Sichere Gestaltung von Landstraßen durch definierte Straßentypen

vorgelegt durch

Diplom Bauingenieur

Benedikt Zierke

von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme

der Technischen Universität Berlin

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

D 83

Berlin 2010

Promotionsausschuss:

Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Siegmann
Berichter:	Prof. Dr.-Ing. Thomas Richter
Berichter:	Prof. Dr.-Ing. Christian Lippold

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 24. August 2010

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb der Technischen Universität Berlin. Die Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Projektes „Sichere Gestaltung von Landstraßen durch normierte Streckencharakteristik“ finanziell unterstützt.

Herrn Prof. Richter, dem Leiter des Fachgebietes, gilt mein besonderer Dank für die vertrauensvolle und herzliche Unterstützung, die ich während meiner Tätigkeit am Institut erfahren habe. Herrn Prof. Lippold gilt mein Dank für seine freundliche Bereitschaft zur Übernahme des Koreferats und Herrn Prof. Siegmann danke ich für den Vorsitz des Promotionsausschusses.

Daneben möchte ich allen Kollegen am Fachgebiet für die stets kollegiale Atmosphäre danken. Ein besonderer Dank gilt Herrn Alexander Radom und Herrn Matthias Jakob für ihre Unterstützung bei den empirischen Untersuchungen.

Schließlich bedanke ich mich bei meiner Familie für den fortwährenden Zuspruch und die Unterstützung während der Erstellung dieses Werkes.

Berlin, im September 2010 Benedikt Zierke

Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es, abgesicherte Erkenntnisse über das Fahrverhalten auf Landstraßen zu gewinnen und daraus Empfehlungen für eine sichere und angemessene Gestaltung von Landstraßen abzuleiten.

Hierzu wurden aufbauend auf einer Grundlagenstudie und einer Klassifizierung des Landstraßennetzes in Deutschland Straßentypen mit einer hohen Wiedererkennbarkeit abgeleitet, auf denen empirische Untersuchungen auf 25 Untersuchungsstrecken durchgeführt wurden. Dabei wurden zunächst geeignete Methoden zu Bewertung der Fahrparameter ausgewählt. Zudem wurde eine Methode zur Ermittlung von homogenen Geschwindigkeitsabschnitten entwickelt, um charakteristische Geschwindigkeiten der Straßentypen ermitteln zu können.

Die empirischen Untersuchungen zum Fahrverhalten auf den Untersuchungsstrecken umfassten die Erhebung des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens in Form von aus Verfolgungsfahrten gewonnenen Profilen sowie lokale Messungen. Wesentliche neue Erkenntnisse konnten abschließend durch einen Vorher-Nachher-Vergleich auf einer Untersuchungsstrecke erlangt werden.

Die Ergebnisse der Messungen auf den Realstrecken zeigten, dass sich bei einer Gestaltung von Landstraßen in eindeutig voneinander abgegrenzten Straßentypen ein typspezifisches Fahrverhalten einstellt. Insbesondere die Untersuchungen zu den zweistreifigen Landstraßen und den schmalen einstreifigen Landstraßen haben gezeigt, dass eine typspezifische Gestaltung positive Effekte erzielen kann. Bei den zweistreifigen Landstraßen konnte anhand der Untersuchungen nachgewiesen werden, dass Kreisverkehre im Vergleich zu Einmündungen eine Geschwindigkeitssenkung auch in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten außerhalb eines Einflussbereiches der Knotenpunkte bewirken und damit sicherheitsfördernd in diesem Streckenabschnitt sind.

Aus der Analyse der empirischen Untersuchungen wurden geeignete Gestaltungsformen herausgearbeitet. Der Einfluss verschiedener Charakteristiken wurde mittels elf Untersuchungsstrecken durch Versuche im Fahrsimulator analysiert. Es zeigte sich bei den Untersuchungen auf elf Fahrsimulatorstrecken mit verschiedenen Verkehrssituationen (mit/ohne Fremdverkehr), dass den untersuchten Straßentypen ein jeweils typisches Fahrverhalten zugeordnet werden kann, das sich von anderen Straßentypen unterscheidet und damit für das Ziel einer wiedererkennbaren Straßen förderlich ist. Es konnte nachgewiesen werden, dass durch die verschiedenen Elemente der Straßentypen deutlich unterscheidbare Straßentypen geschaffen werden und sich dies auch im Fahrverhalten widerspiegelt. Der Implementierung von einzelnen Elementen zur Verdeutlichung der charakteristischen Straßentypen kommt hierbei besondere Bedeutung zu.

Abschließend wurden Empfehlungen zur Implementierung des Ansatzes von wiedererkennbaren Straßen sowie zur einzelnen Ausgestaltung der Straßentypen gegeben.

Abstract

Object of the research was to attain well-funded findings about driving behaviour on rural roads and to derive recommendations for a safe and appropriate design of rural roads.

Recognizable road types were derivated based on design fundamentals and a classification of the existing road network in Germany. On these road types empirical analysis was carried out on 25 test tracks and one before-after-analysis. Thereby appropriate methods for the assessment of driving parameters were selected. Furthermore a method for the determination of homogenous speed sections was developed to identify characteristic speeds of the road types. The empiric analysis of the driving behaviour consisted of the inquiry of the speed and lane keeping behaviour using the following-car-technique and local measurements.

The results on the real test tracks show that a road design with distinguishable road types initiates a type specific driving behaviour. Especially the test of the two lane rural roads and the narrow low-volume roads show positive effects generated by the design in distinguishable road types. On the two lane roads was proven that roundabouts lead compared to regular t-junctions to reduced driving speeds not only in the junction area but also in the open road section. Therefore roundabouts increase the traffic safety.

Based on these findings type specific design combinations were determined. The influence of specific elements could further be analyzed on eleven test tracks in the driving simulator with different traffic situations (with / without other vehicles) . The results show that for every examined each road type a typical driving behaviour can be assigned. These are distinguishable from the others and support therefore the principle of recognizable roads. The implementation of characteristic elements (road markings) is hereby of high relevance.

In conclusion recommendations for the implementation of recognizable road types and the specific design of them are given.

Inhalt

1 Einleitung ... 1

1.1 Ausgangssituation ... 1

1.2 Zielsetzung ... 2

1.3 Aufbau der Arbeit ... 3

2 Grundlagen ... 5

2.1 Stand der Forschung und der Regelwerke im Bereich Streckencharakteristik und Fahrverhalten ... 5

2.1.1 Netzgestaltung ... 5

2.1.2 Linienführung ... 9

2.1.3 Querschnitte ... 13

2.1.4 Knotenpunkte ... 15

2.2 Ansatz der selbsterklärenden Straße ... 17

2.3 Untersuchungen im Rahmen der Richtlinienarbeit ... 23

2.4 Unfallgeschehen auf Landstraßen ... 24

2.4.1 Grundlagen der Unfallanalyse ... 24

2.4.2 Sicherheitsanalyse von Straßennetzen ... 30

2.4.3 Sicherheitsaudit ... 31

2.4.4 Unfallgeschehen in der Bundesrepublik Deutschland ... 32

2.4.5 vorhandene Unfalluntersuchungen ... 37

2.5 Schlussfolgerungen für die weiteren Untersuchungen ... 46

3 Klassifizierung des Straßennetzes in Straßentypen mit hoher Wiedererkennbarkeit ... 49

3.1 Formulierung der Ansprüche und Ziele nach den RAL ... 49

3.2 Entwurfsklassen nach den RAL ... 51

3.2.1 Entwurfsklasse 1 ... 51

3.2.2 Entwurfsklasse 2 ... 52

3.2.3 Entwurfsklasse 3 ... 53

3.2.4 Entwurfsklasse 4 ... 54

3.3 Übertragung der Entwurfsklassen auf das vorhandene Straßennetz ... 55

3.4 Ableitung und Definition von Straßentypen ... 57

3.5 Sicherheitstechnische Bewertung der Straßentypen ... 61

3.5.1 Analyse der Unfallkenngrößen ... 61

3.5.2 Bewertung der Ansprüche und Ziele der RAL ... 64

3.6 Schlussfolgerungen für die weiteren Untersuchungen ... 66

4 Auswahl geeigneter Untersuchungsstrecken 67

4.1 Kriterien zur Auswahl der Untersuchungsstrecken 67

4.2 Beschreibung der Untersuchungsstrecken 68

5 Empirischen Untersuchungen auf Realstrecken 74

5.1 Messsysteme 75

5.1.1 Das Messfahrzeug des Fachgebietes 75

5.1.2 Lokale Messgeräte 76

5.2 Messungen der Fahrparameter 76

5.2.1 Geschwindigkeit 77

5.2.2 Beschleunigung und Verzögerung 81

5.2.3 Spurverhalten 82

5.3 Geschwindigkeitsverhalten 86

5.3.1 Perzentilgeschwindigkeiten 86

5.3.2 Mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten 108

5.3.3 Homogene Abschnittsgeschwindigkeiten 109

5.3.4 Zulässige Höchstgeschwindigkeiten 117

5.3.5 Geschwindigkeitsverhalten an Knotenpunkten 119

5.3.6 Lokales Geschwindigkeitsverhalten 121

5.3.7 Perzentilabstände 123

5.3.8 Vorher-Nachher-Vergleich Geschwindigkeitsverhalten Straßentyp 7 ... 125

5.4 Spurverhalten 130

5.4.1 Lokales Spurverhalten 130

5.4.2 Spurverhaltensprofile 137

5.5 Unfallanalyse 138

5.5.1 Sicherheitstechnische Bewertung der Straßentypen 138

5.5.2 Unfallgeschehen auf den Untersuchungsstrecken 141

5.5.3 Abgleich Fahrverhalten und Unfallgeschehen 146

6 Validierung der Ergebnisse durch Fahrsimulatorversuche 149

6.1 Methodik der empirischen Untersuchungen im Fahrsimulator 149

6.2 Beschreibung des Fahrsimulators der TU Berlin 150

6.3 Beschreibung der Fahrsimulatorstrecken 150

6.3.1 Generierung der Fahrsimulatorstrecken 151

6.3.2 Trassierungs- und Gestaltungsmerkmale der Fahrsimulatorstrecken ... 152

6.4 Das Probandenkollektiv 155

6.5 Durchführung der Versuche im Fahrsimulator 155

6.6 Geschwindigkeitsverhalten auf den Fahrsimulatorstrecken 155

6.6.1 Perzentilgeschwindigkeiten auf den Fahrsimulatorstrecken 156
6.6.2 Mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten 164
6.6.3 Homogene Abschnittsgeschwindigkeiten 165
6.7 Spurverhalten auf den Fahrsimulatorstrecken 168
6.8 Blickverhalten 174
6.8.1 Methode zur Erfassung der Blickbewegungen 174
6.8.2 Messungen des Blickverhaltens 174
6.8.3 Analyse der örtlich-räumlichen Gestaltung und der Suchprozesse 175
6.8.4 Auswertung des Blickverhaltens 176
6.8.5 Blickverhalten in der Geraden 178
6.8.6 Blickverhalten in Rechtskurven 180
6.8.7 Blickverhalten in Linkskurven 181
6.8.8 Zusammenfassung 183
6.9 Vergleich Fahrsimulator / Realfahrten 184
6.9.1 Spurvergleich 187
6.9.2 Einsatzempfehlungen für den Fahrsimulator 188

7 Empfehlungen 190

7.1 Ansätze zur Bildung von wiedererkennbaren Straßen 190
7.2 Ableitung von günstigen Straßentypen 190
7.2.1 Ausgestaltung der Straßentypen 192
7.3 Schlussfolgerungen für die Entwurfspraxis 195

8 Zusammenfassung und Ausblick 197

8.1 Zusammenfassung 197
8.2 Ausblick 199

Literaturverzeichnis 201

Abkürzungsverzeichnis 209

Abbildungsverzeichnis 211

Tabellenverzeichnis 217

Anhang

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

In Europa wurde in mehreren Länder die Vision Zero ausgerufen: „Null Verkehrstote im Jahr 2015“. Zudem schlägt die europäische Charta für die Verkehrssicherheit als Ziel die Halbierung der Zahl der Verkehrstoten vom Jahr 2001 bis zum Jahr 2010 vor. Der Nutzen der im Zuge der Initiativen in zahlreichen Ländern eingeführten Verkehrssicherheitsmaßnahmen kann eindeutig an den Entwicklungen der Verkehrstoten abgelesen werden. Es ist festzustellen, dass die Länder mit der stärksten Standardisierung des Straßennetzes (Schweden und die Niederlande) im europäischen Vergleich die geringsten Quoten an Verkehrstoten aufweisen. Die Länder Süd- und Osteuropas liegen weit über dem europäischen Durchschnitt an Verkehrstoten. Abb. 1 zeigt die Entwicklung der Anzahl der Getöteten für alle Straßen ausgewählter Länder in den letzten 15 Jahren.

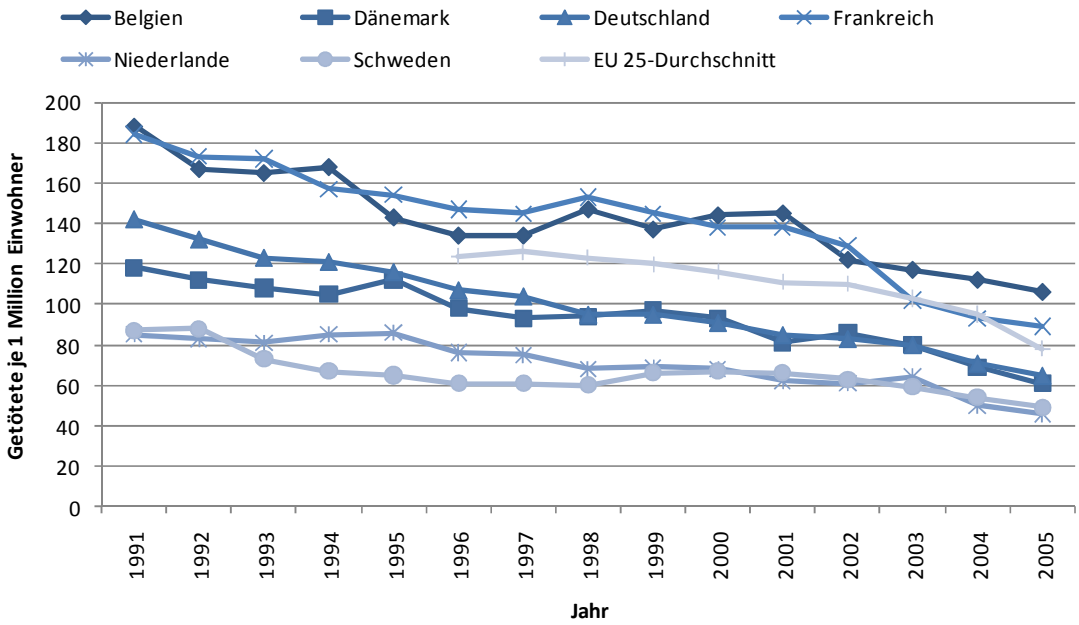


Abb. 1 Getötete je 1 Million Einwohner, alle Straßen (eigene Darstellung nach [22])

Um der Forderung der Vision Zero nachzukommen, sollte u.a. auf europäischer Ebene die Zusammenarbeit gefördert werden. Hiermit ist zum einen die Ausarbeitung technischer Leitlinien auf der Ebene der Europäischen Union gemeint, die freiwillig von den Ländern angewendet werden können, und zum anderen die Harmonisierung von Verfahren, Normen und Sicherheitsausrüstungen im transeuropäischen Straßenverkehrsnetz.

Das Statistische Bundesamt Deutschland [91] gibt jährlich eine Statistik zu den Straßenverkehrsunfällen in Deutschland heraus. Insgesamt verunglückten in Deutschland im Jahr 2005 336.619 Personen im gesamten Straßenverkehr, 5.361 Personen wurden getötet. Im Vergleich zu den Unfallstatistiken in den vorhergehenden Jahren ist die

Tendenz sinkend, doch von einer Halbierung der Verkehrstoten vom Jahr 2001 bis zum Jahr 2010 kann noch nicht gesprochen werden (vgl. Abb. 1).

Auf Landstraßen (alle Straßen außerhalb von Ortsschaften, ohne Autobahnen) entfielen insgesamt 89.801 (27 %) aller Unfälle mit Personenschaden. Es wurden allerdings 3.228 getötete Personen verzeichnet. Dies entspricht über 60 % aller im Straßenverkehr Getöteten in Deutschland. Zudem wurden 31.807 schwer und 95.259 Personen leicht verletzt.

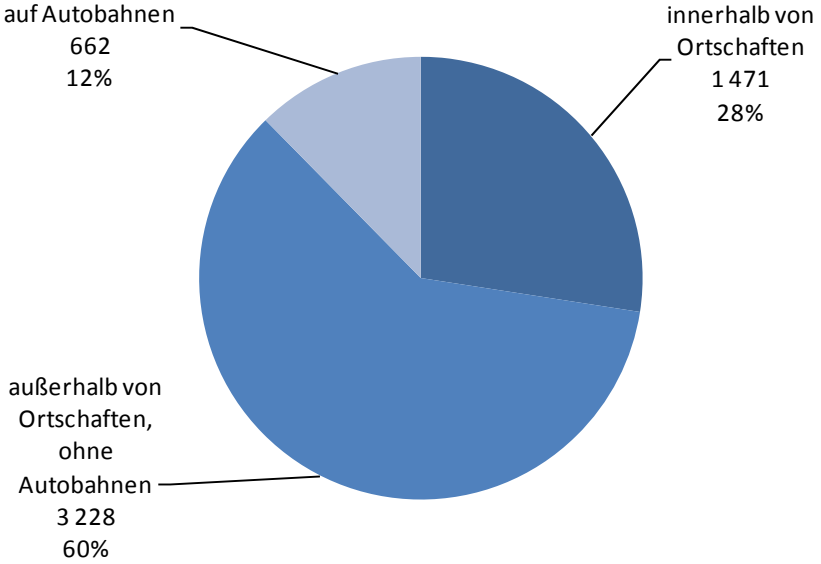


Abb. 2 Getötete im Jahr 2005 in Deutschland nach Ortslage [eigene Darstellung nach [91]]

Um auf deutscher Ebene den Forderungen nach einer Erhöhung der Verkehrssicherheit nachzukommen, sollen im Rahmen dieser Arbeit Maßnahmen und Empfehlungen abgeleitet werden, die die Verkehrssicherheit auf Landstraßen erhöhen.

1.2 Zielsetzung

Ziel des Vorhabens ist es, abgesicherte Erkenntnisse über das Fahrverhalten auf Landstraßen zu erhalten und daraus Empfehlungen für möglichst einheitliche ausgewogene Straßentypen abzuleiten. Eine Konzentration auf wenige Straßentypen soll die verbesserte Anpassung des Fahrverhaltens und damit im Wesentlichen die Erhöhung der Verkehrssicherheit unterstützen. Hierbei wird auch auf den aktuellen Stand der von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) in der Erarbeitung befindlichen „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)“ [30] zurückgegriffen. Diese geben Empfehlungen über den Einsatz von Straßentypen, die in verschiedenen Entwurfsklassen bevorzugt eingesetzt werden sollen.

Die Straßentypen beinhalten nicht nur Aussagen über die Trassierung und die Knotenpunkte, sondern auch über betriebliche Maßnahmen wie die entsprechende Markierung oder die Beschilderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Der Fahrzeugführer soll anhand der Streckencharakteristik direkt erkennen, auf welchem Straßentyp er sich befindet und welches Fahrverhalten dafür angemessen ist. Schwerpunktmäßig soll in dieser Forschungsarbeit untersucht werden, wie die angemessenen Straßentypen

gestaltet werden sollen und ob sich das gewünschte angemessene Fahrverhalten einstellt.

Während in vielen (meist sehr alten) Untersuchungen einzelne Einflussfaktoren wie die Querschnittbreite oder die Kurvigkeit analysiert wurden, sind Untersuchungen über die multikausalen Zusammenhänge nur in Ansätzen vorhanden. Insbesondere die Frage, ob sich für verschiedene Straßentypen ein unterschiedliches Fahrverhalten einstellt, oder ob sich das Fahrverhalten aus einem querschnitttypischen Fahrverhalten und dem Einflussbereich der Knotenpunkte oder aus der ganzheitlichen Streckencharakteristik zusammensetzt, ist noch offen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Im Rahmen der Arbeit wird zunächst der Stand der Forschung und des Regelwerkes im Bereich Streckencharakteristik und Fahrverhalten analysiert. Hierbei werden die Einflüsse der Netz-, Querschnitt- und Knotenpunktgestaltung sowie der Linienführung mit einbezogen. Weiterhin werden vorhandene Erkenntnisse zum Unfallgeschehen auf Landstraßen zusammengetragen. Basierend auf diesen Grundlagen und dem aktuellen Stand der RAL [30] werden Straßentypen definiert, die eindeutig voneinander zu unterscheiden sind. Eine makroskopische Unfalluntersuchung ausgewählter Strecken ermöglicht daraufhin eine sicherheitstechnische Einschätzung der gewählten Straßentypen.

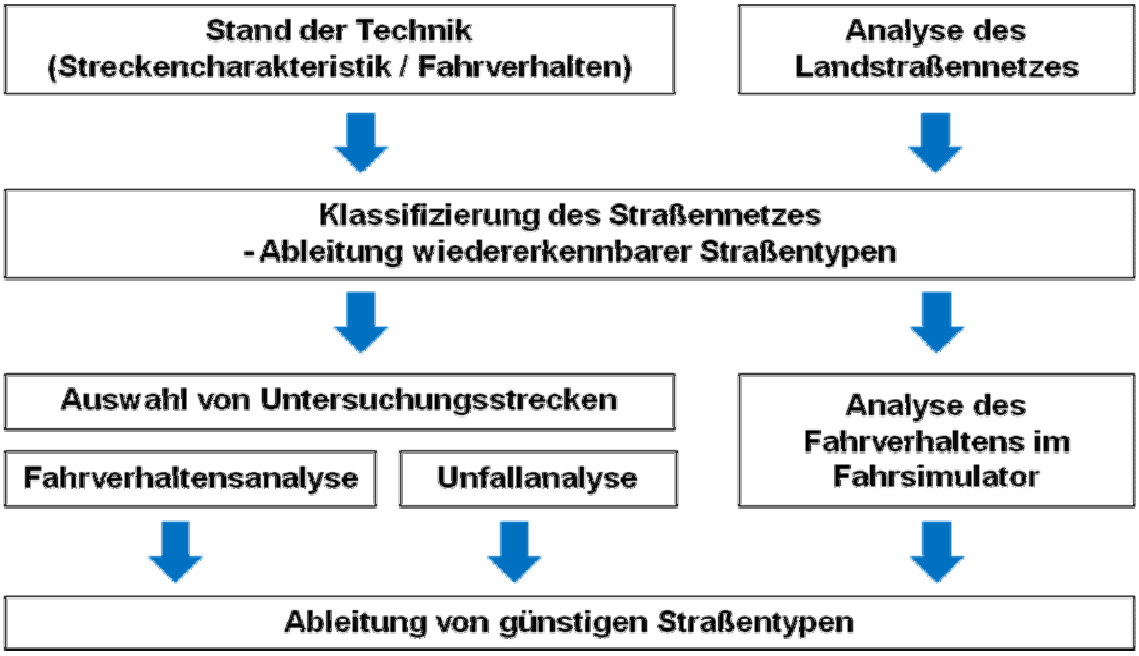


Abb. 3 Vorgehensweise

Aufbauend auf dieser Vorauswahl von Strecken, die den gewünschten Straßentypen entsprechen, werden geeignete Untersuchungsstrecken zur Ermittlung des Fahrverhaltens auf Landstraßen mittels eines Kriterienkatalogs bestimmt, auf denen empirische Untersuchungen zum Fahrverhalten durchgeführt werden sollen. Die empirischen Untersuchungen des Fahrverhaltens beinhalten neben dem Geschwindigkeitsverhalten

auch das Beschleunigungs- und Verzögerungs- sowie das Spurverhalten. Hierdurch wird eine Vorhersage des streckentypischen Fahrverhaltens ermöglicht. Zudem wird eine mikroskopische Unfallanalyse der Untersuchungsstrecken durchgeführt und in direkten Zusammenhang mit dem Fahrverhalten gestellt.

Die aus der Analyse der empirischen Untersuchungen abgeleiteten Empfehlungen werden durch Versuche im Fahrsimulator validiert. Zudem erfolgt eine Bewertung ob und wie der Einsatz eines Fahrsimulators für derartige Fragestellungen geeignet ist. Abschließend werden Empfehlungen für die Schaffung von wiedererkennbaren Straßen abgeleitet und Schlussfolgerungen für die Entwurfspraxis gegeben.

2 Grundlagen

Wesentliche Eingangsgröße für die Arbeit sind die bereits in vorherigen Projekten gewonnenen zumeist sektoralen Erkenntnisse im Bereich Streckencharakteristik und Fahrverhalten. Hierbei werden die Einflüsse der Netz-, Querschnitt- und Knotenpunktgestaltung sowie der Linienführung betrachtet.

Anders als die für Landstraßen derzeit in Deutschland noch gültige sektorale Unterteilung der deutschen Richtlinien existiert in anderen europäischen Ländern (Niederlande [13], Dänemark [101]) als neuer Ansatz das Prinzip der selbsterklärenden Straße bereits heute. Dieser Ansatz wird derzeit jedoch auch auf das deutsche Richtliniensystem übertragen, weshalb der Stand der aktuellen Richtlinienarbeit Eingang in diese Arbeit findet. Für Autobahnen und Stadtstraßen ist die Zusammenführung der sektoralen Richtlinien durch die „Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA)“ [27] und die „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt)“ [31] bereits erfolgt.

Weiterhin werden vorhandene Untersuchungen zum Unfallgeschehen auf Landstraßen analysiert, um eine erste sicherheitstechnische Einschätzung der einzelnen Gestaltungsmerkmale treffen zu können.

2.1 Stand der Forschung und der Regelwerke im Bereich Streckencharakteristik und Fahrverhalten

2.1.1 Netzgestaltung

Die vormals gültigen „Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes (RAS-N)“ [34] differenzieren Straßen nach Kategoriengruppen und nach Verbindungsfunktionsstufen, so dass sich eine hierarchische Gliederung des Straßennetzes in Abschnitte unterschiedlicher Verbindungsbedeutungen ergibt.

Die im Netzbereich der zweistreifigen Straßen außerhalb bebauter Gebiete (Landstraßen) relevanten Verbindungen sind vorrangig den Straßenkategorien A II – A IV zuzuordnen. Sie werden überwiegend auf plangleich geführten Straßen abgewickelt. Die Straßen der Straßenkategorie A I sind häufig deckungsgleich mit dem Bundesautobahnnetz.

Mit diesem kategoriebezogenen Ansatz im Straßenentwurf werden die maßgebenden Entwurfsparameter für die Linienführung, die Querschnitts- und die Knotenpunktgestaltung festgelegt. Durch die Verwendung unterschiedlicher entwurfstechnischer und betrieblicher Elemente soll nach den RAS-N [34] die jeweilige Verbindungsbedeutung erkennbar werden.

In der Planungspraxis wurden die RAS-N [34] häufig nicht wie erwünscht angewendet. Vielmehr erlangte die Entwurfsgeschwindigkeit V_e den Status der Grundgröße der Bemessung.

Die heutigen Ziele der Raumordnung sind gegenüber dem Gedanken der RAS-N [34] deutlich differenzierter. Ziel einer integrierten Netzgestaltung ist die Bündelung des

Verkehrs auf leistungsfähigen Verbindungen insbesondere mit dem öffentlichen Personenverkehr. Ziel der Raumordnung ist weiterhin eine Minimierung der weiteren Flächeninanspruchnahme und der Beeinträchtigung der Umwelt.

Gemäß den im Jahr 2009 eingeführten „Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN)“ [36] werden in Deutschland Straßen abschnittsweise nach den folgenden Kriterien unterschieden:

- Straßentyp,
- Lage,
- Straßenumfeld und
- planerisch maßgebende Funktion.

Aufgrund dieser Kriterien werden für Straßenabschnitte fünf Kategoriengruppen definiert, die wie folgt aufgegliedert sind (vgl. Abb. 4):

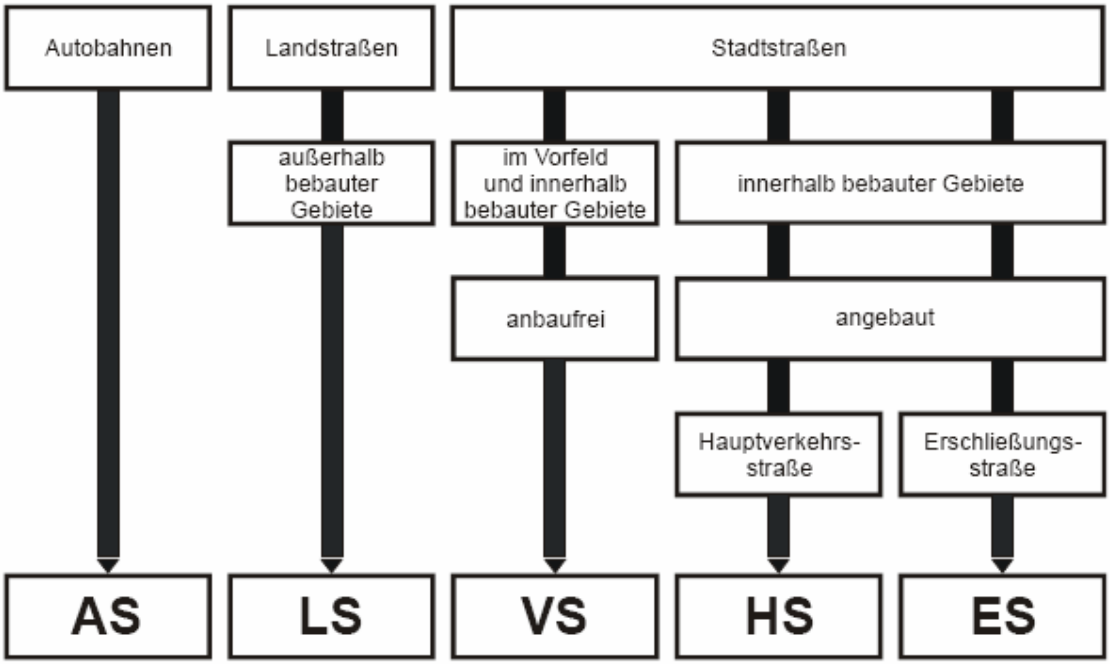


Abb. 4 Kategoriengruppe bei Straßen nach den RIN [36]

Die Straßenkategorie, die sich aus der Verknüpfung der Verbindungsfunktionsstufe (0 bis V) mit der Kategoriengruppe (AS bis ES) ergibt, bezieht sich auf einen Abschnitt im Straßennetz (Netzelement).

Aufgrund des Konfliktpotenzials zwischen Ansprüchen aus der Verbindungsbedeutung und aus den Umfeldnutzungen im Bereich eines Abschnittes, sind nicht alle denkbaren Kombinationen zwischen den Kategoriengruppen und den Verbindungsfunktionsstufen planerisch erwünscht. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verknüpfungsmatrix zur Ableitung von Straßenkategorien (vgl. Abb. 5).

Die Kategoriengruppe LS umfasst anbaufreie Straßenabschnitte außerhalb bebauter Gebiete mit nur schwachen Interaktionen zwischen der Straße und dem angrenzenden

Umfeld. Landstraßen sind folglich alle Straßen, die keine Autobahnen oder innerörtliche Straßen sind. Die Landstraßen teilen sich gemäß den RIN [36] in großräumige, überregionale, regionale, nahräumige und kleinräumige Straßen (LS I bis V) auf.

Kategoriengruppe / Verbindungs-funktionsstufe		Autobahnen	Landstraßen	anbaufreie Hauptver-kehrsstraßen	angebaute Hauptver-kehrsstraßen	Erschlie-ßungsstraßen
		AS	LS	VS	HS	ES
kontinental	0	AS 0		-	-	-
großräumig	I	AS I	LS I		-	-
überregional	II	AS II	LS II	VS II		-
regional	III	-	LS III	VS III	HS III	
nahräumig	IV	-	LS IV	VS IV	HS IV	ES IV
kleinräumig	V	-	LS V	-	-	ES V

AS I vorkommend, Bezeichnung der Kategorie — unproblematisch
\- nicht vorkommend oder nicht vertretbar — problematisch

Abb. 5 Verknüpfungsmatrix zur Ableitung von Straßenkategorien nach den RIN [36]

Die nachfolgende Tabelle zeigt die für Landstraßen angestrebten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten und die Standardentfernungsbereiche (vgl. Tab. 1). Der Standardentfernungsbereich für Landstraßen liegt bei bis zu 160 km bei der Straßenkategorie LS I. Die angestrebten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten werden mit 50 bis 90 km/h angesetzt. Die Straßenkategorie LS V weist nur Ansprüche der Anbindung an das übergeordnete Netz auf, weshalb kein Standardentfernungsbereich bzw. keine angestrebte mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit definiert ist.

Kategoriengruppe		Straßenklasse		Standardentfer-nungsbereich [km/h]	Angestrebte mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit [km/h]
LS	Landstraßen außerhalb bebauter Gebiete	LS I	Fernstraße	40 - 160	80 - 90
		LS II	Überregionalstraße	10 - 70	70 - 80
		LS III	Regionalstraße	5 - 35	60 - 70
		LS IV	Nahbereichsstraße	0 - 15	50 - 60
		LS V	Anbindungsstraße	-	keine

Tab. 1 Straßenkategorie LS mit Standardentfernungsbereichen und angestrebten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten (eigene Darstellung nach [36])

Durch die Art und Gestaltung der Verkehrsnetze wird die Verkehrssicherheit erheblich beeinflusst. Eine integrierte Netzgestaltung muss deshalb die Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit bestmöglich ausschöpfen. In den im Entwurf befindlichen „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)“ [30] wird deshalb eine stärke-

re Wiedererkennbarkeit der jeweiligen Straßenklasse durch charakteristische Straßenelemente angestrebt, um eine höhere Verkehrssicherheit durch angepasstes Fahrverhalten zu erzielen.

In den Niederlanden wurde zuerst das Prinzip der „selbsterklärenden Straße“ verfolgt, um ein angepasstes Fahrverhalten zu erzielen (vgl. Kapitel 2.2). Nach THEEUWES / GODTHELP [96] sind Straßen hierbei selbsterklärend, wenn die Erwartungen der Fahrer an das Erscheinungsbild der jeweiligen Straße erfüllt werden. Um das Prinzip zu verdeutlichen, wurden Straßenklassen mit charakteristischen Elementen (Straßenquerschnitt, Markierungen, Beschilderungen etc.) entworfen. Die Einfachheit und Gleichmäßigkeit der Straßengestaltung soll hierbei den Fahrstress und die Fehlerquote der Fahrer senken. KAPTEIN et al. [50] haben hierzu eine Methode entwickelt, die dabei hilft, angemessene Elemente zu finden, die dazu beitragen die Straßenkategorien zu verdeutlichen. In den Niederlanden werden drei Straßenkategorien mit insgesamt sechs verschiedenen Gestaltungsvarianten unterteilt.

In Schweden und Dänemark wird das Prinzip der „sicheren Geschwindigkeit“ angewendet, welches dem niederländischen Prinzip sehr ähnelt. Es dient als Basis für die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten. TINGVALL / HOWARTH [97] kategorisieren die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten je nach Straßentyp und Verkehrssituation folgendermaßen: in Knotenpunkten mit möglichen seitlichen Konflikten gilt 50 km/h, bei Straßen mit möglichen Konflikten mit entgegenkommenden Fahrzeugen gilt 70 km/h und ohne diese Gefahren gilt 100 km/h.

