

# Mikroskopische Unfallanalyse zur Identifikation von Wirkungsfeldern zukünftiger Fahrerassistenzsysteme

T. Wiltschko<sup>a,1</sup>

<sup>a</sup> Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen, Universität Stuttgart,  
Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174 Stuttgart

**Kurzfassung:** Zur Identifikation von Wirkungsfeldern zukünftiger sicherheitssteigernder Fahrerassistenzsysteme ist eine detaillierte Betrachtung des Verkehrs- und Unfallgeschehens erforderlich. In diesem Beitrag wird eine mikroskopische Unfallanalyse vorgestellt, die auf der Nutzung von polizeilichen Unfalldaten basiert, jedoch eine wesentlich stärkere Detailliertheit als die amtliche Unfallstatistik aufweist. Methodische Grundlage bildet die standardisierte Verkehrssituation zur situationsbezogenen Beschreibung des Unfallgeschehens aus der Sicht des Fahrers.

Anhand von 690 polizeilich erfassten Unfällen aus den Jahren 1996 und 2001 in einem Teilgebiet von Stuttgart, wird das Unfallgeschehen im Ballungsraum analysiert. U.a. werden hierzu Unfallohäufigkeit, Unfallschwere, Unfalldichte sowie das Fehlverhalten in Unfallsituationen betrachtet. Ausgehend von den Ergebnissen der mikroskopischen Unfallanalyse erfolgt die Abschätzung des Sicherheitssteigerungspotenzials zukünftiger Fahrerassistenzsysteme für den Ballungsraum.

**Schlagworte:** Mikroskopische Unfallanalyse; Verkehrssituation; Unfallrisiko; Verkehrssicherheit; Fahrerassistenzsysteme; Ballungsraum

---

<sup>1</sup>E-Mail: [thomas.wiltschko@iagb.uni-stuttgart.de](mailto:thomas.wiltschko@iagb.uni-stuttgart.de), URL: [www.uni-stuttgart.de/iagb/](http://www.uni-stuttgart.de/iagb/)

## 1 Einleitung

Zur Identifikation von Wirkungsfeldern zukünftiger Fahrerassistenzsysteme (ACC im Ballungsraum, Stop&Go-Assistent, Spurwechselassistent, Kollisionswarner, Kreuzungsassistent usw.) ist eine detaillierte Betrachtung des Verkehrsgeschehens erforderlich. Im Hinblick auf sicherheitssteigernde Assistenzsysteme spielt die Analyse der Verkehrssicherheit eine entscheidende Rolle. Es gilt Konfliktfelder mit erhöhtem Gefährdungspotenzial zu ermitteln, da gerade hier bei einer geeigneten Unterstützung durch ein Fahrerassistenzsystem ein hoher Sicherheitsgewinn zu erwarten ist.

Die amtliche Unfallstatistik ermöglicht durch die erfolgte Aggregation der Unfalldaten keine Analyse in der dazu notwendigen Detailliertheit. Aus diesem Grund wird für die hier vorliegende Problemstellung eine mikroskopische Unfallanalyse herangezogen, die auf einer situationsbezogenen Beschreibung des Unfallgeschehens basiert. Dazu wird mit Hilfe von standardisierten Verkehrssituationen das Unfallgeschehen aus der Sicht des Fahrers modelliert. Die Rekonstruktion der Unfallsituationen erfolgt anhand der im Rahmen der Verkehrsunfallaufnahme angefertigten Unfallberichte und Unfallskizzen.

Die gewählte Untersuchungsmethodik ist so angelegt, dass der Unfall als die zu betrachtende Konfliktsituation herangezogen wird. Hieraus ergeben sich folgende Vorteile:

- Mit dem Unfall wird die Konfliktsituation mit dem größten Gefährdungspotenzial betrachtet.
- Durch die Verwendung der originären Unfalldaten der Polizei steht ein nahezu unerschöpflicher Datenpool zur Verfügung.
- Auf eine extrem zeit- und kostenaufwändige Erfassung anderer Konfliktsituationen, wie Fahrfehler, Verkehrsverstoß, Verkehrskonflikt usw., kann verzichtet werden.

Da ein Fahrerassistenzsystem nicht an einem bestimmten Ort, sondern in bestimmten Verkehrssituationen den Fahrer unterstützen soll, ist für die Erkennung von Wirkungsfeldern zukünftiger Fahrerassistenzsysteme der situationsbezogenen Analyse ein höheres Gewicht beizumessen als der ortsbezogenen Analyse (z.B. Erkennung von Unfallschwerpunkten in Unfalltypen-Steckkarten).

## 2 Klassifikationsschema für Verkehrssituationen

Für eine systematische Analyse des Verkehrsgeschehens ist es notwendig, die komplexen Abläufe im Straßenverkehr in überschaubare und abgegrenzte Teile zu zerlegen. Bei einer auf den Fahrer bzw. die Fahraufgabe zentrierten Zerlegung tritt hierbei die *Verkehrssituation* in den Vordergrund, die in [1] als „*Umgebung des Mensch-Maschinen-Systems Fahrer-Fahrzeug aus Fahrersicht*“ definiert ist. Bei dieser in *Raum*, *Zeit* und *Verhalten* [3] abge-

grenzten Einheit werden neben Merkmalen aus der Straßeninfrastruktur, wie Straßenausbau oder Art der Knotenpunktregelung auch sich speziell aus der Fahrt ergebende Merkmale wie Fahrtrichtungsänderung berücksichtigt. Mit der Modellierung des Verkehrsgeschehens durch Verkehrssituationen ist eine Methodik gegeben, welche die Verkehrssituation als Analyseinheit nutzt. Dadurch wird die Wechselwirkung zum Fahrerumfeld berücksichtigt und ein enger Bezug zur Fahraufgabe gewährleistet.

Das in [4] aufgestellte Klassifikationsschema für Verkehrssituationen, welches aus acht Kategorien mit bis zu sieben Ausprägungen besteht, dient primär der Beobachtung und Zuordnung des Fahrerverhaltens bei realen Testfahrten. U.a. erfolgt hiermit die Beschreibung der Aufgabenkomplexität in verschiedenen charakteristischen Verkehrssituationen und die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Verkehrssituationen bei einer Fahrt.

