

# Analyse von Zusammenhängen zwischen Veränderungen an Anlage und Verkehrsablauf und dem Unfallgeschehen – Ableitung von Quantifizierungswerkzeugen zur Beurteilung der Verkehrssicherheit

## Technischer Bericht

Nicole Leemann

Leitung: Prof. H. P. Lindenmann, Betreuung: M. Doerfel

Diplomarbeit  
Studiengang Bauingenieurwissenschaften

Januar 2007



## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	2
1.1	Ausgangslage.....	2
1.2	Auftrag und Ziele.....	3
1.3	Vorgehen.....	3
2	Unfallgeschehen.....	5
2.1	Kenngrossen.....	5
2.2	Typische Unfallzahlen verschiedener Strassenarten.....	7
3	Einflussgrössen auf das Unfallgeschehen.....	8
3.1	Zusammenstellung der Einflussgrössen.....	8
3.2	Auswahl für die Untersuchung.....	10
4	Literaturlauswertung.....	12
4.1	Vorgehen bei der Auswertung.....	12
4.2	Linienführung.....	15
4.2.1	Kurven.....	15
4.2.2	Kurvigkeit.....	18
4.3	Querschnitt.....	20
4.3.1	Zusätzliche Streifen.....	20
4.3.2	Fahrbahnbreite.....	25
4.3.3	Querneigung.....	29
4.4	Fahrbahnoberfläche.....	30
4.4.1	Griffigkeit.....	30
4.4.2	Oberflächenzustand.....	31
4.5	Ausrüstung.....	32
4.5.1	Fussgängerstreifen.....	32
4.6	Knoten.....	35
4.6.1	Knotengrundformen.....	35
4.6.2	Betriebs- und Knotenelemente.....	38

4.7	Verkehrsablauf.....	42
4.7.1	Geschwindigkeitsverhalten.....	42
4.8	Verkehrsbeeinflussung.....	51
4.8.1	Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisation.....	51
4.8.2	Anschlussbewirtschaftung.....	53
4.9	Weitere Literatur.....	54
5	Verkehrssicherheitsbeurteilung an einem Beispiel.....	55
5.1	Einleitung.....	55
5.1.1	Projektunterlagen.....	55
5.1.2	IST-Zustand.....	56
5.1.3	Projekt.....	60
5.2	Voruntersuchung.....	61
5.2.1	Sicherheitsniveau.....	61
5.3	Hauptuntersuchung.....	64
5.3.1	Vergleich IST-Zustand – Projekt.....	64
5.3.2	Vergleich Projekt – Normen / Richtwerte / Empfehlungen.....	65
5.4	Beurteilung und Quantifizierung der Auswirkungen.....	67
5.4.1	Übersicht der Auswirkungen.....	67
5.4.2	Quantifizierung der Auswirkungen.....	67
5.5	Abschliessende Beurteilung.....	70
6	Schlussfolgerung.....	71
7	Dank.....	73
8	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	74
9	Anhangverzeichnis.....	80

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ablauf Verkehrssicherheitsbeurteilung nach Normentwurf SN 640 012 [2].....	2
Abbildung 2:	Arbeitsablauf.....	4
Abbildung 3:	Übersicht typischer Kenngrößen verschiedener Strassentypen.....	7
Abbildung 4:	Einflussgrößen der Anlage.....	8
Abbildung 5:	Einflussgrößen der Knotengestaltung.....	9
Abbildung 6:	Einflussgrößen des Verkehrsablaufes.....	9
Abbildung 7:	Einflussgrößen der Verkehrsbeeinflussung.....	10
Abbildung 8:	Zusammenhang zwischen Kurvenradius und Unfallraten (UPS) nach Elvik [9].....	15
Abbildung 9:	Zusammenhang zwischen Kurvenradius und Unfallraten aus vier Untersuchungen.....	16
Abbildung 10:	Quantifizierungsmöglichkeit zwischen Kurvenradius und Unfallraten.....	17
Abbildung 11:	Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und Geschwindigkeit nach Lamm [10].....	18
Abbildung 12:	Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und Unfallraten nach Taubmann.....	19
Abbildung 13:	Quantifizierungsmöglichkeit zwischen Kurvigkeit und Unfallraten.....	20
Abbildung 14:	Übersicht Unfälle pro 10 <sup>6</sup> Überholungen von Fahrradfahrern auf verschiedenen Strassentypen ausserorts nach Koehler [13].....	22
Abbildung 15:	Einfluss Fahrbahnbreite auf die Geschwindigkeit auf Strassen innerorts nach Wolf [18], Topp [19] und Lindenmann [20].....	25
Abbildung 16:	Quantifizierungsmöglichkeit zwischen Fahrbahnbreite und Geschwindigkeit auf Strassen innerorts.....	26
Abbildung 17:	Einfluss Fahrbahnbreite auf Geschwindigkeit auf Ausserortsstrassen nach Maier [17].....	26

Abbildung 18:	Quantifizierungsmöglichkeit zwischen optischer Breite und Geschwindigkeit auf Strassen innerorts.....	27
Abbildung 19:	Unfallrate parallel (links) bzw. senkrecht (rechts) zur Fahrbahnachse in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite nach Taubmann [8].....	28
Abbildung 20:	Zusammenhang zwischen Kurvenradius, Querneigung und Geschwindigkeit nach dem dänischen Road Safety Manual [22].....	29
Abbildung 21:	Zusammenhang zwischen Griffigkeit und Anteil Nassunfälle nach Schulze [23].....	30
Abbildung 22:	Zusammenhang zwischen Griffigkeit und Unfallrate auf Strassen ausserorts nach Lindenmann [25].....	31
Abbildung 23:	Tendenz der Unfallrisiken der Fussgänger abhängig vom Überquerungstyp.....	33
Abbildung 24:	Überquerungsrisiken in Funktion der Fussgängerstreifendichte beim Überqueren auf, im Bereich und ausserhalb eines Fussgängerstreifens.....	34
Abbildung 25:	Unfallziffer (oben) und Unfallkostenziffer (unten) verschiedener Knotenformen.....	36
Abbildung 26:	Erklärung Geometriegrössen eines Kreisels: Ablenkungswinkel $\beta$ und Sichtweite nach links $K_{sa}$ .....	40
Abbildung 27:	Zusammenhang zwischen Ablenkungswinkel $\beta$ und der Unfallziffer nach Bühlmann und Spacek [37].....	41
Abbildung 28:	Quantifizierungsmöglichkeit für Unfälle in Tempo 30-Zonen und auf untergeordneten Strassen innerorts.....	43
Abbildung 29:	Übersicht der geeigneten Massnahmen für Tempo 30-Zonen nach Lindenmann und Thoma [39].....	44
Abbildung 30:	Quantifizierungsmöglichkeit für Veränderung der Geschwindigkeit bei Anordnung Tempo 30 in Abhängigkeit des vorhandenen Geschwindigkeitsniveaus und den geplanten Massnahmen.....	45
Abbildung 31:	Quantifizierungsmöglichkeit für Unfälle und Verunfallte auf Strassen innerorts abhängig von der Geschwindigkeit.....	46
Abbildung 32:	Zusammenhang der Geschwindigkeit und dem Unfallgeschehen auf Strassen ausserorts nach einer Untersuchung des Technical Research Centre of Finland [50].....	47

Abbildung 33:	Veränderung des Unfallgeschehens abhängig von der Geschwindigkeit auf Strassen ausserorts.....	48
Abbildung 34:	Quantifizierungsmöglichkeit für Unfälle mit Personenschaden auf Strassen ausserorts abhängig von der Geschwindigkeit.....	49
Abbildung 35:	Zusammenhang zwischen Veränderung der Geschwindigkeit und dem Unfallgeschehen auf Autobahnen.....	50
Abbildung 36:	Veränderung Fahrleistung und Unfallrate (UPS) durch Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisation in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung nach Siegener [53].	52
Abbildung 37:	Karte der Umgebung des bearbeiteten Knoten.....	56
Abbildung 38:	Schematische Darstellung der Verkehrsströme (Dicke der Pfeile proportional zur Verkehrsmenge).....	58
Abbildung 39:	IST-Zustand (links) und Projekt Knotensanierung (rechts) schematisch.....	61
Abbildung 40:	Massgebende Unfalltypen.....	62

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Einteilung der Unfälle in Unfalltypengruppen in der Schweiz.....	6
Tabelle 2:	Durchschnittliche Unfall- bzw. Verunfalltenrate verschiedener Strassentypen;.....	7
Tabelle 3:	Anzahl Untersuchungen über Einflussgrössen, welche zur Herleitung der Quantifizierungswerkzeuge eingesetzt werden.....	11
Tabelle 4:	Übersicht der Einflussgrössen.....	14
Tabelle 5:	Fahrradverkehr: Schwerverletzte und Getötet nach Unfalltyp nach Beratungsstelle für Unfallverhütung [12].....	21
Tabelle 6:	Quantifizierungsmöglichkeit des Unterschiedes der Unfallzahlen im Vergleich zu Strassen ohne Fahrradverkehrsführung (Strassen ausserorts).....	23
Tabelle 7:	Quantifizierungsmöglichkeit des Unterschiedes der Unfallzahlen im Vergleich zu Strassen ohne Fahrradverkehrsführung (Strassen innerorts).....	23
Tabelle 8:	Übersicht Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit von Fahrradfahrern in Knotenpunkten nach dem Bericht Fahrradverkehr der Beratungsstelle für Unfallverhütung [12] und der Norm SN 640 252 [16].....	24
Tabelle 9:	Quantifizierungsmöglichkeit der Sicherheit von Fussgängern bei Querung der Strasse.....	33
Tabelle 10:	Übersicht Knotenformen.....	35
Tabelle 11:	Veränderung UPS und Verletzte nach Pfleger [32] durch Anordnung LSA .....	37
Tabelle 12:	Veränderungen UPS und U (Sachschaden) durch Anordnung LSA nach Elvik [9].....	37
Tabelle 13:	Veränderung UPS und Verletzte nach Pfleger [32] bei Veränderung Knoten.....	38
Tabelle 14:	Veränderung der Unfall- bzw. Verunfalltenzahlen bei Anordnung Tempo 30 nach Lindenmann und Koy [38].....	43
Tabelle 15:	Zusammenstellung der Veränderung des Unfallgeschehens abhängig von der Geschwindigkeit sveränderung auf Strassen ausserorts nach Elvik [9].....	48



Tabelle 16:	Zusammenstellung der Veränderung des Unfallgeschehens abhängig von der Geschwindigkeitsveränderung auf Autobahnen nach Elvik [9].....	50
Tabelle 17:	Veränderung der Unfallraten durch Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisation (Auswertung der Untersuchungen von Siegener [53], Mangold [54] und Balz [55]).....	51
Tabelle 18:	Veränderung der Unfallzahlen durch VBS in der Schweiz (Tiefbauamtes des Kantons Bern [56], Jenni und Gottardi [57]).....	53
Tabelle 19:	Verkehrsmengen Abendspitze nach Zählung 21.03.2006.....	58
Tabelle 20:	Geschwindigkeitsmessung in beide Richtungen.....	59
Tabelle 21:	Geschwindigkeitsmessung Knotenzufahrt.....	59
Tabelle 22:	Übersicht der massgebenden Unfalltypen und die dazugehörigen Unfälle (siehe Kollisionsdiagramm in Anhang 18).....	62
Tabelle 23:	Vergleich IST-Zustand – Projekt.....	64
Tabelle 24:	Vergleich Projekt – Normen.....	66



Diplomarbeit Studiengang Bauingenieurwissenschaften

# Analyse von Zusammenhängen zwischen Veränderungen an Anlage und Verkehrsablauf und dem Unfallgeschehen

Leemann Nicole  
Badenerstrasse 20  
8953 Dietikon  
Telefon: 044 740 04 77  
leemannn@student.ethz.ch

## Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit werden erste Quantifizierungshilfsmittel zur Beurteilung der Auswirkungen von Veränderungen der Verkehrsanlage oder des Verkehrsablaufes auf die Verkehrssicherheit im Rahmen einer Verkehrssicherheitsbeurteilung (Normentwurf SN 640 012) erarbeitet.

Für die Einflussgrössen Kurvenradius, Knotengrundform und Geschwindigkeitsverhalten können gesicherte Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Grössen und dem Unfallgeschehen abgeleitet werden, da sie auf mehreren Untersuchungen basieren. Die Abhängigkeiten zwischen der Kurvigkeit, der Führung des Zweiradverkehrs, der Anordnung von Fussgängerstreifen sowie Verkehrsbeeinflussungsmassnahmen und der Verkehrssicherheit werden hergeleitet, müssen aber als unsicher angesehen werden, da die Datengrundlage zu gering ist. Für eine grosse Anzahl weiterer Einflussgrössen können nur qualitative Aussagen gemacht werden, welche aber als Tendenz für die Verkehrssicherheitsbeurteilung dienen können.

Abschliessend wird eine solche Beurteilung inklusive Quantifizierung der Auswirkungen an einem Projekt einer Knotensanierung vorgenommen.

## Schlagworte

Verkehrssicherheitsbeurteilung, Verkehrssicherheit, Quantifizierungswerkzeug, Unfallgeschehen, Unfälle, Verunfallte, Unfallrate, Einflussgrösse, Anlage, Verkehrsablauf

## Zitierungsvorschlag

LEEMANN N.: "Analyse von Zusammenhängen zwischen Veränderungen an Anlage und Verkehrsablauf und dem Unfallgeschehen – Ableitung von Quantifizierungswerkzeugen zur Beurteilung der Verkehrssicherheit"; Diplomarbeit am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich; Januar 2007

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Veränderungen an einer Verkehrsanlage oder im Verkehrsablauf haben einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit und dadurch auch auf das Unfallgeschehen. Um diese Auswirkungen bei Projekten überprüfen und somit präventiv Eliminierungen von Gefahren vornehmen zu können, wurde in der Schweiz in einem Forschungsauftrag eine Verkehrssicherheitsbeurteilung (Safety Audit) [1] erarbeitet. Mit dieser Grundlage wurde schliesslich der Normentwurf SN 640 012, Verkehrssicherheitsbeurteilung (VSB) (Road Safety Audit) [2] entwickelt. In Abbildung 1 wird der Ablauf der Verkehrssicherheitsbeurteilung aufgezeigt.

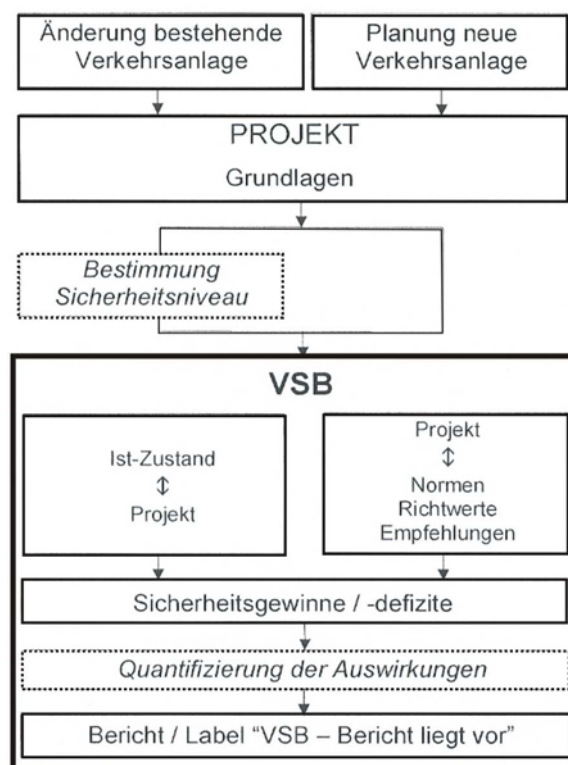


Abbildung 1: Ablauf Verkehrssicherheitsbeurteilung nach Normentwurf SN 640 012 [2]

Zum einen wird der Ist-Zustand mit dem Projekt, zum anderen das Projekt mit den Normen und Empfehlungen verglichen. Aus diesen Gegenüberstellungen resultieren Sicherheitsgewinne und -defizite. Diese müssen in einem weiteren Schritt quantifiziert werden, damit Prognosen über veränderte Unfallhäufigkeiten und Unfallschwere vorgenommen werden können.

nen, welche als Grundlage für monetäre Bewertungen dienen. Für diese Quantifizierung sind entsprechende Werkzeuge erforderlich. Erkenntnisse in diesem Bereich sind zwar in zahlreichen Untersuchungen und Berichten enthalten, sie sind bis heute aber nicht in der Art und Weise zusammengetragen und aufgearbeitet worden, dass eine direkte Anwendung in der Sicherheitsbeurteilung möglich wäre.

## 1.2 Auftrag und Ziele

Im Rahmen dieser Diplomarbeit sind mit gezielter Literatursuche und -auswertung Grundlagen für die Quantifizierungswerkzeuge zu erarbeiten. Dabei werden Zusammenhänge zwischen den Veränderungen ausgewählter Anlage- und Betriebsgrößen und den Veränderungen im Verkehrsablauf und dem Unfallgeschehen ausgewertet. Mit Hilfe der erarbeiteten Werkzeuge soll eine Quantifizierung der Veränderungen im Unfallgeschehen im Rahmen der Verkehrssicherheitsbeurteilung ermöglicht werden.

## 1.3 Vorgehen

In einem ersten Schritt werden mögliche Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit in den Bereichen Anlage (Linienführung, Querschnitt, Fahrbahnoberfläche, Ausrüstung), Knoten, Verkehrsablauf und Verkehrsbeeinflussung gesammelt.

Der zweite Schritt besteht in der Suche von ausgeführten Forschungsarbeiten und Untersuchungen, welche Zusammenhängen zwischen Veränderungen von Anlage und Verkehrsablauf und dem Unfallgeschehen aufzeigen. Nach dieser Suche werden die Einflussgrößen ausgewählt, über welche genügend und aussagekräftige Zusammenhänge vorhanden sind.

Im dritten Schritt werden diese Grundlagen zusammengetragen und für die Untersuchungen aufbereitet.

Die statistische Auswertung der zusammengetragenen Daten stellt den vierten Schritt dar. Zuerst werden aufgrund des bereits erarbeiteten Wissens aus den Berichten und den Erfahrungen aus den Verkehrsvorlesungen für jede Einflussgrösse Hypothesen über den Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen aufgestellt. Danach folgt für jede Einflussgrösse die eigentliche Auswertung. Wenn möglich sind die Ergebnisse aus mehreren Untersuchungen zusammengetragen und eine statistische Auswertung des Zusammenhanges wird vorgenommen. Falls es nicht möglich ist, eine solche Auswertung vorzunehmen und somit keine quantitativen Zusammenhänge erarbeiten werden können, werden zumindest qualitative Auswirkungen aufgezeigt.

Als fünfter und letzter Schritt werden die erarbeiteten Quantifizierungsmöglichkeiten im Rahmen einer Verkehrssicherheitsbeurteilung an einem Projekt eines Knotens ausserorts angewendet.

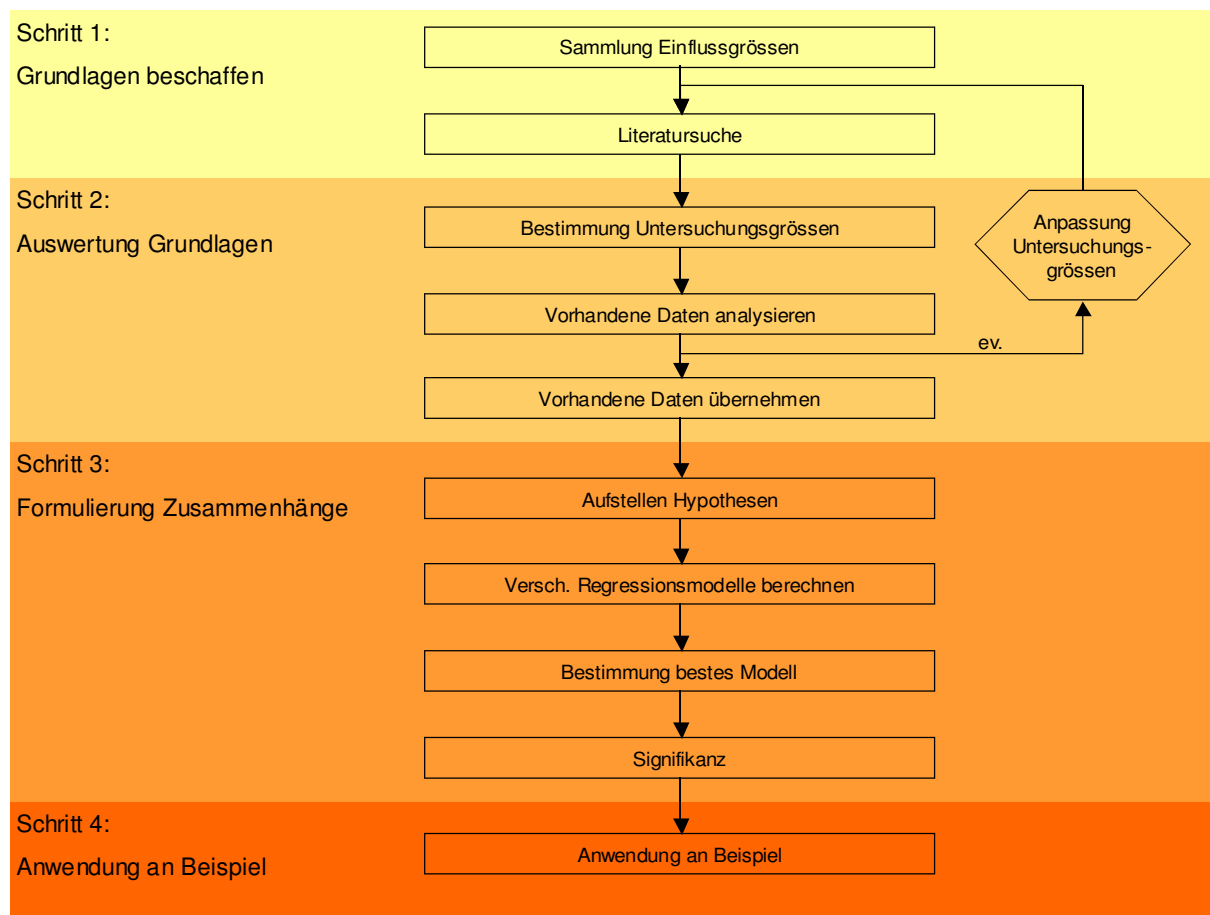


Abbildung 2: Arbeitsablauf

## 2 Unfallgeschehen

### 2.1 Kenngrössen

Das Unfallgeschehen wird mit Hilfe von verschiedenen Kenngrössen beschrieben. In der Schweiz sind die folgenden absoluten Kennzahlen gebräuchlich.

Anzahl Unfälle	U
Anzahl Verletzte	V
Anzahl Getötete	G
Anzahl Verunfallte	VU = V + G

Für die Auswertungen der Untersuchungen werden zusätzliche Kennzahlen benötigt, da viele dieser Untersuchungen aus dem Ausland, speziell aus Deutschland stammen.

Unfälle mit Personenschaden	UPS
Unfälle mit schwerem Sachschaden	USS

Im Weiteren werden Unfallhäufigkeiten mit relativen Kenngrössen ausgedrückt. Für Strecken werden die Unfall- und Verunfalltenrate berechnet und so die Unfälle auf die Fahrleistung bezogen. Für Knoten werden mit Hilfe der Unfall- und Verunfalltenziffer die Unfälle bzw. die Verunfallten auf das geometrische Mittel des durchschnittlichen täglichen Verkehrs der Haupt- und Nebenstrasse bezogen.

Unfallrate	$U_R = \frac{U \cdot 10^6}{l \cdot t \cdot DTV}$	[U pro 10 <sup>6</sup> Fz*km]
Verunfalltenrate	$VU_R = \frac{VU \cdot 10^8}{l \cdot t \cdot DTV}$	[VU pro 10 <sup>8</sup> Fz*km]
Unfallziffer	$U_Z = \frac{U \cdot 10^6}{\sqrt{DTV_{H_i} \cdot DTV_{N_i}} \cdot t}$	[U pro 10 <sup>6</sup> Fz]
Verunfalltenziffer	$VU_Z = \frac{VU \cdot 10^8}{\sqrt{DTV_{H_i} \cdot DTV_{N_i}} \cdot t}$	[VU pro 10 <sup>8</sup> Fz]

l:	Streckenlänge [km]
t:	Beobachtungszeit [Tage]
DTV:	durchschnittlicher täglicher Verkehr [Fz pro Tag]
DTV <sub>H<sub>i</sub></sub> :	durchschnittlicher täglicher Verkehr auf der Hauptstrasse [Fz pro Tag]
DTV <sub>N<sub>i</sub></sub> :	durchschnittlicher täglicher Verkehr auf der Nebenstrasse [Fz pro Tag]

Die Unfallrate wird in vielen Untersuchungen nur mit den Unfällen mit Personenschaden, zum Teil zuzüglich der Unfälle mit schwerem Sachschaden gebildet. So entsteht eine grosse Anzahl verschiedener Kennzahlen, die sich nicht direkt miteinander vergleichen lassen. Dies führt bei den folgenden Auswertungen zu einigen Schwierigkeiten und bei einzelnen Einflussgrössen lassen sich aus den Ergebnissen der Untersuchungen keine quantitativen Aussagen formulieren, sondern nur Tendenzen ablesen.

Die Unfallschwere (auch als Unfallschweregrad bezeichnet) wird aus dem Verhältnis der Verunfallten und der Anzahl Unfälle gebildet.

$$\text{Unfallschwere} \quad U_s = \frac{V+G}{U} \quad [\text{VU pro U}]$$

Eine weitere Kenngrösse stellt die Unfallkostenrate dar. Für diese werden die Anzahl der verschieden schweren Unfälle (Getötete, Schwerverletzte, Leichtverletzte, Sachschaden) mit einem Kostenansatz multipliziert und monetarisiert. Dadurch werden die Folgen der verschieden schweren Unfälle miteinbezogen.

Um eine Aussage über das Unfallgeschehen machen zu können, sind zum Teil genauere Analysen der Unfälle nötig. Für solche Auswertungen werden die Unfälle nach Unfalltypen gegliedert (Anhang 1). In Tabelle 1 sind die Unfalltypengruppen dargestellt, die in der Schweiz üblicherweise verwendet werden.

---

0	Fussgänger-Unfall
1	Schleuder-Unfall/Selbst-Unfall
2	Begegnungs-Unfall (Kreuzen in Längsrichtung)
3	Überhol-Unfall
4	Auffahr-Unfall
5	Unfall beim Vorbeifahren oder Fahrstreifenwechsel
6	Unfall beim Richtungswechsel (mit Abbiegen)
7	Unfall beim Queren (ohne Abbiegen)
8	Tier-Unfall
9	Andere Unfälle

---

Tabelle 1: Einteilung der Unfälle in Unfalltypengruppen in der Schweiz



## 2.2 Typische Unfallzahlen verschiedener Strassenarten

Das Unfallgeschehen ist auf verschiedenen Strassentypen zum Beispiel aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten, des Ausbaustandards und der Verkehrszusammensetzung sehr verschiedenartig. Um einen Überblick über diese Unterschiede zu erhalten werden in Tabelle 2 typische Unfall- und Verunfalltenraten verschiedener Strassenarten dargestellt. Diese Kennzahlen wurden aus mehreren Untersuchungen ([3], [4], [5], [6] [7], [8]) zusammengetragen und der zu erwartende Bereich für eine Strasse abgeschätzt (Anhang 2).