Zur sicherheitstechnischen Beurteilung vorhandener Straßen in Deutschland hilft das Regelwerk „Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)“ [24], um Sicherheitsdefizite in Straßennetzen festzustellen. Die Ergebnisse der Sicherheitsanalyse geben wichtige Hinweise auf mögliche Mängel in der Straßenführung, der Straßengestaltung oder des Straßenzustandes und ergänzen so die Überlegungen zur Straßennetzgestaltung aus den Belangen Verkehrs-, Raum- und Umweltplanung. Das Analyseverfahren ist auf die Untersuchung vollständiger Netze von Bundes-, Landes-, Kreis- oder Gemeindestraßen ausgerichtet. Das ESN-Verfahren unterscheidet sich von kleinräumigen Betrachtungen der örtlichen Unfalluntersuchung (Erkennen und Bewerten von Unfallhäufungen und Verbessern der straßenbaulichen oder verkehrsregelnden Maßnahmen). Das Verfahren der ESN ermittelt Anzahl und Schwere der vermeidbaren Unfälle (Sicherheitspotenziale) auf Netzabschnitten und berücksichtigt dabei die Verkehrsstärken. Die Ergebnisse der ESN-Analyse geben objektive, messbare Hinweise zur Verbesserung der Straßen (vgl. Kapitel 2.4.2).

2.1.2 Linienführung

Der Einfluss der Linienführung auf das Fahrverhalten auf Landstraßen wurde bisher zumeist sektoral untersucht. Die Streckencharakteristik wird im Bereich Linienführung nach LAMM [56] durch folgende Merkmale bestimmt:

- Krümmung, Kurvigkeit, Querneigung,
- Sichtweite,
- Längsneigung und Länge der Längsneigung.

Bei der ganzheitlichen Betrachtung der Gestaltung von Landstraßen durch normierte Streckencharakteristiken müssen deshalb die nachfolgend beschriebenen Erkenntnisse der sektoralen Einflüsse der Linienführung auf das Fahrverhalten mit betrachtet werden.

In zahlreichen Arbeiten (u.a. [14],[11],[52],[53],[63],[90],[92]) konnte ein direkter Einfluss des Kurvenradius auf das Fahrverhalten nachgewiesen werden. Hierbei wurde u.a. von STEIERWALD / BUCK [92] festgestellt, dass bei Radien größer oder gleich 500 m kein Einfluss auf das lokale Geschwindigkeitsverhalten festzustellen ist. Dagegen geht vor allem im Radienbereich kleiner oder gleich 250 m der starke Einfluss des Kurvenradius hervor. In den RAS-L-95 [31] ist ebenfalls ein Zusammenhang zwischen dem Kurvenradius und der Geschwindigkeit enthalten. SPACEK [89] konnte bei Untersuchungen in der Schweiz feststellen, dass Fahrzeuglenker sowohl in Links- als auch in Rechtskurven grundsätzlich in einem deutlich größeren Abstand zum Straßenrand als zur Mittellinie fahren und das weitgehend unabhängig von der Fahrbahnbreite.

Neben dem Kurvenradius muss die Größe des Richtungsänderungswinkels betrachtet werden. KREBS [53] geht davon aus, dass bei Richtungsänderungswinkeln von 11 bis 16 gon durch das „Schneiden“ von Kurven innerhalb des eigenen Fahrstreifens ein beträchtlicher Radiengewinn erzielt werden kann. Untersuchungen von KUPKE [55] verdeutlichen, dass nur in kleinen Radienbereichen ($R < 350$ m) die mittleren Geschwindigkeiten mit zunehmendem Richtungsänderungswinkel abnehmen.

Betrachtet man die Summe der Richtungsänderungswinkel über eine Strecke, so ergibt sich die in gon pro Kilometer ausgedrückte Kurvigkeit. Auch die Kurvigkeit konnte in verschiedenen Arbeiten in Zusammenhang mit der Geschwindigkeit gestellt werden. KÖPPEL/ BOCK [52] u.a. vertreten in ihrer Arbeit die Meinung, dass die Kurvigkeit einen dominierenden Einfluss auf das Fahrverhalten hat. LAMM [56] hingegen schränkte diesen Parameter ein und weist darauf hin, dass die Kurvigkeit allein das Fahrverhalten insbesondere für den unteren Radienbereich nicht hinreichend beschreiben kann. Niedrige Kurvigkeiten entsprechen einer großzügigeren, gestreckteren Linienführung und ermöglichen dadurch hohe Geschwindigkeiten. Die RAS-L-95 [32] enthält für die Bestimmung der Geschwindigkeit aus der Kurvigkeit ein Diagramm, in dem Kurvigkeiten unter 100...150 gon/km keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit haben. Nach LIPPOLD [63] reicht die Kurvigkeit zur Beurteilung der Sicherheit der Trassierung nicht aus. Es ist zusätzlich die Berücksichtigung der Stetigkeit erforderlich. In den RAL [30]

sind daher zusätzlich zu der Radienrelation auch Vorgaben für die Länge von Zwischengeraden enthalten, um einer Unstetigkeit entgegenzuwirken (vgl. Abb. 6).

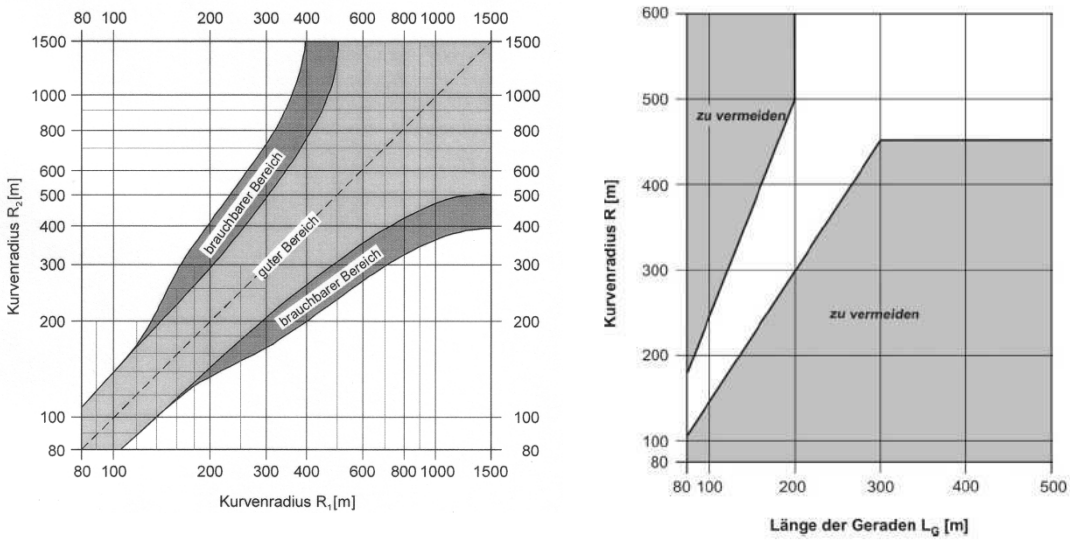


Abb. 6 Radienrelation und Länge der Zwischengerade [30]

Das Blickverhalten in Kurven wurde von DIEM [18] untersucht. Er gruppiert Kurven anhand der Häufigkeit der in Deutschland vorkommenden Kurvenradien in drei Klassen (R ≈ 110 m, R ≈ 250 m, R ≈ 800 m), um Änderungen im Blickverhalten bei unterschiedlichen Kurvenradien darstellen zu können. Da in Kurven mit einem Radius von R ≥ 500 m keine Änderung des Fahrverhaltens gegenüber geraden Abschnitten beobachtet wurde, werden diese Kurven als gerade Abschnitte betrachtet. DIEM [18] stellte fest, dass auf Geraden und in Kurvenbereichen ein unterschiedliches Blickverhalten auftritt. Es treten sogar unterschiedliche Blickverhalten in Kurven verschiedener Radienbereiche auf. Auf Geraden orientierten sich die Kraftfahrer am Tage im Mittel 120 m vor dem Fahrzeug mit leichtem Versatz zum rechten Fahrbahnrand. Bei zunehmender Vertrautheit des Fahrers mit der Strecke wandert der Blickpunkt in die Ferne hin zum Fluchtpunkt. Dieser scheint am besten dazu geeignet zu sein, das Spurverhalten und die eigene Geschwindigkeit zu kontrollieren. In der Nacht reduziert sich die Blickentfernung um etwa 20 m und der Blickbereich wird breiter mit Schwerpunkt auf die Fahrbahnmitte. Entsprechend den in dem Bericht dargestellten Abbildungen kann man annehmen, dass sich der Kraftfahrer bei Nacht dabei zum Teil an der Leitlinie in der Fahrbahnmitte orientiert. Stärker zeigt sich dieses Verhalten in Linkskurven. Während am Tage der Schwerpunkt des Blickverhaltens in Linkskurven auf dem rechten (Radienbereich R ≈ 250 m) bzw. linken (R ≈ 110 m) Fahrbahnrand liegt, orientierten sich die Versuchspersonen bei Nacht hauptsächlich in der Mitte der Fahrbahn, wo nach RAS-Q [35] die Leitlinie aufgebracht ist. Des Weiteren reduziert sich bei kleinerem Kurvenradius die Blickentfernung von etwa 59 m (R ≈ 250 m) auf etwa 26 m (R ≈ 110 m) am Tage. In Rechtskurven mit einem Radius R ≈ 250 m ist am Tage die gesamte Fahrbahn im Blickfeld und die Blickentfernung liegt bei etwa 49 m. In der Nacht oder bei Radien R ≈ 110 m am Tage verschiebt sich der Schwerpunkt des Blickverhaltens zum rechten Fahrbahnrand und die Blickentfernung sinkt auf etwa 35 m. In

Rechtskurven mit einem Radius R ≈ 110 m verändert sich das Blickverhalten bei Nacht dahingehend, dass neben dem rechten auch der linke Fahrbahnrand fixiert wird. DIEM [18] schlussfolgert, dass die peripher aufgenommenen Informationen nachts nicht ausreichen um eine optimale Spurführung zu gewährleisten. Generell hat das periphere Sehen einen großen Anteil am Spurverhalten der Fahrzeugführer. Nur etwa 25 % der Fixationen entfallen auf die Spurführung. Im Wesentlichen erfolgt die Wahrnehmung zur Spurhaltung durch peripheres Sehen im Nahbereich.

Um das Befahren von geraden Abschnitten gesondert von Kurvenfahrten betrachten zu können, muss bestimmt werden, ab welchem Zeitpunkt die Fahrt auf der Geraden von der folgenden Kurve beeinflusst wird. LAND / LEE [57] stellten fest, dass die Fahrzeugführer im Annäherungsbereich einer Kurve 1 bis 2 Sekunden vor Kurvenbeginn die Fixationen in Richtung des Tagentenpunktes verlagerten. UNDERWOOD et al. [98] stellten bei einer Wiederholung der Untersuchung von LAND / LEE [57] fest, dass das Blickverhalten in geschlossenen Kurven, das heißt Kurven mit durch Bäume, Zäune, Einschnitte oder ähnlichem verursachten Sichtbehinderungen, weniger Fixationen zum Tangentenpunkt stattfanden als bei offenen Kurven. Sie schlussfolgerten, dass die Fahrzeugführer aufgrund der Sichtbehinderungen einen größeren Anteil der Wahrnehmung zur Suche von Hindernissen aufbringen müssen.

BAKABA [2] zeigt in seinen Untersuchungen auf, dass die Streckencharakteristik einbahnig zweistreifiger Landstraßen außerhalb von Knotenpunkten mit den Variablen Kurvigkeit, Welligkeit und Fahrbahnbreite nach Streckentypen unterschieden werden kann. Damit kann jeder Streckenabschnitt auf der knotenpunktfreien Strecke von Landstraßen nach einheitlichen Kriterien in homogene Sequenzen zerlegt werden. Hierdurch ist durch das Erkennen von geometrischen Inkonsistenten eine Entwurfskontrolle möglich. Er stellt zudem fest, dass der Einfluss der Welligkeit und der Fahrbahnbreite auf die zu erwarteten Geschwindigkeiten ab einer Kurvigkeit von > 225 gon/km vernachlässigt werden kann. Bei derart kurvigen Strecken ist die Kurvigkeit so dominant, dass sie als alleiniger streckencharakteristischer Parameter betrachtet werden kann. Zu jeder typisierten Sequenz oder jedem Gesamtabschnitt lässt sich eine streckentypbezogene Geschwindigkeiten zuordnen.

Bei der Betrachtung der mittleren Längsneigung (unter Einbeziehung der Abschnittslänge) ist zwischen Gefälle- und Steigungsstrecken zu unterscheiden, wobei nach STEIERWALD / BUCK [92] mittlere Längsneigungen zwischen +/- 2 % keinen Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten haben. Nach KÖPPEL/ BOCK [52] gilt dies sogar für Längsneigungen zwischen -4 % und +2 %. Über die geschwindigkeitsmindernde Wirkung von Steigungsstrecken besteht in der Literatur weitgehend Einigkeit, über das Maß der dafür anzusetzenden Steigung jedoch nicht. Neuere Untersuchungen geben höhere Steigungen an. Dies ist nach LIPPOLD [63] auf immer leistungsfähigere Pkw in jüngeren Untersuchungen zurückzuführen. Die Meinungen über die Wirkung von Gefällestrecken divergieren. Zum einen wird ebenfalls ein Geschwindigkeitsrückgang erwartet und zum anderen wird die Meinung vertreten, dass die Geschwindigkeitswahl auf

Gefällestrecken von der Mentalität der Kraftfahrer abhängt, wobei höhere Geschwindigkeiten zu erwarten sind.

ZIMMERMANN et al. [104] haben in ihren Untersuchungen die räumliche Linienführung kontrolliert und bewertet. Hierbei konnten basierend auf den Ergebnissen des Fahrverhaltens und des Unfallgeschehens Grenz- und Schwellenwerte vor allem für verdeckte Kurvenanfänge und Sichtverzerrungen gewonnen werden. Es wurde ein Überholsichtweitenmodell entwickelt, das die volle Überholsichtweite nach RAS-L-95 [32] für die gesamte Länge des Überholweges betrachtet. Weiterhin wurden eine reduzierte Überholsichtweite, die eine sichere Beendigung eines begonnenen Überholvorganges ermöglicht und eine Markierungssichtweite, die als Basis für eine Markierung von Fahrstreifenbegrenzungslinien verwendet werden kann, entwickelt.

HIERSCHE [45] hat in seinen Untersuchungen eine Abhängigkeit zwischen den Sichtweiten und den gefahrenen Geschwindigkeiten bestimmt. Er sagt sogar, dass die Geschwindigkeit ausschließlich durch die Sichtweite bestimmt wird, solange die Verkehrsdichte nicht maßgebend ist.

DURTH [19] kommt zu dem Schluss, dass durch eine schwankende Sichtweite eine Überforderung des Fahrzeugführers auftritt. Im Gegensatz dazu bewirkt eine gleichbleibende Sichtweite eine Anpassung des Fahrverhaltens.

Nach MARTENS et al. [67] führt eine Reduzierung der Sichtweite durch eine höhere Kurvigkeit oder höhere Längsneigung aufgrund der Unklarheit über den Streckenverlauf zu einem angepassten Geschwindigkeitsverhalten, da die Kraftfahrer ihre Geschwindigkeit zur besseren Antizipation reduzieren müssen.

LIPPOLD et al. [65] haben die sog. Orientierungssichtweiten untersucht und kamen zu dem Ergebnis, dass die empfohlenen Sichtweiten in Abhängigkeit von der Entwurfsklasse und der angestrebten Verkehrsqualität im Bereich von 150 bis 250 m liegen sollten. Bei Sichtweiten unterhalb von 150 m können Hindernisse auf der Fahrbahn bei 100 km/h nur noch unter Schwierigkeiten gemeistert werden. Es wurde weiterhin festgestellt, dass geringe Sichtweiten zwar eine Reduktion der Geschwindigkeiten bewirken, gleichfalls jedoch die Beanspruchung von Fahrern auf Landstraßen zunimmt, wenn die Sichtweite unter 200 m fällt, was in einer schnelleren Ermüdung des Fahrzeugführers resultiert. Daher soll der weitere Verlauf der Straße in ausreichendem Maße einsehbar sein, damit der Fahrzeugführer sein Fahrverhalten ohne Überforderung oder unter Einsatz abrupter Fahrmanöver an die Streckencharakteristik anpassen kann. Während für die EKL 1 bis EKL 3 direkte Empfehlungen für die Orientierungssichtweiten gegeben werden konnten, geschah dies aufgrund der Untersuchungsergebnisse nicht für die EKL 4, da eine zu große Abweichung der bei den Versuchen gefahrenen von der planerisch vorgesehenen Geschwindigkeit auftrat. Die für die EKL 4 planerisch angemessene Geschwindigkeit von V = 70 km/h trat bei den Versuchen nur in stark kurvigen Abschnitten auf und konnte nicht mit der Orientierungssichtweite begründet werden. Sie folgerten für die EKL 4, dass zur Einhaltung der gewünschten Geschwindigkeit das Vorhandensein der Haltesichtweite ausreichend ist und die Anord-

nung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit selbst auf Neubaustraßen nach den RAL [30] nötig sei. Eine deutlich größere Orientierungssichtweite könnte ansonsten dem gewünschten Eindruck der Straße widersprechen. Für die EKL 4 wird eine Orientierungssichtweite von 150 bis 180 m vorgeschlagen, die auf der Strecke größtenteils gegeben sein sollte. Die angestrebte Geschwindigkeit von 70 km/h lässt sich nach Meinung der Autoren nur mit ergänzenden verkehrsrechtlichen Maßnahmen (Beschilderung) erreichen.

BERGER [9] führt in seinen Untersuchungen aus, dass durch eine Einführung von Tempolimit 80 km/h auf Landstraßen in Österreich die Trassierung von Landstraßen besser an die vorhandene Geländeverhältnisse angepasst werden könnte. Er führt weiterhin aus, dass die deutlichsten positiven Auswirkungen in der Verbesserung der Verkehrssicherheit liegen dürften. Als negative Auswirkung stellt sich jedoch der Zeitverlust dar.

2.1.3 Querschnitte

LIPPOLD [63] weist in seiner Arbeit eine Abhängigkeit der V_{85} von der Fahrbahnbreite im Zusammenhang mit der Kurvigkeit und dem Kurvenradius nach. Hierbei wurden Fahrbahnbreiten verschiedener Klassen betrachtet. Es zeigte sich, dass die Fahrbahnbreiten zwischen 6,1 m und 7 m sowie die zwischen 7,1 und 8 m einen fast deckungsgleichen linearen Zusammenhang zwischen der V_{85} und der Kurvigkeit aufweisen, wodurch geschlussfolgert werden kann, dass die Fahrbahnbreiten in diesen Klassen nur einen geringen Einfluss auf die Geschwindigkeit ausüben. Für Fahrbahnbreiten < 6,0 m ist ein Einfluss der Fahrbahnbreiten auf die Geschwindigkeit bei Strecken mit Kurvigkeiten zwischen 100 und 300 gon/km nachweisbar. Bei Strecken mit Kurvigkeiten < 100 gon/km wird hingegen auch auf schmalen Fahrbahnen schnell gefahren, demgegenüber führen Kurvigkeiten > 300 gon/km grundsätzlich zu einer niedrigen Geschwindigkeit, unabhängig von der Fahrbahnbreite. Die Einteilung der sich ergebenen zwei Klassen für die Fahrbahnbreite wird auch für die Zusammenhänge der V_{85} und der Kurvigkeit bzw. Kurvenradius in den RAS-L-95 [32] berücksichtigt.

In Schweden wurde der Einfluss der Straßenausstattung auf das Geschwindigkeitsverhalten von IHS [48] analysiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass das Geschwindigkeitsverhalten auf 8 m breiten Landstraßen nur gering vom Vorhandensein der Leitpfosten bestimmt wird, sofern die Sichtbarkeit der längsgerichteten Markierungen den Vorgaben entspricht. Bei schlechter Erkennbarkeit der Markierung werden allerdings die Leitpfosten als Orientierungshilfe benutzt, um mit höheren Geschwindigkeiten fahren zu können. Auf 6 m breiten Straßen konnte weiterhin nachgewiesen werden, dass ohne Mittelmarkierung um 6 km/h langsamer gefahren wird als mit Mittelmarkierung. Die langsamsten Fahrgeschwindigkeiten ergaben sich für den Fall ohne Mittelmarkierung und nur schlecht sichtbaren Randmarkierungen.

Neben der Gestaltung des Straßenquerschnitts kann auch ein Einfluss der Gestalt des Seitenraumes nachgewiesen werden. Die Fachliteratur enthält hierzu allerdings nur wenige Untersuchungen. ZWIELICH et al. [105] führten Untersuchungen der Straßen-

raumgestalt auf das Fahrverhalten in Geraden, Kurven und Verschwenkungen durch. Es zeigte sich, dass bei Geraden in Alleen zusammenstoßende Baumkronen eine Geschwindigkeitszunahme zur Folge haben. Desweiteren konnte unter diesen Randbedingungen festgestellt werden, dass etwa 9 cm weiter links gefahren wird. Es zeigte sich weiter, dass bei Bäumen, die 1,4 m entfernt vom Fahrbahnrand standen, 5 cm weiter links gefahren wird als bei Bäumen in 1,6 m Entfernung. In Linkskurven bewirkte eine Bepflanzung am rechten Fahrbahnrand eine Geschwindigkeitserhöhung, als Grund wird hierfür die optische Leitwirkung genannt. Zudem konnte sowohl in Links- als auch in Rechtskurven eine Verlagerung des Spurverhaltens nach links beobachtet werden. Dies wiederum variierte je nach Abstand der Baumbepflanzung.

LIPPOLD et al. [63] haben den Einfluss der Straßenbepflanzung und der Straßenraumgestaltung auf das Fahrverhalten an Außerortsstraßen anhand von Realfahrten und Fahrten im Fahrsimulator untersucht. Hierbei konnte ein Einfluss auf die Geschwindigkeit und das Spurverhalten nachgewiesen werden. Für die Ableitung gesicherter Zusammenhänge muss allerdings ein größeres Untersuchungskollektiv herangezogen werden.

Der Einfluss der Markierung von Straßen auf das Fahrverhalten wurde in verschiedenen Forschungsarbeiten untersucht. LINDEMANN [[62], zitiert nach [103]] kommt im Ergebnis seiner Untersuchungen von Kurven bei Außerortsstraßen zu dem Schluss, dass bei vollständiger Markierung der Kurve (Mittel- und Randmarkierung) die größte Spurtreue und der größte Abstand zur Fahrbahnmitte der Fahrzeuge entsteht. Randlinien allein ergeben praktisch keine Verbesserung, hingegen bewirkt eine alleinige Mittellinie bereits eine verbesserte Spurtreue. SCHÖNBORN [88] konnte die Hypothese widerlegen, dass Mittelmarkierungen an Landstraßen zu Geschwindigkeitserhöhungen führen. Bei Randmarkierungen dagegen fanden sich Verhaltensanpassungen in Form von Geschwindigkeitserhöhungen, es ergab sich allerdings eine bessere Wahrnehmung der Fahrbahnbegrenzung mit dem Effekt einer besseren Spurtreue. Aktuelle Untersuchungen zu der Akzeptanz und den Auswirkungen einzelner Maßnahmen (u.a. bei seitlichen Leitlinien anstatt von Randmarkierungen, der sog. Kernfahrbahn) auf Außerortsstraßen liegen nicht vor. Aktuell gültig sind die „Richtlinien zur Markierung von Straßen (RMS)“ [37].

HERSTEDT [44] untersuchte z.B. die Effekte einer Ummarkierung einer zweistreifigen Straße in eine einstreifige Straße. Gleichzeitig wurde bei dem Vorher-Nachher-Vergleich auch eine Homogenisierung der abschnittsweisen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen, dass die gewünschten Effekte einer geringeren gefahrenen Geschwindigkeit nicht zu verzeichnen waren. Bezüglich des Spurverhaltens wurde festgestellt, dass die Fahrzeugführer das erwartete Verhalten zeigen. In Begegnungssituationen wird die Fahrspur nach rechts angepasst, um dem entgegen kommenden Verkehr auszuweichen. Hierbei wurde z.T. die rechte, vom Rand abgesetzte Markierung überfahren. Weiterhin konnten keine Probleme im Bereich der Übergänge zwischen den beiden Markierungsformen festgestellt werden.

In Norwegen wurden in mehreren Untersuchungen durch SAGBERG [83] die Effekte von verschiedenen Markierungsformen untersucht, die sich durch eine stärkere Klassifizierung von Querschnitten ergeben. Hierbei konnte u.a. festgestellt werden, dass Randmarkierungen als auch Leitmarkierungen in der Mitte von zweistreifigen Straßen im Vergleich zu Straßen ohne solche Markierungen höhere Geschwindigkeiten hervorrufen. Es wird weiterhin ausgeführt, dass im Wesentlichen fehlende oder falsch interpretierbare Informationen über die Beschilderung oder Markierung zu Fehlern im Fahrverhalten führen.

Weitere Arbeiten aus dem Ausland [69] zeigten, dass diagonal verlaufende Straßenmarkierungen sog. „rumble strips“ ebenso die Geschwindigkeiten senken wie längsgerichtete „rumble strips“. Durch diese geriffelten Fahrstreifenabgrenzungen werden die Fahrer dazu animiert, die Geschwindigkeit zu reduzieren, da sich beim Befahren der „rumble strips“ der Fahrkomfort erheblich verringert. Ähnliches ergaben auch die Untersuchungen von ANUND [1]. Die Untersuchungen ergaben, dass gefräste „rumble strips“ in Zusammenhang mit einer Mittelmarkierung eine Geschwindigkeitsreduzierung um 1,8 km/h und eine um 5 cm nach außen versetztem Spurverhalten hervorrufen.

2.1.4 Knotenpunkte

Die geltenden Richtlinien für den Entwurf von plangleichen Knotenpunkten (RAS-K-1) [33] enthalten für die Wahl der Knotenpunktelemente detaillierte Einsatzgrenzen, die durchgängig nach Straßenkategorien und teilweise auch nach den Verkehrsstärken und den Knotenpunktgeschwindigkeiten differenziert sind. Dies gilt nicht im gleichen Maße für die Wahl der Knotenpunktgrundformen, die weitgehend dem Ermessen des Planers überlassen bleibt. Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Entwurfspraktiken der einzelnen Bundesländer stark voneinander abweichen [77], sich damit unter gleichen Randbedingungen verschiedene Knotenpunktgrundformen ergeben können und die flüssige Abwicklung des Kraftfahrzeugverkehrs mit möglichst hohen Reisegeschwindigkeiten in mehreren Bundesländern immer noch als hauptsächliches Ziel betrachtet wird. Dies steht jedoch im Widerspruch zu der in den RAS-N [34] festgelegten Differenzierung der Entwurfsstandards nach Straßenkategorien, raumordnerisch erwünschten Reisegeschwindigkeiten und Sensibilitäten der Umfelder.

In mehreren Forschungsarbeiten (u.a. [51],[73],[74],[77],[78],[85],[86]) wurden mit einer in den Entwurfsrichtlinien für Knotenpunkte bisher fehlenden ganzheitlichen Betrachtungsweise unter Einbeziehung der anschließenden Streckenabschnitte die Einsatzbereiche der verschiedenen Knotenpunktformen analysiert. Danach ist eine gemeinsame Betrachtung von Knotenpunktbereichen und angrenzenden knotenpunktfreien Streckenabschnitten, eine stärkere Einbeziehung nicht verkehrlicher Einflussgrößen in die Wahl der Knotenpunktelemente und eine gezielte Berücksichtigung der raumordnerisch erwünschten Verbindungsqualität bei der Wahl der zweckmäßigen Knotenpunktgrundform sinnvoll und notwendig.

KÖLLE [51] leitete in seiner Arbeit Einsatzbereiche für planfreie Knotenpunkte an zweispurigen Straßen außerhalb bebauter Gebiete ab. Planfreie Knotenpunkte an zweispu-

rigen Straßen sind vorrangig dann geeignet, wenn hohe Reisegeschwindigkeiten bei geringen Knotenpunktabständen und hohen Knotenpunktbelastungen raumordnerisch erforderlich sind. In allen anderen Fällen ist fraglich, ob sich mit dieser Forderung allein die planfreie Führung einer zweispurigen Straße rechtfertigen lässt. In den durchgeführten empirischen Untersuchungen stellte er fest, dass bei den Kraftfahrern keine Verhaltensänderung in den planfreien Knotenpunktbereichen auftritt, da diese nur einen schwach ausgeprägten Unterschied zu den knotenpunktfreien Streckenabschnitten aufweisen. Insgesamt wurde auf Strecken mit planfreien Knotenpunkten eine hohe Verbindungsqualität erzielt. Der Einsatz eines einzelnen planfreien Knotenpunktes ist nicht sinnvoll, da die Reisezeitersparnis bei Betrachtung eines längeren Abschnittes sehr gering ist. Reisezeitgeschwindigkeiten von 90 km/h lassen sich nur in Verbindung mit einem dreistreifigen Querschnitt erzielen. Planfrei geführte Strecken sollten als Kraftfahrstraße betrieben werden, da landwirtschaftlicher Verkehr und insbesondere Radfahrer und Fußgänger den Zielen der planfreien Führung widersprechen.

Nach RICHTER [77] ließen sich Reisegeschwindigkeiten von 90 km/h jedoch auch mit der Knotenpunktgrundform IV (teilplanfrei nach den RAS-K-1 [33]) erzielen. Insbesondere bei großen Knotenpunktabständen waren die Reisezeitverluste durch lichtsignalgeregelte Knotenpunkte nach der Grundform IV gegenüber der planfreien Führung gering. Bei den Untersuchungen an drei verschiedenen Ortsumgehungstypen wurden zudem die Abhängigkeiten zwischen den Knotenpunkten und den knotenpunktfreien Streckenabschnitten untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass das Geschwindigkeitsniveau in den Knotenpunkten der Grundform IV deutlich höher war als in den signalisierten Knotenpunkten. Zudem konnte festgestellt werden, dass auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten der Ortsumgehungen mit Knotenpunkten nach der Grundform IV wie in den Knotenpunkten deutlich schneller gefahren wurde als auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten der Ortsumgehungen mit den signalisierten Knotenpunkten nach Grundform I (Einmündung/ Kreuzung). RICHTER [77] kommt zu dem Fazit, dass das Geschwindigkeitsniveau in den Knotenpunkten und auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten am stärksten von der Knotenpunktgrundform und der Signalisierung beeinflusst wird. Einen weiteren Einfluss übt die Verkehrsstärke aus, während Abhängigkeiten von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und dem Regelquerschnitt nicht nachgewiesen werden konnten.

Auch STEINAUER et al. [93] haben die Einflussbereiche von Knotenpunkten untersucht. Anhand empirischer Untersuchungen konnte eine Beeinflussung der mittleren Fahrgeschwindigkeit auf Landstraßenzügen durch den Knotenpunktabstand festgestellt werden. Bei Landstraßenzügen mit mittleren Knotenpunktabständen kleiner 3.500 m sind Auswirkungen auf die mittlere Fahrgeschwindigkeit zu erwarten. Für Knotenpunktabstände < 1.000 m wird eine gegenseitige Beeinflussung der Knotenpunkte vermutet.

RICHTER / HÜSKEN [78] haben den Verkehrsablauf an Kreisverkehren außerhalb bebauter Gebiete untersucht. Sie konnten feststellen, dass nach dem Umbau von Kreuzungen zu Kreisverkehren nicht nur im Knotenpunktbereich sondern auch auf den anschließenden knotenpunktfreien Streckenabschnitten ein verändertes Fahrverhalten

(geringere Geschwindigkeiten) zu beobachten war. Hinsichtlich der Verkehrsqualität stellten sie fest, dass der Knotenpunktabstand einen erheblichen Einfluss auf die Reisegeschwindigkeit hat. Die Messstrecken mit mittleren Knotenpunktabständen von etwa 1.000 m wiesen mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeiten um die 70 km/h auf. An den Untersuchungsstrecken mit mittleren Knotenpunktabständen um 2.000 m wurde eine mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeit von etwa 80 km/h festgestellt. Hierbei stehen den Reisezeitverlusten im vormals vorfahrtberechtigten Hauptstrom Reisezeitgewinne im vormals wartepflichtigen Nebenstrom gegenüber.

Die sicherheitstechnischen Aspekte der Knotenpunktgestaltung sind in Kapitel 2.4.5 beschrieben.

2.2 Ansatz der selbsterklärenden Straße

Die „Selbsterklärende Straße (self explaining road; SER)“ ist ein Ansatzpunkt zur Schaffung eines nachhaltig verkehrssicheren Straßennetzes. THEEUWES / GODTHELP [96] nennen zwei Aspekte, um das Auftreten von Fehlern im Straßenverkehr zu reduzieren. Zum einen trägt die Reduktion von potenziell gefährlichen Begegnungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit bei. Zum anderen vermittelt die SER dem Fahrzeugführer durch ihr Erscheinungsbild die an ihn gestellten Erwartungen an das Fahrverhalten und unterstützt den Fahrer damit bei der sicheren Führung des Fahrzeuges.

Richtiges und angemessenes Fahrverhalten kann nur dann erfolgen, wenn dem Kraftfahrer verständlich gemacht wird, welche Erwartungen an ihn gestellt werden. Dazu muss der Fahrer ein Bewusstsein entwickeln, auf welcher Art von Straße er sich befindet. Problematisch wird es, wenn der Fahrer einer Fehleinschätzung der Straßenklasse unterliegt. Wird beispielsweise fälschlicherweise angenommen, auf der befahrenen Straße sei eine Begegnung mit Langsamverkehr aufgrund von Benutzungsrestriktionen ausgeschlossen, passt der Fahrer sein Verhalten dementsprechend an und kann gar nicht oder nur deutlich verzögert auf eine plötzlich auftretende Begegnung mit dem Langsamverkehr reagieren.

Eine Erklärung für dieses Verhalten geben THEEUWES / GODTHELP [96]. Der Fahrzeugführer ordnet und abstrahiert den vor ihm liegenden Straßenraum anhand typischer Eigenschaften in Kategorien, denen sogenannte Prototypen zu Grunde liegen, die er aufgrund seiner Erfahrung gebildet hat. Die typischen Eigenschaften neuer Situationen bzw. Informationen werden mit denen der Prototypen verglichen und es erfolgt bei Übereinstimmung eine Kategorisierung entsprechend des passenden Prototyps. Führt der Vergleich zu keiner Übereinstimmung, neigt der Fahrer dazu, eine Klasse mit einem verzerrten Prototyp zu entwickeln, der auf einem ähnlichen, ihm wohlbekannten Straßentyp basiert. Grund für diese Kategorisierung ist, dass der Fahrer wegen der großen Informationsfülle Filterungen vornimmt. Die Informationsaufnahme erfolgt beim Fahren hauptsächlich optisch. BIEDERMANN [10] führt aus, dass die optische Wahrnehmung im Vergleich zu akustischen oder haptischen Wahrnehmungen mit über 90 % den weitaus größten Anteil an der gesamten Wahrnehmung hat. Zudem erfolgt der

Eingang der optischen Information mit 10^7 bit/s, die Verarbeitung dieser Daten ist jedoch mit nur 40 bit/s begrenzt.

RIEMERSMA [81] stellte fest, dass die Kriterien, die zu einer Klassifizierung durch den Fahrer führen, nur am Rande mit denen übereinstimmen, die die offiziellen Straßenkategorien unterscheiden. Zudem ermittelte RIEMERSMA [81], dass Probanden das Vorhandensein eines Seitenstreifens als objektives Alleinstellungsmerkmal der dortigen Autobahnen nicht bei ihrer Kategorisierung berücksichtigten, jedoch die Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche dafür einbezogen, welche kein offizielles Unterscheidungsmerkmal ist. Eine hochwertige/ neue Fahrbahndecke suggeriert dabei einen höheren Straßenstandard und wirkt geschwindigkeitssteigernd. Daraus resultiert wie erwähnt eine potenziell fehlerhafte Klassifizierung, welche falsche Erwartungen an die Umgebung impliziert. Diese falschen Erwartungen können dazu führen, dass das visuelle Suchen von Informationen im Straßenverkehr nicht auf die relevanten Stellen gerichtet ist und der Fahrer falsche oder nicht alle Informationen zum angemessenen Fahren erhält, wie THEEUWES / GODTHELP [96] konstatieren. Folglich haben diese Erwartungen Einfluss auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit.

