



25.06.2013

Bericht

Ermittlung von Kennzahlen für NSM (Netzeinstufung) und RIA (Folgeabschätzung)

N294-0243

Teilprojekt im Rahmen der Fachunterstützung ISSI (Arbeitsgruppe SIGRU)
im Auftrag des Bundesamt für Strassen ASTRA



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
1. Einleitung	3
2. Datengrundlagen	4
3. Methodik	5
3.1. Unfallkostensätze	5
3.2. Kennzahlenberechnung	5
4. Vorgehen	6
4.1. Netzeinteilung	6
4.2. Bewertung	6
4.3. Kennzahlen	8
5. Ergebnisse	11
5.1. Unfallkostensätze	11
5.2. Kennzahlen RIA	11
5.2.1. Unfallraten und Unfallziffern	11
5.2.2. Verteilung der Unfallschwerekategorien	12
5.3. Kennzahlen NSM	13
5.3.1. Hochleistungsstrassen HLS	13
5.3.2. Ausserortsstrassen ausserhalb HLS	14
5.3.3. Innerortsstrassen	15
6. Ausblick	17
7. Anhang	18
7.1. Anhang 1: Ergänzungen zu Datengrundlagen und Methodik	18
7.2. Anhang 2: Ergebnisdiskussion	19
8. Literatur	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abgrenzung Unfallgeschehen an Knoten	6
Abbildung 2: Verteilung Unfallschwerekategorien ausgewählter Kantone (Zeitraum 2011-2012)	8
Abbildung 3: Gegenüberstellung Unfallmodelle für Hochleistungsstrassen	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umfang Stichprobe	4
Tabelle 2: Unfallkostensätze zur Anwendung in den ISSI	11
Tabelle 3: Ergebnisse Kennzahlen für RIA (Unfallraten für Strecken)	12
Tabelle 4: Ergebnisse Kennzahlen für RIA (Unfallziffern für Knoten)	12
Tabelle 5: Verteilung der Unfallschwerekategorien (Strecken)	13
Tabelle 6: Verteilung der Unfallschwerekategorien (Knoten)	13
Tabelle 7: Ergebnisse NSM-Kennzahlen für Ausserortsstrassen (ohne AB/AS)	15
Tabelle 8: Ergebnisse NSM-Kennzahlen für Innerortsstrassen	16
Tabelle 9: Ableitung aggregierter Kostensatz für alle Schwerverletzten	19
Tabelle 10: Grundlagen und Berechnung UKS (2009-2011)	20
Tabelle 11: Ergebnisse Kennzahlen für RIA – Unfallraten für Strecken	20
Tabelle 12: Ergebnisse Kennzahlen für RIA – Unfallziffern für Knoten	21

1. Einleitung

Die Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente (ISSI) *Road Safety Impact Assessment RIA* („Folgeabschätzung“ entsprechend [1]) und *Network Safety Management NSM* („Netzeinstufung“ entsprechend [2]) benötigen Kennzahlen für ihre Anwendung in der Praxis. Dieser Bericht dokumentiert die Herleitung dieser Kennzahlen.

Kennzahlen beschreiben Erwartungswerte des Unfallgeschehens, d. h. es werden Anzahl und Schwere von Unfällen in Abhängigkeit bestimmter Strassensituationen quantifiziert. Die Werte geben eine grobe Abschätzung, welche Anzahl von Unfällen (differenziert nach deren Schwere) im Durchschnitt auf einem Kilometer Strecke oder an einem Knoten unter bestimmten Randbedingungen zu erwarten sind. Ziel ist die Abschätzung eines Sicherheitslevels, nicht die exakte Prognose einer konkreten Unfallzahl. Die beiden Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente benötigen unterschiedliche Kennzahlen:

Für das **NSM** soll das Bewertungskriterium laut [3]:

- die Überschreitung eines Referenzwertes,
- eine absolute Differenz und
- verschiedene Unfallschwerekategorien über Unfallkosten

abbilden.

Der Referenzwert wird international unterschiedlich definiert. In [4] wird dieser als Durchschnittswert über sogenannte „Safety Performance Functions“ ermittelt. In [5] wird der Wert eher organisatorisch bzw. strategisch als Zielwert für die Sicherheitsarbeit des Strasseneigentümers definiert („goal policy“). In [6] beschreibt der Referenzwert eine Strasse mit „best practice design“. Die NSM-Norm [2] orientiert sich an der Vorgehensweise in [6]. Ziel ist es, ein Grundunfallniveau zu ermitteln, welches dem „best practice design“ entspricht. Dabei wurden zwei Methoden zur Ermittlung des Erwartungswertes eines Grundunfallniveaus identifiziert. In [7] werden – nur nach statistischen Gesichtspunkten – aus der Verteilung von Unfallraten und Unfallkostenraten der Untersuchungsstichprobe (Strassenabschnitte unterschiedlicher Charakteristika) verschiedene Kennwerte zur Beschreibung eines Grundunfallniveaus abgeleitet. In [8] werden anhand von multikriteriellen Unfallmodellen Grundunfallniveaus quantifiziert. Durch das Unfallmodell wird ein Strassenabschnitt oder Knoten auf Basis von Infrastrukturattributen beschrieben, welche als „sicher“ (lt. „best practice design“) angesehen werden. Aufgrund der Definition eines Grundunfallniveaus anhand der Infrastrukturcharakteristik und den Empfehlungen in [9] werden die Kennzahlen entsprechend dem Vorgehen in [8] ermittelt. Die Ergebnisse werden als Basisunfallkostenraten *baUKR* für die Verwendung in der Norm bereitgestellt.

Im Rahmen der **RIA**-Anwendung soll das mittlere Unfallniveau laut [10] anhand von Erwartungswerten abgebildet werden. Diese Erwartungswerte können sowohl über Mittelwerte der Stichprobe oder – laut [9] methodisch vorteilhafter – anhand von komplexeren statistischen Modellen abgeleitet werden. Beide Vorgehensweisen werden angewendet, miteinander verglichen und nach praktischen Gesichtspunkten bewertet. Darauf aufbauend wird entschieden, welche Kennzahlen weiterverwendet werden. Die Kennzahlen werden als Unfallraten *UR*, Unfallziffern *UZ* und Anteile der Unfallschwerekategorien am Gesamtunfallgeschehen für die Norm bereitgestellt.

Existierende Kennzahlen aus der Schweiz aktuellen Datums stammen vor allen aus [11] und [12]. Die darin dokumentierten Werte bzw. Datengrundlagen konnten nicht verwendet werden, da eine andere Methodik der Bewertung von Unfällen erfolgte (siehe Diskussion in Kapitel 3.1 sowie im Anhang in Kapitel 7.1).

2. Datengrundlagen

Für die Auswertung stand nahezu das gesamte schweizerische Hochleistungsstrassennetz (Autobahnen und Autostrassen) zur Verfügung. Für die restlichen Strassentypen wurden stichprobenhaft Bereiche des Strassennetzes ausgewählt.

Netzattribute und Informationen zu Strassenklassen liegen flächendeckend vor. Das trifft nicht auf Daten zu Gestaltungs- und Betriebsmerkmalen von Strassen zu. Aus diesem Grund wurden eine kleine Stichprobe sowie wenige Infrastrukturattribute manuell aus Luftbildern erhoben, um eine erste grobe Abschätzung der Kennzahlen zu ermöglichen. Es wurden Bereiche des Strassennetzes aus allen Regionen der Schweiz für die Analyse ausgewählt. In Bezug auf die Innerortsstrassen ist die Stichprobe aber vorrangig durch Netzabschnitte aus grösseren Städten wie Bern, Zürich oder Basel geprägt. Dies kann nur eine Orientierung für die Abschätzung der Kennzahlen sein und ist durch eine umfangreichere Untersuchung zu ergänzen und zu aktualisieren. Eine Übersicht der berücksichtigten Infrastrukturattribute findet sich im Anhang im Kapitel 7.1.

DTV-Werte wurden für die gesamte Stichprobe aus dem nationalen Personenverkehrsmodell des UVEK des Bundesamts für Raumentwicklung ARE zum Stand 2005 ermittelt. Eine aktuellere gesamtschweizerische Datengrundlage stand zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht zur Verfügung.

Unfalldaten stammen aus der gesamtschweizerischen Unfalldatenbank des ASTRA und beziehen sich auf den gesamten Zeitraum von 2009 bis 2012.

Der Umfang der ausgewerteten Stichprobe ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Kilometer entsprechen den Achslängen, da querschnittsbezogene Auswertungen durchgeführt wurden. Eine Ausnahme stellt der Grossteil der Hochleistungsstrassen dar, bei denen die Fahrrichtungen getrennt analysiert wurden, sofern eine bauliche Mitteltrennung vorhanden war. Dort beziehen sich die Kilometer auf die Fahrbahnlängen (2x Achslänge). Die Anzahl bezieht sich auf die Menge an ausgewerteten Strassenabschnitten oder Knoten.

Es werden die gleichen aufbereiteten Datengrundlagen für die Ermittlung der Kennzahlen von NSM und RIA verwendet.