Bei der hier vorliegenden Untersuchung soll das Verkehrsgeschehen im Ballungsraum anhand polizeilicher Unfalldaten analysiert werden. Dies erfordert verschiedene Modifikationen des Klassifikationsschemas von [4]:

- Mit der Eingrenzung der Untersuchung auf den innerstädtischen Straßenverkehr entfallen die Kategorien „Landstraße“ und „Autobahn“.
- Die Kategorien zur Beschreibung des „Horizontal-, und „Vertikalverlaufs“ der Straße sowie „Engstelle“ bleiben unberücksichtigt, da diese Merkmale in den polizeilichen Unfalldaten nicht konsequent erfasst sind. Dies ist zum einen auf die subjektive Einschätzung des Vorliegens dieser Merkmale zurückzuführen. Zum anderen hat die Durchsicht der Unfalldaten gezeigt, dass diese Merkmale meist nur dann protokolliert werden, wenn ein unmittelbarer Zusammenhang zum Unfall besteht (z.B. ein Unfall auf einer Gefällstrecke, bei der als Unfallursache Straßenglätte vorliegt). Der Einfluss der Bezugsdaten auf das Unfallgeschehen ist nicht gesichert (vgl. [5]).
- Des Weiteren wird auf einen separaten Straßentyp für Straßen mit eingelassenen Schienen verzichtet.

Für die Untersuchung wird somit ein *Klassifikationsschema für Verkehrssituationen* angewandt, das aus den drei *Situationselementen*

- *Straßentyp*,
- *Knotentyp* und
- *Fahrtrichtung*

besteht. Die dazugehörigen Ausprägungen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Das Klassifikationsschema ist so angelegt, dass eine eindeutige *Rekonstruktion der Unfallsituation* anhand der polizeilichen Unfalldaten möglich ist. Dabei sind die wesentlichen Einflussfaktoren auf das Unfallgeschehen enthalten, die aus der Art des Straßenelements (Streckenabschnitt, Knotenpunkt), der Verkehrsumgebung und dem Fahrmanöver bestehen [10].

**Tabelle 1:** Klassifikationsschema für Verkehrssituationen zur Analyse des Verkehrs- und Unfallgeschehens im Stadtverkehr anhand polizeilicher Unfalldaten

Situations-element	Code	Beschreibung
<b>Straßentyp</b>	C1	Straße mit 2 getrennten Fahrbahnen
	C2	Straße mit mindestens 4 Fahrspuren
	C3	Straße mit 2-3 Fahrspuren
	C4	Straße mit schmaler Fahrbahn
	C5	Einbahnstraße
<b>Knotentyp</b>	K0	ohne Kreuzung
	K1	ampelgeregelte Kreuzung
	K2	rechts-vor-links geregelte Kreuzung
	K3	schildergeregelte Kreuzung mit Vorfahrtsrecht
	K4	schildergeregelte Kreuzung mit Wartepflicht
<b>Fahrtrichtung</b>	F0	ohne Fahrtrichtungsänderung
	F1	Fahrtrichtungsänderung nach rechts
	F2	Fahrtrichtungsänderung nach links

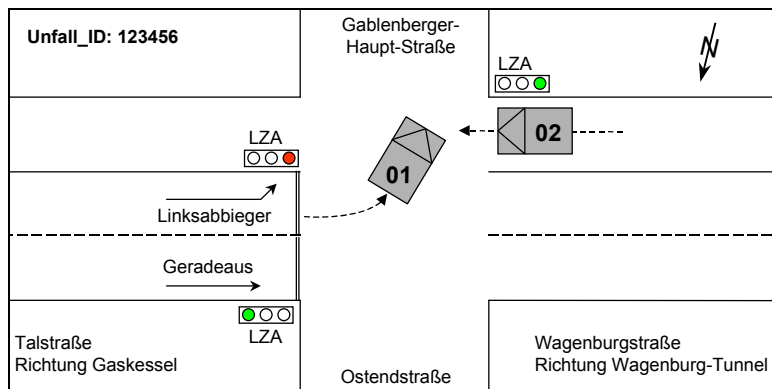
Die Verkehrssituation, die im weiteren Verlauf auch als **standardisierte Verkehrssituation** bezeichnet wird, ergibt sich aus der Kombination der drei Situationselemente **Straßentyp**, **Knotentyp** und **Fahrtrichtung**. Sie stellt einen begrenzten Ausschnitt aus dem Verkehrsgeschehen dar, die der Fahrer als solche erlebt und in seiner zeitlichen und räumlichen Begrenzung erfährt.

### 3 Erfassung der Unfallsituationen

Zur Erfassung der Unfallsituationen werden die von der Polizei im Rahmen der Verkehrsunfallaufnahme gefertigte Unfallskizze (s. Abbildung 1) und Unfallbeschreibung herangezogen. Aus diesen Dokumenten sind die erforderlichen Hinweise zur Klassifizierung des Knotentyps und der Fahrtrichtung gegeben. Die Festsetzung des Straßentyps erfolgt mit Unterstützung einer digitalen Straßenkarte, bei der die erforderliche Klassifikation des Straßentyps vorab zu ergänzen ist.

Bei dem in Abbildung 1 dargestellten Unfall beabsichtigt der Fahrer mit der Ordnungsnummer 01 an der ampelgeregelten Kreuzung nach links abzubiegen. Er missachtet hierbei das angezeigte Rotlicht der Lichtsignalanlage, und es kommt zur Kollision mit dem Fahrzeug des Fahrers mit der Ordnungsnummer 02, dessen Lichtsignalanlage grün zeigt und der ohne Fahrtrichtungsänderung den Knotenpunkt überqueren wollte. Die Klassifizierung dieser beiden Unfallsituationen ergibt in diesem Fall:

Unfall_ID	Verursacher	Straßentyp	Knotentyp	Fahrtrichtung
123456	ja	C3	K1	F2
123456	nein	C3	K1	F0



**Abbildung 1:** Beispiel für eine Unfallskizze aus der Verkehrsunfallbeschreibung der polizeilichen Unfallaufnahme

Die Festlegung in *Verursacher* und *Beteiligter* erfolgt anhand der vorgenommenen Klassifizierung der Polizei, die den vermeintlichen Unfallverursacher mit der Ordnungsnummer 01 belegt. Bei der Erfassung der Unfallsituationen werden des Weiteren die folgenden Einschränkungen getroffen:

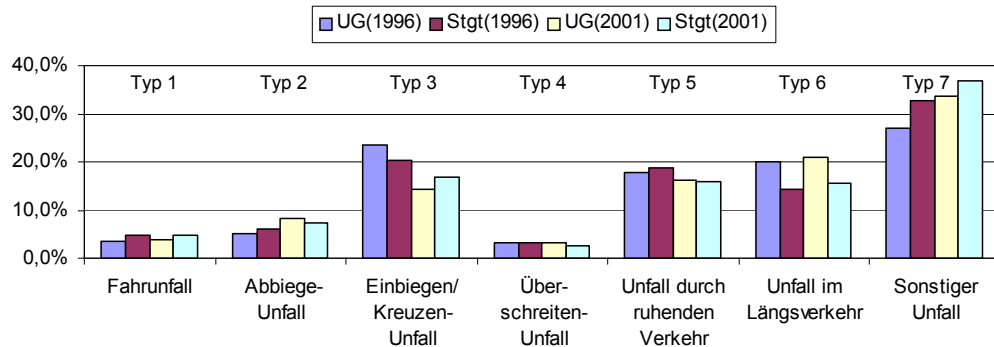
- Es werden zu jedem Unfall maximal zwei Unfallsituationen erfasst. Sind bei einem Unfall mehrere Unfallbeteiligte protokolliert, erfolgt trotz allem die Klassifizierung von einer Unfallsituation für den *Beteiligten*. In den meisten Fällen liegt für die Unfallbeteiligten ohnehin dieselbe Unfallsituation vor (z.B. bei einem Auffahrunfall in einer Kolonne).
- Unfallsituationen werden nur für Führer von Kraftfahrzeugen erfasst. Für Fußgänger und Radfahrer ist das Klassifikationsschema nicht oder nur eingeschränkt anwendbar.
- Bei Unfällen vom Unfalltyp 5 (Unfälle durch ruhenden Verkehr) und gleichzeitigem Vorliegen einer Unfallflucht, ist eine Rekonstruktion des Unfallhergangs zumeist nicht möglich. Somit sind diese Unfälle – ebenso wie weitere Unfälle ohne Angaben zum Unfallhergang – aus der Untersuchung auszuklammern.

Neben der Klassifizierung der Unfallsituationen werden die im Unfalldateninformationssystem UDIS erfassten Daten der Polizei übernommen. Damit liegen zu jedem Unfall Angaben zum Unfallort und der Unfallzeit, die Höhe des Sachschadens und die Anzahl und Schwere der Personenschäden sowie weitere Hinweise zur Charakterisierung der Unfallstelle (Lichtverhältnisse, Witterung, Lichtsignalanlage vorhanden und in Betrieb usw.) vor. Ebenso werden das Fahren unter Alkoholeinfluss und das Vorliegen einer Fahrerflucht dokumentiert, und es erfolgt eine Klassifizierung der Unfälle nach Unfalltyp, Unfallart und Unfallursache. Zu jeder am Unfall beteiligten Person liegen noch personenbezogene Daten, wie Wohnort, Alter, Geschlecht, Dauer des Führscheinbesitzes usw. vor.

## 4 Analyse des Unfallgeschehens

### 4.1 Untersuchungsgebiet

Zur Analyse des Unfallgeschehens wurde in Zusammenarbeit mit der Polizei der Stuttgarter Osten als Untersuchungsgebiet festgelegt. Dieses Gebiet kann als repräsentativ für das Unfallgeschehen in Stuttgart angesehen werden. U.a. zeigt sich dies an einer ähnlichen Verteilung der Unfalltypen für das Untersuchungsgebiet und das gesamte Stadtgebiet von Stuttgart (vgl. Abbildung 2). In die Untersuchung gehen alle Unfälle im Untersuchungsgebiet aus dem Jahr 1996 und 2001 ein. Insgesamt liegen 996 Unfälle vor.



**Abbildung 2:** Verteilung des Unfalltyps im Untersuchungsgebiet (UG) und für das gesamte Stadtgebiet von Stuttgart (Stgt) in den Jahren 1996 und 2001

### 4.2 Ortsbezogene Analyse

Sämtliche Unfälle werden in einem Geo-Informationssystem (GIS) erfasst. Die dabei angewandte Methodik, die gewählte Datenmodellierung und die Vorgehensweise der Georeferenzierung der Unfälle auf Basis einer digitalen Straßenkarte sind in [9] erläutert. Die Auswertung der angefertigten digitalen Unfalltypen-Steckkarte offenbart:

- Acht der neun identifizierten Unfallschwerpunkte befinden sich an Knotenpunkten.
- In beiden Jahren liegen die identischen Unfallschwerpunkte vor.

Dies zeigt die begrenzten Möglichkeiten der Kommunen einer zeitnahen Entschärfung von Unfallschwerpunkten mittels baulicher und verkehrsregelnder Maßnahmen.

### 4.3 Situationsbezogene Analyse des Unfallgeschehens

Die situationsbezogene Analyse basiert auf der Beschreibung des Unfallgeschehens mit Hilfe von standardisierten Verkehrssituationen. Hierzu ist eine Rekonstruktion des Unfallhergangs

zur Klassifizierung der Unfallsituationen erforderlich. Aus den in Kapitel 3 aufgeführten Gründen konnten nur zu 690 der 996 Unfälle Unfallsituationen erfasst werden. Dies ist insbesondere auf die hohe Anzahl von Unfällen in Wohnquartieren zurückzuführen, bei denen ein parkendes Fahrzeug beschädigt wird und der Unfallverursacher Fahrerflucht begeht. Die Unfälle sind zumeist gekennzeichnet von einem geringen Sachschaden und dem Fehlen eines Zeugenhinweises. Die Notwendigkeit der polizeilichen Unfallaufnahme ergibt sich aus der Einordnung der Fahrerflucht als Straftat. Für die verbleibenden 690 Unfälle konnten 1216 Unfallsituationen erfasst werden. Diese bilden die Datenbasis der folgenden Untersuchungen.