Es ist ersichtlich, dass eine Minderung von falschen Erwartungen aufgrund fehlerhafter Typisierung ein wichtiger Schritt zur Steigerung der Verkehrssicherheit ist. Um dies zu erreichen, muss dem Fahrer die Typisierung erleichtert werden. Dabei sind zum einen die objektiven Unterscheidungsmerkmale an den subjektiven zu orientieren. Zum anderen ist die Auswahl an möglichen Typen einzuschränken. Kraftfahrer berücksichtigen laut VAN SCHAGEN et al. [84] die folgenden Merkmale von Landstraßen für die subjektive Strukturierung:

- Anzahl der Fahrbahnen bzw. Fahrstreifen,
- Straßenbreite,
- Begrenzungsmarkierung,
- Mittelmarkierung,
- Optische Verengungen,
- Trassierung,
- Abstand der Seitenraumbepflanzung,
- Art der Straßenoberfläche,
- Zustand der Straßenoberfläche.

Für die wenigen zu definierenden Straßentypen soll nach MATENA et al. [71] gelten:

- Straßen gleicher Funktion, Verkehrszusammensetzung und Geschwindigkeitsbegrenzung sollen für eine gute Wiedererkennbarkeit ähnlich aussehen,
- Straßen unterschiedlicher Funktionen, Verkehrsarten oder Geschwindigkeitsbegrenzungen sollen unterscheidbar sein,

- Das erwartete Fahrverhalten soll schnell vom Fahrer verstanden bzw. von der Straße induziert werden.

THEEUWES / GODTHELP [96] formulieren die Kriterien genauer und sagen zusätzlich, dass Straßenklassen gewählt werden sollen, die sich bezüglich des Fahrverhaltens relevant unterscheiden.

Eine Schlussfolgerung von VAN SCHAGEN et al. [84] bezüglich der Wiedererkennbarkeit von Straßentypen ist, dass nicht alle genannten Elemente zu einer Verbesserung der Wiedererkennbarkeit beitragen bzw. umsetzbar sind. Es wurden daher drei Anforderungen aufgestellt, die für eine Steigerung der Wiedererkennbarkeit erfüllt sein müssen:

- Am wichtigsten ist eine kontinuierliche Sichtbarkeit des Ausstattungsmerkmals, damit der Fahrzeugführer jederzeit bestimmen kann, auf welchem Typ er sich befindet,
- Das Merkmal muss geeignet und anwendbar sein,
- Das Merkmal darf selbst keine negativen Sicherheitseffekte haben.

Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen ermittelten VAN SCHAGEN et al. [84] Ausstattungsmerkmale, die geeignet sind, die Wiedererkennbarkeit zu erhöhen:

- Längsmarkierungen,
- Fahrtrichtungstrennung,
- Fahrspurbreite,
- Angrenzende Radfahrspuren,
- Straßenoberfläche/Rauheit,
- Charakteristik der Bankette,
- Straßenumfeld,
- Kreuzungs- und Übergangsbereiche (nicht kontinuierlich sichtbar).

Die Straßenmarkierung im Allgemeinen und die Längsmarkierung im Besonderen hat dabei eine große Bedeutung. Sie erfüllt alle drei genannten Anforderungen, ist leicht aufzubringen, deutlich erkennbar und hat starke Auswirkungen auf das Fahrverhalten. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung stellt sie ein zentrales Element dar.

Welchen Einfluss die Gestaltung der Straße nach den Merkmalen der SER auf die subjektive Typisierung einer Straße hat, zeigt eine Studie von VAN DER HORST / KAPTEIN [47]. Jeweils 16 Probanden sollten acht Straßen den einzelnen zur Auswahl stehenden Kategorien zuordnen. Dabei wurden einer Gruppe acht Straßen gezeigt, die den derzeitigen Regelungen entsprechen und eine andere Gruppe sollte acht „Selbsterklärende Straßen“ zuordnen. Eine dritte Gruppe bekam acht Straßen zur Kategorisierung gezeigt, wobei Straßen sowohl nach den derzeitigen Regelungen als auch SER enthalten waren. Es stellte sich heraus, dass die korrekte Zuordnung der Straßen bei

der Gruppe der acht SER am höchsten war. Die Tatsache, dass in der gemischten Gruppe die vorhandenen SER auch den Klassen der gleichen Straßen nach derzeitigen Regelungen zugeordnet wurden zeigt, dass im Kontext die Unterscheidbarkeit der einzelnen Typen nicht ausreichend war, weshalb an dieser Stelle die Forderung nach deutlicher Unterscheidbarkeit zwischen den Straßen unterschiedlicher Funktionen unterstrichen werden soll. Die Auswertung der Fahrsimulatorversuche zeigte indes, dass zwar die Standardabweichung von der Durchschnittsgeschwindigkeit bei den reinen SER geringer ausfiel als bei den Straßen nach den derzeitigen Richtlinien und auch eine Unterscheidung zwischen den Straßenklassen anhand der Durchschnittsgeschwindigkeit möglich war. Allerdings wurde ebenfalls festgestellt, dass der Betrag der Durchschnittsgeschwindigkeit auf den SER teilweise über denen der nicht theoretisch konstruierten Straßen lag, weshalb vorhandene Kritik an dem Prinzip der „Selbsterklärenden Straße“ laut BECHER et al. [7] berechtigt scheint.

Es wird kritisiert, dass das Prinzip der SER unterstellt, aufgrund der richtigen subjektiven Kategorisierung würde automatisch das richtige Fahrverhalten induziert und die SER käme daher z.B. ohne geschwindigkeitsbeschränkende Verkehrszeichen aus. Problematisch stellt sich in der Tat das große, bestehende Straßennetz dar. Die vorhandenen Straßen können mittelfristig nicht dahingehend umgebaut werden, dass alle Merkmale einer SER (z.B. Linienführung) erfüllt sind. Daher wird sich mit restriktiven Vorgaben beholfen, nach denen auch bestehende Straßen mit den Ausstattungsmerkmalen der neuen Typen ausgerüstet werden können. Darin enthalten ist unter anderem die Anordnung einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit, wie sie auch von HARTKOPF / WEBER [42] vorgeschlagen wird. Sämtliche Straßen, die die Anforderungen nicht erfüllen, erhalten dann keine Einstufung. Empfehlenswert ist zudem, auch bei Neubaustraßen mit angepasster Trassierung, bei denen keine geschwindigkeitsbeschränkenden Verkehrszeichen geplant sind, in einer Übergangszeit eine zulässige Höchstgeschwindigkeit anzuordnen, und die Kraftfahrer hinreichend zu informieren, damit nicht aus gelernten und angewöhnten Verhaltensweisen („Auf einer Landstraße darf man 100 km/h fahren.“; [7]) unangemessenes Fahrverhalten entsteht.

In anderen Ländern wird bereits seit mehreren Jahren eine stärke Standardisierung der Straßenklassen vorgenommen. Insbesondere die Niederlande und Dänemark schaffen mit ihren Straßenklassen eine Homogenisierung des Straßennetzes. Anders als in Deutschland werden jedoch auch die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten einer Straße klassenspezifisch in den Richtlinien geregelt. Abb. 7 zeigt die wesentlichen Gestaltungsmerkmale der Niederlande, Dänemark und Deutschland im Vergleich.

Bereits 1995 haben THEEUWES / GODTHELP [96] niederländische Landstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h hinsichtlich ihrer selbsterklärenden Gestaltung untersucht und Defizite festgestellt. Sie führen aus, dass der Verkehrsteilnehmer aus der Straßengestaltung nicht auf die Wahrscheinlichkeit schließen kann, wann langsam fahrender oder entgegenkommender Verkehr als auch enge Kurven oder Knotenpunkte vorzufinden sind. Insbesondere die Defizite der Markierungen werden hierbei als Grund aufgeführt.

	Name	Function	Cross Sections	Unique Identifier	Crossings	Regulation	Speed limit	Access to private properties	Alignment
NL	Regional Flow Road Stroomweg	Mobility		Physical or coloured median barrier			100	forbidden	
DK	High Speed Through road Gennemfartsvej H	Mobility		Emergency lanes and physical median barrier			90 110	forbidden	
D	Design Class 1 EKL 1	Mobility (long distance traffic)		Physical or coloured median barrier			110	forbidden	generous

	Name	Function	Cross Sections	Unique Identifier	Crossings	Regulation	Speed limit	Access to private properties	Alignment
NL	n.a.								
DK	Medium Speed Through Road Gennemfartsvej M+	Mobility		Broad markings, Rumble Strips	Signals only if speed <=70, roundabouts, T-crossings <=50km/h	No agricultural traffic,	80	limited	
D	Design Class 2 EKL 2	Mobility (interregional traffic)		Alternating sections with 2 and 3 lanes, double axis line	partially at-grade		100	forbidden	semi generous

	Name	Function	Cross Sections	Unique Identifier	Crossings	Regulation	Speed limit	Access to private properties	Alignment
NL	Distributor Road	Distribution		Broken Edge Line Double Axis Marking / Median	at level	Separate cycle lane always required	80	limited	
DK	Medium Speed Road Gennemfartsvej/ Fordelingsvej M	Mobility / Distribution		-	Signals only if speed <=70, roundabouts, T-crossings <=50km/h	No agricultural traffic, Separate cycle lanes if AADT > 2000	60 70	limited	
D	Design Class 3 EKL 3	Mobility (regional traffic)		Solid edge line together with single axis line	at level	Separate cycle lane if required	90	limited	semi adapted

	Name	Function	Cross Sections	Unique Identifier	Similar to other category/ Identifier	Crossings	Regulation	Speed limit	Access to private properties	Alignment
NL	Access Road	Provide access to private properties		Single lane road with broken edge line		at level	allowed	60	allowed	
DK	Low Speed Local Road Localvej L	Local traffic		-	Medium Speed Distributor Road, Extra Low Speed Local Road / Lane width	T-crossing	allowed	40 50	allowed	
D	Design Class 4 EKL 4	Local traffic		Single lane road with broken edge line		at level	allowed	70	allowed	adapted

Abb. 7 Vergleich der wesentlichen Gestaltungsmerkmale der verschiedenen Straßenkategorien der Länder Niederlande, Dänemark und Deutschland [70]

VAN DER HORST / KAPTEIN [47] weisen in ihren Ausführungen zur selbsterklärenden Straße daraufhin, dass die Straßenkategorien in sich möglichst homogen sein sollen und von anderen Straßen anderer Kategorien eindeutig zu unterscheiden sein sollen. Sie führen außerdem aus, dass Verkehrsteilnehmer automatisch einer Straße eine Verhaltensweise zuordnen.

KAPTEIN / CLAESSENS [49] stellten in ihren Untersuchungen zur selbsterklärenden Straße fest, dass eine deutliche Abgrenzung der Straßenklassen nicht zwangsläufig zu einem unterschiedlichen Geschwindigkeitsverhalten führt. Sie konnten aber nachweisen, dass innerhalb der Straßenklassen aufgrund der gleichmäßigen Streckencharakteristik ein homogeneres Geschwindigkeitsverhalten herrscht. Gleiches konnte von KAPTEIN et al. [50] bestätigt werden.

VAA et al. [99] weisen ebenfalls daraufhin, dass die Schaffung möglichst in sich homogener und klar unterscheidbarer Kategorien positive Effekte im Fahrverhalten erzielt.

In den Niederlanden wird das Straßennetz in drei Kategorien mit sechs verschiedenen Querschnittgestaltungen unterschieden (vgl. Abb. 7). Um die jeweiligen Straßenkategorien auch im Bestandsnetz zu verdeutlichen wurde im Jahr 2003 durch den Nationalen Mobilitätsrat beschlossen, die wesentlichen Wiedererkennbarkeitsmerkmale der drei Straßenkategorien in das gesamte Straßennetz zu implementieren. Die Verkehrsteilnehmer sollen hierdurch bereits durch die Ausstattung der Straße erkennen können, welche zulässige Höchstgeschwindigkeit gefahren werden darf. 2004 wurde die „Richtlinie der wesentlichen Wiedererkennbarkeitsmerkmale der Straßeninfrastruktur“ [13] als Wegweiser der Implementierung herausgegeben. Die Richtlinie soll dem Planer die Möglichkeiten aufzeigen, wie leicht anzubringende Merkmale eine starke verhaltenssteuernde Wirkung in einer relativ kurzen Zeit und mit überschaubarem finanziellen Einsatz erzielen. Als wesentliche Wiedererkennbarkeitsmerkmale werden die Beschilderung in Form der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und die Gestaltung der Fahrtrichtungstrennung und Fahrbahnbegrenzung gesehen.

Hierbei bilden die Querschnitte aus den gültigen Richtlinien die Grundlage für die Implementierung. Wesentlichen Bestandteil der Richtlinien bilden die Ausführungen zur Anpassung der vorhandenen Straßenquerschnitte an die neuen Straßenkategorien.

Ähnlich dem Ansatz aus den Niederlanden finden auch in Dänemark in sich homogene Straßenkategorien bei der Planung von Landstraßen Anwendung [101]. Die gültigen Richtlinien wurden 2007 eingeführt und beinhalten funktionale Kategorien, die wiederum mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Querschnittsgestaltungen betrieben werden können, so dass sich insgesamt ein nicht ganz so homogenes Straßennetz ergibt wie in den Niederlanden. Wesentliches Unterscheidungskriterium der einzelnen Klassen bildet auch hier die Querschnittsgestaltung mit einer jeweils charakteristischen Markierung (vgl. Abb. 7).

Im Rahmen dieser Arbeit werden im Folgenden die Begriffe Standardisierung und Wiedererkennbarkeit benutzt und untersucht, da der Begriff selbsterklärend mit sehr unterschiedlichen Definitionen belegt ist. Unter Standardisierung wird hierbei eine Verein-

heitlichung der planerischen Vorgaben verstanden, die sich auf die gesamte Streckencharakteristik bezieht und nicht nur das Fahrbahnband beinhaltet. Der Begriff der Wiedererkennbarkeit beinhaltet im Wesentlichen die Vereinheitlichung des optischen Erscheinungsbildes der gesamten Streckencharakteristik, um die Straßentypen unterscheidbar erscheinen zu lassen. Hierzu gehören sowohl die linienhaft vorzufindenen Elemente der Querschnittsgestaltung mit der dazugehörigen charakteristischen längsgerichteten Markierung und Beschilderung als auch die punkttuell in Erscheinung tretende charakteristische Knotenpunktgestaltung.

2.3 Untersuchungen im Rahmen der Richtlinienarbeit

Bereits kurz nach Erscheinen der letzten sektoralen Richtlinien wurde in den zuständigen Gremien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) erkannt, dass für das Fahrverhalten und die sichere Befahrbarkeit die gesamte Streckencharakteristik, also die richtige/falsche Kombination der Entwurfselemente verantwortlich ist und deshalb ein integrierter Entwurf für Landstraßen sinnvoll sei.

Der Mangel an grundlegenden Erkenntnissen zum Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer bei unterschiedlichen Streckencharakteristiken und zur Beeinflussung des Fahrverhaltens durch eine einheitliche und eindeutige Streckencharakteristik führte zu den Forschungsarbeiten „Überführung der sektoralen Entwurfsrichtlinien RAS-L, RAS-Q und RAS-K-1 in ganzheitliche Richtlinien zu Landstraßen (RAL)“ [79] und “Ganzheitliche auf Entwurfsklassen beruhende Entwurfsrichtlinien für Straßen außerhalb bebauter Gebiete (Landstraßen)“ [66]. Mit Bezug auf die Mängel im bisherigen Regelwerk wurde im Rahmen der Forschungsarbeiten die Einführung von Entwurfsklassen anstatt der vorher verwendeten Geschwindigkeiten zur Wahl der Gestaltungsmerkmale vorgeschlagen und in neuen Entwurfsrichtlinien umgesetzt.

Weiterfüjrend wurden Forschungsarbeiten zur Untermauerung konkreter Fragestelllungen vergeben. Alle Untersuchungen beziehen sich auf Teilaspekte der künftigen Richtlinien. Die grundlegende Fragestellung, ob sich das erwartete Fahrverhalten durch die Schaffung von Entwurfsklassen einstellt, wird bisher jedoch nicht behandelt.

Derzeit überarbeitet der Arbeitskreis 2.2.1 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) die derzeit noch geltenden Entwurfsrichtlinien (RAS-L, RAS-Q, RAS-K) und führt diese in integrierte „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)“ zusammen. Dabei werden die einzelnen Festlegungen zu Entwurfselementen auf der Grundlage neuer Forschungserkenntnisse weiterentwickelt. Dies geschieht in enger Abstimmung mit den weiteren Ausschüssen der FGSV.

Den neuen Richtlinien liegt ein weitgehend verändertes Entwurfsprinzip zugrunde. Wichtigstes Ziel ist dabei die Konzeption von wenigen standardisierten Landstraßentypen, die so weit wie möglich selbst erklärend ausgebildet sein sollen. Damit soll den immer noch bestehenden Unsicherheiten im Landstraßennetz stärker als bisher entgegen gewirkt werden. Die künftigen Landstraßentypen sollen sich deutlich voneinander unterscheiden und sie sollen jeweils so ausgebildet sein, dass sie dem Fahrer eine hinreichende Begreifbarkeit von der Netzfunktion der Straße vermitteln und ihm somit das

Befahren mit einer der Netzfunktion angemessenen Geschwindigkeit nahe legen. Dieses auch in der Richtlinie zur Infrastruktur-Sicherheit der Europäischen Union verankerte Prinzip reduziert zwar den Spielraum des planenden Ingenieurs, lässt aber erwarten, dass auch in Deutschland durch Standardisierungen die Verkehrssicherheit im Landstraßennetz maßgeblich erhöht werden wird. Ähnliche Umdenkprozesse finden derzeit in mehreren benachbarten europäischen Ländern statt, deshalb hält der Ausschuss Verbindung zu den dort mit Fragen des Entwurfs befassten Institutionen. [80]

Neben den Fragen, die sowohl den Neubau als auch den grundsätzlichen Um- und Ausbau vorhandener Straßen betreffen, wird im Arbeitskreis 2.2.2 der FGSV ein Merkblatt mit Hinweisen zum bestandsorientierten Um- und Ausbau von Landstraßen erstellt, das die Wiedererkennbarkeit der Entwurfsklassen nach den neuen RAL gewährleisten soll. Das Merkblatt soll die „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)“ ergänzen. Es soll Ausnahmen und Abweichungen von den in den RAL empfohlenen Richtwerten enthalten, die den verschiedenen Randbedingungen im bestehenden Straßennetz gerecht werden. Hierbei wurde die Verträglichkeit eines Verzichtes charakteristischer Elemente untersucht und herausgearbeitet. Darauf aufbauend wurde ein Entscheidungsbaum als Hilfestellung zur Ermittlung der Kennzeichnungsfähigkeit einer EKL (gewünschter Um-/ Ausbauzustand) erstellt. [80]

2.4 Unfallgeschehen auf Landstraßen

2.4.1 Grundlagen der Unfallanalyse

Die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen und Knotenpunkten erfolgt meist durch die konventionelle Methode der Unfallanalyse. In dieser Methode werden die Informationen aus den polizeilichen Unfallakten zusammengetragen und analysiert. Jeder polizeilich erfasste Unfall wird nach Unfallkategorie, Unfallart, Unfalltyp und Unfallursache strukturiert.

Im Folgenden werden die Unfallkenngrößen nach dem Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen der FGSV [38],[39] erläutert.

Unfallkategorie (UK)

Je nach Schweregrad des Unfalls bzw. der schwersten Unfallfolge, wird jeder einzelne Unfall einer der folgenden 6 Unfallkategorien (UK) zugeordnet.

- Unfallkategorie 1: Unfall mit Getöteten: Mindestens ein Getöteter,
- Unfallkategorie 2: Unfall mit Schwerverletzten: Mindestens ein Schwerverletzter, aber keine Getöteten,
- Unfallkategorie 3: Unfall mit Leichtverletzten: Mindestens ein Leichtverletzter, aber keine Getöteten und keine Schwerverletzten,
- Unfallkategorie 4+6: Schwerwiegender Unfall mit Sachschaden (schwere Sachschäden):

  - UK4: Unfälle mit Sachschaden und Strafbestand oder Ordnungswidrigkeits-Anzeige, bei denen mindestens ein Kfz nicht mehr fahrbereit ist (abschleppen),
  - UK6: Alle übrigen Sachschadenunfälle unter Alkoholeinfluss,

- Unfallkategorie 5: Sonstiger Unfall mit Sachschaden (leichte Sachschäden): Sachschadenunfall:

  - mit Strafbestand oder Ordnungswidrigkeits-Anzeige ohne Alkoholeinfluss, bei denen alle Kfz fahrbereit sind oder

  - mit lediglich geringfügiger Ordnungswidrigkeit (Verwarnung), unabhängig davon, ob Kfz fahrbereit oder nicht fahrbereit sind

Unfalltypen (UT)

Alle polizeilich registrierten Unfälle werden entsprechenden Unfalltypen (UT) zugeordnet, die sich je nach Konfliktsituation ergeben. Es wird nach folgenden 7 Unfalltypen unterschieden:

- Unfalltyp 1, Fahrunfall (F): Unfälle, die durch den Verlust der Kontrolle des Fahrzeuges entstehen, ohne dass andere Verkehrsteilnehmer dazu beigetragen haben. Aufgrund des Kontrollverlustes kommt es jedoch zum Zusammenstoß mit anderen Verkehrsteilnehmern.
- Unfalltyp 2: Abbiege - Unfall (AB): Unfälle, die durch den Konflikt zwischen abbiegenden Fahrzeugen und sich in gleicher bzw. entgegengesetzter Richtung bewegenden Verkehrsteilnehmern verursacht werden.
- Unfalltyp 3: Einbiegen / Kreuzen - Unfall (EK): Unfälle, die durch den Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem Vorfahrtsberechtigten ausgelöst werden.
- Unfalltyp 4: Überschreiten - Unfall (US): Unfälle, die durch den Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem Fußgänger auf der Fahrbahn entstehen, ohne dass das Fahrzeug abgebogen ist oder der Fußgänger in Längsrichtung gelaufen ist.
- Unfalltyp 5: Unfall durch ruhenden Verkehr (RV): Unfälle, die durch den Konflikt zwischen einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs und einem des ruhenden Verkehrs entstehen.
- Unfalltyp 6: Unfall durch Längsverkehr (LV): Unfälle, die durch den Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern entstehen, welche sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegen.
- Unfalltyp 7: Sonstiger Unfall (SO): Unfälle, die nicht den Unfalltypen 1-7 zuordenbar sind.

Unfallarten (UA)

Neben den Unfalltypen gibt es noch Unfallarten (UA), welche die Art des Unfallhergangs beschreiben. Angefangen von den Bewegungsrichtungen der Beteiligten bis

zum Zusammenstoß dieser wird der Unfallablauf in den Unfallarten beschrieben. Es geht vor allem um die Beschreibung der Kollision, die zum Unfall führt. Im Gegensatz dazu werden bei den Unfalltypen vor allem die Konfliktsituation bzw. Konfliktauslösung beschrieben. Die Unfallarten sind wie folgt beschrieben [38]:

- Unfallart 1: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das anfährt, anhält oder steht (ruhender Verkehr),
- Unfallart 2: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet,
- Unfallart 3: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt,
- Unfallart 4: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das entgegenkommt,
- Unfallart 5: Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt,
- Unfallart 6: Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger,
- Unfallart 7: Aufprall auf ein Hindernis auf der Fahrbahn,
- Unfallart 8: Abkommen von der Fahrbahn nach rechts,
- Unfallart 9: Abkommen von der Fahrbahn nach links,
- Unfallart 10: Unfall anderer Art, weder 1 bis 9.

Unfallursache (UU)

Unfallursachen werden nach dem seit 1975 geltenden Unfallursachenverzeichnis von den aufnehmenden Polizeibeamten entsprechend ihrer Einschätzung in die Unfallanzeige eingetragen. Es wird unterscheiden nach allgemeinen Ursachen, die dem Unfall und nicht einzelnen Beteiligten zugeordnet werden (z.B. Straßenverhältnisse, Witterungseinflüsse, Hindernisse) und personenbezogenem Fehlverhalten (z.B. Vorfahrtsmissachtung, zu schnelles Fahren). Je Unfall können bis zu zwei allgemeine Ursachen angegeben werden. Beim ersten Beteiligten, dem Hauptverursacher, und einem weitere Beteiligten sind jeweils bis zu drei Angaben möglich. So können je Unfall bis zu acht Unfallursachen eingetragen werden.

Charakteristik der Unfallstelle

Unfälle werden nach ihrer Unfallstelle unterschieden. Zu den Charakteristiken gehören: Kreuzung, Einmündung, Grundstücksein- und zufahrt, Steigung, Gefälle und Kurve.

Unfallbereiche

Nach dem GDV [40] werden unfallauffällige Bereiche in Unfallhäufungsstellen (UHS), Unfallhäufungslinien (UHL) und Unfallhäufungsgebiete (UHG) unterschieden.

Unfallhäufungsstellen (UHS): Unfallhäufungsstellen sind Unfallhäufungen an Stellen mit geringer Längenausdehnung im Straßennetz (z.B. Kurven, Steigungen, Knotenpunkte, Bahnübergänge). Als Kriterium für Unfallhäufungsstellen wird die Anzahl der Unfälle innerhalb eines Zeitraumes herangezogen.

Unfallhäufungslinien (UHL): Unfallhäufungslinien sind Unfallhäufungen entlang eines längeren Streckenabschnittes. Sie werden anhand der „optischen Unfalldichte UD(SP)“ in der 3-Jahres-Karte abgegrenzt, die sich wie folgt ergibt: Drei oder mehr Unfälle mit schwerem Personenschaden oder ein Unfall mit schwerem Personenschaden je Kilometer U/(3a * km) auftreten müssen.

Unfallhäufungsgebiete (UHG): Unfallhäufungsgebiete treten zumeist innerorts auf und können der 3-Jahres-Karte entnommen werden. Die Abgrenzung erfolgt gleichfalls wie bei der UHL durch die Auswertung von Unfällen mit schwerem Personenschaden.

Unfallkosten

Die Unfallkosten beziffern die volkswirtschaftlichen Verluste, die aus den Straßenverkehrsunfällen resultieren und fassen die Anzahl und Schwere von Unfällen zusammen. Die Bestandteile der Unfallkosten sind:

- Unfallkosten aus Verunglückten:
    - Getötete, Schwerverletzte, Leichtverletzte,
    - Ressourcenausfallkosten (Ausfall oder Minderung der Erwerbsfähigkeit, Arbeitsunfähigkeit),
    - Reproduktionskosten (direkte Kosten: medizinische, berufliche Rehabilitation; indirekte Kosten: Polizei, Versicherungen, Rechtsprechung).
- Unfallkosten aus Sachschäden:
    - Reparaturkosten (direkte und indirekte, z.B. Mietwagen),
    - Gemeinkosten (Verwaltungskosten der Versicherungen, Rechtsfolgekosten, Polizeikosten).

In Abhängigkeit von Unfallkategorie und Straßenkategorie (außerorts unterschieden in Autobahn und Landstraßen und innerorts in Verkehrs- und Erschließungsstraßen) wurden für den Preisstand 2000 von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), des Bundesverkehrsministeriums (BMV) und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) mittlere (pauschale) Unfallkostensätze WU für die Unfallstruktur ermittelt. Die pauschalen Unfallkostensätze, die im Rahmen der in dieser Arbeit durchgeführten Unfallanalysen verwendet werden, sind in Abb. 8 dargestellt. Angepasste Unfallkostensätze (berücksichtigen die Verunglücktenstruktur der Untersuchungseinheit) können nicht verwendet werden, da die Unfallstruktur des Unfallkollektivs diese Vorgehensweise nicht zulässt. Die Verwendung von pauschalen Unfallkosten hat außerdem den Vorteil, dass die Unfallkosten der untersuchten Strecken mit Unfallkosten anderer Untersuchungen vergleichbar sind, die nach der gleichen Methode untersucht wurden.

Unfallkategorie			Unfallkostensätze WU [€/U]			
			Verkehrsstraßen			Gebiete
			Autobahnen	Landstraßen außerorts	Verkehrsstraßen innerorts	Erschließungsstraßen innerorts
1 + 2	Unfall mit schwerem Personenschaden	(SP)				
Baden-Württemberg		BW	335 000	250 000	155 000	135 000
Bayern		BY	350 000	270 000	160 000	135 000
Berlin		BE	290 000	295 000	195 000	140 000
Brandenburg		BB	320 000	295 000	175 000	140 000
Bremen		HB	215 000	300 000	160 000	135 000
Hamburg		HH	160 000	275 000	175 000	145 000
Hessen		HE	330 000	270 000	170 000	135 000
Mecklenburg-Vorpommern		MV	300 000	335 000	175 000	150 000
Niedersachsen		NI	335 000	300 000	165 000	140 000
Nordrhein-Westfalen		NW	265 000	230 000	145 000	120 000
Rheinland-Pfalz		RP	305 000	240 000	140 000	130 000
Saarland		SL	270 000	315 000	195 000	155 000
Sachsen		SN	315 000	260 000	150 000	140 000
Sachsen-Anhalt		ST	345 000	275 000	170 000	135 000
Schleswig-Holstein		SH	360 000	275 000	150 000	135 000
Thüringen		TH	305 000	265 000	165 000	140 000
3	Unfall mit leichtem Personenschaden	(LV)	31 000	18 000	12 500	10 000
4 + 6	schwerwiegender Unfall mit Sachschaden	(SS)	18 500	13 000	12 000	11 500
5	sonstiger Unfall mit Sachschaden	(LS)	8 000	6 000	6 000	5 500
4 + 5 + 6	Unfall mit Sachschaden	(S)	10 500	7 000	6 500	5 500

Preisstand 2000

Abb. 8 Unfallkostensätze WU (k) in €/U zur Bewertung des aktuellen Unfallgeschehens in Abhängigkeit von Unfallkategorie (k) und Straßenkategorie – Preisstand 2000 [24]

Um die absoluten Zahlen an Unfällen auf Strecken und Knoten miteinander vergleichen zu können, werden diese nach dem Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen der FGSV [38] über die so genannten Unfallkennziffern beurteilt und abgewogen.

Unfalldichte (UD)

Mit Hilfe von Unfalldichten (UD) wird die absolute Anzahl an Unfällen über einen bestimmten Zeitabschnitt an einem bestimmten Streckenabschnitt angegeben. Als Formel für die Unfalldichte gilt:

$$\text{UD} = \frac{U}{L * t} \quad \text{[Unfälle / (km * a)]}$$

Hierbei ist U ist die Summe der Unfälle im zu betrachtenden Streckenabschnitt, L die Länge des Streckenabschnitts (bei Punkten eine dimensionslose 1, sonst in km) und t der Untersuchungszeitraum in Jahren (i.d.R. mind. 3 Jahre).

Unfallrate (UR)

Die Unfallrate (UR) gibt an, welche durchschnittliche Anzahl an Unfällen bezogen auf einen bestimmten Zeitabschnitt bei einer Fahrleistung von 1 Million Fahrzeugkilometern sich ereignet. Die Unfallrate ergibt sich aus folgender Formel:

$$\text{UR} = \frac{U * 10^6}{365 * DTV * L * t} \quad \text{[Unfälle / (1 Million Kfz * km * a)]}$$

U ist die Summe der Unfälle im zu betrachtenden Streckenabschnitt, DTV der durchschnittlichen tägliche Verkehr (in Kfz), L die Länge des Streckenabschnitts (bei Punkten eine dimensionslose 1, sonst in km) und t der Untersuchungszeitraum in Jahren (i.d.R. mind. 3 Jahre).

Unfallkostendichten (UKD)

Durch die Unfallkostendichten (UKD) werden die durchschnittlichen Kosten errechnet, welche durch die Straßenverkehrsunfälle auf einem bestimmten Streckenabschnitt bzw. Knotenpunkt für die Allgemeinheit entstehen.

Die Höhe der Unfallkostendichte berechnet sich aus der folgenden Formel:

$$\text{UKD} = \frac{UKost}{1.000 * L * t} \quad [1.000\ € / (km * a)]$$

UKost ist die Summe der Unfallkosten (in Euro) im zu betrachtenden Streckenabschnitt, L die Länge des Streckenabschnitts (bei Punkten eine dimensionslose 1, sonst in km) und t der Untersuchungszeitraum in Jahren (i.d.R. mind. 3 Jahre).

Unfallkostenrate (UKR)

Anhand der Kostenrate werden die durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten ermittelt, die durch die Unfälle entstehen, bezogen auf eine bestimmte Zeit und einer Fahrleistung von 1.000 Kfz*km. Die Unfallkostenrate errechnet sich aus folgender Formel:

$$\text{UKR} = \frac{UKost * 1.000}{365 * DTV * L * t} \quad [€ / (1.000\ \text{Kfz} * km * a)]$$

Die UKost ist die Summe der Unfallkosten (in Euro) im zu betrachtenden Streckenabschnitt, der DTV der durchschnittliche tägliche Verkehr an dem Knotenpunkt (in Kfz), L die Länge des Streckenabschnitts (bei Punkten eine dimensionslose 1, sonst in km) und t der Betrachtungszeitraum in Jahren (i.d.R. mind. 3 Jahre).

Sicherheitspotenzial (SiPo)

Nach dem 1. Teil des Merkblatts für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen der FGSV [38] und den Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN) der FGSV [24] beschreibt das Sicherheitspotenzial (SiPo) die vermeidbaren Unfallkostendichten im Vergleich zur mittleren sicheren Straßengestaltung. Dieses Sicherheitspotenzial ist die Differenz der vorhandenen Unfallkostendichte und der bei richtliniengerechtem Ausbau zu erwartenden Grundunfallkostendichte. Hieraus folgt die Formel für das Sicherheitspotenzial:

$$\text{SiPo} = UKD - gUKD \quad [1.000\ € / (km * a)]$$

Hierbei ist UKD die vorhandene Unfallkostendichte und gUKD die Grundunfallkostendichte. Die gUKD errechnet sich aus der Verkehrsstärke DTV und der Grundunfallkostenrate wie folgt:

$$\text{gUKD} = \frac{gUKR * DTV * 365}{10^6} \quad [1.000\ € / (km * a)]$$

gUKR ist die Grundunfallkostenrate und DTV der durchschnittliche tägliche Verkehr. Die Höhe der gUKR mit 28 [€/(1.000 Kfz * km)] gilt nur bei Unfällen der Kategorie UK1-4 und UK 6 (vgl. Abb. 9).

	Grundunfallkostenraten gUKR [€/(1 000 Kfz · km)]	
ausgewertete Unfallkategorien	**P,SS** Kat. 1 bis 4 und 6	**P,S** Kat. 1 bis 6
(1)	(2)	(3)
Autobahnen	**11**	**15**
Landstraßen*	**28**	**35**
Verkehrsstraßen innerorts	**29**	**51**

* Außerortsstraßen ohne Autobahnen Preisstand 2000

Abb. 9 Grundunfallkostenraten (gUKR) nach ESN [24]

Bei einer zusätzlichen Betrachtung der Unfallkategorie 5 (Unfälle mit sonstigen Sachschäden) wird eine Grundunfallkostenrate in Höhe von 35 [€/(1.000 Kfz * km)] verwendet.

