündung – LSA-geregelt mit Linksabbiegerschutz	49
Kreuzung – LSA-geregelt ohne Linksabbiegerschutz	45
Kreuzung – LSA-geregelt mit Linksabbiegerschutz	28
Kreisverkehr	36

**Tab. 8:** Anzahl der Knotenpunkte des Untersuchungskollektivs differenziert nach Knotenpunktart

## 5 Grundlagen der Unfalldatenanalyse

### 5.1 Möglichkeiten zur Beschreibung der Verkehrssicherheit

Die Verkehrssicherheit einer Verkehrsanlage wird in der Regel durch das Unfallgeschehen auf dieser Verkehrsanlage beschrieben. Das Unfallgeschehen auf einer Verkehrsanlage hängt im Wesentlichen ab von

- dem Verhalten der Verkehrsteilnehmer,
- der Art, dem technischen Zustand und der Geschwindigkeit der Fahrzeuge,
- den Entwurfsmerkmalen (Querschnittgestaltung, Knotenpunktgestaltung, Linienführung),
- der Straßenausstattung (Verkehrszeichen, Verkehrseinrichtungen, Schutzeinrichtungen),
- dem Straßenzustand (Oberflächenbeschaffenheit),
- dem Straßenraum (Fahrbahnrand, seitliche Hindernisse)
- den Umweltbedingungen (Witterung, Lichtverhältnisse) sowie
- der Verkehrsstärke bzw. Verkehrsdichte.

Die polizeilichen Verkehrsunfallanzeigen enthalten alle Informationen, die für eine detaillierte Unfallanalyse erforderlich sind. Neben Angaben zur Charakteristik und Besonderheiten der Unfallstelle, dem Unfalldatum und der Uhrzeit, den Lichtverhältnissen und dem Straßenzustand wird in den Verkehrsunfallanzeigen auch in Form einer verbalen Beschreibung sowie i.d.R. auch in Form einer einfachen Unfallskizze der Unfallhergang detailliert dokumentiert.

Die Unfalldatenbanken der Länder enthalten weder die verbale noch die skizzierte Beschreibung des Unfallhergangs. Der tatsächliche Ablauf des Unfalls kann somit aus den Unfalldatenbanken nicht mehr rekonstruiert werden.

Die Unfalldatenbanken enthalten jedoch Informationen, die durch klassifizierte Kenngrößen ausgedrückt sind, die die Art des Unfalls beschreiben und dadurch eine Analyse des Unfallgeschehens ermöglichen.

Das Unfallgeschehen einer Verkehrsanlage wird durch die Anzahl und Schwere der Verkehrsunfälle beschrieben. Zur Ermittlung der Verkehrssicherheit einer Verkehrsanlage und zum Vergleich des Unfallgeschehens verschiedener Verkehrsanlagen müssen demnach die Anzahl und die Schwere der Straßenverkehrsunfälle betrachtet werden. Da die Unfallschwere ein besonders wichtiges Unterscheidungsmerkmal bei Unfalluntersuchungen ist (FGSV, 1991), erfolgt eine einheitliche Einteilung der Unfälle in Unfallkategorien nach der schwersten Unfallfolge (vgl. Tabelle 9).

Für eine zusammenfassende Betrachtung der Anzahl und Schwere von Unfällen bietet sich die Er-

mittlung von Unfallkosten an (vgl. Kapitel 5.2), die die volkswirtschaftlichen Verluste durch Straßenverkehrsunfälle beziffern.

Sowohl die Anzahl der Unfälle (auch unterschieden nach den Unfallkategorien), die Anzahl der Unfallbeteiligten und der Verunglückten (auch unterschieden nach den Unfallfolgen) sowie die Unfallkosten sind Basiswerte des Unfallgeschehens und geeignet, dieses Unfallgeschehen bzw. Ausschnitte des Unfallgeschehens zu beschreiben. Als weitere beschreibende Größen können Basiswerte bezogen auf die Verkehrsanlage herangezogen werden, wie z. B. die Streckenlänge sowie der DTV (FGSV, 2009).

Für eine strukturelle Analyse sowie für eine vergleichende Bewertung sind jedoch darüber hinaus weitere Kennwerte des Unfallgeschehens notwendig (FGSV, 2009):

- Anteilswerte dienen dazu, die Struktur des Unfallgeschehens zu analysieren. Sie werden errechnet durch den Quotienten aus Teilmenge zu Gesamtmenge eines bestimmten Basiswertes. Anteilswerte sind z. B. der Anteil eines bestimmten Unfalltyps an allen Unfalltypen oder der Anteil der Innerortsunfälle an allen Unfällen eines Betrachtungsgebietes.
- Verhältniswerte dienen dazu, das Unfallgeschehen zu bewerten. Als Verhältniswerte dienen Kennwerte, die sich durch den Quotienten zweier Basiswerte berechnen, wie z. B. die Anzahl der Getöteten bezogen auf die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden oder die Anzahl der Unfälle bezogen auf die Fahrleistung.

Schwerste Unfallfolge	Unfallkategorie	Beschreibung
Unfall mit Getöteten	Kategorie 1	mind. 1 getöteter Verkehrsteilnehmer
Unfall mit Schwerverletzten	Kategorie 2	mind. 1 schwer verletzter Verkehrsteilnehmer, aber keine Getöteten
Unfall mit Leichtverletzten	Kategorie 3	mind. 1 leicht verletzter Verkehrsteilnehmer, aber keine Getöteten und keine Schwerverletzten
Schwerwiegender Unfall mit Sachschaden i. e. S.	Kategorie 4	Unfälle mit Sachschaden und Straftatbestand oder Ordnungswidrigkeitsanzeige, bei denen mindestens 1 Kraftfahrzeug nicht mehr fahrbereit ist (Abschleppen)
Sonstiger Unfall mit Sachschaden	Kategorie 5	Sachschadenumfälle mit Straftatbestand oder Ordnungswidrigkeitsanzeige ohne Alkohol, bei denen alle Kraftfahrzeuge fahrbereit sind, und Sachschadenumfälle mit lediglich geringfügiger Ordnungswidrigkeit (Verwarnung), unabhängig, ob Kfz fahrbereit oder nicht fahrbereit
Sonstiger Unfall mit Sachschaden unter Alkoholeinwirkung	Kategorie 6	alle übrigen Sachschadenumfälle mit Alkohol

Tab. 9: Beschreibung der Unfallkategorien (nach FGSV, 2009)

Die in der vorliegenden Untersuchung verwendeten relativen Unfallkenngrößen (Verhältniszahlen) werden separat in Kapitel 5.3 behandelt.

Neben der Anzahl der Unfälle und der Unfallschwere ist der Unfallhergang für die Beurteilung des Unfallgeschehens von Bedeutung. Auch wenn die Unfalldatenbanken weder eine verbale noch eine skizzenhafte Beschreibung des Unfallhergangs beinhalten, so wird der Unfallhergang durch die Angabe eines Unfalltyps, der den Verkehrsvorgang bzw. die Konfliktsituation, woraus der betreffende Unfall ent-

standen ist, im Wesentlichen wiedergegeben. Üblicherweise werden insgesamt 7 Unfalltypen unterschieden. In Tabelle 10 ist die Beschreibung der Unfalltypen dokumentiert.

Neben den Unfalltypen wird der Unfallhergang durch die Unfallart, die nähere Auskunft über die tatsächliche Kollisionsart gibt, beschrieben. Es werden insgesamt 10 Unfallarten unterschieden. In Tabelle 11 ist die verbale Definition der Unfallarten zusammengefasst.

Unfallart	Erläuterung
1	Fahrerfall (F) Der Unfall wurde ausgelöst durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug (wegen nicht angepasster Geschwindigkeit oder falscher Einschätzung des Straßenverlaufs, des Straßenzustandes o. Ä.), ohne dass andere Verkehrsteilnehmer dazu beigetragen haben.
2	Abbiege-Unfall (AB) Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Abbieger und einem aus gleicher oder entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer an Kreuzungen, Einmündungen, Grundstücks- oder Parkplatzzufahrten.
3	Einbiegen-/Kreuzen-Unfall (EK) Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem vorfahrtberechtigten Fahrzeug an Kreuzungen, Einmündungen oder Ausfahrten von Grundstücken oder Parkplätzen.
4	Überschreiten-Unfall (ÜS) Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem Fußgänger auf der Fahrbahn, sofern dieser nicht in Längsrichtung ging und sofern das Fahrzeug nicht abgebogen ist.
5	Unfall durch ruhenden Verkehr (RV) Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs und einem Fahrzeug, das parkt/hält bzw. Fahrmanöver im Zusammenhang mit dem Parken/Halten durchführte.
6	Unfall im Längsverkehr (LV) Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten, sofern dieser Unfall nicht einem anderen Unfalltyp entspricht.
7	Sonstiger Unfall (SO) Unfall, der sich nicht den Typen 1-6 zuordnen lässt. Beispiele: Wenden, Rückwärtsfahren, Parker untereinander, Hindernis/Tier auf der Fahrbahn, plötzlicher Fahrzeugschaden.

Tab. 10: Verkürzte Beschreibung der Unfalltypen (nach (GDV, 2003))

Unfallart	Erläuterung
1	Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das anfährt, anhält oder im ruhenden Verkehr steht
2	Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet
3	Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt
4	Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das entgegenkommt
5	Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt
6	Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger
7	Aufprall auf ein Hindernis auf der Fahrbahn
8	Abkommen von der Fahrbahn nach rechts
9	Abkommen von der Fahrbahn nach links
10	Unfall anderer Art

Tab. 11: Beschreibung der Unfallarten (nach (GDV, 2003))

Die nachfolgende Auswertung der Unfalldaten (siehe Kapitel 6) bezieht sich auf die Unfallkategorie und die Unfalltypen.

## 5.2 Berücksichtigung der Unfallfolgen

Bei vergleichenden Unfalluntersuchungen ist es sinnvoll, neben der Anzahl der Unfälle auch die Unfallfolgen in die Betrachtung einzubeziehen. Dabei erfolgte die Bewertung der Unfallfolgen nach (FGSV, 1991) anhand der Unfallkosten, die aufgrund bestimmter Kostensätze für die jeweiligen Unfallfolgen (Schwere der Verletzung bzw. Schwere des Unfalls) zu ermitteln sind. Basis dieser Kostensätze sind Überlegungen zum volkswirtschaftlichen Nutzen, der aus der Vermeidung von Unfällen entsteht. Näheres hierzu kann (HÖHNSCHEID et al., 2000) entnommen werden.

Die durchschnittlichen (pauschalen) Unfallkostensätze für verschiedene Straßenkategorien innerhalb und außerhalb geschlossener Ortschaften für den Preisstand 2000 sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

Für große Unfallkollektive (Zahl der Unfälle mit Personenschaden außerorts gleich oder größer als 10, innerorts gleich oder größer als 15) werden Unfälle mit schwerem Personenschaden und Unfälle mit leichtem Personenschaden getrennt bewertet und nach folgender Gleichung ermittelt:

$$UK(P) = U(SP) \cdot WU(SP) + U(LV) \cdot WU(LV) \quad (\text{Gl. 3})$$

mit:

UK(P): Kosten der Unfälle mit Personenschaden [€]

U(SP): Zahl der Unfälle mit Getöteten oder Schwerverletzten [-]

U(LV): Anzahl der Unfälle mit Leichtverletzten [-]

WU(SP): pauschaler Kostensatz für Unfälle mit Getöteten oder Schwerverletzten [€]

WU(LV): pauschaler Kostensatz für Unfälle mit Leichtverletzten [€]

Die Kosten der Unfälle mit Sachschaden werden wie folgt ermittelt:

$$UK(S) = U(SS) \cdot WU(SS) + U(LS) \cdot WU(LS) \quad (\text{Gl. 4})$$

mit:

UK(S): Kosten der Unfälle mit Sachschaden [€]

U(SS): Zahl der schwerwiegenden Unfälle mit Sachschaden [-]

U(LS): Anzahl der sonstigen Unfälle mit Sachschaden [-]

WU(SS): pauschaler Kostensatz für einen schwerwiegenden Unfall mit Sachschaden [€]

WU(LS): pauschaler Kostensatz für einen sonstigen Unfall mit Sachschaden [€]

Für eine Untersuchung der Besonderheiten der Verkehrssicherheit von Streckenabschnitten und

Unfallkategorie (schwerste Unfallfolge)	Pauschale Unfallkostensätze WU in [€/Unfall]				
	Straßenkategorie				
	Außerorts		Innerorts		
	Autobahn*	Landstraße**	Hauptverkehrsstraße	Erschließungsstraße	Gesamt
SP: Unfall mit Getöteten oder Schwerverletzten (Kategorie 1 u. 2)	300.000	270.000	160.000	130.000	145.000
LV: Unfall mit Leichtverletzten (Kategorie 3)	31.000	18.000	12.500	10.000	11.000
P: Unfall mit Personenschaden (Kategorie 1-3)	105.000	110.000	45.000	33.500	38.500
SS: Schwerwiegender Unfall mit Sachschaden (Kategorie 4 u. 6)	18.500	13.000	12.000	11.500	11.500
LS: Sonstiger Unfall mit Sachschaden (Kategorie 5)	8.000	6.000	6.000	5.500	5.500
S: Unfall mit Sachschaden (Kategorie 4-6)	10.500	7.000	6.500	5.500	6.000
* Autobahn: zweibahnig planfrei geführte Außerortsstraße					
** Landstraße: einbahnige Außerortsstraße					

Tab. 12: Pauschale Unfallkostensätze WU in Abhängigkeit von Unfallkategorie und Straßenkategorie – Preisstand 2000 (Quelle: HÖHNSCHEID et al., 2000)

Knotenpunkten empfiehlt sich nach (GDV, 2003) die Verwendung von angepassten Unfallkostensätzen in Abhängigkeit von Unfalltypen zur Ermittlung indirekter angepasster Unfallkosten. In Tabelle 13 sind angepasste Unfallkostensätze in Abhängigkeit der Unfalltypen und der Straßenkategorie aufgeführt.

Die in Abhängigkeit von dem Unfalltyp und der Straßenkategorie indirekt angepassten Unfallkosten werden nach folgender Gleichung berechnet:

$$UKa(P) = U(SP) \cdot WUa(SP) + U(LV) \cdot WUa(LV) \quad (\text{Gl. 5})$$

mit:

UKa(P): angepasste Unfallkosten für Unfälle mit Personenschaden [€]

U(SP): Anzahl der Unfälle mit schwerem Personenschaden [-]

U(LV): Zahl der Unfälle mit leichtem Personenschaden [-]

WUa(SP): angepasster Unfallkostensatz für Unfälle mit schwerem Personenschaden [€]

WUa(LV): angepasster Unfallkostensatz für Unfälle mit leichtem Personenschaden [€]

Die Unfallkostensätze werden ausschließlich für Unfälle mit Personenschaden angepasst. Die Unfallkosten der Unfälle mit Sachschaden sind weiterhin gemäß (Gl. 4) zu ermitteln.

Bei der Ermittlung der Unfallkosten und der daraus abgeleiteten Unfallkostenraten kamen sowohl die

Unfalltyp	Unfallkategorie (schwerste Unfallfolge)	Unfallkostensätze WU [€/Unfall]				
		Außerorts		Innerorts		
		Autobahn*	Landstraße**	Verkehrsstraße	Erschließungsstraße	Gesamt
Fahr-Unfall (F)	SP	305.000	280.000	200.000	150.000	175.000
	LV	30.500	17.500	12.500	10.000	11.000
	P	125.000	135.000	80.000	55.000	65.000
Abbiege-Unfall (AB)	SP	240.000	195.000	135.000	125.000	130.000
	LV	31.000	18.500	12.500	10.000	11.000
	P	75.000	70.000	37.000	27.000	31.500
Einbiegen-/Kreuzen-Unfall (EK)	SP	210.000	255.000	135.000	120.000	125.000
	LV	31.000	18.000	12.500	10.000	11.000
	P	70.000	95.000	37.000	27.500	31.000
Überschreiten-Unfall (ÜS)	SP	700.000	385.000	190.000	140.000	160.000
	LV	30.000	16.000	12.000	9.500	10.500
	P	500.000	245.000	95.000	55.000	70.000
Unfall durch ruhenden Verkehr (RV)	SP	500.000	190.000	120.000	120.000	120.000
	LV	31.000	17.500	12.500	9.500	10.500
	P	180.000	65.000	34.000	27.500	29.500
Unfall im Längsverkehr (LV)	SP	275.000	315.000	150.000	125.000	135.000
	LV	31.500	18.000	13.000	10.500	11.500
	P	85.000	105.000	28.000	21.500	24.500
Sonstiger Unfall (SO)	SP	340.000	220.000	150.000	135.000	140.000
	LV	30.500	17.000	12.500	9.500	10.500
	P	130.000	90.000	47.000	37.500	40.500

\* Autobahn: zweibahnig planfrei geführte Außerortsstraße  
 \*\* Landstraße: einbahnige Außerortsstraße

**Tab. 13:** Unfallkostensätze WUUT für Unfalltypen in Abhängigkeit von Unfallkategorie und Straßenkategorie (Preisstand 2000, Unfallstruktur 1998) (Quelle: HÖHNSCHEID et al., 2000)

pauschalen als auch die angepassten Unfallkostensätze zur Anwendung. Die der Unfallkosten auf Grundlage beider Unfallkostensätze soll vor allem die Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen ermöglichen. Bei der Ermittlung der Grundunfallkostenraten hingegen wurden nur die angepassten Unfallkostensätze zugrunde gelegt, da diese das unterschiedliche Unfallgeschehen auf den freien Streckenabschnitten, innerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte und an den Knotenpunkten berücksichtigen und somit eine höhere Aussagekraft besitzen.

### 5.3 Ermittlung von relativen Unfallkenngrößen

Die Unfallrate und die Unfallkostenrate sind auf die Fahrleistung bezogene Unfallkenngrößen. Diese beiden relativen Kenngrößen sind ein Maß für das fahrleistungsbezogene Risiko des Eintritts eines Unfalls (Unfallrate) bzw. das Maß für das Eintreten bestimmter Unfallkosten (Unfallkostenrate).

Als Bezugsgröße gehen die Fahrleistungen (in Fahrzeug-km) in die Berechnung ein. Bei freien Streckenabschnitten berechnen sich die Unfallrate und die Unfallkostenrate nach folgenden Gleichungen:

$$UR = (U \cdot 10^6) / (DTV \cdot L \cdot t \cdot 365) \quad (\text{Gl. 6})$$

$$UKR = (UK \cdot 10^3) / (DTV \cdot L \cdot t \cdot 365) \quad (\text{Gl. 7})$$

mit:

UR: Unfallrate [Unfälle pro Mio. Kfz · km/a]

UKR: Unfallkostenrate [EURO pro 1.000 Kfz · km/a]

U: Anzahl der Unfälle [-]

DTV: durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke [Kfz/24h]

L: Länge der betrachteten Verkehrsanlage [km]

t: Dauer des Untersuchungszeitraums in Jahren [a]

UK: Unfallkosten [€]

Die angepasste Unfallkostenrate UKRa berechnet sich entsprechend nach Gl. 7), wobei hier die Unfallkosten UK durch die angepassten Unfallkosten UKa ersetzt werden.

Nach (FGSV, 1991) ist es bei der Untersuchung von Knotenpunkten zweckmäßig, auch Unfälle aus dem unmittelbar angrenzenden Straßenbereich einzubeziehen. Hierzu wird ein Knotenpunktbereich außerhalb geschlossener Ortschaften von in jeder Richtung 150 m und innerorts von in jeder Richtung 100 m empfohlen. Da den an die Knotenpunkte angrenzenden Streckenabschnitten im Zuge der vorliegenden Untersuchung besondere Beachtung geschenkt wurde (vgl. Kapitel 3.2), wurde vom Knotenmittelpunkt nur jeweils der angrenzende Streckenabschnitt in jede Richtung bis zu 50 m berücksichtigt.

Trotz einer längenbezogenen Abgrenzung der Knotenpunkte aufgrund der Einbeziehung der angrenzenden Streckenabschnitte werden bei der Ermittlung von Unfallkenngrößen die Knotenpunkte als „Punkte“ behandelt. Demnach berechnen sich die Unfallrate und Unfallkostenrate an einem Knotenpunkt wie folgt:

$$UR = (U \cdot 10^6) / (0,5 \cdot DTV \cdot t \cdot 365) \quad (\text{Gl. 8})$$

$$UKR = (UK \cdot 10^3) / (0,5 \cdot DTV \cdot t \cdot 365) \quad (\text{Gl. 9})$$

mit

UR: Unfallrate [Unfälle pro Mio. Kfz/a]

UKR: Unfallkostenrate [EURO pro 1.000 Kfz/a]

U: Anzahl der Unfälle [-]

DTV: Summe der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke aller Knotenpunktarme [Kfz/24h]

t: Dauer des Untersuchungszeitraums in Jahren [a]

UK: Unfallkosten [€]

Die angepasste Unfallkostenrate UKRa berechnet sich entsprechend nach Gl. 9 (Gl. 7), wobei hier die Unfallkosten UK durch die angepassten Unfallkosten UKa ersetzt werden.

## 6 Ergebnisse der Unfalldatenauswertung

### 6.1 Vorbemerkung

Im Zeitbereich vom 01.01.2002 bis zum 31.12.2006 sind insgesamt 160.355 Unfälle der Kategorie 1-6 im Bereich der 5.530 Untersuchungsabschnitte

(Gesamtlänge 15.244 km) und der 840 Knotenpunkte auswertbar (vgl. Tabelle 14). Dabei ist zu berücksichtigen, dass nur für die Bundesländer Bayern und Rheinland-Pfalz die Unfälle der Kategorien 1-6 vorlagen. Für die Bundesländer Brandenburg und Nordrhein-Westfalen beschränken sich die Unfallkollektive auf die Kategorien 1-4 und 6 bzw. 1-4.

Zur Abschätzung des Einflusses der Unfälle der Kategorie 5 und 6 auf das gesamte Unfallgeschehen wurde beispielhaft für das Bundesland Rheinland-Pfalz – da hier Unfälle aller 6 Kategorien vorlagen – das Verhältnis der Unfallkollektive der Kategorien 1-4 und der Kategorien 1-6 betrachtet. In Tabelle 15 sind die Unfälle aus der Datenbank des Bundeslandes Rheinland-Pfalz differenziert nach Unfallkategorie sowie freien Streckenabschnitten (einschließlich der Einflussbereiche) und Knotenpunkten zusammengefasst. Die Anzahl der Unfälle der Kategorie 5 dominiert deutlich das Unfallgeschehen sowohl an den Knotenpunkten als auch auf den freien Streckenabschnitten (hier einschließlich der Einflussbereiche angegeben). Ihr Anteil an der Ge-

Unfallkategorie	freie Streckenabschnitte und Einflussbereiche	Knotenpunkte	Gesamt
1	2.265	100	2.365
2	16.618	1.594	18.212
3	34.318	4.467	38.785
4	18.392	2.941	21.333
5	72.481	6.340	78.821
6	741	98	839
Gesamt	144.815	15.540	160.355

Tab. 14: Anzahl der Unfälle des gesamten Unfallkollektivs differenziert nach der Unfallkategorie

Unfallkategorie	freie Streckenabschnitte und Einflussbereiche	Knotenpunkte	Gesamt
1	249	53	302
2	2.040	828	2.868
3	4.266	2.200	6.466
4	3.102	1.502	4.604
5	34.471	6.287	40.758
6	171	74	245
Gesamt	44.299	10.944	55.243

Tab. 15: Anzahl der Unfälle im Bundesland Rheinland-Pfalz differenziert nach der Unfallkategorie

samtanzahl der Unfälle beträgt 78 % bei den Streckenabschnitten und 57 % bei den Knotenpunkten.

Um die Abweichung der Unfallkenngrößen ermitteln zu können, die sich ergeben, wenn man nur Unfälle der Kategorie 1-4 anstelle aller Unfälle betrachtet, wurden die Unfallkosten und die Anzahl der Unfälle getrennt nach Strecken und Knotenpunkten in Tabelle 16 gegenübergestellt. Dabei wurden nur Kollektive von einer Stichprobengröße von mindestens 10 berücksichtigt.

Man erkennt, dass bei den einbahnig zweistreifigen Querschnitten der Anteil der Unfälle der Kategorie 1-4 nur rd. 20 % ausmacht, während ihr Anteil an den gesamten Unfallkosten fast 80 % beträgt. Bei den zweibahnig vierstreifigen Querschnitten liegt ihr Anteil bei rd. 30 % der Unfälle und rd. 75 % der Unfallkosten.

An den Knotenpunkten sieht das Bild etwas anders aus. Hier liegt der Anteil der Unfälle der Kategorie 1-4 an der Gesamtanzahl der Unfälle zwischen 40 % und 60 %. Ihr Anteil bei den Unfallkosten liegt zwischen rd. 80 % und rd. 90 %.