Strassentyp	Unfallrate [U*10 <sup>6</sup> /Fz*km]	Verunfalltenrate [VU*10 <sup>8</sup> /Fz*km]
Autobahnen	0.25 - 0.65	10 - 20
Autostrassen	0.4 - 0.6	15 - 40
Hauptstrasse a.o.	0.7 - 1.5	40 - 80
Hauptstrasse i.o.	1.4 - 3.0	80 - 120
Nebenstrasse i.o.	<i>2.5</i>	<i>100</i>

Tabelle 2: Durchschnittliche Unfall- bzw. Verunfalltenrate verschiedener Strassentypen;  
*kursiv*: nur eine Untersuchung als Grundlage

In Abbildung 3 sind die zu erwartenden Bereiche für die verschiedenen Strassentypen grafisch dargestellt.

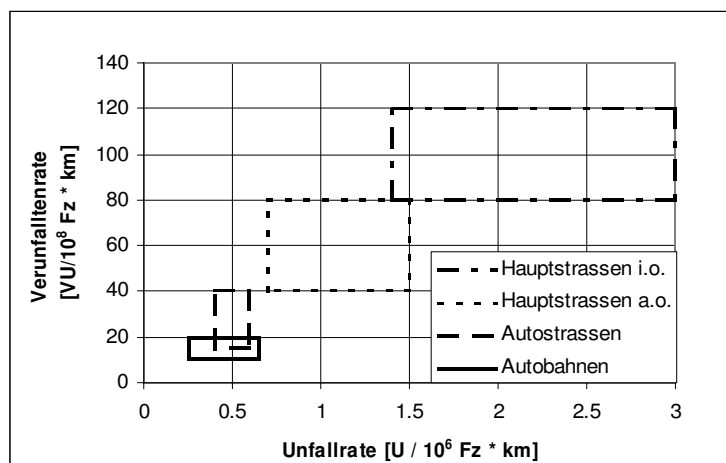


Abbildung 3: Übersicht typischer Kenngrößen verschiedener Strassentypen

Diese Kennzahlen sollen eine Abschätzung ermöglichen, wie das Unfallgeschehen einer Strasse einzustufen ist. Weiter sollen sie auch zur Kontrolle der mit Hilfe der Quantifizierungshilfsmittel bestimmten Unfallraten dienen.

### 3 Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen

#### 3.1 Zusammenstellung der Einflussgrößen

Das Unfallgeschehen wird durch eine enorme Anzahl Größen direkt oder indirekt beeinflusst. Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die Zusammenhänge zwischen der Anlage, der Knotengestaltung, dem Verkehrsablauf und den Verkehrsbeeinflussungsmassnahmen mit dem Unfallgeschehen untersucht. Die nachfolgenden Abbildungen 4 bis 7 enthalten eine Sammlung möglicher Einflussgrößen. Es handelt sich dabei nicht um eine abschliessende Aufzählung, sondern um eine Auswahl, in welcher zumindest die wichtigsten Größen vorhanden sind.

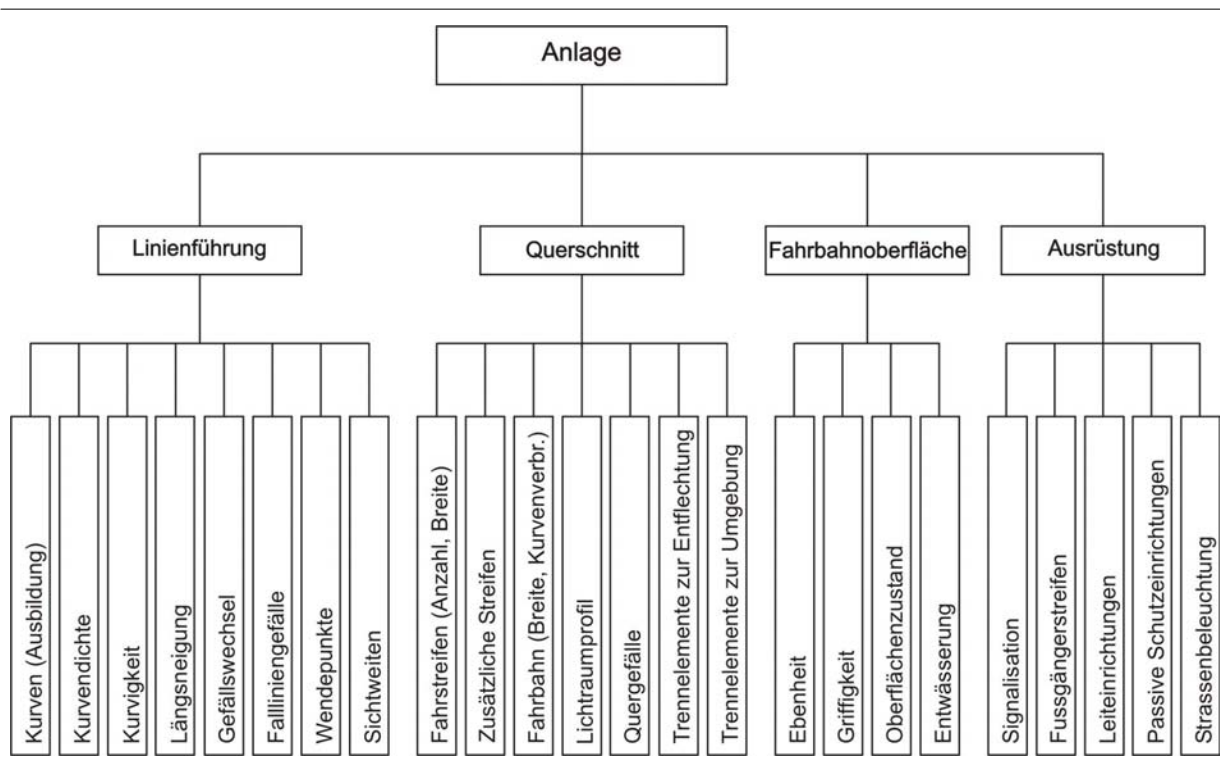


Abbildung 4: Einflussgrößen der Anlage

Die Linienführung beeinflusst das Unfallgeschehen durch die Kurvenausbildung und deren Anordnung, die Längsneigung und die Gefällswechsel. Aus dem Zusammenspiel dieser Elemente ergeben sich wiederum die Sichtweiten.

Einen grossen Einfluss hat der gesamte Aufbau des Querschnitts mit der Anordnung der Fahr- und allfälligen Zusatzstreifen, deren Breiten und Quergefällen sowie den Trennelementen.

Die Strassenoberfläche hat über die Ebenheit, die Griffigkeit, den allgemeinen Zustand und die Entwässerung, welche zu einem Teil vom Fallliniengefälle abhängig ist, eine Auswirkung auf die Verkehrssicherheit.

Die Ausrüstung beeinflusst das Auftreten der Unfallereignisse zum Beispiel durch die Beleuchtung und die Anordnung von Fussgängerstreifen sowie von passiven Schutzeinrichtungen.



Abbildung 5: Einflussgrössen der Knotengestaltung

Die Knoten, an welchen sich ein grosser Anteil des gesamten Unfallgeschehens ereignet, haben zum einen durch die Betriebsform, zum anderen durch ihre Gestaltung einen grossen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit und -schwere.

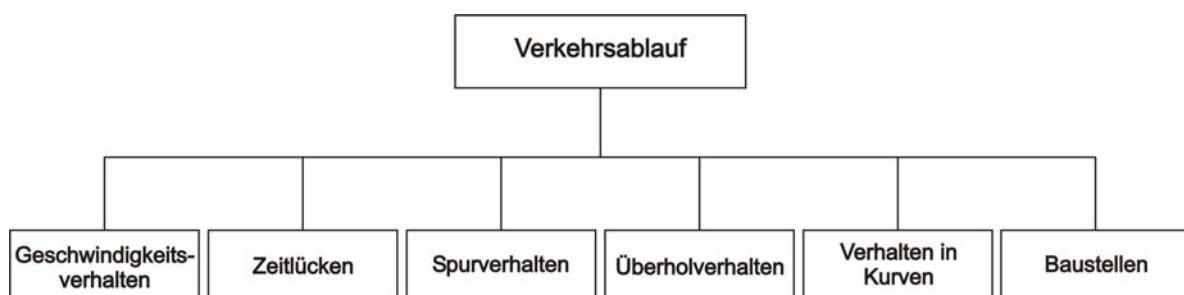


Abbildung 6: Einflussgrössen des Verkehrsablaufes

Der Verkehrsablauf hat mit dem Geschwindigkeitsverhalten, zum Beispiel mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit, aber auch mit deren Streuung, eine erhebliche Auswirkung auf die Verkehrssicherheit. Im Weiteren kann zum Beispiel auch ein Einfluss durch das Spur-

verhalten, d.h. die Aufteilung auf die rechte und linke Fahrspur auf Autobahnen, erwartet werden.



Abbildung 7: Einflussgrößen der Verkehrsbeeinflussung

Mögliche Verkehrsbeeinflussungsmassnahmen sind Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisationen, Anschlussbewirtschaftungen und Beeinflussungen bei Baustellen. Durch solche Massnahmen kann unter anderem das Geschwindigkeitsverhalten verändert, aber auch die Anzahl Störungen reduziert werden. Beides wirkt sich positiv auf die Sicherheit aus.

Die oben gesammelten Größen haben zum Teil einen direkten Einfluss auf das Unfallgeschehen, in anderen Fällen bewirken sie eine Veränderung im Verkehrsverhalten und haben so wiederum einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit. Aus den folgenden Literaturlauswertungen wird versucht, diese direkten und indirekten Abhängigkeiten abzuleiten und die Zusammenhänge zu formulieren.

### 3.2 Auswahl für die Untersuchung

Das Ziel der Arbeit ist es für jede Einflussgröße Resultate aus verschiedenen Berichten zusammenzutragen und so Zusammenhänge abzuleiten. Für die weiteren Untersuchungen kommen daher nur Einflussgrößen in Frage, von welchen genügend Literatur vorhanden ist. In der Tabelle 3 ist zu sehen, von welchen Größen wie viele Berichte aus der Literaturrecherche vorliegen. Aufgrund der beschränkten Bearbeitungszeit im Rahmen dieser Diplomarbeit muss eine weitere Auswahl getroffen werden. Diese wird aufgrund der Qualität der verschiedenen Unterlagen und dem Interesse der Bearbeiterin getroffen.

		Unfallgeschehen	Geschwindigkeit
Linienführung	Kurven (Ausbildung)	4	
	Kurvendichte		
	Kurvigkeit	1	1
	Längsneigung		
	Gefällswechsel		
	Fallliniengefälle		
	Wendepunkte		
	Sichtweiten		
Querschnitt	Fahrstreifen (Anzahl, Breite)		
	Zusätzliche Streifen	5	
	Fahrbahn (Breite, Kurvenverbreiterung)	2	5
	Lichtraumprofil		
	Quergefälle		1
	Trennelemente zur Entflechtung		
	Trennelemente zur Umgebung		
Fahrbahn- oberfläche	Ebenheit		
	Griffigkeit	4	
	Oberflächenzustand	2	
	Entwässerung		
Ausrüstung	Signalisation		
	Fussgängerstreifen	5	
	Leiteinrichtungen		
	Passive Schutzeinrichtungen		
	Strassenbeleuchtung		
Knoten	Kreuzung	4	
	Einmündung	2	
	Kreisel	5	
	Niveaufreier Knoten	2	
Verkehrsablauf	Geschwindigkeitsverhalten	17	
	Zeitlücken		
	Spurverhalten		
	Überholverhalten		
	Verhalten in Kurven		
	Verhalten bei Baustellen		
VBS	Signalisation v und Gefahren	5	
	Anschlussbewirtschaftung	4	2
	Baustellen		

Tabelle 3: Anzahl Untersuchungen über Einflussgrößen, welche zur Herleitung der Quantifizierungswerkzeuge eingesetzt werden

## 4 Literaturlauswertung

### 4.1 Vorgehen bei der Auswertung

Für die ausgewählten Einflussgrössen werden die Daten aus den verschiedenen Forschungsberichten und Untersuchungen zusammengetragen und übernommen. Für einige Einflussgrössen sind zwar mehrere Untersuchungen vorhanden, es sind aber andere Kennzahlen des Unfallgeschehens oder der Einflussgrösse selbst (z.B. durchschnittliche und 50%-Wert der Geschwindigkeit) verwendet worden. Zum Teil können hier Umrechnungen vorgenommen werden, so dass ein direkter Vergleich ermöglicht wird.

Für die Auswertungen der Einflussgrössen werden drei Fälle unterschieden:

- mehrere Untersuchungen mit gleichen Kennzahlen vorhanden, quantitative Aussagen
- ein bis zwei Untersuchungen mit gleichen Kennzahlen vorhanden, quantitative Aussagen
- nur Untersuchungen mit qualitativen Aussagen vorhanden

Falls mehrere Untersuchungen mit gleichen Kennzahlen vorliegen, welche direkt verglichen werden können, werden aus jedem Bericht möglichst die gleiche Anzahl Datenpunkte übernommen. Diese werden zu einer Datenreihe zusammengefügt und mit Hilfe von Excel und SPSS wird eine Regressionsanalyse durchgeführt. Neben der linearen Regression werden verschiedene nicht lineare Funktionen getestet. Mit Hilfe des Bestimmtheitsmasses  $B = R^2$  wird das beste Modell ermittelt. Für  $B$  gilt  $0 \leq B \leq 1$  und je grösser  $B$  ist, desto besser ist die Datenreihe durch die Regressionskurve abgebildet.

Bei einigen Einflussgrössen ist entscheidend, ob sie vorhanden sind oder fehlen. Beispielsweise kann eine Strasse mit oder ohne Radweg ausgestattet sein. Hier wird anhand der vorhandenen Untersuchungen der Mittelwert des Einflusses der Grösse berechnet. Zusätzlich dient die Standardabweichung als Wert der Streuung der einzelnen Resultate um den Mittelwert.

Wenn nur wenige Untersuchungen vorhanden sind, können zum Teil trotzdem die oben erwähnten Untersuchungen vorgenommen werden. Die Resultate müssen aber mit grosser Vorsicht betrachtet werden, da sie sehr unsicher sind. Falls quantitative Zusammenhänge nur in einem Bericht vorhanden sind, werden diese zwar aufgezeigt, können aber nicht ohne weitere Untersuchungen für die Beurteilung der Verkehrssicherheit angewendet werden.

Für einen Teil der Einflussgrössen liegen keine quantitativen Aussagen vor. Entweder existieren für diese Grössen keine umfangreichen Untersuchungen, welche diese Zusammen-

hänge aufzeigen könnten oder aber solche Abhängigkeiten sind nicht vorhanden. Für diese Einflussgrößen wird versucht, möglichst gute qualitative Zusammenhänge aufzuzeigen, so dass das Unfallgeschehen trotzdem abgeschätzt werden kann.

Die Datengrundlagen, welche aus den Untersuchungen übernommen werden und deren Auswertungen, sind in den Anhängen 3 bis 16 zu sehen. In den folgenden Kapitel 4.2 bis 4.8 werden die Auswertungen und die damit hergeleiteten Zusammenhänge aufgezeigt.

Die Tabelle 4 enthält einen Überblick über die Einflussgrößen und die Abhängigkeiten, welche aus der Literaturlauswertung hergestellt werden können.

		U	V	U <sub>R</sub>	v
Linienführung	Kurven (Ausbildung)			■	*
	Kurvendichte				
	Kurvigkeit			□	□
	Längsneigung			*	
	Gefällswechsel				
	Fallliniengefälle				
	Wendepunkte				
	Sichtweiten				
Querschnitt	Fahrstreifen (Anzahl, Breite)			*	
	Zusätzliche Streifen	□	☆	□ / *	
	Fahrbahn (Breite, Kurvenverbreiterung)	☆		☆	□
	Lichttraumprofil				
	Quergefälle				☆
	Trennelemente zur Entflechtung				
	Trennelemente zur Umgebung				
Fahrbahn- oberfläche	Ebenheit				
	Griffigkeit			☆	
	Oberflächenzustand	☆	☆		
	Entwässerung				
Ausrüstung	Signalisation				
	Fussgängerstreifen			□	
	Leiteinrichtungen	*			
	Passive Schutzeinrichtungen				
	Strassenbeleuchtung	*			
Knoten	Kreuzung	☆	☆	■	
	Einmündung	☆		■	
	Kreisel	☆	☆	■	☆
	Niveaufreier Knoten			■	
Verkehrsablauf	Geschwindigkeitsverhalten	■	□ / ☆		
	Zeitlücken				
	Spurverhalten	*			
	Überholverhalten				
	Verhalten in Kurven				
	Verhalten bei Baustellen	*			*
VBS	Signalisation v und Gefahren	☆	☆	□	*
	Anschlussbewirtschaftung	☆	☆	□	*
	Baustellen				

Tabelle 4: Übersicht der Einflussgrößen

- : Zusammenhänge quantitativ
- : Zusammenhänge quantitativ, aber unsicher
- ☆: Zusammenhänge qualitativ
- \*: Literatur vorhanden (z.T. nur gering), in der Diplomarbeit nicht behandelt



## 4.2 Linienführung

### 4.2.1 Kurven

Die Ausbildung der Kurven, das heisst die Reihenfolge von verschiedenen Kurvenelementen und deren Gestaltung, hat einen grossen Einfluss auf das Unfallgeschehen. Die Abhängigkeit zwischen Kurvenradius, der wichtigsten Kenngrösse der Kurven, und Unfallzahlen wurde in zahlreichen Untersuchungen analysiert.

Elvik [9] hat diese Abhängigkeit mit Hilfe von zahlreichen Untersuchungsergebnissen bis zu einem Radius von tausend Metern bestimmt (Abbildung 8). Dabei ergibt sich bei Radien unter zweihundert Metern ein deutlicher Anstieg der Rate der Unfälle mit Personenschaden.

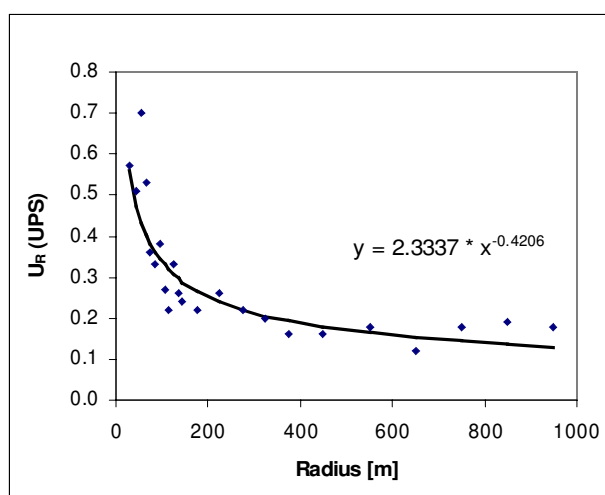


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Kurvenradius und Unfallraten (UPS) nach Elvik [9]

Untersuchungen zu diesem Thema haben auch Taubmann [8], Lamm [10], Spacek [11] sowie Krebs und Klöckner (zusammengefasst in [11]) vorgenommen (Abbildung 9). Sie arbeiten dabei mit Raten aller Unfälle, was dazu führt, dass kein direkter Vergleich mit der von Elvik entwickelten Kurve möglich ist. Bei allen vier Untersuchungen steigen die Unfallraten in kleinen Radienbereichen beträchtlich an. Das Niveau der Unfallraten unterscheidet sich aber deutlich. Dies kann aufgrund verschiedener Strassentypen, aber auch auf unterschiedliche Stichprobenauswahl (zum Beispiel nur Unfallschwerpunkte) zurück zu führen sein.

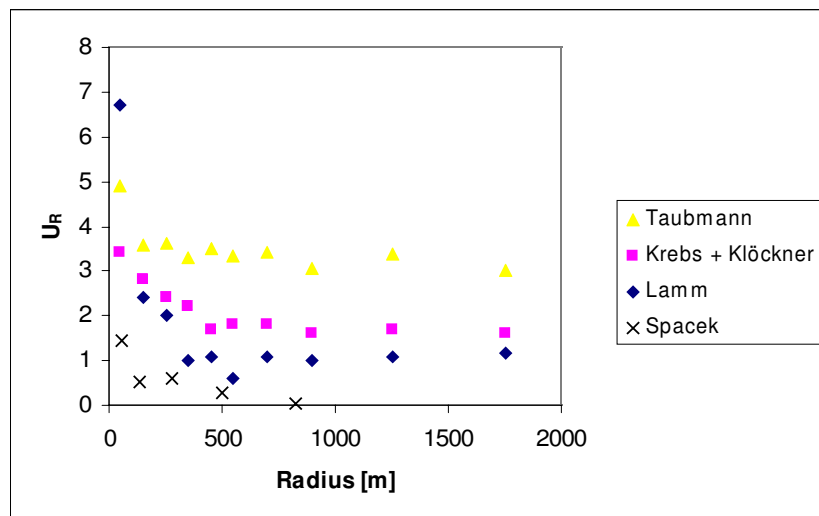


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Kurvenradius und Unfallraten aus vier Untersuchungen

Die Regressionsanalyse der vier Untersuchungen ergab in drei Fällen einen inversen Zusammenhang ( $y = a + b/x$ ), in einem Fall lassen sich die Punkte am besten mit einer Potenzfunktion beschreiben ( $y = a \cdot x^b$ ). Diese Funktionen charakterisieren sich durch einen ausgeprägten Anstieg gegen Null hin, was die oben genannten Verläufe gut abbildet.

Um eine Quantifizierungsmöglichkeit für das Unfallgeschehen in Abhängigkeit vom Radius zu entwickeln, wird aus den Unfallraten von Taubmann, Lamm sowie Krebs und Klöckner für jeden Radienbereich ein Durchschnittswert berechnet. Die Untersuchung von Spacek wird hier nicht berücksichtigt, da sie auf einer geringen Stichprobengröße basiert und dabei sehr tiefe Unfallraten ermittelt wurden. Mit den durchschnittlichen Unfallraten wird die Abhängigkeit zum Kurvenradius geschätzt. Eine sehr gute Näherung des Zusammenhanges lässt sich mit einer inversen Kurve herstellen (Abbildung 10).

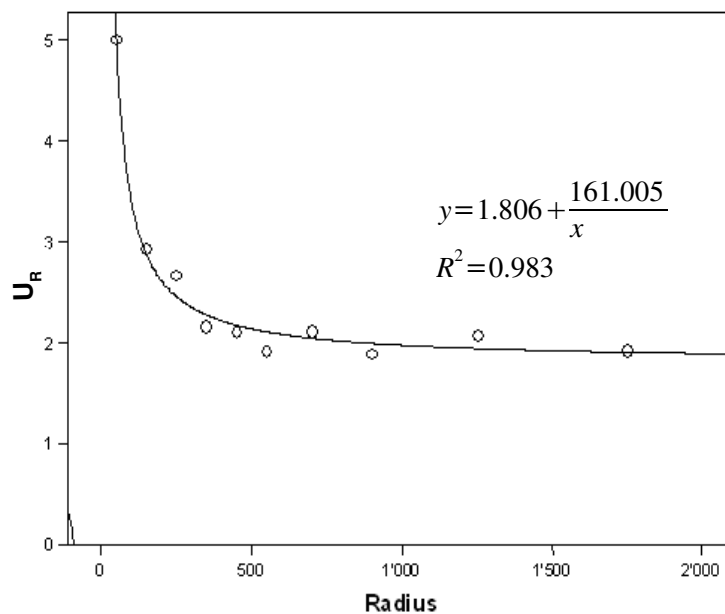


Abbildung 10: Quantifizierungsmöglichkeit zwischen Kurvenradius und Unfallraten

Um das Unfallgeschehen in einer neu- oder umgestalteten Kurve abzuschätzen, muss neben dem oben dargestellten Zusammenhang zwischen Kurvenradius und Unfallrate auch das durchschnittliche Unfallgeschehen auf diesem Strassentyp allgemein und im Bereich vor und nach der Kurve speziell betrachtet werden. Das Diagramm oben gibt den Verlauf über verschiedene Radienbereiche gut wieder. Die Kurve muss aber entsprechend dem Unfallniveau auf der untersuchten Strecke vertikal verschoben werden. Die Kurve kann so angesetzt werden, dass sie im Bereich, wo sich die Unfallrate mit einer Zunahme des Radius nur noch gering ändert, die durchschnittliche Unfallrate der umgebenden Strecke ergibt.

Der ermittelte Zusammenhang zwischen dem Kurvenradius und den Unfallraten wird durch Vorher-Nachher-Untersuchungen von Elvik bestätigt. Dabei zeigt sich, dass sich vor allem mit Vergrößerungen von sehr kleinen Kurvenradien sehr grosse Sicherheitsgewinne erreichen lassen. So nahm die Anzahl der Unfälle mit Motorfahrzeugen bei einer Erhöhung des Radius von weniger als 200m auf einen Radius zwischen 200m und 400m um die Hälfte ab. Bei einer Veränderung des Radius 200m bis 400m auf einen Bereich zwischen 400m und 600m sinkt die Unfallzahl durchschnittlich um 33%, von einem Bereich 600m zwischen 1000m auf einen Bereich von 1000m und 2000m nur noch um 10%. Mit einer Veränderung einer Kurve mit einem Radius über 1000m in eine Gerade erhöht sich das Unfallgeschehen sogar um 10%.

Mit abnehmendem Radius verändert sich auch die Verteilung der Unfalltypen. Bei sehr kleinen Kurvenradien ereignen sich überdurchschnittlich viele Zusammenstöße mit dem Gegenverkehr, was sich aus fehlerhaftem Kurvenverhalten (zum Beispiel Kurvenschneiden) er-

gibt. Gleichzeitig steigt der Anteil an Unfällen mit Abkommen nach rechts. Diese Unfälle ergeben sich wahrscheinlich aus dem gleichen Fehlverhalten, da bei plötzlich auftauchendem Gegenverkehr einem Unfall ausgewichen werden will, indem das Auto nach rechts gezogen wird.

#### 4.2.2 Kurvigkeit

Allgemein wird davon ausgegangen, dass mit erhöhter Kurvigkeit das Geschwindigkeitsniveau sinkt, da die Anforderungen an die Autofahrer steigen. Zudem lässt sich mit einer stetigen Abfolge von Kurven erreichen, dass Kurven besser vorhergesehen und abgeschätzt werden können, was zu einer Senkung der Unfallzahlen führt.

Diese Zusammenhänge wurden erst in wenigen Untersuchungen analysiert. Lamm [10] hat die Geschwindigkeiten, welche bei freier Fahrt bei verschiedenen Kurvigkeiten gefahren werden, aufgetragen (Abbildung 11). Dabei lässt sich ein deutlicher Zusammenhang feststellen. Die oben aufgestellte Hypothese, mit zunehmender Kurvigkeit nehme die Geschwindigkeit ab, bestätigt sich.