**Tabelle 2:** Anzahl der Unfallsituationen im Untersuchungsgebiet (in %)

Straßen- typ	Knoten- typ	Fahrtrichtung			Straßen- typ	Knoten- typ	Fahrtrichtung		
		F0	F1	F2			F0	F1	F2
C1	K0	17,6	-	-	C4	K0	7,3	0,2	0,8
	K1	8,5	0,9	2,1		K1	0,4	0,2	0,7
	K2	-	-	-		K2	3,9	0,6	0,8
	K3	0,6	-	-		K3	0,2	0,2	0,1
	K4	-	0,3	0,1		K4	0,7	2,3	2,4
C2	K0	6,2	-	0,8	C5	K0	1,2	-	0,1
	K1	6,6	1,1	3,0		K1	0,1	-	-
	K2	-	-	-		K2	1,2	0,2	0,2
	K3	4,4	0,4	1,0		K3	-	-	-
	K4	0,2	0,2	0,3		K4	0,1	0,3	0,8
C3	K0	4,1	0,2	1,2					
	K1	1,7	0,1	0,4					
	K2	-	-	-					
	K3	7,9	0,2	0,8					
	K4	2,6	0,9	0,7					

Im Rahmen der situationsbezogenen Analyse werden neben der Betrachtung der einzelnen Unfallsituationszahlen für die standardisierten Verkehrssituationen auch die Verteilung hinsichtlich des Straßentyps, des Knotentyps oder des Knotentyps in Verbindung mit den Fahrtrichtungsänderungen usw. durchgeführt. Hierzu werden die Unfallsituationszahlen nach den entsprechenden Situationselementen summiert. Aufgrund der hohen Zahl von Kreuzungsunfällen und der Tatsache, dass Unfallschwerpunkte verstärkt an Knotenpunkten auftreten, bildet die Betrachtung des Knotentyps den Schwerpunkt dieses Beitrags.

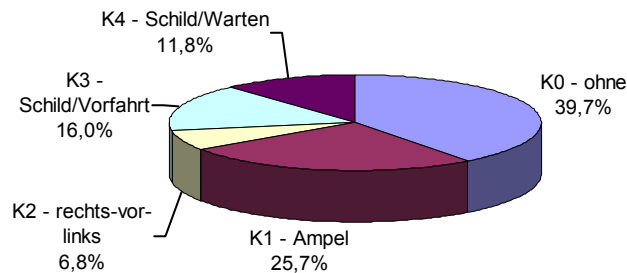
#### 4.3.1 Häufigkeit der Unfallsituationen

Hinsichtlich der Verteilung der Unfallsituationen nach dem Straßentyp zeigt sich, dass 25% der Unfallsituationen im Untersuchungsgebiet in den untergeordneten Straßen (C4 und C5) auftreten. Auf die übergeordneten Straßen (C1 bis C3) entfallen 75% der Unfallsituationen, wobei den größten Anteil Straßen mit getrennten Fahrbahnen (C1) aufweisen. Es liegt hier eine gute Übereinstimmung mit [8] vor, wonach sich 65% aller Innerortsunfälle auf den Durchgangs- und Hauptverkehrsstraßen ereignen.

Bei Betrachtung der Verteilung der Unfallsituationen bezüglich des Knotentyps (Abbildung 3) ergibt sich für das Untersuchungsgebiet folgendes Bild:

- 40% der Unfallsituationen entfallen auf kreuzungsfreie Verkehrssituationen (K0)
- 60% der Unfallsituationen liegen an Knotenpunkten (K1 bis K4)

Auch hier zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen. Nach [7] ereignen sich ca. 65% der Unfälle innerhalb geschlossener Ortschaften an Knotenpunkten.



**Abbildung 3:** Häufigkeit der Unfallsituationen in Abhängigkeit des Knotentyps

Die gute Übereinstimmung mit den genannten Untersuchungen ist ein weiterer Beleg dafür, dass das Untersuchungsgebiet als repräsentativ hinsichtlich des innerörtlichen Unfallgeschehens angesehen werden kann.

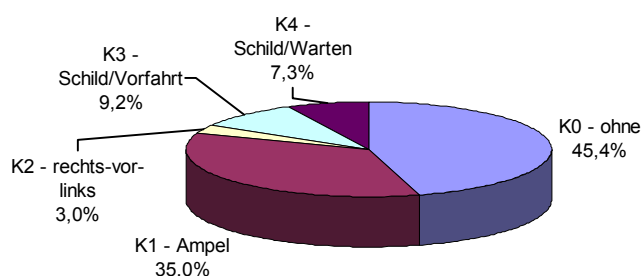
#### 4.3.2 Unfallschwere

Neben der Unfallhäufigkeit liefern die Unfallfolgekosten, als Maß der durch den Unfall entstandenen Schäden, wichtige Hinweise zum Unfallgeschehen. In der Untersuchung werden dazu die polizeilich dokumentierten Unfallfolgen genutzt. Für die 690 eindeutig rekonstruierbaren Unfälle im Untersuchungsgebiet ergeben sich in der Summe:

- 10,0 Mio. DM Sachschaden,
- 329 Leichtverletzte,
- 40 Schwerverletzte und
- 1 Getöteter.

Die Schadenshöhen wurden von der Polizei für das Jahr 2001 noch in DM geschätzt. Aus diesem Grund werden im Beitrag die Kosten in DM angegeben. Bei der vorliegenden Datenbasis von 690 Unfällen ist die Unfallfolge „Getöteter“ nicht signifikant. Im Rahmen der Untersuchung wird der Unfalltote deshalb als Schwerverletzter behandelt.

Um einen einheitlichen Maßstab zur Bewertung der Unfallfolgekosten zu erhalten, werden die Personenschäden monetär dargestellt. Hierzu werden die in [6] publizierten Kostensätze der Personenschäden infolge eines Straßenverkehrsunfalls herangezogen: für einen Leichtverletzten 4.100 DM und einen Schwerverletzten 73.000 DM. Anhand der polizeilichen Unfalldaten können somit die Unfallfolgekosten für jeden Unfall ermittelt werden. Im Rahmen der situationsbezogenen Betrachtung werden für Unfälle, bei denen zwei Unfallsituationen vorliegen die Unfallfolgekosten gleich gewichtet auf diese verteilt.



**Abbildung 4:** Verteilung der Unfallfolgekosten in Abhängigkeit des Knotentyps

Gegenüber der Häufigkeit der Unfallsituationen zeigt sich bei den Unfallfolgekosten ein zunehmender Anteil bei den kreuzungsfreien Verkehrssituationen (K0). So entfallen

- 45% der Unfallfolgekosten auf die kreuzungsfreien Verkehrssituationen (K0) und
- 55% auf Kreuzungssituationen (K1 bis K4)

Die stärkste Veränderung liegt bei den ampelgeregelten Verkehrssituationen (K1) vor. So entfallen 35% der Unfallfolgekosten im Untersuchungsgebiet auf 26% der vorliegenden Unfallsituationen. Der Anstieg weist auf das hohe Gefährdungspotenzial von Unfallsituationen an ampelgeregelten Knotenpunkten hin. Auf diesen Aspekt wird im Rahmen der Bewertung des Unfallrisikos (Kapitel 4.3.3) noch detaillierter eingegangen.