Verkehrsanlage	Anzahl Unfälle	Unfallkosten
Einbahnige 1+1-Querschnitte (freie Streckenabschnitte und Einflussbereiche)		
5,00 m	19 %	75 %
5,50 m	19 %	76 %
6,00 m	22 %	79 %
6,50 m	20 %	77 %
7,00 m	25 %	80 %
7,50 m	24 %	81 %
8,00 m	21 %	78 %
8,50 m	22 %	78 %
Zweibahnige 2+2-Querschnitte (freie Streckenabschnitte und Einflussbereiche)		
15,00 m	32 %	74 %
15,50 m	29 %	77 %
Knotenpunkte		
VZ-geregelte Einmündungen	43,5 %	88,3 %
VZ-geregelte Kreuzungen	61,1 %	91,8 %
LSA-geregelte Kreuzungen	38,3 %	82,2 %

Tab. 16: Verhältnis der Unfallkosten und Anzahl der Unfälle in Rheinland-Pfalz bei Berücksichtigung der Unfälle der Kategorie 1-4 und 1-6

Aus dieser Auswertung ergibt sich, dass die nachfolgend ermittelten Unfallraten für die Kategorien 1-4 mit dem Faktor 4 für die Streckenabschnitte und mit dem Faktor 2-2,5 für die Knotenpunkte multipliziert werden müssten, um einen Anhaltswert zu bekommen, der in etwa der Unfallrate auf dem jeweiligen Streckenabschnitt entspricht, wenn alle Unfälle – also auch die der Kategorie 5 und 6 – berücksichtigt würden. Bei den Unfallkostenraten liegen diese Faktoren deutlich niedriger. Für die Streckenabschnitte liegt der Faktor bei rd. 1,3 und für die Knotenpunkte zwischen 1,1 und 1,2.

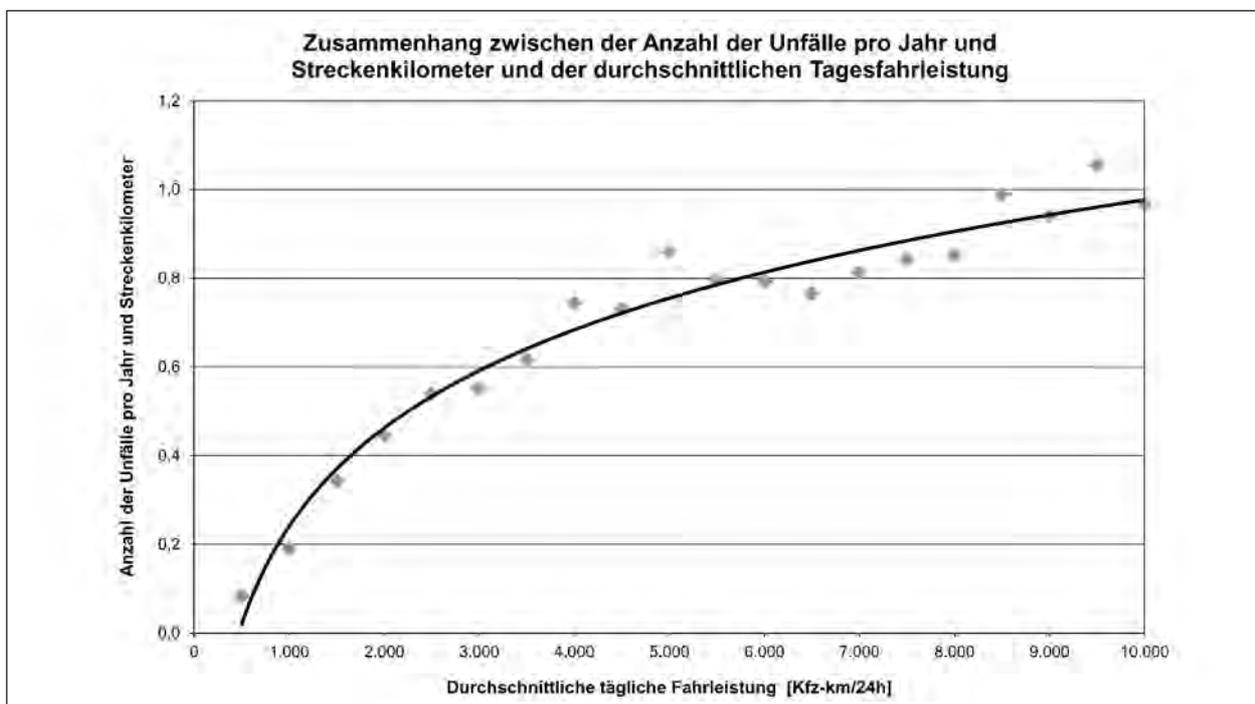
Die Betrachtung von Unfallraten dient dazu, dass Untersuchungsobjekte, die sich bezüglich des Ausmaßes der Fahrleistung voneinander unterscheiden, hinsichtlich des Unfallgeschehens miteinander verglichen werden können (vgl. Kapitel 5.3). Die Fahrleistung stellt somit eine Expositionsgröße dar. Damit gewährleistet ist, dass die ermittelten Unfallraten unabhängig vom Ausmaß der Expositionsgröße sind, ist (zumindest annähernd) eine Linearitätsbedingung zwischen der Unfallhäufigkeit und der Expositionsgröße zu erfüllen. D. h., es sollte ein linear-proportionaler Zusammenhang zwischen der Expositionsgröße und der Unfallhäufigkeit bestehen (vgl. (FGSV, 1991)).

Das vorliegende Unfallkollektiv wurde beispielhaft für die einbahnig zweistreifigen Querschnitte hin-

sichtlich der Linearitätsbedingung geprüft. Demnach besteht zwischen der Unfallhäufigkeit und der Fahrleistung kein linear-proportionaler Zusammenhang. Vielmehr konnte, wie in Bild 10 dargestellt, ein logarithmischer Zusammenhang zwischen den beiden Größen festgestellt werden. Folglich scheint die Unfallrate von der Fahrleistung abhängig zu sein und die Unfallrate wäre kein geeignetes Maß für die Beurteilung der Verkehrssicherheit der freien Streckenabschnitte.

Aufgrund der bisher vorliegenden Erkenntnisse zum Unfallgeschehen auf Landstraßen (vgl. Kapitel 2.1) existierte allerdings ein Zusammenhang zwischen der Fahrbahnbreite und der Unfallhäufigkeit. Daher wurde die Prüfung der Linearitätsbedingung ebenfalls für die einbahnig zweistreifigen Querschnitte getrennt nach der Fahrbahnbreite durchgeführt. Diese Prüfung ergab den geforderten annähernd linear-proportionalen Zusammenhang zwischen der Unfallhäufigkeit und der Fahrleistung. In Bild 11 ist dieser Zusammenhang beispielhaft für die Fahrbahnbreiten 5,50 m, 7,00 m und 8,50 m dargestellt.

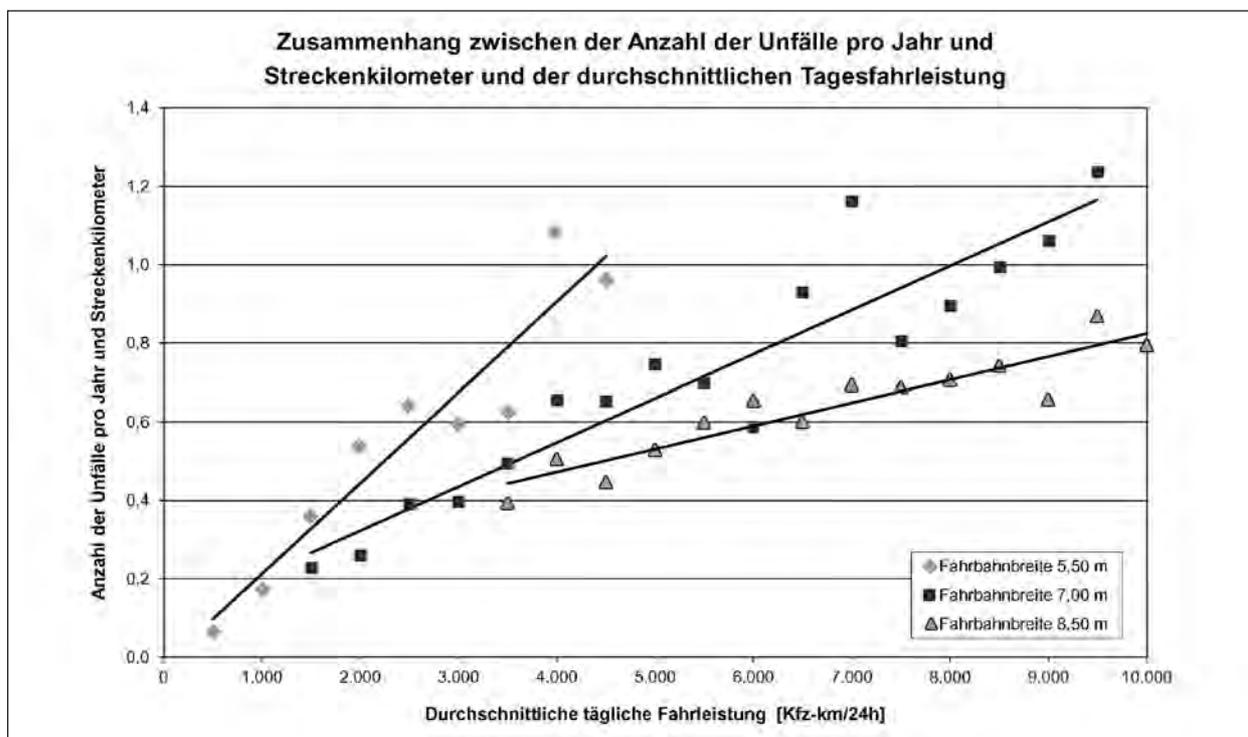
Für die zweibahnig vierstreifigen Querschnitte kann ein linear-proportionaler Zusammenhang unabhängig von der Fahrbahnbreite festgestellt werden (vgl. Bild 12). Daher wird im Folgenden für die zweibahnig vierstreifigen Querschnitte keine Unterschei-



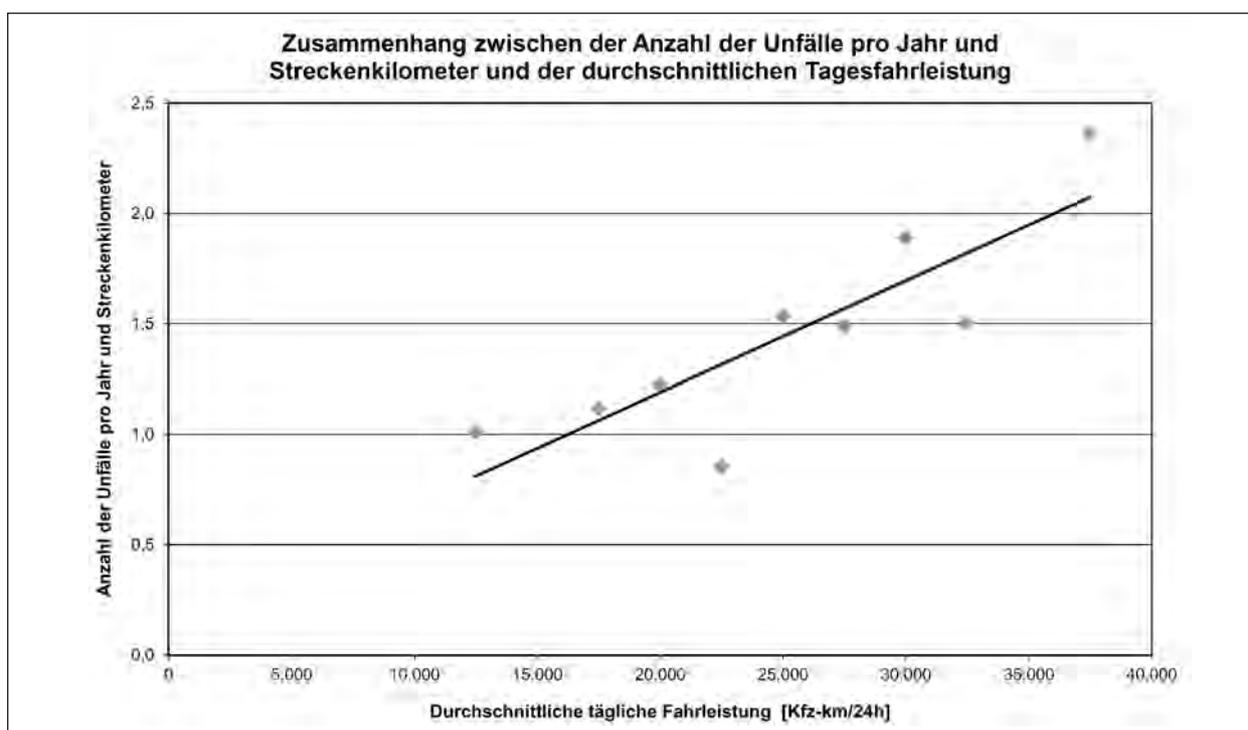
**Bild 10:** Prüfung der Linearitätsbedingung zwischen der Unfallhäufigkeit und der Fahrleistung über alle einbahnig zweistreifigen Querschnitte (freie Streckenabschnitte und Einflussbereiche)

derung nach Fahrbahnbreiten vorgenommen. Die Untersuchungsstrecken mit einer Fahrbahnbreite zwischen 14,00 m und 17,50 m werden in einer Gruppe zusammengefasst.

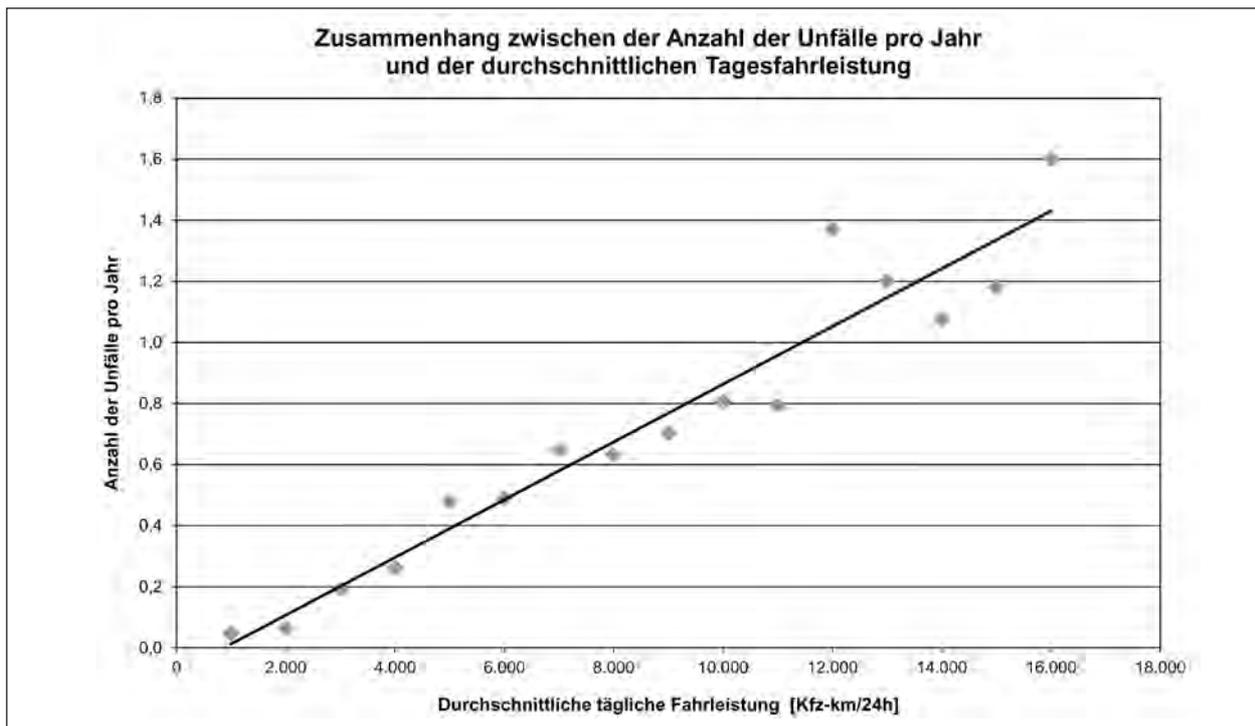
Bei den einbahnig dreistreifigen Querschnitten kann aufgrund der geringeren Stichprobe (48 Untersuchungsstrecken) keine Unterscheidung nach der Fahrbahnbreite vorgenommen werden. Auch



**Bild 11:** Prüfung der Linearitätsbedingung zwischen der Unfallhäufigkeit und der Fahrleistung für einbahnig zweistreifige Querschnitten getrennt nach der Fahrbahnbreite (Auswahl) (freie Streckenabschnitte und Einflussbereiche)



**Bild 12:** Prüfung der Linearitätsbedingung zwischen der Unfallhäufigkeit und der Fahrleistung für zweibahnig vierstreifige Querschnitte (zusammenfassend über die Fahrbahnbreiten 14,00 m bis 17,50 m) (freie Streckenabschnitte und Einflussbereiche)



**Bild 13:** Prüfung der Linearitätsbedingung zwischen der Unfallhäufigkeit und der Fahrleistung für verkehrszeichengeregelte Einmündungen

eine Linearitätsprüfung unabhängig von der Fahrbahnbreite hat aufgrund der geringen Stichprobe nur eine begrenzte Aussagekraft. Daher wird im Folgenden auch für die einbahnig dreistreifigen Querschnitte nur eine Gruppe betrachtet. Diese umfasst die Fahrbahnbreiten 10,00 m bis 12,00 m.

Eine Linearitätsprüfung wurde für die verkehrszeichengeregelten Knotenpunkte durchgeführt. Auch hier konnte ein linear-proportionaler Zusammenhang zwischen der Unfallhäufigkeit und der Fahrleistung festgestellt werden (vgl. Bild 13). Aufgrund der geringen Stichprobe bei den übrigen Knotenpunktarten hätte eine Linearitätsprüfung nur eine geringe Aussagekraft. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Linearitätsbedingung für alle Knotenpunktarten erfüllt ist.

## 6.2 Unfallgeschehen auf freien Streckenabschnitten

### 6.2.1 Verteilung nach Unfallkategorien

In den freien Streckenabschnitten (d. h. außerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte) ereigneten sich im Untersuchungszeitraum 2002 bis 2006 insgesamt 31.349 Unfälle der Kategorien 1-4. Bezogen auf die Gesamtlänge der Untersuchungsstrecken von 9.112 km ergibt sich eine Unfalldich-

Unfallkategorie	Anzahl Unfälle 2002-2006	Anteil
1	1.250	4,0 %
2	7.896	25,2 %
3	14.975	47,8 %
4	7.228	23,0 %
Gesamt	31.349	100,0 %

**Tab. 17:** Anzahl der Unfälle nach Unfallkategorie an den freien Strecken

te von 0,69 Unfällen pro Jahr und Streckenkilometer.

Bei den freien Streckenabschnitten weisen die Unfälle der Kategorie 3 den höchsten Anteil an allen Unfällen der Kategorie 1-4 auf. Ihr Anteil liegt bei knapp unter 50 %. Etwa halb so groß sind jeweils die Anteile der Kategorien 2 und 4. Die Unfälle der Kategorie 1 machen unter 5 % am gesamten Unfallgeschehen bezogen auf die Kategorien 1-4 aus (vgl. Tabelle 17).

Betrachtet man die Verteilung der Unfallschwere bezogen auf die verschiedenen Querschnittstypen, so wird deutlich, dass die Fahrbahnbreite bei den einbahnig zweistreifigen Querschnitten keinen Einfluss auf die Verteilung nach Unfallkategorien hat. Die einbahnig dreistreifigen Querschnitte weisen

Querschnittstyp (Stichprobe n)	Unfallkategorie			
	1	2	3	4
Einbahnige 1+1-Querschnitte				
5,00 m (457)	2 %	23 %	48 %	27 %
5,50 m (617)	3 %	29 %	44 %	24 %
6,00 m (954)	4 %	27 %	46 %	24 %
6,50 m (674)	4 %	27 %	45 %	25 %
7,00 m (438)	4 %	28 %	46 %	22 %
7,50 m (662)	4 %	24 %	51 %	22 %
8,00 m (516)	5 %	26 %	48 %	21 %
8,50 m (753)	5 %	25 %	51 %	19 %
Einbahnige 2+1-Querschnitte				
10,00 m bis 12,50 m (48)	5 %	18 %	45 %	32 %
Zweibahnige 2+2-Querschnitte				
14,00 m bis 17,00 m (119)	2 %	13 %	49 %	35 %

Tab. 18: Anzahl der Unfälle nach Unfallkategorie an unterschiedlichen Querschnittstypen von freien Strecken

eine annähernd gleiche Verteilung nach den Unfallkategorien auf. Aufgrund der deutlich kleineren Anzahl an Unfällen gegenüber den zweistreifigen Querschnitten wird die geringere Abweichung vermutlich statistische Gründe haben. Eine deutlich abweichende Verteilung weisen hingegen die zweibahnig vierstreifigen Querschnitte auf. Hier liegen die Anteile der Unfälle der Kategorie 1 und 2 im Vergleich zu den einbahnigen Querschnitten bei bis zu der Hälfte. Bei einbahnigen Querschnitten liegt der Anteil der Unfälle mit schwerem Personenschaden (Kategorie 1+2) bei rd. 30 %, während dieser Anteil bei den zweibahnigen bei etwa 15 % liegt (vgl. Tabelle 18).

### 6.2.2 Verteilung nach Unfalltypen

Die Unfalltypen liefern Informationen über den Unfallhergang (vgl. Kapitel 5.1). Erwartungsgemäß weisen die Unfalltypen 1 (Fahrerunfall) und 6 (Unfall im Längsverkehr) den höchsten Anteil mit zusammen rd. 70 % auf. Auf knapp 20 % kommen gemeinsam die Unfalltypen 2 (Abbiegeunfall) und 3 (Einbiegen/Kreuzen). Dadurch wird deutlich, dass die Unfälle an den „untergeordneten“ Knotenpunkten mit rd. einem Fünftel einen spürbaren Anteil am Unfallgeschehen ausmachen. Die übrigen Unfalltypen spielen nur eine untergeordnete Rolle (vgl. Tabelle 19).

Bei der Analyse der Unfalltypen gilt es zu berücksichtigen, dass im Zuge der freien Streckenab-

Unfalltyp	Anzahl Unfälle 2002-2006	Anteil
1	14.146	45,1 %
2	2.734	8,7 %
3	3.251	10,4 %
4	203	0,6 %
5	131	0,4 %
6	7.870	25,2 %
7	3.014	9,6 %
Gesamt	31.349	100,0 %

Tab. 19: Anzahl der Unfälle differenziert nach Unfalltyp

schnitte durchaus Knotenpunkte vorhanden sein können (hier als untergeordnete Knotenpunkte bezeichnet). Aufgrund der vorliegenden Datengrundlage konnten nur Knotenpunkte mit klassifizierten Straßen im Zuge der Untersuchungsabschnitte identifiziert werden. Knotenpunkte mit nicht klassifizierten Straßen (z. B. Gemeindestraßen) sind mitunter noch im Zuge der hier als „freie“ Streckenabschnitte bezeichneten Streckenabschnitte vorhanden (vgl. Kapitel 4.2). Da diese untergeordneten Knotenpunkte nicht aus der Datengrundlage ausgefiltert werden konnten, wurden ähnlich wie in früheren Untersuchungen (z. B. (BRANNOLTE et al., 1993)) neben den Unfallraten und Unfallkostenraten unter Berücksichtigung aller Unfälle (Unfalltypen 1 bis 7) auch die Unfallraten und Unfallkostenraten nur unter Berücksichtigung der sog. Streckenunfälle (Unfalltypen 1 und 4 bis 7) abgeleitet und ausgewiesen.

Betrachtet man die Unfalltypenverteilung der verschiedenen Querschnittstypen miteinander, so sind verschiedene Aspekte auffällig (vgl. Tabelle 20):

- Bei den einbahnig zweistreifigen Querschnitten nimmt der Anteil der Fahrerunfälle mit zunehmender Fahrbahnbreite kontinuierlich ab. Von einer Fahrbahnbreite von 5,00 m bis zu einer Fahrbahnbreite von 8,50 m ist ungefähr eine Halbierung des Anteils zu verzeichnen.
- Gleichzeitig nimmt der Anteil der Abbiegeunfälle und Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle mit Zunahme der Fahrbahnbreite zu.
- Die einbahnig zweistreifigen Querschnitte unterscheiden sich deutlich von den einbahnig dreistreifigen und zweibahnig vierstreifigen Querschnitten. Insbesondere der Anteil der Abbiegeunfälle und Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle liegt

bei den einbahnig zweistreifigen Querschnitten um bis zu 10fach höher als bei den beiden anderen Querschnittstypen.

- Die einbahnig dreistreifigen und die zweibahnig vierstreifigen Querschnitte ähneln sich in der Verteilung der Unfalltypen.

Die Zunahme der Fahrurfälle mit kleiner werdender Fahrbahnbreite lässt sich vermutlich durch zweierlei Sachverhalte erklären. Einerseits handelt es sich bei diesen Unfällen vielfach um Unfälle infolge nicht an die gegebenen Streckenbedingungen angepasster Geschwindigkeit. Während bei breiteren Fahrbahnen der Fahrfehler eher noch korrigiert werden kann, fehlt bei den schmalen Querschnitten meist der Platz. Andererseits handelt es sich bei schmalen Querschnitten in der Mehrzahl um eher schwach belastete Straßen. Durch den zahlenmäßigen Rückgang der Unfälle durch Konflikt mit anderen Verkehrsteilnehmern (Überholen/Begegnen) sinkt der Anteil der Längsverkehrsunfälle und steigt der Anteil der Fahrurfälle.