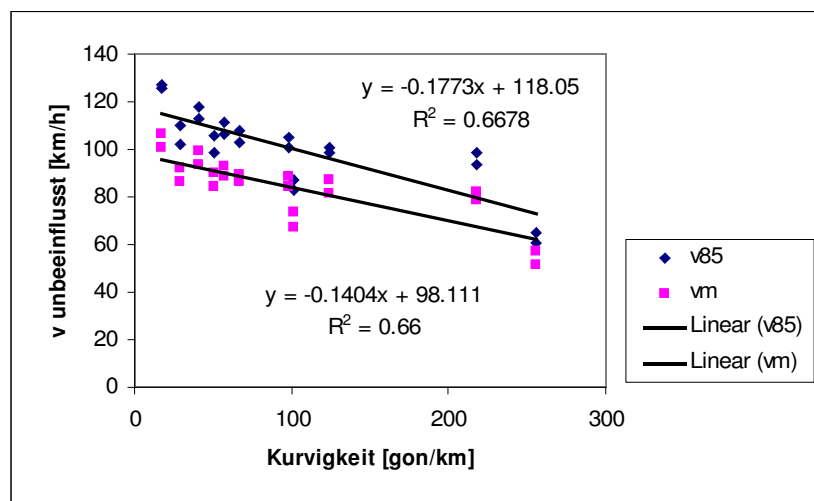
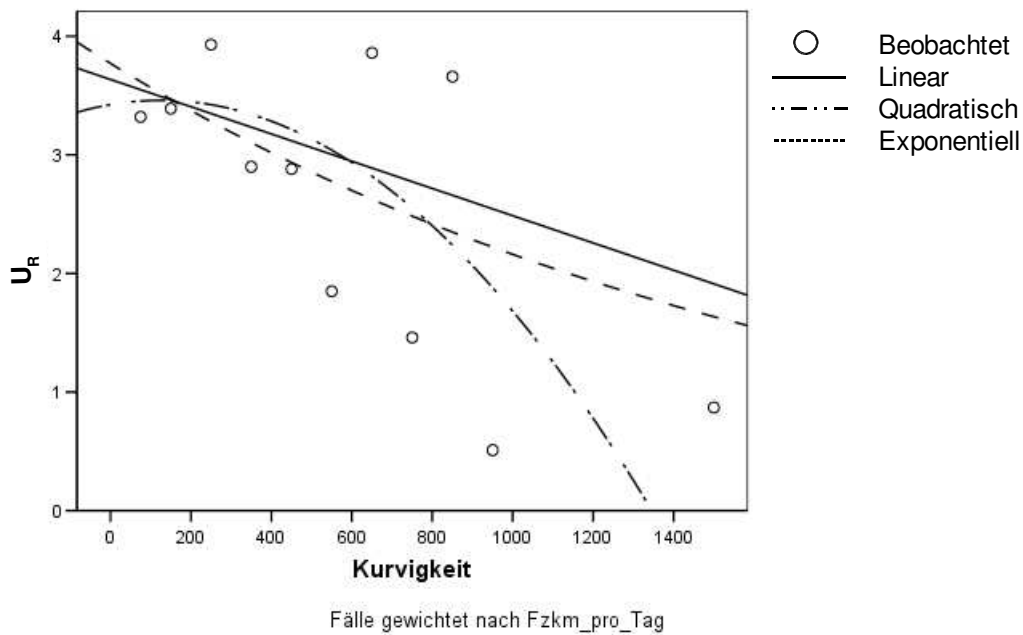


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und Geschwindigkeit nach Lamm [10]

Taubmann [8] untersuchte den Zusammenhang der Kurvigkeit mit dem Unfallgeschehen, wobei vor allem in den hohen Bereichen der Kurvigkeit wenig Daten vorliegen. Aus diesem Grund werden die Bereiche nach Fahrleistung gewichtet. Tendenziell nehmen die Unfallraten mit zunehmender Kurvigkeit ab, wobei der Zusammenhang relativ schwach ist (Abbildung 12).



**Modellzusammenfassung und Parameterschätzer**

Abhängige Variable: UR

Gleichung	Modellzusammenfassung					Parameterschätzer		
	R-Quadrat	F	Freiheitsg rade 1	Freiheitsg rade 2	Sig.	Konstante	b1	b2
Linear	.140	736412.5	1	4532275	.000	3.635	-.001	
Quadratisch	.231	681158.0	2	4532274	.000	3.423	.001	-2.3E-006
Exponentiell	.229	1342353	1	4532275	.000	3.771	-.001	

Die unabhängige Variable ist Radius.

Abbildung 12: Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und Unfallraten nach Taubmann

Bei der Regressionsanalyse ergibt das quadratische Modell die beste Güte ( $R^2$ ) (Abbildung 12). Doch mit diesem Modell geht die Unfallrate bei einer Kurvigkeit von etwa 1300gon/km auf einen Wert von null zurück. Diese Beschreibung stimmt aber nicht mit der Realität überein, da auch bei sehr hoher Kurvigkeit kein Rückgang der Unfallrate auf null zu erwarten ist. Deshalb wird zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen Kurvigkeit und Unfallrate das geringfügig schlechtere Modell mit einer exponentiellen Kurve gewählt (Abbildung 13).

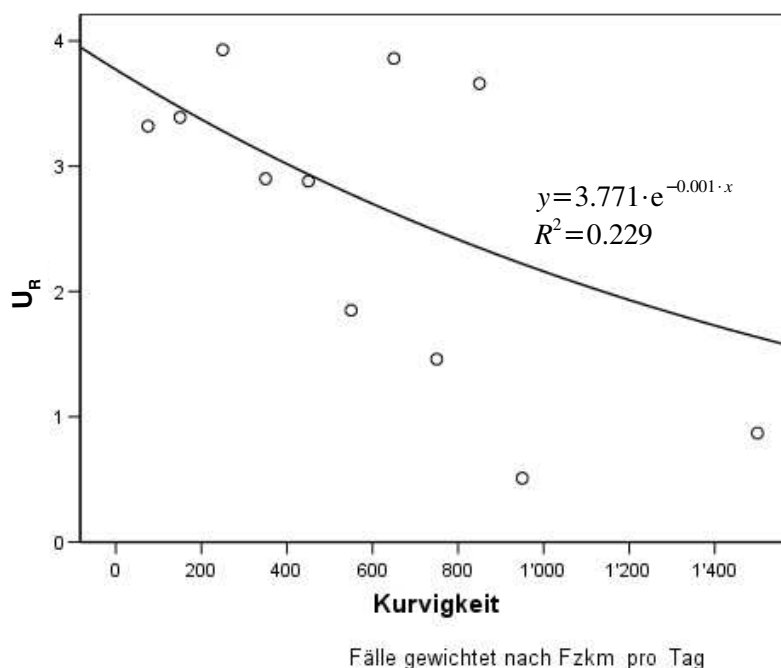


Abbildung 13: Quantifizierungsmöglichkeit zwischen Kurvigkeit und Unfallraten

Die Analyse der Unfalltypen ergibt mit ansteigender Kurvigkeit eine Zunahme der Bedeutung der Unfälle mit Gegenverkehr. Der Anteil Überholunfälle nimmt dagegen ab. Mit zunehmender Kurvigkeit steigt die Anforderung an die Lenker, was zu einem erhöhten Anteil an Fahrzeugen, welche von der Strasse abkommen, führt.

## 4.3 Querschnitt

### 4.3.1 Zusätzliche Streifen

#### ***Führung Fahrradverkehr***

Eine Hochrechnung der Beratungsstelle für Unfallverhütung aus dem Jahr 2004 [12] ergibt, dass jährlich rund 26'000 Velofahrer auf Schweizer Strassen verletzt oder getötet werden, wobei aber nur etwa ein Achtel polizeilich erfasst wird. Diese enorme Zahl der Verunfallten Velofahrer zeigt den Bedarf von Massnahmen in diesem Bereich deutlich auf.

Drei Viertel der Unfälle mit Radfahrer ereignen sich auf dem innerörtlichen Strassennetz. Dabei tragen sich 55% Knotenpunktsunfälle und 45% Streckenunfälle zu. Auf Strassen ausserorts ereignen sich 54% streckenbezogene und 46% knotenpunktbezogene Unfälle.

Eine aktuelle Untersuchung der Beratungsstelle für Unfallverhütung [12] aus dem Jahr 2005 gibt einen Überblick über die Verteilung der Schwerverletzten und Getöteten nach Unfalltypen (Tabelle 5). Je rund ein Viertel der Unfälle können den Typen Selbstunfälle und Linksabbiegen zugeordnet werden. Der Anteil der Unfälle im Längsverkehr mit Fahrzeugen in gleicher Richtung beträgt 14%.

Unfalltyp	Anteil
Selbstunfälle	24.1%
Kollisionen	71.7%
<i>Kollisionen beim Linksabbiegen</i>	23.3%
<i>Kollisionen beim Queren (ohne Abbiegen)</i>	13.2%
<i>Begegnungsunfälle (Frontalkollisionen)</i>	6.3%
<i>Kollisionen beim Rechtsabbiegen</i>	5.5%
<i>Auffahrkollisionen</i>	5.4%
<i>Kollisionen beim Überholen</i>	4.9%
<i>Kollisionen beim Vorbeifahren</i>	3.7%
<i>Kollisionen mit Fussgängern</i>	1.6%
<i>Kollisionen mit (Haus- oder Wild-)Tieren</i>	1.1%
<i>Andere Kollisionen</i>	6.7%
Nicht zuzuordnen	4.2%

Tabelle 5: Fahrradverkehr: Schwerverletzte und Getötet nach Unfalltyp nach Beratungsstelle für Unfallverhütung [12]

Der Einfluss der Führung des Radverkehrs wurde von Koehler [13], Knoche [14] und Pfundt [15] untersucht. Zudem hat auch Elvik [9] den durchschnittlichen Rückgang der Unfallzahlen bei Anordnung eines Radweges bestimmt. Diese Untersuchungen berücksichtigen aber alle unterschiedliche Kennzahlen und so kann die Veränderung des Unfallgeschehens nur abgeschätzt werden.

Die Untersuchungen unterscheiden jeweils zwischen dem Unfallgeschehen ausserorts und innerorts. In den folgenden Abschnitten wird der Einfluss von Radwegen auf die Unfallzahlen in diesen beiden Bereichen abgeschätzt. Im Anschluss werden einige Verbesserungsmassnahmen für die Führungen des Radverkehrs in Knotenpunkten vorgestellt.

- **ausserorts**

In Abbildung 14 sind die verschiedenen Unfallzahlen pro  $10^6$  Überholungen auf Strassen ausserorts abhängig vom Ausbaugrad nach einer Untersuchung von Koehler [13] dargestellt. Dabei wird deutlich, dass Radwege auf die Zahl der Streckenunfälle einen sehr positiven Einfluss haben. Die Unfälle an Knotenpunkten nehmen aber deutlich zu, so dass der positive Einfluss wieder aufgehoben wird und die totalen Unfallzahlen in etwa gleich hoch sind wie bei Strassen ohne Merkmalen. Radstreifen haben dagegen bei den totalen Unfallzahlen einen positiven Einfluss, auf freien Strecken ist dieser gegenüber Radwegen aber tiefer. Im Weiteren ist ein extrem negativer Einfluss von schlechten Fahrbahnrandern feststellbar. Einseitig angelegte Radwege bzw. -streifen weisen gegenüber beidseitigen aufgrund der vermehrten Fahrbahnüberquerungen eine deutlich höhere Unfallwahrscheinlichkeit auf freier Strecke auf.

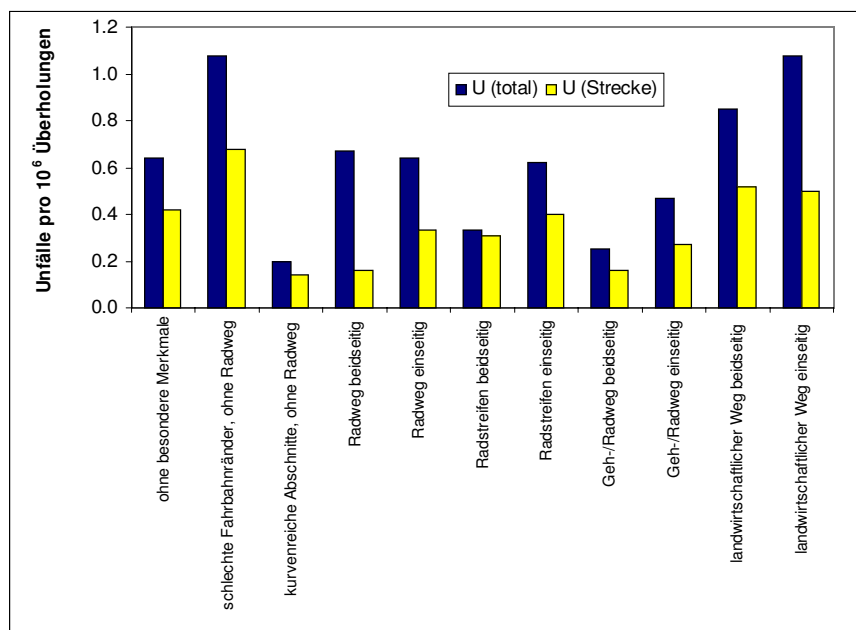


Abbildung 14: Übersicht Unfälle pro  $10^6$  Überholungen von Fahrradfahrern auf verschiedenen Strassentypen ausserorts nach Koehler [13]

In Tabelle 6 wird der quantitative Einfluss der Radwegführung aus dem Bericht von Koehler dargestellt. Da keine weiteren Daten vorhanden sind, die mit den gleichen Kennwerten arbeiten, können diese Werte nur ansatzweise mit anderen Untersuchungen verglichen werden. Aufgrund dieses Vergleiches erscheinen die Zahlen, ausser dem extremen Wert für den Einfluss von beidseitigen Radwegen auf Streckenunfälle, plausibel und können als durchschnittliche Werte angenommen werden. Der sehr positive Einfluss bei beidseitigen Radwegen wird sicher nur auf Strassen erreicht, auf welchen ein sehr hohes Unfallgeschehen mit Fahrradfahrern auf freier Strecke vorhanden ist. Ansonsten wird vorgeschlagen dort mit einem abgeminderten Wert um 40% zu rechnen.



	$\Delta U$ pro $10^6$ Überholungen alle Unfälle	$\Delta U$ pro $10^6$ Überholungen Streckenunfälle	$\Delta U$ pro $10^6$ Überholungen Knotenunfälle
Radstreifen einseitig	-3%	-4%	0%
Radstreifen beidseitig	-48%	-26%	-90%
Radweg einseitig	0%	-21%	+41%
Radweg beidseitig	+5%	-62% (-40%)	+132%

Tabelle 6: Quantifizierungsmöglichkeit des Unterschiedes der Unfallzahlen im Vergleich zu Strassen ohne Fahrradverkehrsführung (Strassen ausserorts)

*kursiv:* Wert abmindern, siehe oben

Die Zahlen der verschiedenen Radführungen zeigen, dass bei der Anordnung von Radwegen speziell auf die Führung bei Knotenpunkten geachtet werden muss. Dort liegt ein grosses Potenzial die Unfallzahlen deutlich zu senken (siehe unten).

- **innerorts**

Auf Strassen innerorts liegen nur Zahlen von Radwegen vor (Tabelle 7). Diese zeigen im Gegensatz zu den Untersuchungen ausserorts auch bei der Unfallrate mit allen Unfällen einen positiven Einfluss. Der Unterschied der Unfallrate mit allen Unfällen und der Unfallrate, die nur die Streckenunfälle berücksichtigt, ist hier gering, da sich innerorts mehr als die Hälfte der Unfälle an Knotenpunkten ereignen und somit auf freien Strecken die Erfolge geringer sind als ausserorts.

Auch diese Zahlen stammen nur aus einer Untersuchung (Knoche [14]) und müssen aus diesem Grund vorsichtig betrachtet werden. Sie scheinen aber im Vergleich mit den anderen Untersuchungen, welche nicht dieselben Kennwerte ausgewertet haben, und auch im Vergleich mit den Zahlen für Strassen ausserorts, plausibel.

	$\Delta U_R$ (U/(Kfz*Rad*km* $10^9$ )) alle Unfälle	$\Delta U_R$ (U/(Kfz*Rad*km* $10^9$ )) Streckenunfälle
Radweg einseitig	-4 %	-6 %
Radweg beidseitig	-16 %	-23 %

Tabelle 7: Quantifizierungsmöglichkeit des Unterschiedes der Unfallzahlen im Vergleich zu Strassen ohne Fahrradverkehrsführung (Strassen innerorts)

Neben den oben dargestellten Reduktionen der Unfallraten führen Radwege zu einer Reduktion der Unfallschwere. So liegt der Anteil der Schwerverletzten und Getöteten an der gesamten Zahl der Verletzten bei Strassen ohne Radwege bei 36.1%, mit Radweg sinkt dieser Wert auf 29.4%.

### ● Massnahmen an Knoten

Da sich ein grosser Teil des Unfallgeschehens mit Radfahrern an Knotenpunkten ereignet, ist es notwendig Massnahmen an diesen anzuordnen. Speziell bei Radwegen muss eine genaue Überprüfung der Führung in den Knotenpunkten vorgenommen werden, damit der auf freien Strecken erreichte positive Einfluss nicht mit der negativen Auswirkung an Knotenpunkten aufgehoben wird. In der Tabelle 8 sind mögliche Massnahmen gemäss dem Bericht Fahrradverkehr der Beratungsstelle für Unfallverhütung [12] und der VSS-Norm SN 640 252 [16] aufgelistet.

Knoten mit LSA	Räumlicher Vorlauf	Vorgezogene Haltelinie
		Ausgeweitete Radstreifen
		Radstreifen auf Linksabbiegespuren
	Zeitlicher Vorlauf	
	Ausleuchten des toten Winkels mit Trixi-Spiegel	
	Indirektes Linksabbiegen	
Knoten mit signaltechn. Vortrittsregelung	Sicherung der Querung einer vortrittsberechtigten Strasse	Bauliche Orientierungshilfen (geschützter Mittelbereich)
		Genügende Sichtweiten
	Sicherung Linksabbiegemanöver	Ausgeweitete Radstreifen
		Bauliche Querungshilfen
	Führung Radstreifen im Knoten	Radstreifen durchgehend markieren
Führung Radwege im Knoten	Vortrittsberechtigt und möglichst nahe an Strasse führen	
	Radwege bei Einmündungen getrennt führen	
Kreisel	Separate Führung des leichten Zweiradverkehrs	Bei sehr hohen Verkehrsmengen
	Führung zusammen mit motorisiertem Individualverkehr	Radstreifen vor dem Kreisel aufheben

Tabelle 8: Übersicht Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit von Fahrradfahrern in Knotenpunkten nach dem Bericht Fahrradverkehr der Beratungsstelle für Unfallverhütung [12] und der Norm SN 640 252 [16]

### 4.3.2 Fahrbahnbreite

Allgemein wird erwartet, dass die Fahrbahnbreite einen Einfluss auf die Geschwindigkeit hat und dadurch auch das Unfallgeschehen mitbestimmt. Ausserdem wird davon ausgegangen, dass das Unfallgeschehen auch direkt durch die Breite der Fahrbahn beeinflusst wird, da mit zunehmender Breite mehr Möglichkeiten zu Ausweichmanövern vorhanden sind.

#### ***Einfluss der Fahrbahnbreite auf die Geschwindigkeiten***

Der Einfluss der Fahrbahnbreite auf die Geschwindigkeit wird in mehreren Untersuchungen analysiert. Maier [17] greift einen von Wolf [18] erarbeiteten Zusammenhang auf und auch Topp [19] zeigt diese Abhängigkeit. Aus diesen zwei Berichten aus Deutschland können bereits ermittelte lineare Zusammenhänge für Strassen innerorts übernommen werden. Lindenmann [20] analysiert das Geschwindigkeitsverhalten auf verschiedenen Strassentypen in der Schweiz. Um einen Vergleich mit den zwei oben genannten deutschen Untersuchungen vorzunehmen, werden die Strassentypen innerorts mit einer Geschwindigkeitslimite von 50km/h zusammengefasst und eine Regressionsgerade ermittelt.

In der Abbildung 15 sind die Zusammenhänge aus den drei Untersuchungen dargestellt. Bei allen ergibt sich ein Anstieg der Geschwindigkeit bei zunehmender Fahrbahnbreite, die Stärke des Einflusses variiert aber deutlich. So steigt bei Lindenmann die Geschwindigkeit ( $v_{85\%}$ ) zwischen Fahrbahnbreiten von 5m bis 9m um mehr als 12km/h. Im Gegensatz dazu ergibt sich bei Wolf nur eine Steigerung von knapp 5km/h (Abbildung 15).

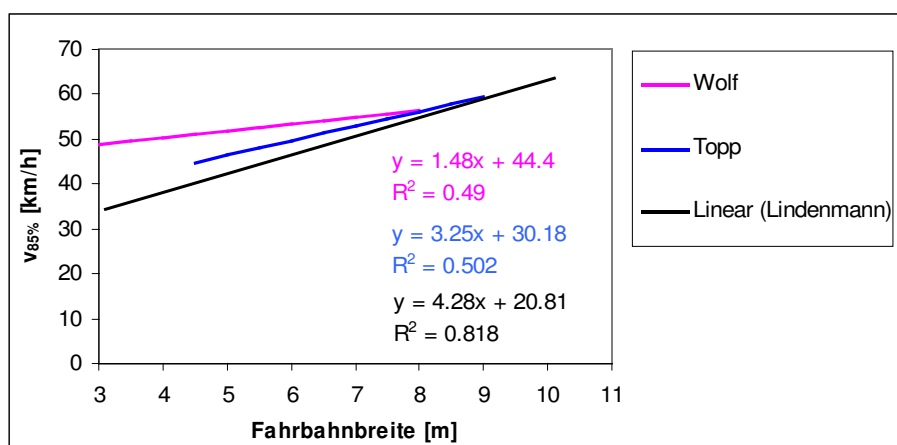


Abbildung 15: Einfluss Fahrbahnbreite auf die Geschwindigkeit auf Strassen innerorts nach Wolf [18], Topp [19] und Lindenmann [20]

Mit den drei Untersuchungen wird ein Quantifizierungswerkzeug für den Einfluss der Fahrbahnbreite auf die Geschwindigkeit auf Strassen innerorts hergeleitet. Um die Untersuchun-

gen etwa gleich zu gewichten, aber trotzdem den Bereich der Fahrbahnbreite von vier bis elf Metern abzudecken, werden von den zwei deutschen Untersuchungen je fünf, aus derjenigen aus der Schweiz sieben Punkte für die Regressionsanalyse übernommen (Abbildung 16).

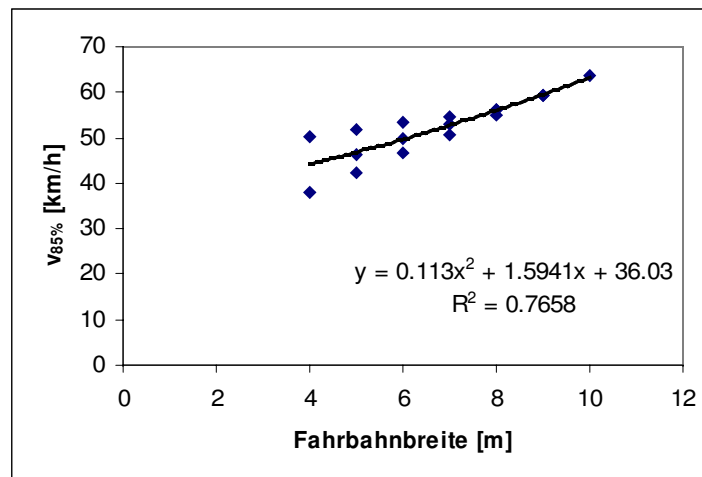


Abbildung 16: Quantifizierungsmöglichkeit zwischen Fahrbahnbreite und Geschwindigkeit auf Strassen innerorts

Maier [17] dagegen geht davon aus, dass ein Zusammenhang zwischen der Fahrbahnbreite und der Geschwindigkeit nur auf Strassen ausserorts vorhanden ist (Abbildung 17). Er ist der Meinung, dass auf Strassen innerorts nur eine geringe Abhängigkeit besteht, da viele andere Einflüsse, wie Knotenpunkte oder Fussgängerstreifen, vorhanden sind.

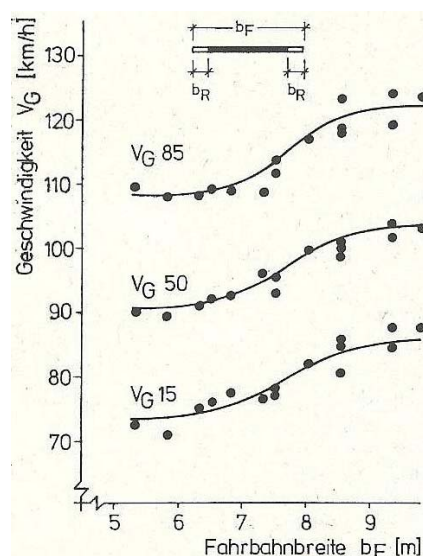


Abbildung 17: Einfluss Fahrbahnbreite auf Geschwindigkeit auf Ausserortsstrassen nach Maier [17]

Bei den Aussagen Maiers über Strassen ausserorts muss aber beachtet werden, dass die mittlere Geschwindigkeit zwischen 90km/h und 100km/h liegt. Dieses Geschwindigkeitsniveau lässt sich nicht auf die Verhältnisse auf Strassen ausserorts in der Schweiz übertragen, da auf diesen Strassen der Geschwindigkeitsbereich sehr eng um 80km/h ist, was einer guten Einhaltung der Tempolimiten entspricht. Aus diesem Grund ist der in Abbildung 17 gezeigte Effekt in der Schweiz, wenn überhaupt, nur noch gering vorhanden, was durch die Resultate von Lindenmann [20] bestätigt wird.

Für Abschätzungen des Einflusses der Fahrbahnbreite auf die Geschwindigkeiten kann davon ausgegangen werden, dass breitere Fahrbahnen tendenziell ein geringfügig höheres Geschwindigkeitsniveau aufweisen. Dieser Einfluss wird aber von der gesamten Gestaltung des Fahrtraumes und weiteren Merkmalen (z.B. naheliegende Knoten) überlagert, so dass eine gesamthafte Betrachtung nötig ist, um eine Abschätzung vornehmen zu können.

### **Einfluss der optischen Breite auf das Unfallgeschehen**

Ein Merkmal der Fahrtraumgestaltung ist der Bauflichtenabstand, auch als optische Breite bezeichnet. Dieser Einfluss kann ebenfalls nicht eindeutig ermittelt werden, da sich die Einflüsse wie oben erwähnt überlagern. Als Tendenz kann eine Untersuchung von v. Mörner [21] dienen, welche den Zusammenhang aufgrund 40 innerörtlichen Strassen abbildet (Abbildung 18).

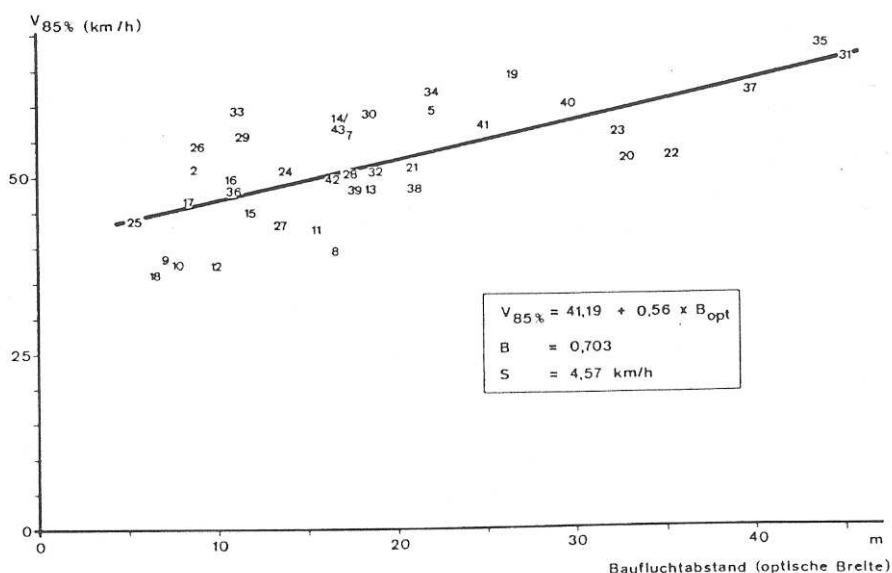


Abbildung 18: Quantifizierungsmöglichkeit zwischen optischer Breite und Geschwindigkeit auf Strassen innerorts

### Einfluss der Fahrbahnbreite auf das Unfallgeschehen

Bei den Untersuchungen zu dieser Abhängigkeit konnten keine eindeutigen Resultate ermittelt werden. Unterschiede in den Ergebnissen kommen unter anderem dadurch zustande, dass aus den Berichten nicht eindeutig hervorgeht, ob es sich um Strassen ausserorts oder innerorts handelt. Das Unfallgeschehen innerorts und ausserorts ist aber von anderen Unfalltypen geprägt. Auf Strassen ausserorts spielen die Unfälle parallel zur Fahrbahnachse die prägende Rolle, bei Innerortsstrassen kommen Fussgängerunfälle und Unfälle mit ruhendem Verkehr hinzu.