2.4.2 Sicherheitsanalyse von Straßennetzen

Die Beurteilung der Verkehrssicherheit einer Ortsveränderung erfolgt durch die Bestimmung des Fahrtweitenanteils, den ein Nutzer auf vergleichsweise sicheren Verkehrswegen bzw. geeigneten Verkehrswegen erbringt. Landstraßen bzw. innergemeindliche Hauptverkehrsstraßen werden als sicher eingestuft, wenn die Grundunfallkostenrate gemäß den „Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)“ [24] nicht überschritten wird. Für neue Straßen werden die zu erwartenden Unfallkostenraten den „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS)“ [25] entnommen.

Die Differenz zwischen der vorhandenen Unfallkostendichte und der Grundunfallkostendichte zeigt die vermeidbare Unfallkostendichte an und ist somit die Kenngröße für die Beschreibung des Sicherheitspotenzials (SIPO) einer Straße. Unter Berücksichtigung der zu erwartenden Verkehrsentwicklung (Prognoseverkehrsstärke) kann ein prognostiziertes Sicherheitspotenzial für Straßennetzabschnitte ermittelt werden.

Neben den Sicherheitsanalysen für das außerörtliche Hauptstraßennetz wird im Rahmen der ESN auch das innerörtliche Straßennetz untersucht. Für innerörtliche Gebiete zwischen Verkehrsstraßen ist die mittlere Unfallkostendichte Kenngröße der Sicherheitsmängel.

Pilotanwendungen haben gezeigt, dass das ESN-Verfahren in vielen Fällen in der Lage ist, Bereiche zu identifizieren, die auch bei einer Betrachtung der etablierten Unfallkenngrößen und insbesondere der Unfallkostenrate auffallen [5]. Das Verfahren muss allerdings auf bestimmte Kriterien hin ausgerichtet werden. Besondere Bedeutung kommt zunächst der Wahl der geeigneten Methode zur Abschnittsbildung zu. Zum einen kann eine Netzeinteilung auf Grundlage der Netzstruktur vorgenommen werden.

Diese Einteilung ist allerdings nicht für die Bestimmung von genau abgegrenzten Sicherheitsdefiziten geeignet. Um eine reine Sicherheitsbetrachtung durchzuführen, sollte eine Netzeinteilung auf Grundlage des Unfallgeschehens vorgenommen werden. Als Grenzwerte werden für Außerortstraßen u.a. die Mindestlänge von 1.000 m und die Unfalldichte UD(SP) von > 1 U(SP)/(3a * km) gegeben [21]. Weiterhin sollten Abschnitte getrennt werden, wenn sich die Verkehrsstärke um mehr als 50 % ändert. Im Fall von Ortsdurchfahrten, die kürzer als 500 m sind, sollte der Abschnitt davor und dahinter zusammengefasst werden [5]. Mit dieser Analyse ist eine objektive Bewertung der Sicherheit eines Straßennetzes möglich.

Zukünftig soll das „Handbuch für die Verkehrssicherheit von Straßen (HVS)“ [3] Planern und Entscheidungsträgern Möglichkeiten zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von Straßenverkehrsanlagen aufzeigen. Zusätzlich fließen auch die Erfahrungen der Sicherheitsaudits mit ein (vgl. Kapitel 2.4.3). Das für die neuen Entwurfsrichtlinien entwickelte Sicherheitskonzept der standardisierten, wiedererkennbaren Straßen soll die Grundlage bilden. Für das Handbuch wird ein völlig neues Konzept für eine standardisierte Sicherheitsbewertung von Straßen entwickelt. Der Nachweis der Sicherheit von Straßenverkehrsanlagen erfolgt unter anderem durch die Quantifizierung von Sicherheitsgraden. Es basiert auf der Abschätzung von Grundunfallkostenraten, die im Mittel bei einem richtliniengerechten Ausbau auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten und Knotenpunkten zu erwarten sind, und berücksichtigt Abweichungen vom richtliniengerechtem Ausbau durch kostenmäßige Zuschläge. Das für Autobahnen, Landstraßen und Stadtstraßen anwendbare Verfahren ähnelt in seiner standardisierten Struktur dem Vorgehen bei der Bewertung der Verkehrsqualität gemäß dem „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)“ [26]. Das HVS soll einheitliche und harmonisierte Bewertungskriterien für die Verkehrssicherheit bereitstellen, die einen Vergleich mit den Ergebnissen aus anderen Zielfeldern der Straßenplanung ermöglichen. Somit können Abwägungs- und Entscheidungsprozesse transparenter gestaltet werden.

2.4.3 Sicherheitsaudit

Mit den im Jahr 2002 von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen veröffentlichten „Empfehlungen für das Sicherheitsaudit an Straßen (ESAS)“ [23] wurde das Sicherheitsaudit in Deutschland eingeführt. Als Element der Qualitätssicherung und Bestandteil eines Qualitätssicherungsmanagements soll eine systematische Ermittlung der Sicherheitsdefizite dazu dienen, Straßen so sicher wie möglich zu gestalten und damit erhöhte Unfallgefahren und etwaige Kosten beim späteren Umbau von Unfallschwerpunkten zu vermeiden.

2.4.4 Unfallgeschehen in der Bundesrepublik Deutschland

In Unfallstatistiken werden Landstraßen in der Bezeichnung „außerhalb von Ortschaften ohne Autobahnen“ geführt. Diese setzten sich aus den Straßen des überörtlichen Verkehrs (Bundes-, Landes- und Kreisstraßen) sowie den anderen Straßen zusammen.

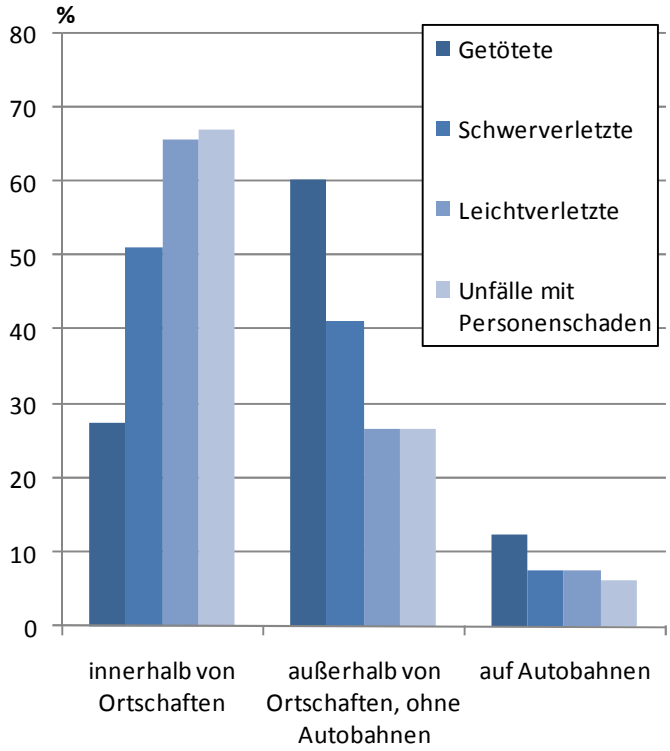


Abb. 10 Verunglückte und Unfälle mit Personenschaden nach Ortslage in Deutschland (eigene Darstellung nach [91])

Insgesamt wurden im Jahr 2005 in Deutschland 336.619 Unfälle mit Personenschaden polizeilich registriert. Von diesen Unfällen entfielen 89.801 (27 %) auf die Landstraßen. An Landstraßen verunglückten allerdings mit 3.228 Personen fast zwei Drittel (60 %) aller tödlichen Verkehrsopfer in Deutschland (vgl. Abb. 10). An dieser unterschiedlichen Verteilung der Unfälle und der Getöteten wird deutlich, dass die Unfälle auf Landstraßen u.a. wegen der höheren Geschwindigkeiten schwerer waren als auf anderen Straßenkategorien. Zieht man als Maß für die Unfallschwere das Verhältnis der Zahlen von Getöteten zu Unfällen mit Personenschaden heran, so wird dies bestätigt. Innerhalb von Ortschaften kamen knapp 7 Getötete auf 1.000 Unfälle mit Personenschaden, entsprechend lag der Anteil für Autobahnen bei 32 Getöteten pro 1.000 Unfällen mit Personenschaden und für die Landstraßen sogar bei 36 Getöteten pro 1.000 Unfällen mit Personenschaden.

Art der Beteiligung

Die Dominanz des Pkw im Straßenverkehr belegt der hohe Anteil der Pkw-Benutzer an den Verkehrsopfern: 60 % der Verkehrstoten und sogar 70 % der Verunglückten ka-

men in einem Pkw zu Schaden. 16 % der Getöteten waren Motorradbenutzer, sie sind damit die am stärksten gefährdeten Verkehrsteilnehmer. Einen ebenfalls hohen Wert weisen die Güterkraftfahrzeuge mit 12 % der Getöteten auf. Der Anteil des nicht motorisierten Individualverkehrs an den Getöteten beträgt 6 % bei den Radfahrern und 4 % bei den Fußgängern.

Die Unfälle mit Personenschäden verteilen sich im Wesentlichen auf Unfälle mit ein oder zwei Beteiligten. Die Alleinunfälle betragen hierbei etwa 37 % und die Unfälle mit zwei Beteiligten betragen etwa 54 %.

Entwicklung in den letzten Jahren

Seit der Wiedervereinigung hat sich die Anzahl der Getöteten auf Deutschlands Landstraßen insgesamt mehr als halbiert. Besonders deutlich ist dieser Trend bei den Bundesstraßen zu erkennen, zwischen den Jahren 1991 und 2005 reduzierten sich die Getöteten pro 1.000 Kilometer Straßenlänge von 85,9 auf 38,5. Hierbei lässt insbesondere der Rückgang der Getöteten in den letzten drei Jahren u.a. die Wirkung von Fahrtrichtungstrennungen bei vierstreifigen Querschnitten erkennen. Ein Einsatz kann deshalb ggf. auch bei dreistreifigen Querschnitten zweckmäßig sein. Hierbei muss allerdings ausreichend Platz zum Vorbeifahren im Falle von liegengebliebenen Fahrzeugen vorgehalten werden (ggf. durch breitere Bankette).

Es ist außerdem zu beobachten, dass in den ersten fünf Jahren nach der Wiedervereinigung kaum eine Verbesserung des Unfallgeschehens zu verzeichnen war, was auf die veränderte Motorisierung und den schlechten Straßenzustand in den neuen Bundesländern zurückgeführt werden kann. Es reduzierte sich zwischen den Jahren 1991 und 1995 die Zahl der Getöteten je 1.000 Kilometer Straßenlänge auf Bundesstraßen lediglich um 9 %. In den weiteren 10 Jahren zwischen 1995 und 2005 sank diese fast doppelt so schnell um weitere mehr als 50 % (vgl. Abb. 11).

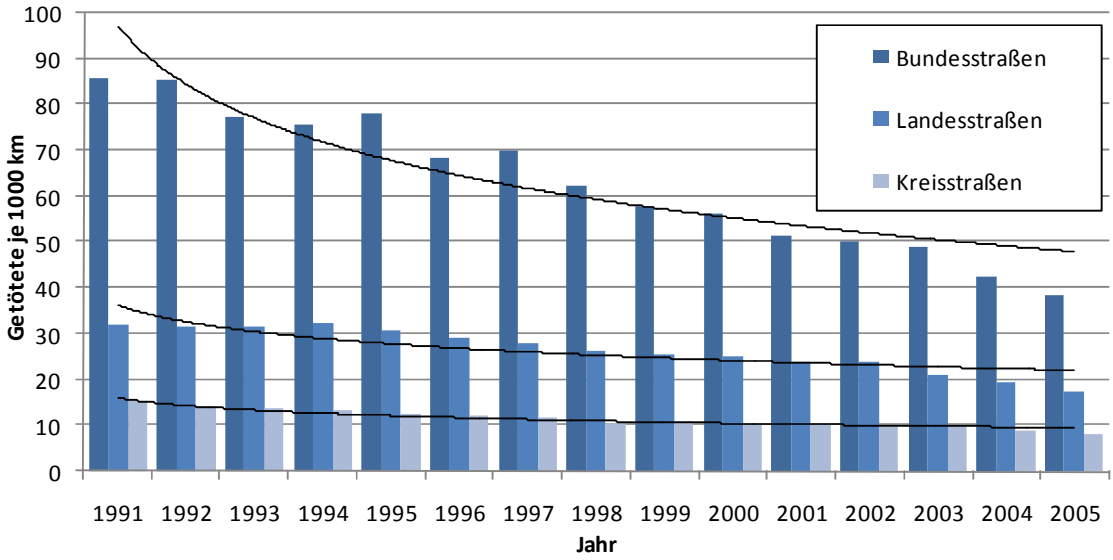


Abb. 11 Getötete je 1.000 Kilometer Straßenlänge auf Straßen des überörtlichen Verkehrs (eigene Darstellung nach [91])

Unfalltyp

Häufigster Unfalltyp auf Landstraßen ist sowohl bei den Unfallzahlen (39 %), als auch bei den Getötetenzahlen (51 %) der Fahrunfall. Beim Fahrunfall liegt ein Kontrollverlust des Fahrzeugführers ohne Einwirkung eines anderen Verkehrsteilnehmers vor, er wird häufig durch nicht angepasste Geschwindigkeit in Verbindung mit einer falschen Einschätzung des Straßen- oder Kurvenverlaufs hervorgerufen. Es ist somit zu erkennen, welchen wesentlichen Einfluss die Streckencharakteristik auf das Unfallgeschehen hat.

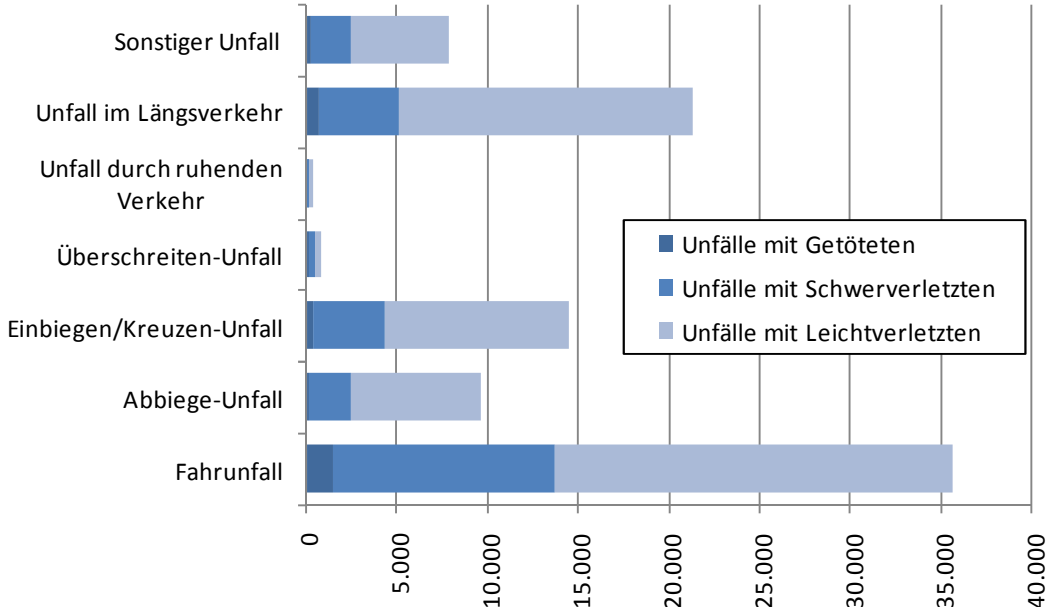


Abb. 12 Unfalltypen auf Landstraßen bei Unfällen mit Personenschaden (eigene Darstellung nach [91])

Mit knapp einem Viertel (24 %) bei den Unfällen mit Personenschaden als auch bei den Getöteten (23 %) ist als zweithäufigster Unfalltyp der Unfall im Längsverkehr zu registrieren. Hierbei handelt es sich um einen Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegen. Die mit 11 bzw. 16 % auftretenden Abbiege- und Einbiege/Kreuzen-Unfälle zeigen, dass gegenüber den Autobahnen die Knotenpunkte neben dem entgegenkommenden Verkehr auf den einbahnigen Querschnitten ein zusätzliches Unfallrisiko ausmachen.

Unfallart

Das Unfallgeschehen auf Landstraßen setzt sich im Wesentlichen aus zwei Gruppen von Unfallarten zusammen, dem Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug bzw. Fußgänger (56 %) und dem Abkommen von der Fahrbahn (35 %). Der Aufprall auf ein Hindernis auf der Fahrbahn (1 %) und Unfälle anderer Art (8 %) sind weniger ausgeprägt.

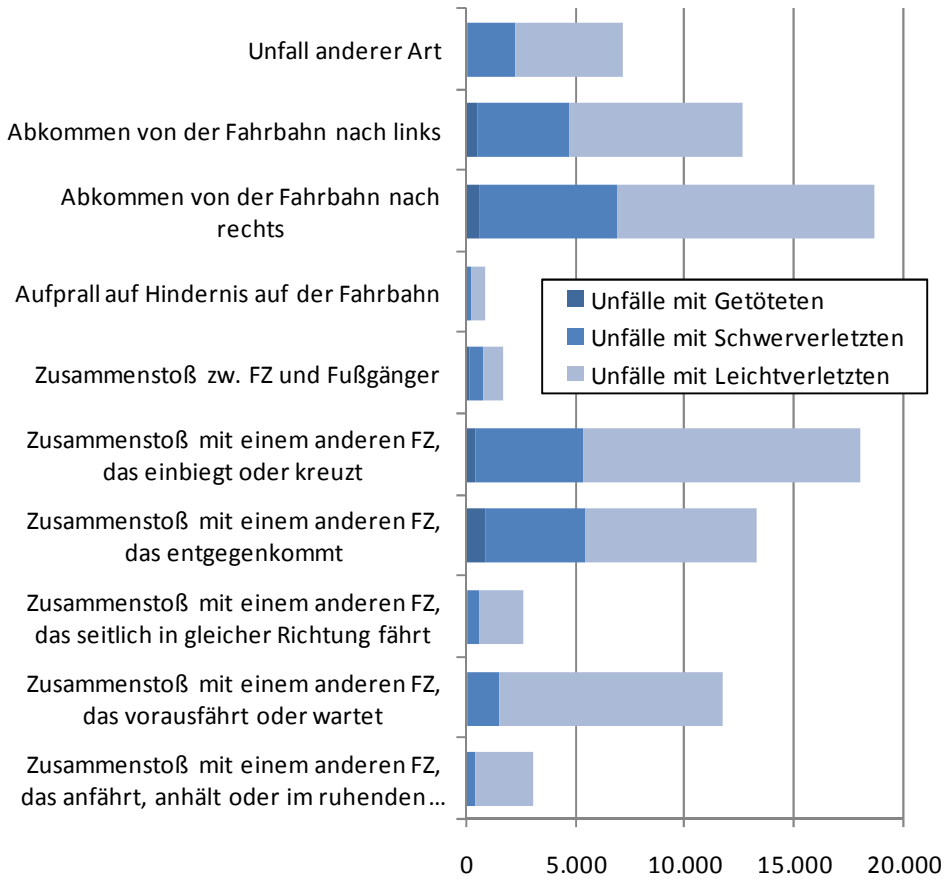


Abb. 13 Unfallarten auf Landstraßen bei Unfällen mit Personenschaden (eigene Darstellung nach [91])

Die Problematik der Knotenpunkte als Unfallhäufungsstelle auf Landstraßen spiegelt sich u.a. in den Unfällen mit Zusammenstößen mit einem anderen Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt, wieder (20 %). Unfälle mit vorausfahrenden oder wartenden Fahrzeugen betragen 13 % der Unfälle mit Personenschaden. Hierzu gehören ebenfalls u.a. Unfälle an Kreuzungen, bei denen das hintere Fahrzeug nicht rechtzeitig zum Stehen kommt und auf das vor ihm angehaltene Fahrzeug auffährt. Die Geschwindigkeiten sind hierbei meistens aber bereits weit geringer als bei Unfällen anderer Art. Dies ist an der geringen Unfallschwere zu erkennen. Die übrigen Unfallarten gehören sowohl in ihrer Häufigkeit als auch in ihrer Schwere zu den weniger auffälligen Unfallarten.

Streckencharakteristik

Bei der Betrachtung der Charakteristik der Unfallstellen (vgl. Abb. 14) ist festzustellen, dass sich 30 % der Unfälle mit Personenschaden in Kurven ereignen. Mit 41 % ist der Anteil an den Getöteten auf Landstraßen im Kurvenbereich Hauptunfallbereich. Als weitere Unfallschwerpunkte sind die Bereiche von Kreuzungen, Einmündungen sowie Grundstücksein- und ausfahrten mit insgesamt 34 % der Unfälle mit Personenschaden anzusehen. Der mit 21 % geringere Anteil an den Getöteten ist durch das geringere Geschwindigkeitsniveau begründet. Als weitere Unfallhäufungsstellen haben sich Stei-

gungs- und Gefällestrecken mit 16 % der Unfälle mit Personenschaden erwiesen, der Anteil an den Getöteten liegt bei 18 %.

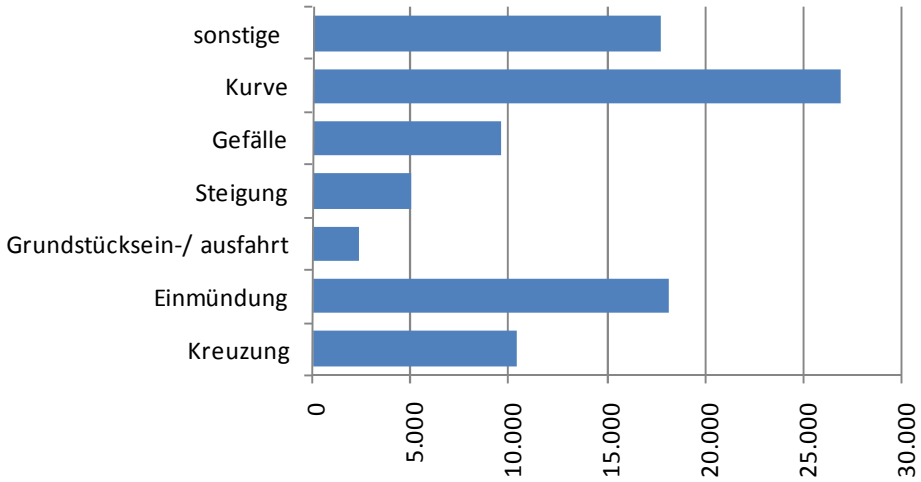


Abb. 14 Charakteristik der Unfallstelle auf Landstraßen bei Unfällen mit Personenschaden (eigene Darstellung nach [91])

Unfallursache

An 12,5 % der Unfälle mit Personenschaden auf Landstraßen in Deutschland im Jahr 2005 waren die Straßenverhältnisse mit auslösend. Personenbezogene Unfallursachen (Fehlverhalten der Beteiligten) stellte die Polizei bei Unfällen mit Personenschaden 111.393 mal fest, das waren durchschnittlich 1,2 Fehler je Unfall mit Personenschaden oder 723 Fehlverhalten je Tausend beteiligte Fahrzeugführer (vgl. Abb. 15). Von den Fehlverhalten war die häufigste Unfallursache die nicht angepasste Geschwindigkeit mit 28 %. Es folgen Vorfahrts-/ Vorrangfehler (13 %), ungenügender Sicherheitsabstand (10 %), Verkehrstüchtigkeit und falsche Straßenbenutzung (je 8 %).

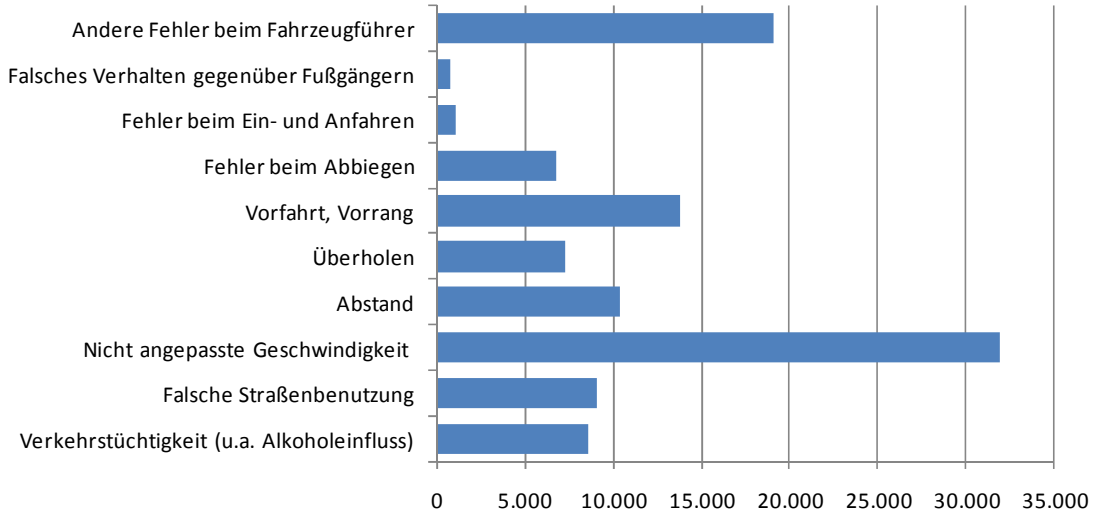


Abb. 15 Fehlverhalten der Fahrzeugführer auf Landstraßen bei Unfällen mit Personenschäden (eigene Darstellung nach [91])

Hindernisse neben der Fahrbahn

30 % der Unfälle mit Personenschaden auf Landstraßen waren mit einem Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn verbunden. Besonders deutlich wird hierbei die Problematik mit Bäumen seitlich der Fahrbahn. Es ist festzustellen, dass an Baumunfällen beteiligte Verkehrsteilnehmer besonders schwer verunglücken. So wurden in Deutschland bei Unfällen mit Aufprall auf Bäume 950 Getötete registriert, dies entspricht einem Anteil von etwa 29 % an allen auf Landstraßen Getöteten.

2.4.5 vorhandene Unfalluntersuchungen

Bisher wurde in Deutschland eine Vielzahl von Unfalluntersuchungen zu Landstraßen durchgeführt. In diesem Kapitel werden ausgewählte Untersuchungen in ihrer Methodik und ihren Ergebnissen zusammengefasst. Die meisten Untersuchungen beschränken sich hierbei auf eine sektorale Betrachtung der knotenpunktfreien Streckenabschnitte oder der Knotenpunkte.

Knotenpunktfreie Streckenabschnitte

OTTE [75] hat in seiner Verkehrsunfalluntersuchung Unfälle auf Landstraßen untersucht, die den Unfallkategorien 1 bis 3 entsprechen (Unfälle mit Personenschäden). Es wurden 1.575 Unfälle an Landstraßen untersucht, die sich im Landkreis Hannover in den Jahren 1985 bis 1993 ereigneten.

OTTE [75] kommt zu dem Ergebnis, dass vor allem Pkw an Unfällen auf Landstraßen beteiligt sind (90 % aller Unfallbeteiligten). Von den untersuchten Unfällen ereignen sich 63 % an einbahnigen Straßen. Von diesen 63 % passieren 45 % an Straßen, die eine maximale Breite von 3,5 m pro Fahrtrichtung haben, und 18 % an breiteren Straßen.

In Bezug auf die eigene Unfalluntersuchung hat OTTE [75] vor allem drei Unfalltypen als am häufigsten auf Landstraßen ermittelt:

- UT 1 (Fahrunfälle),
- UT 2 und UT 3 als Unfälle an Knoten (Abbiege-Unfälle und Einbiege-/Kreuzen-Unfälle),
- UT 6 (Längsverkehr-Unfälle).

Von den registrierten Fahrunfällen, insgesamt 540 Unfälle, ereigneten sich 52 % in Kurvenbereichen und etwa 41 % an geraden Streckenteilen überwiegend in „normalen“ Streckenabschnitten (nicht z.B. in Verschwenkungsbereichen, Engstellen). Bei den 402 aufgenommenen Unfällen an Knoten ist die Verteilung der Abbiege-Unfälle und Einbiegen-/ Kreuzen-Unfälle fast gleich groß, 46 und 54 %. Die häufigste Unfallursache bei Knotenpunktunfällen ist hierbei die Nichtgewährung der Vorfahrt. Dies trat bei 68 % der Fälle auf. Von den 373 ermittelten Längsverkehrsunfällen sind vor allem Auffahrunfälle mit 42 % und Unfälle in Folge von Überholvorgängen mit 37 % verzeichnet. Gesondert erwähnt Otte noch, dass bei Unfällen an Knotenpunkten drei Viertel der tödlich Verunglückten bei Unfällen des UT 3, Einbiegen-/ Kreuzen-Unfälle, vorkamen.

LEUTZBACH / ZOELLMER [61] haben den Zusammenhang zwischen der Verkehrssicherheit und den Elementen des Straßenentwurfs untersucht. Analog der Vorgehensweise von KREBS / KLÖCKNER [54] wurden die Parameter Fahrbahnbreite, Kurvenradius, Kurvigkeit, Längsneigung, Verkehrsstärke und Elementfolge klassifiziert und hinsichtlich ihrer Unfallraten und Unfallkostenraten untersucht. Die Untersuchung der Fahrbahnbreite zeigt, dass mit zunehmender Fahrbahnbreite eine abnehmende Tendenz für die Unfallrate bis zu mittleren Fahrbahnbreiten zu erkennen ist. Sehr breite Fahrbahnen wiederum bewirken einen Anstieg der Unfallraten. Die Unfallkostenraten zeigen insgesamt einen ähnlichen Verlauf, allerdings ohne Anstieg im Bereich großer Fahrbahnbreiten.

Der Einfluss des Straßenquerschnittes und der Verkehrsstärke wurde ebenfalls von LEUTZBACH / BAUMANN [58] untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass breite Querschnitte einen positiven Einfluss auf die Unfallkennwerte haben.

Bei den Kurvenradien konnten die von KREBS / KLOECKNER [54] ermittelten Zusammenhänge bestätigt werden. Insbesondere die dort getroffene Aussage, dass ab Radien von R = 400 m der Sicherheitsgewinn durch größere Radien relativ gering ist, wurde bestätigt. Sowohl für die Unfallrate als auch für die Unfallkostenrate ist bis zu Radien von R = 1000 m ein Rückgang auf ein Drittel der Werte, bezogen auf die Radien unter R = 100 m, festzustellen. Größere Radien bewirken einen leichten Anstieg beider Kenngrößen.

Die Untersuchungen von LEUTZBACH / ZOELLMER [61] ergaben, dass die Kurvigkeit einen wesentlich geringeren Einfluss auf die Verkehrssicherheit ausübt als der Kurvenradius. Mit zunehmender Kurvigkeit ist nur ein leichtes Anwachsen der Unfallrate verbunden. Bei der Unfallkostenrate ist die Zunahme nur bis in den Kurvigkeitsbereich von etwa 100 gon/km erkennbar; darüber hinaus führt ein Anstieg der Kurvigkeit zu einer Abnahme der Unfallkostenrate. Ungünstiger wirken sich hohe Kurvigkeiten auf Fahrunfälle und Unfälle im Längsverkehr sowie bei nasser/glatter Fahrbahn aus.

Im Bereich der Elementfolgen kommen LEUTZBACH / ZOELLMER [61] zu dem Ergebnis, dass Radienverhältnisse sowohl bei direkt aufeinander folgenden Radien als auch solche mit einer dazwischen angeordneten Geraden bis zu einem Wert von 0,8 (Quotient des aktuell befahrenen Radius und des letzten in Fahrtrichtung davorliegenden Kreisbogens) zu einem leichten Ansteigen der Unfallrate führen, darüber hinaus ist keine Veränderung erkennbar. Verhältniswerte unter 0,15 bedingen einen sprunghaften Anstieg der Rate auf den doppelten Betrag. Gleiches gilt für die Unfallkostenrate. Die Anwendung eines Übergangsbogens konnte ebenfalls als positiv auf die Verkehrssicherheit bewertet werden. Die Anwendung der Relationstrassierung kann hierdurch als erheblicher Sicherheitsgewinn im Straßenentwurf bestätigt werden. Die Untersuchung der Längsneigung ergab nur einen sehr geringen Einfluss auf die Verkehrssicherheit.

BARTELT et al. [4] konnten die Tendenzen von LEUTZBACH / ZOLLMER [61] bestätigen. Sie stellten für die Streckenmerkmale Linienführung, Fahrbahnbreite und Längs-

neigung eine kontinuierliche Abnahme der Unfallrate mit steigender Streckenqualität fest, weniger ausgeprägt verhält sich dagegen die Unfallkostenrate.

LIPPOLD [63] hat in seinen Untersuchungen die Unfälle den Radienverhältnissen zugeordnet. Dabei erfolgte eine Differenzierung nach dem Charakter der gesamten Strecke und wiederum nach den auftretenden Geschwindigkeitsdifferenzen. Er bestätigt, dass relationstrassierte Strecken ein deutlich niedrigeres Unfallgeschehen aufweisen als unstetig trassierte Strecken und gibt Empfehlungen für die Anpassung der Radienfolge. Zudem weist er darauf hin, dass Korbbögen generell vermieden werden sollten.

HEGEWALD / WEBER [43] haben Unfälle auf schmalen Landstraßenquerschnitten untersucht und die Auswirkungen der neuen Querschnittsgestaltung nach den RAL [30] abgeschätzt. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass eine Verbreiterung des Regelquerschnittes von 5,5 auf 6,0 m aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse (vgl. oben) zu einer Reduzierung der Unfallzahlen und ggf. auch der Unfallschwere beitragen kann. Zudem haben HEGEWALD / WEBER [43] den Einfluss der Kurvenradien untersucht. Sie empfehlen, dass Kurven mit Radien von R < 200 m im Anschluss an eine längere Gerade verkehrstechnische Maßnahmen erforderlich machen. Sie weisen zudem daraufhin, dass der größte Sicherheitsgewinn des neuen Querschnittes in Kombination mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h zu erzielen ist.

WEBER / LOEHE [102] konnten bei ihren Untersuchungen zur Verkehrssicherheit und zum Verkehrsablauf auf b2+1 Strecken mit allgemeinem Verkehr keinen Einfluss langsamer Fahrzeuge auf die Verkehrssicherheit feststellen. Der Einfluss des Ausbaustandards der Strecken auf das Unfallgeschehen war allerdings festzustellen. Strecken mit einer großzügigen, übersichtlichen Linienführung in Kombination mit planfreien Knotenpunkten weisen eine deutlich niedrigere Unfallkostenrate auf als Strecken mit einer bewegteren Linienführung in Kombination mit plangleichen Knotenpunkten. Darüber hinaus stellten die Autoren fest, dass kurze zweistreifige Abschnitte deutlich mehr Überholunfälle aufweisen als lange Strecken. Sie kamen daher zu dem Schluss, dass zweistreifige Abschnitte mindestens 1.000 m lang sein sollten. Zudem wird bei einer stärkeren Trennung der Fahrtrichtungen kein erheblicher Sicherheitsgewinn erwartet, da die Anzahl der untersuchten Unfälle zwischen Fahrzeugen entgegengesetzter Richtung gering war. Als möglicher Sicherheitsgewinn wurden jedoch präventive Maßnahmen gegen Wildunfälle genannt, da der Anteil von Wildunfällen erheblich war.

Bereits die RAS-Q [35] beinhalten die Überprüfung der Verkehrssicherheit anhand von Unfallkostenraten (vgl. Abb. 16). Für die Bewertung der Verkehrssicherheit sind hierbei zum einen Unfallkostenraten für Streckenabschnitte der einzelnen Regelquerschnitte aufgeführt. Zum anderen werden mittlere längenbezogene Unfallkosten in Abhängigkeit vom DTV für jeden Regelquerschnitt gegeben. Hierdurch ist es möglich für vorgegebene Verkehrsbelastungen (DTV) einer geplanten Straße festzustellen, welche volkswirtschaftlichen Kosten aufgrund der Entscheidung zwischen geeigneten Regelquerschnitten voraussichtlich eingespart werden können bzw. zusätzlich zu erwarten sind. Dieser Änderung der volkswirtschaftlichen Kosten durch Straßenverkehrsunfälle

können die entsprechenden Aufwendungen des Baulastträgers gegenübergestellt werden.

