

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

FA 82.311/06

Forschungsstelle: IGS Ingenieurgesellschaft Stolz mbH, Neuss

Bearbeiter: Vieten, M. / Dohmen, R. / Dürhager, U. / Legge, K.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Abschluss: Juni 2010

### 1 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 Referenzwerte liegen trotz einer Vielzahl von Untersuchungen zum Unfallgeschehen auf Landstraßen bislang nicht vor.

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 Straßenzustands, des Straßenraums oder der Straßenausstattung) zurück zu führen 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 Ausbildung „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. Daher war es eine weitere Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung, diese "erreichbaren" Unfallkenngrößen abzuleiten.

### 2 Untersuchungsmethode

Eine Vielzahl von Untersuchungen hat sich in der Vergangenheit mit der Analyse des Unfallgeschehens an Landstraßen befasst. 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 freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

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. Zur Berücksichtigung der Unfallfolgen kamen sowohl pauschale Kostensätze sowie auch über den Unfalltyp angepasste Kostensätze zur Anwendung. Als beschreibende Unfallkenngrößen für die unterschiedlichen Verkehrsanlagen wurden Unfallraten und Unfallkostenraten berechnet. Darüber hinaus wurden die Unfallraten und die Unfallkostenraten nach verschiedenen Gestaltungsformen und Betriebsarten vertiefend betrachtet.

Während die mittleren Unfallkostenraten eines Untersuchungskollektivs von Straßenabschnitten nur eine Aussage über die durchschnittlichen Unfallkosten in Bezug auf die Unfälle dieses Kollektivs 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 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 Grundunfallkostenraten abzuleiten, das sowohl richtliniengerechte als auch nicht richtliniengerechte Straßen umfasst. Daher wurde zu-

nächst auf Grundlage einer Auswahl an unterschiedlichen Verkehrsanlagen ein mögliches Verfahren entwickelt, das 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 abgeleitet.

### 3 Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der Unfalldatenauswertung

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 Unfalldichte 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.

Betrachtet man die Unfalltypenverteilung der verschiedenen Querschnittstypen miteinander, so sind verschiedene Aspekte auffällig:

- Bei den einbahnig, zweistreifigen Querschnitten nimmt der Anteil der Fahrnfälle 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 10-fach höher als bei den beiden anderen Querschnittstypen.
- Die einbahnig, dreistreifigen und die zweibahnig, vierstreifigen Querschnitte ähneln sich in der Verteilung der Unfalltypen.

Bei der Analyse der Unfalltypen gilt es zu berücksichtigen, dass im Zuge der freien Streckenabschnitte durchaus Knotenpunkte vorhanden sein können. 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.

Ein Vergleich der mittleren Unfallraten der verschiedenen Querschnittstypen untereinander führt zu folgenden Erkenntnissen:

- 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 Un-

fallraten 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.

Werden bei der Ermittlung der mittleren Unfallraten nur die sogenannten "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 nächst schmalere Fahrbahnbreitenklasse. Gleiches gilt für die Fahrbahnen mit einer Breite von 8,50 m.

Ein Vergleich der Unfallkostenraten für die einbahnig, zweistreifigen Querschnitte führt zu analogen Ergebnissen wie schon der Vergleich der Unfallraten:

- 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.
- 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.

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 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 Unfälle.

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.

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 Fahrnfälle (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.

Bei den mittleren Unfallraten und mittleren Unfallkostenraten der Einflussbereiche zeigt sich, dass sowohl die Fahrbahnbreite der anschließenden freien Strecke als auch die Verkehrsregelung am anschließenden Knotenpunkt diese Raten beeinflusst. Daher wurden die mittleren Unfallraten und Unfallkostenraten für die Einflussbereiche dementsprechend getrennt nach diesen beiden Einflussgrößen bestimmt.

Da in der Datenbasis keine ausreichenden Informationen über die Knotenpunkte vorlagen, wurde diese separat erhoben. Insgesamt wurden 796 Knotenpunkte erhoben, an denen sich 3 137 Unfälle der Kategorie 1 bis 4 im Untersuchungszeitraum ereigneten.

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.

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.

Die Verteilung der Unfalltypen zeigt zwischen den betrachteten Knotenpunktarten deutliche Unterschiede. So liegt der Anteil der Fahrnfälle (Unfalltyp 1) bei den Kreuzungen unterhalb von 10 %, während dieser Anteil bei den Einmündungen und den Kreisverkehren stets über 10 % liegt.