Bezüglich des Straßentyps ist eine Verschiebung zu den übergeordneten Straßen (C1 bis C3) zu verzeichnen. So sind 84% der Unfallfolgekosten diesen zuzuordnen. Der Anstieg ist maßgeblich bestimmt von der Veränderung beim Straßentyp C1: Bei einem Anteil von 29,9% der Unfallsituationen im Untersuchungsgebiet entfallen 43,8% der Unfallfolgekosten auf diesen Straßentyp. Auch hier zeigt sich – ebenso wie bei den ampelgeregelten Knotenpunkten – das hohe Gefährdungspotenzial. Dies ist auf die hohe Geschwindigkeit und Verkehrsdichte zurückzuführen.

### 4.3.3 Unfallrisiko

In den obigen Betrachtungen wurden ausschließlich absolute Unfallkennziffern ermittelt. In diesem Abschnitt sollen nun relative Unfallkennziffern betrachtet werden, die u.a. den Bezug zur Fahrleistung herstellen. Diese sollen Hinweise zum Gefährdungspotenzial und somit zum

Unfallrisiko geben. In Anlehnung an die gebräuchlichen relativen Unfallkennziffern, wie Unfalldichte, Unfallkostendichte, Unfallrate, Unfallkostenrate usw., werden folgende Unfallkennziffern definiert:

- *Mittlere Unfallsituationsschwere*: Stellt den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Unfallsituationen und den Unfallfolgekosten her.
- *Unfallsituationsrate* und *Unfallsituationskostenrate*: Stellt den Zusammenhang zwischen den Unfallsituationszahlen bzw. Unfallfolgekosten und der Häufigkeit des Auftretens der Verkehrssituationen bei einer typischen Stadtfahrt her.
- *Unfallsituationsdichte* und *Unfallsituationskostendichte*: Gibt den Zusammenhang zwischen den Unfallsituationszahlen bzw. Unfallfolgekosten und den Streckenabschnitten an, wie sie sich gemäß der Klassifizierung der Straßen und Kreuzungen im Untersuchungsgebiet ergeben.

Um den engen Bezug der Kenngrößen zu den standardisierten Verkehrssituationen zu verdeutlichen, ist in der Bezeichnung der Unfallkennziffern jeweils der Namensteil ‚Situation‘ enthalten.

### Mittlere Unfallschwere

Die mittlere Unfallsituationsschwere  $U_{s,US}$  für eine standardisierte Unfallsituation  $US(C,K,F)$  wird über den Quotienten der Summe der Unfallkosten  $K_{US}$  und der Anzahl der Unfallsituationen  $Z_{US}$  gebildet:

$$U_{s,US} = \frac{K_{US}}{Z_{US}} \quad \text{mit } K_{US} = \sum_i K_i(US) \quad \text{und } Z_{US} = \sum_i Z_i(US) \quad (1)$$

Bei insgesamt 10,0 Mio. DM Unfallfolgekosten und 1216 Unfallsituationen ergibt sich im Untersuchungsgebiet eine mittlere Unfallsituationsschwere von 8.200 DM. Über die Zusammenfassung der Anzahl der Unfallsituationen und der Unfallfolgekosten nach dem Knotentyp (K0 bis K4) wird nach Glg. (1) die mittlere Unfallsituationsschwere für Streckenunfälle, Unfälle an ampelgeregelten Knotenpunkten usw. berechnet (Tabelle 3). Demnach liegt die **Unfallsituationsschwere am ampelgeregelten Knotenpunkt (K1) am höchsten**, gefolgt von den Streckenunfällen (K0).

**Tabelle 3:** Mittlere Unfallsituationsschwere für Strecken- und Kreuzungsunfälle

K0 – kreuzungsfrei	9.400 DM
K1 – Ampel	11.200 DM
K2 – rechts-vor-links	3.700 DM
K3+K4 – Schild	4.900 DM

## Unfallsituationsrate und Unfallsituationskostenrate

In Anlehnung an die auf einen Streckenabschnitt bezogene Unfallrate wird über die Anzahl der Unfälle  $Z$  in einem Jahr und der Jahresfahrleistung  $FL$  innerhalb des Gebiets eine flächenbezogene Unfallrate  $U_R$  berechnet:

$$U_R = \frac{Z \cdot 10^6}{FL}. \quad (2)$$

Die Unfallrate  $U_R$  gibt die Anzahl der Unfälle in einem Jahr bezogen auf eine Fahrleistung von 1 Mio. Fahrzeugkilometer an. Für die Bundesrepublik Deutschland ergeben sich für die innerörtlichen Unfälle eine Unfallrate von 2,4 und für das Untersuchungsgebiet von 2,9 Unfällen pro 1 Mio. Fahrzeugkilometer (jeweils als einfaches Mittel aus den Unfallraten für 1996 und 2001).

Im Gegensatz zu der sonst üblichen Verwendung der DTV-Werte (durchschnittlicher Tagesverkehr) zur Bestimmung der Unfallrate, wird in dieser Untersuchung die Häufigkeit des Auftretens von Verkehrssituationen bei einer typischen Stadtfahrt als Bezugsgröße genutzt. Ausgehend von den in [4] angegebenen Häufigkeiten des Auftretens von Verkehrssituationen bei verschiedenen Fahrttypen und den gegebenen DTV-Werten für das Untersuchungsgebiet, kann die Anzahl des Auftretens der verschiedenen standardisierten Verkehrssituationen überschlagsartig berechnet werden. Es ergeben sich hierbei ca. 2,0 Mrd. Verkehrssituationen pro Jahr im Untersuchungsgebiet. Eine grobe Abschätzung ist in diesem Fall ausreichend, da in den folgenden Betrachtungen weniger die absoluten Zahlen als die sich ergebenden Unterschiede zwischen den einzelnen Verkehrssituationen von Bedeutung sind.