Die deutlich geringeren Anteile der Unfalltypen 2 und 3 bei den einbahnig dreistreifigen und zweibahnig vierstreifigen Querschnitten liegt vermutlich darin begründet, dass an diesen Querschnittstypen weniger untergeordnete Knotenpunkte existieren. Falls nicht klassifizierte Straßen angebunden sind, werden diese in der Regel mit teilplanfreien Knotenpunkten

angeschlossen. Diese weisen eine geringere Unfallrate auf als die plangleichen Knotenpunkte.

### 6.2.3 Mittlere Unfallraten

Die mittleren Unfallraten beziffern die durchschnittliche Anzahl der Unfälle bezogen auf eine Fahrleistung von 1 Mio. Kfz · km auf diesem Querschnittstyp. Die mittlere Unfallrate mehrerer Untersuchungsabschnitte des gleichen Typs errechnet sich nach folgender Formel:

$$UR = \frac{\sum(U_i \cdot 10^6)}{\sum(DTV_i \cdot L_i \cdot t_i \cdot 365)} \quad (\text{Gl. 10})$$

mit:

UR: mittlere Unfallrate mehrerer Untersuchungsabschnitte [Unfälle pro Mio. Kfz · km/a]

$U_i$ : Anzahl der Unfälle des Untersuchungsabschnittes  $i$  [-]

$DTV_i$ : durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Untersuchungsabschnittes  $i$  [Kfz/24h]

$L_i$ : Länge des Untersuchungsabschnittes  $i$  [km]

$t_i$ : Dauer des Untersuchungszeitraums in Jahren für den Untersuchungsabschnitt  $i$  [a]

Ein Vergleich der mittleren Unfallraten der verschiedenen Querschnittstypen untereinander führt zu folgenden Erkenntnissen (vgl. Tabelle 21):

Verkehrsanlage	Unfalltyp			
	1	2+3	6	Rest
Einbahnige 1+1-Querschnitte				
5,00 m	63 %	10 %	21 %	7 %
5,50 m	62 %	11 %	18 %	9 %
6,00 m	58 %	11 %	22 %	9 %
6,50 m	51 %	17 %	23 %	9 %
7,00 m	40 %	22 %	27 %	11 %
7,50 m	42 %	24 %	24 %	10 %
8,00 m	33 %	26 %	29 %	12 %
8,50 m	32 %	27 %	28 %	13 %
Einbahnige 2+1-Querschnitte				
10,00 m bis 12,50 m	54 %	3 %	28 %	15 %
Zweibahnige 2+2-Querschnitte				
14,00 m bis 17,00 m	48 %	5 %	33 %	14 %

Tab. 20: Anzahl der Unfälle nach Unfalltyp an unterschiedlichen Typen von freien Strecken

Fahrbahnbreite	Stichproben	Anzahl Unfälle	Ø DTV [Kfz/24h]	Mittlere UR [Unfälle/10 <sup>6</sup> Kfz · km]
Einbahnig zweistreifige Querschnitte				
5,00 m	457	1.125	1.264	0,69
5,50 m	617	1.917	1.570	0,65
6,00 m	954	5.414	3.020	0,62
6,50 m	674	3.896	3.825	0,48
7,00 m	438	2.701	5.216	0,37
7,50 m	662	5.322	6.418	0,37
8,00 m	516	3.639	8.442	0,25
8,50 m	753	5.557	8.765	0,25
Einbahnig dreistreifige Querschnitte				
10,00 m – 12,50 m	48	335	11.747	0,20
Zweibahnig vierstreifige Querschnitte				
14,00 m – 17,00 m	119	1.443	27.486	0,15

Tab. 21: Mittlere Unfallraten der betrachteten Querschnitte

- Bei den einbahnig zweistreifigen Querschnitten nimmt die mittlere Unfallrate mit zunehmender Fahrbahnbreite ab. Von einer Fahrbahnbreite von 5,00 m bis zu einer Fahrbahnbreite von 8,00 m ist eine Abnahme um über 60 % zu verzeichnen.
- Die mittlere Unfallrate der einbahnig dreistreifigen Querschnitte liegt rd. 20 % unterhalb der mittleren Unfallraten für die breitesten betrachteten zweistreifigen Querschnitte (8,00 m/8,50 m).
- Die mittlere Unfallrate der zweibahnig vierstreifigen Querschnitte liegt rd. 25 % unterhalb der mittleren Unfallrate der einbahnig dreistreifigen Querschnitte.

Somit ergibt sich auf Grundlage der Unfallraten folgende Reihenfolge bzgl. der Verkehrssicherheit (von sicher bis unsicher):

- (1) zweibahnig vierstreifige Querschnitte,
- (2) einbahnig dreistreifige Querschnitte,
- (3) breite einbahnig zweistreifige Querschnitte,
- (4) schmale einbahnig zweistreifige Querschnitte.

Werden bei der Ermittlung der mittleren Unfallraten nur die sog. „Streckenunfälle“ (Unfalltypen 1 und 4 bis 7) berücksichtigt, so ergibt sich im Wesentlichen das gleiche Bild wie unter Berücksichtigung sämtlicher Unfälle. Lediglich bei den einbahnig zweistreifigen Querschnitten weisen die 7,50 m breiten Fahrbahnen eine etwas höhere mittlere Unfallrate auf als die nächstschmalere Fahrbahnbreitenklasse. Gleiches gilt für die Fahrbahnen mit einer Breite von 8,50 m (vgl. Tabelle 22).

Die Unfallraten der einzelnen Streckenabschnitte innerhalb des jeweiligen Untersuchungskollektivs weichen zum Teil stark von den dargestellten mittleren Unfallraten ab. Um diese Abweichungen von der mittleren Unfallrate darstellen zu können, werden die Unfallraten der einzelnen Untersuchungsstreckenabschnitte getrennt für die einzelnen Untersuchungskollektive in Form von sog. „Box-Whisker-Diagrammen“ dargestellt.

Hierzu wird eine „Box“ definiert, deren „Boden“ sich aus dem 15%-Quantil und deren „Deckel“ sich aus dem 85%-Quantil der Verteilung der Unfallraten der jeweils betrachteten Streckenabschnitte bildet. Die Höhe der Box repräsentiert die Spannweite der Unfallraten der mittleren 70 % der betrachteten Streckenabschnitte. In der Statistik gibt es keine ein-

deutige Empfehlung, welche Quantile für die Spannweite der Box gewählt werden sollten. In der vorliegenden Untersuchung wurden das 15%- und 85%-Quantil gewählt, da diese Quantile auch in anderen Bereichen der Verkehrstechnik (z. B. bei Geschwindigkeiten  $V_{15}$ ,  $V_{85}$ ) gewöhnlich zur Anwendung kommen.

Üblicherweise wird neben der „Box“ eine zusätzliche Darstellung in den „Box-Whisker-Diagrammen“ gewählt. Dabei handelt es sich um den sog. „Whisker“. Dieser „Whisker“ dient in der Statistik zur Identifizierung von Ausreißern bzw. Extremwerten. Er wird i.d.R. mit der 1,5fachen Höhe der Box festgesetzt. In den nachfolgenden Darstellungen wird der „Whisker“ allerdings bis zu den kleinsten bzw. größten Werten der jeweiligen Streckenkollektive ausgedehnt, damit ein Eindruck von der maximalen Spannweite der Verteilung der Unfallraten gewonnen werden kann.

Aus den Box-Whisker-Diagrammen (siehe Bild 14 und Bild 15) werden folgende Eigenschaften der zugrunde liegenden Verteilungen der Unfallraten ersichtlich:

- Die „Box“-Höhe (die Spannweite zwischen dem 15%- und 85%-Quantil der Verteilung) nimmt mit Zunahme der Fahrbahnbreite ebenfalls ab, d. h., die Streuung der Verteilung wird geringer.

Fahrbahnbreite	Stichproben	Anzahl Unfälle	Ø DTV [Kfz/24h]	Mittlere UR [Unfälle/10 <sup>6</sup> Kfz · km]
Einbahnig zweistreifige Querschnitte				
5,00 m	457	979	1.264	0,60
5,50 m	617	1.533	1.570	0,52
6,00 m	954	4.066	3.020	0,46
6,50 m	674	2.747	3.825	0,34
7,00 m	438	1.869	5.216	0,25
7,50 m	662	4.139	6.418	0,28
8,00 m	516	2.617	8.442	0,18
8,50 m	753	4.432	8.765	0,20
Einbahnig dreistreifige Querschnitte				
10,00 m – 12,50 m	48	308	11.747	0,18
Zweibahnig vierstreifige Querschnitte				
14,00 m – 17,00 m	119	1.381	27.486	0,15

Tab. 22: Mittlere Unfallraten der betrachteten Querschnitte (Basis: UT 1, 4-7)

- Bedingt ist diese Abnahme durch die Abnahme des Wertes für das 85%-Quantil. Das 15%-Quantil der Fahrbahnbreiten liegt für die Fahrbahnbreiten von 5,00 m und 5,50 m bei einem

Wert von null. Für die größeren Fahrbahnbreiten liegt dieser Wert auf einem gleich bleibenden niedrigen Niveau.

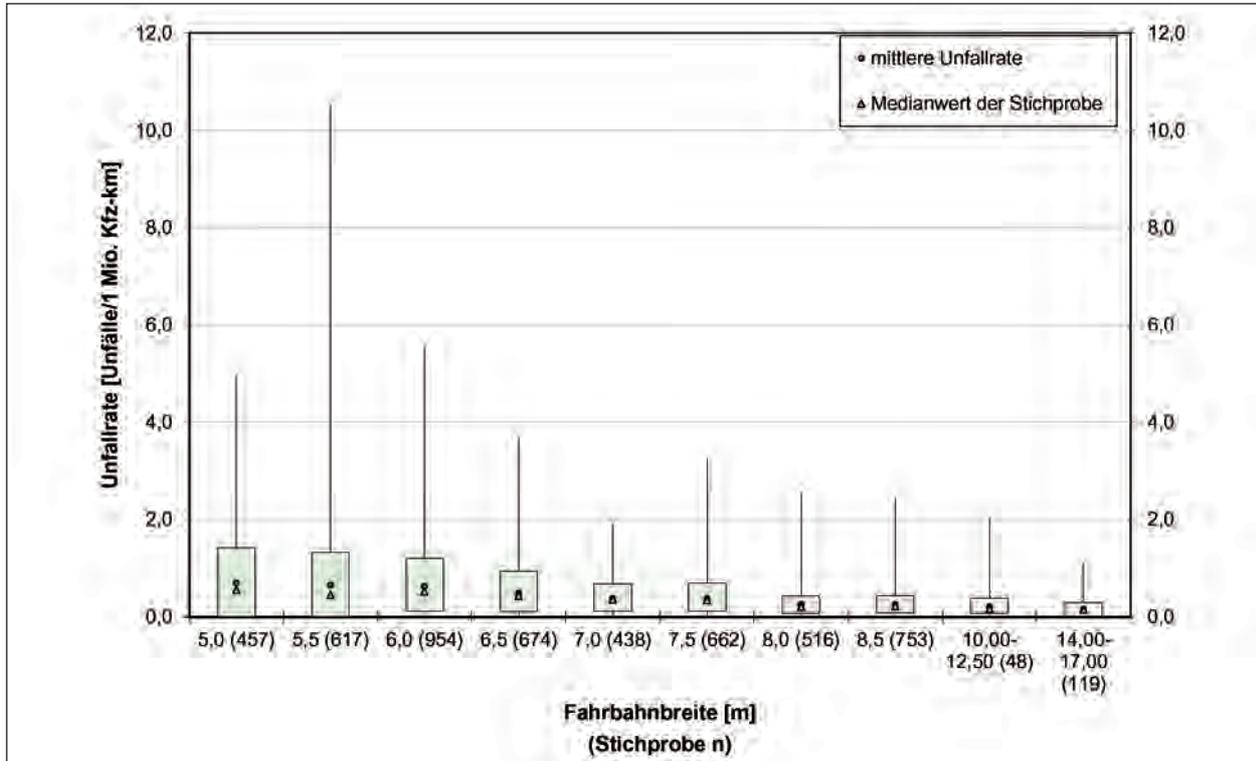


Bild 14: Box-Whisker-Diagramm der Verteilung der mittleren Unfallraten der freien Streckenabschnitte

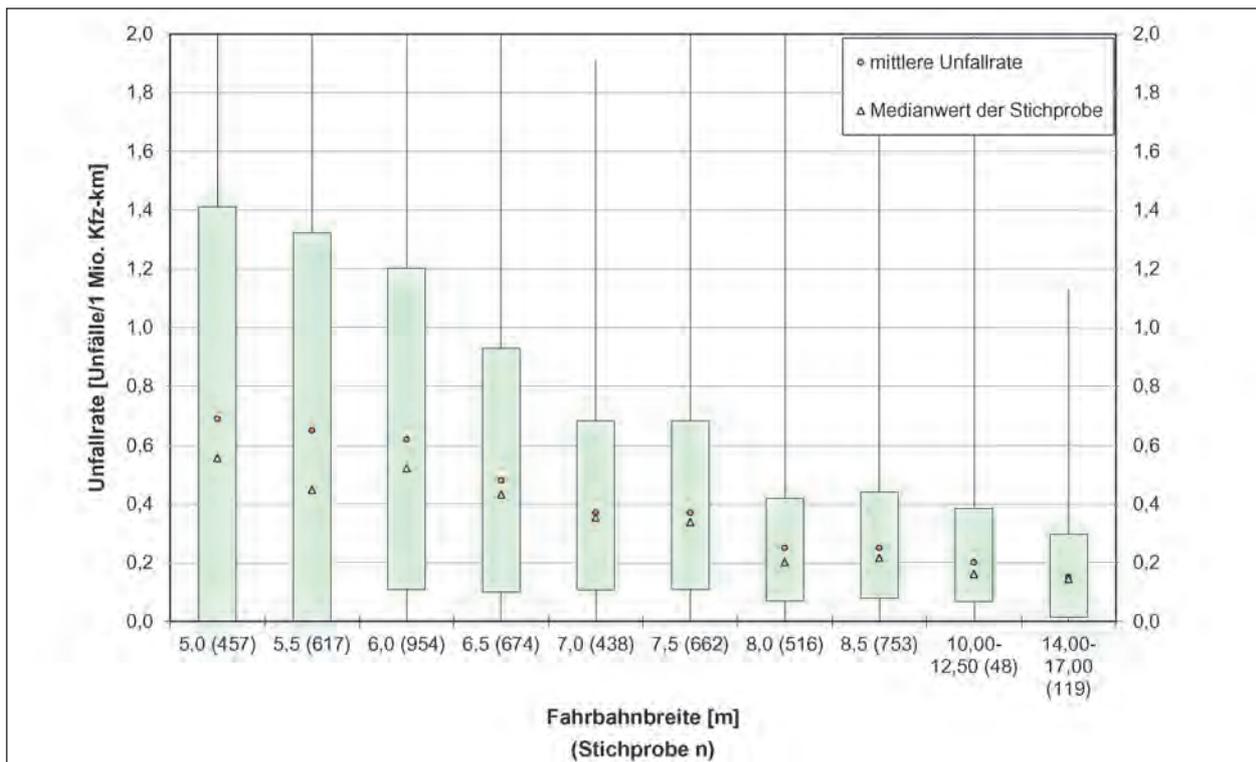


Bild 15: Ausschnitt aus dem Box-Whisker-Diagramm der Verteilung der mittleren Unfallraten der freien Streckenabschnitte

- Die mittlere Unfallrate liegt bei allen Fahrbahnbreiten über dem Median der Verteilung. D. h., mindestens 50 % der untersuchten Streckenabschnitte weisen eine geringere Unfallrate als die mittlere Unfallrate des gesamten Kollektivs auf.
- Die „Box“-Höhen der einbahnig dreistreifigen und zweibahnig vierstreifigen Querschnitte sind gegenüber den einbahnig zweistreifigen Querschnitten geringer.

#### 6.2.4 Mittlere Unfallkostenraten

Für die freien Streckenabschnitte wurden die Unfallkostenraten bestimmt. Die Bestimmung erfolgte dabei sowohl auf Grundlage von pauschalen sowie auch auf Grundlage von nach Unfalltypen angepassten Unfallkostensätzen (vgl. Kapitel 5.2). Die mittlere Unfallkostenrate mehrerer Untersuchungsabschnitte des gleichen Typs errechnet sich nach folgender Formel:

$$UKR = \frac{\sum(UK_i \cdot 106)}{\sum(DTV_i \cdot L_i \cdot t_i \cdot 365)} \quad (\text{Gl. 11})$$

mit:

UKR: mittlere Unfallkostenrate mehrerer Untersuchungsabschnitte  
[Unfälle pro Mio. Kfz · km/a]

UK<sub>i</sub>: Unfallkosten des Untersuchungsabschnittes i  
[€]

DTV<sub>i</sub>: durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Untersuchungsabschnittes i [Kfz/24h]

L<sub>i</sub>: Länge des Untersuchungsabschnittes i [km]

t<sub>i</sub>: Dauer des Untersuchungszeitraums in Jahren für den Untersuchungsabschnitt i [a]

Ein Vergleich der pauschalen Unfallkostenraten für die einbahnig zweistreifigen Querschnitte führt zu analogen Ergebnissen wie schon der Vergleich der Unfallraten (vgl. Tabelle 23):

- Mit zunehmender Fahrbahnbreite ist eine kontinuierliche Abnahme der pauschalen Unfallkostenraten zu verzeichnen.
- Ausnahme bilden die einbahnigen zweistreifigen Querschnitte mit einer Fahrbahnbreite von 5,00 m. Deren mittlere Unfallkostenrate liegt unterhalb der Querschnitte mit einer Fahrbahnbreite von 5,50 m und 6,00 m. Auf den schmalen Querschnitten scheinen somit insbesondere die

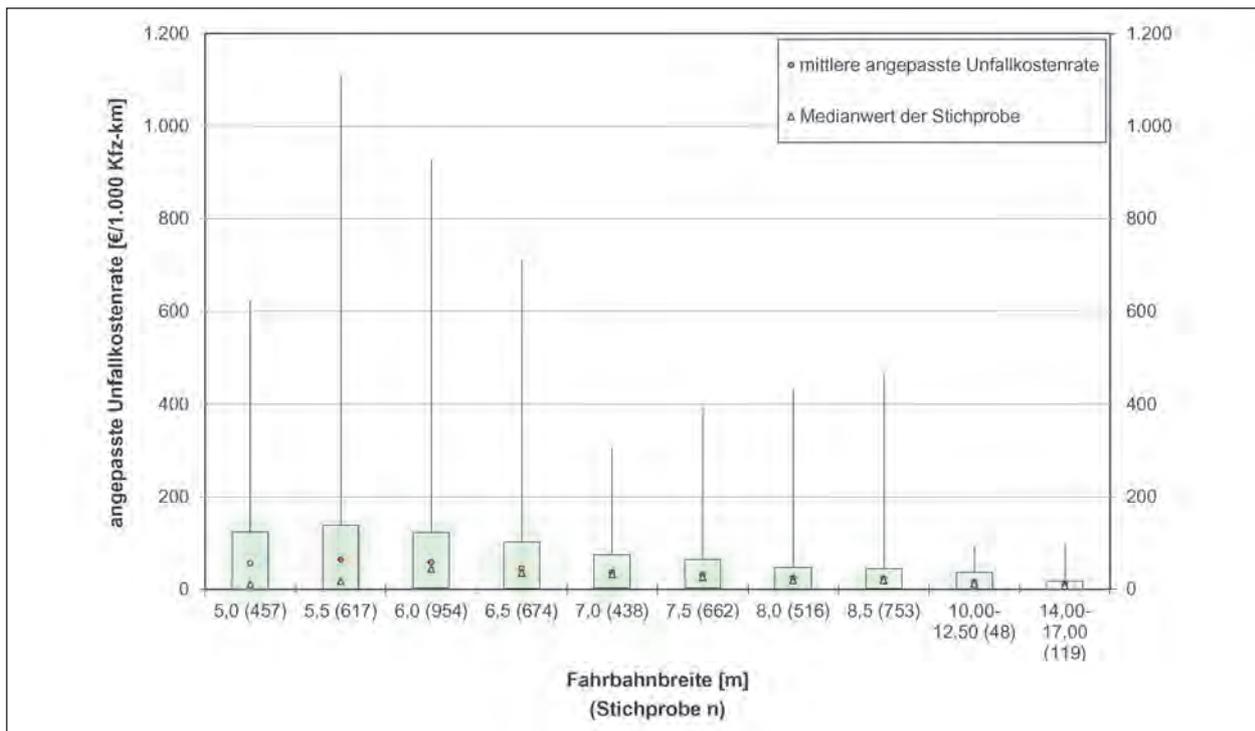
Unfallfolgen günstiger auszufallen als auf den breiteren Querschnitten. Ursache hierfür könnte ein verändertes Fahrverhalten aufgrund der fehlenden Mittelmarkierung sein.

Fahrbahnbreite	Stichproben	Anzahl Unfälle	Ø DTV [Kfz/24h]	Mittlere UKRp [€/10 <sup>3</sup> Kfz · km]
Einbahnig zweistreifige Querschnitte				
5,00 m	457	1.125	1.264	55,4
5,50 m	617	1.917	1.570	63,4
6,00 m	954	5.414	3.020	57,4
6,50 m	674	3.896	3.825	44,4
7,00 m	438	2.701	5.216	35,8
7,50 m	662	5.322	6.418	31,5
8,00 m	516	3.639	8.442	23,8
8,50 m	753	5.557	8.765	23,2
Einbahnig dreistreifige Querschnitte				
10,00 m – 12,50 m	48	335	11.747	14,6
Zweibahnig vierstreifige Querschnitte				
14,00 m – 17,00 m	119	1.443	27.486	10,3

Tab. 23: Mittlere pauschale Unfallkostenraten der untersuchten Querschnitte

Fahrbahnbreite	Stichproben	Anzahl Unfälle	Ø DTV [Kfz/24h]	Mittlere UKRp [€/10 <sup>3</sup> Kfz · km]
Einbahnig zweistreifige Querschnitte				
5,00 m	457	1.125	1.264	55,8
5,50 m	617	1.917	1.570	63,8
6,00 m	954	5.414	3.020	57,9
6,50 m	674	3.896	3.825	44,5
7,00 m	438	2.701	5.216	36,0
7,50 m	662	5.322	6.418	31,2
8,00 m	516	3.639	8.442	23,9
8,50 m	753	5.557	8.765	23,1
Einbahnig dreistreifige Querschnitte				
10,00 m – 12,50 m	48	335	11.747	14,8
Zweibahnig vierstreifige Querschnitte				
14,00 m – 17,00 m	119	1.443	27.486	9,8

Tab. 24: Mittlere angepasste Unfallkostenraten der untersuchten Querschnitte



**Bild 16:** Box-Whisker-Diagramm der Verteilung der angepassten Unfallkostenraten der betrachteten Querschnitte

- Die Unfallkostenrate der einbahnig dreistreifigen Querschnitte liegt rd. 30 % unterhalb der Werte für die einbahnig zweistreifigen Querschnitte.
- Die Unfallkostenrate der zweibahnig vierstreifigen Querschnitte liegt rd. ein Drittel unterhalb der Rate für die einbahnig dreistreifigen Querschnitte.

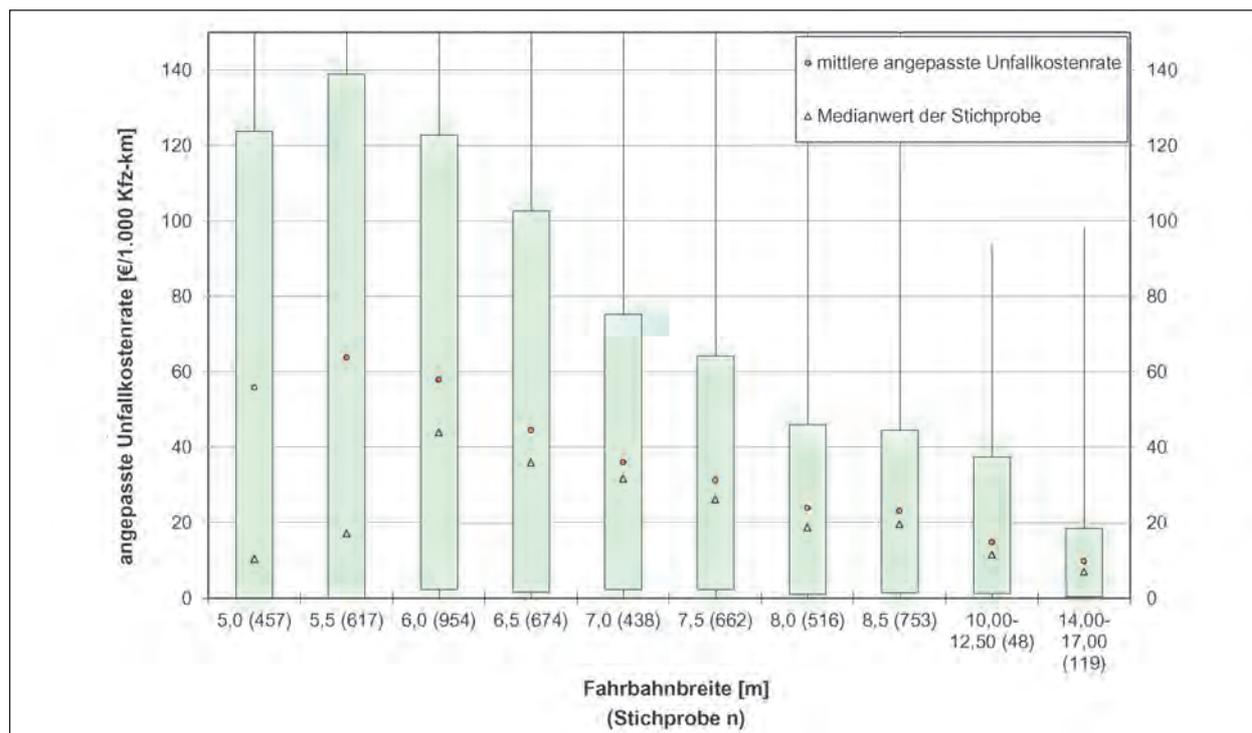
Die nach Unfalltypen angepassten Unfallkostenraten für die einbahnig, zweistreifigen Querschnitte liegen in etwa in derselben Größenordnung wie die pauschalen Unfallkostenraten (vgl. Tabelle 24). Daher werden im Folgenden – insbesondere für die Ableitung der Grundunfallkosten – nur noch die angepassten Unfallkostenraten betrachtet, da sich diese nach Kapitel 5.2 besser für die vergleichende Bewertung von größeren Untersuchungskollektiven eignen.