Tabelle 1: Umfang Stichprobe

				Kilometer	Anzahl	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(SS)}$	Jahre
Ausserorts	HLS	freie Strecke	Autobahn	2 346	816	516	2 937	10 446	3
			Autostrasse	142	61	37	109	363	3
			Tunnel	239	191	58	302	973	3
	HVS/VS		Strecken	44	27	21	89	143	4
		Knoten	-	58	34	129	226	4	
Innerorts	HVS/VS/SS		Strecken	33	64	95	519	788	4
			Knoten	-	62	22	147	259	4
		ES*		x	x	x	x	x	x

* keine Analyse, da fehlende DTV-Werte

3. Methodik

3.1. Unfallkostensätze

Die Unfallschwerebewertung erfolgt anhand mittlerer Kostensätze für Unfälle der verschiedenen Schwerekategorien (Definition über schwerste Unfallfolge). Dies entspricht den Empfehlungen aus [3]. Eine Berechnung der Unfallkosten eines Abschnitts auf Basis der Verunfalltenkostensätze (wie in [12] praktiziert) wird aus folgenden Gründen abgelehnt:

- Die Wahrscheinlichkeit für die Anzahl (aber auch die Schwere) der Verunfallten je Unfall ist nur in vergleichsweise geringem Masse von der Infrastruktur abhängig. Sie wird stärker durch den Besetzungsgrad oder das Alter der Fahrzeuginsassen beeinflusst.
- Für die Berechnung von Unfallkosten auf Basis der Verunfallten wird eine vergleichsweise grosse Stichprobe benötigt (Ausserorts mindestens 100 $U_{(G+SV+LV)}$ / Innerorts mindestens 400 $U_{(G+SV+LV)}$ je Netzabschnitt, siehe hierzu Empfehlungen in [13]). Diese Art der Berechnung ist für die praktische Anwendung des NSM nicht anwendbar, da eine Bewertung von Einzelabschnitten mit vergleichsweise kleinen Unfallzahlen erfolgt. Selbst bei der Kennzahlenermittlung ist in manchen Fällen das jährliche gesamtschweizerische Unfallgeschehen für bestimmte Teilkollektive nicht ausreichend, um die erwähnten Stichprobengrößen zu erreichen.

Mittleren Unfallkostensätzen *UKS* werden nach Strassentyp bzw. Ortslage (Hochleistungsstrasse, sonstige Strassen Ausserorts und Innerorts) für die beiden Unfallschwerekategorien $U_{(G+SV)}$ und $U_{(LV)}$ differenziert. Unterschiede zwischen verschiedenen Ortslagen und Strassentypen ergeben sich aufgrund unterschiedlicher Unfallbeteiligung (Fahrzeugarten) und vor allem unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus, welche sich direkt auf die Schwere eines Unfalls auswirken.

Es wird explizit darauf hingewiesen, dass diese Art der Bewertung vorrangig die Anwendung der Kostensätze im Bereich der Strasseninfrastruktursicherheit betrifft. Die bestehenden Kostensätze aus der Literatur werden dafür nur weiter aggregiert aber nicht verändert. Die hier gewählte Vorgehensweise ist damit eine konsequente Fortführung des in [14] beschriebenen Ansatzes.

3.2. Kennzahlenberechnung

Die Kennzahlen werden anhand der Methode der verallgemeinerten linearen Modelle (Generalized Linear Models) ermittelt. Diese Methodik stellt den Standard für die Entwicklung von Unfallmodellen dar und besitzt wesentliche Vorteile im Vergleich zur Mittelwertberechnungen hinsichtlich:

- Berücksichtigung der Poisson-verteilten Auftretenswahrscheinlichkeit von Unfällen (Maximum-Likelihood Abschätzung der Koeffizienten, Relevanz für Signifikanzabschätzungen),
- Abbildung von nicht-linearen Zusammenhängen für Expositionsgrößen wie den DTV und
- gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer Einflussvariablen und dadurch Beschreibung des isolierten Einflusses eines Faktors auf die Wahrscheinlichkeit von Unfällen.

Die Modelle werden über eine Anpassung an die negative Binomialverteilung ermittelt, welche bei nicht vollständig angepassten Modellen statistisch robuster sind. Signifikanz wird auf dem 90%-Niveau definiert, um auch aus der eingeschränkten Stichprobe Kennzahlen ableiten zu können.

Die daraus resultierenden komplexeren Modellgleichungen werden in – für die Praxis – einfach zu handhabende Unfallraten und Unfallziffern (RIA) bzw. Basisunfallkostenraten (NSM) überführt. Nähere Ausführungen zum Thema der verallgemeinerten linearen Modelle im Zusammenhang mit der Beschreibung des Unfallgeschehens findet sich im Anhang (Kapitel 7.1) oder in der Literatur (z. B. in [9] und [15]).

Zu Vergleichszwecken werden zusätzlich direkt aus der Stichprobe Unfallraten und Unfallziffern ermittelt. Diese werden entsprechend den Angaben in [12] berechnet.

4. Vorgehen

4.1. Netzeinteilung

Die Abgrenzung von Strecken und Knoten orientiert sich an der Netzeinteilung in [1]. Ziel der Netzeinteilung bei den Strecken war eine Abgrenzung in weitestgehend homogene Netzabschnitte (d. h. durchgängig konstante Infrastrukturcharakteristik).

Hochleistungsstrassen wurden in Abschnitte eingeteilt, wobei sehr kurze (< 200 m) oder sehr lange (> 7 km) Abschnitte – soweit möglich – vermieden wurden. Die Abgrenzung von Abschnitten und Knoten im restlichen Strassennetz erfolgte bereits bei deren Auswahl.

Knoten wurden engräumig abgegrenzt. Als äussere Abgrenzung wurden Haltlinien, die äusseren Ränder der Fussgängerstreifen bzw. die Enden der Eckausrundungen definiert. In Abbildung 1 sind zwei beispielhafte Abgrenzungen dokumentiert. Die Abgrenzung spielte für die räumliche Zuweisung der Unfälle zum Knoten und in der Folge für die Höhe des Sicherheitslevels (z. B. Unfallziffer) eine wesentliche Rolle.

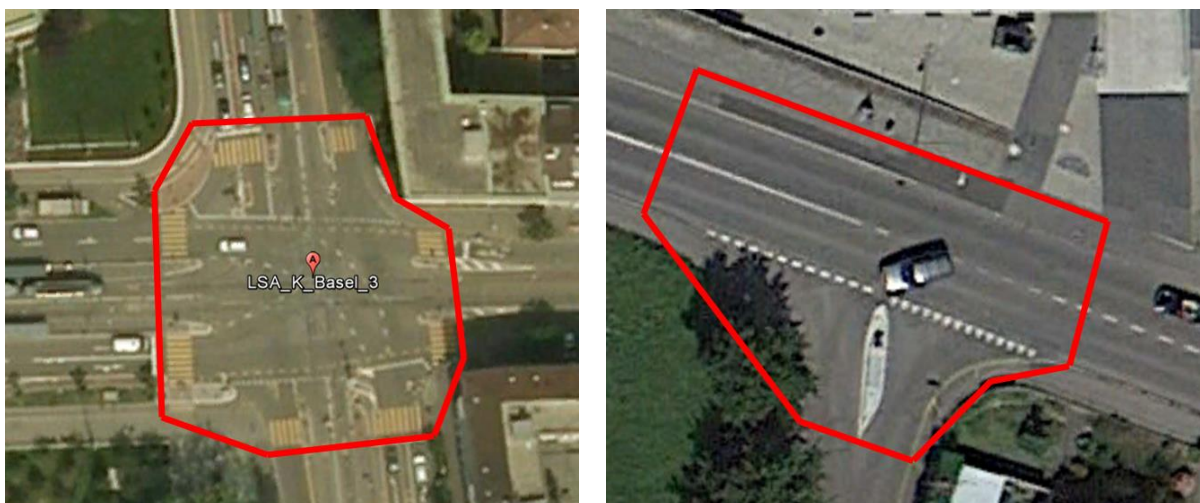


Abbildung 1: Abgrenzung Unfallgeschehen an Knoten

Die Abgrenzung der Knoten stellte eine vereinfachte Vorgehensweise dar. Knoten wirken sich auf das Unfallgeschehen in die angrenzenden Zufahrten hinein aus (siehe u. a. [16] und [17]). In diesen Einflussbereichen von Knoten überlagert sich das Unfallgeschehen der Strecke (z. B. querende Fussgänger) mit dem des Knotenpunktes (z. B. Auffahrunfälle vor Signalgebern). Eine Berücksichtigung dieses Effekts war aktuell nicht möglich, da:

- Einflussbereichslängen im Schweizer Strassennetz bisher nicht untersucht wurden und
- Angaben aus der internationalen Literatur sich nur bedingt auf Schweizer Verhältnisse übertragen lassen.