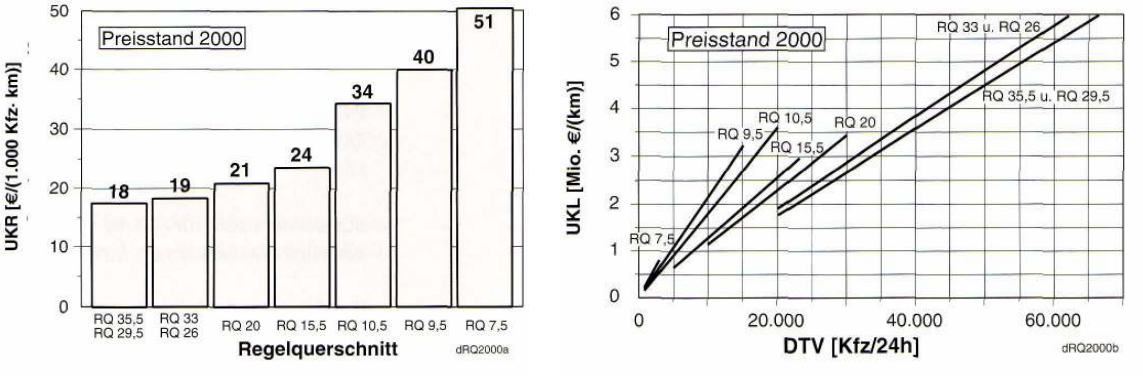


Abb. 16 Unfallkostenrate (UKR) der verschiedenen Regelquerschnitte (links) und Barwerte der längenbezogenen Unfallkosten (UKL) der verschiedenen Regelquerschnitte in Abhängigkeit des DTV für Streckenabschnitte [74]

Im Jahr 1996 wurde die Projektgruppe AOSI („Außerortssicherheit“, Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Außerortsstraßen) eingerichtet, um detaillierte Vorschläge zur kurz- und mittelfristigen Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen zu unterbreiten und deren Wirksamkeit in einem Großversuch auf ausgewählten Strecken zu überprüfen. Folgende Maßnahmen sollten auf einzelnen Streckenabschnitten realisiert werden: Schaffung von sicheren und geregelten Überholmöglichkeiten, Durchsetzen von Überholverboten, Durchsetzen von angemessenen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, verkehrssichere Gestaltung und Schutz der Seitenräume. Durch eine Vorher-Nachher-Untersuchung auf ausgewählten Strecken wurde untersucht, inwieweit auf besonders unfallauffälligen Landstraßen Geschwindigkeits- und Überholunfälle durch den Einsatz von linienhaft angeordneten ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen („Starenkästen“) sowie durch zusätzliche Überholfahrstreifen reduziert werden können. Grundlage für die Beurteilung der Wirkungen der Maßnahmen und für die Ableitung von Empfehlungen bildeten u.a. das Geschwindigkeitsverhalten und das Unfallgeschehen. Um die Akzeptanz der Kraftfahrer gegenüber den linienhaft angeordneten ortfesten Geschwindigkeitsüberwachungsanlage (OGÜ) als restriktive Maßnahme zu untersuchen, wurden zudem Befragungen durchgeführt. Mit diesem umfassenden Untersuchungsprogramm sollte die linienhafte Anordnung der OGÜ hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Geschwindigkeitsverhalten und das Unfallgeschehen analysiert und beurteilt werden. Es wurde festgestellt, dass durch eine linienhaft angeordnete Aufstellung von OGÜ die Verkehrssicherheit nachhaltig verbessert werden kann. Unter anderem ist die Anzahl der bei Unfällen getöteten Personen über alle Strecken betrachtet um mehr als 50 Prozent zurückgegangen. Betrachtet man allein die „Fahrunfälle“, die in erster Linie auf überhöhte Geschwindigkeiten zurückzuführen sind, konnten im Vergleich zum Vorher-Zeitraum auf den einzelnen Untersuchungsstrecken Rückgänge zwischen 30 und 60 Prozent erzielt werden. Dieses Resultat korrespondiert mit den Ergebnissen der gemessenen Pkw-Geschwindigkeiten. Im unmittelbaren Einflussbereich der Überwachungsanlagen ent-

sprechen sie etwa der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, zwischen den Überwachungsanlagen liegen sie deutlich höher, dennoch ist auch dort im Vergleich zum Vorher-Zeitraum ein Rückgang von 5 bis 10 km/h zu beobachten. Die in Nachfolgefahrten ermittelten streckenbezogenen Geschwindigkeitsprofile verlaufen über die gesamten Untersuchungsstrecken gleichmäßiger und weisen deutlich weniger Spitzen auf als im Vorher-Zeitraum. [6]

Die positiven Ergebnisse des Projektes bestätigen entsprechende Erkenntnisse aus dem Ausland. Die linienhafte Ausstattung mit einer Folge von ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen ist für besonders gefährliche Streckenabschnitte von Landstraßen ein wirksamer Weg zur nachhaltigen Erhöhung der Verkehrssicherheit.

Ergebnisse zu den Strecken mit Zusatzfahrstreifen liegen aufgrund des noch nicht ausreichenden Nachher-Zeitraumes für die Unfalluntersuchung noch nicht vor. Erste Tendenzen deuten jedoch auch auf eine positive Entwicklung hin.

Knotenpunkte

LEUTZBACH / MAIER [59] haben den Einfluss von Verkehrsbeschränkungen (Geschwindigkeitsbeschränkung, Überholverbot) und Ausbauformen auf die Verkehrssicherheit von Knotenpunkten untersucht. Dies geschah im Rahmen einer Vorher-Nachher-Untersuchung an Knotenpunkten, bei denen innerhalb eines fünfjährigen Zeitraums Veränderungen der Verkehrsbeschränkungen durchgeführt worden waren. Sie untersuchten hierbei plangleiche Knotenpunkte, die nicht mit Lichtsignalanlagen ausgestattet waren. Ausgewertet wurden insgesamt 423 polizeilich erfasste Unfälle an 47 Knotenpunkten. Die Untersuchungszeiträume betrugen mindestens ein Jahr vor und nach Veränderung des Knotenpunktes. Untersucht wurden die Einflüsse der Knotenpunktbelastung, der verschiedenen Verkehrsbeschränkungen und der unterschiedlichen Ausbauformen auf das Unfallgeschehen. Zusätzlich wurden noch stichprobenartig an sieben Knotenpunkten Geschwindigkeitsmessungen bei geradeausfahrenden Fahrzeugen im Hauptstrom durchgeführt. Hierbei stellte sich heraus, dass die vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeiten selten eingehalten worden sind. Im Durchschnitt weisen 65 % der gemessenen Fahrzeuge Geschwindigkeitsüberschreitungen auf. Als Ergebnis halten die Autoren fest, dass zwischen dem DTV und der Unfallrate bzw. den Unfalltypen und den unterschiedlichen Ausbauformen kein Zusammenhang erkennbar ist. In ihren Untersuchungen ist jedoch erkennbar, dass der Unfalltyp 3 (Einbiegen/Kreuzen) bei weitem überwiegt und an Kreuzungen wesentlich häufiger auftritt als an Einmündungen. Bei den Verkehrsbeschränkungen hat nur die Restriktion Überholverbot einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit, während andere Maßnahmen wie beispielsweise Geschwindigkeitsbeschränkungen sogar einen negativen Einfluss auf die Sicherheit haben. Dies wird damit erklärt, dass bei höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten auch die Unfallraten deutlich höher sind, die Geschwindigkeitsbeschränkungen an Knotenpunkten jedoch nur durch einen kleinen Teil der Verkehrsteilnehmer auch befolgt werden. Das Überholverbot dagegen wird scheinbar von einem Großteil der Fahrer befolgt, welches sich im Rückgang der Unfälle zeigt. Somit stehen sowohl die Höhe der Durchschnittsgeschwindigkeit als auch die Anzahl der Ge-

schwindigkeitsüberschreitungen in direktem Zusammenhang zu der Höhe der Unfallrate. Die Abhängigkeit der Durchschnittsgeschwindigkeit zur Unfallrate ist allerdings stärker als die zwischen der Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen und der Unfallrate.

LEUTZBACH / HANDSCHMANN / SCHULER [60] haben, wie in den vorherigen Untersuchungen, plangleiche Kreuzungen und Einmündungen (Typ I (ohne Fahrstreifen für die Abbieger) und Typ II (mit Fahrstreifen für die Abbieger) nach den RAL-K-1 [28]) untersucht, die ohne Lichtsignalanlage betrieben wurden. Insgesamt wurden an 113 Einmündungen (Typ 1: 61 und Typ 2: 52) und an 51 Kreuzungen (Typ 1: 21 und Typ 2: 30) 451 Unfälle im Zeitraum zwischen 1972 und 1976 (5 Jahre) ausgewertet. Es wurden ebenfalls stichprobenartig an vier ausgesuchten Knotenpunkten Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Die Knotenpunkte sind innerhalb der einzelnen Typen noch hinsichtlich verschiedener Kriterien weiter unterteilt worden: nach dem Kriterium „mit oder ohne Geschwindigkeitsbeschränkung“, dem Kriterium „mit oder ohne Überholzeichen “ und dem Kriterium „ausgebaut bzw. nicht ausgebaut“. „Ausgebaute Knotenpunkte“ sind solche Knotenpunkte, die alle Merkmale aufweisen, die für die Typen I und II nach RAL-K empfohlen sind. Fehlen dagegen Merkmale, so ist dieser Knotenpunkte „nicht ausgebaut“. Die Analyse der Unfallzahlen bringt hervor, dass die beiden Knotenpunkttypen Einmündung und Kreuzung sehr verschiedene Unfallcharakteristika aufweisen. So verteilen sich bei den Einmündungen die häufigsten Unfalltypen 2, 3 und 6 (Abbiege-Unfälle, Einbiegen-/ Kreuzen-Unfälle und Unfälle durch Längsverkehr) zu etwa gleich großen Teilen (etwa 20 %) auf die einzelnen Unfalltypen, während bei den Kreuzungen der Unfalltyp 3 mit ungefähr 50 % am häufigsten vorkommt. Die danach am häufigsten auftretenden Unfälle sind Unfälle der Unfalltypen 2 oder 6 mit jeweils 10 %. Gesondert erwähnen die Autoren noch, dass der Unfalltyp 6 sich an Einmündungen des Typs I auf der bevorrechtigten Straße konzentriert, während sich beim Typ 2 die Auffahrunfälle vermehrt auf der nicht bevorrechtigten Straße ereignen.

Bei Einmündungen kommen LEUTZBACH / HANDSCHMANN / SCHULER [60] bezüglich des Kriteriums „ausgebaut bzw. nicht ausgebaut“ zu dem Ergebnis, dass „ausgebaute“ Einmündungen nach RAL-K weniger Unfälle aufweisen als „nicht ausgebaute“. Bezüglich der anderen Kriterien, „Geschwindigkeitsbeschränkung“ und „Überholverbot“ kommen die Autoren zu keinem eindeutigen Ergebnis. Innerhalb der Einmündungen unterscheiden sich die einzelnen Unfallcharakteristika nur gering. Ähnlich wie bei den Einmündungen sind bei den Kreuzungen keine großen Veränderungen der Unfallcharakteristika zwischen den beiden Typen I und II erkennbar und keine eindeutigen Ergebnisse bezüglich des Einflusses der Kriterien „Geschwindigkeitsbeschränkung“ und „Überholverbot“ auf die Verkehrssicherheit abzuleiten.

STURM [94] hat in seiner Unfalluntersuchung insgesamt 42 plangleiche Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen und 24 teilplanfreie Kreuzungen ohne Lichtsignalanlage in Hessen, Bayern und Rheinland-Pfalz untersucht. Erfasst hat er dabei alle Unfälle mit Personenschaden (Getötete, Schwer- und Leichtverletzte) sowie Unfälle mit schweren und leichten Sachschaden von 1984 bis 1986. STURM [94] zeigt beim Vergleich der ver-

schiedenen Grundformen, plangleiche und teilweise planfreie Knotenpunkte jeweils mit und ohne Lichtsignalanlage, dass nicht signalisierte plangleiche Kreuzungen ein deutlich höheres Unfallrisiko aufweisen als die anderen Varianten. Das Risiko für einen Unfall ist bei nicht signalisierten plangleichen Knotenpunkten dreimal so hoch wie das Risiko an plangleichen Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage. Als eines der Gründe nennt er die dort häufig auftretenden Unfälle mit kreuzendem Verkehr, deren Unfallfolgen meist sehr schwer sind. Das geringste Unfallrisiko schätzt Sturm bei teilweise planfreien Knotenpunkten ein, die mit einer Lichtsignalanlage ausgestattet sind. Bezüglich der Geschwindigkeiten an den Knotenpunkten vermutet STURM [94], dass die Verbesserung des Ausbaustandards auch zu höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten führt. Der durch den höheren Ausbauzustand erreichte Sicherheitsgewinn kann gegebenenfalls durch die erhöhten Geschwindigkeiten wieder verloren gehen, denn höhere Geschwindigkeiten führen in der Regel an Knotenpunkten zu Unfällen mit schwereren Unfallfolgen.

RICHTER [77] untersuchte elf zum Teil signalisierte Knotenpunkte der Grundform IV (teilplanfrei nach den RAS-K-1 [33]) an Ortsumgehungen. Ausgewertet wurden alle von der Polizei erfassten Verkehrsunfallanzeigen der Jahre 1987 bis 1990. Er berücksichtigte die Unfälle mit Personenschaden (Getötete, Schwer- und Leichtverletzte) sowie Unfälle mit Sachschaden. Neben den statistischen Unfalluntersuchungen führte RICHTER [77] empirische Untersuchungen durch, um die Unfallursachen zu klären. Es wurden Zeitlücken- und Geschwindigkeitsmessungen an den Knotenpunkten selbst sowie auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten vor und hinter den Knotenpunkten durchgeführt. Parallel dazu wurden Verfolgungsfahrten, Situationsanalysen und Verkehrszählungen an den Messstellen durchgeführt. Anhand der von HARDES [41] entwickelten Zeitlückenmessung zur Ermittlung der Grenzzeit- und Grenzweglücken sind an den elf Knotenpunkten die Untersuchungen zur Zeitlückenannahme durchgeführt worden. Durch die so ermittelten Weg- und Zeitlücken, die die wartepflichtigen Fahrer angenommen haben, dem Verkehrsablauf und den Geschwindigkeiten des Hauptstroms ist das Risikoverhalten der untergeordneten Fahrer beim Einfahren in den Knotenpunkt analysiert worden. Das Geschwindigkeitsniveau an den Knotenpunkten ist deutlich höher als die zulässige Höchstgeschwindigkeit, wodurch die wartepflichtigen Fahrer die Geschwindigkeiten der Vorfahrtsberechtigten nicht richtig einschätzen können. Bei den Zeitlückenmessungen ist ermittelt worden, dass die Grenzzeitlücken kleiner sind bei höheren Geschwindigkeiten des übergeordneten Verkehrs und gleichen Wartezeiten. Im Gegensatz dazu sind die Grenzweglücken bei höheren Geschwindigkeiten größer. Aufgrund dieser Messungen kommt RICHTER [77] zu dem Schluss, dass die Entscheidung zur Einfahrt in den Knotenpunkt bei den wartepflichtigen Fahrern mehr aufgrund der vorhandenen Weglücke getroffen wird und weniger aufgrund der Zeitlücke. In Abhängigkeit der Zeitlückenannahme sind bei den links einbiegenden Fahrzeugen die Wartezeiten der wartepflichtigen Fahrer untersucht worden. Dies führt zu dem Ergebnis, dass, je länger die Wartezeit ist, desto kürzer die Grenzzeit- und Grenzweglücken werden. Es kann somit ein höheres Risikoverhalten bei den wartenden Fahrzeugführern beobachtet werden. In Bezug auf das Geschwindigkeitsniveau am Knotenpunkt

kommt RICHTER [77] zu dem Ergebnis, dass dieses Niveau von der Art der Signalisierung am Knotenpunkt, der Knotenpunktgrundform und der Verkehrsstärke abhängt. Er äußert außerdem, dass dies zum Teil auf das Unfallgeschehen übertragen werden kann. Wie STURM [94] kommt auch RICHTER [77] zu dem Ergebnis, dass die unsicherste Grundform nicht signalisierte plangleiche Kreuzungen sind, welche nur bei schwach belasteten Ortsumgehungen zum Einsatz kommen sollten. Durch die Verringerung der Fahrgeschwindigkeiten an solchen nicht signalisierten Knotenpunkten kann die Verkehrssicherheit punktuell verbessert werden. Hierbei wird die Restriktion einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei gleichzeitig ortsfester Geschwindigkeitsüberwachung (OGÜ) empfohlen.

SCHNÜLL / RICHTER [87] haben in ihren Sicherheitsvergleichen von Knotenpunktgrundformen und Rechtsversätzen an 15 Kreuzungen, 12 Rechtsversätzen sowie an mehreren knotenpunktfreien Streckenabschnitten Unfalluntersuchungen durchgeführt. Hierbei wurden alle Verkehrsunfallanzeigen innerhalb der Jahre 1988 bis 1992 ausgewertet. Zusätzlich sind Zeitlückenmessungen und Geschwindigkeitsmessungen an den Kreuzungen, Rechtsversätzen und auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten sowie vor und hinter dem Knotenpunkt selbst durchgeführt worden. Parallel dazu wurden Seitenabstandsmessungen gemacht und die Grenzzeitlücken für die einbiegenden Fahrzeuge ermittelt. Mit Hilfe von Videoanalysen wurden zusätzlich noch Situationsanalysen und Verkehrszählungen an den Messstellen durchgeführt. Beim Vergleich der Rechtsversätze mit den Kreuzungen kommen SCHNÜLL / RICHTER [87] zu dem Ergebnis, dass Rechtsversätze sicherer sind als Kreuzungen. Die Unfallraten sind um etwa 10 % und die Unfallkostenraten um etwa 50 % niedriger. Ein Teil der untersuchten Rechtsversätze waren zuvor Kreuzungen, welche aufgrund der Unfallhäufungen umgebaut worden sind. Wie in den beiden zuvor genannten Untersuchungen kommen auch diese Autoren zu dem Ergebnis, dass an plangleichen Kreuzungen ohne Lichtsignalanlage die höchsten Unfallraten und Unfallkostenraten auftreten. Um diese sicherer zu gestalten, sollten vor allem das Geschwindigkeitsniveau im Knotenpunktbereich gesenkt, die Begreifbarkeit und Erkennbarkeit der Kreuzung erhöht oder der Knotenpunkt selbst signalisiert werden.

MEEWES [73], [74] hat in seinen Unfalluntersuchungen 70 Knotenpunkte in Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg an anbaufreien, einbahnigen und zweistreifigen Außerortsstraßen untersucht. Er analysierte hierbei alle von der Polizei aufgezeichneten Verkehrsunfälle der Jahre 1989 bis 1995. Zunächst sind die verschiedenen Knotenpunkte in Bezug auf die Häufigkeit der unterschiedlichen Grundformen und deren Betriebsmerkmale, wie z.B. der Verkehrsregelung, in so genannte Untersuchungskollektive zusammengefasst worden. Hierbei entstanden die zehn folgenden unterschiedlichen Knotenpunktformen

- Plangleiche Kreuzung mit Vorfahrtsregelung durch Verkehrszeichen,
- Plangleiche Kreuzung mit Vorfahrtsregelung durch LSA mit 2 Phasen,
- Plangleiche Kreuzung mit Vorfahrtsregelung durch LSA mit 3 Phasen,

- Teilplanfreie Kreuzung mit Vorfahrtsregelung durch Verkehrszeichen,
- Halbes Kleeblatt mit Vorfahrtsregelung durch Verkehrszeichen,
- Plangleiche Kreuzung mit ortsfester Geschwindigkeitsüberwachung und Vorfahrtsregelung durch Verkehrszeichen,
- Kleiner Kreisverkehrsplatz,
- Einmündung mit Vorfahrtsregelung durch Verkehrszeichen,
- Einmündung mit Vorfahrtsregelung durch LSA mit 2 Phasen,
- Einmündung mit Vorfahrtsregelung durch LSA mit 3 Phasen.

Zusätzlich wurden noch die Knotenpunktzufahrten mit einer Länge von 1.000 m je nach Verkehrsregelung am jeweiligen Knotenpunkt gesondert in Untersuchungskollektive zusammengefasst. Die Unfallkenngrößen wurden daraufhin nach DEFFKE / ERNST / MEEWES [15] mit Preisstand 1995 berechnet, bewertet und anschließend auf den Preisstand 2000 nach HÖHNSCHEID / KÖPPEL / KRUPP / MEEWES [46] aktualisiert. Abb. 17 zeigt die von MEEWES [73], [74] ermittelten Unfallkostenraten an Knotenpunkten.

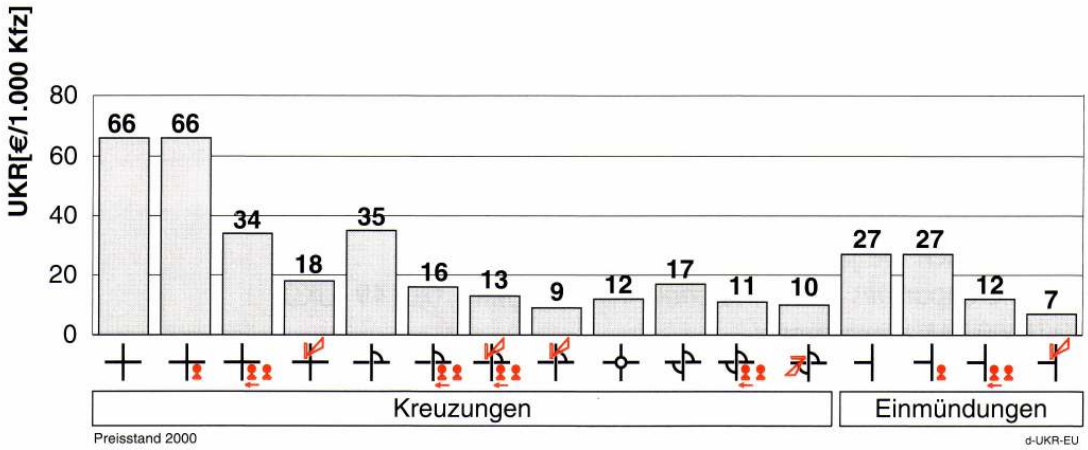


Abb. 17 Unfallkostenraten (UKR) von Knotenpunkttypen an Landstraßen [74]

MEEWES [73], [74] kommt zu dem Ergebnis, dass die Unfallkostenraten an Knotenpunkten zum einen von der baulichen Grundform des Knotenpunktes und zum anderen von der Art der Verkehrsregelung abhängen. Die ungünstigste Form sind demnach plangleiche Kreuzungen und Einmündungen mit der Vorfahrtsregelung durch Verkehrszeichen, während kleine Kreisverkehrsplätze den größten Sicherheitsgrad der plangleichen Knotenpunkte aufweisen. Weiterhin wird noch angemerkt, dass durch die unterschiedlichen Berechnungsarten der Unfallkostensätze auch zum Teil deutlich andere Ergebnisse erzielt werden. Gesondert sind noch die Untersuchungen der Anteile der Einbiegen/ Kreuzen-Unfälle und Abbiege-Unfälle zu erwähnen, deren Anteile bei nicht signalisierten Kreuzungen 88 % und bei nicht signalisierten Einmündungen 86 % der Gesamtunfallkostenraten betragen. Zusätzlich leitet MEEWES [72],[73],[74] Einflusslängen der Sicherheitswirkung von Knotenpunkten auf die Zufahrten in Abhängig-

keit der Verkehrsregelung ab unter deren Annahme die Unfallkostenraten der freien Strecke abgemindert werden können. Die Einflusslängen sind mit 0,0 km bei der Wartepflicht bis 0,7 km bei der bevorrechtigten Führung ohne OGÜ angesetzt. Die Abminderungen der Unfallkostenraten liegen bei bis zu 22 €/(1.000 Kfz*km) bei der bevorrechtigten Führung mit OGÜ.

Im Ausland zeigte sich wie z.B. in den Untersuchungen von VADEBY et al. [100] ein ähnliches Bild hinsichtlich der Knotenpunktgestaltung.

2.5 Schlussfolgerungen für die weiteren Untersuchungen

Eine maßgebende Frage, die im Rahmen der Analyse vorhandener Arbeiten beantwortet werden sollte ist, ob und wie eine Prognose der Verkehrssicherheit von maßgebenden Streckentypen möglich ist und ob sich daraus Empfehlungen für möglichst einheitliche und optimal verkehrssichere Straßentypen ableiten lassen.

Es hat sich bereits in der Grundlagenstudie gezeigt, dass das Fahrverhalten und das Unfallgeschehen auf Landstraßen stark korrelieren. Als geeignetes Instrument zur Erkennung von unfallauffälligen Bereichen im Straßennetz ist für eine grobe Voreinschätzung die ESN-Methode geeignet. Es muss allerdings eine detaillierte Betrachtung der Streckenelemente erfolgen, um die Defizite in der Streckencharakteristik zu erkennen und durch geeignete Umbaumaßnahmen zu eliminieren. Eine Unfallprävention anhand einer Prognose des Sicherheitsgrades ist hingegen nicht möglich.

Ein Aspekt der Grundlagenstudie war die Auswertung statistischer Unterlagen zum Unfallgeschehen auf Landstraßen, um erste Anhaltspunkte für unfallauffällige Straßentypen und die Verteilung des Unfallgeschehens auf verschiedene Straßenkategorien zu erhalten. Defizite bei den Landstraßen liegen beispielsweise bei nicht hindernisfreien Seitenräumen, bei ungeregelten Überholvorgängen sowie bei nicht relationstrassierten Straßen und Einzelkurven mit zu geringem Kurvenradius.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen des Unfallgeschehens auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten, dass in Abhängigkeit der Streckenmerkmale Fahrbahnbreite, Kurvenradius, Kurvigkeit, Längsneigung, Verkehrsstärke und Elementfolgen mit abnehmender Streckenqualität die Unfallraten und Unfallkostenraten ansteigen, obwohl die Geschwindigkeiten zurückgehen. Die Geschwindigkeitsreduzierung alleine reicht als Maßnahme zur Verbesserung der Verkehrssicherheit demnach nicht aus. Insbesondere Maßnahmen zur Vereinheitlichung der Linienführung und die angemessenen Dimensionierung der Fahrbahnbreite können die Verkehrssicherheit erhöhen.

In den bisher vorgestellten Arbeiten zum Unfallgeschehen an Knotenpunkten wurden zumeist verschiedene Typen von Knotenpunkten miteinander verglichen. Diese waren sowohl plangleiche Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage als auch planfreie Knotenpunkte. Einheitlich lässt sich aus den meisten Untersuchungen ableiten, dass von den verschiedenen Knotenpunktvarianten die plangleichen Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage der Typ mit der höchsten Unfallwahrscheinlichkeit ist. Diese ist zwar die einfachste und kostengünstigste Lösung, jedoch auch die unfallhäufigste Variante

mit den höchsten Unfallkostenraten. Weiterhin kann festgehalten werden, dass betriebliche Maßnahmen einen erheblichen Sicherheitsgewinn an Knotenpunkten erzielen.

Eine Übersicht der Unfallkennwerte nach Straßentypen für Außerortsstraßen ist basierend auf zahlreichen Untersuchungen auch in den „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS)“ [25] enthalten. Diese sind jedoch aus dem Jahre 1997 und deshalb als relativ veraltet anzusehen. Ein Überarbeitung und differenziertere Betrachtung wie in dem HVS beabsichtigt ist deshalb zweckmäßig (vgl. Kapitel 2.4.2)

Anhand der Grundlagenstudie konnten wichtige Schlussfolgerungen für die weiteren Arbeitsschritte gezogen werden. Insbesondere für die Ableitung und Definition von Straßentypen (vgl. Kapitel 3.4), die Auswahl der Untersuchungsstrecken (vgl. Kapitel 1), die Durchführung der empirischen Untersuchungen (vgl. Kapitel 1) sowie der Versuche im Fahrsimulator (vgl. Kapitel 1) konnten die anzuwendenden Methoden genauer spezifiziert werden.

Aus den bereits existierenden Untersuchungen wurden folgende Schlussfolgerungen für die nachfolgenden Arbeitsschritte getroffen und zu Grunde gelegt:

<u>Ableitung von Straßentypen:</u>

- Die Aspekte der Verkehrssicherheit müssen in den Vordergrund treten und ggf. auch höhere Ausbaugrade ermöglichen, die aus Sicht der Verkehrsqualität nicht erforderlich wären (Ergänzung eines Überholfahrstreifens, planfreie Führung im Knotenpunkt, Installation LSA).
- Insbesondere die Regelung des Überholprinzips und die Führung im Knotenpunkt sind hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die Verkehrssicherheit, die Verkehrsqualität und die Kosten mit einzubeziehen.
- Schaffung möglichst in sich homogener aber eindeutig von einander unterscheidbarer Straßentypen.
- Implementierung von charakteristischen Unterscheidungsmerkmalen (Markierung, Beschilderung der zul. Höchstgeschwindigkeit).

<u>Streckenauswahl:</u>

- Es muss ein Kriterienkatalog zur Auswahl geeigneter Straßentypen aufgestellt werden.
- Es wird keine Unterscheidung nach Längsneigungen vorgenommen, da diese unter 4 % keinen wesentlichen Einfluss auf die Geschwindigkeiten haben.
- Es muss eine detaillierte Dokumentation der Streckendaten erfolgen, um bei der Auswertung die wesentlichen Kenngrößen ableiten zu können.

<u>Empirische Untersuchungen:</u>

- Es werden zwei Methoden zur Erhebung des Fahrverhaltens herangezogen: Fahrparameter im Querschnitt und über die Strecke.

- Die Messfahrten werden als möglichst freifahrendes Fahrzeug als Einsatz- und Verfolgungsfahrten durchgeführt.
- Messungen werden nur bei Trockenheit durchgeführt, um Witterungseinflüsse ausschließen zu können.
- Messungen werden tagsüber durchgeführt, um Einflüsse bei Dunkelheit (schlechte Sicht, Blendgefahr, etc.) ausschließen zu können.
- 20 bis 30 Fahrten pro Richtung beschreiben das Kollektiv ausreichend genau.

3 Klassifizierung des Straßennetzes in Straßentypen mit hoher Wiedererkennbarkeit

Die Vorauswahl geeigneter Straßentypen erfolgt auf der Grundlage des Kapitels 1 und des Diskussionsstandes des Arbeitskreises 2.2.1 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen „Gestaltung neuer Landstraßen“, der in den „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)“ [30] von einer Einteilung in vier Entwurfsklassen ausgeht.

Neben den entwurfstechnischen und betrieblichen Elementen geht es bei der Definition geeigneter Straßentypen auch um eine Neudefinition der verkehrsrechtlichen Grundlagen, die sich bewusst von der derzeitig gültigen Straßenverkehrsordnung (StVO) [95] lösen.

Es werden die Ansprüche definiert, denen die vorausgewählten Streckentypen genügen müssen. Die Ansprüche orientieren sich an den Zielfeldern Verkehrssicherheit, Verkehrsablauf, Umfeld und Wirtschaftlichkeit. Im Zielfeld Verkehrssicherheit sollte das Ziel sicherlich ein Szenario ohne Unfälle sein, in der Realität muss jedoch immer mit einer Grundunfallrate und -kostenrate gerechnet werden. Der Anspruch liegt dann in einer Minimierung dieser Grundlasten.

Zur Durchsetzung der neuen Straßentypen und zur Unterstützung der Ziele insbesondere in den Bereichen Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf sind zusätzlich betriebliche und verkehrsorganisatorische Maßnahmen und Rahmenbedingungen zu definieren.

3.1 Formulierung der Ansprüche und Ziele nach den RAL

Landstraßen sollen nach den RAL [30] unter einer sinnvollen Abwägung der Ziele geplant, gebaut und betrieben werden. Sie sollen bei geringen Kosten zum einen ihre raumordnerische Funktion mit hoher Verkehrssicherheit und angemessener Qualität des Verkehrsablaufs erfüllen und zum anderen nachhaltig das Umfeld / die Umwelt möglichst wenig beeinträchtigen. Die Abwägung der Ziele muss abhängig von der Netzbedeutung der Landstraßen erfolgen, da die Ansprüche an die Straßen von ihrer Verbindungsfunktionsstufe abhängig sind und oftmals sogar gegeneinander konkurrieren.

Aus den Untersuchungen in Kapitel 1 lassen sich im Zielfeld Verkehrssicherheit anhand der Unfallhäufigkeit und besonders der Unfallschwere folgende Ziele ableiten, die auch im Entwurf der RAL [30] wiederzufinden sind:

- sichere Fahrverläufe,
- sicheres Ein-/ Abbiegen und Kreuzen,
- sicheres Begegnen und Überholen und
- sichere Seitenräume,

Die Ziele können durch unterschiedliche Maßnahmen erfüllt werden. Grundsätzlich ist dem Verkehrsteilnehmer durch die einheitliche Gestaltung der verhaltensbeeinflussenden Merkmale

- der Querschnittswahl,
- der Linienführung,
- der Betriebsform,
- des Überholprinzips und
- der Knotenpunktausbildung.

die Entwurfsklasse bewusst zu machen, um sein Fahrverhalten dieser automatisch anzupassen. Hierbei ist besonders die der Netzbedeutung angepasste Geschwindigkeit von großer Bedeutung, da viele Verkehrsunfälle durch Missachtung dieser hervorgerufen werden.

Hinsichtlich der sicheren Gestaltung der Fahrverläufe sind die in Kapitel 2.1.2 dargestellten Maßnahmen der Linienführung zu beachten. Falls hierbei die entwurfstechnischen Maßnahmen wie Vermeidung der Verwendung von Mindestelementen, gute Radienrelation und Zusammenführung der Schnittpunkte im Lage- und Höhenplan nicht eingehalten werden können, sind überraschende Kurven und Kuppen und unvermeidbare Änderungen der Streckencharakteristik anzukündigen und zu verdeutlichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei der künftigen Angabe der Kreisbogenradien um Regelwerte handelt und nicht um Mindestradien im herkömmlichen Sinne.

Sicheres Ein-/ Abbiegen bzw. Kreuzen ist durch die Wahl einer geeigneten Knotenpunktform zu gewährleisten. Bei Landstraßen mit einer höheren Verbindungsfunktion existiert ein höheres Geschwindigkeitsniveau sowohl auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten als auch in Knotenpunkten. Hier ist deshalb eine planfreie Knotenpunktform zu wählen, um das Ein-/ Abbiegen bzw. Kreuzen zu verhindern und lediglich das Ein-/ Ausfädeln zu ermöglichen. Landstraßen mit geringerer Netzbedeutung werden allerdings in plangleichen Knotenpunkten ausgeführt, weshalb es eine Reduzierung der Knotenpunktgeschwindigkeit in diesen Straßenkategorien zu erzielen bedarf.

Sicheres Begegnen und Überholen wird hauptsächlich durch die Querschnittswahl und dem damit verbundenen Überholprinzip (Anteil an gesicherten Überholabschnitten) unter Beachtung der vorhandenen Verkehrsstärke und Verkehrszusammensetzung bestimmt. Hinzu kommt die geeignete Wahl der Betriebsform, da es bei großen Fahrtweiten zweckmäßig ist, schnellen und langsamen Verkehr von einander zu trennen, um unnötige Überholvorgänge beispielsweise bei Benutzung der Straße durch landwirtschaftlichen Verkehr zu vermeiden. Verzichtet werden soll künftig auf die Forderung nach mindest Streckenanteilen mit ausreichenden Überholsichtweiten, da diese zum größten Teil ohnehin nicht erreicht wurden und eine Prüfung dieser oftmals ausblieb.