Weitere Erkenntnisse zum Sicherheitsgrad der Querschnittstypen der untersuchten Streckenabschnitte lassen sich aus den Box-Whisker-Diagrammen erkennen (vgl. Bild 16 und Bild 17):

- Auch bei den angepassten Unfallkostenraten ist eine Abnahme der „Boxhöhe“ mit Zunahme der Fahrbahnbreite zu verzeichnen. Ausnahme hiervon bilden die Querschnitte mit einer Fahrbahnbreite von 5,00 m.

- Mit Ausnahme der Querschnitte mit einer Fahrbahnbreite unterhalb von 6,00 m liegt der Medianwert der Verteilung knapp unterhalb der mittleren Unfallkostenrate.
- Bei den Querschnitten mit einer Fahrbahnbreite kleiner 6,00 m liegt der Medianwert der Verteilung deutlich unterhalb der mittleren Unfallkostenrate. Daraus lässt sich folgern, dass bei diesen Querschnitten das Kollektiv sowohl von Anlagen geprägt ist, die eine sehr geringe Unfallkostenrate haben, als auch solche mit sehr hohen Unfallkostenraten, während bei den breiteren Querschnitten ein deutlich homogeneres Kollektiv vorliegt.
- Die „Boxhöhen“ einbahnig dreistreifiger und zweibahnig vierstreifiger Querschnitte sind geringer als diejenigen einbahnig zweistreifiger Querschnitte.

Ursache der großen Streuung bei den geringen Fahrbahnbreiten sind deren geringe Verkehrsbelastungen. Da sich die Unfallkostenraten aus dem Verhältnis der Unfallkosten zur Fahrleistung ergeben, kann ein einzelner Unfall der Kategorie 1 oder 2 bei geringer Fahrleistung schon zu einer erheblichen Unfallkostenrate führen. Bei den breiteren Fahrbahnen ist die Verkehrsbelastung deutlich höher, sodass sich die Unfallkosten eines einzelnen Unfalls bei hoher Verkehrsbelastung deutlich gering-



**Bild 17:** Ausschnitt aus den Box-Whisker-Diagrammen der Verteilung der angepassten Unfallkostenraten der betrachteten Querschnitte

ger bemerkbar machen als bei geringen Verkehrsbelastungen.

## 6.3 Unfallgeschehen in Einflussbereichen von Knotenpunkten

### 6.3.1 Verteilung nach Unfallkategorien

An die freien Streckenabschnitte schließen beidseitig jeweils Knotenpunkte an. Damit existieren je freiem Streckenabschnitt jeweils zwei Einflussbereiche von Knotenpunkten. Dies wären bei 5.238 freien Streckenabschnitten insgesamt 10.476 Einflussbereiche. Da die Untersuchungsabschnitte jedoch noch nach der Ortslage unterteilt wurden, gibt es bei einem Teil der Streckenabschnitte Übergänge von außerorts zu innerorts. Diese Übergänge sind nicht zwangsläufig auch mit einem Knotenpunkt verbunden. Da aus der Datenbasis nicht erkennbar ist, ob ein Knotenpunkt im Übergangsbereich vorliegt, wurden diejenigen Einflussbereiche aus dem Untersuchungskollektiv gestrichen, die vor einem Übergang liegen. Somit blieben für die detaillierte Betrachtung der Verkehrssicherheit der Einflussbereiche insgesamt 7.179 Einflussbereiche übrig.

In den Einflussbereichen ereigneten sich im Untersuchungszeitraum 2002 bis 2006 insgesamt 11.001

Unfallkategorie	Anzahl Unfälle 2002-2006	Anteil
1	285	2,6 %
2	2.337	21,2 %
3	5.544	50,4 %
4	2.835	25,8 %
Gesamt	11.001	100,0 %

**Tab. 25:** Anzahl der Unfälle nach Unfallkategorie in den Einflussbereichen

Unfälle. Dies entspricht bezogen auf die Gesamtlänge der betrachteten Einflussbereiche einer Unfalldichte von 0,68 Unfällen pro Jahr und Streckenkilometer. Damit liegt die Unfalldichte der Einflussbereiche geringfügig unterhalb derjenigen der freien Streckenabschnitte.

Vergleicht man die Verteilung nach der Unfallschwere, so stellen sich die Einflussbereiche im Schnitt günstiger dar als die freien Streckenabschnitte. Der Anteil der Unfälle mit schwerem Personenschaden liegt hier bei rd. 24 % gegenüber rd. 29 % bei den freien Streckenabschnitten. Dementsprechend größer fallen die Anteile der Unfallkategorien 3 und 4 am Unfallgeschehen aus (vgl. Tabelle 25).

### 6.3.2 Verteilung nach Unfalltypen

Ein weiterer Unterschied im Unfallgeschehen zwischen den Einflussbereichen und den freien Streckenabschnitten wird bei der Betrachtung der Unfalltypen erkennbar. Während sich die Anteile der Unfalltypen 4-7 für beide Kollektive gleichen, wird der Unterschied zwischen den Kollektiven bei den Unfalltypen 1-3 deutlich. So nimmt der Anteil der Fahrurfälle (Unfalltyp 1) in den Einflussbereichen im Vergleich zu freien Streckenabschnitten um rd. ein Fünftel ab. Im gleichen Maß nehmen die Abbiegen- und Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle zu (vgl. Tabelle 26).

Da der Einflussbereich erst 50 m nach dem Mittelpunkt des Knotenpunktes beginnt, liegt zunächst keine naheliegende Ursache vor, die einen Anstieg der Anteile der Unfalltypen 2 und 3 begründen würde. Daher wurde zunächst der Anteil der Unfalltypen nach den Querschnittstypen differenziert betrachtet. Während bei den schmalen einbahnigen Querschnitten nur leichte Veränderungen der Anteile gegenüber den freien Streckenabschnitten zu erkennen sind, ist bei den breiteren einbahnig zweistreifigen Querschnitten eine deutliche Zunahme der Anteile der Unfalltypen 2 und 3 zu erkennen (vgl. Tabelle 27).

Deutlichere Unterschiede ergeben sich für die einbahnig dreistreifigen Querschnitte. Hier sind erhebliche Zunahmen der Anteile der Unfalltypen 2 und 3 erkennbar. Gegenüber den dreistreifigen Querschnitten sind die Zunahmen bei den zweibahnig vierstreifigen Strecken deutlich geringer. Diese liegen jedoch deutlich über den Zunahmen für die zweistreifigen Querschnitte.

Die Auswertung der Unfalltypenverteilung in Bezug auf die Querschnittstypen ergab keine eindeutigen Hinweise auf die Ursache der Zunahme der Unfalltypen 2+3 in den Einflussbereichen.

Ein mögliche Erklärung könnte – aufgrund der starken Zunahmen der Anteile bei den drei- und vierstreifigen Querschnittstypen – sein, dass aufgrund der Datengrundlage eine fehlerhafte Zuordnung der Knotenpunkte erfolgte. So wurde als Knotenpunkt der Schnittpunkt der Achsen der beiden klassifizierten Straßen definiert. Dieser fällt allerdings nur bei plangleichen Knotenpunkten mit dem verkehrlich relevanten Teilknotenpunkt zusammen. Bei teilplan- gleichen, teilplanfreien und planfreien Knotenpunkten – wie sie für einbahnig dreistreifige und zweibahnig vierstreifige Streckenabschnitte üblich

Unfalltyp	Anzahl Unfälle 2002-2006	Anteil
1	4.021	36,6 %
2	1.364	12,4 %
3	1.784	16,2 %
4	69	0,6 %
5	58	0,5 %
6	2.727	24,8 %
7	978	8,9 %
Gesamt	11.001	100,0 %

Tab. 26: Anzahl der Unfälle in den Einflussbereichen differenziert nach Unfalltyp

Fahrbahnbreite der anschließenden freien Strecke	Unfalltyp			
	1	2+3	6	Rest
Einbahnige 1+1-Querschnitte				
5,00 m	62 %	10 %	18 %	10 %
5,50 m	56 %	20 %	17 %	7 %
6,00 m	48 %	21 %	22 %	10 %
6,50 m	46 %	26 %	21 %	8 %
7,00 m	35 %	31 %	23 %	11 %
7,50 m	34 %	32 %	24 %	10 %
8,00 m	26 %	38 %	24 %	11 %
8,50 m	26 %	36 %	28 %	11 %
Einbahnige 2+1-Querschnitte				
10,00 m – 12,50 m	32 %	41 %	19 %	8 %
Zweibahnige 2+2-Querschnitte				
14,00 m - 17,00 m	45 %	9 %	37 %	9 %

Tab. 27: Anteil der Unfalltypen in den Einflussbereichen in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite des anschließenden freien Streckenabschnittes

sind – ist dies in der Regel nicht der Fall. Daher wurden vermutlich hier teilweise Knotenpunkte den Einflussbereichen zugeordnet.

Aus den Knotenpunktuntersuchungen konnten insgesamt 1.127 Einflussbereiche identifiziert werden, an denen sich Unfälle ereigneten. Dabei wurde unterschieden, ob es sich um eine Zufahrt zum Knotenpunkt handelt, in der die Verkehrsströme in der Hauptrichtung durch Verkehrszeichen bevorrechtigt oder wartepflichtig sind. Hierbei wurden Zufahrten zu Kreisverkehren als wartepflichtige Zufahrt angesehen. Weiterhin wurden Zufahrten mit Signalregelung betrachtet. Diese gesonderte Betrachtung zeigt, dass auch in den Einflussbereichen von plan-

Unfalltyp	Hauptstrom in der Zufahrt am (plangleichen) Knotenpunkt ist ...		
	bevorrechtigt	signalgeregelt	wartepflichtig
1	43,2 %	23,2 %	52,5 %
2	11,2 %	12,8 %	11,1 %
3	14,1 %	19,3 %	10,5 %
4	0,9 %	0,6 %	1,0 %
5	0,7 %	1,6 %	0,3 %
6	21,8 %	33,9 %	17,2 %
7	8,1 %	8,5 %	7,3 %
Gesamt	100,0 %	100,0 %	100,0 %

**Tab. 28:** Anteil der Unfalltypen in den Einflussbereichen in Abhängigkeit von der Verkehrsregelung am anschließenden plangleichen Knotenpunkt

gleichen Knotenpunkten hohe Anteile der Unfälle vom Unfalltyp 2 und 3 vorhanden sind. Dabei ist ein deutlicher Unterschied zwischen den einzelnen Verkehrsregelungen am Knotenpunkt zu erkennen (vgl. Tabelle 28).

### 6.3.3 Mittlere Unfallraten

Hinsichtlich der Verteilung der Unfälle nach der Unfallkategorie und dem Unfalltyp sind Unterschiede zwischen den Einflussbereichen und den freien Streckenabschnitten zu erkennen. Daher ist zu erwarten, dass sich auch die Unfallraten dieser beiden Untersuchungskollektive voneinander unterscheiden. In die Ermittlung der Unfallraten wurden zunächst alle 7.179 Einflussbereiche einbezogen. Die Unfallraten wurden dabei getrennt nach den Querschnittstypen der angrenzenden freien Streckenabschnitte berechnet (vgl. Tabelle 29).

Die mittleren Unfallraten der Einflussbereiche der einbahnig zweistreifigen Querschnitte zeigen in ihrer Tendenz einen gleichen Verlauf wie die Unfallraten der anschließenden freien Streckenabschnitte. D. h., mit Zunahme der Fahrbahnbreite ist eine Abnahme der mittleren Unfallrate verbunden. Dabei liegen die mittleren Unfallraten der Einflussbereiche zum größeren Teil unter den mittleren Unfallraten der freien Streckenabschnitte.

Die mittlere Unfallrate der Einflussbereiche im Anschluss an einbahnig dreistreifige Querschnitte liegt in derselben Größenordnung wie die mittlere Unfallrate für die entsprechend anschließenden freien Streckenabschnitte. Bei den Einflussbereichen im Anschluss an zweibahnig vierstreifige freie Streckenabschnitte ist eine Zunahme der mittleren

Fahrbahnbreite der anschl. freien Strecke	Stichproben	Anzahl Unfälle	Ø DTV [Kfz/24h]	Mittlere UR [€10 <sup>6</sup> Kfz · km]
Einbahnig zweistreifige Querschnitte				
5,00 m	388	254	1.186	0,61
5,50 m	525	372	1.409	0,55
6,00 m	820	1.172	2.869	0,55
6,50 m	657	940	3.628	0,43
7,00 m	426	719	4.946	0,37
7,50 m	816	1.380	5.838	0,32
8,00 m	728	1.266	7.654	0,25
8,50 m	1.142	2.339	7.971	0,28
Einbahnig dreistreifige Querschnitte				
10,00 m – 12,50 m	46	101	12.128	0,20
Zweibahnig vierstreifige Querschnitte				
14,00 m – 17,00 m	185	829	26.486	0,19

**Tab. 29:** Mittlere Unfallraten der Einflussbereiche in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite der anschließenden freien Strecke

Unfallrate gegenüber derjenigen der anschließenden freien Streckenabschnitte zu erkennen. Die Ursache dieser Zunahme kann wiederum im Zusammenhang mit den dort überwiegend geplanten teilplanfreien und planfreien Knotenpunkten gesehen werden. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass sich die mittleren Unfallraten in den Einflussbereichen der Knotenpunkte von denjenigen der anschließenden freien Strecken unterscheiden.

Ob die Veränderung der mittleren Unfallraten bei den Einflussbereichen zusätzlich mit der Regelung am Knotenpunkt zusammenhängt, kann ein Vergleich der Unfallraten der Einflussbereiche mit anschließender Verkehrsregelung erörtern. Aufgrund der Datengrundlage konnten nur plangleiche Knotenpunkte in die Betrachtung einbezogen werden. Dieser Vergleich zeigt, dass die Unfallrate in Abhängigkeit zur Verkehrsregelung am Knotenpunkt steht. Dabei wurden für den Vergleich nur Einflussbereiche berücksichtigt, die einen Stichprobenumfang von mindestens 10 Strecken aufweisen (vgl. Tabelle 30).

Bei den Einflussbereichen, bei denen der Hauptstrom am anschließenden Knotenpunkt bevorrechtigt ist, ist eine deutliche Abnahme der Unfallraten mit Zunahme der Fahrbahnbreite zu erkennen. Bei

Fahrbahn- breite der anschließen- den freien Strecke	Mittlere UR [Unfälle/10 <sup>6</sup> Kfz · km] bei Hauptstrom in der Zufahrt am Knotenpunkt ... (Stichprobe n)		
	bevor- rechtigt	signal- geregelt	warte- pflichtig
Einbahnig zweistreifige Querschnitte			
5,00 m	0,75 (18)	- (3)	0,31 (32)
5,50 m	0,64 (33)	- (6)	0,45 (49)
6,00 m	0,46 (83)	0,24 (12)	0,38 (72)
6,50 m	0,40 (74)	0,39 (18)	0,44 (47)
7,00 m	0,35 (72)	0,31 (29)	0,36 (30)
7,50 m	0,33 (82)	0,31 (38)	0,53 (22)
8,00 m	0,20 (78)	0,12 (62)	0,33 (13)
8,50 m	0,21 (89)	0,24 (49)	0,10 (11)
Einbahnig dreistreifige Querschnitte			
10,00 m – 12,50 m	0,42 (38)	- (4)	- (1)
Zweibahnig vierstreifige Querschnitte			
14,00 m – 17,00 m	0,29 (13)	0,18 (32)	- (3)

**Tab. 30:** Mittlere Unfallraten der Einflussbereiche in Abhängigkeit von der Verkehrsregelung am anschließenden plangleichen Knotenpunkt

den Einflussbereichen, bei denen der Hauptstrom am Knotenpunkt signalgeregelt ist, ist kein eindeutiger Zusammenhang mit der Fahrbahnbreite zu erkennen. Hier scheint das Unfallgeschehen eher unabhängig von der Fahrbahnbreite der angrenzenden Streckenabschnitte zu sein. Allerdings liegen die Unfallraten mit einer Ausnahme unterhalb der Unfallraten bei den bevorrechtigten Zufahrten.

Bei den Einflussbereichen, bei denen die Hauptströme am anschließenden plangleichen Knotenpunkt wartepflichtig sind, ist kein eindeutiger Trend zu erkennen.

Die Ursache dafür, dass die Unfallraten der Einflussbereiche mit anschließender Signalregelung deutlich günstiger im Vergleich zu den übrigen Verkehrsregelungen ausfallen, kann in der Tatsache begründet liegen, dass in der Zufahrt zu lichtsignalgeregelten Knotenpunkten eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h anzuordnen ist, während die übrigen Zufahrten keine Geschwindigkeitsbeschränkungen aufweisen müssen.

Für die Einflussbereiche im Anschluss an drei- und vierstreifige freie Streckenabschnitte ist der Stichprobenumfang des Untersuchungskollektivs zu ge-

ring, um Aussagen über die unterschiedlichen Verkehrsregelungen treffen zu können. Lediglich für die bevorrechtigten Hauptströme am anschließenden Knotenpunkt sowie für die signalgeregelten Zufahrten im Anschluss an zweibahnig vierstreifige Streckenabschnitte konnten mittlere Unfallraten ermittelt werden. Auffällig ist, dass in den drei Fällen jeweils die mittleren Unfallraten der Einflussbereiche über denjenigen der anschließenden freien Streckenabschnitte liegen.

### 6.3.4 Mittlere Unfallkostenraten

Aufbauend auf den Erkenntnissen zu den Unfallraten wurde bei der Ermittlung der mittleren angepassten Unfallkostenraten direkt eine Unterteilung nach der Verkehrsregelung am anschließenden plangleichen Knotenpunkt vorgenommen (vgl. Tabelle 31).

Bei den mittleren angepassten Unfallkostenraten der Einflussbereiche im Anschluss an einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte, bei denen der Hauptstrom am anschließenden Knotenpunkt bevorrechtigt ist, ist tendenziell eine Abnahme mit Zunahme der Fahrbahnbreite der anschließenden freien Strecke zu erkennen.

Die mittleren Unfallkostenraten der Einflussbereiche im Anschluss an einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte, bei denen der Hauptstrom am anschließenden Knotenpunkt signalgeregelt ist, weisen keine einheitliche Tendenz auf. Das Gleiche gilt auch für Einflussbereiche im Anschluss an einbahnig zweistreifige Streckenabschnitte, bei denen der Hauptstrom am anschließenden Knotenpunkt wartepflichtig ist, zu erkennen.

Bis auf wenige Ausnahmen liegen die mittleren angepassten Unfallkostenraten der Einflussbereiche der verschiedenen Querschnittstypen einbahnig zweistreifiger Straßen unterhalb derer der anschließenden freien Strecken.

Bei den Einflussbereichen im Anschluss an die drei- und vierstreifigen freien Streckenabschnitte ist eine deutliche Zunahme der mittleren angepassten Unfallkostenraten gegenüber derjenigen der anschließenden freien Strecken zu verzeichnen. So liegt die mittlere angepasste Unfallkostenrate der Einflussbereiche, deren Hauptstrom am anschließenden Knotenpunkt bevorrechtigt ist, um das 1,75fache über der mittleren angepassten Unfallkostenrate der anschließenden freien Strecke.

Bei den Einflussbereichen mit anschließender Signalregelung im Knotenpunkt liegt die mittlere ange-

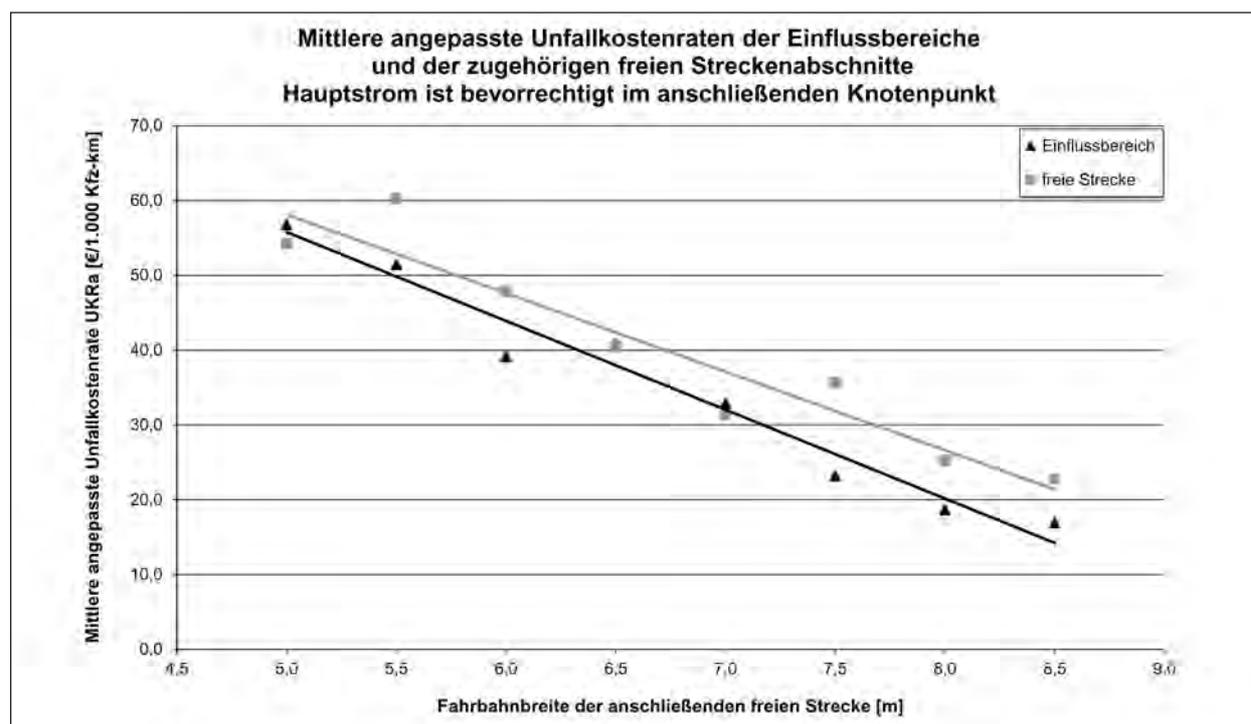
Fahrbahn- breite der anschließen- den freien Strecke	Mittlere UKRa [Unfälle/10 <sup>3</sup> Kfz · km] bei Hauptstrom in der Zufahrt am Knotenpunkt ... (Stichprobe n)		
	bevor- rechtigt	signal- geregelt	warte- pflichtig
Einbahnig zweistreifige Querschnitte			
5,00 m	56,9 (18)	- (3)	50,0 (32)
5,50 m	51,5 (33)	- (6)	48,8 (49)
6,00 m	39,2 (83)	10,3 (12)	34,5 (72)
6,50 m	40,9 (74)	26,4 (18)	43,8 (47)
7,00 m	32,9 (72)	17,8 (29)	48,9 (30)
7,50 m	23,2 (82)	20,2 (38)	45,8 (22)
8,00 m	18,7 (78)	8,9 (62)	21,2 (13)
8,50 m	16,9 (89)	19,1 (49)	12,5 (11)
Einbahnig dreistreifige Querschnitte			
10,00 m – 12,50 m	29,2 (38)	- (4)	- (1)
Zweibahnig vierstreifige Querschnitte			
14,00 m – 17,00 m	13,1 (13)	12,0 (32)	- (3)

**Tab. 31:** Mittlere angepasste Unfallkostenraten der Einflussbereiche bei anschließenden einbahnig zweistreifigen Querschnitten in Abhängigkeit von der Verkehrsregelung am Knotenpunkt

passte Unfallkostenrate beim 1,31fachen Wert der mittleren angepassten Unfallkostenrate der anschließenden zweibahnig vierstreifigen Streckenabschnitte.

Um zu prüfen, in welchem Zusammenhang die Unfallkostenraten in den Einflussbereichen mit den Unfallkostenraten der anschließenden freien Streckenabschnitte stehen, wurden lineare Regressionsrechnung durchgeführt. Dabei wurden den jeweiligen mittleren angepassten Unfallkostenraten die entsprechenden mittleren angepassten Unfallkostenraten der jeweils zugehörigen anschließenden freien Streckenabschnitte gegenübergestellt. In den Bildern 18 bis 20 sind diese Beziehungen, getrennt nach Verkehrsregelung am anschließenden Knotenpunkt dargestellt.