4.2. Bewertung

Grundlage der volkswirtschaftlichen Bewertung sind die Verunfallten- und Sachschadenskostensätze des ARE (ARE-Bericht „Externe Kosten des Verkehrs 2005“ [14]) und alle (polizeilich registrierten) Strassenverkehrsunfällen mit Personenschaden in der Schweiz (2009 - 2011). Daraus werden mittlere Kostensätze für die Unfälle mit Personenschaden ermittelt. Die Berechnung erfolgte anhand der folgenden Formeln (1) und (2).

$$UKS_{(G+SV)} = (G \cdot VK_G + SV_{U(G+SV)} \cdot VK_{SV} + LV_{U(G+SV)} \cdot VK_{LV} + U_{(G+SV)} \cdot SSK) / (U_{(G)} + U_{(SV)}) \quad (1)$$

$$UKS_{(LV)} = (LV_{U(LV)} \cdot VK_{LV} + U_{(LV)} \cdot SSK) / U_{(LV)} \quad (2)$$

UKS	Unfallkostensatz entsprechend Unfallschwerekategorie
G, SV, LV	Anzahl Getötete bzw. Verletzte (SV-Schwerverletzte; LV-Leichtverletzte) immer bezogen auf die Unfallschwerekategorie (z. B. Unfälle mit Getöteten können auch zusätzliche Schwer- und Leichtverletzte aufweisen)
VK	Verunfalltenkostensatz entsprechend [14]
SSK	Sachschadenskostensatz entsprechend [14]
U	Anzahl Unfälle einer Unfallschwerekategorie
(G/SV/LV)	Unfallschwerekategorie definiert über schwerste Verletzung bei einem Unfall

Es war zu beachten, dass die Kostensätze aus [14] unterschiedliche Niveaus bzw. Bezüge aufwiesen:

- Verunfalltenkostensätze beziehen sich auf die tatsächlichen Unfallopfer, d. h. es ist keine Dunkelziffer berücksichtigt
- Sachschadenskostensätze sind für die Bewertung der polizeilich registrierten Unfälle angepasst, d. h. es ist bereits eine Dunkelziffer in die Werte eingerechnet (tatsächliche Werte je Unfall sind niedriger)

Die hier vorliegende Untersuchung nahm keine weitere Anpassung hinsichtlich der Dunkelziffer von polizeilich registrierten Unfällen vor, da entsprechende Grundlagen fehlen oder stark veraltet sind. Die spätere Gegenüberstellung der Kennzahlen (Basisunfallkostenrate $baUKR_{(G+SV+LV)}$) und der polizeilich registrierten Unfälle eines Einzelabschnitts im Rahmen der NSM-Anwendung schliesst eine Berücksichtigung der Dunkelziffer für Unfälle mit Personenschaden aus. Die Dunkelziffer wird nicht aus den Sachschadenskostensätzen herausgerechnet, da entsprechende Grundlagen wie z. B. Faktoren oder Anteile für nicht polizeilich registrierte Unfälle fehlen. Im Rahmen der RIA-Anwendung werden also die tatsächlichen Sicherheitslevel tendenziell unterschätzt. Diese Unterschätzung wird durch die Berücksichtigung der Dunkelziffer bei den Sachschadensunfällen leicht kompensiert.

Zwischen den Kantonen bestehen erhebliche Unterschiede in den Anteilen der Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden $U_{(SS)}$ (siehe Abbildung 2), welche auf unterschiedliche Herangehensweisen bei der polizeilichen Erhebung zurückgeführt wird. Für die gesamtschweizerische Kennzahlenermittlung bedarf es einer Vereinheitlichung der Unfallzahlen $U_{(SS)}$ für die RIA-Kennzahlen. Die Kantone Graubünden und Zürich wiesen die grössten Anteile an $U_{(SS)}$ auf und wurden als Referenzkantone klassifiziert. Es erfolgte eine Hochrechnung der $U_{(SS)}$ anhand kantonsspezifischer Faktoren auf die Anteile der Referenzkantone (ähnlich wie in [11]).

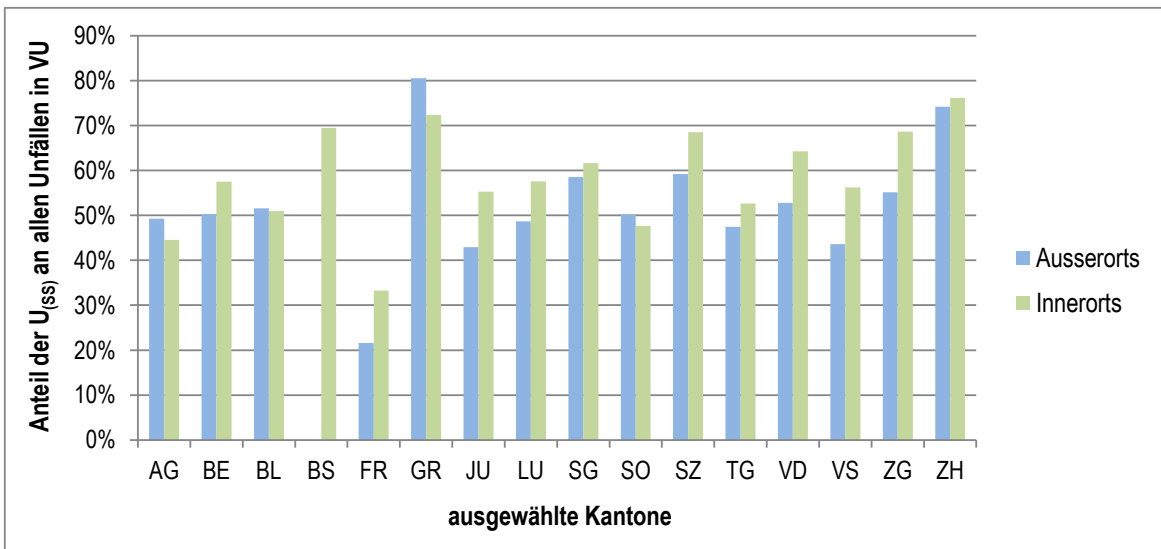


Abbildung 2: Verteilung Unfallschwerekategorien ausgewählter Kantone (Zeitraum 2011-2012)

Eine ausführlichere Diskussion der Thematik sowie die angewendete Hochrechnung von $U_{(ss)}$ finden sich im Anhang im Kapitel 7.1.

4.3. Kennzahlen

Ausgangspunkt der Kennzahlenermittlung war die Entwicklung von Unfallmodellen, welche als Teilmodelle für unterschiedliche Netzabschnitte differenziert nach Unfallschwerekategorien ermittelt wurden. Eine allgemeine Form eines Unfallmodells der Strecke ist in Formel (3) dargestellt. Es wurde folgendermassen interpretiert:

- Ein positiver Regressionskoeffizient bedeutet, dass bei vorliegendem Attribut bzw. mit ansteigendem Wert auch die Unfallzahl ansteigt (dementsprechend umgekehrt bei negativem Vorzeichen).
- Bei den stetigen Expositionsgrössen oder Einflussvariablen (z. B. L oder DTV) führt ein Regressionsparameter kleiner 1 zu einem degressiv ansteigendem Zusammenhang (Anstieg flacht nach oben hin ab) bei entsprechend positiven Vorzeichen. Ein Regressionsparameter grösser 1 führt zu einem progressiv ansteigendem Zusammenhang.
- Die Effektstärke (Auswirkung auf das Sicherheitslevel) ist nicht direkt aus den Koeffizienten ablesbar bzw. sind diese nicht direkt miteinander vergleichbar. Das ist auf die multiplikative Verknüpfung zurückzuführen. Effektstärken können bei Bedarf aus der Differenz der Sicherheitslevel mit und ohne das betrachtete Merkmal ermittelt werden.

$$EW = \alpha \cdot L^{\beta_1} \cdot Q^{\beta_2} \cdot e^{\sum \gamma_i \cdot x_i} \quad (3)$$

U jährliche Unfallzahl einer oder mehrerer Unfallschwerekategorien (Erwartungswert)

α Konstante

L Länge [km]

Q Verkehrsstärke als DTV [Fz/d]

x Einflussvariablen

β Koeffizienten der Exposition

γ Koeffizienten der Infrastrukturattribute

i Indices

Die Ergebnisse des Unfallmodells stellten Erwartungswerte für das Unfallgeschehen auf einem Netzabschnitt dar (ähnlich einem Mittelwert). Aufgrund der komplexen Struktur waren die Modelle tendenziell ungeeignet für eine flächendeckende praktische Anwendung. Aus diesem Grund sollten die end-

gültigen Modelle am Ende als Unfallraten und Unfallziffern für die entsprechenden Normen beschrieben werden. Hierbei waren Unterschiede bei den jeweiligen Kennzahlen für NSM und RIA zu beachten.

Für RIA wurden mittlere Erwartungswerte für Netzabschnitte einer bestimmten Charakteristik benötigt. Am Beispiel der Hochleistungsstrassen mit und ohne bauliche Mitteltrennung wurde die Umrechnung in Unfallraten in den Formeln (4) und (5) beschrieben. Die Abbildung als klassische Unfallrate ($U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$) ist nur möglich sofern die Expositionsgrössen lineare Zusammenhänge mit dem Unfallgeschehen aufweisen ($\beta = 1$). War das nicht der Fall, wurden Erwartungswerte aus den komplexen Modellen für alle DTV-Intervalle (z. B. alle 2000 Kfz/h) entlang des Gültigkeitsbereichs der Modelle berechnet und daraus ein Mittelwert für die Unfallrate ermittelt. Aktuell ging hier aufgrund der Anforderungen der Praxis bzw. der Normenerstellung Modellgenauigkeit verloren. Die Möglichkeiten für die Abbildung nicht-linearer Zusammenhänge sollte aber für eventuell spätere Praxisumsetzungen dokumentiert werden.

$$\text{UR}_{\text{mit Mitteltrennung}} \cong \frac{\alpha \cdot L^{\beta_1} \cdot \text{DTV}^{\beta_2} \cdot e^{\gamma \text{Mitteltrennung}}}{365} \quad \text{für } \beta_1 = \beta_2 = 1 \text{ und} \\ L \cdot \text{DTV} = 10^6 \text{ [Fz} \cdot \text{km]} \quad = \frac{10^6 \cdot \alpha \cdot e^{\gamma \text{Mitteltrennung}}}{365} \quad (4)$$

$$\text{UR}_{\text{ohne Mitteltrennung}} \cong \frac{\alpha \cdot L^{\beta_1} \cdot \text{DTV}^{\beta_2}}{365} = \frac{10^6 \cdot \alpha}{365} \quad (5)$$

- UR* Unfallrate [$U/(10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km})$]
 α Konstante
L Länge [km]
DTV Verkehrsstärke [Fz/d]
 β Koeffizienten der Exposition
 γ Koeffizienten der für Vorhandensein einer baulichen Mitteltrennung

Unfallschwereverteilungen bezogen auf die Unfallschwerekategorien $U_{(G+SV)}$ und $U_{(LV)}$ wurden aus der gesamtschweizerischen Unfallstatistik abgeleitet. Die Anteile der Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden $U_{(SS)}$ wurden ausschliesslich auf Basis der Unfallstatistik der Kantone Zürich und Graubünden ermittelt.