Nach Taubmann [8] nehmen Unfälle parallel zur Fahrbahnachse ausserhalb von Knoten (Überholunfälle, Zusammenstösse mit Gegenverkehr und Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn) mit zunehmender Fahrbahnbreite ab (Abbildung 19). Diesen Zusammenhang hat auch Lamm [10] hergeleitet. Diese Untersuchung stammt aber aus dem Jahre 1973 und so liegt das Niveau der Unfallraten sehr hoch, was dazu führt, dass ein Vergleich mit der Kurve von Taubmann nicht sinnvoll ist. Für Unfälle senkrecht zur Fahrbahnachse ergibt sich ein umgekehrter Zusammenhang.

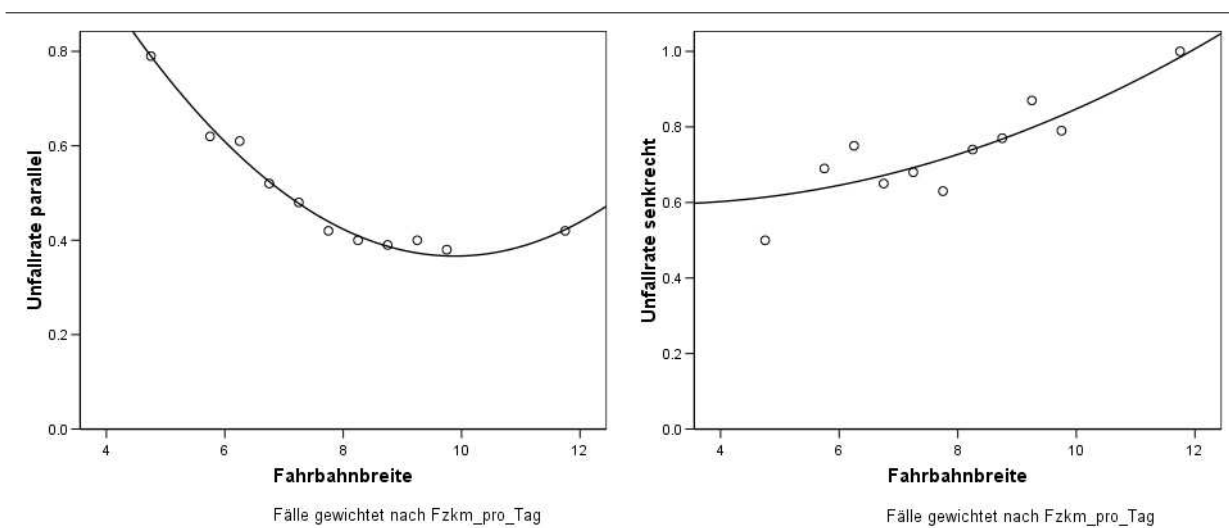


Abbildung 19: Unfallrate parallel (links) bzw. senkrecht (rechts) zur Fahrbahnachse in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite nach Taubmann [8]

Aus den oben aufgezeigten Problemen lässt sich kein quantitativer Zusammenhang zwischen der Breite und dem Unfallgeschehen ableiten. Auf Strassen ausserorts kann die Abbildung 19 zur Hilfe genommen und die Reduktion der Unfälle parallel zur Fahrbahnachse, welche auf diesen Strassen dominieren, abgeschätzt werden. Bei Strassen im Innerortsbereich überlagern sich mehrere wichtige Unfalltypen, was eine Abschätzung sehr schwierig macht. Es kann davon ausgegangen werden, dass sehr schmale Strassen zu einer erhöhten Zahl

der Unfälle mit dem ruhenden Verkehr und mit dem Gegenverkehr führen. Dagegen nehmen die Fussgängerunfälle mit zunehmender Breite zu.

### 4.3.3 Querneigung

Im dänischen Handbuch für Verkehrssicherheitsaudits Road Safety Manual [22] ist der Zusammenhang zwischen Kurvenradius, Querneigung und Geschwindigkeit enthalten (Abbildung 20). Dieses Hilfsmittel kann zur Überprüfung der Projektgrössen bei bestehenden Strassen angewendet werden.

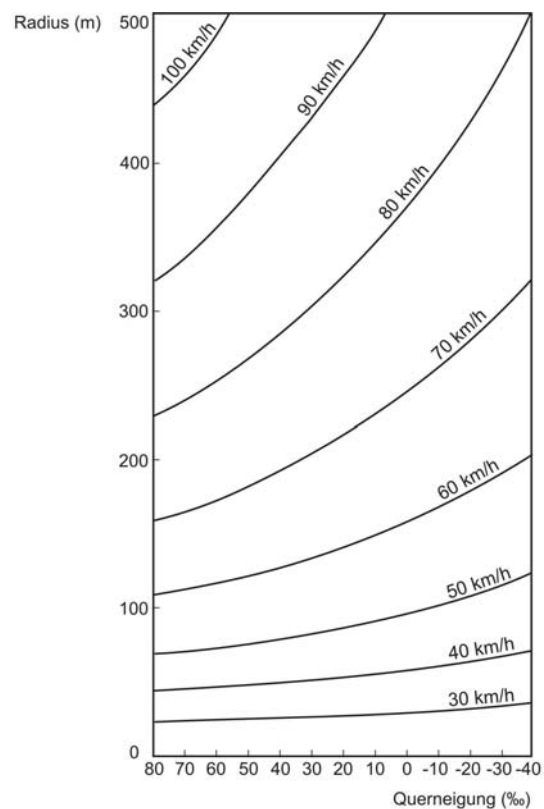


Abbildung 20: Zusammenhang zwischen Kurvenradius, Querneigung und Geschwindigkeit nach dem dänischen Road Safety Manual [22]

Die Norm SN 640 120 gibt den Zusammenhang der Geschwindigkeiten mit dem Radius bei 7% Querneigung an, welcher in der Schweiz empfohlen wird. Für Kurven mit einem Radius kleiner 450m sollte das Quergefälle stets 7% betragen.

## 4.4 Fahrbahnoberfläche

### 4.4.1 Griffigkeit

In früheren Untersuchungen (z.B. Schulze [23]) wurde jeweils mit sinkender Griffigkeit eine Zunahme des Anteils der Unfälle bei Nässe bestimmt (Abbildung 21).

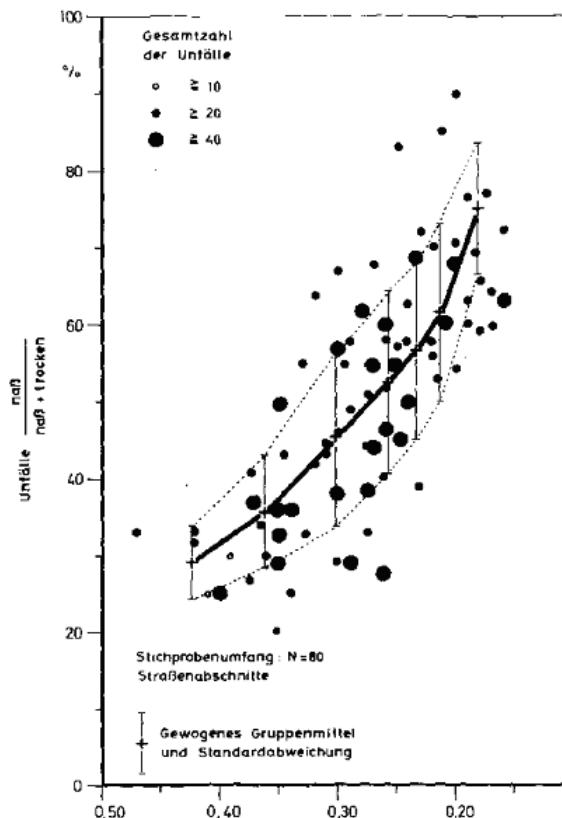


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen Griffigkeit und Anteil Nassunfälle nach Schulze [23]

In neueren Untersuchungen kann dieser Zusammenhang nicht mehr oder nur sehr undeutlich aufgezeigt werden. Mayer [24] findet keinen direkten Zusammenhang der Griffigkeit auf die Unfallgeschehen auf Bundesfernstrassen in Deutschland. Es kann jedoch gezeigt werden, dass die durchschnittliche Griffigkeit auf unfallauffälligen Strecken deutlich unter dem Wert des übrigen Netzes liegt. Aufgrund dieses Resultates wird angenommen, dass ein Einfluss besteht. Dieser kann aber nicht nachgewiesen werden.

In einer aktuellen Untersuchung aus der Schweiz durch Lindenmann [25] kann auf Nationalstrassen kein Zusammenhang zwischen der Fahrbahngriffigkeit und Unfallraten festgestellt werden. Auf Strassen ausserorts ergibt sich ein leichter Zusammenhang zwischen den beiden Grössen, wobei die Datengrundlage gering ist (Abbildung 22). Hier wird darauf hingewie-



sen, dass das Strassennetz nach Strecken mit auffälligem Unfallgeschehen bei nasser Fahrbahn untersucht und an diesen Stellen die Griffigkeit überprüft werden sollte. Erst wenn beide Merkmale auffällig sind, sollten Massnahmen zur Verbesserung der Griffigkeit ergriffen werden.

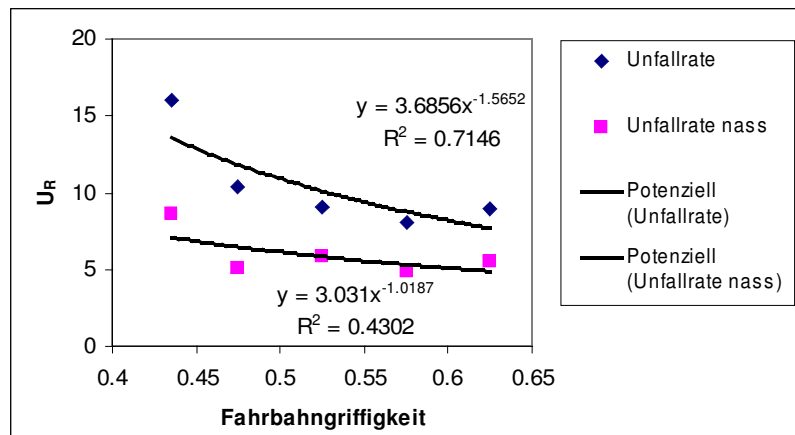


Abbildung 22: Zusammenhang zwischen Griffigkeit und Unfallrate auf Strassen ausserorts nach Lindenmann [25]

Abschliessend kann gesagt werden, dass der Zusammenhang zwischen der Griffigkeit und dem Unfallgeschehen sehr gering ist. Ein Einfluss kann höchstens bei sehr geringer Griffigkeit erwartet werden. Eine Steigerung der Verkehrssicherheit durch eine Verbesserung der Griffigkeit kann aber dort erreicht werden, wo das Unfallgeschehen bei nasser Fahrbahn auffällig hoch und der Wert der Griffigkeit tief ist.

#### 4.4.2 Oberflächenzustand

Der Einfluss von Deckenerneuerungen auf das Unfallgeschehen wurde im deutschen Bundesland Brandenburg in einem Vorher-Nachher-Vergleich von Schnüll untersucht [26]. Dabei wird nach der Verbesserung der Oberfläche ein erhöhtes Unfallvorkommen festgestellt, das auf die gestiegenen Geschwindigkeiten zurück zu führen ist. Diese Entwicklung verstärkt sich mit einer gleichzeitigen Fahrbahnverbreiterung noch zusätzlich. Auch Elvik [9] ermittelt für Strecken nach einer Deckenerneuerung die Tendenz zu erhöhten Unfallzahlen, speziell der Unfälle mit Personenschaden.

Folgend sind einige Resultate der Untersuchung von Schnüll getrennt für die Fälle ohne und die Fälle mit einer gleichzeitigen Verbreiterung der Strasse aufgelistet.

**Deckenerneuerung ohne Fahrbahnverbreiterung:**

- Anzahl Unfälle + 15%
- Unfälle mit Schwerverletzten + 43%
- Alleinunfälle (Fahr-/Abkommenunfälle) + 50%
- Unfälle mit Abkommen ins Gelände + 77%
- Anzahl Unfälle bei Fahrbahnbreiten über 7m + 70%

Bei den Unfallursachen "nicht angepasste Geschwindigkeit", "ungenügender Abstand" und "Fehler beim Spurwechsel" steigen die Unfallzahlen und die Unfallschwere tendenziell besonders stark.

Die gesicherten Anstiege konzentrieren sich auf bestimmte Parameter wie zum Beispiel auf (Rechts-)Kurven und hier wiederum verstärkt bei Nässe.

**Deckerneuerung mit Fahrbahnverbreiterung**

- Unfälle mit Personenschaden, Sicherheitsstreifen schmal (bis 1m) + 15%
- Unfälle bei breiten Sicherheitsstreifen unverändert
- Unfälle mit schwerem Personenschaden im Waldbereich + 94%
- wie oben und zusätzlich schmale Sicherheitsstreifen + 115%

Bei Verschmälerung der Sicherheitsstreifen im Zuge der Fahrbahnverbreiterung ergeben sich sehr schlechte Tendenzen der Unfallzahlen.

## 4.5 Ausrüstung

### 4.5.1 Fussgängerstreifen

In den Untersuchungen von Elvik [9], der Schweizerischen Beratungsstelle für Unfallverhütung [27], Scaramuzza [28], Lindenmann [29] und Weber [30] wird die Sicherheit von Fussgängern bei verschiedenen Überquerungstypen und Ausbildungen der Fussgängerstreifen analysiert. Dabei ergibt sich eine eindeutige Reihenfolge der Gefährdung der Fussgänger in Abhängigkeit der Überquerungstypen (Abbildung 23).

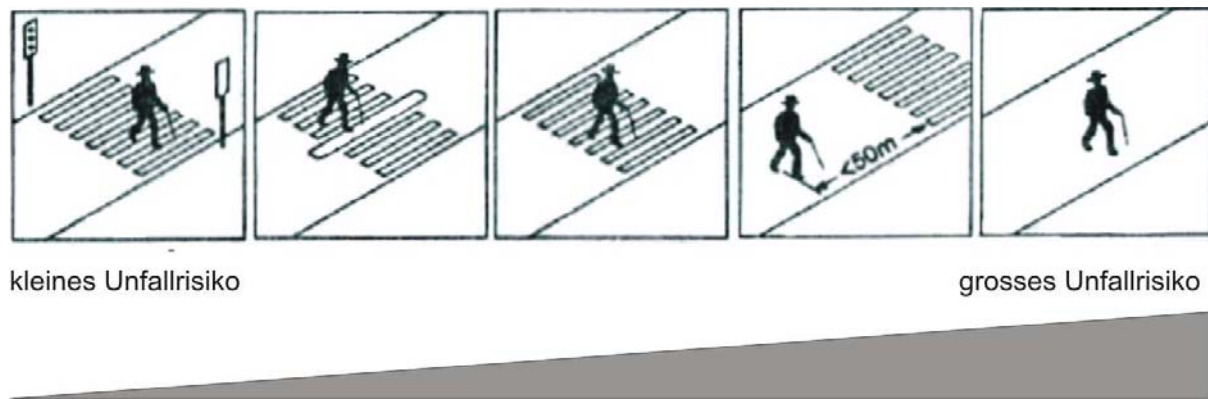


Abbildung 23: Tendenz der Unfallrisiken der Fussgänger abhängig vom Überquerungstyp

Aus den verschiedenen Berichten kann das Verhältnis der Sicherheit der verschiedenen Unfalltypen abgeschätzt werden. So ist die Überquerung der Strasse auf einem Streifen fünf mal, im Bereich eines Streifen drei mal sicherer als ausserhalb. Im Weiteren ergaben die Untersuchungen dass Fussgängerstreifen mit einer Lichtsignalanlage rund drei mal sicherer sind als Streifen ohne Lichtsignalanlage. Für Mittelinseln wird eine Reduktion von fast 50% der Unfallzahlen gegenüber Streifen ohne Mittelinseln erwartet. Mit diesen Verhältnissen und vorhanden mittleren Überquerungsrisiken (tödliche Unfälle pro Überquerung) aus dem Bericht der Beratungsstelle für Unfallverhütung [27] sind in Tabelle 9 Werte zusammengestellt, welche für die Abschätzung der Sicherheit von Fussgängern zur Hilfe genommen werden können.

Art der Überquerung	Überquerungsrisiko
	[tödliche Unfälle / 10 <sup>6</sup> Überquerungen]
Auf Fussgängerstreifen mit LSA	<i>1</i>
Auf Fussgängerstreifen mit Mittelinsel	<i>1</i>
Auf Fussgängerstreifen	<i>2</i>
Im Bereich eines Fussgängerstreifens	<i>3</i>
Ausserhalb eines Streifens	<i>10</i>

Tabelle 9: Quantifizierungsmöglichkeit der Sicherheit von Fussgängern bei Querung der Strasse  
*kursiv:* Zahl abgeschätzt

Im oben erwähnten Bericht der Beratungsstelle wurde zusätzlich das Risiko für die Überquerung auf, im Bereich oder ausserhalb eines Fussgängerstreifens in Abhängigkeit der Fussgängerstreifendichte aufgezeichnet (Abbildung 24). Es zeigt sich, dass mit zunehmender Dichte die tödlichen Unfälle auf oder im Bereich eines Streifens abnehmen, ausserhalb der

Streifen dagegen aber zunehmen. Daraus lässt sich schliessen, dass die Autofahrer bei hoher Streifendichte eher erwarten, dass Fussgänger die Strasse auf den Streifen überqueren und so die Aufmerksamkeit ausserhalb der Streifen abnimmt.

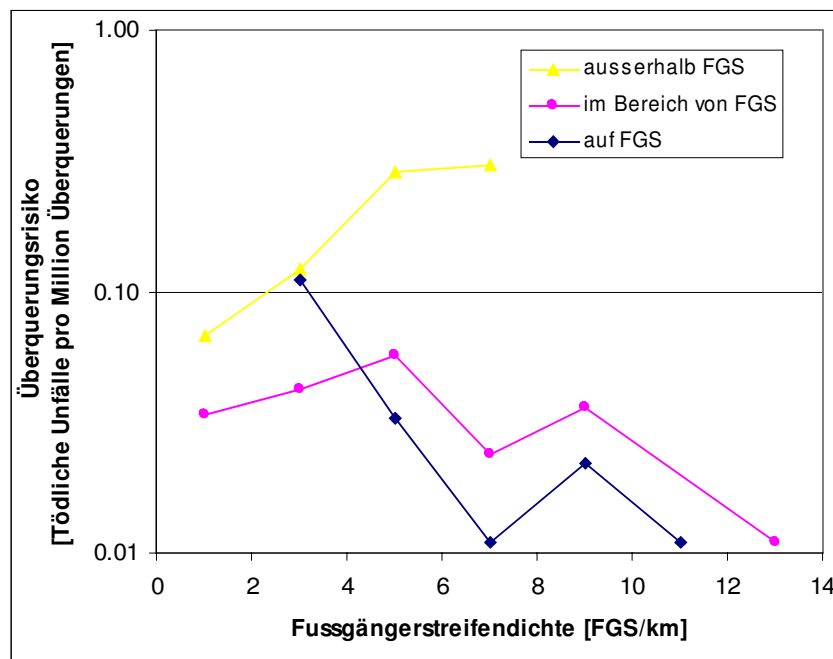


Abbildung 24: Überquerungsrisiken in Funktion der Fussgängerstreifendichte beim Überqueren auf, im Bereich und ausserhalb eines Fussgängerstreifens

Ausserdem stellt Scaramuzza [28] einen positiven Effekt von Sichtweiten nach links von mehr als 100 Metern und von Signalisationen der Fussgängerstreifen, speziell wenn sie aus 100 Metern Entfernung erkennbar sind, fest. Zudem ereigneten sich vermehrt Unfälle an Strassen mit drei- und mehrspurigen Strassen.

Bei der Planung eines Fussgängerstreifens mit Mittelinsel muss zusätzlich zu den oben aufgezeigten positiven Effekten auf die Fussgängersicherheit auch der negative Effekt für den motorisierten Verkehr beachtet werden. Die zusätzliche Behinderung im Strassenraum führt zu einem Anstieg der Alleinunfälle von motorisierten Fahrzeugen im Bereich der Mittelinseln.

## 4.6 Knoten

### 4.6.1 Knotengrundformen

Die Grundform hat neben vielen anderen Grössen einen beträchtlichen Einfluss auf das Unfallgeschehen eines Knotenpunktes. Die Tabelle 10 enthält eine Sammlung von verschiedenen Formen (zum Teil schon mit verschiedenen Betriebselementen kombiniert), die an Knotenpunkten zur Anwendung kommen.

















Kreuzungen mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen	
Signalgeregelte Kreuzungen mit zweiphasiger Steuerung	
Signalgeregelte Kreuzungen mit dreiphasiger Steuerung und mehr	
Kreuzungen mit OGÜ	
Teilplanfreie Kreuzungen	
Teilplanfreie Kreuzungen mit dreiphasiger Steuerung	
Teilplanfreie Kreuzungen mit dreiphasiger Steuerung/OGÜ	
Teilplanfreie Kreuzungen mit OGÜ	
Halbe Kleeblätter	
Halbe Kleeblätter mit dreiphasiger Steuerung und mehr	
Halbe Kleeblätter mit OGÜ	
Kreisel	
Einmündungen mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen	
Einmündungen mit zweiphasiger Steuerung	
Einmündungen mit dreiphasiger Steuerung	
Einmündungen mit OGÜ	

Tabelle 10: Übersicht Knotenformen

OGÜ: ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung

Meewes [31] hat die Verkehrssicherheit von verschiedenen Landstrassen-Knotenpunkten untersucht und durchschnittliche Unfall- sowie Unfallkostenziffern berechnet. Diese liefern einen guten Überblick über Unterschiede der verschiedenen Betriebsformen betreffend der Unfallzahlen aber auch der Unfallschwere (Abbildung 25).

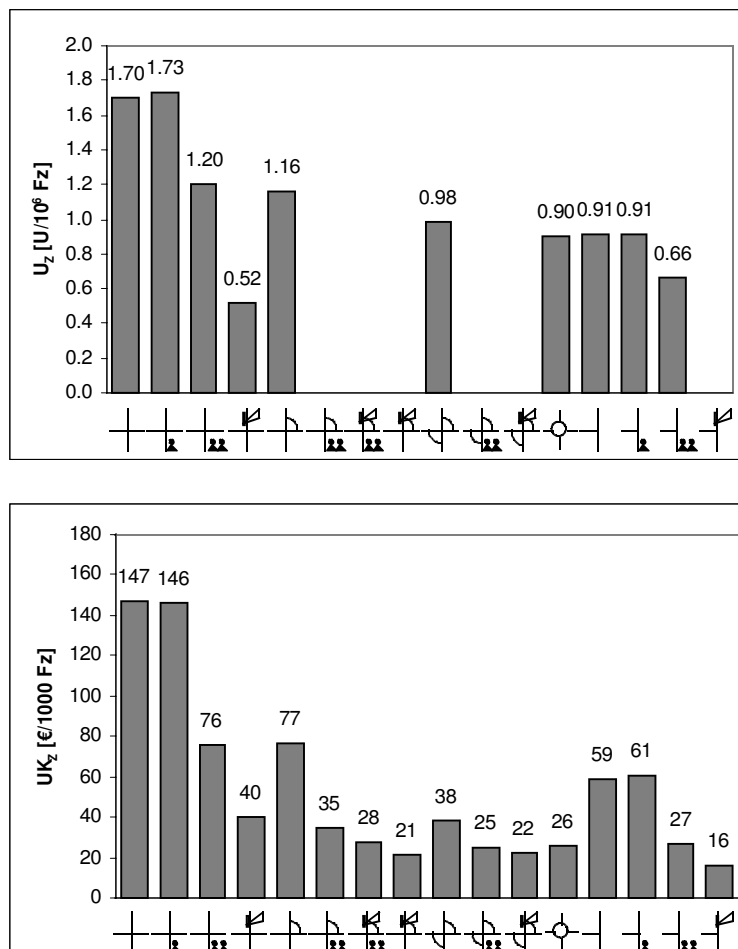


Abbildung 25: Unfallziffer (oben) und Unfallkostenziffer (unten) verschiedener Knotenformen  
Mittleres Berechnungsjahr: 1992, Preisstand 2000

Abbildung 25 (oben) zeigt deutlich auf, dass Kreuzungen und Einmündungen, die ohne oder mit einer zweiphasigen Lichtsignalanlage geregelt werden, das höchste Niveau der Unfallziffer haben. Eine drei- oder mehrphasige Steuerung bringt einen deutlichen Vorteil. Eine noch grössere Verbesserung lässt sich mit einer ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachung erreichen.

Die teilplanfreien und planfreien Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage haben eine wesentlich geringere Unfallziffer als eine Kreuzung mit der gleichen Regelung. Noch besser schneidet der Kreis ab.

Die Ziffern der Unfallkosten ergeben ein sehr ähnliches Bild. Hier zeigt sich, dass mit Lichtsignalanlagen und Geschwindigkeitsüberwachungen auch bei teilplanfreien und planfreien Knoten erhebliche Reduktionen gegenüber den nur mit Vorfahrtzeichen geregelten Knotenpunkten erzielt werden kann. Der Vergleich der beiden Kennzahlen zeigt, dass dreiphasige

Lichtsignalanlagen und Geschwindigkeitsüberwachungen bei der Unfallkostenziffer eine grössere Reduktion als bei der Unfallziffer bringen und somit mit diesen Massnahmen vor allem die Zahl der schweren Unfälle gesenkt werden kann.

Dasselbe Verhalten weisen auch die Kennzahlen bei Kreiseln auf. Die Unfallkostenziffer beträgt etwa einen Fünftel derjenigen einer Kreuzung ohne LSA. Die Unfallziffer hingegen, beträgt etwas mehr als die Hälfte derjenigen einer ungesteuerten Kreuzung. Somit kann davon ausgegangen werden, dass durch einen Kreisel speziell die schweren Unfälle vermindert werden.

In einer Untersuchung von Pflieger [32] werden in Vorher-Nachher-Vergleichen die Wirkung von Lichtsignalanlagen an vorher unregelmässigen Kreuzungen abgeschätzt. Dabei wird an Knotenpunkten, welche aus sicherheitstechnischen Gründen umgebaut werden, eine deutliche Steigerung der Sicherheit erreicht. An Knotenpunkten, die aus verkehrstechnischen Gründen verändert werden, ergeben sich hingegen keine eindeutigen Veränderungen (siehe Tabelle 11).

Massnahme	Veränderung UPS	Veränderung Verletzte
Neue LSA aus Sicherheitsgründen	-74.0%	-77.8%
Neue LSA aus verkehrstechnischen Gründen	+5.4%	+6.4%

Tabelle 11: Veränderung UPS und Verletzte nach Pflieger [32] durch Anordnung LSA

Die Reduktion der Unfälle an Kreuzungen durch eine Lichtsignalanlage wird auch von Elvik [9] untersucht (siehe Tabelle 12). Seine Untersuchungen ergeben deutliche Abnahmen der Unfälle mit Personenschäden und der Unfälle mit Sachschaden. Diese liegen aber deutlich unterhalb der Werte, welche von Pflieger bestimmt wurden.