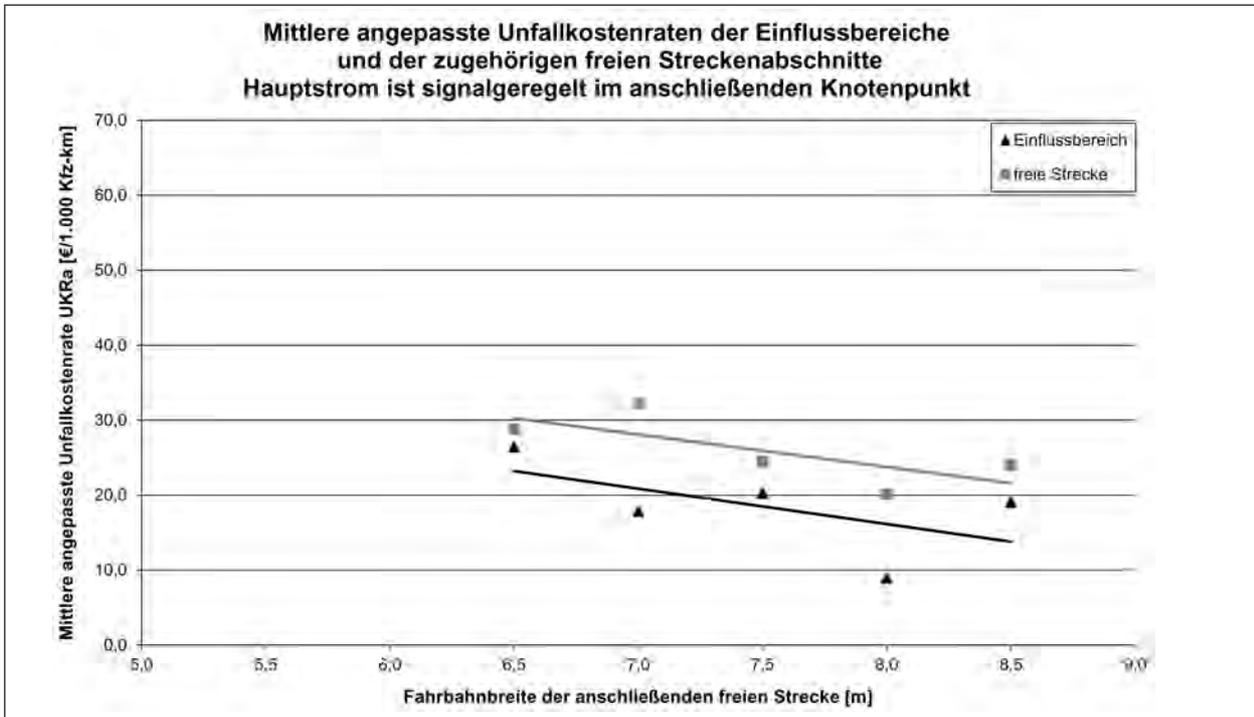
Für die Einflussbereiche mit anschließender Wartepflicht am Knotenpunkt sowie für die Einflussbereiche mit anschließender Signalregelung im Knotenpunkt ergeben sich annähernd konstante Abminderungswert der mittleren Unfallkostenrate unabhängig von der Fahrbahnbreite der anschließenden freien Streckenabschnitte. Für die Einflussbereiche, deren Hauptstrom am anschließenden Knotenpunkt bevorrechtigt ist, ist dieser Abminderungswert nicht konstant, sondern wächst geringfügig mit zunehmender Fahrbahnbreite der anschließenden



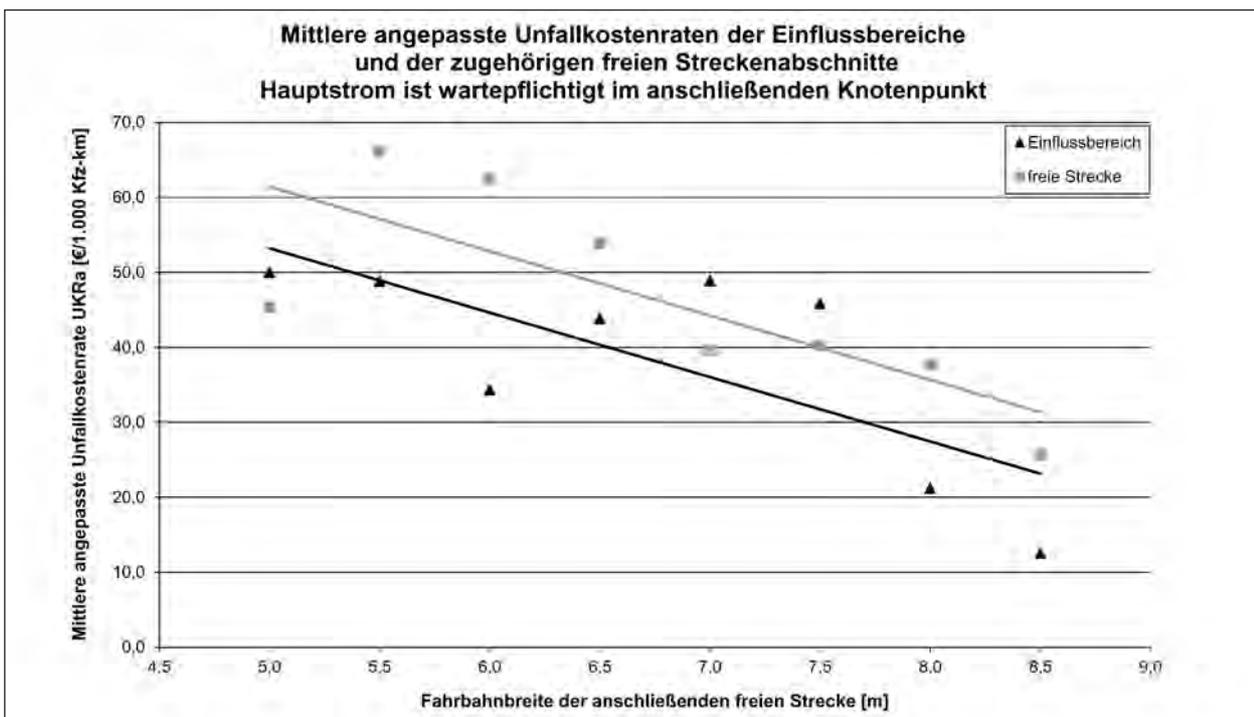
**Bild 18:** Mittlere angepasste Unfallkostenraten der Einflussbereiche und der zugehörigen freien Streckenabschnitte – Hauptstrom ist bevorrechtigt am anschließenden plangleichen Knotenpunkt

freien Streckenabschnitte. Zur Vereinfachung bei der Anwendung wird jedoch auch dieser Abminderungswert näherungsweise als konstant angenommen.

In Tabelle 32 sind die Abminderungswerte für die mittleren angepassten Unfallkostenraten zusammengefasst.



**Bild 19:** Mittlere angepasste Unfallkostenraten der Einflussbereiche und der zugehörigen freien Streckenabschnitte – Hauptstrom ist signalgeregelt am anschließenden plangleichen Knotenpunkt



**Bild 20:** Mittlere angepasste Unfallkostenraten der Einflussbereiche und der zugehörigen freien Streckenabschnitte – Hauptstrom ist wartepflichtig am anschließenden plangleichen Knotenpunkt

Verkehrsregelung am Knotenpunkt	Abminderung der UKRa der freien Streckenabschnitte um ... [€/10 <sup>3</sup> Kfz · km]
Bevorrechtigt	5,1
Wartepflichtig	8,2
Signal geregelt	7,4

**Tab. 32:** Angepasste mittlere Unfallkostenraten der Einflussbereiche bei anschließenden einbahnig zweistreifigen Querschnitten

## 6.4 Unfallgeschehen an Knotenpunkten

### 6.4.1 Vorbemerkung

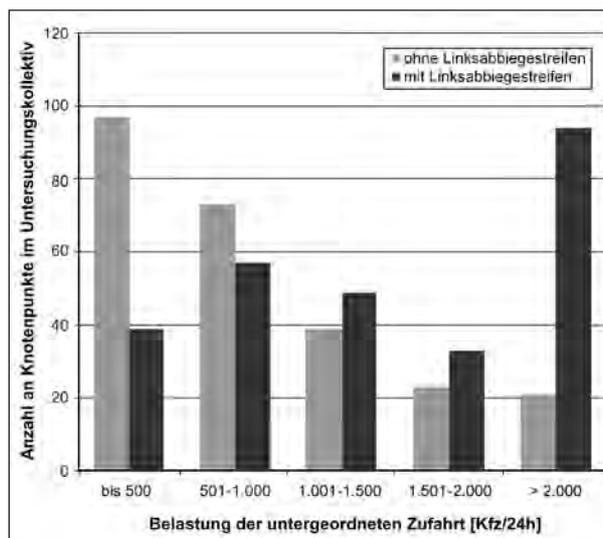
Bei der Erhebung der verkehrszeichengeregelten Einmündungen und Kreuzungen wurde zusätzlich erhoben, ob in den bevorrechtigten Zufahrten ein separater Linksabbiegestreifen vorhanden ist oder nicht. Dieser zusätzliche Linksabbiegestreifen wirkt sich vermutlich positiv auf das Unfallgeschehen am Knotenpunkt aus.

Aus der vorliegenden Datengrundlage ist allerdings nicht die Anzahl der Linksabbieger aus den bevorrechtigten Zufahrten ermittelbar. Diese Kenntnis ist jedoch für einen direkten Vergleich der beiden Knotenpunktarten (mit und ohne Linksabbiegestreifen) zwingend erforderlich.

Zur Abschätzung des Linksabbiegeranteils wurde annähernd die Verkehrsbelastung in der wartepflichtigen Zufahrt herangezogen. In Bild 21 ist für die verkehrszeichengeregelten Einmündungen beispielhaft die Anzahl der Knotenpunkte im Untersuchungskollektiv getrennt nach Verkehrsbelastungen zusammengefasst. Es ist deutlich erkennbar, dass die wartepflichtigen Zufahrten der Einmündungen ohne Linksabbiegestreifen in der bevorrechtigten Zufahrt im Durchschnitt deutlich geringere Verkehrsbelastungen aufweisen als die Einmündungen mit Linksabbiegestreifen in der bevorrechtigten Zufahrt.

Wenn die Verkehrsbelastung der wartepflichtigen Zufahrt als Indiz für die Größenordnung der Verkehrsbelastung der Linksabbieger aus der bevorrechtigten Straße angesehen werden kann, so weisen die Einmündungen mit hohen Linksabbiegeranteilen auch in der Regel einen Linksabbiegestreifen auf. Ein Vergleich der beiden Knotenpunktarten ist somit aufgrund ihrer unterschiedlichen Einsatzbereiche nicht möglich.

Daher wurden in den nachfolgenden Auswertungen die verkehrszeichengeregelten Einmündungen des



**Bild 21:** Durchschnittliche Verkehrsbelastungen des wartepflichtigen Knotenpunktarms an verkehrszeichengeregelten Einmündungen des Untersuchungskollektivs getrennt nach Knotenpunkten mit und ohne Linksabbiegestreifen in der bevorrechtigten Zufahrt

Untersuchungskollektivs unabhängig vom Merkmal „Linksabbiegestreifen“ zu einer Gruppe zusammengefasst. Gleiches gilt für die verkehrszeichengeregelten Kreuzungen.

### 6.4.2 Verteilung nach Unfallkategorien

An den 796 betrachteten Knotenpunkten ereigneten sich 3.137 Unfälle der Kategorie 1 bis 4. Dies sind umgerechnet knapp 0,8 Unfälle pro Jahr und Knotenpunkt.

In den Knotenpunkten liegt der Anteil der Unfälle mit schwerem Personenschaden (Kategorie 1+2) bei rd. 16 % und damit deutlich niedriger als auf den freien Streckenabschnitten und etwas niedriger als in den Einflussbereichen. Ebenfalls höher liegt der Anteil der Unfälle der Kategorie 4, während der Anteil der Unfälle mit leichtem Personenschaden nahezu bei allen drei Teilbereichen eines Landstraßenzuges bei rd. 50 % liegt (vgl. Tabelle 33).

In Tabelle 34 sind die Verteilungen der Unfälle nach Unfallkategorie für die untersuchten Knotenpunktarten zusammengefasst. Die Verteilungen unterscheiden sich für die verschiedenen Knotenpunktarten nur geringfügig voneinander. Der Anteil der Unfälle mit schwerem Personenschaden (Kategorie 1+2) liegt zwischen rd. 14 % und 18 %.

Bei den Kreuzungen fällt auf, dass die signalgeregelten Kreuzungen einen höheren Anteil an Unfällen mit Personenschaden (Kategorie 1-3) aufweisen als

Unfallkategorie	Anzahl Unfälle 2002-2006	Anteil
1	34	1,1 %
2	516	16,5 %
3	1.553	49,5 %
4	1.034	33,0 %
Gesamt	3.137	100,0 %

Tab. 33: Anzahl der Unfälle nach Unfallkategorie in den Knotenpunkten

Knotenpunktart (Stichprobe n)	Unfallkategorie			
	1	2	3	4
Einmündung verkehrszeichengeregelt (525)	1,3 %	17,1 %	48,7 %	32,8 %
Einmündung signalregelt ohne Linksabbiegerschutz (6)	0,0 %	17,1 %	62,9 %	20,0 %
Einmündung signalregelt mit Linksabbiegerschutz (49)	1,0 %	14,4 %	52,4 %	32,2 %
Kreuzung verkehrszeichengeregelt (107)	1,0 %	16,6 %	44,2 %	38,2 %
Kreuzung signalregelt ohne Linksabbiegerschutz (45)	0,9 %	16,4 %	53,5 %	29,2 %
Kreuzung signalregelt mit Linksabbiegerschutz (28)	0,4 %	16,1 %	51,2 %	32,2 %
Kreisverkehr (36)	0,8 %	13,1 %	56,9 %	29,2 %

Tab. 34: Anzahl der Unfälle nach Unfallkategorie an den Knotenpunkten

die verkehrszeichengeregelten Kreuzungen. Verursacht wird dieser höhere Anteil allerdings nur durch die Unfälle mit leichtem Personenschaden.

Die Kreisverkehre weisen eine ähnliche Verteilung der Unfallschwere auf wie signalgeregelte Kreuzungen ohne Linksabbiegerschutz.

### 6.4.3 Verteilung nach Unfalltypen

Erwartungsgemäß weisen die Unfälle des Unfalltyps 2 und 3 die höchsten Anteile an den gesamten Unfällen in Knotenpunkten auf. Ihr Anteil liegt in der Summe bei knapp über 70 %. Die Fahrnfälle (Unfalltyp 1) und die Unfälle im Längsverkehr (Unfalltyp 6) machen jeweils einen Anteil von rd. 13 % aus. Die übrigen Unfalltypen spielen an Knotenpunkten keine bedeutende Rolle (vgl. Tabelle 35).

Die Verteilung der Unfalltypen zeigt zwischen den betrachteten Knotenpunktarten deutliche Unterschiede (vgl. Tabelle 36). So liegt der Anteil der Fahrnfälle

Unfalltyp	Anzahl Unfälle 2002-2006	Anteil
1	397	12,7 %
2	829	26,4 %
3	1.389	44,3 %
4	20	0,6 %
5	7	0,2 %
6	406	13,0 %
7	89	2,8 %
Gesamt	3.137	100,0 %

Tab. 35: Anzahl der Unfälle differenziert nach Unfalltyp an Knotenpunkten

Knotenpunktart (Stichprobe n)	Unfalltyp			
	1	2+3	6	Rest
Einmündung verkehrszeichengeregelt (525)	14,3 %	71,6 %	10,3 %	3,8 %
Einmündung signalregelt ohne Linksabbiegerschutz (6)	2,9 %	65,7 %	25,7 %	5,7 %
Einmündung signalregelt mit Linksabbiegerschutz (49)	22,6 %	41,3 %	29,3 %	6,7 %
Kreuzung verkehrszeichengeregelt (107)	7,7 %	85,7 %	4,9 %	1,7 %
Kreuzung signalregelt ohne Linksabbiegerschutz (45)	6,3 %	70,1 %	18,9 %	4,7 %
Kreuzung signalregelt mit Linksabbiegerschutz (28)	9,1 %	64,5 %	23,1 %	3,3 %
Kreisverkehr (36)	30,0 %	54,6 %	11,5 %	3,8 %

Tab. 36: Anzahl der Unfälle nach Unfalltypen differenziert nach Knotenpunktart

le (Unfalltyp 1) bei den Kreuzungen unterhalb von 10 %, während dieser Anteil bei den Einmündungen und den Kreisverkehren stets über 10 % liegt. Die Abweichung bei den signalgeregelten Einmündungen ohne Linksabbiegerschutz wird hier als Ausnahme angesehen, da ihre Verteilung aufgrund ihrer geringen Stichprobe vermutlich stark verzerrt ist.

Bei den Einmündungen ist weiterhin auffällig, dass bei den signalgeregelten Einmündungen mit Linksabbiegerschutz der Anteil der Unfalltypen 2 und 3 gegenüber den anderen Verkehrsregelungsarten bei Einmündungen um etwa ein Drittel geringer ist. Dafür steigt der Anteil der Unfälle im Längsverkehr deutlich. Die Einrichtung eines Linksabbiegerschutzes führt somit zu einer spürbaren Verringerung der Abbiegeunfälle (Unfalltyp 2).

Auch bei Kreuzungen mit Linksabbiegeschutz ist der Anteil der Abbiegeunfälle deutlich niedriger. Entsprechend steigt hier der Anteil der Unfälle im Längsverkehr als Folge. Die Kreisverkehre weisen ebenfalls einen niedrigen Anteil der Unfalltypen 2 und 3 am gesamten Unfallgeschehen auf. Im Gegensatz zu den Einmündungen und Kreuzungen liegt bei den Kreisverkehren allerdings der größte Anteil bei den Fahrunfällen.

#### 6.4.4 Mittlere Unfallraten

Ferner wurden die mittleren Unfallraten getrennt nach Knotenpunktarten ermittelt. Die geringsten Unfallraten weisen die signalgeregelten Einmündungen mit Linksabbiegeschutz und die Kreisverkehre auf. Die höchsten Werte weisen die verkehrszeichengeregelten Kreuzungen auf.

Aus einem Vergleich der Regelungsarten an Einmündungen und Kreuzungen wird ersichtlich, dass die signalgeregelten Knotenpunkte jeweils geringere Unfallraten als die entsprechenden verkehrszeichengeregelten Knotenpunkte aufweisen (vgl. Tabelle 37).

Die mittleren DTV-Werte der Untersuchungskollektive lassen auf den typischen Einsatzbereich der Knotenpunktarten schließen. So liegen die DTV-Werte der verkehrszeichengeregelten Knotenpunkte bei ungefähr einem Drittel der DTV-Werte der Knotenpunkte mit Signalregelung. Bei den signalgeregelten Knotenpunkten wiederum liegen die DTV-Werte der Knotenpunkte ohne Linksabbiegeschutz bei rd. 3/4 der DTV-Werte der Knotenpunkte mit Linksabbiegeschutz. Bei einer vergleichenden Bewertung der Knotenpunktarten sollten somit auch immer die zugrunde liegenden Verkehrsbelastungen berücksichtigt werden.

Wie bei den freien Strecken wurden für die verschiedenen Knotenpunktarten Box-Whisker-Diagramme erstellt, um einen Eindruck von der Streuung der Unfallraten zu erhalten. Aus den Box-Whisker-Diagrammen lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen (vgl. Bild 22 und Bild 23):

- Insbesondere die verkehrszeichengeregelten Knotenpunkte weisen weit außerhalb der Box liegende Werte auf. D. h., einzelne Knotenpunkte besitzen deutlich höhere Unfallraten als 85 % des jeweiligen Gesamtkollektivs.

Knotenpunktart (Stichprobe n)	Anzahl Unfälle	Ø DTV	Mittlere UR [Unfälle/ 10 <sup>6</sup> Kfz · km]
Einmündung verkehrszeichengeregelt (525)	1.521	6.780	0,23
Einmündung signalgeregelt ohne Linksabbiegeschutz (6)	35	15.238	0,21
Einmündung signalgeregelt mit Linksabbiegeschutz (49)	208	20.297	0,11
Kreuzung verkehrszeichengeregelt (107)	573	6.376	0,46
Kreuzung signalgeregelt ohne Linksabbiegeschutz (45)	428	16.695	0,31
Kreuzung signalgeregelt mit Linksabbiegeschutz (28)	242	19.962	0,24
Kreisverkehr (36)	130	10.510	0,19

Tab. 37: Mittlere Unfallraten differenziert nach Knotenpunktart

- Die „Boxhöhe“ ist bei den signalgeregelten Knotenpunkten deutlich geringer als bei den verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten.
- Der Median der einzelnen Verteilungen liegt mit Ausnahme der signalgeregelten Knotenpunkte mit Linksabbiegeschutz unterhalb der mittleren Unfallrate.
- Sowohl die Maximalwerte als auch die „Boxhöhen“ der signalgeregelten Knotenpunkte liegen zum Teil deutlich niedriger als bei den vergleichbaren verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten.
- Sowohl die Maximalwerte, das 85%-Quantil sowie der Median der Knotenpunkte mit Linksabbiegeschutz liegen jeweils unterhalb der vergleichbaren Knotenpunkte ohne Linksabbiegeschutz.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen kann gefolgert werden, dass die Unfallwahrscheinlichkeit in Einmündungen geringer ist als in Kreuzungen, in signalgeregelten Knotenpunkten geringer ist als in nur verkehrszeichengeregelten und in signalgeregelten Knotenpunkten mit Linksabbiegeschutz geringer ist als in solchen ohne Linksabbiegeschutz. Die Unfallwahrscheinlichkeit in Kreisverkehren liegt etwa im Niveau von Einmündungen mit Lichtsignalanlage ohne Linksabbiegeschutz.

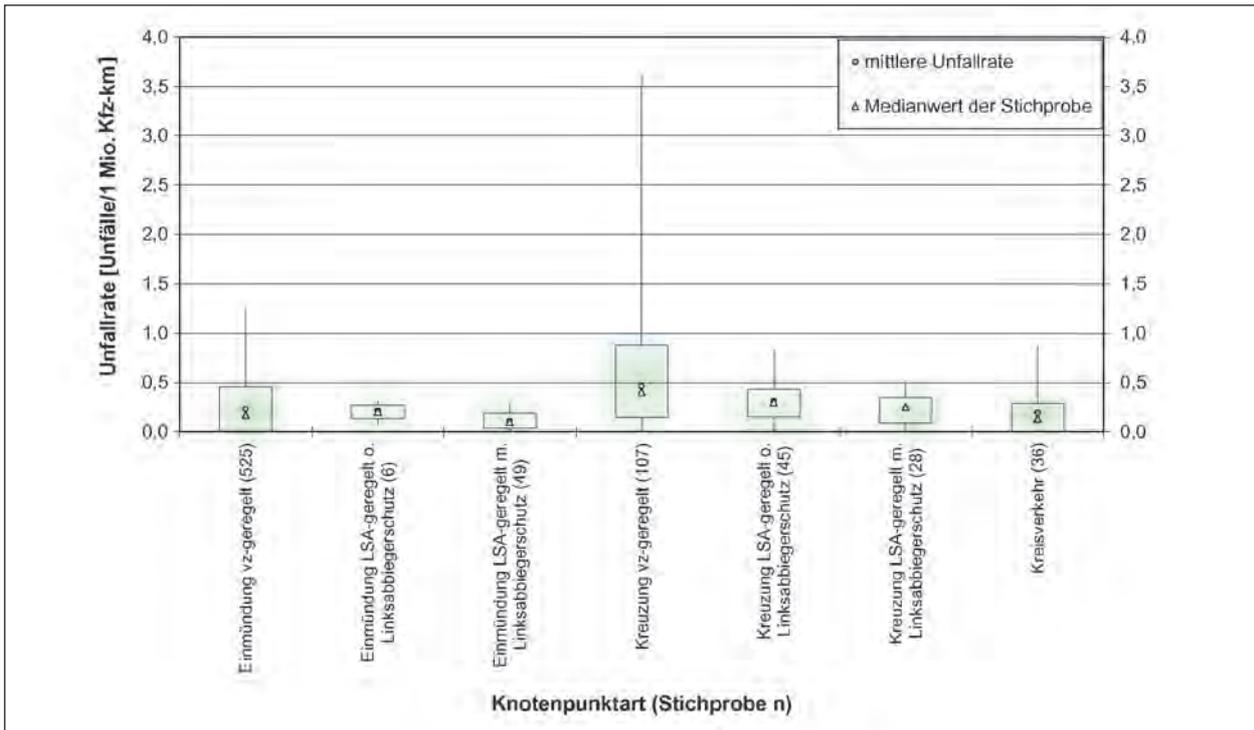


Bild 22: Box-Whisker-Diagramm der Verteilung der Unfallraten der Knotenpunktarten

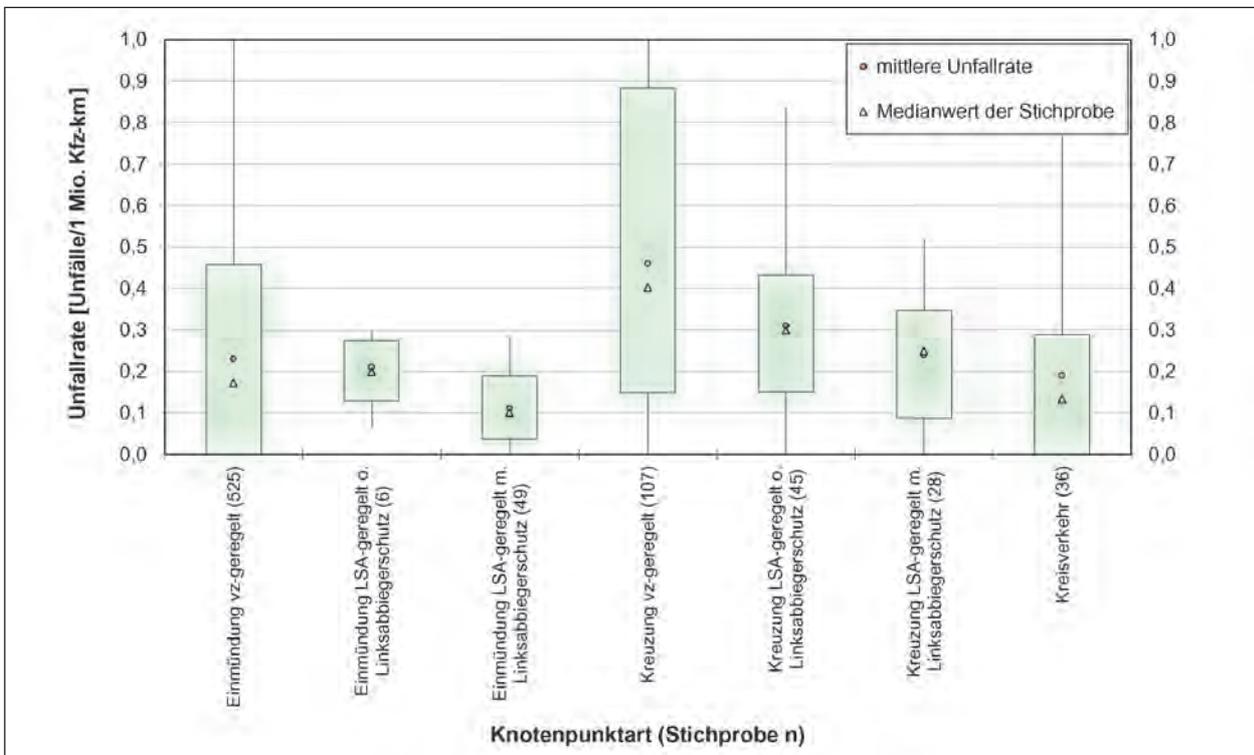


Bild 23: Ausschnitt aus dem Box-Whisker-Diagramm der Verteilung der Unfallraten der Knotenpunktarten

### 6.4.5 Mittlere Unfallkostenraten

Ferner wurden die mittleren angepassten Unfallkostenraten differenziert nach Knotenpunktarten ermittelt (vgl Tabelle 38).