Das Ziel der sicheren Seitenräume lässt sich am besten durch das Vorsehen von hindernisfreien Seitenräumen schaffen. Falls dies nicht möglich ist, sollten Maßnahmen zum Schutz vor seitlichen Hindernissen ergriffen werden. Besonders die bereits in Ka-

pitel 2.4 erwähnte Problematik der Baumunfälle kann hiermit vermieden werden. Eine geeignete Straßenbepflanzung (z.B. Büsche gegenüber einer Einmündung zu Verdeutlichung der Vorfahrtsachtung) kann allerdings auch die Orientierung der Verkehrsteilnehmer verbessern. Das Erkennen von Kurvenverläufen und auch das Einschätzen von Entfernungen erleichtern die Orientierung des Verkehrsteilnehmers. Hierdurch kann neben den unfallträchtigen Kurvenbereichen auch in den nicht gesicherten Überholabschnitten eine höhere Sicherheit geschaffen werden.

3.2 Entwurfsklassen nach den RAL

Landstraßen einer Entwurfsklasse (EKL) sollen gleichmäßig mit einer der Netzfunktion angemessenen Geschwindigkeit befahren werden. Dazu werden für die Entwurfsklassen alle wesentlichen die Geschwindigkeit beeinflussenden Entwurfs- und Betriebsmerkmale festgelegt.

Es kann zweckmäßig sein, das Entwurfsprinzip einer standardisierten Ausbildung nach planerisch angemessenen Geschwindigkeiten durch eine entsprechende Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten zu unterstützen.

Sowohl die Einheitlichkeit von Straßen einer Entwurfsklasse als auch der Unterschied von Straßen verschiedener Entwurfsklassen sollen für den Kraftfahrer begreifbar sein. Dazu dient insbesondere die unterschiedliche Ausbildung der für den Verkehrsteilnehmer kontinuierlich erkennbaren Längsmarkierung der Fahrbahn und der Fahrstreifen.

Von der Entwurfsklasse werden darüber hinaus unmittelbar bestimmt:

- die Betriebsform,
- der Regelquerschnitt einschließlich des damit verbundenen Überholprinzips,
- die Elemente der Linienführung im Lage- und Höhenplan und im Raum,
- die Führungsform des Verkehrs in Knotenpunkten sowie
- die weiteren Betriebsmerkmale.

Da nur die sinnvolle Kombination aller Elemente den Charakter einer Straße prägt, sind diese Merkmale innerhalb einer Entwurfsklasse einheitlich aufeinander abzustimmen („standardisiert“). Gleichzeitig sollen sie sich zwischen den Straßen verschiedener Entwurfsklassen hinreichend deutlich unterscheiden („wiedererkennbar“).

Im Folgenden werden die Entwurfsklassen der RAL [30] erläutert.

3.2.1 Entwurfsklasse 1

Die Entwurfsklasse 1 beinhaltet großräumige Verbindungen mit einer besonders hohen Verkehrsbedeutung. Ziele dieser Entwurfsklasse sind leistungsfähige Straßen mit hoher Verkehrsqualität und möglichst hohen Reisegeschwindigkeiten. Mögliche Straßentypen um die angestrebte mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit dieser Fernstraßen zwischen 80 und 90 km/h mit einem Standardentfernungsbereich zwischen 40 und 160 km zu erzielen sind hier drei- oder vierstreifige Querschnitte mit planfreien Knotenpunkten.

Es können zwei Regelquerschnitte eingesetzt werden, der zweibahnige RQ 21 und der einbahnige RQ 15,5. Der vierstreifige RQ 21 bietet durchgängig und richtungsunabhängig gesicherte Überholmöglichkeiten. Beim dreistreifigen RQ 15,5, den sogenannten 2+1-Strecken ist ein Anteil von etwa 40 % gesicherter Überholabschnitte je Richtung gegeben.

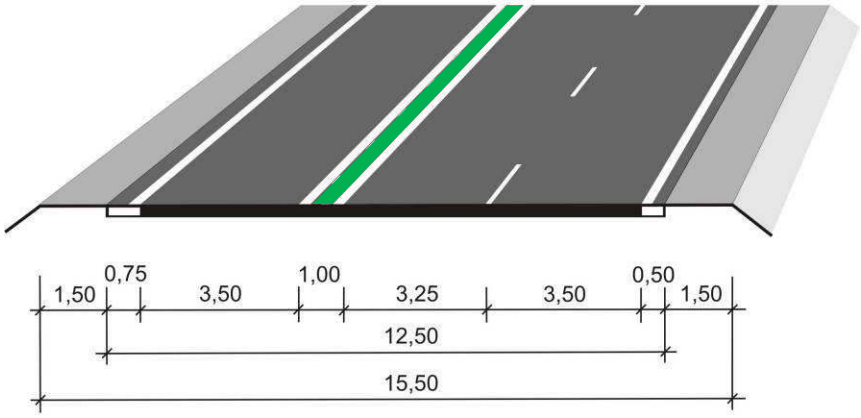


Abb. 18 Regelquerschnitt RQ 15,5 der EKL 1 nach RAL [30]

Erheblichen Einfluss auf die Reisegeschwindigkeit hat auch die Knotenpunktform. Durch die planfreie Ausführung der Knotenpunkte, welche nur das Ein- bzw. Ausfädeln erlaubt, wird ein stetiger Verkehrsfluss ohne große Geschwindigkeitsschwankungen erzielt. Als planerisch angemessen wird eine Geschwindigkeit von 110 km/h angesehen.

Die Linienführung der Strecken der EKL 1 ist als sehr gestreckt zu bezeichnen. Als angemessenen Radien werden solche über R = 500 m angesehen. Als weitere Regelwerte sind die maximale Längsneigung mit s = 4,5 % und der Kuppenhalbmesser mit H_k > 8.000 m festgelegt.

3.2.2 Entwurfsklasse 2

Die Entwurfsklasse 2 ist bei angestrebten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten zwischen 70 und 80 km/h bei überregionalen Verbindungen anzuwenden. Der Standardentfernungsbereich beträgt 10 bis 70 km.

In dieser Entwurfsklasse kommt ein zweistreifiger Querschnitt mit punktuellen Überholabschnitten zum Einsatz. Die Verknüpfungen zu anderen Straßen gleicher oder niedrigerer Kategorie sollen i.d.R. durch signalisierte Einmündungen erfolgen. Hierdurch wird die gewünschte Verkehrsqualität erzielt, die ihrer Verbindungsfunktionsstufe entsprechend, wesentlich geringer als die der EKL 1 ist. Als Regelquerschnitte wird der RQ 11,5+ eingesetzt. Der zweistreifige RQ 11,5+ soll durch eine richtungsabhängige Erweiterung um einen zusätzlichen Fahrstreifen auf einen dreistreifigen RQ 15,0 einen gesicherten Überholanteil von 20 % je Richtung bieten.

Anders als bei der EKL 1 wird zwar ein stetiger Verkehrsfluss erzielt, dieser ist jedoch aufgrund der signalisierten Knotenpunkte durch Geschwindigkeitsschwankungen beeinflusst.

Die Linienführung der Strecken der EKL 2 ist gestreckt. Die planerisch angemessene Geschwindigkeit beträgt 100 km/h. Als angemessenen Radien werden solche zwischen R = 350 m und R = 900 m angesehen. Die maximale Längsneigung ist mit s = 5,5 % und der Kuppenhalbmesser mit über H_k > 5.000 m festgelegt.

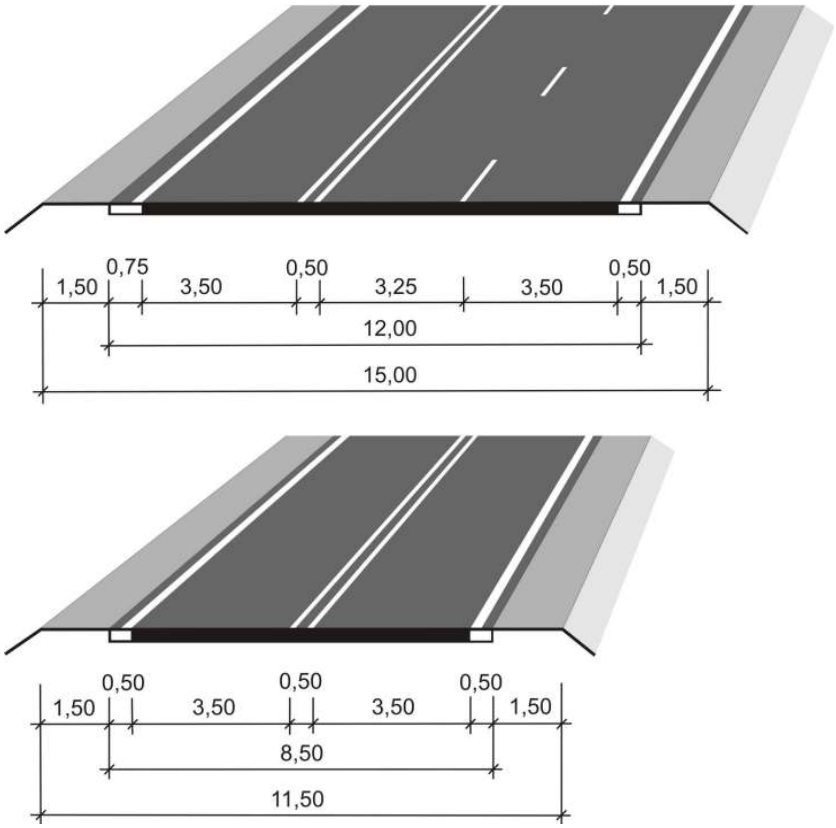


Abb. 19 Regelquerschnitt RQ 11,5+ der EKL 2 mit und ohne Überholfahrstreifen nach RAL [30]

3.2.3 Entwurfsklasse 3

Die Entwurfsklasse 3 umfasst regionale Straßen mit einem Standardentfernungsbereich von 5 bis 35 km. Die angestrebten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten sollen zwischen 60 und 70 km/h betragen. Die EKL 3 ist i.d.R. für den allgemeinen Verkehr freigegeben.

Als Regelquerschnitt kommt der zweistreifige RQ 11 zum Einsatz. Anders als bei den EKL 1 und 2 bestehen in dieser EKL keine gesicherten Überholabschnitte. Die Führung im Knotenpunkt kann durch drei Formen erfolgen. Die bevorzugte Lösung dieser Entwurfsklasse stellt der Kreisverkehr dar. Als weiteres besteht die Möglichkeit eines signalisierten plangleichen Knotenpunktes, der das Ein- und Abbiegen sowie das Kreuzen ermöglicht. Die dritte Lösung bietet ein nichtsignalisierter Knotenpunkt in Form einer Einmündung, die lediglich das Ein- und Abbiegen ermöglicht. Es ist jedoch auch in diesem Fall zu prüfen, ob ggf. eine LSA installiert werden muss.

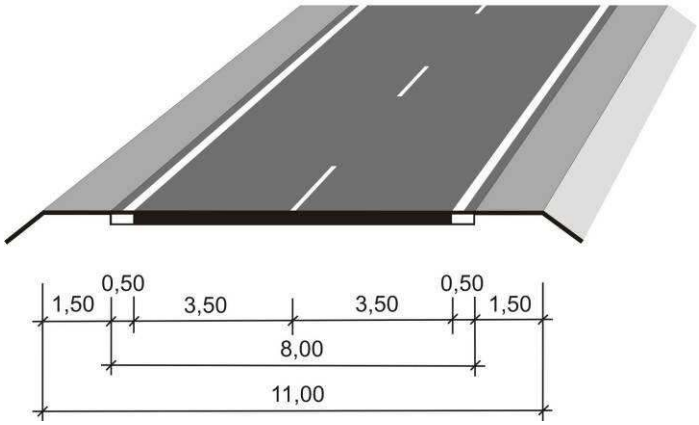


Abb. 20 Regelquerschnitt RQ 11 der EKL 3 nach RAL [30]

3.2.4 Entwurfsklasse 4

Die Entwurfsklasse 4 umfasst die restlichen, im Wesentlichen flächenerschließenden Straßen mit einem Standartentfernungsbereich von 0 bis 15 km. Die angestrebte mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit soll zwischen 50 und 60 km/h Stunde liegen. Die Straßen der EKL 4 sind für den allgemeinen Verkehr freigegeben.

Als Regelquerschnitt kommt der einstreifige RQ 9 mit einer in 0,75 m vom Fahrbahnrand abgesetzten beidseitigen Randmarkierung zum Einsatz. Die Kernfahrbahn beträgt hierbei 4,5 m. Als Knotenpunkte kommen nicht signalisierte Einmündungen oder Kreuzungen zum Einsatz.

Die Linienführung ist sowohl durch die geringen erwünschten Radien zwischen R = 150 m und R = 300 m, als auch durch die maximale Längsneigung von s = 8 % in sehr angepasster Form möglich. In Kuppen ist ein Halbmesser von H_k > 2.400 m zweckmäßig. Die planerisch angemessene Geschwindigkeit beträgt 70 km/h.

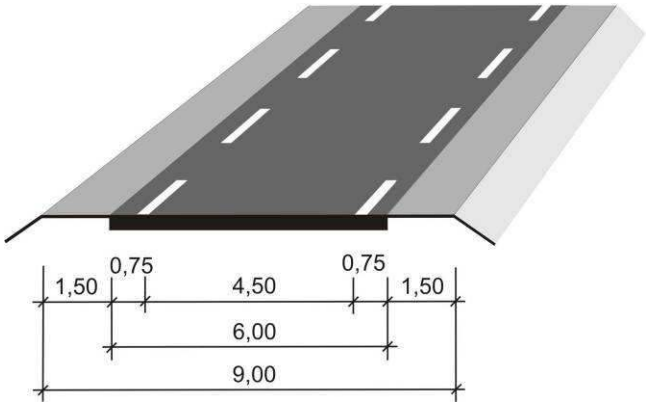


Abb. 21 Regelquerschnitt RQ 9 der EKL 4 nach RAL [30]

3.3 Übertragung der Entwurfsklassen auf das vorhandene Straßennetz

Das Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland weist nach DER ELSNER [17] eine Gesamtlänge von 644.359 km auf. Hierbei entfallen 231.359 km auf Straßen des überörtlichen Verkehrs. Diese bestehen mit etwa 167.000 km zu etwa 75 % aus Landstraßen. Unter der Annahme, dass die Gemeindestraßen ebenfalls einen Anteil an Außerortsstraßen von etwa 75 % aufweisen, ergibt sich eine Gesamtlänge der Landstraßen in der Bundesrepublik Deutschland von etwa 483.000 km.

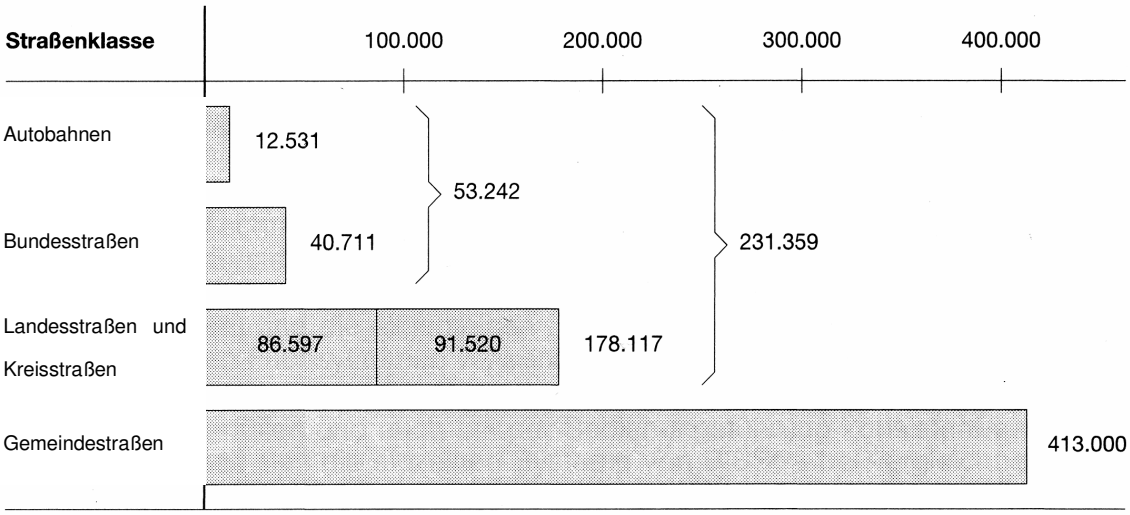


Abb. 22 Anzahl [km] der Straßenklassen am Gesamtstraßennetz in Deutschland (Stand 01.01.2008) [17]

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Ergänzungen der Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL) zur Anwendung beim am Bestand orientierten Um- und Ausbau“ haben RICHTER / ZIERKE [80] eine Analyse vorhandener Landstraßen anhand eines Landkreises im nördlichen Brandenburg vorgenommen, um den vorhandenen Ausbaustandard zu ermitteln und gestalterische Defizite aufzuzeigen. Hierbei wurden die Streckenabschnitte des untersuchten bestehenden Straßennetzes in Abhängigkeit ihrer Verbindungsfunktionsstufe und der Verkehrsstärke einer Entwurfsklasse nach den RAL zugeordnet. Weiterhin wurden bei der Zuordnung Kontinuitätsgrundsätze berücksichtigt.

Insgesamt wurde ein steigender Anteil am Gesamtnetz mit sinkender Verbindungsfunktionsstufe festgestellt (vgl. Abb. 23). Der Zusammenhang zwischen Entwurfsklasse nach den RAL [30] und Verbindungsfunktionsstufe ergab, dass bei knapp 19 % aller Strecken eine Herabstufung erfolgt. Dies betrifft über 60 % der Kategorie LS II. Straßen der Kategorie LS IV hingegen werden zu knapp 55 % in die EKL 3 aufgestuft. Der gewählte Auslastungsgrad der Straßen bei der Zuordnung zu einer Entwurfsklasse führt dazu, dass der Anteil der Straßen der EKL 2 zugunsten der Straßen der EKL 3 geringer wird. Die EKL 3 macht insgesamt mit etwa 63 % den Großteil des Straßennetzes aus. Die EKL 4 ist mit 30 % ebenfalls stark vertreten. Die beiden höchsten Entwurfsklassen (EKL 1 und EKL 2) haben hingegen mit etwa 7 % einen geringen Anteil am untersuchten Straßennetz.

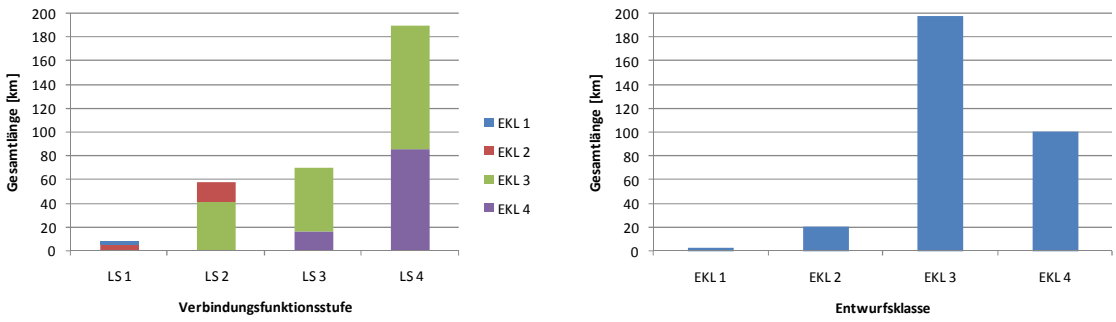


Abb. 23 Länge der Entwurfsklasse nach RAL bezogen auf die Verbindungsfunktionsstufen (links) und bezogen auf die Entwurfsklasse (rechts) [80]

Die vorhandene Fahrbahnbreite, insbesondere die Fahrstreifenbreite, ist zur Verdeutlichung der Netzfunktion und für die Verkehrssicherheit von maßgebender Bedeutung. Daher sind nach RICHTER / ZIERKE [80] Querschnitte, die eine erforderliche Mindestbreite nicht aufweisen, entsprechend auszubauen. Hierzu wurden Mindestbreiten für die einzelnen Regelquerschnitte nach den RAL [30] festgelegt.

Die Auswertung der vorhandenen Fahrbahnbreiten der Landstraßen liefert die in Abb. 24 (links) gezeigte Querschnittverteilung. Hierbei wurden Strecken mit den entsprechenden Fahrstreifenbreiten nach den RAS-Q [35] dem jeweiligen Regelquerschnitt zugeordnet und je nach Randstreifenausführung in Strecken mit Exakt-, Minder und Überbreite unterteilt. Dabei ist auffällig, dass ein Großteil der vorhandenen Querschnitte zwar die Fahrstreifenbreite eines entsprechenden Regelquerschnitts nach den RAS-Q [35] aufweist, nicht aber dessen Fahrbahnbreite, da die Randstreifen von den Breiten in den RAS-Q [35] abweichen (in der Regel zu schmal).

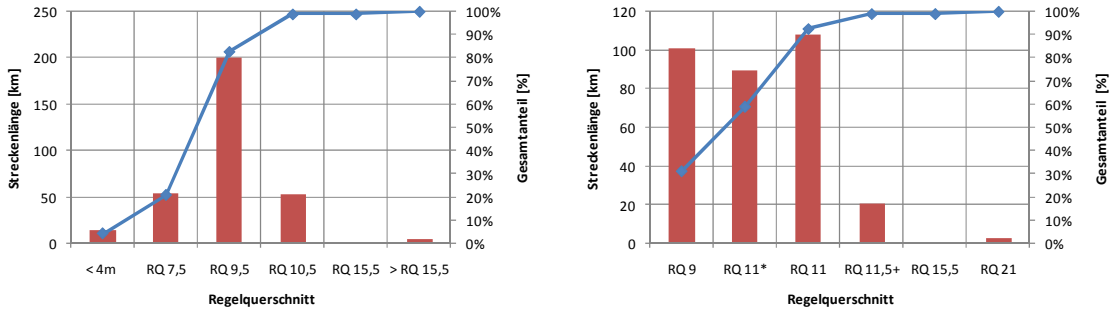


Abb. 24 Streckenlänge und Summenlinie der vorhandenen Querschnitte (links) und der Querschnitte nach den RAL (rechts) [80]

Ein Vergleich mit den nach den RAL [30] empfohlenen Regelquerschnitten für das Landstraßennetz im Untersuchungsgebiet zeigt, dass die vorhandenen Querschnitte die Netzfunktion der Straßen nur in geringem Maße wiederspiegelt. Um das Konzept der „wiedererkennbaren“ Straße zu verdeutlichen und die Netzfunktion einer Straße für den Kraftfahrer an deren Gestaltung „ablesbar“ zu machen, ist nach RICHTER / ZIERKE [80] jedoch eine differenziertere Verteilung der Querschnitte als die zur Zeit vorhandene unerlässlich. Nur so kann gewährleistet werden, dass der Verkehrsteilnehmer

das neue Entwurfsprinzip erkennt und anhand der Straßengestaltung eine der Straßenfunktion angemessene Geschwindigkeit wählt.

Abb. 24 (rechts) zeigt eine relativ homogene Verteilung der empfohlenen Querschnittypen nach den RAL [30]. Es zeigt sich, dass über 90 % der Strecken in dem Untersuchungsgebiet einen einbahnigen Regelquerschnitt aufweisen, sofern die im Rahmen des Projektes verwendeten Grenzwerte für den DTV angewendet werden.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich das vorhandene Straßennetz hinsichtlich der Gestaltung als sehr inhomogen erweist. Die Übertragung der Gestaltungsvorschläge auf das vorhandene Straßennetz muss ebenfalls mittels der Kategorisierung nach den RIN [36] erfolgen, die Grundlage für die Einteilung der Entwurfsklassen nach den RAL [30] ist, um eine möglichst einheitliche Streckencharakteristik zu erzielen.

3.4 Ableitung und Definition von Straßentypen

Für die weiteren Untersuchungen wurden sieben Straßentypen abgeleitet und definiert, um eine detailliertere Unterscheidung der einzelnen Entwurfsklassen nach den RAL [30] vorzunehmen. Diese unterscheiden sich im Wesentlichen durch die insgesamt sieben Kombinationen der Querschnitts- und Knotenpunktgestaltung sowie zusätzlichen Definitionen der Linienführung und der Betriebsform, denen vorhandene Straßenquerschnitte zugeordnet werden können. Hintergrund der Bildung der Straßentypen ist eine möglichst optimale Ausnutzung der Sicherheitsgrade der verschiedenen Gestaltungsbereiche unter Beachtung der Verkehrsqualität und der Kosten. Eine genaue Nutzen-Kosten-Analyse wurde hierzu nicht durchgeführt. Die Straßentypen wurden neben der aus existierenden Erfahrungen definierten Zielvorstellung einer Standardisierung der planerisch gewünschten Gestaltungselemente auch aus dem Vorhandensein im Landstraßennetz abgeleitet, um empirische Untersuchungen durchführen zu können.

Folgende Straßentypen werden definiert und in den Untersuchungen betrachtet:

Straßentyp 1

Querschnitt:	zweibahnig vierstreifig
Knotenpunkt:	planfreie Führung im Teilknotenpunkt
Linienführung:	sehr gestreckt
Betriebsform:	Kraftfahrstraße
zul. Höchstgeschwindigkeit:	120 km/h

Im Bestandsnetz vorkommende Streckentypen:
Vierstreifiger Querschnitt mit planfreien Knotenpunkten

Straßentyp 2

Querschnitt:	dreistreifig
Knotenpunkt:	planfreie Führung im Teilknotenpunkt
Linienführung:	sehr gestreckt
Betriebsform:	Kraftfahrstraße, ggf. mit landwirtschaftlichem Verkehr frei, mindestens kein Radverkehr, etwa 40 % gesichertes Überholen je Fahrtrichtung
zul. Höchstgeschwindigkeit:	100 km/h

Im Bestandsnetz vorkommende Streckentypen:
Dreistreifiger Querschnitt mit planfreien Knotenpunkten

Straßentyp 3

Querschnitt:	dreistreifig
Knotenpunkt:	plangleich, signalisiert (möglichst nur Einmündungen)
Linienführung:	gestreckt
Betriebsform:	Kraftfahrstraße mit landwirtschaftlichem Verkehr frei, kein Radverkehr, etwa 40 % gesichertes Überholen je Fahrtrichtung
zul. Höchstgeschwindigkeit:	100 km/h

Im Bestandsnetz vorkommende Streckentypen:
Dreistreifiger Querschnitt mit plangleichen signalisierten Einmündungen/ Kreuzungen

Straßentyp 4

Querschnitt:	zweistreifig mit Zusatzfahrstreifen
Knotenpunkt:	plangleich, signalisiert (möglichst nur Einmündungen)
Linienführung:	gestreckt
Betriebsform:	Kraftfahrstraße mit landwirtschaftlichem Verkehr frei, kein Radverkehr, etwa 15 % - 25 % gesichertes Überholen je Fahrtrichtung
zul. Höchstgeschwindigkeit:	100 km/h

Im Bestandsnetz vorkommende Streckentypen:
Zweistreifiger Querschnitt mit Zusatzfahrstreifen und plangleichen nicht signalisierten Einmündungen/ Kreuzungen (RQ 11,5+ im Zuge des Um-/ Ausbaus der AOSI-Strecken)

Straßentyp 5 und 6

Querschnitt:	zweistreifig
Knotenpunkt:	Kreisverkehr, nichtsignalisierte Einmündung/ Kreuzung
Linienführung:	angepasst
Betriebsform:	allgemeiner Verkehr, möglichst straßenbegleitender Radweg, kein gesichertes Überholen
zul. Höchstgeschwindigkeit:	100 km/h

Im Bestandsnetz vorkommende Streckentypen:
Typ 5: Zweistreifiger Querschnitt (> 6 m) mit Kreisverkehren
Typ 6: Zweistreifiger Querschnitt (> 6 m) mit nichtsignalisierten Einmündungen/ Kreuzungen

Straßentyp 7

Querschnitt:	schmal zweistreifig, einstreifig
Knotenpunkt:	plangleich, nichtsignalisierte Einmündung/ Kreuzung
Linienführung:	sehr angepasst
Betriebsform:	allgemeiner Verkehr, Radverkehr auf der Fahrbahn, kein gesichertes Überholen
zul. Höchstgeschwindigkeit:	80/100 km/h

Im Bestandsnetz vorkommende Streckentypen:

1. Schmaler zweistreifiger Querschnitt (< 6 m) mit nichtsignalisierten Einmündungen/ Kreuzungen
2. Einstreifiger Querschnitt (keine Leitlinie in Straßenmitte) mit nichtsignalisierten Einmündungen/ Kreuzungen

Entwurfsklasse	Funktion	Straßentyp	Querschnitt	bevorzugte Knotenpunktform	Linienführung	betriebliche Vorgaben	planerisch angemessene Geschwindigkeit [km/h]
1	Fern-straße	1			sehr gestreckt	kein landwirt-schaftlicher Verkehr kein Radverkehr keine Grundstücks-zufahrten	110
		2					
2	Über-regional-straße	3			gestreckt	kein Radverkehr keine Grundstücks-zufahrten	100
		4					
3	Regional-straße	5			angepasst	ggf. kein Radverkehr	90
		6					
4	Nah bereichs-straße	7			sehr angepasst	keine	70

Abb. 25 Charakteristika der Straßentypen

3.5 Sicherheitstechnische Bewertung der Straßentypen

Zur Bewertung der Verkehrssicherheit der Straßentypen wurde eine makroskopische Unfalluntersuchung durchgeführt. Die Evaluation erfolgte anhand der in Kapitel 3.1 formulierten Ansprüche und Ziele mittels eines Vergleiches der einzelnen Straßentypen. Dabei erfolgte eine Auswertung von Streckenzügen, die den gewünschten Straßentypen hinsichtlich ihrer Streckencharakteristik möglichst nahe kommen. Ziel der Auswertung war eine Einschätzung der Verkehrssicherheit der verschiedenen Straßentypen, die allerdings aufgrund der multikausalen Zusammenhänge noch keine Zuordnung zu einzelnen Parametern der Straßentypen erlaubte.

Die Bewertung der Straßentypen erfolgte anhand von 430 Unfällen der Jahre 2005 bis 2007[1] auf 40 Streckenzügen, die den gewünschten Gestaltungen der einzelnen Straßentypen entsprachen. Hierbei wurde auf die digital vorliegenden Unfälle der Unfallkategorien 1 bis 4 und 6 der in Brandenburg befindlichen Bundes- und Landesstraßen zurückgegriffen. Die Unfallanalyse umfasste die Kenngrößen Sicherheitspotenzial, Unfallrate, Unfalldichte, Unfallkostenrate und Unfallkostendichte.

3.5.1 Analyse der Unfallkenngrößen

Der Trend der mittleren Sicherheitspotenziale der verschiedenen Straßentypen zeigt einen starken Zusammenhang (Bestimmtheitsmaß R^2=0,859). Es ist mit abnehmendem Ausbaugrad ein Anstieg des Sicherheitspotenzials festzustellen.

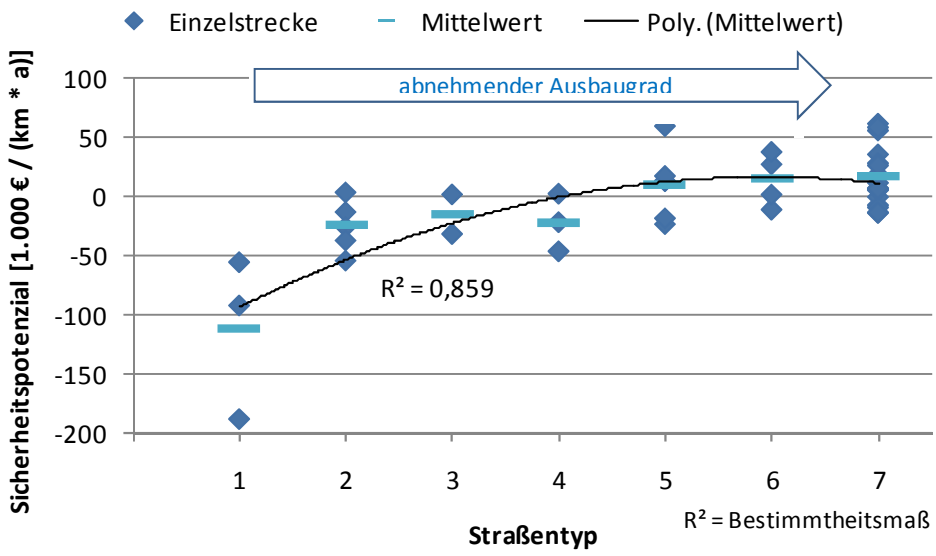


Abb. 26 Sicherheitspotenzial von Streckenzügen der verschiedenen Straßentypen

Weiterhin zeigen die Streckenzüge der Straßentypen 1 bis 4 eindeutig die erwarteten Sicherheitsgewinne nach den in Kapitel 3 definierten Zielen. Diese vier Straßentypen

[1] Die Strecken des Straßentyps 4 weisen z.T. aufgrund des Ausbaudatums nur geringere Auswertejahre auf (siehe Anlage 1).

weisen anders als die Straßentypen 5 bis 7 ein mittleres Sicherheitspotenzial im negativen Bereich auf. Insbesondere das sichere Überholen und sichere Kreuzen hat einen hohen Sicherheitsgewinn. Zudem zeigt sich, dass zweibahnige Streckenzüge (mit baulicher Fahrtrichtungstrennung) über dem Sicherheitspotenzial der dreistreifigen Querschnitte liegen (vgl. Abb. 26). Bei den zweistreifigen Straßen kann kein wesentlicher Unterschied des Sicherheitspotenzials festgestellt werden. Die mittleren Sicherheitspotenziale der drei Straßentypen liegen im positiven Bereich.

Den stärksten Zusammenhang zu den verschiedenen Straßentypen (Bestimmtheitsmaß R^2=0,9355) zeigt die Unfallrate bzw. die Unfallkostenrate (vgl. Abb. 27). Gleich dem Sicherheitspotenzial ist auch bei der Unfallrate und der Unfallkostenrate mit abnehmendem Ausbaugrad ein Anstieg festzustellen, wobei die Unfallrate vom Trend her stärker zunimmt als die Unfallkostenrate. Insbesondere die schwach belasteten Landstraßen, welche den geringsten Ausbaugrad aufweisen, zeigen hohe Unfallraten und Unfallkostenraten. Zudem ist eine sehr starke Streuung der beiden Kennziffern der Streckenzüge des Straßentyps 7 vorhanden.

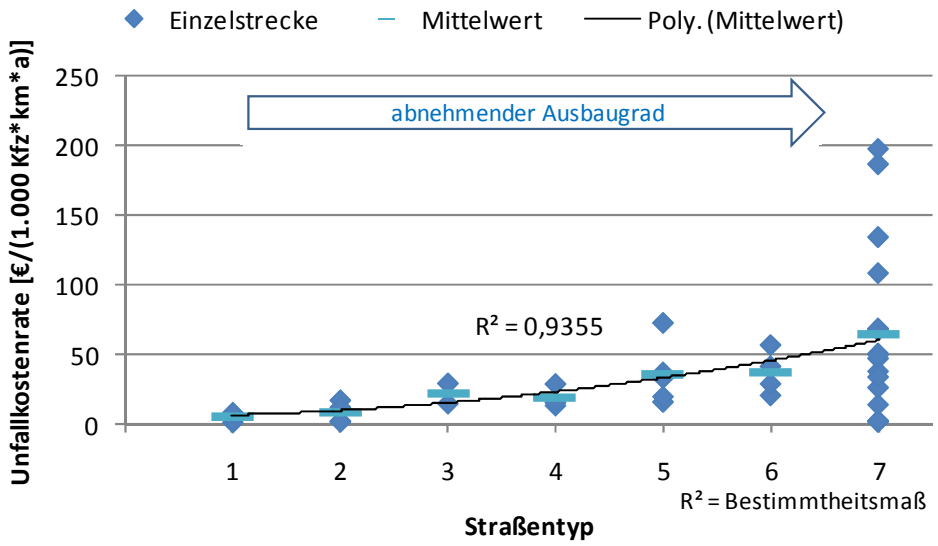


Abb. 27 Unfallkostenrate von Streckenzügen der verschiedenen Straßentypen

Ein wesentlicher Sicherheitsgewinn der Knotenpunktform Kreisverkehr kann bei den zweistreifigen Landstraßen bei der Unfallrate nicht festgestellt werden. Straßentyp 5 zeigt jedoch eine geringere Unfallkostenrate als Straßentyp 6. Dies weist wiederum auf eine geringere Unfallschwere auf den untersuchten Strecken hin. Da Straßentyp 5 jedoch nicht auf allen Streckenzügen ausschließlich Kreisverkehre aufweist, sondern z.T. auch plangleiche Kreuzungen und Einmündungen beinhaltet, kann nur tendenziell eine geringere Unfallkostenrate angenommen werden. Weiterhin bestätigt dies die Bedeutung der Linienführung hinsichtlich der sicheren Gestaltung von zweistreifigen Landstraßen. Eine genaue Bewertung des Einflusses der Knotenpunktgestaltung auf die Sicherheit der Streckenzüge erfolgt in der mikroskopischen Unfallanalyse (vgl. Kapitel 5.5).