Über die gegebene Anzahl der Unfallsituationen  $Z_{US}$  und der Anzahl der korrespondierenden Verkehrssituationen  $Z_{VS}$  kann mit

$$U_{R,US} = \frac{Z_{US} \cdot 10^6}{Z_{VS}} \quad (3)$$

die Unfallsituationsrate  $U_{R,US}$  für die standardisierte Verkehrssituation  $VS(C,K,F)$  berechnet werden. Die Unfallsituationsrate gibt die Anzahl der Unfallsituationen in einem Jahr bezogen auf eine 1 Mio. Verkehrssituationen an. Bei 1216 Unfallsituationen und 4,0 Mrd. Verkehrssituationen ergibt sich für das Untersuchungsgebiet eine durchschnittliche Unfallsituationsrate von 0,30 Unfallsituationen pro 1 Mio. Verkehrssituationen. Analog berechnet sich die Unfallsituationskostenrate  $K_{R,US}$  über

$$K_{R,US} = \frac{K_{US} \cdot 10^6}{Z_{VS}}. \quad (4)$$

Für das Untersuchungsgebiet liegt die durchschnittliche Unfallsituationskostenrate bei 2,500 DM pro 1 Mio. Verkehrssituationen. Zur Berechnung der Unfallsituationsrate und Unfallsituationskostenrate der einzelnen Verkehrssituationen wird eine entsprechende Gruppierung nach den zu untersuchenden Situationselementen vorgenommen und anschließend über Glg. (3) und (4) die Kenngrößen berechnet. Eine Zusammenstellung der sich ergebenden

Unfallsituationsraten und Unfallsituationskosten in Abhängigkeit des Straßen- und Knotentyps findet sich in folgender Tabelle.

**Tabelle 4:** Unfallsituationsrate  $U_{R,VS}$  und Unfallsituationskostenrate  $K_{R,VS}$  in Abhängigkeit des Straßentyps (a) und Knotentyps (b)

(a) Straßen- typ	$U_{R,VS}$ [Unfälle/1 Mio VS]	$K_{R,VS}$ [TDM/1 Mio VS]	(b) Knoten- typ	$U_{R,VS}$ [Unfälle/1 Mio VS]	$K_{R,VS}$ [TDM/1 Mio VS]
C1	0,27	3,2	K0	0,23	2,1
C2	0,31	2,4	K1	0,39	4,4
C3	0,21	1,4	K2	0,69	2,5
C4	0,91	4,7	K3+K4	0,35	1,7
C5	0,25	1,6			

Nach [2] ist das Risiko als „die zu erwartende Häufigkeit des Eintritts eines zum Schaden führenden Ereignisses und das beim Ereigniseintritt zu erwartende Schadensausmaß“ definiert. Übertragen auf das Unfallrisiko sind somit die Unfallhäufigkeit und die Unfallschwere die relevanten Größen. An den ampelgeregelten Knotenpunkten (K1) liegt die deutlich höchste Unfallsituationskostenrate vor. Hinsichtlich der Unfallsituationsrate weist nur der rechts-vor-links geregelte Knotenpunkt (K2) eine höhere Rate auf als der ampelgeregelte Knotenpunkt.

#### 4.3.4 Fehlverhalten in Unfallsituationen

Die bisherigen Betrachtungen geben Aufschluss über Unfallhäufigkeit, -schwere und -risiko und liefern damit Hinweise, in welchen Verkehrssituationen eine erhöhtes Gefährdungspotenzial vorliegt. Die nun folgende Betrachtung des Fehlverhaltens soll ergänzende Hinweise liefern, bei welchen Tätigkeiten der Fahrer Unterstützung benötigt. Hierzu wird ein Fehlverhaltenkatalog bestehend aus acht Fehlverhaltensarten für den innerörtlichen Straßenverkehr definiert (s. Tabelle 5).

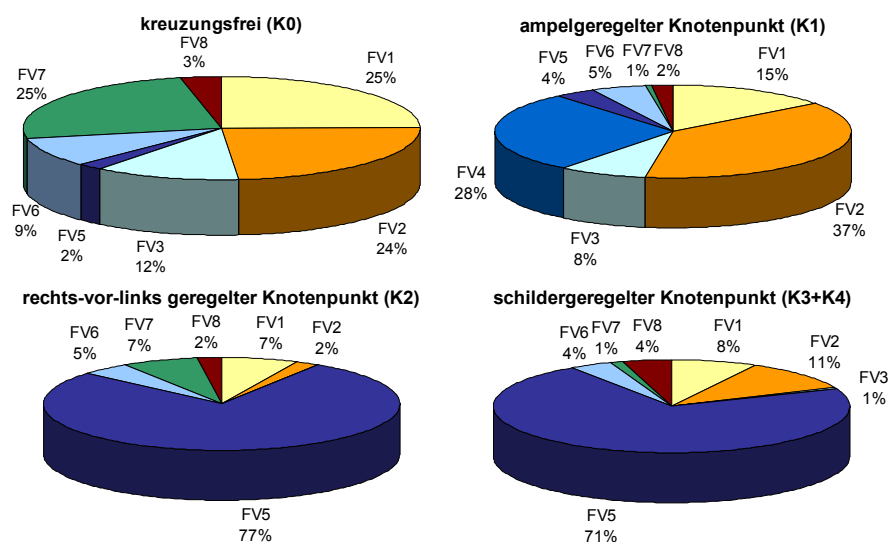
Der Katalog ist so aufgebaut, dass eine eindeutige Zuordnung anhand der polizeilichen Unfalldaten (maßgeblich ist hierfür der Unfallbericht) möglich und ein enger Bezug zur Verkehrssituation gegeben ist. Eine Ableitung des Fehlverhaltens aus den in den Unfalldaten aufgeführten Unfallursachen scheitert insbesondere an der großen Zahl nicht näher spezifizierter Unfälle. So wird bei ca. 40% der Unfälle ein „anderer Fehler beim Fahrzeugführer“ (Unfallursache 49) angegeben.