Ebenso wie bei den mittleren Unfallraten weisen die signalgeregelten Einmündungen mit Linksabbiegerschutz und die Kreisverkehre auch bei den mittleren Unfallkostenraten die geringsten Werte auf. Aus Sicht der Unfallkostenraten erweisen sich die ver-

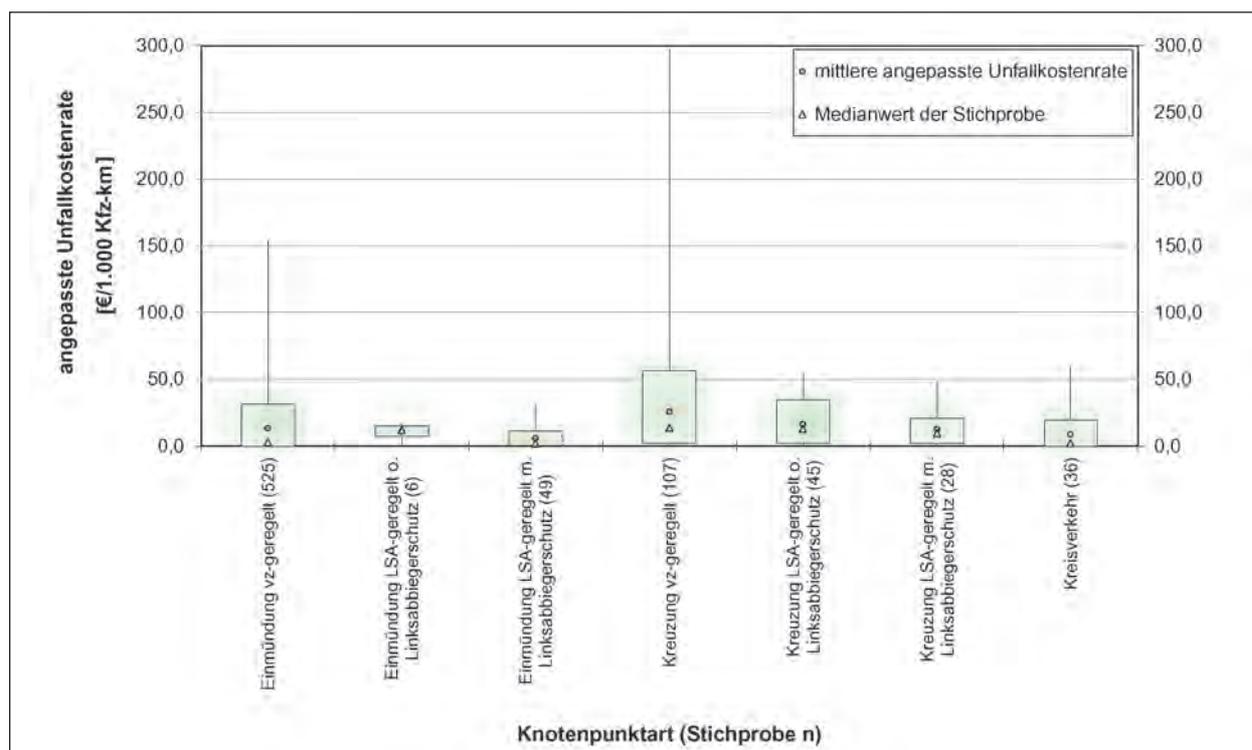


Bild 24: Box-Whisker-Diagramm der Verteilung der Unfallkostenraten der Knotenpunktarten

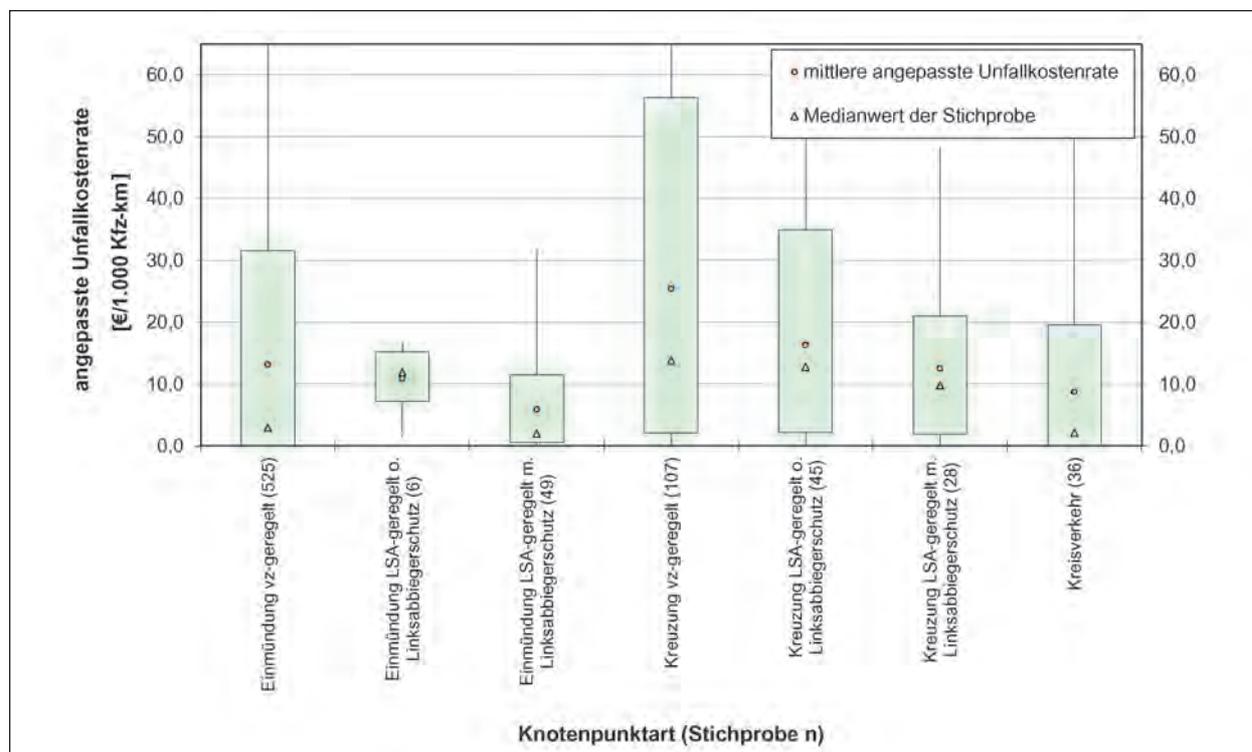


Bild 25: Ausschnitt aus dem Box-Whisker-Diagramm der Verteilung der Unfallkostenraten der Knotenpunktarten

kehrszeichengeregelten Kreuzungen als unsicherste Knotenpunktart.

Bei den signalgeregelten Knotenpunkten liegen die Unfallkostenraten der Knotenpunkte mit Linksab-

biegerschutz deutlich unterhalb derer ohne Linksabbiegerschutz.

Die Box-Whisker-Diagramme der mittleren angepassten Unfallkostenraten zeigen, dass die Unfall-

Knotenpunktart (Stichprobe n)	∅ DTV	Mittlere UKRp [€/1.000 Kfz]	Mittlere UKRa [€/1.000 Kfz]
Einmündung verkehrszeichengeregelt (525)	6.780	14,7	13,1
Einmündung signalregelt ohne Linksabbiegerschutz (6)	15.238	12,6	10,9
Einmündung signalregelt mit Linksabbiegerschutz (49)	20.297	6,3	5,9
Kreuzung verkehrszeichengeregelt (107)	6.376	27,8	25,4
Kreuzung signalregelt ohne Linksabbiegerschutz (45)	16.695	18,8	16,3
Kreuzung signalregelt mit Linksabbiegerschutz (28)	19.962	13,8	12,6
Kreisverkehr (36)	10.510	9,7	8,7

Tab. 38: Mittlere Unfallkostenraten differenziert nach Knotenpunktart

kostenraten der nur verkehrszeichengeregelten Knotenpunkte (Einmündungen und Kreuzungen) gegenüber den signalgeregelten Knotenpunkten eine deutlich größer Streuung aufweisen (vgl. Bild 24 und Bild 25).

## 7 Verfahrensentwicklung zur Bestimmung von Grundunfallkenngrößen von Landstraßen

### 7.1 Bedeutung der Grundunfallkenngrößen

Für die Beurteilung der Verkehrssicherheit eines bestehenden Straßennetzes bilden die mittleren Unfallkenngrößen die richtigen Grundlagen. Um Hinweise darauf zu erhalten, inwieweit Unfälle auf mögliche Mängel in den baulichen oder betrieblichen Eigenschaften einer Verkehrsanlage (der Entwurfsgestaltung, des Straßenzustandes, des Straßenraumes oder der Straßenausstattung) zurückzuführen sind und nicht auf witterungsbedingte oder menschliche Einflussgrößen, bedarf es aber der Kenngrößen, die das Niveau der Verkehrssicherheit widerspiegeln, das sich bei einem richtliniengerechten Ausbau und Betrieb der Verkehrsanlage ergeben würde. Die bei dieser Ausbil-

dung „erreichbaren“ Unfallkenngrößen werden als Grundunfallkenngrößen bezeichnet. Die Differenz zwischen den tatsächlichen Unfallkenngrößen bestehender Straßen und den Grundunfallkenngrößen bilden das Sicherheitspotenzial, das sich bei einem richtliniengerechten Ausbau und Betrieb ausschöpfen lässt.

Das in den „Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)“ (FGSV, 2003) dargestellte Verfahren zur Sicherheitsanalyse von Straßennetzen basiert auf einem Vergleich der vorhandenen Unfallkostendichten und der Grundunfallkostendichten. Hierzu werden in den ESN Grundunfallkostenraten gUKR für die Ermittlung der Grundunfallkostendichten angegeben. Es werden in der ESN Grundunfallkostenraten für Autobahnen, Landstraßen und Verkehrsstraßen innerorts unterschieden. Dabei erfolgt eine weitere Differenzierung der Grundunfallkostenraten nach den ausgewerteten Unfallkategorien. In Tabelle 39 sind die in den ESN angegebenen Grundunfallkostenraten dargestellt.

Die in den ESN angegebenen Grundunfallkostenraten sind auf der Grundlage der mittleren Unfallkostenraten ausgesuchter Straßentypen aus den „Empfehlungen für die Anlage von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS)“ (FGSV, 1997) abgeleitet worden (vgl. FGSV, 2003). Hierzu wurde von einem Expertengremium das 30%-Quantil der Verteilung der beobachteten Unfallkostenraten als Grundunfallkostenrate festgelegt.

Die in den ESN angegebenen Grundunfallkostenraten für Landstraßen gelten für zweistreifige Querschnitte mit plangleichen Knotenpunkten, d. h. für einen durchgehenden Straßenzug mit freien Streckenabschnitten, Knotenpunkten und Einflussbereichen von Knotenpunkten.

Eine allgemeine Methodik zur Ermittlung von Grundunfallkenngrößen ist bisher nicht bekannt. Ebenso existieren keine weiteren Veröffentlichungen zum Thema Grundunfallkenngrößen. Will man Grundunfallkenngrößen zuverlässig ermitteln, müsste das betrachtete Kollektiv bestehender Straßen in die beiden Teilkollektive der richtliniengerechten und der nicht richtliniengerechten getrennt werden. Dazu bedarf es aber weiterer Informationen zur Ausbildung der Straßen, die in der hier beschriebenen Untersuchung nicht verfügbar waren.

Daher werden im Folgenden Grundunfallraten und Grundunfallkostenraten aus einer statistischen

Grundunfallkostenraten gUKR [€/1.000 Kfz · km]		
ausgewertete Unfallkategorie	P,SS Kat. 1-4 und 6	P,S Kat. 1-6
Autobahnen	11	15
Landstraßen*	28	35
Verkehrsstraßen innerorts	29	51
* Außerortsstraßen ohne Autobahnen		Preisstand 2000

Tab. 39: Grundunfallkostenraten gUKR nach ESN (Quelle: FSGV, 2003)

Analyse der beobachteten Unfallraten abgeleitet. Diese Analyse erfolgt getrennt für freie Streckenabschnitte, Knotenpunkte und Einflussbereiche von Knotenpunkten, da die Ableitung der mittleren Unfallkenngrößen gezeigt hat (vgl. Kapitel 6), dass eine Unterscheidung der freien Streckenabschnitte nach Fahrbahnbreite und der Knotenpunkte nach Knotenpunktart sinnvoll ist. Der Zu- bzw. Abschlag für die Einflussbereiche von Knotenpunkten wird auch für die Grundunfallraten analog zur Ableitung der mittleren Unfallraten gehandhabt.

## 7.2 Vorüberlegungen zur Verfahrensentwicklung

Die Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung von Grundunfallkenngrößen setzt die Kenntnis qualitativer und quantitativer Eigenschaften der zu bestimmenden Größe sowie der empirischen Datenbasis voraus.

Es wird für die Verfahrensentwicklung von folgenden Eigenschaften der Grundunfallkenngrößen und der vorliegenden Datenbasis ausgegangen:

- (1) Die vorliegende Datenbasis umfasst Unfälle auf richtliniengerechten und nicht richtliniengerechten Straßen.
- (2) Es wird unterstellt, dass der größere Teil der Straßen richtliniengerecht ist.
- (3) Nicht richtliniengerechte Straßen weisen ein ungünstigeres Verkehrssicherheitsniveau als richtliniengerechte Straßen auf.
- (4) Bei den richtliniengerechten Straßen liegen keine (wesentlichen) systematischen Abweichungen vom zufälligen Unfallgeschehen, vor.
- (5) Die Datenbasis ist ausreichend groß und somit repräsentativ für das gesamte Unfallgeschehen.

- (6) Die Grundunfallkenngrößen beschreiben das Sicherheitsniveau, das auf einer in Bau und Betrieb richtliniengerechten Straße derzeit zu erwarten ist.
- (7) Das Unfallgeschehen wird von vielen Faktoren (Eigenschaften der Straße, Umwelteinflüssen und dem Verhalten der Verkehrsteilnehmer) beeinflusst.
- (8) Die Einflüsse auf das Unfallgeschehen unterliegen Schwankungen (z. B. ist kein Fahrbahnelast durchgehend von gleicher Qualität; variiert die Zusammensetzung der Verkehrsteilnehmer und damit deren Fahreigenschaften; verändern sich die Witterungsbedingungen).

Aus den vorangenannten Eigenschaften lassen sich folgende Schlüsse folgern:

- Die Unfalldaten der nicht richtliniengerechten Straßen stellen systematische Abweichungen vom zufälligen Unfallgeschehen dar (Folgerung aus (3)).
- Die Datenbasis eignet sich aufgrund ihrer Repräsentativität für statistische Analysen.
- Die Grundunfallkenngrößen sind definitionsgemäß kleiner als (oder maximal gleich groß wie) die entsprechenden mittleren Unfallkenngrößen (Folgerung aus (6)).
- Es existiert aufgrund der Existenz und der Schwankungsbreite der nicht straßentechnischen Einflussgrößen ein „Grundunfallrisiko“, das nicht durch eine richtliniengerechte Anlage vermieden werden kann. Die Grundunfallkenngrößen nehmen somit Werte größer null an (Folgerung aus (7) und (8)).
- Die Schwankungsbreite der Einflussfaktoren führt dazu, dass ein Unfall ein zufälliges Ereignis ist. Wegen der Zufälligkeit der Unfallzahlen können sich für eine betrachtete Untersuchungseinheit je nach Betrachtungszeitraum abweichende Unfallzahlen einstellen. Unfallzahlen folgen im Allgemeinen einer Poissonverteilung (vgl. (FSGV 1991)) (Folgerung aus (8)). Die vorliegende Datenbasis stellt somit grundsätzlich eine Zufallsverteilung dar.

Darüber hinaus gilt ferner:

- Unfallkenngrößen werden durch Relativierung einer beobachteten Unfallzahl durch eine (als genau angenommene) Bezugsgröße gebildet.

Aufgrund der Zufälligkeit der Unfallzahlen unterliegen die abgeleiteten Unfallkenngrößen ebenfalls einer entsprechenden Zufälligkeit (vgl. (FGSV 1991)).

Gemäß den vorgenannten Annahmen und Folgerungen lässt sich das Unfallgeschehen als stochastische Größe auffassen und somit mittels Methoden der statistischen Analyse untersuchen. Dabei können die zugrunde liegenden Ereignishäufigkeiten des Unfallgeschehens in den einzelnen Gruppen (Querschnittstypen und Knotenpunktarten) als Häufigkeitsverteilung aufgefasst werden.

Ein allgemeingültiger, d. h. unabhängig von der Art der Verkehrsanlage anwendbarer Verfahrensansatz bedingt, dass sich die Häufigkeitsverteilungen der Unfallkenngrößen zumindest in ihrer Struktur ähnlich sind. Für die Entwicklung eines Verfahrensansatzes wird davon ausgegangen, dass sich die Häufigkeitsverteilungen der Unfallkenngrößen in ihrer Struktur ähneln.

Eine Einschränkung der Eigenschaften von Unfallkenngrößen ist bei den statistischen Auswertungen allerdings zu beachten. Diese können nur Werte größer oder gleich null annehmen. D. h., dass die Verteilung der Unfallkenngrößen auf den positiven Bereich (einschließlich der Null) beschränkt ist. Setzt man allerdings die Annahme voraus, dass die Verteilung einer Zufallsverteilung entspricht, könnte somit theoretisch auch eine negative Unfallkenngröße einer Verkehrsanlage zugeordnet werden. Da dies in der Realität allerdings nicht möglich ist, werden die „negativen“ Unfallkenngrößen alle zur Null verschoben. Dadurch ergibt sich für den Merkmalswert null eine nicht einer Zufallsverteilung entsprechend hohe Dichte (Eintrittswahrscheinlichkeit). Aus diesem Grund wird der Merkmalswert null in der Verfahrensentwicklung gesondert behandelt.

## 7.3 Verfahren zur Bestimmung von Grundunfallkenngrößen

### 7.3.1 Vorbemerkung

Das wesentliche Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens ist die Ermittlung von Grundunfallkenngrößen für freie Streckenabschnitte, Knotenpunkte und Einflussbereiche von Knotenpunkten unter Berücksichtigung verschiedener Gestaltungselemente und Betriebsformen auf Landstraßen.

Ansatz	Kurzbeschreibung
Ansatz 1	Berechnung der mittleren Unfallkenngröße unter Ausschluss von Extremwerten. Diese mittlere Unfallkenngröße entspricht der jeweiligen Grundunfallkenngröße.
Ansatz 2	Der häufigste Wert der Häufigkeitsverteilung der Unfallkenngröße entspricht der Grundunfallkenngröße.
Ansatz 3	Die Häufigkeitsverteilung der Unfallkenngröße lässt sich durch eine Normalverteilung annähern. Der Erwartungswert der Normalverteilung entspricht der jeweiligen Grundunfallkenngröße.

Tab. 40: Ansätze zur Ermittlung von Grundunfallkostenraten

Zur Ableitung eines geeigneten Verfahrens zur Bestimmung von Grundunfallkenngrößen wurden verschiedene Ansätze entwickelt und getestet. In Tabelle 40 sind die Grundsätze der verschiedenen Ansätze kurz beschrieben.

Bei Ansatz 1 wurden diejenigen Merkmale der Verteilungen als Ausreißer gewertet, deren Merkmalswert größer oder gleich der Summe aus dem Merkmalswert des 85%-Quantils und des 1,5fachen Abstandes zwischen dem Merkmalswert des 15%-Quantils und dem Merkmalswert des 85%-Quantils der zugehörigen Verteilung ist (vgl. Definition der Box-Whisker-Diagramme in Kapitel 6).

Die Anzahl der Ausreißer stellt nur einen geringen Anteil an der gesamten Stichprobe dar. Daher liegen die nach Ansatz 1 ermittelten Unfallkenngrößen auch nur geringfügig unterhalb der entsprechenden Unfallkenngröße für die gesamte Stichprobe.

Der genaue Anteil der nicht richtliniengerechten Straßen ist nicht bekannt. Liegt dieser bei über 15 %, so beeinflussen diese die Lage des Merkmalswertes des 85%-Quantils. Dementsprechend wird die „Box“-Höhe durch die unsicheren Anlagen mit geprägt.

Ansatz 1 ist demnach ungeeignet für die Ermittlung von Grundunfallkostenraten.

Für die Ansätze 2 und 3 ist die Kenntnis der Häufigkeitsverteilung der Unfallkenngrößen in den jeweiligen Gruppen notwendig. Bei den vorliegenden Unfallkenngrößen sind allerdings nur die einzelnen Merkmalswerte mit ihren zugehörigen Merkmalsausprägungen bekannt. Die zugrunde liegenden Häufigkeitsverteilungen sind unbekannt. Daher mussten die Häufigkeitsverteilungen zunächst mit Hilfe geeigneter Verfahren geschätzt werden (siehe Kapitel 7.3.2).

Bei Ansatz 2 wurde aus den zuvor abgeleiteten Häufigkeitsverteilungen der häufigste Wert abgelesen. Die zuerst gewählte Vorgehensweise zur Ermittlung des jeweils häufigsten Wertes über die Histogrammtechnik hat den Nachteil, dass für den häufigsten Wert nur die Klasse angegeben werden kann, in der dieser liegt. Näherungsweise wurde dabei die Klassenmitte als häufigster Wert betrachtet. Mit zunehmender Klassenbreite eignet sich die Klassenmitte immer unzureichender als Näherung für den häufigsten Wert. Betrachtet man ferner, dass bis zu 10 % der gesamten Verteilung in einer Klasse liegen können (bei anderer Art der Klassenwahl unter Umständen sogar noch mehr), so zeigt sich, dass dieser Ansatz nicht geeignet scheint, um die Grundunfallkostenrate einer Verkehrsanlage zu bestimmen.

Der Nachteil der Klassenbreite bei der Histogrammtechnik kann durch die Kerndichteschätzung überwunden werden. Allerdings handelt es sich hierbei nur um eine Schätzung der Dichte der tatsächlichen Verteilung, deren Güte von der Stichprobengröße ebenso abhängig ist wie von der Wahl der Bandweite. Daher scheint der Ansatz 2 auch nur begrenzt geeignet zu sein, um die Grundunfallkostenraten zu bestimmen.

Aufbauend auf Ansatz 2 und der Kenntnis, dass die Unfallkenngrößen zufallsverteilt sind, wurde daher eine Annäherung der tatsächlichen Verteilung durch eine Verteilungsfunktion vorgenommen (Ansatz 3, vgl. Kapitel 7.3.3).

Die Verfahrensentwicklung basierte ausschließlich auf der Analyse der Verteilung der Unfallraten, da es sich nur hierbei um Ereignishäufigkeiten handelt. Bei den Unfallkostenraten handelt es sich um gewichtete Größen, die nicht als Ereignishäufigkeit aufgefasst werden können (vgl. (FGSV 1991)).