Massnahme	Veränderung UPS	Veränderung U (Sachschaden)
LSA an Einmündung	-15%	-15%
LSA an 4-armiger Kreuzung	-30%	-35%

Tabelle 12: Veränderungen UPS und U (Sachschaden) durch Anordnung LSA nach Elvik [9]

Die Verkehrssicherheit von planfreien Knotenpunkten wird von Kölle und Schnüll [33] untersucht. Diese berechnen eine durchschnittliche Unfallziffer für planfreie Knoten zu 0.88 Unfäl-

len pro Million Kfz. Dies bestätigt die tiefe Unfallziffer dieser Betriebsform von Meewes (Abbildung 25).

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen ergeben einen Überblick über das Unfallgeschehen der verschiedenen Betriebsformen. Die Kennzahlen müssen aber mit Vorsicht betrachtet werden, da sich für die einzelnen Betriebsformen grosse Streuungen ergeben. Auch mit der Voraussage der Veränderung der Unfallzahlen nach einer Umgestaltung eines Knotenpunktes muss sorgfältig umgegangen werden. Die oben erwähnten Analysen wurden meist an Unfallschwerpunkten ausgeführt und so ergeben sich teilweise mit kleinen Anpassungen schon grosse Reduktionen. Wenn eine Vorhersage über die zukünftigen Unfallzahlen an umgestalteten Knoten vorgenommen werden soll, muss eine genaue Abklärung der vorhandenen Unfalltypen und eine Abschätzung der möglichen Verbesserungen bei den einzelnen Typen vorgenommen werden. Beispielsweise können durch die Anordnung einer Lichtsignalanlage die Anzahl Unfälle der Unfalltypengruppen 6 + 7 gesenkt werden.

#### 4.6.2 Betriebs- und Knotenelemente

##### *Kreuzungen*

Die Anordnung von Lichtsignalanlagen und Geschwindigkeitsüberwachungen an Knotenpunkten wird bereits im vorherigen Abschnitt im Zusammenhang mit den Grundformen diskutiert. Im Weiteren werden hier die Auswirkungen der Anordnung von Linksabbiegespuren zur Vorsortierung und Kanalisierungsmassnahmen betrachtet.

Pfleger [32] untersucht bei seinen Vorher-Nachher-Vergleichen auch die Anordnung von Linksabbiegespuren und allgemeine verkehrstechnische Verbesserungen (Veränderungen der Zwischen- und Umlaufzeiten, Verbesserung der Spurführung durch bauliche Massnahmen oder Markierungen, usw.) von lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten. Mit beiden Massnahmen lassen sich die Unfälle mit Personenschäden sowie die Zahl der Verunfallten deutlich reduzieren (Tabelle 13).

Massnahme	Veränderung UPS	Veränderung Verletzte
Linksabbiegespuren bei LSA	-43.2%	-51.5%
Verkehrstechnische Verbesserungen bei LSA	-60.5%	-55.9%

Tabelle 13: Veränderung UPS und Verletzte nach Pfleger [32] bei Veränderung Knoten



Auch Elvik [9] beschäftigte sich mit diesen Massnahmen. Die von ihm bestimmten Veränderung durch Anordnung von Abbiegespuren und Kanalisierungsmassnahmen zeigen im Durchschnitt eine Verbesserung des Unfallgeschehens, doch die einzelnen Untersuchungsergebnisse streuen sehr stark. Dies ist wohl wiederum auf die in Abschnitt 4.6.1 Knotengrundformen erwähnten Problemen bei diesen Untersuchungen zurückzuführen

Abschliessend kann gesagt werden, dass Kanalisierungsmassnahmen und Linksabbiegespuren eine Reduktion des Unfallgeschehens bewirken, sofern ein sicherheitstechnisches Problem in diesem Bereich vorliegt. Mit Linksabbiegespuren können zum Beispiel die Anzahl Unfälle der Unfalltypengruppe 6 reduziert werden.

### **Kreisel**

Das in Abschnitt 4.6.1 Knotengrundformen aufgezeigte Unfallgeschehen an Kreisverkehren wird in mehreren Untersuchungen (Elvik [9], Brilon [34], Huber [35], Marx [36]) bestätigt. Es ergeben sich im Vergleich zu Kreuzungen tiefere Unfallziffern, wobei die Zahl der Unfälle mit leichtem Sachschaden zum Teil zunehmen. Daneben ergibt sich aber eine deutliche Reduktion der schweren Unfälle. Das Sicherheitsniveau ist bei kompakten vierarmigen Kreiseln besonders gut. Minikreisel und Grosskreisel schneiden dagegen etwas schlechter ab.

Die Unfallraten von Kreiseln mit zweistreifiger Fahrbahn liegen etwa im Bereich von Kreiseln mit nur einer Fahrbahn. Einen negativen Einfluss haben dagegen zweistreifige Einfahrten. Die durchschnittliche Unfallziffer von Kreisverkehren mit zweistreifigen Einfahrten beträgt nach einer Untersuchung von Brilon [34] mit 0.99 mehr als das Doppelte von Kreiseln mit einstreifigen Zufahrten, welche eine Unfallziffer von 0.37 haben. Dies ist auf das erhöhte Geschwindigkeitsniveau zurückzuführen, dass durch die breitere Einfahrt und eine tangentielle Führung der Zufahrten entsteht.

Bühlmann und Spacek [37] untersuchen den Einfluss der Geometrie auf das Unfallgeschehen für einstreifige Kreiselanlagen mit einem Durchmesser von 25m bis 35m. Dabei ergibt sich für den Ablenkungswinkel  $\beta$  eine dominierende Bedeutung. Weitere Elemente wie die Durchsicht durch die Mittelinsel und die Sichtweite nach links spielen noch eine untergeordnete Rolle (Abbildung 26).

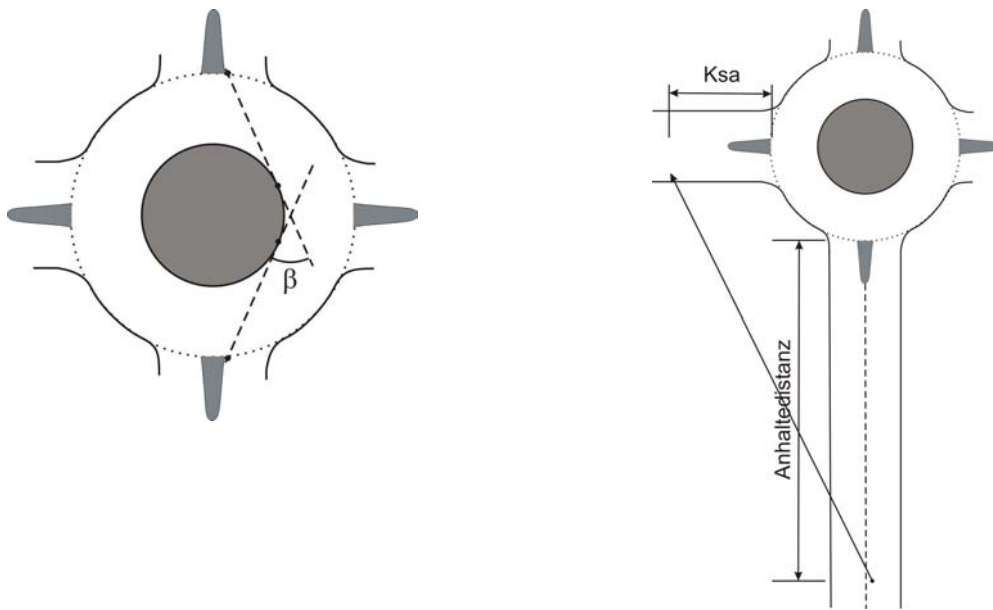


Abbildung 26: Erklärung Geometriegrößen eines Kreisels: Ablenkungswinkel  $\beta$  und Sichtweite nach links  $K_{sa}$

Für die Beschreibung des Unfallgeschehens an Kreiseln verwenden Spacek und Bühlmann die Unfallziffer  $U_z$ , die wie folgt gebildet wird:

$$U_z = U \cdot 10^6 \cdot 365 \cdot \frac{1}{2} \cdot (DTV_z + 2 \sqrt{DTV_z \cdot DTV_{kr}})$$

U: Unfälle pro Jahr  
 DTV<sub>z</sub>: Verkehrsbelastung in der Zufahrt  
 DTV<sub>kr</sub>: Verkehrsbelastung auf Kreiselfahrbahn im Bereich der Zufahrt

In Abbildung 27 ist die Verteilung der Unfallziffer in Abhängigkeit des Ablenkungswinkels dargestellt. Je kleiner der Winkel ist, desto höher ist die Unfallziffer. Dieser Einfluss beschränkt sich nur auf die Einbiegeunfälle. Selbst- und Schleuderunfälle weisen keine solche Abhängigkeit auf. Diese Zusammenhänge können mit der erhöhten Geschwindigkeit auf der Kreiselfahrbahn bei ungenügender Ablenkung erklärt werden. Folgende Geschwindigkeiten können angenommen werden:

$\beta < 20^\circ \rightarrow 40\text{km/h}$   
 $\beta = 20^\circ - 40^\circ \rightarrow 35\text{km/h}$   
 $\beta > 40^\circ \rightarrow 30\text{km/h}$

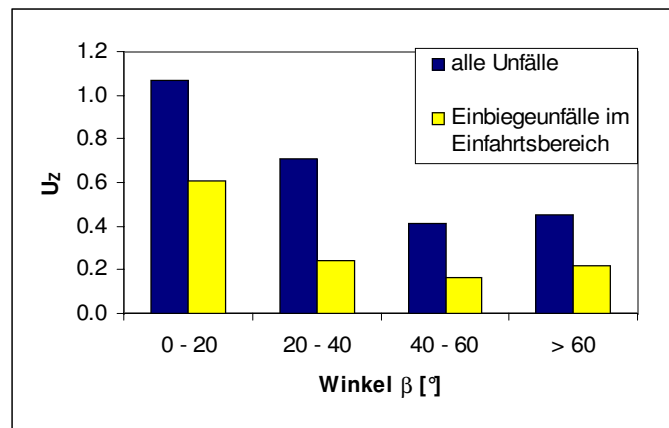


Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Ablenkungswinkel  $\beta$  und der Unfallziffer nach Bühlmann und Spacek [37]

Besonders schlecht schneiden kleine Ablenkungswinkel in Kombination mit Pflasterringen ab. Die Pflasterungen, welche als Bestandteil der Mittelinsel gelten, werden zum Teil überfahren, was die ablenkende Wirkung der Mittelinsel reduziert.

Ausserdem wird ein geringer Einfluss der Durchsicht durch die Mittelinsel in Kombination mit der Sichtweite nach links auf das Unfallgeschehen festgestellt. Bei Sichtweiten nach links unter 25m ist die Durchsicht zu verhindern. Bei grösseren Sichtweiten in die nächste Zufahrt links ergeben sich umgekehrte Tendenzen.

Das Unfallvorkommen wird auch von der Sichtweite nach links alleine beeinflusst, wenn auch nur als untergeordneter Faktor. Bei Sichtweiten zwischen 5m und 30m ergeben sich die schlechtesten Werte der Unfallziffer. Dabei befinden sich beide Zufahrer bei ihrer Entscheidung, wie sie in den Kreisel einfahren, ungefähr im gleichen Abstand zum Kreisel und sind somit auf Kollisionskurs. Bei grösserer Sichtweite wird der Zufahrtsbereich besser überblickt und der Zufahrer wird weniger durch einen anderen Zufahrer überrascht. Bei kleineren Sichtweiten nach links ist nur ein wartendes Fahrzeug einsehbar und der Fahrer wird so bei der Kreiseleinfahrt weniger zum Spekulieren verleitet.

Die Abnahme der Unfallzahlen bei einer Umgestaltung eines Knotens von einer Kreuzung in einen Kreisel verteilt sich unterschiedlich auf die Verkehrsteilnehmer. Gemäss einer Untersuchung von Huber [35] sind bei Fussgängern und Personenwagen Reduktionen zu erwarten, Zweiradfahrer und Lastwagen sind dagegen nach dem Umbau häufiger in Unfälle verwickelt als vorher.

## 4.7 Verkehrsablauf

### 4.7.1 Geschwindigkeitsverhalten

Das Geschwindigkeitsverhalten hat einen beträchtlichen Einfluss auf das Unfallgeschehen. Aus diesem Grund existieren zahlreiche Untersuchungen zu diesem Thema, welche eine detaillierte Analyse des Zusammenhanges erlauben. Aus diesem Grund wird das gesamte Geschwindigkeitsverhalten in vier Bereiche mit unterschiedlichem Geschwindigkeitsniveau aufgeteilt:

- Tempo 30-Zonen und untergeordnete Strassen innerorts
- Strassen innerorts
- Strassen ausserorts
- Autobahnen

Der Einfluss auf das Unfallgeschehen kann nicht bei allen vier Bereichen mit denselben Kenngrössen ausgedrückt werden, was dazu führt, dass die Einflüsse schwierig vergleichbar sind.

#### ***Tempo 30-Zonen und untergeordnete Strassen innerorts***

Aus zahlreichen Untersuchungen, welche bei der Einführung von Tempo 30-Zonen in den letzten 15 Jahren in der Schweiz (Lindenmann und Koy [38], Lindenmann und Thoma [39], Helen [40]) und in Deutschland (ADAC [41], Behrendt [42], HUK-Verband [43], Müller [44]) durchgeführt wurden, liegen Ergebnisse über den Einfluss dieser Zonen vor. Dabei wurde aber nicht in allen Berichten ein Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und den Unfällen hergestellt, sondern zum Teil nur das veränderte Geschwindigkeitsniveau analysiert.

Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsveränderungen und der Veränderung der Unfallereignissen in Tempo 30-Zonen kann auch bei untergeordneten Strassen innerorts angewendet werden, wenn davon ausgegangen werden kann, dass ein vergleichbares Geschwindigkeitsniveau vorhanden ist.

#### ● **Veränderung Unfallgeschehen**

Aus vier Untersuchungen (Lindenmann und Koy [38], Behrendt [42], HUK-Verband [43] und Müller [44]) können durchschnittliche Reduktionen der Unfälle mit der dazugehörigen durchschnittlichen Veränderung der mittleren Geschwindigkeit übernommen werden. Mit den so ermittelten fünf Wertepaaren wird eine Regressionsanalyse zur Bestimmung einer Quantifizierungsmöglichkeit durchgeführt. Dabei wird eine Gerade durch den Nullpunkt gelegt, da die Annahme getroffen wird, dass bei gleich bleibender Geschwindigkeit keine Veränderungen der Unfallzahlen zu erwarten sind (Abbildung 28).

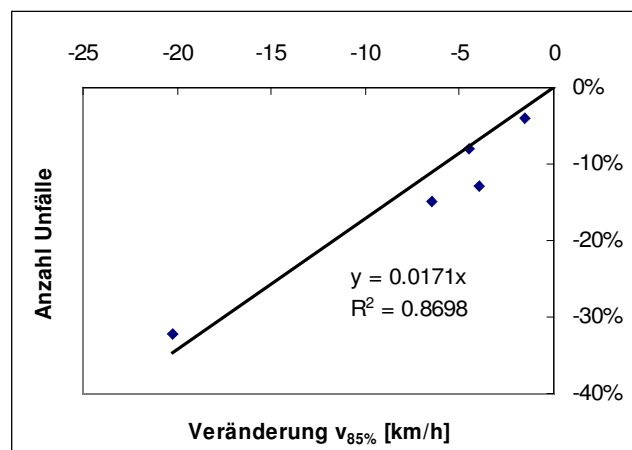


Abbildung 28: Quantifizierungsmöglichkeit für Unfälle in Tempo 30-Zonen und auf untergeordneten Strassen innerorts

Eine aktuelle Untersuchung aus der Schweiz von Lindenmann und Koy [38] hat ergeben, dass die Zahl der Verunfallten noch deutlicher abnimmt als die Anzahl Unfälle (Tabelle 14). Auch der Anteil an Unfällen beteiligter Velos und Mofas reduziert sich klar. Dagegen nimmt der Anteil an Unfällen beteiligter Fussgänger leicht zu.

	$\Delta v_{50\%}$	U	VU
Veränderung	-6.4%	-14.8%	-27.1%

Tabelle 14: Veränderung der Unfall- bzw. Verunfalltenzahlen bei Anordnung Tempo 30 nach Lindenmann und Koy [38]

### ● Veränderung Geschwindigkeit durch Anordnung Tempo 30

Um das Quantifizierungswerkzeug für die Veränderung der Unfälle anzuwenden, muss auch die erwartete Geschwindigkeitsreduktion durch die Anordnung einer Tempo 30-Zone abgeschätzt werden können. Dieser Zusammenhang wird mit den Erfahrungen aus den oben erwähnten Untersuchungen hergeleitet. Dabei wird zwischen baulichen Massnahmen und reiner Signalisation unterschieden.

Lindenmann und Thoma [39] erarbeiteten ein Hilfsmittel für die Wahl der geeigneten Massnahmen bei Anordnung von Tempo 30-Zonen (Abbildung 29). Mit Hilfe von diesem kann in einem ersten Schritt abgeschätzt werden, ob die angeordneten Massnahmen in einem Projekt angemessen sind.

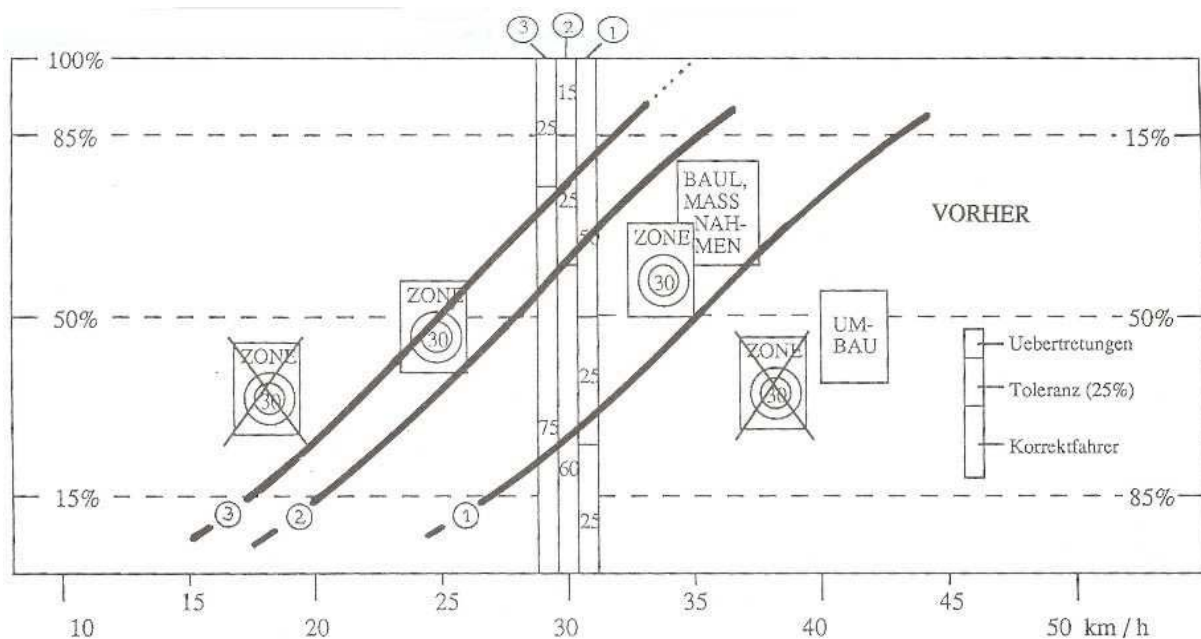


Abbildung 29: Übersicht der geeigneten Massnahmen für Tempo 30-Zonen nach Lindenmann und Thoma [39]

Folgende baulichen Massnahmen kommen zur Anwendung:

- horizontaler Versatz
- vertikaler Versatz
- Mittelinseln
- Einengungen

Mit den zahlreichen vorhanden Wertepaaren der Geschwindigkeit vorher und nachher kann eine Abschätzung des Einflusses der Limitensenkung vorgenommen werden. Zusätzlich zu den durchschnittlichen Werten aus den Berichten werden jeweils drei Wertepaare aus bereits ermittelten Kurven aus einer Studie des HUK-Verbandes [43] übernommen. Für die Geschwindigkeitsveränderung wird hier  $v_{85\%}$  gewählt, da dieser Wert häufiger in den Untersuchungen auftaucht und der Zusammenhang so besser abgeschätzt werden kann. Die Veränderung der mittleren Geschwindigkeit beträgt durchschnittlich 1km/h weniger.

Der Einfluss der Senkung der Geschwindigkeitslimite hängt neben den angeordneten Massnahmen auch vom vorher vorhandenen Geschwindigkeitsniveau ab (Abbildung 30). Es zeigt sich deutlich, dass mit baulichen Massnahmen die grösseren Geschwindigkeitsreduktionen erzielt werden können. Ausserdem werden bei höheren Geschwindigkeiten vorher grössere Abnahmen festgestellt. Bei  $v_{85\%}$ -Geschwindigkeiten um 30km/h vorher wird kein Nutzen mehr erwartet. Dies stimmt mit den in Abbildung 29 dargestellten Kurven gut überein.

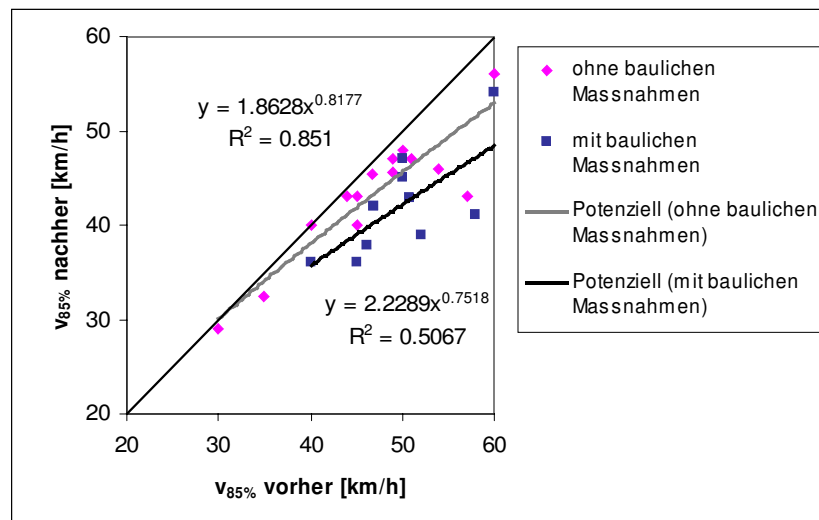


Abbildung 30: Quantifizierungsmöglichkeit für Veränderung der Geschwindigkeit bei Anordnung Tempo 30 in Abhängigkeit des vorhandenen Geschwindigkeitsniveaus und den geplanten Massnahmen

### Strassen innerorts

Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsveränderungen und dem Unfallgeschehen auf Strassen innerorts wurde in der Schweiz bei der Limitensenkung von 60km/h auf 50km/h in drei Studien (Arbeitsgruppe Verkehrssicherheit [45], Stadtpolizei Zürich [46], Stadt Bern [47]) überprüft. Im Weiteren analysierte Behrendt [42] einen Versuch der Einführung von 40km/h und 60km/h innerorts. Zusätzlich liegen drei weitere Berichte vor (Elvik [9], HUK-Verband [48] und Brüde [49]), welche das Unfallgeschehen innerorts bei veränderten Geschwindigkeiten untersuchten.

Diese Untersuchungen liefern zahlreiche Veränderungen des Unfallgeschehens, welche miteinander verglichen werden. Dabei wird in den Berichten jeweils zwischen Neben- und Hauptstrassen innerorts unterschieden, da davon ausgegangen wird, dass auf Nebenstrassen die Veränderungen geringer sind, da dort schon ein tieferes Geschwindigkeitsniveau vorhanden ist. Der Vergleich der beiden Gruppen ergibt aber weder bei den Unfällen, noch bei den Verunfallten einen klaren Unterschied. Aus diesem Grund werden die beiden Gruppen für die Herleitung eines Quantifizierungshilfsmittel zusammengefasst, um eine grössere Datengrundlage zu erreichen.

Die Zusammenhänge der Geschwindigkeit und der Unfall- bzw. Verunfalltenzahlen werden mit der Annahme, dass bei keiner Geschwindigkeitsveränderung keine Veränderung des Unfallgeschehens eintritt, mit einer Geraden durch den Nullpunkt abgebildet. Die beiden Dia-

gramme ergeben praktisch dasselbe Bild, was sich auch in der beinahe identischen Regressionsgerade widerspiegelt (Abbildung 31).

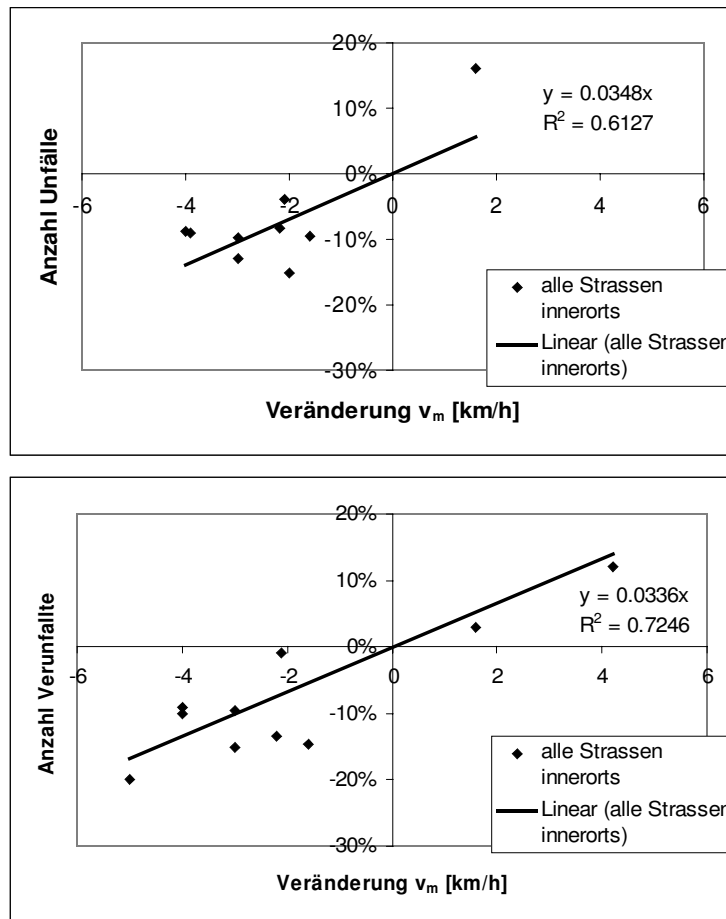


Abbildung 31: Quantifizierungsmöglichkeit für Unfälle und Verunfälle auf Strassen innerorts abhängig von der Geschwindigkeit

Zwei Untersuchungen aus der Schweiz ([45], [46]) zeigen eine deutliche Reduktion der Fussgängerunfälle, was dazu führt, dass vor allem schwere Unfälle vermieden werden können. Die Zahl der verunfallten Zweiradfahrer nimmt zum Teil stark zu, vor allem auf Hauptstrassen innerorts, oder bleibt etwa konstant.

### **Strassen ausserorts**

In einer finnischen Studie [50] wurde der Zusammenhang zwischen der Veränderung der Geschwindigkeit und der Anzahl Unfälle mit Personenschaden bereits quantifiziert (Abbildung 32). Zusätzlich ist die Abhängigkeit der Unfallkosten mit der Geschwindigkeit aufgetragen.