Das Fehlverhalten FV1 beinhaltet die Fehler in der Querführung und FV2 die Fehler in der Längsführung. Die Fehlerverhalten FV3 bis FV6 umfassen sämtliche Vorfahrts- und Vorrangsverletzungen. Bei FV3 leitet der Fahrer – im Gegensatz zu FV1 – den Fahrspurwechsel bewusst ein, übersieht hierbei jedoch einen seitlich in gleicher Richtung fahrenden Verkehrsteilnehmer. Das Fehlverhalten FV5 beinhaltet sämtliche Verletzungen der Vorfahrt und des Vorrangs, wie sie durch vorfahrtsregelnde Verkehrszeichen angezeigt werden bzw. sich durch

die allgemeinen Verkehrsregeln ergeben. Dem falschen Verhalten gegenüber einem schwächeren Verkehrsteilnehmer (FV8) liegt zumeist ebenso eine Vorfahrts- bzw. Vorrangverletzung zugrunde. Das Fehlverhalten FV6 charakterisiert die Vorrangs- und Vorfahrtsmissachtungen beim Übergang vom ruhenden in den fließenden Verkehr. Das Fehlverhalten FV7 beinhaltet sämtliche Fehler beim Übergang vom fließenden in den ruhenden Verkehr sowie umgekehrt, bei denen ein parkendes Fahrzeug beschädigt wird.

**Tabelle 5:** Verteilung des Fehlverhaltens in Unfallsituationen im Untersuchungsgebiet

Fehlverhalten		Anzahl	Anteil
FV1	Abkommen von der Fahrbahn	116	16,8%
FV2	Fehler in der Abstandsregelung	154	22,3%
FV3	Fehler beim Fahrstreifenwechsel	50	7,2%
FV4	Missachtung der Lichtsignalanlage	46	6,7%
FV5	Missachtung der Vorfahrt	175	25,4%
FV6	Fehler beim Wenden / Rangieren	45	6,5%
FV7	Fehler im ruhenden Verkehr	82	11,9%
FV8	Falsches Verhalten gegenüber Fußgänger und Radfahrer	22	3,2%



**Abbildung 5:** Fehlverhalten in Unfallsituationen in Abhängigkeit des Knotentyps

In Tabelle 5 ist die Verteilung des Fehlverhaltens im Untersuchungsgebiet aufgeführt. Da ein Fehlverhalten nur dem Unfallverursacher zugeordnet werden kann, erfolgt eine Klassifizierung des Fehlverhaltens nur zu den 690 Unfallsituationen der Verursacher. Abbildung 5 zeigt die Verteilung des Fehlverhaltens in Abhängigkeit des Knotentyps. Bei den rechts-vor-links und schildergeregelten Knotenpunkten (K2 bis K4) liegt in drei Viertel der Fälle eine Vorfahrts- bzw. Vorrangmissachtung (FV5) vor. Auffälligstes Fehlverhalten an ampelge-

regelten Knotenpunkten bildet neben dem Fehler in der Abstandsregelung (FV2) die Missachtung der Lichtsignalanlage (FV4). Bei den Streckenunfällen sind dies das Abkommen von der Fahrbahn (FV1) und die fehlerhafte Abstandsregelung (FV2).

## 5 Abschätzung des Sicherheitssteigerungspotenzials von Fahrerassistenzsystemen

Ausgehend von den Ergebnissen der situationsbezogenen Analyse erfolgt eine Abschätzung des Sicherheitssteigerungspotenzials verschiedener Assistenzfunktionen. In einem ersten Schritt wird hierzu das Potenzial der Vermeidung von Fehlhandlungen der Assistenzfunktionen abgeschätzt. Im Rahmen dieses Beitrags beschränkt sich die Betrachtung auf folgende Assistenzfunktionen:

- Kreuzungsassistent: Informieren des Fahrers über geltende Vorfahrtsregelung, wie sie durch Verkehrszeichen bzw. Lichtsignalanlagen angezeigt wird.
- Abstandsregler (ACC im Ballungsraum): Unterstützen des Fahrers in der situationsangepassten Einhaltung des Abstands zu vorausfahrenden Fahrzeugen.
- Spurwechselassistent: Unterstützen des Fahrers bei Spurwechselmanöver

Die angesetzten Vermeidungspotenziale von Fehlhandlung des Fahrers der einzelnen Assistenzfunktionen sind in Tabelle 6 aufgeführt. Dabei wird – soweit erforderlich – zwischen dem Fehlverhalten, das vermieden wird, und den Verkehrssituationen, in denen die Assistenzfunktion wirkt, differenziert.

**Tabelle 6:** Angenommene Potenziale zur Vermeidung von Fehlhandlungen in den einzelnen Verkehrssituation bei Einsatz der Assistenzfunktion

Assistenzfunktion	Fehlverhalten	Vermeidungspotenzial	Verkehrssituation bzw. Unfallsituation
$FAS_i$	$FV_j$	$P$	$VS_k$ bzw. $US_k$
Kreuzungsassistent	FV4: Rotüberfahrt	75%	ampelgeregelt (K1)
	FV5: Vorfahrtsmissachtung	50%	schildergeregelt (K3/K4)
Abstandsregler	FV2: Fehler in der Abstandsregelung	80%	kreuzungsfrei (K0)
		50%	ampelgeregelt (K1)
		60%	schildergeregelt (K3/K4)
Spurwechselassistent	FV3: Fehler beim Fahrstreifenwechsel	70%	kreuzungsfrei (K0)

Die angegebenen Vermeidungspotenziale beziehen sich auf eine informierende bzw. warnende Assistenzstrategie. Der Fahrer führt somit weiterhin alle Aktionen der Fahrzeugführung aus und bleibt somit als mögliche Fehlerquelle – wenn auch in deutlich reduziertem Umfang – erhalten. Bei autonomen Assistenzsystemen sind, unter Voraussetzung einer korrekten Erkennung des Fehlverhaltens, die Vermeidungspotenziale höher anzusetzen.

Aus der ermittelten Häufigkeit der Unfallsituationen  $Z_{US}$  und dem Anteil des Fehlverhaltens in Unfallsituationen  $Z_{FV(US)}$  kann mit

$$S_{FAS_i, FV_j(VS_k)} = Z_{US_k} \cdot Z_{FV_j(US_k)} \cdot P_{FAS_i, FV_j(US_k)} \quad (5)$$

das Unfallvermeidungspotenzial einer Assistenzfunktion  $FAS_i$  bezüglich des Fehlverhaltens  $FV_j$  in einer Verkehrssituation  $VS_k$  ermittelt werden. Durch Summation der einzelnen Unfallvermeidungspotenziale berechnet sich das Unfallvermeidungspotenzial einer Assistenzfunktion  $FAS_i$  zu:

$$S_{FAS_i} = \sum_j \sum_k S_{FAS_i, FV_j(VS_k)} \quad (6)$$

Für die oben genannten Assistenzfunktionen ergeben sich die in Tabelle 7 aufgeführten Werte, unter der Annahme der angesetzten Vermeidungspotenziale (Tabelle 6). Ferner finden sich in dieser Tabelle das damit verbundene Potenzial zur Reduktion der Unfallkosten. Zur Berechnung dieses Wertes muss in Glg. (5) die Häufigkeit der Unfallsituationen  $Z_{US}$  durch die Unfallkosten  $K_{US}$  ersetzt werden.