### 7.3.2 Schätzung der Häufigkeitsverteilung der zugrunde liegenden Unfallkenngrößen

Bei den vorliegenden Verteilungen der Unfallkenngrößen ist die Verteilungsfunktion unbekannt. Es sind lediglich die Verteilung der einzelnen Merkmalswerte und ihre zugehörigen Merkmalsausprägungen bekannt. Daher bedarf es zunächst einer Darstellungsform, die eine Darstellung der Verteilung der Merkmalswerte ermöglicht. Als geeignete Darstellungsform bietet sich hierfür das sog. „Histogramm“ an.

Zur Herstellung eines Histogramms werden die Merkmalswerte in Klassen zusammengefasst und die Anzahl an Merkmalswerten innerhalb einer Klasse als Merkmalsausprägung der Klasse (Besetzungszahl) aufgefasst. Bei der Festlegung der Anzahl der Klassen sollte man sich an dem Wert der Wurzel aus der Anzahl der Stichprobenwerte (Merkmalswerte) orientieren (vgl. (PAPULA, 2008)).

Bei den vorliegenden Unfallkenngrößenverteilungen liegen teilweise sehr große Spannweiten zwischen dem Merkmalswert des 85%-Quantils und den darüberliegenden Merkmalswerten vor. Daher wurde für die Festlegung der Klassenbreite die Anzahl der berechneten Klassen auf die „Box“-Höhe bezogen. So konnten die Klassenbreiten relativ schmal gehalten werden und die jeweilige Klasse umfasst nur einen geringen Anteil der gesamten Verteilung. Die Aussagekräftigkeit des häufigsten Wertes der Verteilung bleibt somit als beschreibendes Charakteristikum der Verteilung erhalten.

Eine weitere Einschränkung erfolgt bei der Klassenzuordnung mit den Verkehrsanlagen, an denen sich im Untersuchungszeitraum keine Unfälle ereignet haben. Diese werden nicht der ersten (untersten) Klasse, sondern einer neutralen Klasse 0 mit der fiktiven Klassenbreite 0 zugeordnet. Diese neutrale Klasse wird nicht in die Ermittlung des häufigsten Wertes mit einbezogen. Der Grund hierfür ist die unter Kapitel 7.2 getroffene Annahme, dass es sich bei der Häufigkeitsverteilung der Unfallkenngrößen um eine Zufallsverteilung handelt und die hohe Dichte für den Wert null auf den Ausschluss des negativen Wertebereiches für die Verteilung zurückzuführen ist. Bild 26 zeigt beispielhaft das Histogramm für die einbahnigen 1+1-Querschnitte mit einer Fahrbahnbreite von 7,00 m. Die zugehörigen Histogramme können Anlage 6 entnommen werden.

Ein wesentlicher Nachteil der Histogrammtechnik ist, dass die Dichte einer stetigen Variable, die selbst stetig ist, diskretioniert und durch eine Stufenfunktion abgebildet wird. So gehen durch die Klassenbildung in die Ermittlung der Dichte für die Merkmalswerte  $x_j$  an den Klassenrändern zwar die weit entfernten Merkmalswerte am jeweils anderen Klassenrand ein, nicht aber die viel näher liegenden Werte der jeweiligen Nachbarklasse (NEUBAUER et al. 2002).

Um diesen Nachteil auszugleichen, werden sog. „gleitende“ Histogramme verwendet. Bei diesen



**Bild 26:** Histogramm-Darstellung der Unfallraten UR für einbahnige 1+1-Querschnitte mit einer Fahrbahnbreite von 7,00 m (Basis: UT 1-7, PS, SS)

gleitenden Histogrammen werden zur Dichtbestimmung für einen Merkmalswert  $x_j$  nur dessen benachbarte Werte berücksichtigt. Hierzu wird für jeden Einzelwert  $x_i$  eine Größenklasse mit der Klassenbreite  $b$  definiert, wobei  $x_i$  die Klassenmitte darstellt.

Diese Methode wird auch als Kerndichteschätzung bezeichnet. Die Methode der „gleitenden Histogramme“ stellt die einfachste Form eines Kerndichteschätzers dar.

Bei einer Kerndichteschätzung ergibt sich die Dichte der Verteilung formal als (NEUBAUER et al. 2002):

$$d(x_i) = \frac{F(x_i+0,5 \cdot b) - F(x_i-0,5 \cdot b)}{b} \quad (\text{Gl. 12})$$

mit:

$F(x_i)$  = kumulierte relative Häufigkeit bis zum Merkmalwert  $x_i$

$b$  = Klassenbreite

Dadurch können für alle Merkmalswerte  $x_i$  die Dichten  $d(x_i)$  bestimmt werden und grafisch als Linienzug dargestellt werden. Alternativ lässt sich die Dichte auch als Funktion der Abstände des Merk-

malswertes  $x_i$  von allen andern Merkmalswerten  $x_k$  ausdrücken. Hierzu muss zunächst eine so genannte Kernfunktion definiert werden. In der Statistik ist eine Vielzahl von Kernfunktionen bekannt. Als Kernfunktion  $K(u_{ik})$  wird der „Normal-Kern“ gewählt. Der „Normal-Kern“ wird definiert zu:

$$K(u) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot e^{-0,5 \cdot u^2} \quad (\text{Gl. 13})$$

mit:

$$u = \frac{x_i - x_k}{w}$$

$x_i$  = betrachteter Merkmalswert

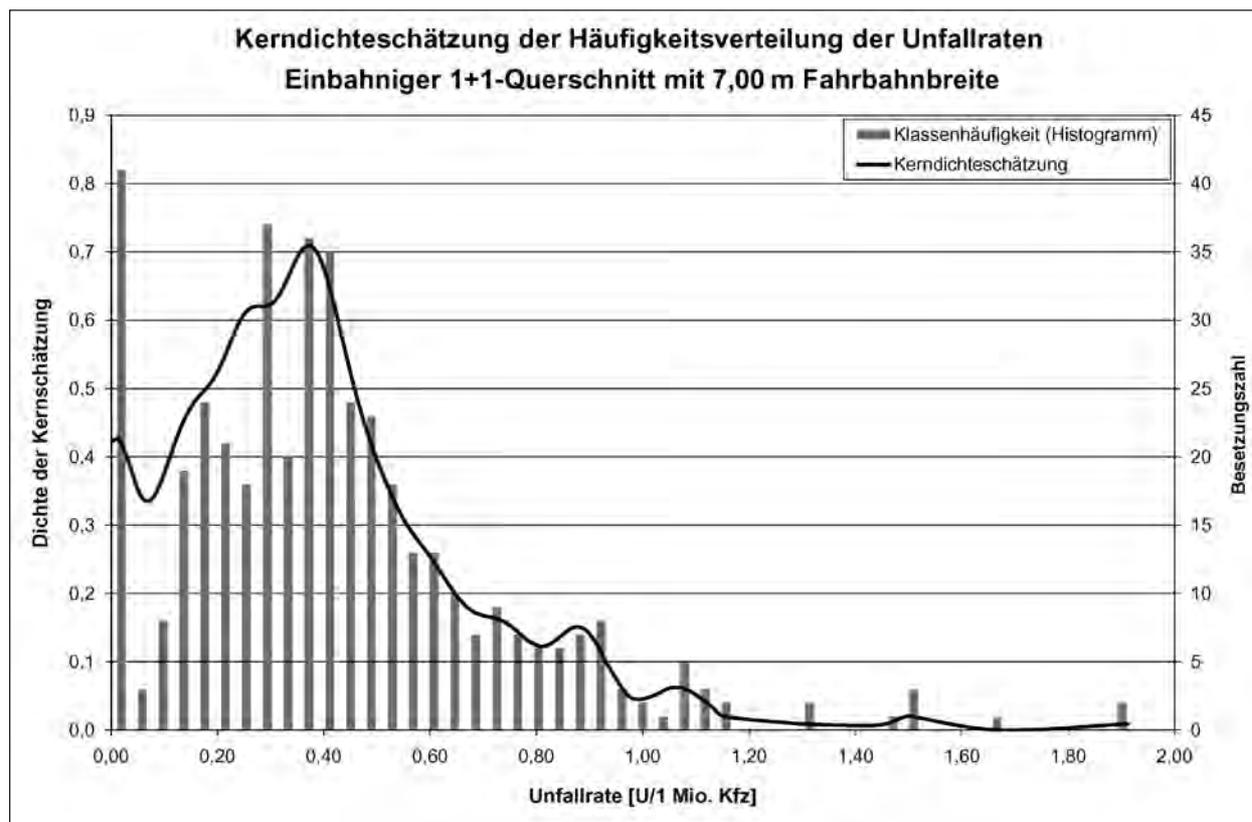
$x_k$  = übrige Merkmalswerte

$w$  =  $b/2$  = Bandbreite

$b$  = Klassenbreite

Tests zeigten, dass sich durch diese Kernfunktion die einfachste Annäherung erreichen lässt. Dabei hängt das Ergebnis weniger von der Kernfunktion als von der gewählten Bandbreite ab (NEUBAUER et al., 2002).

Das „gleitende Histogramm“ lässt sich wie folgt schreiben:



**Bild 27:** Darstellung der Kerndichteschätzung der Unfallraten UR für einbahnige 1+1-Querschnitte mit einer Fahrbahnbreite von 7,00 m (Basis: UT 1-7, PS, SS)

$$d(x_i) = \frac{1}{n \cdot w} \cdot \sum_{k=1}^n K(u_{ik}) \quad (\text{Gl. 14})$$

mit:

$K(u_{ik})$  = Kernfunktion

Als Bandweite  $w$  wurde die bei der vorangegangenen Histogrammerstellung abgeleitete Klassenbreite gewählt. Durch diese Wahl ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung der Kerndichteschätzer mit den Histogrammen.

Bei der Kerndichteschätzung sind die „Nullwerte“ (Unfallraten gleich null) vollständig dem Merkmalswert null zugeordnet worden, da deren „negativer Abstand“ vom Wert null unbekannt ist. Allerdings ist aufgrund der aus den Histogrammen zu erkennenden Verteilung der Merkmalswerte zu vermuten, dass sich diese „theoretisch nahe bei null“ befinden, sodass diese Vereinfachung zulässig erscheint.

In Bild 27 ist beispielhaft die Kerndichteschätzung für den 1+1-Querschnitt einer einbahnigen Fahrbahn mit der Breite von 7,00 m dargestellt. In Anlage 7 sind die Kerndichteschätzer für die übrigen Kollektive wiedergegeben. Die Histogramme sind

dabei durch ein Häufigkeitspolygon dargestellt, bei denen die Mitten der oberen Rechteckbegrenzung der Klassen miteinander verbunden sind.

### 7.3.3 Annäherung der Häufigkeitsverteilung der Unfallkenngrößen durch eine Normalverteilung

Die Unfallkenngrößen von Straßenabschnitten oder Knotenpunkten können als Häufigkeitsverteilung angesehen werden. Die Funktion der Häufigkeitsverteilung ist allerdings nicht bekannt.

Setzt man voraus, dass die Schwankungsbreiten der Einflussfaktoren des Unfallgeschehens rein zufällig und nicht durch systematische Faktoren beeinflusst sind, so ist auch die Verteilung der Unfallkenngrößen zufällig.

Unfallzahlen treten i.d.R. zufällig verteilt um einen Erwartungswert ein. Dabei folgen diese im Allgemeinen einer Poissonverteilung (vgl. (FGSV 1991)). Die der Annahme der Poissonverteilung für Unfallzahlen zugrunde liegenden Vorstellungen und deren Herleitung können u. a. (BRÜHNING et al., 1982) entnommen werden. Durch den Bezug der absoluten Unfallzahlen auf die Fahrleistung

wird aus einer diskreten Größe eine stetige Größe. Diese stetige Größe (Verteilung der Unfallraten) ist entsprechend ihren Eingangsgrößen voraussichtlich normalverteilt.

Bei der Bestimmung von Grundunfallraten auf Basis einer Anpassung über eine Normalfunktion wird davon ausgegangen, dass die nicht richtliniengerechten Straßen, deren Unfallraten signifikant von denen der richtliniengerechten Straßen abweichen, nur einen geringen Anteil aller Straßen ausmachen und deren Unfallkenngößen deutlich oberhalb des Erwartungswertes der Normalverteilung liegen, sodass deren Einfluss auf die Anpassung der Normalverteilung gering ist. Für den größten Teil der nicht richtliniengerechten Straßen wird davon ausgegangen, dass deren Unfallraten im Bereich der Unfallraten der richtliniengerechten Straßen liegen. D. h. diese Unfallraten nur geringfügig höhere Werte aufweisen. Dies bedeutet allerdings, dass durch die Anwendung des Verfahrens auf ein inhomogenes Kollektiv die Grundunfallrate somit tendenziell überschätzt wird.

Die Dichtefunktion der Normalverteilung lautet:

$$d(x_i) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-0,5 \cdot \frac{(x_i - \mu)^2}{\sigma^2}} \quad (\text{Gl. 15})$$

mit:

$x_i$  = Merkmalswert

$\mu$  = Erwartungswert

$\sigma$  = Standardabweichung

Die zugehörige Verteilungsfunktion der Normalverteilung lautet:

$$F(x_i) = \int_{-\infty}^{x_i} \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-0,5 \cdot \frac{(x_i - \mu)^2}{\sigma^2}} \quad (\text{Gl. 16})$$

mit:

$x_i$  = Merkmalswert

$\mu$  = Erwartungswert

$\sigma$  = Standardabweichung

Die Parameter  $\mu$  und  $\sigma$  der Normalverteilung werden so geschätzt, dass sich eine bestmögliche Anpassung an die in Kapitel 7.3.2 mittels Kerndichteschätzung ermittelte Verteilungsfunktion ergibt.

Zusätzlich muss ein Skalierungsfaktor berücksichtigt werden, da die Skalierung der Kerndichteschätzung

von der gewählten Klassenbreite und der Stichprobengröße sowie der gewählten Kernfunktion abhängig ist.

Die Parameterschätzung erfolgt dabei durch die Methode der kleinsten Quadrate. Die Methode der kleinsten Quadrate bestimmt die optimalen Parameter numerisch, indem die Summe der quadratischen Abweichungen der zugrunde gelegten Funktion von den realen Merkmalsausprägungen minimiert wird.

Sind die optimalen Parameter bestimmt, kann der Erwartungswert der Dichtefunktion berechnet werden. Der Erwartungswert der Normalverteilung entspricht dem dichtesten (häufigsten) Wert der Verteilung und ist gleich dem Parameter  $\mu$ .

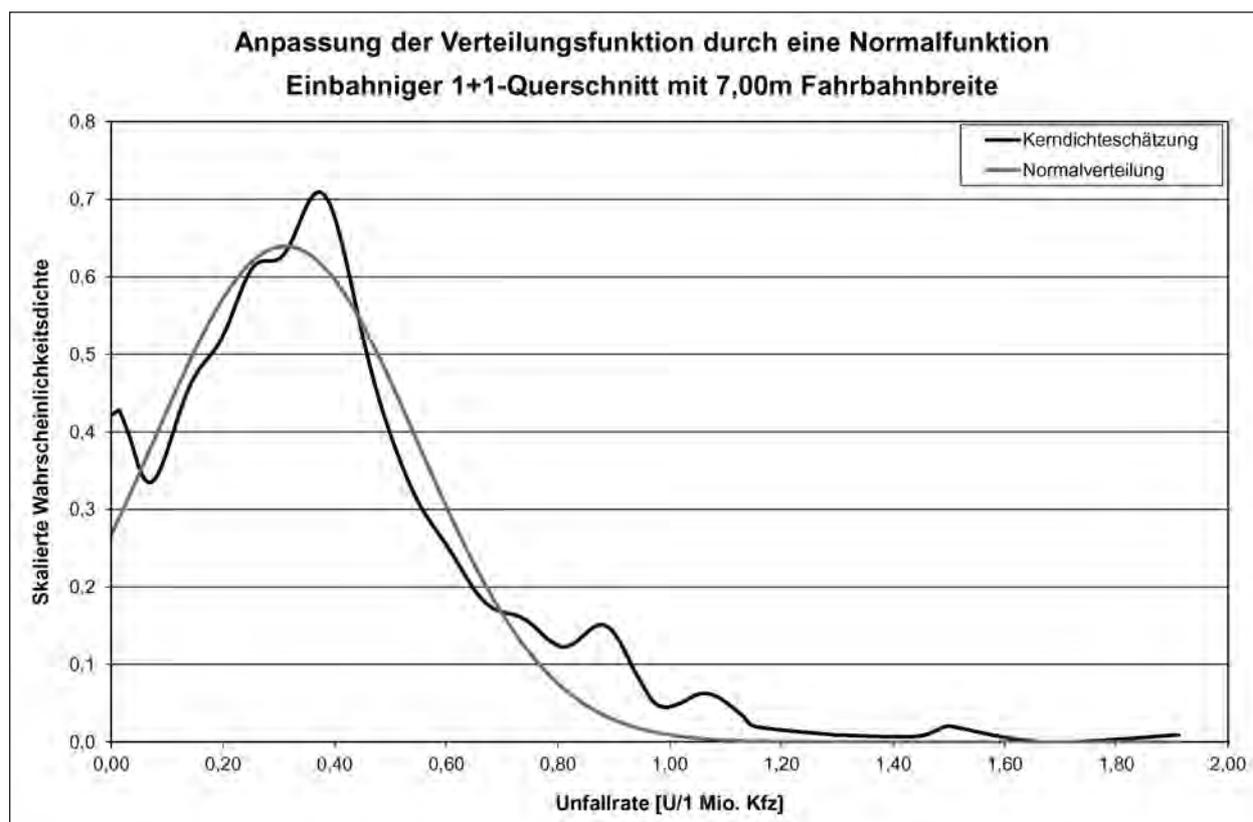
Bei der Anpassung der Normalverteilung wurden die „Nullwerte“ der zugrunde liegenden Verteilung derart berücksichtigt, dass der Anteil (das Quantil) der Unfallrate von „null“ dem Wert der Verteilungsfunktion der angepassten Normalverteilung für den Merkmalswert  $x = 0$  entspricht. Dies bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit, dass ein Wert der angepassten Normalverteilung den Wert „null“ annimmt, dem Anteil der Unfallraten mit dem Wert „null“ der zugrunde liegenden realen Verteilung entspricht.

Die Bestimmung der optimalen Parameter durch die Methode der kleinsten Quadrate wurde mittels der Solver-Funktion des Programms Excel 2007 durchgeführt.

In Bild 28 ist beispielhaft für den einbahnigen 1+1-Querschnitt mit einer Fahrbahnbreite von 7,00 m die angepasste Normalverteilung dargestellt. In Anlage 8 sind die angepassten Normalverteilungen für die übrigen Kollektive wiedergegeben. In Tabelle 41 sind die Parameter der angepassten Normalverteilungen zusammengefasst.

Die Anpassung der Normalverteilung ist wesentlich von der Anzahl an Merkmalswerten mit einer Merkmalsausprägung (Unfallrate) von null sowie von den Besetzungszahlen der Klassen der zugrunde liegenden Verteilung abhängig. Je gleichmäßiger die Klassen besetzt sind oder mehrere Klassen eine größere Besetzungszahl aufweisen, desto „breiter“ ist die Normalverteilung, d. h., die Standardabweichung wird größer.

Ob die zugrunde liegenden Verteilungen der mittleren Unfallraten tatsächlich einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen, wurde mittels eines



**Bild 28:** Darstellung der angepassten Normalverteilung für die Unfallraten UR für einbahnige 1+1-Querschnitte mit einer Fahrbahnbreite von 7,00 m (Basis: UT 1-7, PS, SS)

Kollektiv	$\sigma$ Standard- abweichung	$\mu$ Erwartungs- wert	$r^2$ Bestimmt- heitsmaß
1+1 – 5,00 m	0,87	0,39	0,767
1+1 – 5,50 m	0,70	0,34	0,707
1+1 – 6,00 m	0,41	0,44	0,935
1+1 – 6,50 m	0,33	0,37	0,965
1+1 – 7,00 m	0,24	0,31	0,931
1+1 – 7,50 m	0,21	0,30	0,926
1+1 – 8,00 m	0,14	0,18	0,861
1+1 – 8,50 m	0,14	0,19	0,948
2+1 – 10,00-12,50 m	0,13	0,15	0,964
2+2 – 14,00-17,00 m	0,14	0,12	0,948
E-VZ	0,20	0,14	0,941
K-VZ	0,27	0,34	0,896
E-LSA-mLAS	0,07	0,09	0,953
K-LSA-oLAS	0,14	0,28	0,979
K-LSA-mLAS	0,13	0,24	0,916
Kreisverkehr	0,15	0,10	0,980

**Tab. 41:** Parameter der angepassten Normalverteilung (Basis: UT 1-7, PS, SS)

$\chi^2$ -Tests überprüft. Hierbei wurden die zuvor ermittelten Erwartungswerte und Standardabweichungen als Schätzgrößen für die zugrunde liegende Normalverteilung herangezogen. Als Irrtumswahrscheinlichkeit wurde 5 % gewählt. Bei der Klasseneinteilung wurde auf die in Kapitel 7.3.2 vorgenommene Klasseneinteilung zurückgegriffen.

Der Test wurde auf die ersten 95 % der zugrunde liegenden Verteilung begrenzt, da davon ausgegangen wird, dass ein Teil der vorliegenden Stichprobe aus nicht richtliniengerechten Straßen besteht und deren mittlere Unfallraten größer sind als diejenigen der richtliniengerechten Straßen.

Die Ergebnisse des  $\chi^2$ -Tests zeigen, dass nur in einem Fall die Hypothese verworfen werden muss (vgl. Tabelle 42). Daher ist die Annahme vertretbar, dass die Grundgesamtheit der mittleren Unfallraten normalverteilt ist. Ausgewertet wurden nur die Verkehrsanlagen, deren Freiheitsgrad bei mindestens 5 liegt.

Stellt man die Standardabweichungen und die Erwartungswerte der angepassten Normalverteilungen an die Untersuchungskollektive gegenüber, so wird Folgendes deutlich:

- Das Verhältnis der Erwartungswerte der freien Streckenabschnitte zueinander entspricht annähernd dem Verhältnis der entsprechenden mittleren Unfallraten zueinander.
- Das Verhältnis der Erwartungswerte der Knotenpunkte zueinander entspricht annähernd

Kollektiv	Freiheitsgrade	$\chi^2$	$\chi^2_0$
1+1 – 5,00 m	15	25,00	18,95
1+1 – 5,50 m	13	22,36	15,38
1+1 – 6,00 m	14	23,68	21,66
1+1 – 6,50 m	14	23,68	20,04
1+1 – 7,00 m	13	22,36	22,23
1+1 – 7,50 m	14	23,68	25,80
1+1 – 8,00 m	14	23,68	23,14
1+1 – 8,50 m	15	25,00	21,27
2+2 – 14,00-17,00 m	5	11,07	5,97
E-VZ	12	21,03	20,39
K-VZ	5	11,07	5,74
K-LSA-oLAS	6	12,59	3,75

Tab. 42: Ergebnisse des Signifikanztests auf Normalverteilung der Stichproben

Kollektiv	Quantilwert der mittleren Unfallrate	Quantilwert des Erwartungswertes
1+1 – 5,00 m	56,9 %	43,1 %
1+1 – 5,50 m	59,8 %	42,6 %
1+1 – 6,00 m	57,2 %	43,0 %
1+1 – 6,50 m	54,7 %	42,9 %
1+1 – 7,00 m	53,2 %	42,9 %
1+1 – 7,50 m	55,9 %	42,9 %
1+1 – 8,00 m	59,7 %	43,8 %
1+1 – 8,50 m	57,8 %	43,6 %
2+1 – 10,00-12,50 m	62,5 %	43,8 %
2+2 – 14,00-17,00 m	51,3 %	45,4 %
E-VZ	60,0 %	43,2 %
K-VZ	57,0 %	42,1 %
E-LSA-mLAS	61,2 %	44,9 %
K-LSA-oLAS	55,6 %	44,4 %
K-LSA-mLAS	46,4 %	46,4 %
Kreisverkehr	63,9 %	44,4 %

Tab. 43: Quantilwerte der mittleren Unfallraten und der Erwartungswerte der angepassten Normalverteilungen (Basis: UT 1-7, PS, SS)

dem Verhältnis der entsprechenden mittleren Unfallraten zueinander.

Betrachtet man die Lage der Erwartungswerte innerhalb der jeweils zugrunde liegenden Verteilung der Untersuchungskollektive, so fällt auf, dass diese annähernd den gleichen Quantilwert aufweisen (vgl. Tabelle 43). Die ermittelten Erwartungswerte liegen zwischen 42,1 % und 46,4 %. Bei den freien Strecken liegt der Mittelwert bei 43,4 % und bei den Knotenpunkten bei 44,2 %.