Für NSM war die Vorgehensweise grundsätzlich ähnlich mit folgenden Ausnahmen:

- Anhand der Einflussvariablen wurde das Modell derart eingestellt, dass eine vergleichsweise „sicherer“ Netzabschnitt damit beschrieben wurde (entspricht „best practice design“), welcher das Grundunfallniveau in der NSM Anwendung repräsentiert. Dies wäre im oberen Beispiel die Formel (4) für Strecken mit baulicher Mitteltrennung, da diese sicherer als vergleichbare Strecken ohne bauliche Mitteltrennung sind. Grundsätzlich könnten auch mehrere Einflussvariablen berücksichtigt werden, sofern diese als signifikante Einflussgrössen aus der Modellentwicklung hervorgehen.
- Ausserortsstrassen ausserhalb von Hochleistungsstrassen wurden als Strassenzüge bewertet (d. h. Strecke und Knoten aggregiert). Hierfür wurden Strecken- und Knotenmodelle kombiniert bzw. addiert. Der Erwartungswert des Knotenmodells wurde über den mittleren Knotenabstand gewichtet. Bei einem mittleren Knotenabstand von 3 Kilometern wurde je Kilometer Strecke ein Drittel des Erwartungswertes des Knotenmodells mit berücksichtigt.
- Für die Berechnung der Basisunfallkostenraten wurden die Teilmodelle der Unfallschwerekategorien mit den entsprechenden Unfallkostensätzen multipliziert. Bei sehr kleinen Stichproben wurden aggregierte Teilmodelle, mit den entsprechenden Anteilen der Unfallschwerekategorien aus der Unfallstatistik und den Unfallkostensätzen multipliziert. Die so bewerteten Teilmodelle (Teil-Basisunfallkostenraten einer Unfallschwerekategorie) wurden am Ende ad-

diert, um das gesamte – polizeilich registrierte – Unfallgeschehen mit Personenschaden zu beschreiben.

5. Ergebnisse

5.1. Unfallkostensätze

Es wurden insgesamt sieben Unfallkostensätze differenziert nach Unfallschwerekategorien und Strassentyp / Ortslage ermittelt (siehe Tabelle 2 und Herleitung im Anhang 7.2). Ausserorts ergaben sich nur vergleichsweise kleine Unterschiede zwischen den Hochleistungs- und den restlichen Strassen. Eine getrennte Bewertung wurde trotzdem beibehalten. Innerorts sind ebenfalls Unterschiede zwischen verkehrsorientierten (HVS, VS, und SS; meistens Tempo 50) und siedlungsorientierten Strassen (ES; meisten Tempo 30) in der mittleren Unfallschwere zu erwarten. Aufgrund fehlender Daten zur Klassifizierung in verkehrs- und siedlungsorientierte Innerortsstrassen können aktuell nur gemeinsame Kostensätze bereitgestellt werden.

Tabelle 2: Unfallkostensätze zur Anwendung in den ISSI

Unfallkostensätze [CHF·U ⁻¹]				
		UKS _(G+SV)	UKS _(LV)	UKS _(SS)
Ausserorts	Hochleistungsstrasse HLS	1 012 000	91 500	45 000
	Hauptverkehrs- / Verbindungsstrasse HVS / VS	925 000	88 000	
Innerorts	Hauptverkehrs- / Verbindungs- / Sammel- / Erschliessungsstrasse HVS / VS / SS / ES	696 000	84 000	

5.2. Kennzahlen RIA

5.2.1. Unfallraten und Unfallziffern

Die Kennzahlen für das RIA berücksichtigen im Gegensatz zu den Kennzahlen von NSM das gesamte (durch die Polizei erhobene) Unfallgeschehen inklusive der Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden.

Im Rahmen der Analyse wurden insgesamt vier verschiedene Kennzahlentypen in Abhängigkeit der Methodik der Kennzahlenermittlung gegenübergestellt und für die Verwendung in der Verfahrensanwendung diskutiert. Eine ausführliche Gegenüberstellung findet sich im Anhang in Kapitel 7.2. Die ausgewählten Kennzahlen für die Strecken finden sich in Tabelle 3 und für die Knoten in Tabelle 4.

Tabelle 3: Ergebnisse Kennzahlen für RIA (Unfallraten für Strecken)

Strecken		Anzahl Fahrstreifen	bauliche Mittel-trennung	hohe geschäftliche Nutzung	baul. Massnahmen Verkehrsberuhigung	UR	
Ausserorts	Autobahn	4	Ja			0,46	
		>4				0,55	
	Hochleistungsstrasse HLS	Autostrasse	2			Ja/Nein	0,48
			>2				0,57
	Tunnel	2/3/4	Ja/Nein			0,53	
Hauptverkehrs- / Verbindungsstrassen HVS /VS		2/3	Nein	0,78			
Innerorts	Hauptverkehrs- / Verbindungs- / Sammelstrassen HVS / VS / SS	alle	Ja	Ja	2,69		
				Nein	1,85		
			Nein	Ja	5,10		
				Nein	3,49		
	Erschliessungsstrassen ES*	alle	Nein	Nein	Ja	1,50	
				Nein	3,00		

* Schätzung

Für die Erschliessungsstrassen lagen keinerlei DTV-Werte vor. Aus diesem Grund wurden die Kennzahlen abgeschätzt.

Tabelle 4: Ergebnisse Kennzahlen für RIA (Unfallziffern für Knoten)

Knoten		UZ			
		Kreuzung	Einmündung	Kreisel	
				3 Zufahrten	4-5 Zuf.
aO	mit Lichtsignalanlage	0,41	0,27		
	ohne Lichtsignalanlage	0,97	0,65	0,36	0,53
iO	mit Lichtsignalanlage	0,71	0,25		
	ohne Lichtsignalanlage	1,20* (0,46)	0,64	0,27	0,45

* Schätzung

Die Problematik der Kreuzungen ohne LSA wird bei den Kennzahlen zu NSM in Kapitel 5.3.3 diskutiert. Der berechnete Wert ist in Tabelle 4 rot eingefärbt. Für die RIA-Norm wurde aufgrund der Überlegungen in Kapitel 5.3.3 ein Wert abgeschätzt bzw. hochgerechnet (unter Berücksichtigung der anderen Kennzahlen für Einmündungen und Kreuzungen in Tabelle 4). Die Hochrechnung berücksichtigte die aus der Modellierung verallgemeinerbaren Erkenntnisse, dass Kreuzungen eine höhere Unfallziffer als Einmündungen (mehr Konflikte) und Knoten ohne LSA eine höhere Unfallziffer als Knoten mit LSA (ungeschützte kreuzende, ein- und abbiegende Verkehrsströme) aufweisen.

5.2.2. Verteilung der Unfallschwerekategorien

Die Anteile der jeweiligen Unfallschwerekategorien am Gesamtunfallgeschehen für verschiedene Netzbereiche finden sich in Tabelle 5 und Tabelle 6. Der vergleichsweise hohe Anteil an Unfällen mit schwerem Personenschaden $U_{(G+SV)}$ auf Innerortsstrecken liess sich auf die stärkere Unfallbeteiligung des Langsamverkehrs zurückführen. An Knoten ausserorts wiesen vor allem Kreuzungen und Einmündungen ohne LSA eine höhere Unfallschwere auf. Dies wurde auf die dort höheren Geschwindigkeiten zurückgeführt.