Eine ähnliche Entwicklung ist auch beim Straßentyp 3 festzustellen. Die im Verhältnis zur Unfallrate wesentlich geringere Unfallkostenrate weist ebenfalls auf eine geringere Unfallschwere hin. Zudem bestätigt dies den allgemeinen Trend der steigenden Unfallkostenrate mit abnehmendem Ausbaugrad.

Aus der Unfalldichte bzw. Unfallkostendichte (vgl. Abb. 28) lässt sich keine eindeutige Tendenz über alle Straßentypen ableiten. Der vorliegende Trend ist mit einem Bestimmtheitsmaß R^2=0,6524 ebenfalls nicht sehr stark. Zudem sind sehr starke Streuungen der beiden Kennziffern bei den meisten Straßentypen zu verzeichnen. Es zeigt sich jedoch, dass für die mehrstreifigen einbahnigen Querschnitte (Straßentyp 2 bis 4) ähnliche Unfalldichten vorherrschen, die Unfallkostendichten steigen jedoch mit abnehmendem Ausbaugrad an. Bei den Straßentypen 5 bis 7 ist für beide Kennziffern eine stark abnehmende Tendenz mit abnehmendem Ausbaugrad zu verzeichnen. Dies lässt sich jedoch auf die abnehmende Verkehrsbelastung (auch zwischen Straßentyp 5 und 6) zurückführen.

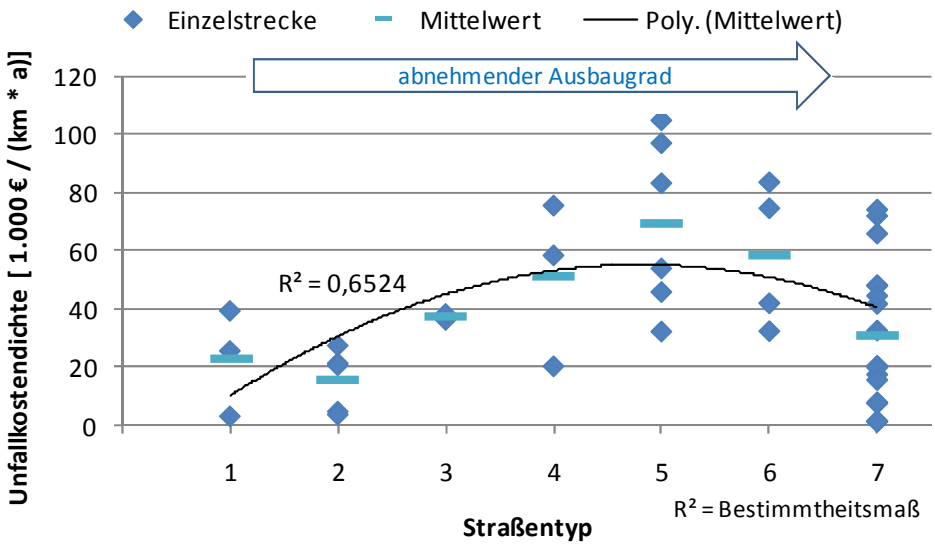


Abb. 28 Unfallkostendichte von Streckenzügen der verschiedenen Straßentypen

Zusammenfassend lässt sich für alle Unfallkenngrößen festhalten, dass tendenziell mit zunehmendem Ausbaugrad ein Sicherheitsgewinn zu verzeichnen ist. Dies bestätigt die in der Grundlagenanalyse aufgeführten Ergebnisse. Um ggf. weitere Sicherheitsgewinne in die Straßentypen implementieren zu können, werden nachfolgend die Ansprüche und Ziele der verschiedenen Bereiche der Straßengestaltung genauer betrachtet. Generell lässt sich jedoch bereits festhalten, dass mit niederrangigem Straßentyp und damit verbunden auch einer Abnahme der Verkehrsbelastungen der Sicherheitsgewinn durch einen höheren Ausbaugrad weniger ausgeprägt ist. Dies zeigt sich insbesondere beim Straßentyp 7, für den aus ökonomischen Gründen andere Maßnahmen als die Erhöhung des Ausbaustandards zur Verbesserung der Verkehrssicherheit entwickelt werden sollten.

3.5.2 Bewertung der Ansprüche und Ziele der RAL

Die Bewertung des Erreichens der einzelnen Ziele kann z.T. trotz der multikausalen Zusammenhänge anhand der Struktur der Unfälle vorgenommen werden. Detailliertere Auswertungen beinhaltet die mikroskopischen Unfallanalyse in Kapitel 5.5.

Sichere Fahrverläufe

Die Bewertung der sichereren Fahrverläufe kann u.a. anhand des Unfalltyps 1, dem Fahrfehler erfolgen. Tendenziell weisen die mehrstreifigen Straßentypen (Straßentyp 1 bis 4) einen höheren Anteil an Unfällen auf, die durch einen Fahrfehler hervorgerufen wurden. Unter diesen weisen die durchgehend dreistreifigen Straßentypen (Straßentyp 2 und 3) den höchsten Anteil auf. Bei den zweistreifigen Landstraßen ist mit abnehmendem Ausbaugrad ein Anstieg der durch Fahrfehler hervorgerufenen Unfälle zu verzeichnen. Dies lässt darauf schließen, dass mit abnehmendem Ausbaugrad in Kombination mit der Verwendung von zumeist weniger geeigneten Trassierungsparametern vermehrt Fahrfehler vorkommen. Dies wird auch durch die Betrachtung der Anteile der Alleinunfälle gestützt. Der Anteil der Alleinunfälle nimmt ebenfalls zu. Insgesamt zeigt sich, dass insbesondere die Einhaltung der Radienrelation von vordringlicher Bedeutung ist. Dies wird belegt durch die Tatsache, dass die Streckenzüge der niederrangigen Straßentypen unfallauffällig sind. Diese sind oftmals älteren Ausbaustandards als die der höherrangigen Straßentypen und deshalb häufig nicht relationstrassiert.

Sicheres Ein-/ Abbiegen und Kreuzen

Die Zusammensetzung der Straßentypen zielt darauf ab, das Ein-/Abbiegen und Kreuzen mit niederrangigerem Straßentyp zuzulassen, da u.a. aufgrund der geringeren Verkehrsbelastung der angebundenen Straßen die Konfliktsituationen abnehmen und zugleich geringere Fahrgeschwindigkeiten erwartet werden können. Eine Betrachtung der Unfalltypen 2 und 3 (Abbiege und Einbiegen/ Kreuzen Unfall) zeigt eindeutig, dass die planfreie Führung im Knotenpunkt einen Sicherheitsgewinn hervorruft. Zudem wird beim Vergleich der Straßentypen 5 und 6 bestätigt, dass sich die Anordnung eines Kreisverkehrs bei zweistreifigen Straßen positiv auf das Unfallgeschehen an Knotenpunkten auswirkt. Für Straßentyp 7 ist verglichen mit den Straßentypen 5 und 6 wieder ein geringerer Anteil auszumachen, was auf die geringeren Verkehrsbelastungen und damit weniger Konfliktsituationen zurückgeführt werden kann. Auch die Betrachtung der Unfallart 5 bestätigt diese Ergebnisse. Der Anteil der Unfallart 5 (Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt) zeigt ebenfalls für die Straßentypen 5 und 6 die höchsten Werte.

Die in den Straßentypen implementierten Knotenpunktgestaltungen sollten möglichst immer angestrebt werden. Im Falle geringerer Ausbaustandards sollten insbesondere für die Straßentypen 5 und 6 andere sicherheitsfördernde Maßnahmen (z.B. OGÜ an nicht signalisierten Knotenpunkten, vgl. [72]) angewendet werden. Hierzu zählt auch an nicht signalisierten Einmündungen und Kreuzungen eine Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vorzunehmen.

Sicheres Begegnen und Überholen

Das sichere Begegnen und Überholen wird durch die Anteile des Unfalltyps 6 (Unfall im Längsverkehr) belegt. Die Straßentypen 2 und 3 (durchgehend dreistreifige Querschnitte) weisen die geringsten Anteile auf. Der vierstreifige, zweibahnige Straßentyp 1 hingegen zeigt einen höheren Anteil, der sich auf das vermehrte Spurwechseln zurückführen lässt. Vom Straßentyp 4 zum Straßentyp 7 ist ein absteigender Anteil des Unfalltyps 6 festzustellen.

Das sichere Begegnen lässt sich eindeutig durch die Anteile der Unfallart 4 (Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das entgegenkommt) bewerten. Hierbei wirkt sich insbesondere bei Straßentyp 4 die Anordnung von Überholfahrstreifen mit der Schaffung gesicherter Überholabschnitte (keine Benutzung der Fahrstreifen des Gegenverkehrs) positiv auf die Verkehrssicherheit aus. Hierbei ist weiterhin ein Sicherheitsgewinn beim Straßentyp 1 zu erkennen. Dieser lässt sich auf die Fahrtrichtungstrennung zurückführen. Das Überholen kann hinsichtlich der Unfälle wie zuvor beschrieben durch die Schaffung von gesicherten Überholabschnitten sicherer gestaltet werden. Unfälle mit Fahrzeugen, die sich in gleicher Richtung bewegen sind jedoch immer noch zu verzeichnen. Dies zeigt sich anhand der Unfälle mit Unfallart 3 (Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt). Straßentyp 1 weist hierbei den höchsten Anteil auf.

Die Einführung von sicheren Überholabschnitten mit gleichzeitiger Unterbindung des Überholens in den verbleibenden zweistreifigen Bereichen bedeutet einen erheblichen Sicherheitsgewinn beim Straßentyp 4. Es sollte deshalb auch bei geringeren Anteilen der Überholabschnitte das Überholen in den restlichen Abschnitten unterbunden werden, sofern die angestrebten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten erzielt werden.

Sichere Seitenräume

Die Bedeutung der sicheren Gestaltung der Seitenräume wird durch die Unfälle mit Abkommen nach links oder rechts (Unfallart 8 oder 9) beschrieben. Die Summe der Anteile der Abkommenunfälle in beide Richtungen liegt für die einzelnen Straßentypen zwischen 38 und 66 %. Besonders deutlich zeigt sich, dass der Aufprall auf ein Hindernis in Form eines Baumes hierbei die höchsten Anteile aufweist. Der Anstieg der Baumunfälle steigt hierbei mit abnehmendem Ausbaugrad der Straßentypen. Dies verdeutlicht, dass sich die hindernisfreie Gestaltung der höherrangigen Straßentypen oder die Anordnung von Schutzeinrichtungen positiv auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Sofern eine hindernisfreie Gestaltung der Seitenräume oder auch eine Schutzeinrichtung nicht hergestellt werden kann, sollte immer eine Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erfolgen.

Insgesamt gilt es einen möglichst großen Abstand der Fahrlinien von möglichen Hindernissen zu erzielen. Dies kann durch unterschiedliche Maßnahmen in der Querschnittsgestaltung erfolgen. Beim Straßentyp 7 kann dies durch die Verlagerung der Fahrlinien in Richtung Straßenmitte durch Markierung einer Kernfahrbahn angestrebt

werden. Bei mehrstreifigen Querschnitten können sich erhöhte Randstreifenbreiten sowie Mittelstreifen positiv auswirken.

3.6 Schlussfolgerungen für die weiteren Untersuchungen

Die in der Grundlagenanalyse festgestellten Tendenzen konnten bei der sicherheitstechnischen Bewertung der Straßentypen bestätigt werden. Folgende Schlussfolgerungen können für die weiteren Untersuchungen festgehalten werden:

- Die Untersuchungsstrecken sollten in sich möglichst homogen gestaltet sein. Hierzu sollte ggf. eine Trennung in Teilstrecken - wie sie bei der sicherheitstechnischen Bewertung noch nicht erfolgt ist - vorgenommen werden.
- Zur Beurteilung der multikausalen Zusammenhänge sollten sich die Untersuchungsstrecken hinsichtlich verschiedener Gestaltungselemente unterscheiden (z.B. unterschiedliche Fahrbahnbreiten bei sonst ähnlichen Gestaltungen).
- Verschiedene Verkehrsbelastungen sollten innerhalb der Straßentypen untersucht werden.
- Die Straßentypen mit den geringeren Ausbaugraden sollten ein größeres Untersuchungskollektiv ausmachen, da eine größere Vielfalt der Zusammensetzungsmöglichkeiten der Gestaltungselemente existiert.
- Die empirischen Untersuchungen zum Fahrverhalten sollten zum Nachweis der Ziele einer sicheren Straßengestaltung das Geschwindigkeitsverhalten in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten zur Beurteilung der Fahrverläufe, das Geschwindigkeitsverhalten in den Knotenpunkten zur Beurteilung des Ein-/ Abbiegen und Kreuzen sowie den Einfluss untereinander beinhalten. Das Begegnen bzw. Überholen kann anhand der Fahrlinien (Spurverhalten) auf den Untersuchungsstrecken untersucht werden. Hieraus können auch Abstände zu den Seitenräumen beurteilt werden.

4 Auswahl geeigneter Untersuchungsstrecken

Der Auswahl der Untersuchungsstrecken kommt eine große Bedeutung zu, da die Methodik auf den Charakteristika der jeweiligen Strecke mit zahlreichen infrastrukturellen und verkehrlichen Randbedingungen aufbaut. Um diesen hohen Anforderungen an die Auswahl gerecht zu werden, wurde zunächst ein Kriterienkatalog zusammengestellt, anhand dessen eine qualitative Bewertung vorgenommen werden konnte.

Für alle Untersuchungsstrecken erfolgte eine detaillierte Darstellung des Streckenverlaufes, der Knotenpunktanordnung und des Streckenprofils. Zusätzlich wurden die Daten der Unfalluntersuchung, der örtlichen Besichtigung und weitere Informationen wie z.B. der Verkehrsbelastung, der Seitenraumgestaltung sowie der Beschilderung mit eingearbeitet. Die Streckendokumentationen dienen zum einen der besseren Übersicht der Streckenparameter für den Messingenieur während der empirischen Untersuchungen und zum anderen wurden die erzielten Messergebnisse wie u.a. die Geschwindigkeits- und Spurprofile in die Dokumentationen mit eingearbeitet.

Die Trassierungsparameter der Untersuchungsstrecken wurden aus der Straßeninformationsbank (BB-SIB) [7] sowie vorhandenen Planunterlagen entnommen. Zusätzlich erfolgten Messungen der Fahrbahnbreiten vor Ort, um die vorhandenen Daten abzusichern und zu ergänzen.

4.1 Kriterien zur Auswahl der Untersuchungsstrecken

Aufbauend auf den vorangegangenen Untersuchungen wurden für die empirischen Untersuchungen geeignete Untersuchungsstrecken bestimmt. Als Differenzierung wurde die in Kapitel 1 entwickelte Klassifizierung in Straßentypen herangezogen. Es wurde angestrebt, für jeden Straßentyp mindestens drei Untersuchungsstrecken zu finden.

Der für die Auswahl der Untersuchungsstrecken entwickelte Kriterienkatalog sollte die Suche nach Untersuchungsstrecken erleichtern und die Zielerreichung bewerten. Der Kriterienkatalog umfasste folgende Anforderungen:

- Streckenlänge größer drei Kilometer,
- nach Möglichkeit größer zwei Knotenpunkte vom gleichen Typ,
- keine oder nur sehr kurze Ortsdurchfahrten,
- keine besonderen Auffälligkeiten in der Streckencharakteristik (z.B. lange Tunnel-/ Brückenbereiche),
- keine schlechte Straßenoberflächenbeschaffenheit,
- keine hohen Längsneigungen (s > 4,0 %),
- keine ungewöhnlich hohe Knotenpunktdichte,
- der Straßenklasse entsprechende Anteile an Überholmöglichkeiten und zulässige Geschwindigkeiten,

- weiterhin sind als Unterscheidungsmerkmal:
    - die Betriebsart (z.B. Kraftfahrstraße),
    - die Führung des landwirtschaftlichen Verkehrs,
    - die Führung des Radverkehrs,
    - die Verkehrsbelastungen (eine zu geringe Belastung würde den zeitlichen Aufwand der Messungen erheblich verlängern, während eine zu hohe Belastung durch das Kolonnenfahren keine sinnvollen Aussagen zum Individualverhalten der Verkehrsteilnehmer zulassen würde; daher wurden Untersuchungsstrecken in geringen bis mittleren Belastungsbereichen ausgewählt) in die Bewertung mit einzubeziehen gewesen.
- es durften keine länger dauernden verkehrsbeeinflussenden Baumaßnahmen im Bezugszeitraum der Unfallanalysen sowie während der Durchführung der Messungen bestehen.

4.2 Beschreibung der Untersuchungsstrecken

Insgesamt wurde eine Auswahl von 25 Untersuchungsstrecken getroffen, welche sich bis auf zwei Strecken, die in Niedersachsen liegen, in Brandenburg befindet (vgl. Abb. 29). Zusätzlich konnte eine Strecke des Straßentyps 7 im Rahmen einer Deckenerneuerung als einstreifiger Querschnitt nach den RAL [30] ummarkiert werden, wodurch ein Vorher-Nachher-Vergleich des Fahrverhaltens möglich war.

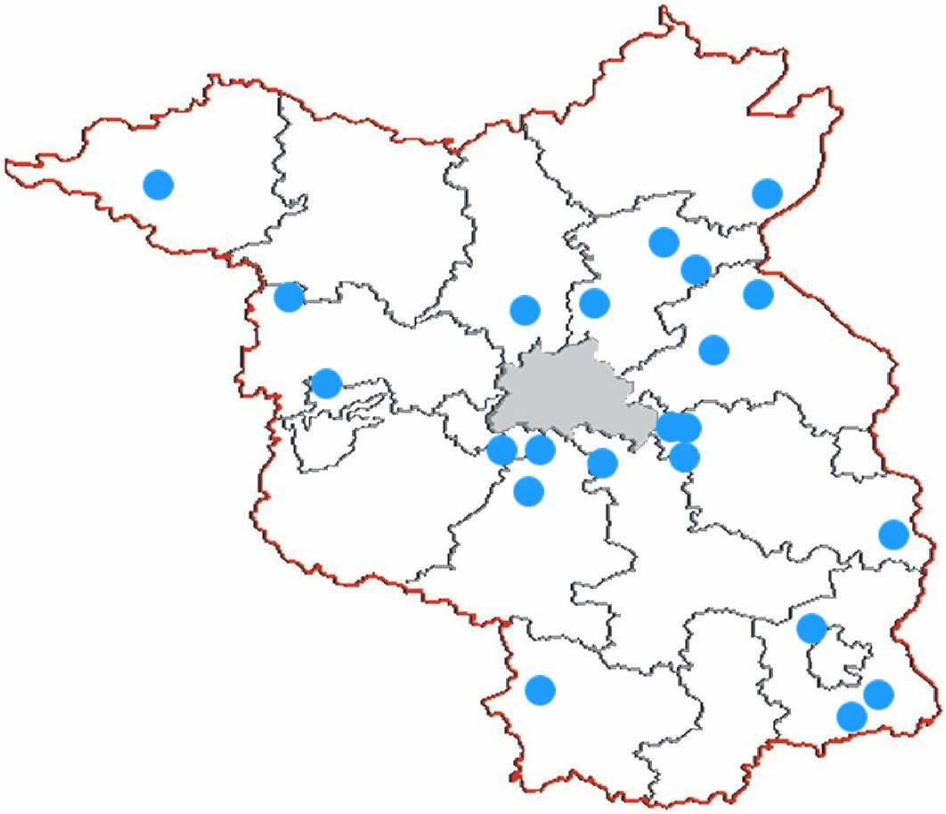


Abb. 29 Lage der Untersuchungsstrecken in Brandenburg

Die Untersuchungsstrecken (ohne Vorher-Nachher-Vergleichsstrecke) weisen eine durchschnittliche Länge von etwa 5,9 km auf. Die Streckenlänge ist hierbei tendenziell bei den Straßentypen mit Überholfahrstreifen (Straßentypen 1 bis 4 im Mittel 7,4 km) aufgrund der höheren Knotenpunktabstände länger als bei den Straßentypen 5 bis 7 (im Mittel 4,7 km).

Die Verkehrsbelastungen (DTV) der Untersuchungsstrecken liegen zwischen etwa 900 Kfz/24 h beim Straßentyp 7 und etwa 21.000 Kfz/24 h beim Straßentyp 1. Insgesamt zeigen die vorhandenen Verkehrsbelastungen einen eindeutigen Zusammenhang zu den vorhandenen Regelquerschnitten, da diese aufgrund der Verkehrsbedeutung (Fahrtweite und Verkehrsbelastung) bestimmt werden. Insgesamt ist eine abnehmende Verkehrsbelastung von Straßentyp 1 bis 7 vorhanden. Die Strecken können allerdings in drei Gruppen ähnlicher Verkehrsbelastungen unterteilt werden: Straßentyp 1+2, Straßentyp 3-6 und Straßentyp 7. Straßentyp 3+4 entsprechen im Wesentlichen den Verkehrsbelastungen der zweistreifigen Straßentypen. Bei Straßentyp 3 (die AOSI-Strecken) ist dies darauf zurückzuführen, dass die Auswahl der Strecken nicht vornehmlich anhand deren Verkehrsbelastung sondern aufgrund einer hohen Schwere und Anzahl an Überholunfällen vorgenommen wurde.

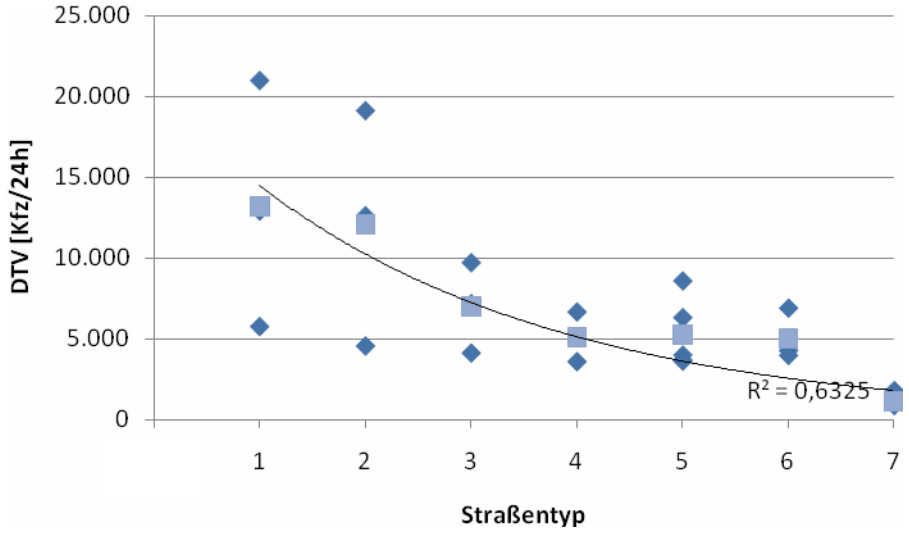


Abb. 30 durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastungen (DTV) der Untersuchungsstrecken

Die verkehrlichen und gestalterischen Kenngrößen der Untersuchungsstrecken sind in Anhang 3 und Anhang 4 zusammengefasst.

Untersuchungsstrecken vom Straßentyp 1 und 2

Die ausgewählten Untersuchungsstrecken umfassen je drei Strecken vom Straßentyp 1 und 2. Die zweibahnig, vierstreifigen Straßen mit planfreien Knotenpunkten (Straßentyp 1) sind mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h beschildert. Die dreistreifigen Straßen werden mit 100 km/h betrieben. Die Verkehrsbelastungen der Straßen des Straßentyps 2 weisen mit DTV-Werten zwischen etwa 4.500 Kfz/24 h bis etwa 21.000 Kfz/24 h große Unterschiede auf (vgl. Abb. 30). Abb. 31 zeigt die Querschnittsgestaltungen der beiden Straßentypen.

Abb. 31 Querschnittsgestaltung der Straßentypen 1 (links) und 2 (rechts)

Untersuchungsstrecken vom Straßentyp 3 und 4

Die Auswahl der drei zweistreifigen Untersuchungsstrecken mit Zusatzfahrstreifen (vgl. Abb. 32) war begrenzt, da nur die im Zuge des AOSI-Projektes der BASt durch Umbaumaßnahmen entstandenen Strecken zur Verfügung standen. Als weitere Untersuchungsstrecken wurden solche mit einem RQ 15,5 und plangleichen Knotenpunkten untersucht, da diese bis auf einen höheren Anteil an Überholfahrstreifen der Charakteristik der AOSI-Strecken entsprechen.

Abb. 32 Querschnittsgestaltung des Straßentyps 3 im zweistreifigen Abschnitt (links) und dreistreifigen Abschnitt (rechts)

Die fünf ausgewählten Untersuchungsstrecken sind im Bereich der signalisierten Knotenpunkte mit 70 km/h beschildert, die knotenpunktfreien Streckenabschnitte weisen

eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf. Die Verkehrsbelastungen (DTV) der Straßen liegen zwischen etwa 3.500 Kfz/24 h und 10.000 Kfz/24 h.

Untersuchungsstrecken vom Straßentyp 5 und 6

Die neun Untersuchungsstrecken der Straßentypen 5 und 6 sind zweistreifige Strecken mit Kreisverkehren oder nicht signalisierten Einmündungen oder Kreuzungen. Einige Straßen weisen nur einen Knotenpunkttyp auf, andere bestehen aus einer Kombination der verschiedenen Knotenpunkttypen (vgl. Anhang 3). Die Fahrbahnbreiten der Strecken liegen im Mittel bei 6,5 m. Die Verkehrsbelastungen (DTV) der Strecken liegen zwischen etwa 3.500 Kfz/24 h und 8.500 Kfz/24 h. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit der knotenpunktfreien Streckenabschnitte ist in der Regel 100 km/h. Vereinzelt sind davon abweichende zulässige Höchstgeschwindigkeiten vorzufinden (im Bereich von Knotenpunkten oder Einzelkurven).

Abb. 33 Querschnitts- und Knotenpunktgestaltung des Straßentyps 5

Abb. 34 Knotenpunktgestaltung des Straßentyps 6

Straßentyp 7

Straßentyp 7 beinhaltet schwach belastete Landstraßen (DTV < 3.000 Kfz/24 h) mit unterschiedlichen Querschnittsgestaltungen (vgl. Abb. 35). Neben Straßen die eine Leitmarkierung in Straßenmitte und Randmarkierungen aufweisen wurden auch Straßen nur mit Randmarkierungen betrachtet, da hier davon ausgegangen wurde, dass sich auf diesen Straßen bereits ein ähnliches Fahrverhalten einstellen würde wie auf dem

nach den RAL markierten einstreifigen Regelquerschnitt. Die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten betragen auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten 80 oder 100 km/h. Die durchschnittliche Verkehrsbelastung liegt bei etwa 1.100 Kfz/24 h. Die vorhandenen Fahrbahnbreiten liegen im Mittel bei 5,80 m.

Abb. 35 Querschnittsgestaltungen des Straßentyps 7

Untersuchungsstrecke des Vorher-Nachher-Vergleichs – K 88 zwischen Höfingen und Fischbeck in Niedersachsen

Eine Strecke des Straßentyps 7 konnte im Rahmen einer Deckenerneuerung als einstreifiger Querschnitt nach den RAL ummarkiert werden, wodurch ein Vorher-Nachher-Vergleich des Fahrverhaltens möglich ist (vgl. Abb. 36).

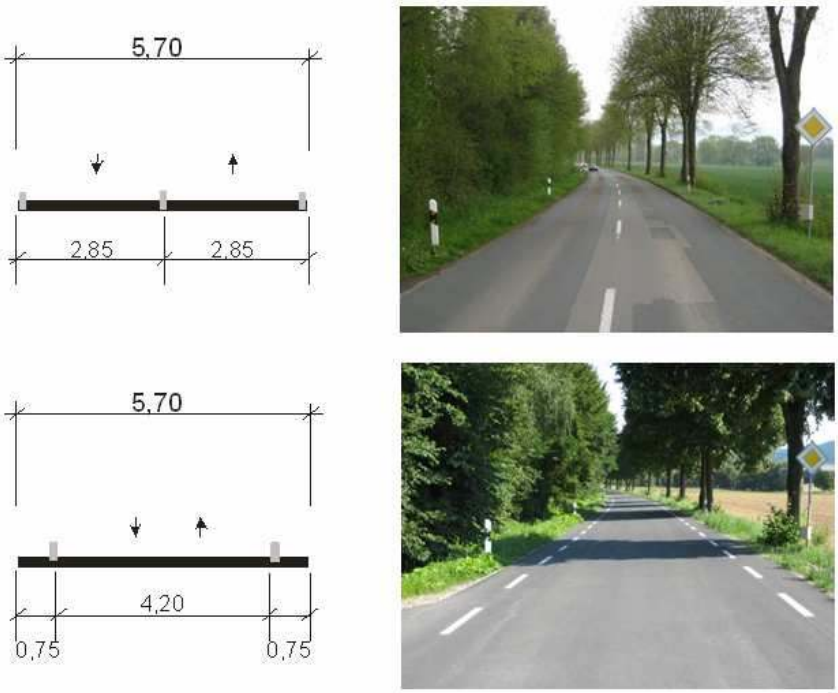


Abb. 36 Untersuchungsstrecke des Vorher-Nachher-Vergleichs vor (oben) und nach (unten) der Ummarkierung

Die Strecke befindet sich im Landkreis Hameln-Pyrmont südwestlich von Hannover in Niedersachsen. Die Streckenlänge beträgt etwa 1,2 km zwischen den Ortschaften Hö-

fingen und Fischbeck. Die Verkehrsbelastung ist mit etwa 1.850 Kfz/24 h gering. Der Schwerverkehrsanteil beträgt mit etwa 90 Fz/24 h etwa 5 %. Die Strecke weist keine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf. Der vorhandene Straßenquerschnitt hat eine Fahrbahnbreite von zumeist 5,70 m und war vor der Ummarkierung mit einer Leitmarkierung in Straßenmitte (3 m Strichlänge, Strich-Lücke-Verhältnis = 1:2) sowie einer schlecht zu erkennenden Randmarkierungen ausgestattet.

5 Empirischen Untersuchungen auf Realstrecken

Ziel der empirischen Untersuchungen war es, einen Bezug zwischen dem Fahrverhalten bzw. dem Fahrverlauf und der Streckencharakteristik der gebildeten Straßentypen herzustellen.

Das Fahrverhalten kann jedoch nicht als solches bestimmt werden und muss deshalb durch Indikatoren beschrieben werden. Hierzu dienen unterschiedliche Fahrzeugseitige Parameter über die Strecke und im Querschnitt. Diese teilen sich wie folgt auf:

- Längsregelung:
    - Geschwindigkeit,
    - Beschleunigung und Verzögerung,
- Querregelung:
    - Querbeschleunigung,
    - Spurverhalten.

Die empirischen Untersuchungen zum Fahrverhalten auf den Untersuchungsstrecken wurden mit zwei verschiedenen Methoden durchgeführt.

Zum einen wurde über lokale Messungen das Fahrverhalten an ausgewählten Punkten der Untersuchungsstrecken erfasst. Die für das mikroskopische Fahrverhalten relevanten Daten sind die Geschwindigkeit sowie das Spurverhalten. Diese anhand der Messungen gewonnenen mikroskopischen Daten wurden über die erfassten Zeiten zu makroskopischen Daten aggregiert.

Zum anderen wurde über die Streckenprofile das Fahrverhalten eines Fahrzeuges über den gesamten Streckenabschnitt erfasst. Auch hier wurden mikroskopische Daten einzelner Fahrzeuge erhoben, die wiederum statistisch zusammengefasst wurden, da die Daten nicht das gesamte Kollektiv der Zeiteinheit beinhaltete. Ein Abgleich mit den erfolgten stationären Messungen hat allerdings eine ausreichende Repräsentativität gezeigt.

Es wurden lokale Geschwindigkeits- und Spurverhaltensmessungen an ausgewählten Stellen und Streckenprofile des Geschwindigkeits-, Beschleunigungs-/ Verzögerungs- und Spurverhaltens vorgenommen. Hierzu standen als Ausstattung des Fachgebietes Straßenplanung und Straßenbetrieb der TU Berlin Radargeräte (Erfassung von Verkehrsbelastung, Fahrzeugklasse, Geschwindigkeit), Videokameras mit entsprechender Auswerteeinrichtung (Auswertung Spurverhalten) sowie ein Messfahrzeug für die Einsatz- und Verfolgungsfahrten (u.a. Aufzeichnung Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Spurverhalten) zur Verfügung.

Die Auswertung der empirischen Untersuchungen erfolgt über die aggregierte Darstellung von Geschwindigkeits- und Spurprofilen. Ferner wurden die Rohdaten einer statistischen Auswertung unterzogen, um die Verlässlichkeit der Aussagen zu prüfen oder

zumindest klare Tendenzen ableiten zu können (Nachweis der Signifikanz mittels studentischem T-Test).

5.1 Messsysteme

Für die Messungen im Zuge der empirischen Untersuchungen kamen folgende Systeme zum Einsatz:

- Messfahrzeug (vgl. Kapitel 5.1.1),
- Radarmessgeräte (Verkehrsstatistikgeräte *Traffic Counter* der Firma *Wavetec* und Radarpistole *Speedcontrol* der Firma *Woidich*) (vgl. Kapitel 5.1.2).

5.1.1 Das Messfahrzeug des Fachgebietes

Als Messfahrzeug diente der im Besitz des Fachgebietes Straßenplanung und Straßenbetrieb befindliche Audi A4 Avant 1.8T, Baujahr 2007, der über eine Motorleistung von 120 kW verfügt und mit einem 5-Gang-Schaltgetriebe ausgestattet ist. Instrumentiert ist das Fahrzeug mit Sensoren, die Messgrößen der eigenen Fahrzeugreaktion sowie des Spurverhaltens mittels einer Stereobildkamera ermitteln. Diese bildet auch den Straßenraum nach vorne ab.

Die Datenaufzeichnung erfolgt mittels eines *Driverecorders* der Firma Hella Aglaia GmbH über einen handelsüblichen PC (Prozessor, CAN-Karte, etc.). Der *Driverecorder* zeichnet die Fahrverhaltensparameter georeferenziert auf und errechnet anhand des Stereokamerabildes das Spurverhalten. Es wird für jede Messfahrt eine Datei angelegt, die automatisch die genaue Startzeit als Dateinamen beinhaltet, wodurch eine eindeutige Identifizierung möglich ist. Die Ausgabe der Messparameter erfolgt über eine csv-Ausgabe, wodurch eine Weiterbearbeitung ohne Kompatibilitätsprobleme in den gängigen Auswerteprogrammen (z.B. SPSS, EXCEL) erfolgen kann. Für die im Rahmen dieser Untersuchungen benötigten Fahrzeugdaten wurden eigene Auswerteprogramme erstellt.