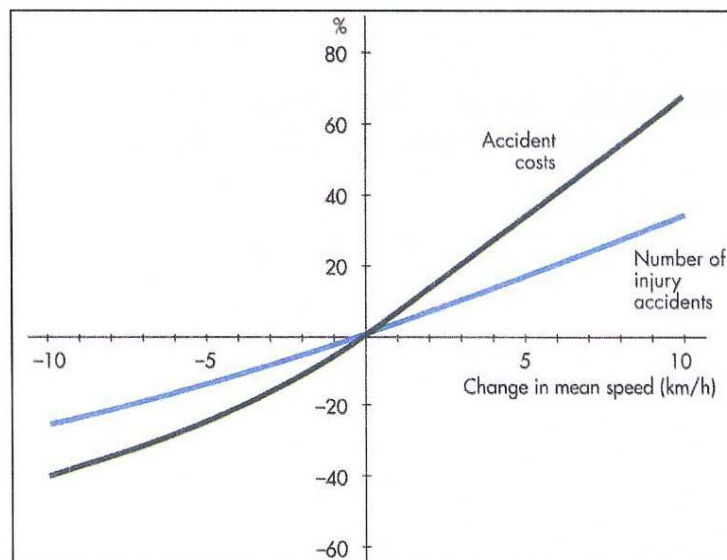


Abbildung 32: Zusammenhang der Geschwindigkeit und dem Unfallgeschehen auf Strassen ausserorts nach einer Untersuchung des Technical Research Centre of Finland [50]

In der Schweiz wurde in einer Untersuchung von Dietrich [51] und der nachfolgenden Ergänzungsuntersuchung von Lindenmann [52] die Auswirkung der Herabsetzung der Tempolimite ausserorts von 100km/h auf 80km/h untersucht. Dabei wurden deutliche Reduktionen der mittleren Geschwindigkeiten von 9km/h bis 12km/h festgestellt. Die Unfallzahlen gingen in den ersten Jahren zurück, stiegen dann aber deutlich über das Ausgangsniveau an. Dies geschah aber mit einer gleichzeitigen Fahrleistungszunahme von fast 20%. So sanken die Unfallraten in beiden Untersuchungen. Deutlicher sanken aber die Verunfalltenraten, welche um 11.8% bzw. 21% tiefer lagen als vor der Limitensenkung.

Auch Elvik [9] hat diesen Zusammenhang erforscht und zu diesem Zweck aus vielen Berichten aus verschiedenen Ländern Veränderungen im Unfallgeschehen, die auf einer Geschwindigkeitsveränderung beruhen, zusammengetragen. Daraus sind drei Beziehungen zwischen den beiden Grössen entstanden, die sich auf das Geschwindigkeitsniveau ausserorts übertragen lassen. Dabei sind jeweils die durchschnittliche Veränderung der Unfälle (U), der Unfälle mit Personenschaden (UPS) und der Unfälle mit Schwerverletzten (USV) und die durchschnittliche Veränderung der Geschwindigkeit ermittelt worden (Tabelle 15).

	$\Delta v \rightarrow \Delta U$	$\Delta v \rightarrow \Delta UPS$	$\Delta v \rightarrow \Delta USV$
T 100 $\rightarrow$ T 93 bis 80	-7.4km/h $\rightarrow$ -12%	-8.9km/h $\rightarrow$ -14%	-8.9km/h $\rightarrow$ -29%
T 90 $\rightarrow$ T 80 und T 80 $\rightarrow$ T 60	-7.4km/h $\rightarrow$ -24%	-5.0km/h $\rightarrow$ -23%	-6.2km/h $\rightarrow$ -43%
T unter 90 $\rightarrow$ T um 90	+4.9km/h $\rightarrow$ +20%	+5.5km/h $\rightarrow$ +17%	+4.2km/h $\rightarrow$ +21%

Tabelle 15: Zusammenstellung der Veränderung des Unfallgeschehens abhängig von der Geschwindigkeit sveränderung auf Strassen ausserorts nach Elvik [9]

Um ein Quantifizierungswerkzeug herzuleiten, werden von der finnischen Studie die Veränderungen der Unfälle mit Personenschaden bei -10km/h, -5km/h, +5km/h und +10km/h abgelesen und mit den drei Punkten aus der Analyse von Elvik kombiniert. Die Veränderung der Verunfalltenzahl von -10% aus der Schweizer Untersuchung wird als Wert für die Veränderung der Unfälle mit Personenschaden übernommen. Diese Annahme liegt auf der sicheren Seite, da die im Untersuchungszeitraum steigenden Fahrleistungen nicht berücksichtigt werden und nicht bei jedem Unfall nur mit einem Verunfallten zu rechnen ist. Zusätzlich zu diesen acht Werten der Unfälle mit Personenschaden enthält die Abbildung 33 die ermittelte Veränderungen bei den totalen Unfallzahlen und den Unfällen mit Schwerverletzten.

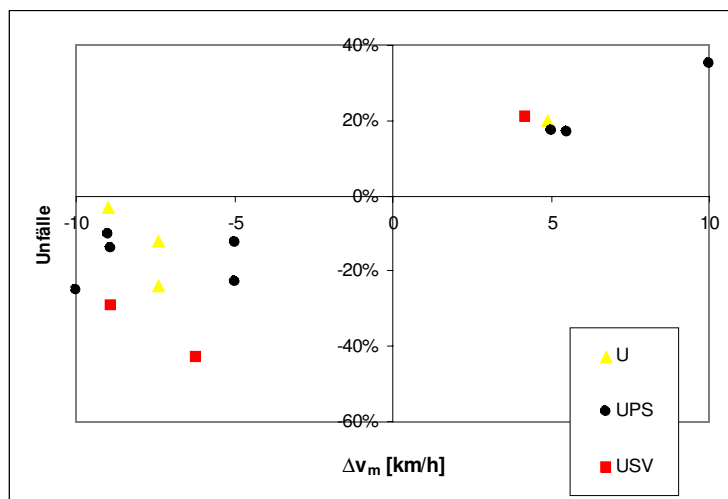


Abbildung 33: Veränderung des Unfallgeschehens abhängig von der Geschwindigkeit auf Strassen ausserorts

Mit den acht Punkten der Unfälle mit Personenschaden wird eine Kurve bestimmt, die den Zusammenhang der Geschwindigkeitsveränderung und der Veränderung der Unfallzahlen

aufzeigt. Mit der Annahme, dass bei gleich bleibender Geschwindigkeit die Unfallzahl unverändert bleibt, wird eine polynomische Kurve durch den Nullpunkt gelegt, um die Abhängigkeit abzubilden (Abbildung 34).

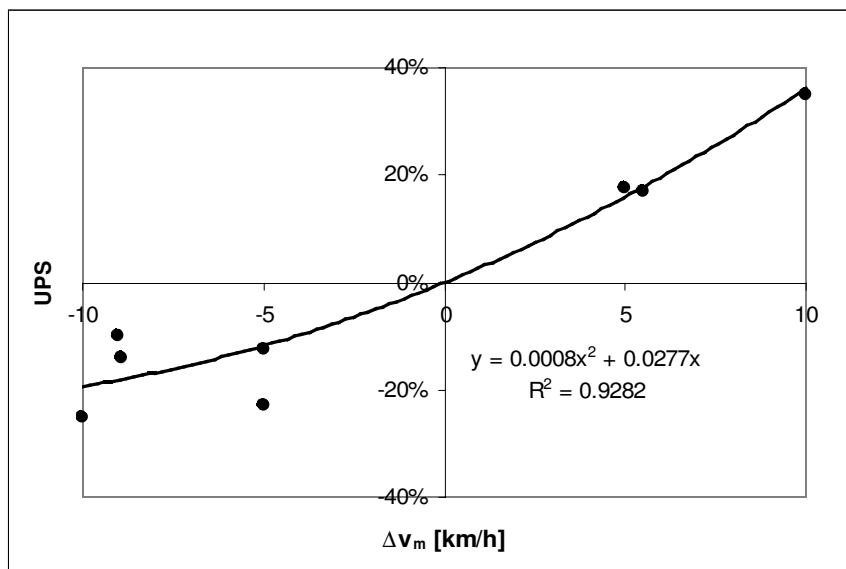


Abbildung 34: Quantifizierungsmöglichkeit für Unfälle mit Personenschaden auf Strassen ausserorts abhängig von der Geschwindigkeit

In Abbildung 34 lässt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und den Unfällen mit Personenschaden auf Strassen ausserorts erkennen. Dabei ist die Kurve derjenigen der finnischen Studie sehr ähnlich, da die Hälfte der Werte aus dieser Untersuchung stammen. Aber die anderen Punkte bestätigen den ermittelten Zusammenhang, welcher somit für eine Verkehrssicherheitsbeurteilung angewendet werden kann. Die Veränderungen der totalen Unfallzahlen müssen etwas geringer, diejenige der Unfälle mit Schwerverletzten etwas höher angenommen werden.

### **Autobahnen**

Auch das veränderte Unfallgeschehen auf Autobahnen nach der Limitensenkung von 130km/h auf 120km/h in der Schweiz wurde in den beiden oben erwähnten Berichten ([51] und [52]) analysiert. Auf den Autobahnen ergaben sich trotz einer Abnahme der mittleren Geschwindigkeit um 4.5% eine Zunahme der absoluten Unfallzahlen, sowie der Unfallraten. In der ersten Untersuchung ergab sich aber eine klare Reduktion der Verunfalltenzahlen von 7.9%. In der Ergänzungsstudie jedoch ergab sich eine kleine Zunahme der Verunfalltenrate. Die Getötetenrate nahm dagegen leicht ab.

Elvik [9] erarbeitete fünf Geschwindigkeitsveränderungen, welche sich zum Vergleich mit Autobahnen in der Schweiz eignen (Tabelle 16).

	$\Delta v \rightarrow \Delta U$	$\Delta v \rightarrow \Delta UPS$	$\Delta v \rightarrow \Delta USV$
T unter 90 $\rightarrow$ T um 90	+4.9km/h $\rightarrow$ +20%	+5.5km/h $\rightarrow$ +17%	+4.2km/h $\rightarrow$ +21%
Keine Limite $\rightarrow$ T um 100	-7.1km/h $\rightarrow$ -16%	-7.6km/h $\rightarrow$ -21%	-4.9km/h $\rightarrow$ -11%
Keine Limite $\rightarrow$ T 97 - 80	-4.4km/h $\rightarrow$ -22%	-5.2km/h $\rightarrow$ -22%	-2.3km/h $\rightarrow$ -19%
T130 $\rightarrow$ T110/T120, T120 $\rightarrow$ T100	-6.8km/h $\rightarrow$ -11%	-6.2km/h $\rightarrow$ -14%	-7.0km/h $\rightarrow$ -1%
T 115 - 110 $\rightarrow$ T 97 - 88	-10.2km/h $\rightarrow$ -9%	-8.4km/h $\rightarrow$ -6%	-9.0km/h $\rightarrow$ -54%

Tabelle 16: Zusammenstellung der Veränderung des Unfallgeschehens abhängig von der Geschwindigkeitsveränderung auf Autobahnen nach Elvik [9]

Die Veränderungen nach Elvik ergänzt mit einem Wert aus der Schweizer Untersuchung [51] sind in Abbildung 35 dargestellt.

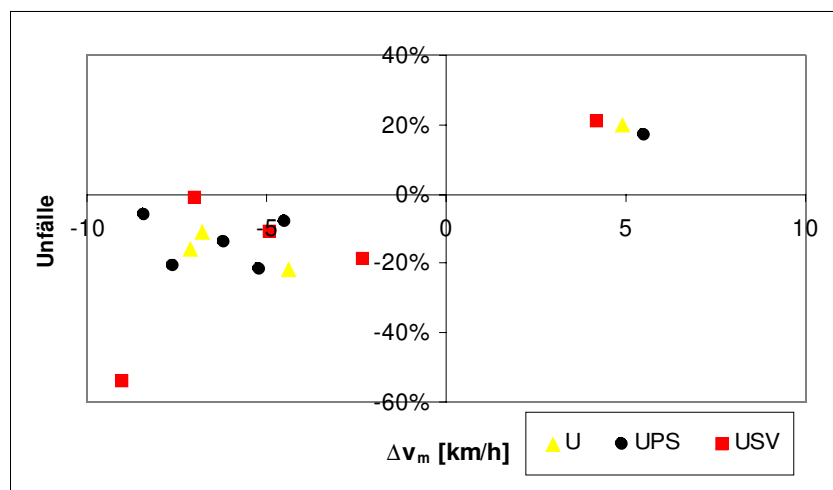


Abbildung 35: Zusammenhang zwischen Veränderung der Geschwindigkeit und dem Unfallgeschehen auf Autobahnen

Die Abbildung 35 zeigt die Tendenz, dass bei einer Abnahme der Geschwindigkeit auch eine Abnahme der Unfälle und umgekehrt zu erwarten ist. Es ergibt sich aber kein eindeutiger Zu-

sammenhang zwischen dem Unfallgeschehen und der Einflussgrösse Geschwindigkeit. Zusätzlich ergibt die Untersuchung von Lindenmann eine Zunahme der Verunfallten bei gleichzeitiger Abnahme der Geschwindigkeit, welche aber nicht quantifiziert werden kann. Auch lässt sich aus diesen Daten nicht feststellen, ob sich die Zahl der Unfälle mit Personenschäden oder mit Schwerverletzten stärker verändert. Dieser Zusammenhang wurde dagegen in den beiden Schweizer Untersuchungen deutlich hervorgebracht. Die Verunfalltenraten nahmen entweder ab oder nur geringfügig zu, während die Unfallraten zum Teil deutlich stiegen.

Somit kann der Einfluss des Geschwindigkeitsverhalten auf Autobahnen nicht wie auf anderen Strassen aufgezeigt werden. Es ist zwar eine Tendenz feststellbar, doch wird das Unfallgeschehen auf den Hochleistungsstrassen von vielen anderen sehr starken Einflussgrössen (zum Beispiel Verkehrsmengen, Spurverhalten, Baustellen, Ausrüstung) mitgeprägt.

## 4.8 Verkehrsbeeinflussung

### 4.8.1 Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisation

Siegener [53], Mangold [54] und Balz [55] befassen sich mit den Veränderungen nach der Einrichtung von Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisationen in Deutschland. Dabei ergeben sich für alle betrachteten Anlagen eine Reduktion der Unfallzahlen bei gleichzeitiger minimaler Zunahme der Fahrleistung. Die durchschnittlichen Zahlen beim Vorher-Nachher-Vergleich zeigen, dass eine deutliche Reduktion der Unfallraten, aber vor allem der Unfallraten der Unfälle mit Personenschaden zu erwarten sind (Tabelle 17).

	$U_R$	$U_R$ (PS + SS)	$U_R$ (PS)
Mittelwert	-22%	-27%	-31%
Standardabweichung	5.0%	4.7%	13.9%

Tabelle 17: Veränderung der Unfallraten durch Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisation (Auswertung der Untersuchungen von Siegenger [53], Mangold [54] und Balz [55])

Siegenger betrachtet zudem den Einfluss der Belastung (Abbildung 36). Dabei ergeben sich vor allem bei grossen Verkehrsmengen starke Abnahmen der Unfallraten, dagegen sind bei geringen Belastungen nur sehr kleine positive, zum Teil auch negative, Veränderungen zu erwarten. Bei geringem Verkehrsaufkommen können die Geschwindigkeitsanzeigen nicht nachvollzogen werden und werden nur von wenigen eingehalten, was durch die grösseren Geschwindigkeitsdifferenzen zu einem zusätzlichen Sicherheitsrisiko führen kann.

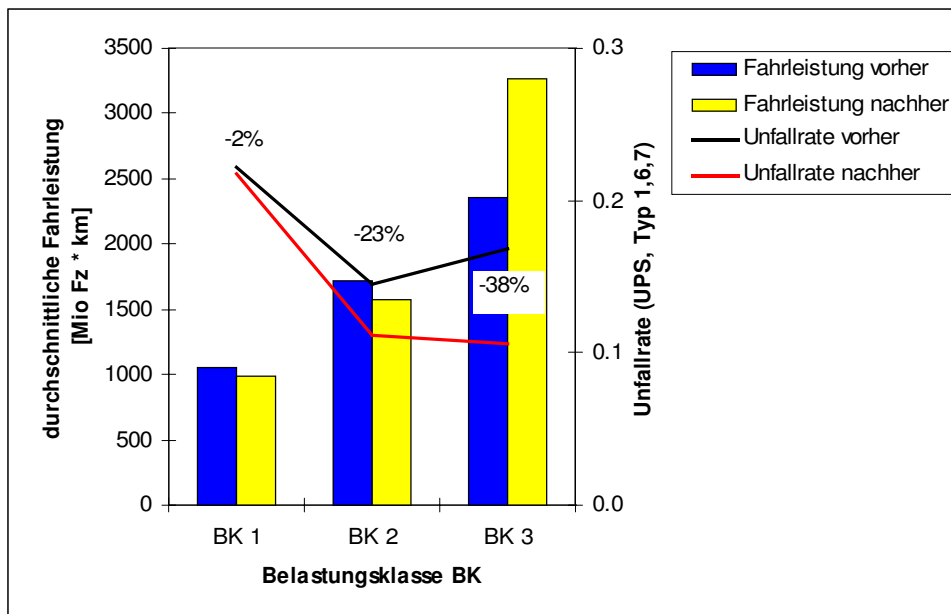


Abbildung 36: Veränderung Fahrleistung und Unfallrate (UPS) durch Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisation in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung nach Siegener [53]

Belastungsklasse nach Fahrzeugen pro Stunde

Belastungsklasse	1	2	3
2 Spuren	< 1000	1000 - 1499	> 1500
2/3 Spuren	< 1000	1000 - 1999	> 2000
3 Spuren	< 2000	2000 - 2999	> 3000

Sehr positive Werte erreichen die Verkehrsbeeinflussungssystem (VBS) bei staubedingten Unfällen, das heisst bei Auffahr- und Folgeunfällen. So gibt Siegener eine Abnahme der Unfallrate der Massenunfällen von 54% an. Auch die Unfälle bei Nebel können durch Warnanlagen deutlich gesenkt werden. Siegener erwartet für diese Unfälle sogar eine Abnahme bis zu 80%.

Aus der Schweiz liegen erst wenige Erfahrungen mit Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) vor. Eine Auswertung des Tiefbauamtes des Kantons Bern [56] untersucht die VBS Grauholz, eine andere von Jenni und Gottardi [57] die Anlage auf der A1 im Limmattal. Diese beiden Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisationssysteme zeigen die gleichen Tendenzen wie die Anlagen aus Deutschland (Tabelle 18).

	Unfälle	U <sub>R</sub>
A1 Grauholz	-20%	-30%
A1 Limmattal, Richtung Bern	-50%	k. A.
A1 Limmattal, Richtung Zürich	-40%	k. A.

Tabelle 18: Veränderung der Unfallzahlen durch VBS in der Schweiz (Tiefbauamtes des Kantons Bern [56], Jenni und Gottardi [57])

Die Zahlen aus Deutschland können für eine Abschätzung der Veränderungen der Unfallzahlen bei der Inbetriebnahme einer SBA mit Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisation in der Schweiz als Tendenzen übernommen werden. Da in Deutschland bei vielen Anlagen vorher keine Geschwindigkeitsbeschränkungen vorhanden waren, sind dort die Veränderungen positiver zu erwarten als auf Schweizer Autobahnen, wo die Geschwindigkeitsbeschränkung bei 120km/h liegt. Zudem müssen die Verkehrsbelastungen, die Unfalltypen, das heisst die Anzahl staubedingter Unfälle, und die Umweltbedingungen bei den Unfällen (z.B. Nebel) in die Betrachtung miteinbezogen werden.

#### 4.8.2 Anschlussbewirtschaftung

Eine Untersuchung von Lindenmann über das Unfallgeschehen auf stark belasteten Autobahnen [58] kommt zum Schluss, dass zur Steigerung der Verkehrssicherheit auf Hochleistungsstrassen die Konzentration auf die Anschlussstellen, speziell auf die Einfahrten, gelegt werden muss. Diese Bereiche weisen gegenüber dem gesamten Autobahnnetz der Schweiz einen deutlich erhöhten Anteil an Auffahrunfällen auf. Diese stehen im Zusammenhang mit den hohen Verkehrsbelastungen der untersuchten Strecken und dabei vor allem mit dem Spurverhalten, das heisst mit der Häufung von Fahrstreifenwechsel. Um eine Verbesserung der Unfallsituation an den Anschlussstellen zu erreichen, muss eine Optimierung des Verkehrsablaufes erreicht werden. Heute werden Regelungen der Fahrstreifenbenützung, Geschwindigkeitsbeeinflussungen und Anschlussbewirtschaftungen als Massnahmen für diese Probleme betrachtet.

Für Anschlussbewirtschaftungen liegen erst wenige Erfahrungen vor, deshalb ist es nicht möglich quantitative Einflüsse auf die Verkehrssicherheit zu erarbeiten. Von solchen Anlagen wird eine deutliche Reduktion der Unfälle, speziell der Auffahrunfälle, und der Stauhäufigkeit erwartet.

Brilon [59] zeigt Erfahrungen mit Zufahrtsteuerungen in Deutschland auf. Dabei wird eine Reduktion der schweren Unfälle von 30% bis 40% erreicht. Die Häufigkeit der Störungen kann

bis zu 50%, die Dauer der Störungen um 10% bis 20% gesenkt werden. Die Geschwindigkeit nimmt bis zu 15% zu, bei gleichzeitiger Abnahme der Varianz der Geschwindigkeit bis 40%.

Stöcker und Trupat [60] können bei ihrer Untersuchung einer Zuflussdosierung in Deutschland (A40, Bochum) aufgrund der geringen Anzahl Unfälle und überlagerten Einflüssen aus Baustellen keine Angaben der Veränderung der Unfallzahlen angeben. Tendenziell nehmen die Unfallzahlen ab. Die Betrachtung der Unfalltypen bestätigt den Einfluss der Zuflusssteuerung, da Abnahmen der Unfälle infolge unzureichendem Abstand bzw. Fehler beim Überholen und der Unfälle im Längsverkehr zu verzeichnen sind, welche dem schlechten Verkehrsablauf bei den Anschlussstellen zuzuordnen sind.

Erfahrungen aus der Schweiz sind einzig von der Rampenbewirtschaftung in Zürich-Schwamendingen auf der A1 stadtauswärts vorhanden, welche von Pitzinger [59] sowie Jenni und Gottardi [57] untersucht wurden. Dabei ergibt sich eine Reduktion der Unfallzahl von 15% und der Unfallraten von 20% von 1.47 auf 1.18 Unfälle/10<sup>6</sup> Fz \* km. Vor allem bei den Unfällen im Anschlussbereich kann eine Abnahme (-19.9%) registriert werden, aber auch auf der Autobahn auf dem Abschnitt vor der Einfahrt nimmt die Zahl der Unfälle ab (-5.6%). Die mittlere Geschwindigkeit nimmt in der Abendspitze von 71.0km/h auf 74.1km/h zu.

## 4.9 Weitere Literatur

Aus der Literatursuche sind weitere Berichte im Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit vorhanden, die Aussagen über weitere Einflussgrößen zulassen. Aus Zeitgründen musste aber eine Auswahl getroffen werden. Die für die Herleitung der Quantifizierungsmöglichkeiten nicht genutzten Untersuchungen sind in Anhang 17 aufgelistet und können für allfällige weitere Bearbeitungen eingesetzt werden.



## 5 Verkehrssicherheitsbeurteilung an einem Beispiel

Als letzter Schritt der Diplomarbeit wird der Entwurf der Norm Verkehrssicherheitsbeurteilung (siehe Abschnitt 1.1 Ausgangslage) an einem Projekt einer Knotensanierung angewendet. Zur Beurteilung der Veränderungen der Verkehrssicherheit durch die Sanierung werden die in dieser Diplomarbeit hergeleiteten Quantifizierungswerkzeuge und Zusammenhänge eingesetzt.

### 5.1 Einleitung

Beim Projekt handelt es sich um eine Sanierung des Knotens Alte Winterthurer-/Erlenholz-/Loorenstrasse in der Gemeinde Dietlikon, welcher im Jahr 2004/2005 an erster Stelle der Liste der Unfallschwerpunkte des Kantons Zürich rangierte.

Da das Projekt aus Gründen der Verkehrssicherheit realisiert wird, sollte eine Verkehrssicherheitsbeurteilung gemäss dem Normentwurf SN 640 012 durchgeführt werden.

#### 5.1.1 Projektunterlagen

- Ausgangslage / Situation
- Fotodokumentation
- Verkehrsmengen
- Geschwindigkeiten
- Kollisionsdiagramm
- Auswertung Unfallgeschehen / Unfallliste
- Auswertung Unfallgeschehen / Unfallliste (Zusammenfassung)
- Unfalltypen
- Unfalltypengrafik
- Übersichtsplan M 1:2'500
- Situationsplan M 1:500 (Definitives Projekt / Auszug)
- Situationsplan M 1:500 (IST-Zustand)

## 5.1.2 IST-Zustand

### Allgemeines

4-armiger Knoten ausserorts

Alte Winterthurerstrasse: Regionale Verbindungsstrasse

Erlenholzstrasse: Lokale Verbindungsstrasse

Loorenstrasse: Kommunale Sammelstrasse

Die Alte Winterthurerstrasse verbindet Wallisellen mit Bassersdorf. Die Querverbindung Erlenholz-/Loorenstrasse verbindet den Raum Kloten mit dem Raum Dübendorf (Abbildung 37).

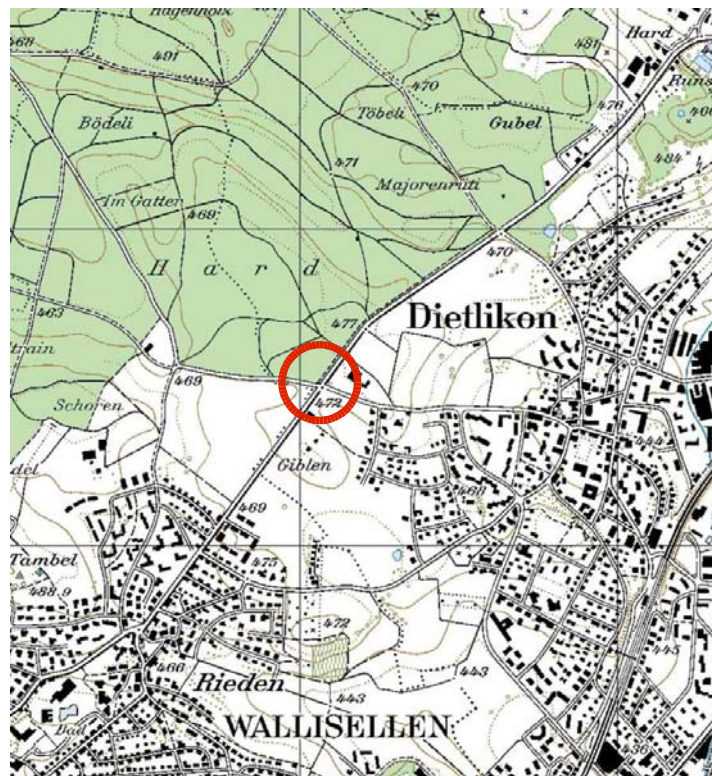


Abbildung 37: Karte der Umgebung des bearbeiteten Knoten

Ein Situationsplan des Knotens (Massstab 1:500) ist in Anhang 18 zu sehen.

### **Querschnitt**

Alte Winterthurerstrasse:	Fahrbahnbreite durchgehend 6.50m; 3% Dachgefälle
Erlenholzstrasse:	Fahrbahnbreite 4.50m, im Zufahrtsbereich Aufweitung auf 5.50m; 2.5% Dachgefälle
Loorenstrasse:	Fahrbahnbreite 6.00m; 3% Dachgefälle

Von Wallisellen her verläuft auf der linken Seite der Fahrbahn der Alten Winterthurerstrasse ein 3.00m breiter Rad-/Gehweg, welcher durch einen 2.00m breiten Grünstreifen von der Strasse abgetrennt ist.

Die notwendigen Sichtweiten (siehe Anhang 18) werden eingehalten.