Tabelle 5: Verteilung der Unfallschwerekategorien (Strecken)

Anteil Unfallschwerekategorien an allen Unfällen – Strecke				
		$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(SS)}$
Ausserorts	Autobahn	0,02	0,12	0,86
	Autostrasse	0,04	0,14	0,82
	Tunnel	0,02	0,13	0,85
	Hauptverkehrs- / Verbindungsstrasse HVS / VS	0,07	0,15	0,78
Innerorts	Hauptverkehrs- / Verbindungs- / Sammelstrassen HVS / VS / SS	0,06	0,26	0,68
	Erschliessungsstrassen ES	0,06	0,18	0,76

Tabelle 6: Verteilung der Unfallschwerekategorien (Knoten)

Anteil Unfallschwerekategorien an allen Unfällen – Knoten				
		$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(SS)}$
Ausserorts	mit Lichtsignalanlage	0,04	0,12	0,84
	ohne Lichtsignalanlage (Kreuzung/Einmündung)	0,08	0,22	0,70
	ohne Lichtsignalanlage (Kreisel)	0,04	0,21	0,75
Innerorts	mit Lichtsignalanlage	0,05	0,22	0,73
	ohne Lichtsignalanlage (Kreuzung/Einmündung)	0,06	0,25	0,69
	ohne Lichtsignalanlage (Kreisel)	0,05	0,24	0,71

5.3. Kennzahlen NSM

5.3.1. Hochleistungsstrassen HLS

Es wurden Teilmodelle für Unfälle mit schwerem und leichtem Personenschaden ermittelt (siehe Formeln (7) und (8) im Anhang in Kapitel 7.2) bei denen:

- der DTV je nach Teilmodell einen Regressionskoeffizienten knapp über sowie knapp unterhalb von Eins aufweist (leicht nicht-linearer Zusammenhang),
- Netzabschnitte mit baulicher Mitteltrennung eine geringere Unfallhäufigkeiten aufweisen und
- Netzabschnitte innerhalb von Gross- oder Mittelzentren eine höhere Unfallhäufigkeit aufweisen.

Ein Strassenabschnitt wurde als vergleichsweise „sicher“ und damit als repräsentativ für das Grundunfallniveau bzw. die Basisunfallkostenrate *baUKR* eingeschätzt, wenn:

- eine Mitteltrennung vorhanden ist und
- der Abschnitt ausserhalb eines Gross- oder Mittelzentrums gelegen ist.

Dies ist eine eher konservative Abschätzung der Basisunfallkostenrate. Die tatsächliche *baUKR* liegt tendenziell unterhalb dieser Abschätzung. Aufgrund der eingeschränkten Datenlage war aktuell keine exaktere Abschätzung möglich.

Aus den Teilmodellen wurde Kennzahlen für die Häufigkeit der Unfälle mit Personenschaden abgeleitet (Formel (6)). Für alle Intervalle mit einem DTV = 2 000 Fz/h wurden Erwartungswerte berechnet und daraus ein Mittelwert gebildet, welcher die Basisunfallkostenrate *baUKR* mit ca. 13 CHF je 1 000 Fahrzeugkilometer darstellte.

$$baUKR_{(G+SV+LV)} = 10^{-3} \cdot \sum_{DTV=2000}^{60000} \frac{10^6 \cdot DTV^{0,85} \cdot e^{(-10,51-0,73)}}{365} \left[\frac{U}{10^6 Fzkm} \right] \cdot 1\,012\,000 \text{ [CHF]} + \frac{10^6 \cdot DTV^{1,17} \cdot e^{(-12,32-0,33)}}{365} \left[\frac{U}{10^6 Fzkm} \right] \cdot 925\,000 \text{ [CHF]} \quad (6)$$

$$baUKR_{(G+SV+LV)} = 12,94 \text{ [CHF/1 000Fzkm]}$$

Für die restlichen Strassen ist die Vorgehensweise grundsätzlich ähnlich.

5.3.2. Ausserortsstrassen ausserhalb HLS

Bei der Ermittlung der Unfallmodelle für Ausserortsstrecken wurden folgende Ergebnisse festgestellt:

- Die Expositionsgrössen Länge und DTV ergaben stark nicht-lineare Zusammenhänge mit dem Unfallgeschehen.
- Alle weiteren untersuchten Einflussvariablen ergaben keine signifikanten Zusammenhänge mit dem Unfallgeschehen.

Diese Ergebnisse wurden auf die kleine Stichprobe (Signifikanz stark von Stichprobengrösse abhängig) sowie auf die qualitativ ermittelten Variablen (z. B. Kurvigkeit, Seitenraum) zurückgeführt. Nicht-lineare Zusammenhänge zwischen DTV und Unfallhäufigkeit sind nicht ungewöhnlich, allerdings nicht in dem hier festgestellten Masse. Dies war neben der geringen Stichprobe aber vor allem den Einschränkungen des Verkehrsmodells geschuldet. Das nationale UVEK-Verkehrsmodell war nur bedingt geeignet, im untergeordneten Netz lokal das Verkehrsaufkommen zu beschreiben. Im Rahmen der Untersuchung standen keine Alternativen zur Verfügung. Länge und DTV wurden als lineare Expositions- bzw. Offsetgrössen im Modell berücksichtigt (d. h. Koeffizient wird auf 1 gesetzt).

Bei der Ermittlung der Unfallmodelle für Ausserortsstrecken wurden folgende Ergebnisse festgestellt:

- Die Expositionsgrösse DTV zeigte keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen.
- Vier und mehr Zufahrten wiesen eine signifikant höhere Unfallhäufigkeit (unabhängig vom DTV) als Knoten mit drei Zufahrten auf.
- Knoten mit einer LSA-Regelung zeigten die geringste Unfallhäufigkeit, Kreuzungen und Einmündungen mit der Verkehrsregelung „kein Vortritt“ bzw. „Stop“ zeigten die höchsten Unfallhäufigkeiten. Die Kreisverkehrsplätze liegen dazwischen.

Dieses Ergebnis für den DTV ist inhaltlich nicht begründbar und verdeutlicht die Einschränkungen des verwendeten Verkehrsmodells im nachgeordneten Netz. Die Berücksichtigung des DTV ist für die Kennzahlen unbedingt notwendig und stellt die zentrale Exposition dar. Aus diesem Grund wurde der DTV als lineare Offsetgrösse berücksichtigt.

Die restlichen Ergebnisse decken sich mit Erkenntnissen aus anderen Untersuchungen. Knoten mit LSA-Regelung sowie Kreisverkehrsplätze gelten als sicherste Formen den Verkehr am Knoten abzuwickeln (siehe u. a. [12] und [16]). Deren Sicherheitslevel wird für die Ermittlung der Basisunfallkostenrate (Zielgrösse) herangezogen. Die Anzahl der Zufahrten ist eine Randbedingung des Entwurfs und müsste daher als Expositionsgrösse berücksichtigt werden (d. h. unterschiedliche *baUKR* für Knoten mit 3 oder mit mehr als 3 Zufahrten). Aufgrund der eingeschränkten Datenlage, aber vor allem aufgrund der Forderung nach möglichst einfachen ISSI-Verfahren (siehe z. B. [18]) wurde die Anzahl der Zufahrten nicht berücksichtigt. Weitere sicherheitsrelevante Infrastrukturattribute sind anhand einer grösseren Stichprobe zu einem späteren Zeitpunkt erneut zu analysieren.

Bei der Ermittlung der *baUKR* für die Strassenzugbewertung wurde von einem mittleren Knotenpunkt-Abstand von 3 km ausgegangen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt. Die endgültige Basisunfallkostenrate für ausserörtliche Strassenzüge beträgt 110,3 CHF je 1 000 Fahrzeugkilometer.

Tabelle 7: Ergebnisse NSM-Kennzahlen für Ausserortsstrassen (ohne AB/AS)

Ausserortsstrassen		Strecke + 1/3 Knoten	Strecke	Knoten	3 Zufahrten	> 3 Zufahrten
baUR _(G+SV+LV)	[U/(10 ⁶ Fz·km)]	0,33	0,29	0,12	0,08	0,16
Anteil U _(G+SV)		-	0,31	0,18		
baUKR _(G+SV+LV)	[CHF/(1000 Fz·km)]	110,3	100,6	29,2	19,2	38,7

5.3.3. Innerortsstrassen

Die Innerortsstrassenbewertung erfolgte getrennt für Strecken (inklusive Anschlussknoten mit untergeordnetem bzw. siedlungsorientierten Netz) und Knoten (zwischen verkehrsorientierten Strassen). Bei der Ermittlung der Unfallmodelle für Innerortsstrecken wurden folgende Ergebnisse festgestellt:

- Die Expositionsgrösse Länge zeigte einen linearen Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen. Für den DTV liessen sich keine signifikanten Zusammenhänge mit dem Unfallgeschehen nachweisen.
- Eine bauliche Mitteltrennung (Mittelstreifen) bzw. Mittelinseln in regelmässigen Abständen stehen im Zusammenhang mit geringeren Unfallhäufigkeiten als auf Strassen ohne diese Ausstattung.
- Strassen mit einer hohen geschäftlichen Nutzung zeigten eine tendenziell erhöhte Unfallhäufigkeit.

Die Ergebnisse in Bezug auf den DTV sind ähnlich wie in Kapitel 5.3.2 zu interpretieren. Der DTV wurde als lineare Offsetgrösse berücksichtigt. Für die Definition der Basisunfallkostenrate wurde das Sicherheitslevel von Strassen mit baulicher Mitteltrennung bzw. Mittelinseln in regelmässigen Abständen sowie ausserhalb von Bereichen mit einer hohen geschäftlichen Nutzung herangezogen.

Bei der Ermittlung der Unfallmodelle für Innerortsknoten wurden folgende Ergebnisse festgestellt:

- Erneut konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem DTV und dem Unfallgeschehen nachgewiesen werden.
- Es zeigte sich eine Tendenz, dass Knoten mit mehr als 3 Zufahrten eine erhöhte Unfallhäufigkeit aufweisen, auch wenn dies nicht signifikant ist.