Die Parameter der angepassten Normalverteilungen für die freien Strecken ohne Berücksichtigung der Unfälle des Unfalltyps 2 und 3 sind in Tabelle 44 zusammengestellt. Auch hier lässt sich erken-

Kollektiv	$\sigma$ Standardabweichung	$\mu$ Erwartungswert	$r^2$ Bestimmtheitsmaß
1+1 – 5,00 m	0,78	0,28	0,690
1+1 – 5,50 m	0,54	0,20	0,611
1+1 – 6,00 m	0,36	0,27	0,935
1+1 – 6,50 m	0,26	0,22	0,955
1+1 – 7,00 m	0,19	0,18	0,922
1+1 – 7,50 m	0,17	0,20	0,976
1+1 – 8,00 m	0,11	0,12	0,919
1+1 – 8,50 m	0,13	0,15	0,950
2+1 – 10,00-12,50 m	0,12	0,13	0,980
2+2 – 14,00-17,00 m	0,11	0,12	0,815

Tab. 44: Parameter der angepassten Normalverteilung (Basis: UT 1, 4-7, PS, SS)

Kollektiv	Quantilwert der mittleren Unfallrate	Quantilwert des Erwartungswertes
1+1 – 5,00 m	58,4 %	42,0 %
1+1 – 5,50 m	61,4 %	43,1 %
1+1 – 6,00 m	61,3 %	41,5 %
1+1 – 6,50 m	57,6 %	42,3 %
1+1 – 7,00 m	57,3 %	44,5 %
1+1 – 7,50 m	57,3 %	41,1 %
1+1 – 8,00 m	61,4 %	41,1 %
1+1 – 8,50 m	59,0 %	42,5 %
2+1 – 10,00-12,50 m	64,6 %	37,5 %
2+2 – 14,00-17,00 m	52,9 %	47,9 %

Tab. 45: Quantilwerte der mittleren Unfallraten und der Erwartungswerte der angepassten Normalverteilungen (Basis: UT 1, 4-7, PS, SS)

nen, dass mit zunehmender Fahrbahnbreite bei den einbahnig zweistreifigen Querschnitten die Standardabweichung und der Erwartungswert abnehmen.

Ebenso weisen die ermittelten Erwartungswerte bzgl. ihrer Lage innerhalb der jeweils zugrunde liegenden Verteilung eine gewisse Gleichmäßigkeit auf (vgl. Tabelle 45). Sie liegen zwischen 37,5 % und 47,9 %. Ihr Mittelwert liegt bei 42,4 %.

## 7.4 Empfehlung für die Bestimmung von Grundunfallkostenraten

Da die den Unfallkosten zugrunde liegenden Unfallzahlen poissonverteilt sind, lässt sich die Verteilung der Unfallkosten – aufgrund des Bezugs auf die Fahrleistung – durch eine Normalverteilung approximieren.

Kollektiv	40 %	45 %	50 %	$\mu$ Erwartungswert
1+1 – 5,00 m	0,33	0,44	0,56	0,39
1+1 – 5,50 m	0,31	0,37	0,45	0,34
1+1 – 6,00 m	0,42	0,47	0,52	0,44
1+1 – 6,50 m	0,35	0,39	0,43	0,37
1+1 – 7,00 m	0,29	0,32	0,35	0,31
1+1 – 7,50 m	0,28	0,31	0,34	0,30
1+1 – 8,00 m	0,16	0,18	0,20	0,18
1+1 – 8,50 m	0,17	0,20	0,22	0,19
2+1 – 10,00-12,50 m	0,14	0,16	0,16	0,15
2+2 – 14,00-17,00 m	0,12	0,13	0,14	0,13
Einmündung VZ-geregelt	0,12	0,15	0,17	0,14
Kreuzung VZ-geregelt	0,33	0,37	0,40	0,34
Einmündung LSA-geregelt mit Linksabbiegerschutz	0,08	0,09	0,10	0,09
Kreuzung LSA-geregelt ohne Linksabbiegerschutz	0,24	0,29	0,30	0,28
Kreuzung LSA-geregelt mit Linksabbiegerschutz	0,19	0,24	0,25	0,24
Einstreifiger Kreisverkehr	0,08	0,10	0,13	0,10

Tab. 46: Ausgewählte Quantilswerte der mittleren Unfallraten (Basis: UT 1-7, PS, SS)

Allerdings trifft dies nur für Unfallkosten zu, die Ereignishäufigkeiten darstellen. Unfallkosten und damit auch Unfallkostenraten sind gewichtete Größen und stellen keine Ereignishäufigkeiten dar (vgl. (FGSV 1991)). Daher lassen sich nur Grundunfallraten mit dem entwickelten Ansatz ableiten.

Die zugehörigen Grundunfallkostenraten lassen sich allerdings aus den ermittelten Grundunfallraten bestimmen. Sie sind das Produkt aus den Grundunfallraten und den durchschnittlichen Unfallkosten. Dabei wird davon ausgegangen, dass die nicht richtliniengerechten Straßen im Kollektiv nur Einfluss auf die Unfallhäufigkeit, allerdings nicht auf die Unfallfolgen haben.

In Tabelle 46 sind die Werte ausgewählter Quantile (40 %, 45 %, 50 %) den ermittelten Erwartungswerten gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung macht deutlich, dass die Verteilungen der Unfallraten insbesondere bei den schmaleren Querschnitten im Bereich zwischen dem 40%- und dem 50%-Quantil relativ deutlich ansteigen. Eine Auswahl eines einheitlichen Quantilswert über alle Untersuchungskollektive (z. B. 45 %) würde zu einer spürbaren Verzerrung der ermittelten Ergebnisse führen. Es wird daher empfohlen, mit den abgeleiteten Erwartungswerten zu rechnen.

## 8 Bestimmung der Grundunfallkostenraten

Für die untersuchten freien Streckenabschnitte und Knotenpunkte wurden in Kapitel 7 die Grundunfallraten ermittelt. Um aus diesen die Grundunfallkostenraten bestimmen zu können, müssen die Grundunfallraten mit den durchschnittlichen Unfallkosten multipliziert werden.

Die durchschnittlichen Unfallkosten ergeben sich aus dem Verhältnis der Summe der Unfallkosten aller Unfälle eines Querschnittstyps bzw. einer Knotenpunktart zur Anzahl der zugehörigen Unfälle.

In Tabelle 47 und Tabelle 48 sind die Grundunfallraten, die durchschnittlichen Kosten je Unfall und die Grundunfallkostenraten für die freien Streckenabschnitte zusammengestellt.

Eine Gegenüberstellung der Grundunfallkostenraten und der mittleren Unfallkostenraten ist für die freien Streckenabschnitte in Tabelle 49 und Tabelle

Fahrbahn- breite	gUR [U/1 Mio. Kfz-km]	Ø Kosten je Unfall	gUKRa [€/1.000 Kfz-km]
Einbahnige 1+1-Querschnitte			
5,00 m	0,39	80.371 €	31,3
5,50 m	0,34	98.089 €	33,4
6,00 m	0,44	94.038 €	41,4
6,50 m	0,37	92.915 €	34,4
7,00 m	0,31	97.713 €	30,3
7,50 m	0,30	85.250 €	25,6
8,00 m	0,18	96.389 €	17,4
8,50 m	0,19	92.167 €	17,5
Einbahnige 2+1-Querschnitte			
10,00 m bis 12,50 m	0,15	75.279 €	11,3
Zweibahnige 2+2-Querschnitte			
14,00 m bis 17,00 m	0,12	63.994 €	7,7

Tab. 47: Grundunfallkostenraten für freie Streckenabschnitte  
(Basis: UT 1-7, PS, SS)

Fahrbahn- breite	UKRa [€/1.000 Kfz-km]	gUKRa [€/1.000 Kfz-km]	Verhältnis gUKRa/ UKRa
Einbahnige 1+1-Querschnitte			
5,00 m	55,8	31,3	0,561
5,50 m	63,8	33,4	0,524
6,00 m	57,9	41,4	0,715
6,50 m	44,5	34,4	0,773
7,00 m	36,0	30,3	0,842
7,50 m	31,2	25,6	0,821
8,00 m	23,9	17,4	0,728
8,50 m	23,1	17,5	0,758
Einbahnige 2+1-Querschnitte			
11,00 m bis 12,50 m	14,8	11,3	0,764
Zweibahnige 2+2-Querschnitte			
14,50 m bis 16,50 m	9,8	7,7	0,786

Tab. 49: Vergleich der mittleren Unfallkostenraten und der  
Grundunfallkostenraten für freie Streckenabschnitte  
(Basis: UT 1-7, PS, SS)

Fahrbahn- breite	gUR [U/1 Mio. Kfz-km]	Ø Kosten je Unfall	gUKRa [€/1.000 Kfz-km]
Einbahnige 1+1-Querschnitte			
5,00 m	0,28	83.571 €	23,4
5,50 m	0,20	97.441 €	19,5
6,00 m	0,27	94.154 €	25,4
6,50 m	0,22	95.651 €	21,0
7,00 m	0,18	105.784 €	19,0
7,50 m	0,20	90.669 €	18,1
8,00 m	0,12	103.857 €	12,5
8,50 m	0,15	98.906 €	14,8
Einbahnige 2+1-Querschnitte			
10,00 m bis 12,50 m	0,13	76.146 €	9,9
Zweibahnige 2+2-Querschnitte			
14,00 m bis 17,00 m	0,12	63.646 €	7,6

Tab. 48: Grundunfallkostenraten für freie Streckenabschnitte  
(Basis: UT 1, 4-7, PS, SS)

Fahrbahn- breite	UKRa [€/1.000 Kfz-km]	gUKRa [€/1.000 Kfz-km]	Verhältnis gUKRa/ UKRa
Einbahnige 1+1-Querschnitte			
5,00 m	50,5	23,4	0,463
5,50 m	50,7	19,5	0,385
6,00 m	43,5	25,4	0,584
6,50 m	32,3	21,0	0,650
7,00 m	27,0	19,0	0,704
7,50 m	25,8	18,1	0,702
8,00 m	18,5	12,5	0,676
8,50 m	19,8	14,8	0,747
Einbahnige 2+1-Querschnitte			
11,00 m bis 12,50 m	13,7	9,9	0,723
Zweibahnige 2+2-Querschnitte			
14,50 m bis 16,50 m	9,3	7,6	0,817

Tab. 50: Vergleich der mittleren Unfallkostenraten und der  
Grundunfallkostenraten für freie Streckenabschnitte  
(Basis: UT 1, 4-7, PS, SS)

50 dargestellt. Unter Einbeziehung aller Unfälle (Unfalltypen 1-7) schwankt das Verhältnis der Grundunfallkostenrate zur mittleren Unfallkostenrate ab einer Fahrbahnbreite von 6,00 m um den Wert 0,77. Betrachtet man hingegen nur die Streckenun-

fälle (Unfalltypen 1 und 4-7), so ist dieser deutliche Zusammenhang nicht mehr zu erkennen. Ein einheitlicher Faktor zur direkten Ermittlung der Grundunfallkostenrate aus der mittleren Unfallkostenrate scheint nicht zu existieren.

Fahrbahn- breite	gUKRa der Einflussbereiche		
	bevor- rechtigt	signal- geregelt	warte- pflichtig
Einbahnige 1+1-Querschnitte			
5,00 m	28,4	27,1	26,7
5,50 m	30,7	29,5	29,1
6,00 m	37,8	36,1	35,5
6,50 m	30,5	28,7	28,1
7,00 m	26,0	24,1	23,4
7.50 m	21,4	19,5	18,9
8,00 m	13,7	12,0	11,4
8,50 m	13,6	11,9	11,3
Einbahnige 2+1-Querschnitte			
11,00 m bis 12,00 m	19,8	14,8	-
Zweibahnige 2+2-Querschnitte			
14,50 m bis 16,50 m	13,5	10,1	-

**Tab. 51:** Grundunfallkostenraten für Einflussbereiche von Knotenpunkten (Basis: UT 1-7, PS, SS)

Die Unfallkostenraten und die Unfallraten der Einflussbereiche einbahnig zweistreifiger Querschnitte wurden mittels einer Regressionsrechnung abgeleitet. Zur Bestimmung der Grundunfallkostenraten der Einflussbereiche wurden daher die mittleren Unfallkostenraten der Einflussbereiche mit einem Faktor multipliziert. Dieser Faktor ergibt sich aus dem Verhältnis der Grundunfallkostenraten der freien Streckenabschnitte zu deren mittleren Unfallkostenraten. Da dieses Verhältnis nicht für alle Fahrbahnbreiten in einer vergleichbaren Größenordnung liegt, wurde die Grundunfallkostenrate für jede Fahrbahnbreite getrennt ermittelt.

Für die Einflussbereiche der einbahnig dreistreifigen und zweibahnig vierstreifigen Querschnitte wurde die gleiche Wirkung auf die Grundunfallkostenrate unterstellt, wie dies auch schon in Kapitel 6.3 für die Unfallkostenrate der Fall war. D. h., die Grundunfallkostenraten wurden um 75 % für die bevorrechtigten Knotenpunktzufahrten bzw. 30 % für die signalgeregelten Knotenpunktzufahrten erhöht. Für die wartepflichtigen Knotenpunktzufahrten können keine Werte angegeben werden. Die entsprechenden Grundunfallkostenraten sind der Tabelle 51 zu entnehmen.

Zur Bestimmung der Grundunfallkostenraten für die verschiedenen Knotenpunktarten wurde gemäß dem in Kapitel 7 entwickelten Verfahren vorgegan-

Knotenpunktart	gUR [U/1 Mio. Kfz]	Ø Kosten je Unfall	gUKRa [€/1.000 Kfz]
Einmündung VZ-geregelt	0,14	56.158	7,9
Kreuzung VZ-geregelt	0,34	55.237	18,8
Einmündung LSA-geregelt ohne Linksabbiegerschutz	0,19 (Wert geschätzt)	51.886	9,9
Einmündung LSA-geregelt mit Linksabbiegerschutz	0,09	51.339	4,6
Kreuzung LSA-geregelt ohne Linksabbiegerschutz	0,28	52.125	14,6
Kreuzung LSA-geregelt mit Linksabbiegerschutz	0,24	52.893	12,7
Kreisverkehr	0,10	46.392	4,6

**Tab. 52:** Grundunfallkostenraten für verschiedene Knotenpunktarten auf Grundlage des 40%-Quantils der zugrunde liegenden Verteilung

Fahrbahnbreite	UKRa [€/1.000 Kfz]	gUKRa [€/1.000 Kfz]	Verhältnis gUKRa/ UKRa
Einmündung VZ-geregelt	13,1	7,9	0,603
Kreuzung VZ-geregelt	25,4	18,8	0,740
Einmündung LSA-geregelt ohne Linksabbiegerschutz	10,9	9,9	0,908
Einmündung LSA-geregelt mit Linksabbiegerschutz	5,9	4,6	0,780
Kreuzung LSA-geregelt ohne Linksabbiegerschutz	16,3	14,6	0,896
Kreuzung LSA-geregelt mit Linksabbiegerschutz	12,5	12,7	1,016
Kreisverkehr	8,7	4,6	0,529

**Tab. 53:** Vergleich der mittleren Unfallkostenraten und der Grundunfallkostenraten für Knotenpunkte

gen. Ausnahme bilden die signalgeregelten Einmündungen ohne Linksabbiegerschutz, da deren Stichprobe zu gering für die Anwendung des Verfahrens ist. Für diese Knotenpunktart wurde der 45%-Quantilswert der Stichprobe berechnet und

als Grundunfallrate angesetzt. Die Zusammenstellung der Grundunfallkostenraten ist Tabelle 52 zu entnehmen.

Aus einer Gegenüberstellung der mittleren Unfallkostenraten und der Grundunfallkostenraten lässt sich kein einheitlicher Faktor zur Umrechnung ableiten (vgl. Tabelle 53). Für die signalgeregelten Kreuzungen mit Linksabbiegerschutz ergibt sich ein Faktor von über 1. Dies würde bedeuten, dass die Grundunfallkostenrate für diese Knotenpunktart über der mittleren Unfallkostenrate liegen würde. Dies ist jedoch nicht der Fall, sondern der sich ergebende Verhältniswert von über 1 ist rundungsbedingt. Tatsächlich liegt dieser bei 1.

## 9 Zusammenfassende Schlussbemerkung

Mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung liegen aktuelle Werte für die mittleren Unfallraten und Unfallkostenraten für die drei Teilbereiche freie Streckenabschnitte, Einflussbereiche von Knotenpunkten und Knotenpunkte von Landstraßen vor.

Aus der Unfallanalyse lassen sich darüber hinaus folgende wesentliche Erkenntnisse zusammenfassen:

- Bei den einbahnig zweistreifigen Querschnitten nehmen die mittlere Unfallrate und die mittlere Unfallkostenrate kontinuierlich ab.
- Die mittleren Unfallraten und Unfallkostenraten der einbahnig dreistreifigen Querschnitte liegen jeweils unterhalb der vergleichbaren Werte der einbahnig zweistreifigen Querschnitte.
- Die mittleren Unfallraten und Unfallkostenraten der zweibahnig vierstreifigen Querschnitte liegen wiederum jeweils unterhalb der vergleichbaren Werte der einbahnig dreistreifigen Querschnitte.
- Die mittleren Unfallraten und die mittleren Unfallkostenraten der Einflussbereiche von Knotenpunkten sind abhängig von der anschließenden Knotenpunktart.
- Die verkehrszeichengeregelten Knotenpunkte weisen gegenüber den signalgeregelten Knotenpunkten höhere Werte bei den mittleren Unfallraten und den mittleren Unfallkostenraten auf.

- Bei den signalgeregelten Knotenpunkten wirkt sich ein Linksabbiegerschutz deutlich positiv auf das Unfallgeschehen am Knotenpunkt aus.
- Die signalgeregelten Einmündungen mit Linksabbiegerschutz weisen die günstigsten Unfallkostenraten und Unfallraten auf. Die Kreisverkehre sind aus Sicht der Verkehrssicherheit die zweitgünstigste Knotenpunktart.

Zusätzlich zu den Unfallanalysen konnte ein Verfahren entwickelt werden, das es ermöglicht, aus großen Unfallkollektiven die Grundunfallkostenraten abzuleiten. Da dieses Verfahren allerdings nur auf einer statistischen Analyse inhomogener Untersuchungskollektive beruht, bleibt es weiteren Untersuchungen vorbehalten, inwieweit sich andere Grundunfallkostenraten ergeben, wenn der Ermittlung eine Aufspaltung der zugrunde liegenden Daten in die zwei Teilkollektive der richtliniengerechten und der nicht richtliniengerechten Straßen zugrunde gelegt wird.

Aus der Ermittlung der Grundunfallkostenraten lassen sich gegenüber den schon aus der Ermittlung der mittleren angepassten Unfallkostenraten gewonnenen Erkenntnissen folgende zusätzliche bzw. abweichende Erkenntnisse schließen:

- Die Grundunfallkostenraten der untersuchten Querschnitte und Knotenpunktarten liegen im Bereich des 43,5%-Quantils der jeweils zugrunde liegenden Verteilung.
- Im Gegensatz zu den mittleren Unfallkostenraten nimmt die Grundunfallkostenrate bei den einbahnig zweistreifigen Querschnitten erst ab einer Fahrbahnbreite von 6,00 m mit zunehmender Fahrbahnbreite ab.
- Die einbahnig zweistreifigen Querschnitte mit einer Fahrbahnbreite von 5,00 m und 5,50 m weisen eine geringere Grundunfallkostenrate auf als ein entsprechender Querschnitt mit einer Fahrbahnbreite von 6,00 m. Ursächlich hierfür kann ein abweichendes Fahrverhalten auf den schmaleren Querschnitten sein, das zu geringeren Unfallfolgen oder einer geringeren Unfallzahl führt. Hierzu bedarf es allerdings einer eingehenden Untersuchung der schmalen Querschnitte, um diese Vermutung zu bestätigen.

## Literatur

- BRANNOLTE, U.; BARTH, H.-B.; SCHWARZMANN, R. u. a.: Sicherheitsbewertung von Querschnitten außerörtlicher Straßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 5, Bergisch Gladbach, 1993
- BRÜHNING, E.; VÖLKER, R.: Das Unfallrisiko im Straßenverkehr – Kenngrößen und ihre statistische Behandlung. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 28, Heft 3, 1982
- DOHMEN, R.; EMDE, W.: Unfallkosten bei der Bewertung von Straßenbauprojekten. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 77, Bergisch Gladbach, 1989
- ECKSTEIN, K.; MEEWES, V.: Sicherheit von Landstraßen-Knotenpunkten, Knotenpunktgrundformen – Verkehrsregelungen – Zufahrten. Mitteilungen des Instituts für Straßenverkehr Köln (ISK), Köln, Januar 2002
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [Hrsg.]: Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil 1: Querschnitte (RAS-Q), Ausgabe 1982, Bonn, 1982
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [Hrsg.]: Hinweise zur Methodik der Untersuchung von Straßenverkehrsunfällen, Ausgabe 1991, FGSV Verlag, Köln – FGSV 356, 1991
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [Hrsg.]: Empfehlungen für die Anlage von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS) – Aktualisierung der RAS-W 86, Ausgabe 1997. FGSV Verlag, Köln – FGSV 132, 1997
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [Hrsg.]: Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßen (ESN), Ausgabe 2003, FGSV Verlag, Köln – FGSV 383, 2003
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Handbuch der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS), Entwurf 2009, unveröffentlicht
- Institut für Straßenverkehr Köln E.V. (GDV) [Hrsg.]: Sicherung des Verkehrs auf Straßen – SVS, Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1, Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten. Köln, Januar 2003
- HÖHNSCHEID, K.J.; KÖPPL, B.; KRUPP, R.; MEWES, V. : Bewertung der Straßenverkehrsunfälle – Entwicklung der Unfallkosten in Deutschland 1995 bis 1998 – Unfallkostensätze 2000. Straßenverkehrstechnik, Heft 9/2000, Kirschbaumverlag, Bonn
- NEUBAUER, W.; BELLGART, E.; BEHR, A.: Statistische Methoden: ausgewählte Methoden für Wirtschaftswissenschaftler, 2. Auflage. München, Verlag Vahlen, 2002
- KÖLLE, M.; SCHNÜLL, R.: Sicherheitseigenschaften außerörtlicher Knotenpunkte. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 67, Bergisch Gladbach, 1999
- KREBS, H. G.; KLÖCKNER, J. H.: Untersuchungen über Unfallraten in Abhängigkeit von Straßen- und Verkehrsbedingungen außerhalb geschlossener Ortschaften. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 223, Bonn-Bad Godesberg, 1977
- LEUTZBACH, W.; ZOELLMER, J.: Zusammenhang zwischen der Verkehrssicherheit und Elementen des Straßenentwurfs. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 545, Bonn-Bad Godesberg, 1988
- PALM, I.; SCHMIDT, G.: Querschnittsbreiten einbahniger Außerortsstraßen und Verkehrssicherheit. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 64, Bergisch Gladbach, April 1999
- PAPULA, L.: Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Band 3, 5. Auflage. Wiesbaden, Vieweg + Teubner Verlag, 2008
- RICHTER, T.: Entwurfsstandards für Knotenpunkte an Ortsumgehungen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 653, Bonn-Bad Godesberg, 1993
- RICHTER, T.; HÜLSKEN, B.: Einsatzkriterien für Kreisverkehrsplätze außerhalb bebauter Gebiete. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 757, Bonn, 1998
- SACHS, L.: Angewandte Statistik – Anwendung statistischer Methoden, 11. Auflage, Berlin, Springer-Verlag, 2004

SCHMIDT, G.: Ergebnisse von Geschwindigkeits- und Unfalluntersuchungen auf zweistreifigen Landstraßen. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 42, Heft 4, 1996

SCHNÜLL, R.; RICHTER, T.: Sicherheitsvergleich der Knotenpunktgrundformen Kreuzung und Rechtsversatz an Straßen außerhalb bebauter Gebiete. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 683, Bonn-Bad Godesberg, 1994

STEINAUER, B.; SCHUCKLIEß, W.; BECHER, T.: Übergreifende Bewertung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten auf Landstraßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1004, Bonn, November 2008

STURM, P.: Verkehrssicherheit an plangleichen und teilweise planfreien Knotenpunkten von Außerortsstraßen. Dissertation eingereicht am Fachbereich Wasser und Verkehr der TH Darmstadt, 1989

WEBER, R.; LÖHE, U.: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken mit allgemeinem Verkehr. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 109, Bergisch Gladbach, 2003

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

### 2007

- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis  
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland  
Baier, Klemp, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen  
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –  
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung  
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst  
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00
- V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO  
Böhl, Mause, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer  
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen  
Lemke € 13,50
- V 154: Autobahnverzeichnis 2006  
Kühnen € 22,00
- V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht  
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen  
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00
- V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317  
Klößner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers, Friedrich, Kübler, Lukas € 14,50
- V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen  
Wirtz € 13,50
- V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006  
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen, Koßmann € 25,50
- V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe  
Listl, Otto, Zackor € 14,50
- V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta  
Grahl, Sander € 14,50

- V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen  
Brilon, Wietholt, Wu € 17,50
- V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse  
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

### 2008

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

### 2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw  
Schulze, Hübelt € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24  
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen € 26,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik  
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn  
Hausmann € 14,50
- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen  
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50

V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern  
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00

V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen  
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00

V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern  
Alrutz, Bohle, Müller, Prahl, Hacke, Lohmann € 19,00

V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit  
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00

V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst  
Badelt, Moritz € 17,00

V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes  
Kirschfink, Aretz € 16,50

## 2010

V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb  
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00

V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen  
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50

V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Lank, Steinauer, Busen € 29,50

V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008  
Fitschen, Nordmann € 27,00  
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme  
Gärtner, Egelhaaf € 14,00

V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen  
Klößner € 14,50

V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement  
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50

V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen  
Londong, Meyer € 29,50  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung  
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen € 16,00

V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008  
Lensing € 16,50

V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006  
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50

V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2006/2007  
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

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

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

---

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10  
D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.