### **Horizontale und vertikale Linienführung**

Alte Winterthurerstrasse:	Im Knotenbereich 2.16% Steigung Richtung Bassersdorf, Kuppe ca. 200m nach dem Knoten; Richtung Bassersdorf bis über den Knoten gestreckte Linienführung, nach 250m folgt eine Rechtskurve
Erlenholzstrasse:	mündet spitzwinklig in die Alte Winterthurerstrasse ein (ca. 70°); Abbiegeradius: 8.0m, zum „STOP“ hin leicht ansteigend
Loorenstrasse:	mündet spitzwinklig in die Alte Winterthurerstrasse ein (ca. 75°); Abbiegeradius: $R_1 = 9.0\text{m}$ , $R_2 = 6.0\text{m}$ , Einbiegeradius: 12.5m

Die Achsen der beiden Einmündungen in die Alte Winterthurerstrasse sind um 8m versetzt.

### **Fahrbahn**

Der Zustand der Fahrbahn kann als gut eingestuft werden. Es sind keine ersichtlichen Schäden oder Spurrinnen vorhanden. Im Bereich des Knotens sind nur an einem geringen Teil der Fahrbahnränder befestigte Abschlüsse vorhanden.

### **Ausrüstung**

Die Alte Winterthurerstrasse ist vortrittsberechtigt. Die beiden nicht vortrittsberechtigten Strassen (Erlenholz- und Loorenstrasse) sind mit einem „STOP“-Signal ausgestattet.

Es ist keine Knotenbeleuchtung vorhanden. Entlang der Loorenstrasse (Nordseite) befinden sich Einzelkandelaber.

## Verkehrsmengen

Die höchste Belastung wird in der Abendspitze erwartet. In Tabelle 19 sind die Verkehrsmenge einer Zählung am 21. März 2006 in der Abendspitze zu sehen.

von / nach	1	2	3	4	Summe
1		34	412	58	504
2	26		10	114	150
3	178	16		38	232
4	44	78	34		156
Summe	248	128	456	210	1'042

Tabelle 19: Verkehrsmengen Abendspitze nach Zählung 21.03.2006

- 1: Alte Winterthurerstrasse von / nach Wallisellen
- 2: Loorenstrasse
- 3: Alte Winterthurerstrasse von / nach Bassersdorf
- 4: Erlenholzstrasse

Abbildung 38 zeigt schematisch die Verkehrsmengen und die Rangfolge der Ströme.

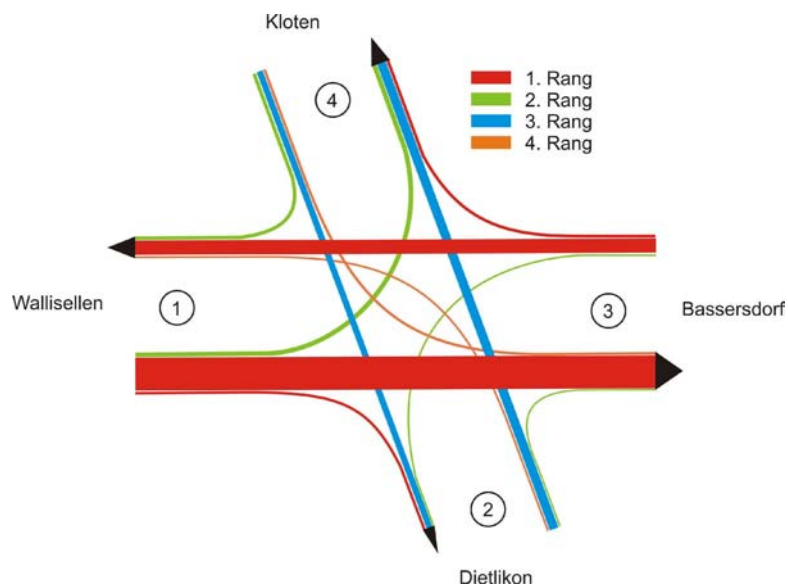


Abbildung 38: Schematische Darstellung der Verkehrsströme (Dicke der Pfeile proportional zur Verkehrsmenge)

Der Lastwagenanteil an der gesamten Verkehrsmenge wird auf 5% geschätzt.

Die Simulation der Leistungsfähigkeiten (Anhang 18) ergibt für die Linkseinbieger aus der Loorenstrasse sowie für alle drei Ströme aus der Erlenholzstrasse Qualitätsstufe E (mangelhaft). Für die Linkseinbieger aus den beiden untergeordneten Strassen ergeben sich in der Abendspitze mittlere Wartezeiten um eine Minute.

### **Geschwindigkeiten**

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt auf allen Strassen 80 km/h.

Das tatsächliche Geschwindigkeitsverhalten auf der Alten Winterthurerstrasse wurde mit je zwei Messungen an zwei Messpunkten aufgezeichnet (Tabellen 20 und 21). Messpunkt 1 (MP 1) befindet sich etwa 20m von der Kreuzung in Richtung Wallisellen entfernt. Der zweite Messpunkt (MP 2) ist um die gleiche Distanz von der Kreuzung Richtung Bassersdorf entfernt.

Messpunkt	Tag	Zeit	Geschwindigkeit
MP 1, Alte Winterthurerstrasse	Montag 12.12.2005	10:10 – 12:12 Uhr	$v_{\text{mittel}} = 70\text{km/h}$ $v_{85\%} = 81\text{km/h}$ $v_{\text{max}} = 111\text{km/h}$
MP 2, Alte Winterthurerstrasse	Montag 12.12.2005	12:25 – 14:35 Uhr	$v_{\text{mittel}} = 69\text{km/h}$ $v_{85\%} = 81\text{km/h}$ $v_{\text{max}} = 106\text{km/h}$

Tabelle 20: Geschwindigkeitsmessung in beide Richtungen

Messpunkt	Tag	Zeit	Geschwindigkeit
MP 1, Alte Winterthurerstrasse	Freitag 27.01.2006	8:45 – 10.12 Uhr	$v_{85\%} = 77.5\text{km/h}$
MP 2, Alte Winterthurerstrasse	Freitag 27.01.2006	12.18 – 14.21 Uhr	$v_{85\%} = 82.0\text{km/h}$

Tabelle 21: Geschwindigkeitsmessung Knotenzufahrt

MP 1: Richtung Bassersdorf; MP 2: Richtung Wallisellen

Das Geschwindigkeitsniveau auf der vortrittsberechtigten Alten Winterthurerstrasse liegt hoch. 85% der Fahrzeuge fahren mit einer Geschwindigkeit über der Tempolimit von

80km/h über die Kreuzung. Die Geschwindigkeit ist in Richtung Wallisellen und somit in Gefällsrichtung um ca. 5km/h höher als in die Gegenrichtung.

### **Verkehrsverhalten im Knoten**

Die „STOP“-Regelung auf den beiden nicht vortrittsberechtigten Strassen (Erlenholz- und Loorenstrasse) werden häufig missachtet und entweder mit Rollstopp oder gar nur mit einer Geschwindigkeitsabsenkung überfahren.

In allen vier Kurvenbereichen sind Fahrspuren ausserhalb der Fahrbahn vorhanden, welche zeigen, dass die Kurven oft geschnitten werden.

Die linksabbiegenden und zu grossen Teilen auch die geradeausfahrenden Fahrzeuge in der Erlenholz- und Loorenstrasse halten sehr weit links. Sie erschweren so die Einfahrt in diese Strassen. Speziell für die linksabbiegenden Fahrzeuge in die Erlenholzstrasse von Wallisellen her ergibt sich aufgrund der spitzwinkligen Einmündung ein schwieriger Abbiegevorgang.

Durch den Versatz der Erlenholz- und Loorenstrasse wird die Kreuzung der Alten Winterthurerstrasse erschwert. Die Fahrzeuge queren die Strasse nicht auf direktem Weg, sondern sie fahren eine Doppelkurve. Dadurch wird die Aufenthaltszeit im Knoten und somit in der potentiellen Kollisionszone länger.

Zusätzlich wird das gleichzeitige Linksabbiegen aus diesen beiden Strassen in die Alte Winterthurerstrasse erschwert, da nicht wie gewohnt links, sondern mit einem Bogen rechts am entgegenkommenden Auto vorbeigefahren werden muss. Der vorhandene Platz auf der Kreuzung ist für diesen Vorgang sehr knapp.

Die Velofahrer werden im IST-Zustand von Wallisellen her auf dem separaten Geh-/Radweg geführt. Im Knotenbereich müssen sie sich ins Verkehrsgeschehen einordnen.

### **Besonderheiten**

Mit dem Beginn der Sanierung der A51 („Flughafenautobahn“) im Jahr 2000 wurde ein deutlicher Anstieg der Verkehrsmengen auf der Erlenholzstrasse durch den Hardwald gemessen.

#### **5.1.3 Projekt**

Das Projekt beinhaltet die Verlängerung des Radweges über den Knoten hinaus, sowie Massnahmen um gleichzeitig den Knoten sicherer zu gestalten (Abbildung 39). Dabei wird darauf geachtet, dass der Knoten für den Verkehr nicht attraktiver gestaltet und somit kein Mehrverkehr angezogen wird.

Der bereits bestehende Rad-/Gehweg entlang der Alten Winterthurerstrasse wird mit den gleichen Abmessungen über den Knotenpunkt hinaus verlängert. Er kreuzt dabei die Erlenholzstrasse in einem Abstand von 5m zu der Stopplinie.

In der Erlenholzstrasse werden die ein- und ausfahrenden Ströme durch eine Leitinsel getrennt. Diese Insel dient den querenden Radfahrern als Mittelinsel. Die Rechtseinbieger aus der Erlenholzstrasse werden durch eine Dreiecksinsel getrennt von den übrigen Fahrzeugen geführt. Dabei ist aber nur ein Aufstellplatz für diesen Strom vorhanden.

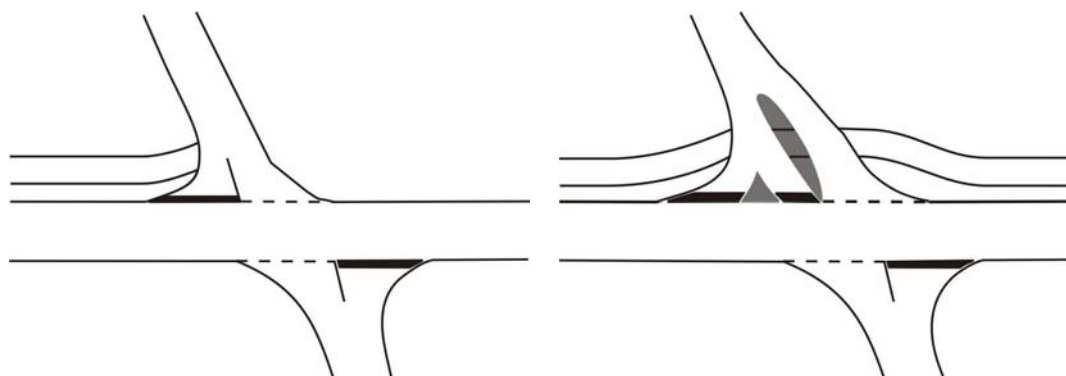


Abbildung 39: IST-Zustand (links) und Projekt Knotensanierung (rechts) schematisch

Die Abbildung 39 zeigt den IST-Zustand und das Projekt der Knotensanierung schematisch. Ein Situationsplan des Projektes ist in Anhang 8 zu sehen.

## 5.2 Voruntersuchung

### 5.2.1 Sicherheitsniveau

Im Zeitraum vom 01.01.2000 bis 31.12.2005 wurden im betrachteten Knotenpunkt insgesamt 32 Unfälle mit acht Verletzten und einem Getöteten registriert (Anhang 18).

Die Auswertung des Kollisionsdiagramms ergab vier massgebende Unfalltypen (Tabelle 22 und Abbildung 40).

Unfallgruppe	Unfalltyp	Unfallnummer aus Unfallauswertung
1	51	3, 4, 7, 8, 9, 14, 16, 30, 31
2	40	27, 32
3	51	6, 29
4	30	26, 28

Tabelle 22: Übersicht der massgebenden Unfalltypen und die dazugehörigen Unfälle (siehe Kollisionsdiagramm in Anhang 18)

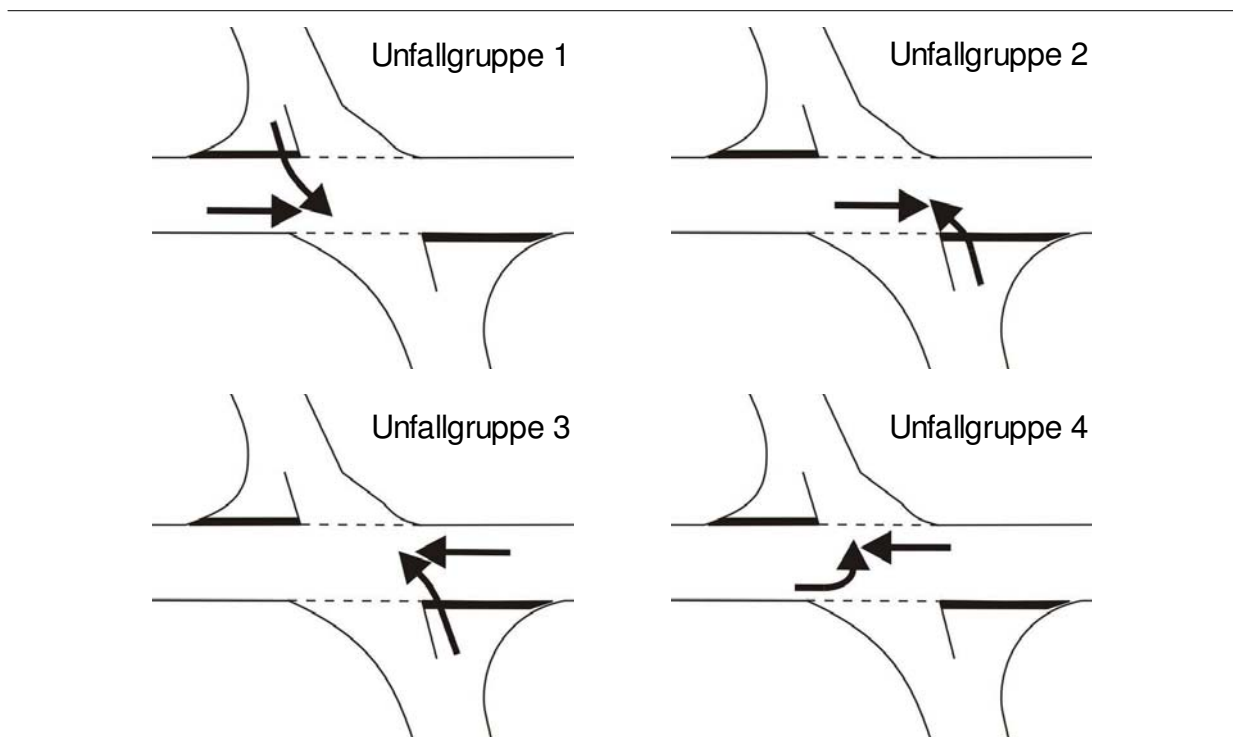


Abbildung 40: Massgebende Unfalltypen

Zur Gruppe 1 können zwei weitere Unfälle (5, 23) hinzugefügt werden. Diese sind aufgrund der gleichen Konfliktsituation entstanden, eine Kollision der beiden Fahrzeuge aber vermieden wurde, eines dabei aber einen Fahrnunfall erlitt.

Das gleiche gilt für Unfall mit Nummer 15, welcher zur Gruppe 3 hinzugefügt werden könnte, obwohl es sich dabei um einen Einbiegeunfall und nicht um einen Querungsunfall handelt, die Problematik aber dieselbe ist.



Weiter wurden auf der alten Winterthurerstrasse in Richtung Bassersdorf und auf der Loorenstrasse drei bzw. zwei Auffahrunfälle registriert, welche Folgen aus den oben dargestellten Konfliktsituationen sein dürften.

Die Unfallstatistik zeigt bei keiner der untersuchten Grössen (Wochentag, Unfallzeit, Witterung, Verkehrsverhältnisse) eine auffällige Häufung.

Um Unfallkennziffern zu berechnen und anhand diesen das Unfallniveau abzuschätzen, muss der durchschnittliche tägliche Verkehr (DTV) berechnet werden. Dieser wird mit dem massgebenden stündlichen Verkehr (MSV) und mit Hilfe von Stundenfaktoren ( $s_{MSV}$ ) [61] berechnet.

$$\text{Durchschnittlicher täglicher Verkehr} \quad DTV = \frac{MSV}{s_{MSV}} \quad [\text{Fz pro Tag}]$$

MSV: Massgebender stündlicher Verkehr [Fz/h], 30. bis 100. Jahresstunde  
Annahme: MSV = Werte aus Verkehrszählung (siehe Kapitel 5.1.2 IST-Zustand), da keine Jahreganglinie vorhanden ist

$s_{MSV}$ : Stundenfaktor, Annahme: Regionalverkehr  $\rightarrow s_{MSV} = 13\%$  des DTV

Für die Berechnung der relativen Kennzahlen des Unfallgeschehens an Kreuzungen sind die Verkehrsmengen getrennt für die Haupt- und Nebenströme (Berechnungen in Anhang 8) und die Anzahl der Unfälle bzw. Verunfallten erforderlich.

$$DTV_H = 5'415 \text{ Fz/Tag}$$

$$DTV_N = 2'600 \text{ Fz/Tag}$$

Unfälle: 32 Unfälle mit acht Verletzten und einem Getötetem in sechs Jahren.

$$U_z = \frac{U \cdot 10^6}{\sqrt{DTV_{H_i} \cdot DTV_{N_i} \cdot t}} \quad \text{und} \quad VU_z = \frac{VU \cdot 10^8}{\sqrt{DTV_{H_i} \cdot DTV_{N_i} \cdot t}}$$

$$U_z = 3.9 U \cdot 10^6 \text{ Fz}$$

$$VU_z = 110 VU \cdot 10^8 \text{ Fz}$$

Die Unfallziffer der Kreuzung liegt sehr hoch, wie das Quantifizierungswerkzeug zum Unfallgeschehen in Knoten (Abschnitt 4.6 Knoten) zeigt. Für Kreuzungen, welche durch Verkehrszeichen geregelt werden, ergibt sich eine durchschnittliche Unfallziffer von  $1.7 U \cdot 10^6 \text{ Fz}$ .

## 5.3 Hauptuntersuchung

### 5.3.1 Vergleich IST-Zustand – Projekt

Die Tabelle 23 enthält den Vergleich des IST-Zustandes mit dem Projekt.

Einflussgrössen		IST-Zustand	Projekt	Veränderung
Linienführung	Sichtweiten	Sichtweiten genügend (Richtung Bassersdorf durch ca. 200m entfernt Kuppe beschränkt)	Sicht aus Erlenholzstr. wird für Rechtseinbieger durch Autos nach links oder geradeaus und umgekehrt behindert	Schlechtere Sichtverhältnisse aus Erlenholzstrasse
Querschnitt	Rad-/Gehweg	Rad-/Gehweg auf der westlichen Seite der Alten Winterthurerstrasse vom Knoten Richtung Wallisellen vorhanden, im Knotenbereich nicht geregelte Einordnung in den Verkehrsablauf	Rad-/Gehweg auf gesamte Länge der Alten Winterthurerstrasse verlängert (einseitig)	Weniger Konflikte zwischen motorisiertem und Zweiradverkehr auf freier Strecke; zusätzlicher Zweiradverkehr und mehr Überquerungen
			Führung Rad-/Gehweg im Knotenbereich über Mittelinsel in der Erlenholzstrasse (5m zur Alten Winterthurerstrasse zurückversetzt)	Neuer grosser Konfliktpunkt durch Überquerung der Erlenholzstr. (zusätzlich schlechte Übersicht durch Zurückversetzung zur Alten Winterthurerstr.)
	Trennelemente zur Entflechtung	Keine	Leitinsel in Erlenholzstr.	Trennung ein-/ausfahrende Ströme in Erlenholzstr., aber neues Konfliktpotential durch zusätzliches Hindernis
	Fahrraumbreite	Fahrraum auf Alter Winterthurerstr. Richtung Bassersdorf auf einer Seite durch Wald begrenzt	Durch neuen Rad-/Gehweg wird der Fahrraum verbreitert	Durch breiteren Fahrraum steigt die Geschwindigkeit
Knoten	Geometrie	Versatz um 8m der Achsen der untergeordneten Strassen (lange Aufenthaltszeit beim Queren und Probleme bei gleichzeitigem Linkseinbiegen)	Durch die Verbreiterung der Erlenholzstrasse im Knotenbereich verschiebt sich die Geradeaus- und Linkseinbiegerspur nach links, Versatz noch 5m	Verkürzter Weg im Knotenbereich beim Queren durch die Verschiebung in der Erlenholzstrasse nach links
		Schiefwinklige Einmündungen der Erlenholz- und Loorenstr.	Schiefwinklige Einmündungen der Erlenholz- und Loorenstr.	Keine
	Leistungsfähigkeit	Sehr lange Wartezeiten für Linkseinbieger	Keine Veränderung der Leistungsfähigkeit	Keine
	Fahrbahnaufteilung	Keine Massnahmen	Kanalisierung durch Mittelinsel in der Erlenholzstr., Abtrennung Rechtseinbieger durch Dreiecksinsel	Konfliktfläche bleibt gleich gross

Tabelle 23: Vergleich IST-Zustand – Projekt

Die Leistungsfähigkeit verändert sich nicht, da die Verkehrsmenge der Rechtseinbieger aus der Erlenholzstrasse zu gering ist, damit die getrennte Führung eine Verbesserung zur Folge hätte.

Eine Gegenüberstellung der Konfliktflächen des IST- und des Projekt-Zustandes ist in Anhang 18 enthalten.

### **5.3.2 Vergleich Projekt – Normen / Richtwerte / Empfehlungen**

Die Veränderungen im Strassenraum durch das Projekt für die Knotensanierung werden mit den Normen ([62], [63], [16], [64], [65]) und Empfehlungen verglichen. Diese Vergleiche und die Abweichungen sind in Tabelle 24 enthalten. Wenn nicht anders vermerkt, beziehen sich die Veränderungen auf die Erlenholzstrasse.

Einflussgrössen		Projekt	Normen / Empfehlungen	Abweichung
Linienführung	Sichtweiten	Sichtfeld für Rechtseinbieger durch Autos nach links oder geradeaus und umgekehrt behindert	Sichtfeld von allen Hindernissen frei zu halten	ja
	Radien	Rechtseinbieger: R = 8.0m Rechtsabbieger: R = 9.0m	$R_{\min} = 6.0\text{m}$ (einfacher Kreisbogen auf untergeordneten Strassen)	nein
Querschnitt	Fahrstreifen	Aufteilung siehe Anhang 8: Breite 1: 4.00m Breite 2: 3.30m Breite 3: 3.00m Breite 4: 4.00m	Breiten alle i.O.	nein
	Rad-/Gehweg	Breite: 3.00m	Begegnungsfall FR/FR/FG ergibt eine Breite von 3.0m (ohne Zuschläge FG, da Begegnungsfall sehr selten)	nein
	Grünstreifen	Breite: 2.00m	Min. Breite damit Anpflanzung möglich = 1m (Erfahrungswert)	nein
	Trennelement	Breite: 2.25m Länge: 13.00m Gestaltung: Nur die Abbieger in die Erlenholzstrasse werden durch die Insel abgelenkt, die Zufahrt zum Knoten in der Erlenholzstr. verläuft gerade	Min. Breite: 2.50m min. Länge: 4.50m Gestaltung: nach Norm SN 640 262, beide Fahrstreifen (ein- und ausfahrende Ströme) müssen abgelenkt werden	ja
Knoten	Geometrie	5.5m Versatz gegenüber Loo- renstrasse	Kein Versatz	ja
		Schiefwinklige Einmündung	Knotenäste rechtwinklig	ja
		Insel für Rechtsabbiegen ohne Vorsortierung	Nur in Ausnahmefällen	ja
		Rad-/Gehweg deutlich abge- setzt, vortrittsbelastet	Anwendung abgesetzter, vor- trittsbelasteter Querung nur in Ausnahmefall (erheblicher Ver- kehr) Normalfall: Radweg entlang vor- trittsberechtigter Strasse wird im Knotenbereich vortrittsberechtigt und nicht oder nur leicht (max. 2m) abgesetzt	ja

Tabelle 24: Vergleich Projekt – Normen

Die Herleitung der notwendigen Sichtweite ist in Anhang 18 zu finden.

## 5.4 Beurteilung und Quantifizierung der Auswirkungen

### 5.4.1 Übersicht der Auswirkungen

Durch die Knotensanierung ergeben sich folgende Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit:

Positive Auswirkungen:

- weniger Konflikte zwischen Zweiradfahrern und motorisiertem Verkehr auf freier Strecke
- Trennung ein- und ausfahrende Ströme in Erlenholzstrasse
- Versatz um 3m verkleinert, somit verkürzter Querungsweg von Looren- in Erlenholzstrasse und umgekehrt

Negative Auswirkungen:

- zusätzliches Konfliktpotential durch Radwegführung im Knoten
- Sichtbehinderung beim Linkseinbiegen und Queren aus Erlenholzstrasse durch wartenden Rechtseinbieger und umgekehrt
- zu hohe Geschwindigkeiten bei Knotenzufahrt in Erlenholzstrasse, da keine Ablenkung durch Insel stattfindet
- zusätzliches Konfliktpotential durch Hindernisse im Strassenraum (Trenn- und Dreiecksinsel)
- erhöhte Geschwindigkeit auf der Alten Winterthurerstrasse im Bereich des neuen Radweges aufgrund der zusätzlichen optischen Breite

Zusätzlich existieren Probleme im IST-Zustand, welche durch das Projekt nicht entfernt werden:

- schiefwinklige Einmündungen der Erlenholz- und Loorenstrasse in die Alte Winterthurerstrasse
- Versatz der beiden untergeordneten Strassen wird zwar von 8m auf 5m verkleinert, bleibt aber bestehen

### 5.4.2 Quantifizierung der Auswirkungen

Eine Quantifizierung des Einflusses der Veränderungen durch die Knotensanierung auf die Verkehrssicherheit mit Hilfe der in der Diplomarbeit hergeleiteten Werkzeuge kann bei der Führung des Fahrradverkehrs, der optischen Breite und bei der Knotenform vorgenommen werden.

#### ***Führung Fahrradverkehr***

Die Auswertungen der Führung des Fahrradverkehrs auf Strassen ausserorts (Kapitel 4.3.1 Zusätzliche Streifen) ergibt eine deutliche Reduktion der Unfälle auf freier Strecke, gleichzei-

tig aber eine enorme Erhöhung der Unfälle im Knotenbereich durch die Anordnung eines einseitigen Rad-/Gehwegs.

Die hergeleitete Quantifizierungsmöglichkeit ergibt folgende Veränderungen durch die Anordnung eines einseitigen Radweges gegenüber einem Zustand, bei welchem keine Führung vorhanden ist:

Alle Unfälle:	keine Veränderungen
Streckenunfälle:	-40% Unfälle pro $10^6$ Überholungen
Knotenunfälle:	+132% Unfälle pro $10^6$ Überholungen

Um eine genaue Voraussage des zukünftigen Unfallgeschehens der Zweiradfahrer vornehmen zu können, müsste eine genaue Untersuchung des bisherigen Unfallgeschehens von Fahrradfahrern im Knoten und auf der angrenzenden freien Strecke, sowie Angaben zur Verkehrsmenge des Zweiradverkehrs heute und Prognosen über den zusätzlich angezogenen Neuverkehr vorliegen. Die Zahlen oben können aber als Veränderungen des Unfallrisikos herangezogen werden. So kann man deutlich aufzeigen, dass durch den neu angelegten Radweg sicher keine Verbesserungen zu erwarten sind, da der Anteil auf freier Strecke gering ist und so der negative Einfluss der Knotenunfälle überwiegen dürfte.