Der DTV wurde als lineare Offsetgrösse berücksichtigt. Das zweite Ergebnis wurde auch auf die Fallauswahl der Knoten in der Stichprobe zurückgeführt. In diesem Zusammenhang soll der Sicherheitslevel von Kreuzungen ohne LSA diskutiert werden: Diese Form und Verkehrsregelung gilt als unsicherste Führung des Verkehrs an Knoten (siehe z. B. [12], [16]). Solche Knoten finden sich nur sehr selten an Schweizer Innerortsstrassen. Es wird vermutet, dass dies eine Folge des „schlechten“ Sicherheitslevels in der Vergangenheit war und entsprechende Knoten in Kreisverkehrsplätze umgebaut oder mit einer LSA ausgestattet wurden. Dies führt dazu, dass die übrigen Kreuzungen ohne LSA tendenziell unauffällige Knoten darstellen, da dort z. B. nur sehr wenig ein- und abbiegender Verkehr anliegt. Würde man aus den übrigen Knoten Kennzahlen für Kreuzungen ohne LSA ableiten, führt dies zwar zu einer repräsentativen Beschreibung der Knotenpunkte in der Stichprobe. Es ist aber mehr als fraglich, ob bei Umbau einer Kreuzung (z. B. von einem Kreisverkehr oder einer LSA-Kreuzung in eine Kreuzung ohne LSA) oder bei einem prognostizierten Anstieg des Verkehrsaufkommens (Anwendungsfall RIA) tatsächlich dieses Unfallhäufigkeit eintritt. Aus diesem Grund wurde die

Basisunfallkostenrate aus einer Teilstichprobe der Knoten mit LSA-Regelung und Kreisverkehrsplätzen abgeleitet.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt. Strecken weisen eine Basisunfallkostenrate von 133,8 CHF je 1 000 Fahrzeugkilometer und Knoten eine Basisunfallkostenrate von 34,7 CHF je 1 000 Fahrzeugüberfahrten auf.

Tabelle 8: Ergebnisse NSM-Kennzahlen für Innerortsstrassen

Innerortsstrassen		Strecke	Knoten	3 Zufahrten	> 3 Zufahrten
baUR _(G+SV+LV)	[U/(10 ⁶ Fz·km)]	0,66	0,19	0,11	0,22
Anteil U _(G+SV)		0,19	0,17		
baUKR _(G+SV+LV)	[CHF/(1000 Fz·km)]	133,8	34,7	19,6	41,2

6. Ausblick

Die hier vorliegende Kennzahlenermittlung stellt eine erste Abschätzung von Kennzahlen für die RIA- und NSM-Anwendung dar. Unfallraten, Unfallziffern und Schwereverteilungen sowie Basisunfallkostenraten wurden aus einer kleinen Stichprobe ermittelt. Die Einschränkungen, welche sich daraus für die Aussagefähigkeit der Kennzahlen ergeben, wurden im Text diskutiert. Es ist zwingend notwendig, diese ersten Ergebnisse anhand einer umfangreicheren Stichprobe mit mehr Daten in besserer Qualität zu validieren und zu erweitern. Dies ist vor allem für die Basisunfallkostenraten des NSM notwendig, da das Grundunfallniveau „überschätzt“ wird, d. h. es liegt mit einer hohen Wahrscheinlichkeit geringfügig unter den hier ermittelten Werten. Da sich hierdurch aber eher konservative Schätzungen des Infrastrukturpotenzials ergeben (d. h. tatsächlich durch Massnahmen einzusparende Kosten liegen über den durch das NSM berechneten Kosten), steht einer pilothaften Anwendung in der Praxis nichts entgegen.

7. Anhang

7.1. Anhang 1: Ergänzungen zu Datengrundlagen und Methodik

Infrastrukturattribute

Für das Nationalstrassennetz der Autobahnen und Autostrassen wurden folgende Infrastrukturattribute ermittelt und dem Netz zugewiesen:

- Anzahl Fahrstreifen
- bauliche Mitteltrennung
- Klassifizierung als Autobahn oder Autostrasse
- Tunnel- oder Galeriebauwerk vorhanden
- Lage innerhalb einer Gebietsklassifizierung nach der Gemeindetypologie des ARE

Für die restlichen Strecken und Knoten wurden folgende Attribute manuell aus Luftbildern (Google Maps) ermittelt:

- ▶ Ausserortsstrecken
 - Anzahl Fahrstreifen
 - bauliche Mitteltrennung
 - qualitative Einschätzung der Längstrassierung (kurvig / gerade)
 - qualitative Einschätzung des Seitenraums (viele Hindernisse wie z. B. Wald, Alleen / wenige Hindernisse im Seitenraum)
- ▶ Ausserortsknoten
 - Knotenform und Anzahl Zufahrten (Kreuzung / Einmündung / Kreisel)
 - Verkehrsregelung (LSA / keine LSA)
 - Anzahl Geradeausfahrstreifen (1 FS / mehrere Fahrstreifen)
 - Linksabbieger- / Rechtsabbiegerfahrstreifen vorhanden
 - Dreiecksinsel vorhanden
 - Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt vorhanden
 - Knoten liegt in einer Kurve
 - Winkel zwischen Zufahrten weichen (vergleichsweise stark) von 90° ab (schiefwinklig)
- ▶ Innerortsstrecken
 - Anzahl Fahrstreifen
 - bauliche Mitteltrennung (Mittelstreifen oder Mittelinseln in regelmässigen Abständen vorhanden)
 - hohe geschäftliche Nutzung (ja / nein)
 - Tram vorhanden
- ▶ Innerortsknoten (nur Knoten zwischen zwei verkehrsorientierten Strassen)
 - Knotenform und Anzahl Zufahrten (Kreuzung / Einmündung / Kreisel)
 - Verkehrsregelung (LSA / keine LSA)
 - Anzahl Geradeausfahrstreifen (1 FS / mehrere Fahrstreifen)
 - Linksabbieger- / Rechtsabbiegerfahrstreifen vorhanden
 - Dreiecksinsel vorhanden
 - Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt vorhanden
 - Knoten liegt in einer Kurve
 - Winkel zwischen Zufahrten weichen (vergleichsweise stark) von 90° ab (schiefwinklig)
 - hohe geschäftliche Nutzung in den Zufahrten (ja / nein)
 - Tram und / oder Tramhaltestelle in einer der Zufahrten

Unfallattribute und Vereinheitlichung

Für die Einzelunfälle wurde anhand des schwersten Verletzungsgrades der Verunfallten die Unfallschwerekategorie abgeleitet. Das Unfalldatum wurde für die Einordnung in den Untersuchungszeitraum herangezogen. Weitere Unfallattribute wurden nicht verwendet. Die Unfallreferenzierung auf

Streckenachsen erfolgte automatisiert anhand räumlicher und inhaltlicher Kriterien (z. B. RBBS) im Hochleistungsstrassennetz. Im nachgeordneten Netz wurden die Unfälle unter Berücksichtigung der Position des Einzelunfalls in VUGIS manuell zugeordnet. Zusätzlich wurde die Position anhand der Unfallhergangstexte validiert.

Aufgrund der kantonalen Unterschiede hinsichtlich der Erhebung von Unfällen mit ausschliesslich Sachschaden bedarf es weiterhin einer Vereinheitlichung bzw. Anpassung dieser Unfallzahlen. Die betroffenen Unfälle $U_{(SS)}$ werden über kantonsspezifische Faktoren auf die Anteile dieser Unfallschwerekategorie in den Kantonen Graubünden und Zürich hochgerechnet (ähnlich wie in [11]). Es werden dafür zwei Methoden vergleichend einander gegenübergestellt (siehe Ergebnisse in Tabelle 11 und Tabelle 12):

- Methode „Stichprobe“: Es werden die jeweiligen Anzahlen der Sachschadensunfälle jedes Knotens bzw. Streckenabschnitts mit einem Faktor auf das Niveau in den Kantonen Graubünden und Zürich hochgerechnet. Vorteil ist die spezifische Berücksichtigung des Unfallgeschehens eines Abschnitts bzw. Knotens. Nachteil ist die Hochrechnung einer stark von Zufälligkeiten bestimmten Unfallzahl eines Abschnitts (kleinere Stichprobe).
- Methode „Faktor“: Ausgehend von den endgültigen Kennzahlen für die Unfälle mit Personenschaden werden über einen Faktor die Kennzahlen der Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden abgeschätzt. Vorteil ist die geringere Beeinträchtigung der Kennzahlenwerte durch Zufälligkeiten (grössere Stichprobe als beim Einzelfall). Nachteil ist die Annahme einer konstanten Verteilung der Unfallschwerekategorien unabhängig von Infrastrukturparametern (was tatsächlich häufig nicht der Fall ist).

7.2. Anhang 2: Ergebnisdiskussion

Diskussion Unfallkostenberechnung

Als Vorbereitung für die Ermittlung der Unfallkostensätze wurde ein gemeinsamer Verunfalltenkostensatz für Schwerverletzte berechnet (siehe Tabelle 9). Grund hierfür ist, dass im ARE-Bericht die Kostensätze für Schwerverletzte noch stärker differenziert sind, als dies die Unfalldaten der Polizei hergeben (Datensatz des ASTRA).