**Tabelle 7:** Abgeschätztes Sicherheitssteigerungspotenzial einzelner Assistenzfunktionen für den Ballungsraum (Stichprobenumfang: 690 Unfallsituationen)

Assistenzfunktion	Sicherheitssteigerungspotenzial	
	Reduktion der Unfallzahlen	Reduktion der Unfallkosten
<b>Kreuzungsassistent</b>	15%	13%
<b>Abstandsregler</b>	14%	18%
<b>Spurwechselassistent</b>	3%	4%

Alle Assistenzfunktionen zeigen bereits bei einer informierenden bzw. warnenden Assistenzstrategie ein deutliches Sicherheitssteigerungspotenzial. Dies gilt insbesondere für den Kreuzungsassistenten und den Abstandsregler. Unberücksichtigt bleiben hierbei Fragen der Risikokompensation oder sich ergebende Überschneidungen von Wirkungsfeldern einzelner Assistenzfunktionen.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Über die Modellierung des Verkehrs- und Unfallgeschehens mittels standardisierter Verkehrssituationen ist die methodische Grundlage für eine systematische Betrachtung der komplexen Verkehrsabläufe im Straßenverkehr gegeben. Das vorgestellte Verfahren erlaubt über die situationsbezogene Beschreibung des Unfallgeschehens eine mikroskopische Unfallanalyse auf der Basis polizeilicher Unfalldaten. Im Gegensatz zu der amtlichen Unfallstatistik weist die vorgestellte mikroskopische Unfallanalyse eine Detailliertheit auf, die eine Identifikation von Wirkungsfeldern zukünftiger Fahrerassistenzsysteme gestattet.

In der durchgeführten Untersuchung wurde das Verkehrs- und Unfallgeschehen im Ballungsraum anhand eines Teilgebiets von Stuttgart analysiert. Als Datenbasis dienten die Unfalldaten der Polizei aus den Jahren 1996 und 2001. Insgesamt gingen 690 repräsentative Unfälle in die Untersuchung ein.

Folgende Ergebnisse zur Analyse des Unfallgeschehens im Ballungsraum sind festzuhalten:

- Unfallschwerpunkte befinden sich bevorzugt an Knotenpunkten.
- 26% der Unfälle und 35% der Unfallfolgekosten entfallen auf Unfallsituationen an ampelgeregelten Knotenpunkten.
- An ampelgeregelten Knotenpunkten liegt das höchste Unfallrisiko vor. Kreuzungsfreie Verkehrssituationen weisen ein erhöhtes Unfallrisiko auf.
- An schilder- und rechts-vor-links geregelten Knotenpunkten benötigt der Fahrer eine Unterstützung in der richtigen Erkennung der Vorfahrts- und Vorrangsregelung. An ampelgeregelten Knotenpunkten ist eine Fahrerassistenz hinsichtlich der Erkennung der Lichtzeichenanlage und bei der Abstandsregelung erforderlich.

Die Abschätzung des Sicherheitssteigerungspotenzials verschiedener Assistenzfunktionen ergab, dass ein Kreuzungsassistenzsystem, das den Fahrer in der korrekten Erkennung der Vorfahrts- und Vorrangsregelung unterstützt, ein Sicherheitssteigerungspotenzial von 15% aufweist. Für einen Abstandsregler wird ein Sicherheitssteigerungspotenzial von 14% und eine Reduktion der Unfallkosten von 18% ermittelt. Kreuzungsassistenzsysteme und Abstandsregler können eine beträchtliche Reduktion der Unfallzahlen und -kosten im innerörtlichen Straßenverkehr bewirken und somit einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Verkehrssicherheit im Ballungsraum leisten.

### **Danksagungen**

Die Untersuchung wurde im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts INVENT-FAS im Auftrag der DaimlerChrysler AG durchgeführt.

Besonderer Dank gilt der Landespolizeidirektion Stuttgart II für die Unterstützung in der Bereitstellung der Unfalldaten.

## 7 Literatur

- [1] Benda, H. v. (1977): Die Skalierung der Gefährlichkeit von Verkehrssituationen. I. Teil: Ein Klassifikationsschema für Verkehrssituationen aus Fahrersicht. Forschungsprojekt 7320 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. Technische Universität München, Lehrstuhl für Psychologie.
- [2] DIN VDE 31000-2 (1987): Allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse – Teil 2: Begriffe der Sicherheitstechnik – Grundbegriffe. Beuth, Berlin.
- [3] Erke, H. und Wessel, W. (1985): Verkehrskonfliktbeobachtung in der Verkehrserziehung. Braunschweig: Technische Universität, Institut für Psychologie.
- [4] Fastenmeier, W. (1995): Autofahrer und Verkehrssituationen: Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme. Verlag TÜV Rheinland, Köln.
- [5] Handke, N. (1996): Kombination von Untersuchungsmethoden bei Sicherheitsanalysen im Straßenverkehr. Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Universität Hannover, Heft 16.
- [6] Höhenscheid, K.-J. (1999): Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten der Personenschäden im Straßenverkehr in Deutschland. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Kosten und Nutzen des Verkehrs. Symposium Freiburg, 17. und 18. Februar 1998.
- [7] Mensebach, W. (1994): Straßenverkehrstechnik. Düsseldorf: Werner.
- [8] Topp, H. (1986): Probleme und Lösungsansätze bei städtischen Hauptstraßen. *Straße und Autobahn* 32, Heft 8, 357-364.
- [9] Wiltschko, T. (2001): Einsatz eines Geo-Informationssystems zur Analyse des Unfallgeschehens im Ballungsraum. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 6, 277-286.
- [10] Worsley, G. (1985): Predicting Urban Accident Rates from Road and Traffic Characteristics. *ITE Journal* Nr. 12, 37-40.