### **Optische Breite**

Durch die Verlängerung des Rad-/Gehwegs wird die optische Breite der Alten Winterthurerstrasse vom Knoten gegen Bassersdorf um 5m (2m Grünstreifen + 3m Rad-/Gehweg) verbreitert. Diese Verbreiterung lässt eine höhere Geschwindigkeit erwarten (siehe Abschnitt 4.3.2 Fahrbahnbreite). Ein Quantifizierungswerkzeug liegt aber nur für Strassen innerorts vor, wobei dieses auch nur auf einer Untersuchung basiert. Trotzdem wird dieses Werkzeug zur Hilfe genommen, die ermittelte Erhöhung der Geschwindigkeit kann aber nur als Tendenz angesehen werden.

Die Literaturlauswertung ergibt folgenden Zusammenhang:

$$v_{85} = 41.49 + 0.56 \cdot B_{opt}$$

Da es sich um einen linearen Zusammenhang handelt, kann aufgrund der zusätzlichen Breite auf die Erhöhung der Geschwindigkeit geschlossen werden, ohne dass die totale optische Breite bestimmt werden muss. Somit ergibt sich für eine zusätzliche optische Breite von 5m eine Erhöhung von  $v_{85\%}$  um 2.8km/h.

Um eine Abschätzung über den Einfluss dieser Geschwindigkeitserhöhung auf das Unfallgeschehen vornehmen zu können, wird das hergeleitete Quantifizierungswerkzeug des Geschwindigkeitsverhalten auf Strassen ausserorts angewendet (siehe Abschnitt 4.7.1 Ge-

schwindigkeitsverhalten). Dieses setzt die Veränderung der mittleren Geschwindigkeit in Beziehung mit der Veränderung der Unfälle mit Personenschäden.

Da das Quantifizierungswerkzeug mit der Veränderung der mittleren Geschwindigkeit arbeitet, muss die ermittelte Zunahme von  $v_{85\%}$  umgerechnet werden. Die Literaturlauswertung zu dieser Einflussgrösse ergibt, dass die Veränderung von  $v_{85\%}$  um etwa einen Drittel höher liegt als  $v_m$ . Mit dieser Annahme beträgt die Veränderung der mittleren Geschwindigkeit durch die Fahrtraumbreite 2km/h.

Das Quantifizierungswerkzeug gibt folgenden Zusammenhang an:

$$\Delta UPS = 0.0008x^2 + 0.0277x$$

Somit ergibt sich für eine Erhöhung der mittleren Geschwindigkeit um 2km/h eine Erhöhung der Unfälle mit Personenschaden um 5.5%.

Das angewendete Quantifizierungswerkzeug für die Bestimmung der Veränderung der Geschwindigkeit basiert auf einer Untersuchung auf Strassen innerorts. Daher kann dieser Wert nicht einfach auf Strassen ausserorts übernommen werden. Er wird hier aber trotzdem als Tendenz angesehen. Mit der Annahme, dass der Einfluss auf Strassen ausserorts etwas geringer ist und eine Veränderung von  $v_m$  von 1km/h erwartet wird, resultiert immer noch eine Zunahme der Unfälle mit Personenschaden von 2.8%.

Diese Auswertungen des Einflusses der Vergrösserung der optischen Breite auf das Unfallgeschehen macht deutlich, dass eine kleine Erhöhung des Geschwindigkeitsniveaus erwartet werden muss. Durch diesen, auch nur geringfügigen, Anstieg muss mit einem erhöhten Unfallvorkommen gerechnet werden. Der Anstieg der Unfälle mit Personenschäden liegt zwischen 2% und 6%.

### **Knotenform**

Als Quantifizierungswerkzeug für Knotenformen sind durchschnittliche Unfallziffern vorhanden (Kapital 4.6.1 Knotengrundformen). Dabei ergibt sich für Kreuzungen mit Vorfahrtregelung durch Verkehrszeichen eine mittlere Unfallziffer von 1.7 Unfällen pro  $10^6$  Fahrzeugen.

Die in Kapitel 5.2.1 Sicherheitsniveau berechnete Unfallziffer von 3.9 Unfällen pro  $10^6$  Fahrzeugen des betrachteten Knotens zeigt deutlich auf, dass ein stark erhöhtes Unfallgeschehen vorliegt.

Mit der Annahme, durch eine normkonforme Gestaltung eines Knotens wird eine durchschnittliche Unfallziffer erreicht, kann davon ausgegangen werden, dass am betrachteten

Knoten mit einer Anpassung an die Normen eine deutliche Verbesserung der Verkehrssicherheit möglich ist. Mit einer Senkung auf die durchschnittliche Unfallziffer würde gar eine Halbierung der Anzahl Unfälle stattfinden. Die Anpassungen betreffen somit Abweichungen gegenüber den Normen bei der Geometrie (Einmündungswinkel und Versatz), welche schon im IST-Zustand vorhanden sind. Zusätzlich dürfen keine neuen Abweichungen entstehen. Dies bedeutet, dass die Probleme mit der Sichtweite und der Radwegführung im Projekt behoben werden müssten, um eine durchschnittliche und somit deutlich tiefere Unfallziffer zu erreichen.

## 5.5 Abschliessende Beurteilung

Durch den neuen Radweg ergeben sich für die Radfahrer einerseits verbesserte Verhältnisse auf der freien Strecke. Dagegen entsteht aber ein grosser Konfliktpunkt im Knoten. Gesamthaft kann keine Verbesserung der Sicherheit für die Fahrradfahrer erwartet werden.

Die Konfliktfläche des Knotens wird trotz der Kanalisierungsmassnahme nicht kleiner, da der Versatz und die schiefwinkligen Einmündungen weiterhin vorhanden sind. Dadurch ergibt sich keine Verbesserung der Verkehrssicherheit im Knoten.

Die Abtrennung der Rechtseinbieger in der Erlenholzstrasse durch eine Dreiecksinsel bringt keine Verbesserung der Leistungsfähigkeit, da dort nur ein geringer Verkehrsstrom vorhanden ist und nur ein Auto aufgestellt werden kann. So bringt diese neue Verkehrsführung keine Verbesserung des Verkehrsablaufs, es entsteht aber ein neues Problem mit der Sicht und die Insel stellt ein zusätzliches Hindernis im Fahrraum dar.

Durch die Verbreiterung des Fahrraumes muss zudem mit einer erhöhten Geschwindigkeit gerechnet werden, was zu einer Zunahme der Unfälle führt.

Abschliessend muss gesagt werden, dass die negativen Einflüsse des Projektes die positiven überwiegen dürften. Gesamthaft kann demnach keine Verbesserung der Verkehrssicherheit erwartet werden. Eine Verbesserung kann nur erreicht werden, wenn die entscheidende Problematik des IST-Zustandes, das heisst die grosse Konfliktfläche durch den Versatz und die schiefwinkligen Einmündungen, verändert wird. Zudem muss darauf geachtet werden, dass keine neuen Probleme, wie die Führung des Radweges im Knoten und die Verschlechterung der Sichtweiten, entstehen. Der Radweg muss vortrittsberechtigt mit keiner oder mit einer kleinen (bis 0.3m) Rückversetzung durch den Knoten geführt werden. Zusätzlich muss eine genügende Signalisation dieses Radweges vorhanden sein, damit der Vortritt für die Abbiegenden Fahrzeuge sichtbar wird. Dadurch können die negativen Einflüsse des Radweges im Knotenbereich etwas verringert werden, so dass gesamthaft eine Verbesserung der Situation für den Fahrradverkehr entsteht.



## 6 Schlussfolgerung

Die Literaturrecherche im Rahmen der Diplomarbeit ergibt zwar eine grosse Menge an vorhandenen Untersuchungen im Bereich der Verkehrssicherheit, welche sich mit den verschiedenen Einflussgrössen befassen. Doch sind die Datengrundlagen zum Teil gering oder bei der Auswertung wurden keine detaillierten Unfallauswertungen vorgenommen. Und wenn solche Untersuchungen erstellt wurden, unterscheiden sich diese immer wieder bei den betrachteten Unfallkenngrössen. Diese Probleme erschweren die Herleitung, der für die Verkehrssicherheitsbeurteilung notwendigen Quantifizierungsmöglichkeiten.

Aus den oben genannten Gründen können nur einige Zusammenhänge hergeleitet werden, welche auf mehreren Untersuchungen abgestützt und darum als gesichert angenommen werden können. Weiter können aber zu zahlreichen Einflussgrössen Abhängigkeiten aufgezeigt werden, welche nur auf wenigen Untersuchungen basieren und dadurch nur mit der notwendigen Vorsicht eingesetzt werden dürfen. Zu einigen Zusammenhängen können nur qualitative Aussagen gemacht werden, welche aber Tendenzen aufzeigen.

Die Anwendung des Normentwurfs Verkehrssicherheit als letzter Teil der Diplomarbeit zeigt deutlich auf, dass eine Quantifizierung der Veränderungen der Verkehrssicherheit aufgrund von Veränderungen der Anlage oder des Verkehrsablauf nur möglich ist, wenn für alle wichtigen Einflussgrössen gute Zusammenhänge vorhanden sind. Denn nur wenn genau für die im Projekt vorhandenen Veränderungen auch Quantifizierungshilfsmittel vorhanden sind, ist eine zahlenmässige Abschätzung des zukünftigen Unfallgeschehens möglich.

Im Weiteren muss für eine Beurteilung der zukünftigen Verkehrssicherheit eine genaue Unfallauswertung, inklusive der Verteilung der Unfalltypen und Angaben über Verkehrsmengen, je nach Projekt auch des Zweirad- und Fussgängeraufkommen, über einen langen Zeitraum vorhanden sein. Nur mit diesen Angaben kann das vorhandene Unfallniveau abgeschätzt und festgestellt werden, wo Probleme vorliegen. Denn nur wenn die Massnahmen zur Verbesserung der wirklichen Probleme geeignet sind, wird eine Erhöhung der Verkehrssicherheit erreicht.

Falls bei einem Projekt für mehrere veränderte Einflussgrössen Quantifizierungshilfsmittel vorhanden sind, muss abgeschätzt werden, welche den entscheidenden Einfluss haben. Die Veränderungen können nicht einfach zusammengezählt und so eine totale Ab- oder Zunahme der Unfallzahlen prognostiziert werden. Ansonsten können sich die Effekte überlagern, was zu einer zu positiven oder negativen Vorhersage führt. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass diese Beurteilung mit grosser Vorsicht und nur von erfahrenen Ingenieuren ausgeführt

wird. Zusätzlich muss das ermittelte Unfallgeschehen mit ähnlichen vorhandenen Strassen oder Knoten verglichen werden, um so die Plausibilität zu überprüfen.

Abschliessend kann gesagt werden, dass mit den Werkzeugen ein erster Schritt für die quantifizierte Beurteilung der Verkehrssicherheit unternommen wurde. Um diese Beurteilung aber für viele Projekte zu ermöglichen müssen die bereits ermittelten Zusammenhänge mit weiteren Literaturlauswertungen und neuen Studien verfeinert werden. Zudem müssen zusätzliche Quantifizierungshilfsmittel hergeleitet werden um möglichst alle Einflussgrössen abzudecken. Somit wird es ermöglicht eine grosse Anzahl Projekte einer genauen Verkehrssicherheitsbeurteilung zu unterziehen und eine quantitative Aussage über das zukünftige Unfallgeschehen vorzunehmen.

## 7 Dank

Mein herzlicher Dank geht an Professor Hans Peter Lindenmann für die gute Leitung der Diplomarbeit. Ein spezieller Dank richtet sich an Frau Marion Doerfel, die meine Arbeit betreute und mich unterstützte. Ein Dankeschön möchte ich auch an Herrn Christian Grau für die Korrektur des Berichtes aussprechen.

## 8 Literatur- und Quellenverzeichnis

### Quellenverzeichnis

- [1] LINDENMANN HP., DOERFEL M.: "Verkehrssicherheitsbeurteilung (VBS) (Safety Audit)"; IVT - ETHZ Zürich, Fonds für Verkehrssicherheit FVS; Dezember 2002
- [2] VSS-Normentwurf: "Verkehrssicherheitsbeurteilung"; SN 640 012; VSS FK3; 2006
- [3] SPACEK P.: "Verkehrsauswirkungen, Teil 2: Sicherheit von Verkehrsanlagen"; Vorlesungsunterlagen IVT ETH Zürich; April 2005
- [4] SCHWEIZERISCHE BERATUNGSSTELLE FÜR UNFALLVERHÜTUNG bfu: "Unfallstatistik/Unfallraten"; 1997
- [5] SCHWEIZERISCHE BERATUNGSSTELLE FÜR UNFALLVERHÜTUNG bfu: "Unfallstatistik/Unfallraten"; 2003
- [6] BUNDESAMT FÜR STRASSEN: „Substanzerhaltung der Nationalstrassenwerke, Schlussbericht der Arbeitsgruppe“; 1998
- [7] [www.baselland.ch/docs/parl-ik/vorlagen/1998/v064/1998-064\\_4.htm](http://www.baselland.ch/docs/parl-ik/vorlagen/1998/v064/1998-064_4.htm)
- [8] TAUBMANN A: "Unfallgeschehen innerhalb bebauter Gebiete in Abhängigkeit von Strassen- und Verkehrsbedingungen"; Institut für Strassenbau und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH), Heft 34; 1987
- [9] ELVIK R., VAA T.: "The handbook of road safety measures"; Oslo, 2004
- [10] LAMM R.: "Fahrodynamik und Streckencharakteristik, Ein Beitrag zum Entwurf von Strassen unter besonderer Berücksichtigung der Geschwindigkeit"; Institut für Strassenbau und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe; 1973
- [11] SPACEK P.: "Quergefälle in Geraden und Kurven"; Forschungsauftrag 22/79; UVEK; Zürich, 1987
- [12] WALTER E., CAVEGN M., ALLENBACH R., SCARAMUZZA G.: "Fahrradverkehr - Unfallgeschehen, Risikofaktoren und Prävention"; Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung; Bern, 2005
- [13] KOEHLER R., LEUTWEIN B.: "Einfluss auf die Verkehrssicherheit, Band 1, Untersuchungen von Ausserortsunfällen"; Bericht der Bundesanstalt für Strassenwesen, Bereich Unfallforschung; Köln, 1981
- [14] KNOCH G.: "Einfluss auf die Verkehrssicherheit, Band 2, Radfahrerunfälle auf Stadtstrassen"; Bericht der Bundesanstalt für Strassenwesen, Bereich Unfallforschung; Köln, 1981

- [15] PFUNDT, ALRUTZ, HÜLSEN: "Radverkehrsanlagen"; Empfehlungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Nr. 3; Köln 1982
- [16] VSS-NORM: "Knoten, Führung des leichten Zweiradverkehrs"; SN 640 252; VSS; 1999
- [17] MAIER R., MEEWES V.: "Fahrbahnbreite und Geschwindigkeitsverhalten"; Strassenverkehrstechnik, Heft 2/1990
- [18] WOLF R.: "Einfluss der Strassenbreite auf das Geschwindigkeitsverhalten in Wohnstrassen"; Diplomarbeit am Lehrstuhl für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum; 1979
- [19] TOPP H. H., VON MÖRNER H., MÜLLER P., SIEVERTS T., STACHOWITZ J.: "Umfeldverträgliche Verkehrsbelastbarkeit innerörtlicher Strassen"; Bonn, Darmstadt, Kaiserslautern; 1985
- [20] LINDENMANN HP., ZUBERBÜHLER R.: "Geschwindigkeitsniveaus auf verschiedenen Strassentypen"; IVT ETH Zürich; 1993
- [21] VON MÖRNER J.: "Geschwindigkeitsverhalten von Autofahrern"; Strassen und Tiefbau, Sonderdruck aus Heft 7/8 1984; Technische Hochschule Darmstadt
- [22] ROAD DIRECORATE, MINISTRY OF TRANSPORT - DENMARK: "Manual of Road Safety Audit"; 2<sup>nd</sup> edition; 1997
- [23] SCHULZE KH., DAMES J., LANGE H.: "Untersuchungen über die Verkehrssicherheit bei Nässe"; Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 189; Bonn, 1975
- [24] MAYER G., VAN DER SLUIS S., STEINAUER B.: "Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen, Teil 2"; Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik; Bonn, 2002
- [25] LINDENMANN H.P., SEILER-SCHERER L.: "Anforderung an die Fahrbahngriffigkeit"; Forschungsauftrag VSS 2000/360; Entwurf 01.2005
- [26] SCHNÜLL R., HANDKE N., SEITZ K.: "Sicherheitseffektivität ausgewählter Strassenbaumassnahmen im Lande Brandenburg"; Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Strassenbau, Heft S 16; 1997
- [27] SCHWEIZERISCHE BERATUNGSSTELLE FÜR UNFALLVERHÜTUNG: "Einfluss der Anzahl von Fussgängerstreifen auf das Unfalgeschehen mit Fussgänger"; 1983
- [28] SCARAMUZZA G., EWERT U.: "Sicherheitstechnische Analyse von Fussgängerstreifen, Empfehlungen zu Bau und Betrieb"; Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung; Bern 1997
- [29] LINDENMANN HP., RIEDEL H., THOMA J.: "Fussgänger-Lichtsignalen"; IVT ETH Zürich/TBA Basel-Landschaft; 1987
- [30] WEBER R., WEISSERT M.: "Sicherheitsaspekte bei Fussgängerübergängen"; Verkehrstechnische Abteilung der Kantonspolizei Zürich, Heft VTA No. 26; 1997

- [31] MEEWES V.: "Sicherheit von Landstrassen-Knotenpunkten"; Strassenverkehrstechnik 4 und 5 2003; 2003
- [32] PFLEGER E.: "Sanierung von Unfallschwerpunkten unter besonderer Berücksichtigung der Fussgänger"; Institut für Geotechnik und Verkehrswesen, Boku Wien, Heft 13; Wien, 1986
- [33] KÖLLE M., SCHNÜLL R.: "Sicherheitseigenschaften ausserörtlicher Knotenpunkte"; Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 67; 1999
- [34] BRILON W., BÄUMER H.: "Überprüfung von Kreisverkehren mit zweistreifig markierter oder einstreifig markierter, aber zweistreifig befahrbarer Kreisfahrbahn"; Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 876; Bonn, 2004
- [35] HUBER A., BÜHLMANN F.: "Sicherheit von Kreisverkehrsanlagen, Erfahrungen und vorläufige Empfehlungen"; Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung; Bern, 1994
- [36] MARX E.: "Wirtschaftlichkeit von Kreisverkehrsanlagen als Einsatzkriterium"; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Heft 519; Wien, 2002
- [37] BÜHLMANN F., SPACEK P.: "Unfallgeschehen und Geometrie der Kreiselanlagen"; Forschungsauftrag 17/93 der VSS; UVEK; Zürich, 1997
- [38] LINDENMANN HP., KOY T.: "Beurteilung der Auswirkungen von Zonensignalisationen (Tempo 30) in Wohngebieten auf die Verkehrssicherheit"; IVT - ETHZ Zürich; März 2000
- [39] LINDENMANN HP., THOMA J.: "Zonensignalisation in Wohngebieten (Tempo 30) – Pilotstudie Stadt Bern"; IVT - ETH Zürich / bfu Bern; Dezember 1991
- [40] HELEN P., HUBER CH. A., SCARAMUZZA G., THOMA J.: "Zonensignalisation: Tempo 30, Vorläufige Empfehlungen"; Dokumentation bfu; Bern 1990
- [41] ADAC: "Tempo 30, Low-Cost-Massnahmen für die Praxis"; München, 1995
- [42] BEHRENDT J. et al: "Erfahrungsbericht über Zonen-Geschwindigkeitsbeschränkungen"; Bundesanstalt für Strassenwesen, Bereich Unfallforschung; Bergisch Gladbach, 1989
- [43] VERBAND DER AUTOVERSICHERER (HUK): "Tempo 30 - Zonen, Auswahl und Einrichtung", Empfehlungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Nr. 8; Köln, 1990
- [44] MÜLLER P., SCHLEICHER-JESTER F., TOPP H. H.: "Bilanz zu Tempo 30 - Expertise über Auswirkungen auf Städtebau und Verkehr"; Kaiserslautern, 1988
- [45] ARBEITSGRUPPE VERKEHRSSICHERHEIT: "Versuch Tempo 50, Schlussbericht"; 1983
- [46] STADTPOLIZEI ZÜRICH, ABTEILUNG VERKEHR: "Versuch Tempo 50, Satellit Stadt Zürich, Schlussbericht"; Zürich 1982

- [47] GEMEINDERAT DER STADT BERN: "Tempo 30 innerorts, Satellitenversuch der Stadt Bern, Schlussbericht"; Bern 1982
- [48] VERBAND DER AUTOVERSICHERER (HUK): "Ortsdurchfahrten – Verbesserung der Verkehrssicherheit", Empfehlungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Nr. 31; Köln, 1991
- [49] BRÜDE U., HEDMAN K., LARSSON J., THURESSON L.: "Speed - a sensitive matter for drivers"; Nordic Road and Transport Research No. 1/1999
- [50] TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND: "Speed can endanger your health"; Nordic Road and Transport Research No. 2/1997
- [51] DIETRICH K., LINDENMANN HP., HEHLEN P., THOMA J.: "Auswirkungen von Tempo 80/100 auf die Verkehrssicherheit", Schlussbericht; IVT ETH Zürich / bfu; 1988
- [52] LINDENMANN HP., THOMA J., ZUBERBÜHLER R.: "Tempo 80/100, Ergänzungsuntersuchungen", Schlussbericht; IVT ETH Zürich / bfu; 1993
- [53] SIEGENER, TRÄGER, MARTIN, BECK: "Unfallgeschehen im Bereich von SBA unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbelastung"; Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 787; 2000
- [54] MANGOLD M., TRÄGER K., LINDENBACH A.: "Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Umfelddatenerfassung"; Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 729; Bonn 1996
- [55] BALZ W.: "Wirkung kollektiver Verkehrsbeeinflussungsanlagen"; Strassenverkehrstechnik Heft 7/1995
- [56] TIEFBAUAMT KANTON BERN: "N1 VBS Grauholz, Wirksamkeitsanalyse"; 1998
- [57] JENNI UND GOTTARDI AG, BERATENDE INGENIEURE: "Einsatzmöglichkeiten und Wirksamkeit von Verkehrssystemmanagement-Massnahmen in der Schweiz; Forschungsauftrag 19/96; UVEK; Zürich, 1998
- [58] LINDENMANN HP., WEBER R., RANFT B., CHABOT-ZHANG Y.: "Unfallgeschehen auf stark belasteten Autobahnen"; IVT ETH Zürich / VTA Kantonspolizei Zürich; 2000
- [59] IVT ETHZ: "Verkehrssysteme"; Zusammenstellung Referate; Tagung an der ETH Zürich 23. Januar 2001
- [60] STÖCKER K., TRUPAT S.: "Der Einfluss einer Zuflussregelung an Anschlussstellen auf die Verbesserung des Verkehrsflusses auf der Autobahn"; Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 802; Bonn 2001
- [61] LINDENMANN HP., SPACEK P.: "Verkehr II, Teil Individualverkehr"; Vorlesungsunterlagen; März 2002
- [62] VSS-NORM: "Knoten, Grundlagenorm"; SN 640 250; VSS; 1998
- [63] VSS-NORM: "Knoten, Knotenelemente"; SN 640 251; VSS; 1997

- [64] VSS-NORM: "Knoten, Knoten in einer Ebene (ohne Kreisverkehr)"; SN 640 262; VSS; 1999
- [65] VSS-NORM: "Knoten, Sichtverhältnisse"; SN 640 273; VSS; 1992

## Literaturverzeichnis

- BÜRGLER ST., LINDENMANN HP.: "Ausgeweitete Radstreifen bei lichtsignalgesteuerten Knoten"; IVT ETH Zürich; 1981
- BRANNOLTE U. et al: "Sicherheitsbewertung von Querschnitten ausserörtlicher Strassen"; Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 5; 1993
- BÜHLMANN F., LAUBE M., AEPPLI K.: "Verkehrsbeeinflussung an Kreiseln"; Forschungsauftrag 1998/193 der VSS; UVEK; 2005
- EIDGENÖSSISCHE POILZEIABTEILUNG: "Verkehrsgeschehen auf Autobahnen"; Bern, 1977
- FSGV: "Hinweis zur Methodik der Untersuchung von Strassenverkehrsunfällen"; Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit; Bergisch Gladbach, 1990
- FÜSSER K., JACOBS A., STEINBRECHER J.: "Sicherheitsbewertung von Querungshilfen für den Fussgängerverkehr"; Verkehrssicherheit"; Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 4; 1993
- HERZ G., MATIG J., RODE P., SURKAMP H.: "Gussasphaltdeckschichten im Strassenbau"; Strasse + Autobahn 1.2003
- KAMPLADE J.: "Anforderungen an die Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen – Griffigkeit und Verkehrssicherheit"; Strasse und Autobahn 3/95
- KANTON BASEL-LANDSCHAFT: "Dokumentation Pilotprojekte Tempo 30 in Baselland";1990
- LINDENMANN HP., SPACEK P.: "Verkehrsbeeinflussungssysteme"; Vorlesungsunterlagen; April 2005
- MENNICKE C.: "Sicherheits- und Einsatzkriterien für Fussgängerüberwege";Institut für Verkehrswirtschaft, Strassenwesen und Städtebau, Universität Hannover; 1999
- NADLER B.: "Analyse der Wirkung von Streckenbeeinflussungsanlagen auf die Verkehrssicherheit im Autobahnnetz"; IVS TU Wien; 2004
- NETER J., KUTNER M. H., NACHTSHEIM Chr., WASSERMAN W.: "Applied Linear Statistical Models"; WCB/McGraw-Hill, USA



- OGDEN K.W.: "Safer Roads, A Guide to Road Safety Engineering"; Great Britain;1996
- PALM I., SCHMIDT G.: "Querschnittsbreiten einbahniger Ausserortsstrassen und Verkehrssicherheit"; Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 64; 1999
- ROBERT-GRANDPIERRE A., KAITANEN S., THALMAN L., VOGT S.: "Signalisation variable"; Forschungsauftrag 1998/184 der VSS; UVEK; 2005
- SACHS L.: "Angewandte Statistik / Anwendung statistischer Methoden; Springer-Verlag Berlin; 1984
- SPACEK P.: "Fahrverhalten und Unfallgeschehen in Kurven, Fahrverhalten in Kurvenbereichen"; Forschungsauftrag 16/84; UVEK; Zürich, 1997
- WEBER R., LÖHE U.: "Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken mit allgemeinem Verkehr"; Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 109; 2003

## 9 Anhangverzeichnis

- Anhang 1: Unfalltypen
- Anhang 2: Unfall- und Verunfalltenraten verschiedener Strassentypen
- Anhang 3: Auswertung Kurven
- Anhang 4: Auswertung Kurvigkeit
- Anhang 5: Auswertung Führung Fahrradverkehr
- Anhang 6: Auswertung Fahrbahnbreiten
- Anhang 7: Auswertung Griffigkeit
- Anhang 8: Auswertung Oberflächenzustand
- Anhang 9: Auswertung Fussgängerstreifen
- Anhang 10: Auswertung Knoten
- Anhang 11: Auswertung Geschwindigkeitsverhalten in Tempo 30-Zonen und auf untergeordneten Strassen innerorts
- Anhang 12: Auswertung Geschwindigkeitsverhalten auf Strassen innerorts
- Anhang 13: Auswertung Geschwindigkeitsverhalten auf Strassen ausserorts
- Anhang 14: Auswertung Geschwindigkeitsverhalten auf Autobahnen
- Anhang 15: Auswertung Geschwindigkeits- und Gefahrensignalisation
- Anhang 16: Auswertung Anschlussbewirtschaftung
- Anhang 17: Liste weitere Literatur
- Anhang 18: Anwendung Verkehrssicherheitsbeurteilung