Tabelle 9: Ableitung aggregierter Kostensatz für alle Schwerverletzten

Kategorien	Beschreibung	Zuordnung Unfallschwerekategorie	Stichprobe	Kostensatz	Kostensatz aggregiert
Todesfall	<i>sterben am Unfallort oder an den Unfallfolgen innerhalb von 30 Tagen</i>	G	415	3 191 421 CHF	3 191 421 CHF
Invaliditätsfall	Invaliditätsrente aufgrund Unfall	SV	1 549	1 279 044 CHF	498 907 CHF
Schwerverletzt	Spitalaufenthalt > 7d	SV	6 169	528 003 CHF	
Mittelschwerverletzt	Spitalaufenthalt 1-6d	SV	3 669	120 622 CHF	
Leichtverletzt	Spitalaufenthalt < 24h	LV	82 609	33 471 CHF	33 471 CHF
Sachschaden*		SS		44 824 CHF	44 824 CHF

* inklusive Dunkelziffer

Die zugrunde liegenden Unfallzahlen aus der Unfallstatistik 2009 - 2011 sowie die daraus berechneten Unfallkostensätze UKS finden sich in den unten stehenden Tabellen (Tabelle 10). Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die Einteilung nach Strassentypen über die Informationen in den Unfallaufnahmeprotokollen der Polizei nur bedingt zielführend – aber aktuell alternativlos – ist. Den aufnehmenden

Beamten stehen z. B. Angaben zu verkehrs- oder siedlungsorientierten Strassen häufig nicht zur Verfügung.

Tabelle 10: Grundlagen und Berechnung UKS (2009-2011)

Ausserorts AB/AS	G	SV	LV	U	UKS
U(G)	101	55	43	91	1 011 946
U(SV)		899	378	749	
U(LV)			6 354	4 560	

Innerorts Hauptstrassen	G	SV	LV	U	UKS
U(G)	181	25	34	177	712 399
U(SV)		3.523	587	3 371	
U(LV)			18 930	15 536	85 607

Ausserorts Haupt-/Nebenstr.	G	SV	LV	U	UKS
U(G)	456	98	199	437	924 821
U(SV)		3 979	1 085	3 577	
U(LV)			12 417	9 586	88 180

Innerorts Nebenstrassen	G	SV	LV	U	UKS
U(G)	166	6	12	165	681 163
U(SV)		3.781	470	3 662	
U(LV)			14 445	12 887	82 342

Innerorts Gesamt	G	SV	LV	U	UKS
U(G)	347	31	46	342	696 190
U(SV)		7.304	1 057	7 033	
U(LV)			33 375	28 423	84 126

Diskussion RIA-Kennzahlen

Es werden insgesamt vier verschiedene Kennzahlen (Unfallraten / Unfallziffern) gegenübergestellt. Diese ergeben sich aus den beiden Methoden der Kennzahlenermittlung (verallgemeinerte lineare Modelle vs. Mittelwert aus Unfallraten / Unfallziffern) und der Bewertung von Unfällen mit ausschliesslich Sachschaden (Methode „Stichprobe“ vs. Methode „Faktor“; siehe hierzu auch Kapitel 7.1). Dieser Vergleich dient der Einordnung der hier vorgestellten Kennzahlen in die bisher vorhandenen Kennzahlen, welche meist auf Mittelwertberechnungen basieren. Die Ergebnisse für Strecken finden sich in Tabelle 11 und für Knoten in Tabelle 12.

Tabelle 11: Ergebnisse Kennzahlen für RIA – Unfallraten für Strecken

Strecken	Anzahl Fahrstreifen	bauliche Mittel-trennung	hohe geschäftliche Nutzung	baul. Mass-nahmen Verkehrs-beruhigung	aus Modellen		Mittelwerte	
					UR		UR	
					U _(SS) Stichprobe	U _(SS) Faktor	U _(SS) Stichprobe	U _(SS) Faktor
Ausserorts Hochleistungs- strasse HLS	Autobahn	4	Ja		0,26	0,46	0,29	0,52
	>4	0,36			0,55	0,36	0,58	
	Autostrasse	2	Ja/Nein		0,24	0,48	0,51	1,02
	>2	0,42			0,57	0,25	0,58	
	Tunnel	2/3/4	Ja/Nein		0,29	0,53	0,35	0,61
Hauptverkehrs- / Verbindungsstrassen HVS /VS	2/3	Nein	0,78	1,32	0,80	1,47		
Innerorts Hauptverkehrs- / Verbindungs- / Sammelstrassen HVS / VS / SS	alle	Ja	Ja	2,69	3,52	2,76	3,54	
			Nein	1,85	2,07	1,86	2,15	
		Ja	5,10	6,94	8,68	11,50		
		Nein	3,49	4,08	3,65	4,27		
	Erschliessungsstrassen ES*	alle	Nein	Nein	Ja 3,00			
				Nein	1,50			

* Schätzung
gewählte Kennzahlen sind rot umgrenzt

Tabelle 12: Ergebnisse Kennzahlen für RIA – Unfallziffern für Knoten

Knoten	aus Modellen				aus Modellen			
	UZ (U(SS) Stichprobe)				UZ (U(SS) Faktor)			
	Kreuzung	Einmündung	Kreisel		Kreuzung	Einmündung	Kreisel	
3 Zufahrten			4-5 Zuf.	3 Zufahrten			4-5 Zuf.	
a0	mit Lichtsignalanlage	0,41	0,27		0,75	0,39		
	ohne Lichtsignalanlage	0,97	0,65	0,36	0,53	1,54	0,81	0,45
i0	mit Lichtsignalanlage	0,71	0,25		0,80	0,15		
	ohne Lichtsignalanlage	1,20* (0,46)	0,64	0,27	0,45	0,45	0,58	0,48

* Schätzung

Knoten	Mittelwerte				Mittelwerte			
	UZ (U(SS) Stichprobe)				UZ (U(SS) Faktor)			
	Kreuzung	Einmündung	Kreisel		Kreuzung	Einmündung	Kreisel	
3 Zufahrten			4-5 Zuf.	3 Zufahrten			4-5 Zuf.	
a0	mit Lichtsignalanlage	0,39	0,35		0,76	0,71		
	ohne Lichtsignalanlage	1,13	0,72	0,32	0,54	1,68	0,99	0,32
i0	mit Lichtsignalanlage	0,75	0,27		0,96	0,22		
	ohne Lichtsignalanlage	0,48	0,68	0,37	0,46	0,46	0,68	0,51

gewählte Kennzahlen sind rot umgrenzt

Aus dem Vergleich der Kennzahlenwerte lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Tendenziell führen die Modellwerte (verallgemeinerte lineare Modelle) zu geringeren Erwartungswerten als die Mittelwerte der Unfallraten und Unfallziffern. Dies lässt sich auf die Anpassung der Stichprobe an die tatsächliche Verteilung von Unfällen im Rahmen der komplexeren Modelle zurückführen (siehe auch Ausführungen im Kapitel „Methodik“ dazu).
- Die Hochrechnung der Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden führt bei der Methode „Faktor“ tendenziell zu höheren Unfallhäufigkeiten von Unfällen mit ausschliesslich Sachschaden.
- Die Unterschiede zwischen den Methoden der Hochrechnung der Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden sind wesentlich grösser als die zwischen den Methoden der Berechnung der Erwartungswerte.

Da die komplexeren statistischen Modelle („aus Modellwerten“) weniger anfällig für Extremwerte sind, wird – auch unter Berücksichtigung der geringen Stichprobe – diese Methode bevorzugt.

Die Methode „Stichprobe“ wird bei der Sachschadensbewertung bevorzugt. Gründe sind starke Ausreisser bei Kennzahlen einzelner Bewertungsfälle aufgrund der Hochrechnungen der Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden sowie die alleinige Berücksichtigung der Unfälle mit Personenschaden zur Ableitung der Kennzahlen bei Methode „Faktor“. Ausserdem werden bei der Methode „Stichprobe“ zumindest ansatzweise die Sachschadenszahlen der konkreten Infrastruktursituationen berücksichtigt. Ausnahme bilden die Autobahnen und Autostrassen. Hier standen keine Informationen zur Kantonszugehörigkeit zur Verfügung. Es musste also die Methode „Faktor“ angewendet werden. Da die daraus resultierenden Werte im Bereich der Kennzahlen aus [12] liegen, wird diese Modifikation als akzeptabel eingeschätzt.

Diskussion NSM-Kennzahlen

Die Ableitung der baUKR wird nachfolgend am Beispiel der Hochleistungsstrassen im Detail erläutert. Für die anderen Strassentypen sind die Stichproben wesentlich kleiner, so dass dort teilweise Vereinfachungen vorgenommen werden müssen bzw. von der eigentlichen Vorgehensweise abgewichen wird.