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 verkehrszeichengeregelten Kreuzungen als unsicherste Knotenpunktart.

**3.2 Bestimmung von Grundunfallkenngrößen**

Eine allgemeine Methodik zur Ermittlung von Grundunfallkenngrößen ist bisher nicht bekannt. Daher wurde in der vorliegenden Untersuchung ein Verfahren zur Ermittlung von Grundunfallkenngrößen entwickelt.

Aus der Ermittlung der Grundunfallkostenraten lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- 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, dass zu geringeren Unfallfolgen oder einer geringer Unfallzahl führt. Hierzu bedarf es allerdings einer eingehenden Untersuchung der schmalen Querschnitte, um diese Vermutung zu bestätigen.
- Die signalgeregelten Einmündungen mit Linksabbiegerschutz und die Kreisverkehre weisen gemeinsam die geringsten Grundunfallkostenraten aller Knotenpunktarten auf.

In den Tabellen 1 ist eine Gegenüberstellung der Grundunfallkostenraten und der mittleren Unfallkostenraten für die freien Streckenabschnitte zusammengestellt. Tabelle 2 enthält diesen Vergleich für die betrachteten Knotenpunktarten. In Tabelle 3 sind die Grundunfallkostenraten für die Einflussbereiche zusammengestellt.

**4 Folgerung für die Praxis**

Mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung liegen differenzierte Referenzwerte für eine quantitative Abschätzung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen von Landstraßen vor.

Zusätzlich liegt ein Verfahren vor, mithilfe dessen Grundunfallkenngrößen für Teilabschnitte von Landstraßen bestimmt werden können. Mithilfe dieses Verfahrensansatzes, der allerdings noch auf Grundlage eines homogenen Untersuchungskollektivs überprüft werden sollte, können die Grundunfallkostenraten auch für andere Verkehrsanlagen abgeleitet werden.

Mit den vorliegenden differenzierten Grundunfallkostenraten für verschiedene Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen von Landstraßen können wesentlich genauere Sicherheitsanalysen durchgeführt werden, als dies derzeit mit den in den ESN angegebenen Grundunfallkostenraten möglich ist.

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

Fahrbahnbreite	UKRa [€/1.000 Kfz-km]	gUKRa [€/1.000 Kfz-km]	Verhältnis gUKRa/UKRa
<b>Einbahnige 1+1-Querschnitte</b>			
5,00m	55,8	31,3	0,561
5,50m	63,8	33,4	0,524
6,00m	57,9	41,4	0,715
6,50m	44,5	34,4	0,773
7,00m	36,0	30,3	0,842
7.50m	31,2	25,6	0,821
8,00m	23,9	17,4	0,728
8,50m	23,1	17,5	0,758
<b>Einbahnige 2+1-Querschnitte</b>			
11,00 m bis 12,00 m	14,8	11,3	0,764
<b>Zweibahnige 2+2-Querschnitte</b>			
14,50 m bis 16,50 m	9,8	7,7	0,786

**Tab. 2: Vergleich der mittleren Unfallkostenraten und der Grundunfallkostenraten für Knotenpunkte**

Fahrbahnbreite	UKRa [€/1.000 Kfz- km]	gUKRa [€/1.000 Kfz-km]	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 <i>(Wert ge- schätzt)</i>	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
Einstreifiger Kreisverkehr	8,7	4,6	0,529

**Tab. 3: Grundunfallkostenraten für Einflussbereiche von Knotenpunkten (Basis: UT 1-7, PS, SS)**

Fahr- bahnbrei- te	gUKRa der Einflussbereiche		
	bevorrech- tigt	signal- geregelt	wartepflichtig
Einbahnige 1+1-Querschnitte			
5,00m	28,4	27,1	26,7
5,50m	30,7	29,5	29,1
6,00m	37,8	36,1	35,5
6,50m	30,5	28,7	28,1
7,00m	26,0	24,1	23,4
7,50m	21,4	19,5	18,9
8,00m	13,7	12,0	11,4
8,50m	13,6	11,9	11,3
Einbahnige 2+1-Querschnitte			
11,00m bis 12,00m	19,8	14,8	-
Zweibahnige 2+2-Querschnitte			
14,50 m bis 16,50 m	13,5	10,1	-