Es ergeben sich folgende Teilmodelle für Hochleistungsstrassen differenziert nach den Unfallschwerekategorien:

$$U_{(G+SV)} = e^{-10,51} \times L \times DTV^{0,85} \times e^{-0,73MT+0,62AREGZ+0,23AREMZ} \quad (7)$$

$$U_{(LV)} = e^{-12,32} \times L \times DTV^{1,17} \times e^{-0,33MT+0,48AREGZ+0,13AREMZ} \quad (8)$$

Unfallhäufigkeit pro Jahr U für die jeweilige Unfallschwerekategorien G/SV/LV

Länge Abschnitt L [km]

DTV [Fz/d]

bauliche Mitteltrennung vorhanden (MT : 0 – nein; 1 – ja)

Lage innerhalb Gebiet „Grosszentren“ oder „Nebenzentren der Grosszentren“ ($AREGZ$: 0 – nein; 1 – ja)

Lage innerhalb Gebiet „Mittelzentren“ oder „Gürtel der Grosszentren“ ($AREMZ$: 0 – nein; 1 – ja)

Die Ergebnisse wurden wie folgt interpretiert:

- Der Regressionskoeffizient für den DTV zeigt einen leicht nicht-linearen Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen. Dieses Ergebnis ist auch aus anderen Untersuchungen bekannt. Der degressive Anstieg (Koeffizient < 1) bei $U_{(G+SV)}$ wird auf den hohen Anteil von Schleuder- und Selbstunfällen in dieser Schwerekategorie zurückgeführt. Deren Anteil am Gesamtunfallgeschehen nimmt mit zunehmenden Verkehrsaufkommen ab. Der progressive Anstieg (Koeffizient > 1) bei $U_{(LV)}$ wird auf den hohen Anteil von Auffahrunfällen sowie Unfällen beim Überholen und Fahrstreifenwechsel zurückgeführt. Deren Anteil am Gesamtunfallgeschehen steigt mit zunehmenden Verkehrsaufkommen an.
- Eine bauliche Mitteltrennung steht im Zusammenhang mit einer niedrigen Unfallhäufigkeit (negativer Koeffizient für MT). Grund ist die Vermeidung von – meist sehr schweren – Unfällen mit Frontalkollision beim Überholen.
- Die Lage eines Netzabschnitts im Bereich von Gross- und Mittelzentren steht im Zusammenhang mit einer erhöhten Unfallhäufigkeit (positiver Koeffizient für $AREGZ$ und $AREMZ$). Dies ist nicht auf den DTV zurückzuführen, auch wenn auf diesen Netzabschnitten tendenziell ein höheres Verkehrsaufkommen vorliegt. Der Zusammenhang wird als stellvertretend für eine hohe Dichte an Anschlüssen und der daraus folgenden Vielzahl an Fahrstreifenwechsellvorgängen sowie zahlreiche Verkehrsstörungen durch Überlastung interpretiert.
- Alle restlichen untersuchten potenziellen Einflussfaktoren zeigen für die analysierte Stichprobe keinen Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen und werden deswegen nicht im Modell berücksichtigt. Tatsächlich werden auch andere Faktoren das Unfallgeschehen beeinflussen. Auf Basis der hier vorliegenden Stichprobe lassen sich mathematisch aber nur die stärksten Einflüsse modellhaft beschreiben.

Aus den beiden Modellen für Hochleistungsstrassen lässt sich ein Basisunfallmodell zur Beschreibung des Grundunfallniveaus ableiten (es werden vorerst noch keine Kosten berücksichtigt):

$$baUD_{(G+SV+LV)} = e^{-10,51} \times 1km \times DTV^{0,85} \times e^{-0,73 \cdot 1} + e^{-12,32} \times 1km \times DTV^{1,17} \times e^{-0,33 \cdot 1} \quad (9)$$

Dieses Modell ergibt sich durch Addition der beiden Modellformeln (7) und (8) für Unfälle mit schwerem und leichtem Personenschaden. Dabei wird die Länge auf 1 km, die Mitteltrennung auf den Wert 1 und die Attribute $AREGZ$ und $AREMZ$ jeweils auf den Wert 0 gesetzt.

Aus dem komplexen Unfallmodell wurde eine Basisunfallrate abgeleitet (siehe Kapitel 5.3.1 und Formel (6)). Der Unterschied zwischen dem komplexen Unfallmodell ($baUR$ (dynamisch)) sowie der daraus abgeleiteten Basisunfallrate ($baUR$ (statisch)) wird in Abbildung 3 verdeutlicht. Die Abweichung wird als eher geringfügig eingeschätzt. Je stärker der nicht-lineare Zusammenhang ausgeprägt ist, umso stärker kommt es – in diesem Fall – zu einer Unterschätzung des Sicherheitslevels bei hohem DTV und zu einer Überschätzung des Sicherheitslevels bei niedrigem DTV. Möglichkeiten, solche

Zusammenhänge vereinfacht darzustellen, finden sich in der Untersuchung von Maier et al. 2013 ([8]). Dies könnte mittelfristig auch für die Normen diskutiert werden.

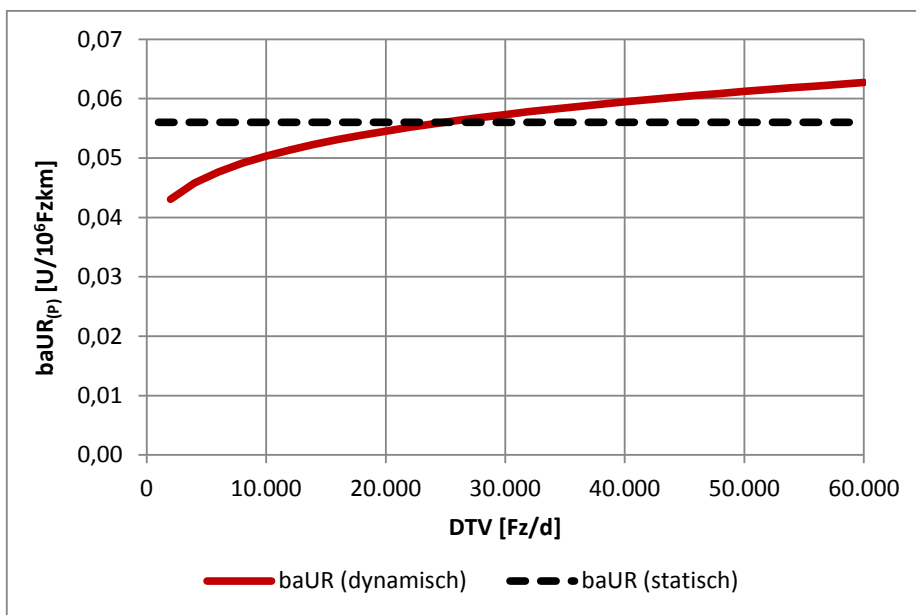


Abbildung 3: Gegenüberstellung Unfallmodelle für Hochleistungsstrassen

8. Literatur

- [1] SNR 641 721 (2013). *Strassenverkehrssicherheit; Folgeabschätzung*. Zürich: Schweizer Regel des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute)
- [2] SNR 641 725 (2013). *Strassenverkehrssicherheit; Netzeinstufung*. Zürich: Schweizer Regel des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute)
- [3] SORENSEN, M.; ELVIK, R. (2008). *Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks – Best Practice Guidelines and Implementations Steps* (Bericht zum EU-Forschungsprojekt RiPCORD iSEREST, TOI, Norwegen)
- [4] AASHTO AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (2010). *Highway Safety Manual (HSM) – 1st Edition*.
- [5] MONING, H. J. (2008). *Network Safety Management (NSM)*. Rijkswaterstaat: Centre for Transport and Navigation, Niederlande
- [6] LEMKE, K.; CHAMBON, P.; GANNEAU, F. (2006). *Network Safety Management – A French-German Co-operation*. Transport Research Arena
- [7] VIETEN, M.; DOHMEN, R.; DÜRHAGER, U.; LEGGE, K. (2010). *Quantifizierung der Sicherheitsauswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen*. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen BASt (Berichte der BASt, Verkehrstechnik Heft V201)
- [8] MAIER, R.; BERGER, R.; SCHÜLLER, H. (2013). *Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstrassen*. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Strassenwesen (Berichte der BASt, Verkehrstechnik, Heft V226)
- [9] EENINK, R.; REURINGS, M.; ELVIK, R.; CARDOSO, J.; WICHERT, S.; STEFAN, C. (2008). *Accident Prediction Models and Road safety Impact assessment: recommendations for using these tools*. Schlussbericht zum RiPCORD-ISEREST-Projekt
- [10] SCHÜLLER, H.; MAIER, R.; IMHOF, D. (2011). *Richtlinie zum Road Safety Impact Assessment (RIA)*. Bern: Bundesamt für Strassen ASTRA (unveröffentlichter Zwischenbericht zum Projekt „Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente“)
- [11] MATTHEWS, W. (2009). *Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr*. Bern: Bundesamt für Strassen ASTRA
- [12] SN 641 824 (2010). *Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Unfallraten und Unfallkostensätze*. Zürich: Schweizer Norm des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute)
- [13] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN – FSGV (2003). *Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen – Teil 1*. Köln: FGSV-Verlag
- [14] SOMMER, H.; LIEB, CHR.; VAN RIEWKOOP, R.; MAIBACH, M.; SCHREYER, CHR.; SUTTER, D. ET AL. (2008). *Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, Schlussbericht*. Bern: ARE, Bundesamt für Raumentwicklung; BAFU, Bundesamt für Umwelt
- [15] SCHÜLLER, H. (2010). *Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung*. Dresden: Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, (Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Strassenverkehr, Heft 12/2010)
- [16] ECKSTEIN, K.; MEEWES, V. (2002). *Sicherheit von Landstraßenknotenpunkten, Knotenpunktgrundformen, Verkehrsregelung, Zufahrten*. Köln: Mitteilungen des ISK Nr. 40
- [17] DOHMEN, R.; VIETEN, M.; KESTING, T.; DÜRHAGER, U.; FUNKE-AKBIIYIK, R. (2011). *Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit*. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Berichte der BASt, Verkehrstechnik, Heft V203)
- [18] ASTRA (2013). *ISSI – Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente, Vollzugshilfe*. Bern: Bundesamt für Strassen (ASTRA)