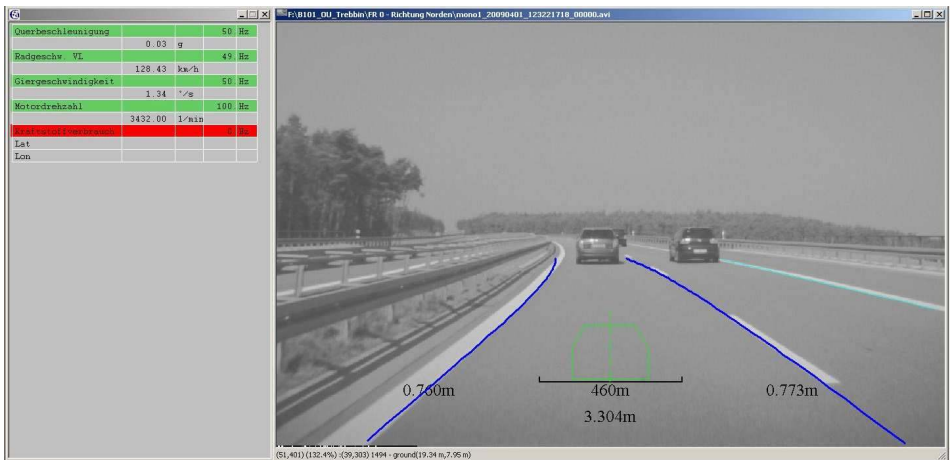


Abb. 37 Aufzeichnung mit dem *Driverecorder*

Die Umrechnung zeitbezogener Fahrzeugdaten in längenbezogene Daten erfolgt mittels einer linearen Interpolation der einzelnen Messwerte. Als Längenwert wurde 5 m

als Stationsintervall verwendet. Diese Annahme weist eine ausreichende Genauigkeit der Daten für die zu untersuchende Thematik auf und vermittelt zudem keine unnötige Kleinteiligkeit durch Verwendung kleinerer Stationierungsabstände.

5.1.2 Lokale Messgeräte

Die eingesetzten Radarmessgeräte der Firma *Wavetec* erfassen automatisch die Geschwindigkeit aller vorbeifahrenden Fahrzeuge, wobei diese zeitlich genau und verkehrsartenspezifisch gespeichert werden. Die Geräte ermöglichen es die Daten über einen längeren Zeitraum zu erfassen und somit eine große Anzahl an Fahrzeugen zu untersuchen.

Weiterhin kam auf Straßen mit mehr als zwei Fahrstreifen sowie auf stärker belasteten zweistreifigen Untersuchungsstrecken auch eine manuell zu betätigende Radarpistole *Speedcontrol* der Firma *Woidich* zum Einsatz, da aufgrund des Verschattungseffektes keine eindeutigen Ergebnisse mit den automatischen Messgeräten zu erwarten waren.

Als Kamerasysteme standen zwei Festplattenkameras mit 30 GB Speicherkapazität zur Verfügung.

5.2 Messungen der Fahrparameter

Die Querschnittmessungen erfolgten an für die jeweilige Untersuchungstrecke repräsentativen Querschnitten im Bereich von Geraden. Vornehmlich wurden Querschnitte außerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte untersucht. Die Messungen wurden jeweils tagsüber bei trockener Fahrbahn vorgenommen. Der Stichprobenumfang lag bei mindestens 100 Fahrzeugen je Fahrtrichtung.

Neben den das Fahrverhalten beschreibenden Parametern wurde auch das Verkehrsaufkommen im Querschnitt zeitlich erfasst. Hierdurch war es möglich, das Fahrverhalten in direkten Zusammenhang mit der aktuellen Verkehrsbelastung zu setzen. Des Weiteren konnte ein Abgleich der erhobenen Verkehrsbelastungen mit den vorhandenen Daten in der Straßeninformationsdatenbank erfolgen und in die Unfallanalysen mit einfließen.

Die Erhebung der Fahrverhaltensprofile anhand der Einsatz- und Verfolgungsfahrten bestand aus mindestens 20 Fahrten je Untersuchungsstrecke und Fahrtrichtung. Im Mittel wurden 46 Fahrten je Untersuchungsstrecke durchgeführt. Die Auswertung basiert auf etwa 7.000 km erhobenen Messdaten. Abb. 38 zeigt beispielhaft den Messaufbau auf den Untersuchungsstrecken.

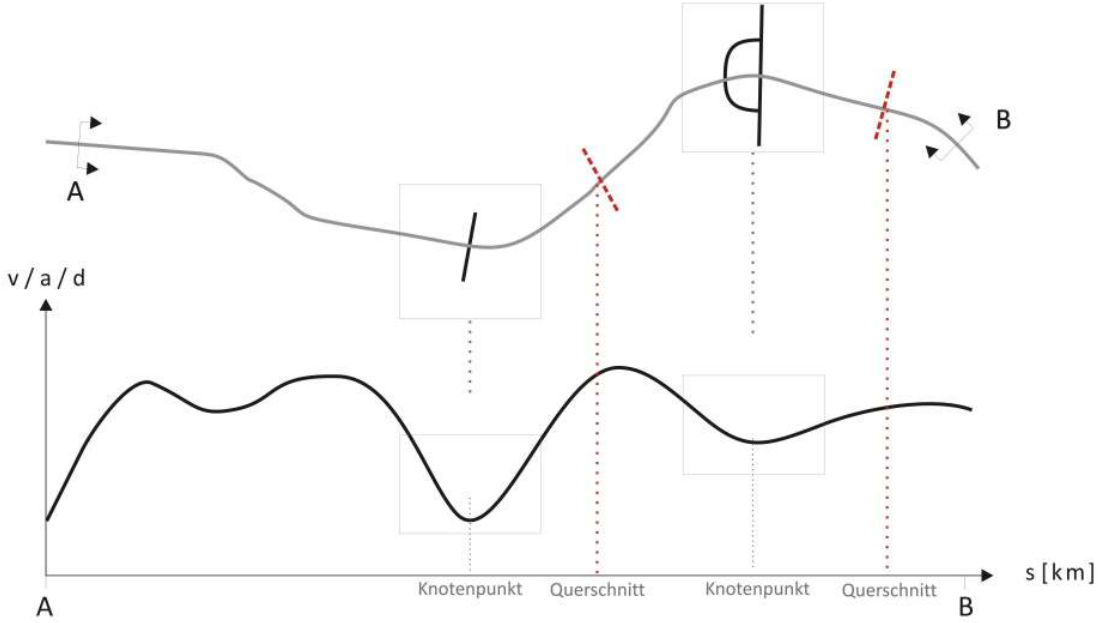


Abb. 38 Messaufbau

5.2.1 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit V ist definiert als der Quotient aus dem zurückgelegten Weg s in der Zeit t und stellt die wichtigste Größe zur Beschreibung des Fahrverhaltens im Straßenentwurf dar. Die Bedeutung wird durch Anwendung der Geschwindigkeit in den momentan gültigen Richtlinien als eine bestimmende Größe für Entwurfsparameter (z.B. Ve, V85, Vk) unterstrichen. Im Straßenentwurf wird grundsätzlich zwischen der freien Geschwindigkeit und der gebundenen Geschwindigkeit unterschieden. Die freie Geschwindigkeit liegt beim Fahren ohne Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern vor. Bei gebundener Geschwindigkeit wird das Fahrzeug von anderen Verkehrsteilnehmern in seiner Geschwindigkeitswahl beeinflusst. Für die Untersuchungen wurde die streckenspezifische Geschwindigkeit betrachtet, die sich im Wesentlichen aus der jeweiligen vorhandenen Verkehrsbelastung auf den Untersuchungsstrecken ergibt. Im Allgemeinen steigt mit Abnahme der Verkehrsbelastung der Anteil an frei fahrenden Fahrzeugen.

Die Auswertung des Geschwindigkeitsverhaltens durch Verfolgungsfahrten wird nach der gleichen Auswertemethodik durchgeführt wie bei den Messungen am Querschnitt, nur dass die Ergebnisse zweidimensional (über die Strecke) betrachtet werden können und sich somit unendlich viele Messquerschnitte über die Untersuchungsstrecke ergeben.

Im Rahmen dieser Arbeit finden die folgenden in Tab. 2 definierten Geschwindigkeiten Verwendung.

Bezeichnung	Definition / Relevanzbereich
mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit	Reisegeschwindigkeit; Mittelwert der Fahrprofile über die gesamte Strecke Abgleich mit den Vorgaben der RIN
V_{85}-Fahrverhaltensgeschwindigkeit	über die Strecke fortlaufende 85%-Perzentilgeschwindigkeit; Geschwindigkeit, die 85% der Fahrzeuge nicht überschreiten Beurteilung des Fahrverhaltens der „Schnellfahrer“
V_{15}-Fahrverhaltensgeschwindigkeit	über die Strecke fortlaufende 15%-Perzentilgeschwindigkeit; Geschwindigkeit, die 15% der Fahrzeuge nicht überschreiten Beurteilung des Fahrverhaltens der „Langsamfahrer“
Knotenpunktgeschwindigkeit	Perzentilgeschwindigkeiten der Fahrprofile in Knotenpunktmitte Beurteilung des Fahrverhaltens in Knotenpunkten
homogene Abschnittsgeschwindigkeit	Mittelwert der jeweiligen Fahrverhaltensgeschwindigkeit über einen definierten Bereich auf einem knotenpunktfreien Streckenabschnitt mit homogenem Geschwindigkeitsverhalten Beurteilung der straßentypcharakteristischen Geschwindigkeit
planerisch angemessene Geschwindigkeit	die für die entwurfstechnischen Vorgaben relevante Geschwindigkeit; vergleichbar mit der Entwurfsgeschwindigkeit V_e nach den RAS-L Abgleich der planerisch gewünschten mit den real gefahrenen Geschwindigkeiten

Tab. 2 Definition der Geschwindigkeiten

Mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten

Die mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit ergibt sich aus der mittleren Geschwindigkeit (V_m) über die gesamte Messstrecke ohne eine Abschnittsbildung nach Betriebs- oder Gestaltungselementen vorzunehmen. Mittels der mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeit kann ein Abgleich mit den nach den RIN [36] gewünschten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten der einzelnen Straßenkategorien vorgenommen werden.

Fahrverhaltensgeschwindigkeiten

Die Auswertung des Geschwindigkeitsniveaus beinhaltet die üblichen Perzentilgeschwindigkeiten (V_{15}, V_{50}, V_{85}). Aus der Verteilung aller Messwerte bzw. der einzelnen Messquerschnitte werden Geschwindigkeitsklassen abgeleitet, die das Fahrerkollektiv in drei verschiedene Klassen (Langsam-, Normal-, Schnellfahrer) einteilt. Die Geschwindigkeitsklassen sind folgendermaßen definiert:

1. Langsamfahrer: Geschwindigkeitswerte, die unterhalb der V_{15} liegen, werden der Geschwindigkeitsklasse der Langsamfahrer zugeordnet. Für diese Geschwindigkeiten gilt:

$$V_{LF} \leq V_{15}$$

2. Normalfahrer: Geschwindigkeitswerte, die zwischen der V_{15} und der V_{85} liegen, werden der Geschwindigkeitsklasse der Normalfahrer zugeordnet. Für diese Geschwindigkeiten gilt:

$$V_{15} < V_{NF} < V_{85}$$

3. Schnellfahrer: Geschwindigkeitswerte, die oberhalb der V_{85} liegen, werden der Geschwindigkeitsklasse der Schnellfahrer zugeordnet. Für diese Geschwindigkeiten gilt:

$$V_{SF} \geq V_{85}$$

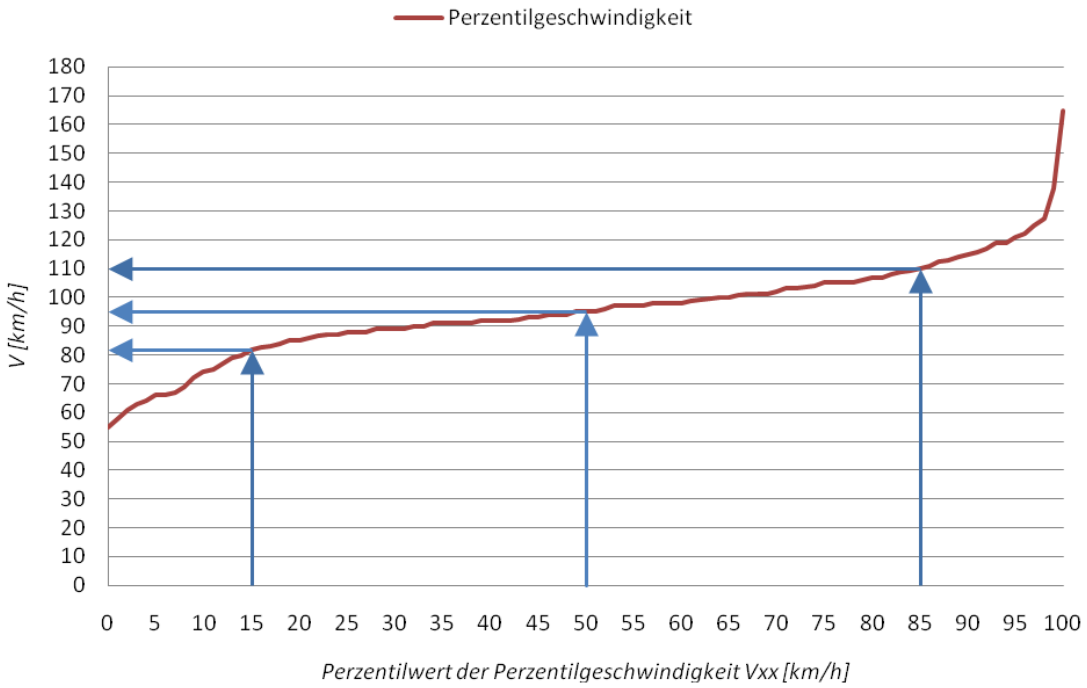


Abb. 39 Darstellung der Perzentile

Zulässige Höchstgeschwindigkeiten

Weiterhin wurde der Anteil der Fahrzeuge, die die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschreiten, ermittelt. Hierbei wurden der jeweilige Anteil der Strecke bei dem die $V_{Perzentil} > V_{zul}$ vorliegt ermittelt.

Strecken- und Knotenpunktgeschwindigkeit

Es werden abschnittsweise Geschwindigkeiten betrachtet. Die Abschnittsbildung beinhaltet zum einen den Bereich der knotenpunktfreien Streckenabschnitte und zum anderen den Bereich der Knotenpunkte. Hierbei wurde als Knotenpunktgeschwindigkeit die

am Schnittpunkt der übergeordneten Messstrecke mit der Fahrbahnachse der untergeordneten Straße gemessene Geschwindigkeit ausgewählt.

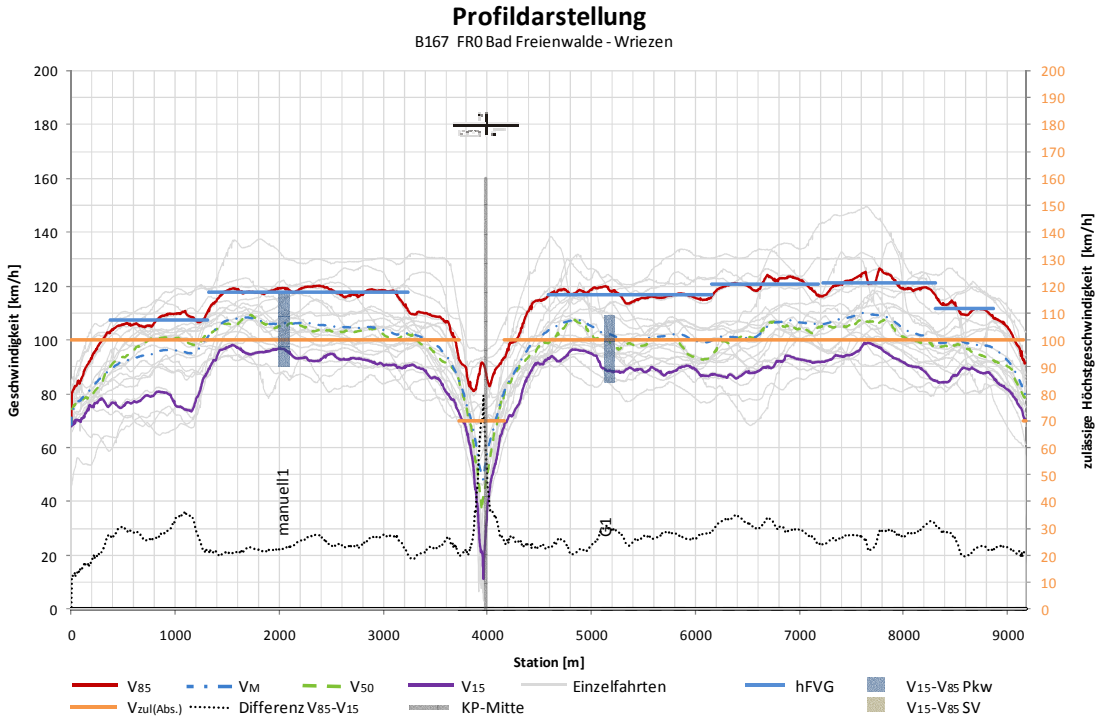


Abb. 40 Beispielhaftes Geschwindigkeitsprofil einer Untersuchungsstrecke

Homogene Abschnittsgeschwindigkeit

Um Abschnitte gleichen Fahrverhaltens bilden zu können, wurde ein Modell entwickelt, das aus einem mehrstufiges Trennungsverfahren besteht. Ausgehend von einer Einteilung in Abschnitte gleicher zulässiger Höchstgeschwindigkeiten erfolgt anhand der vorliegenden Standardabweichung der Geschwindigkeitswerte über einen Streckenabschnitt eine Einteilung in homogene Geschwindigkeitsabschnitte. Weiterhin werden plangleiche Knotenpunkte als Abschnittstrennung angesehen.

Die Abschnittsermittlung wird anhand der aggregierten Daten aller Fahrten je Fahrtrichtung durchgeführt und nicht anhand von Einzelfahrten, um das Kollektivverhalten zu untersuchen. Für den Fall der Einzelfahrtbetrachtung werden zumeist andere Modelle angewendet, die zumeist die kumulierte Geschwindigkeitsänderung betrachten.

Das Modell beinhaltet folgende Stufen:

1. Trennung der Messstrecke in Abschnitte gleicher zulässiger Höchstgeschwindigkeit,
2. Trennung der Messstrecke an plangleichen Knotenpunkten (an der Knotenpunktmitte),
3. Ermittlung der mittleren V_{xx} der Abschnitte,
4. Ermittlung der Standardabweichung (Stabw) über den Abschnitt,
5. Prüfung der Stabw (V < 3 km/h),

6. Trennung in weitere Abschnitte, wenn Stabw (V) > 3 km/h (Rücksprung zu 3.),
7. Zusammenführung von Abschnitten, wenn die Differenz der V_{xx} des Folgeabschnittes zum vorherigen Abschnitt < 3 km/h,
8. Prüfung, ob eine Mindestlänge der Abschnitte von 300 m vorliegt. Sofern dies nicht eingehalten ist, liegt kein homogener Geschwindigkeitsabschnitt vor (ggf. liegt ein Beschleunigungs-/ Verzögerungsabschnitt vor).

Das Modell zur Abschnittsbildung wird für die V_{85} angewendet. Es erfolgt für diese Abschnitte jedoch auch die Ermittlung der V_{15} um einen Vergleich der Langsam- und Schnellfahrer bei den in den homogenen Abschnitten vorliegenden Gegebenheiten vornehmen zu können.

Weiterhin erfolgt ein Abgleich mit den in den RAL [30] gewünschten planerisch angemessenen Geschwindigkeiten (Differenz, Anteil an Überschreitung). Hierbei wird differenziert nach der Streckencharakteristik eine Bewertung durchgeführt.

5.2.2 Beschleunigung und Verzögerung

Die Beschleunigung ist als Änderung der Geschwindigkeit V in der Zeit t definiert. Betrachtet man diese getrennt nach Längs- und Querrichtung zur Fahrtrichtung, erhält man die Längs- und Querbeschleunigung.

Die Längsbeschleunigung beschreibt somit eine Geschwindigkeitserhöhung bzw. -reduzierung. Aus der Längsbeschleunigung geht hervor wie der Fahrer seine Geschwindigkeit an die vorherrschenden Randbedingungen anpasst. Hohe negative Längsbeschleunigungen weisen auf starke Bremsmanöver hin.

Die Querbeschleunigung entsteht vorwiegend während der Kurvenfahrt infolge der auftretenden Radialkräfte. Sie hängt von der vorhandenen Querneigung der Straße und der Geschwindigkeit ab. Das Komfortempfinden des Fahrzeugführers kann als Parameter für die maximale Querbeschleunigung herangezogen werden.

Anders als bei den Querschnittmessungen kann bei den Verfolgungsfahrten das Fahrverhalten zusätzlich durch das Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsverhalten in Längs- und Querrichtung bestimmt werden, die am genauesten elementbezogene Geschwindigkeiten erwarten lassen. Die Längsbeschleunigung fließt hierbei indirekt in die Ermittlung homogener Geschwindigkeitsabschnitte mit ein, da starke Beschleunigungen bzw. Verzögerungen in Längsrichtung ein inhomogenes Geschwindigkeitsprofil aufweisen.

Die Querbeschleunigungen zeigen die stärkste Korrelation zu den Lageplanelementen. Die Trassierungselemente (Kurven) spiegeln sich eindeutig in den Querbeschleunigungen wieder. Insbesondere Inhomogenitäten in der Radienwahl vorwiegend bei nicht relationstrassierte Strecken lassen sich identifizieren.

5.2.3 Spurverhalten

Das Spurverhalten beschreibt die Position des Fahrzeuges innerhalb des Straßenquerschnittes bzw. innerhalb des Fahrstreifens. Sie kann als seitlicher Abstand zum Fahrbahnrand, zur Randmarkierung oder zur Fahrbahnachse ausgedrückt werden.

Mit Hilfe des Spurverhaltens kann u.a. das Kurvenschneiden oder das Ein- und Ausscherverhalten im Zuge von Überholvorgängen beschrieben werden. Als Maß des Spurverhaltens wird zumeist die Spurtreue innerhalb eines Normbereiches im durchfahrenen Fahrstreifen herangezogen. Als wesentlicher Sicherheitskennwert für den Begegnungs- bzw. den Überholvorgang kann der Abstand zweier Fahrlinien angesehen werden.

Um das lokale Spurverhalten am Querschnitt zu ermitteln, erfolgte eine Videoaufzeichnung. Die Auswertung erfolgte später am Bildschirm. Die Messungen des Spurverhaltens über die Strecke erfolgten anhand von Einsatzfahrten. Dies lässt aufgrund der Methodik (eigenes Spurverhalten) nur grobe Tendenzen zu, aufgrund der zeitlichen Randbedingungen konnten jedoch keine Einsatzfahrten von Probanden durchgeführt werden. Bei der Auswertung der Fahrlinien wird der gleiche Ansatz wie bei den Auswertungen am lokalen Querschnitt herangezogen, nur dass analog zum Geschwindigkeitsverhalten eine weitere Dimension betrachtet wird. Anhand der kontinuierlichen Werte kann die Spurtreue über einen Streckenabschnitt untersucht werden.

Abb. 41 Fahrspurerkennung auf einem einstreifigen Querschnitt

Die Auswertung des Spurverhaltens erfolgte für die folgenden Modelle:

1. Absolute Abstände
2. Verteilung der normierten Abstände
3. Fahrgeometrisches- sicherheitsorientiertes Spurtypenmodell

Die Auswertung des Spurverhaltens benötigt im Vorfeld einige Festlegungen, um die unterschiedlichen Messquerschnitte und Fahrzeugkollektive miteinander vergleichen zu können. Die bei der Videobildauswertung ermittelten Seitenabstände beziehen sich auf den Abstand der rechten Fahrzeugbegrenzung zum in Fahrtrichtung gelegenen rechten Fahrbahnrand. Bei der Bestimmung der Fahrzeugposition wurden die Fahrzeugkanten einem 5 cm-Raster zugeordnet.

Um die Position der linken Fahrzeugkante sowie der Fahrzeugmitte zu ermitteln wird auf die Breite des Bemessungsfahrzeuges eines Personenkraftwagens nach RAS-K-1 [33] mit einer Fahrzeugbreite von 1,75 m zurückgegriffen. Die Betrachtung der individuellen Fahrzeugbreiten erfolgt nicht, da aufgrund der ähnlichen Fahrzeugbreiten diese Vorgehensweise keine großen Abweichungen vom eigentlichen Fahrzeugkollektiv erwarten lassen.

Absoluter Seitenabstand

Der Vergleich der absoluten Seitenabstände zum Gegenverkehr bzw. zum rechten Fahrbahnrand dient der Bewertung des Sicherheitsniveaus auf der jeweiligen Messsequenz (vgl. Abb. 42). Theoretisch liegt die maximale Sicherheit beim maximalen Abstand zum Gegenverkehr (bzw. der Fahrtrichtungstrennung bei zweibahnigen Querschnitten) und dem Fahrbahnrand (bzw. dem Hindernis im Seitenraum).

Normierter Seitenabstand

Eine Übertragung der normierten Abstände auf einen Regelquerschnitt ermöglicht den Vergleich unterschiedlicher Fahrbahnbreiten untereinander.

Der normierte Seitenabstand ist bei zweistreifigen Straßen auf die halbe Fahrbahnbreite bezogen. Abb. 42 zeigt den normierten Seitenabstand (S_n), der sich aus dem absoluten Seitenabstand (S) und der halben Fahrbahnbreite (FBB) berechnet:

$$S_n = S / (FBB / 2)$$

Ein normierter Seitenabstand von $S_N = 0$ entspricht dem rechten Fahrbahnrand und ein Wert von $S_n = 1$ der Fahrbahnmitte. Für die Position der Fahrzeugachse, die zumeist bei der Auswertung betrachtet wird, ergibt sich folgende Formel:

$$S_{n,\,Fz} = S + (1{,}75 / 2) / (FBB / 2)$$

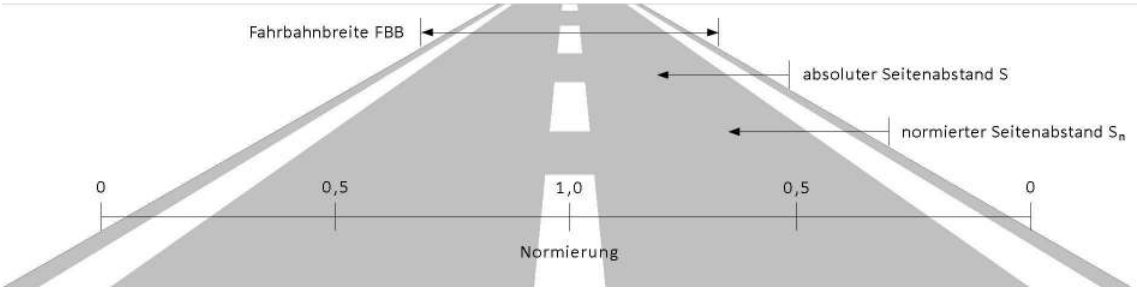


Abb. 42 Normierung des Seitenabstandes

Fahrgeometrisch-sicherheitsorientiertes Spurtypenmodell

In Anlehnung an LIPPLOD et al. [64] wurde das fahrgeometrisch-sicherheitsorientierte Spurtypenmodell angewendet. Dieses dient der Beurteilung des Spurverhaltens nach den geometrischen Randbedingungen des jeweiligen Fahrstreifens. Hierzu wird der Fahrstreifen in insgesamt sieben Spurtypen unterteilt, wobei die Fahrstreifenachse eine Symmetrieachse darstellt. Die Spurtypen basieren auf den normierten Seitenabständen und stellen im Prinzip nur eine Klassifizierung dieser dar. Ansatz der fahrgeometrischen Aufteilung ist, dass die höchste Sicherheit vorliegt, wenn die Abstände zum Fahrbahnrand bzw. der Fahrbahnmitte maximal sind. Ausgehend von dieser Überlegung wird folgende Spurtypeneinteilung vorgenommen:

1. Idealspur: Dieser Spurtyp beschreibt das unmittelbare Fahren in Mitte der halben Fahrbahn (S_n = 0,5). Der Bereich wird mit ±0,05 abgegrenzt. Die Gesamtbreite entspricht 0,1 * (FBB/2), dies entspricht beispielsweise bei einem RQ 10,5 nach RAS-Q-96 [35] einer Breite von B = 37,5 cm.
2. Normalspur: Die Normalspur repräsentiert ein geringes Abkommen von der Mitte der halben Fahrbahn. Der Bereich besitzt die 3-fache Ausdehnung der Idealspur und wird rechts und links von der Mitte der halben Fahrbahn mit ±0,15 begrenzt.
3. Abweichspur: Dieser Spurtyp weist ein stärkeres Abkommen von der halben Fahrbahnmitte auf als die Ideal- bzw. Normalspur. Die Abweichspur befindet sich im Bereich 0,25 - 0,35 bzw. 0,65 - 0,75.
4. Extremspur: Dieser Bereich dient der Erweiterung der Abweichspur. Die Fahrzeuge bewegen sich auf der Markierung der Straße oder sogar darüber hinaus und reichen damit in die Gegenfahrspur hinein bzw. über den Fahrbahnrand hinaus. Begrenzt wird die Extremspur durch die äußeren Viertel der halben Fahrbahn (0 - 0,25 bzw. 0,75 - 1).

In Abb. 43 sind die definierten Spurtypen schematisch dargestellt. Aufgrund der Symmetrie zur Fahrstreifenmitte existieren alle Spurtypen bis auf die Idealspur doppelt.

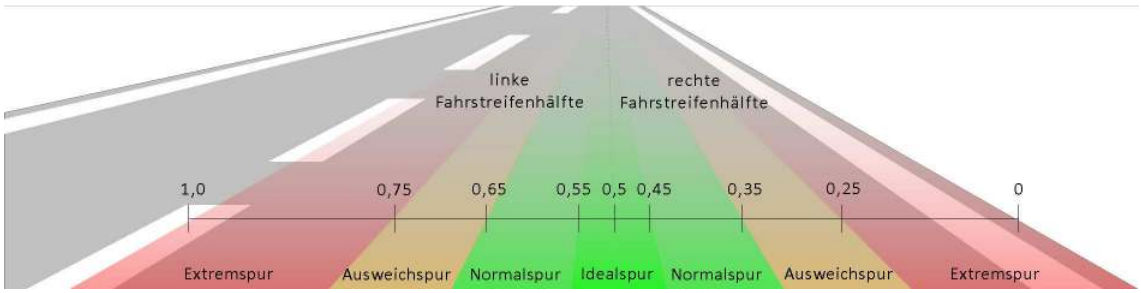


Abb. 43 Einteilung der Spurtypen

5.3 Geschwindigkeitsverhalten

5.3.1 Perzentilgeschwindigkeiten

Nachfolgend wird ein Überblick über das Geschwindigkeitsverhalten auf den Untersuchungsstrecken gegeben. Hierzu werden die Perzentilgeschwindigkeiten V_{85} und V_{15} verwendet. Die angegebenen Kilometrierungen beziehen sich auf die Messstrecken und können in Abhängigkeit der Fahrtrichtung variieren (vgl. Anhang 5).

B 101 – OU Trebbin (Straßentyp 1)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 101 vom Beginn der Ausbaustrecke nördlich des Abzweiges Wiesenhagen bis zum Ende der Ausbaustrecke vor dem Knotenpunkt Trebbin-Nord (vgl. Anhang 5). Das Geschwindigkeitsprofil der V_{85} weist am Beginn der Ausbaustrecke bis etwa 0,9 km einen Beschleunigungsbereich auf. Anschließend werden etwa 6,5 km konstante Geschwindigkeiten der V_{85} zwischen etwa 125 und 140 km/h gefahren. Die gemittelte V_{85} liegt in diesem Bereich bei knapp 133 km/h. Am Ende der Ausbaustrecke schließt sich ein Verzögerungsbereich an. Die Geschwindigkeitsprofile der V_{15} weisen jeweils kürzere Beschleunigungs- und Verzögerungsstrecken am Beginn und Ende der Untersuchungsstrecke auf. Die ermittelten Geschwindigkeiten der V_{15} liegen zwischen etwa 104 und 111 km/h.

In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 101 vom Beginn der Ausbaustrecke südlich des Knotenpunktes Trebbin-Nord bis zum Ende der Ausbaustrecke nördlich des Abzweiges Wiesenhagen (vgl. Anhang 5). Das Geschwindigkeitsprofil der V_{85} weist am Beginn der Ausbaustrecke bis etwa 0,8 km einen Beschleunigungsbereich auf. Anschließend werden etwa 6,5 km konstante Geschwindigkeiten der V_{85} zwischen etwa 125 und 140 km/h gefahren. Die gemittelte V_{85} liegt in diesem Bereich bei knapp 133 km/h. Am Ende der Ausbaustrecke schließt sich ein Verzögerungsbereich an. Die Geschwindigkeitsprofile der V_{15} weisen wie in der Gegenrichtung jeweils kürzere Beschleunigungs- und Verzögerungsstrecken am Beginn und Ende der Untersuchungsstrecke auf. Die ermittelten Geschwindigkeiten der V_{15} liegen zwischen etwa 100 und 110 km/h.

In beiden Fahrtrichtungen sind keine Unterschiede im Geschwindigkeitsverhalten zwischen Knotenpunktbereichen und knotenpunktfreien Streckenabschnitten festzustellen.

B 101N – KP Heinersdorf bis AS BAB A 10 (Straßentyp 1)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 101N nördlich der Anschlussstelle der BAB A 10 bis zum Knotenpunkt Heinersdorf (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 101 vom Knotenpunkt Heinersdorf bis zur Anschlussstelle der BAB A 10 (vgl. Anhang 5).

Das Geschwindigkeitsverhalten auf der B 101N zeigt in beiden Fahrtrichtungen insgesamt eine hohe Konstanz. Zu Beginn der beiden Untersuchungsstrecken ist bei der V_{85} jeweils ein leichter Beschleunigungsbereich von etwa 400 m zu beobachten, der durch die vorliegenden Randbedingungen am jeweiligen Beginn zu begründen sind. Im An-

schluss ist in Richtung Norden eine V_{85} zwischen etwa 123 und 127 km/h festzustellen. Richtung Süden liegt die V_{85} zwischen etwa 119 und 130 km/h und weist damit eine größere Spannweite auf. Die gemittelte V_{85} liegt bei etwa 124 km/h in Richtung Norden bzw. etwa 125 km/h in Richtung Süden.

Die V_{15} liegt zwischen etwa 109 und 118 km/h in Fahrtrichtung Norden und zwischen etwa 98 und 108 km/h in Fahrtrichtung Süden. Die gemittelte V_{15} liegt bei etwa 113 km/h in Richtung Norden bzw. etwa 104 km/h in Richtung Süden. Die Werte der V_{15} in Richtung Norden liegen somit um knapp 10 km/h höher als in Richtung Süden. Dies führt zu der Folgerung, dass die langsam fahrenden Fahrzeuge aus Richtung der Autobahn bzw. der ebenfalls ausgebauten Anschlussstrecke kommend schneller fahren als aus Streckenteilen geringeren Ausbaustandards.

In beiden Fahrtrichtungen sind keine Unterschiede im Geschwindigkeitsverhalten zwischen Knotenpunktbereichen und knotenpunktfreien Streckenabschnitten festzustellen.

B 96 – OU Oranienburg (Straßentyp 1)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 96 vom Kreuz Oranienburg bis zum Knotenpunkt Oranienburg-Nord (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 96 vom Knotenpunkt Oranienburg Nord bis zum Kreuz Oranienburg (vgl. Anhang 5).

Die B 96 weist in Richtung Norden ein sehr homogenes Geschwindigkeitsverhalten der V_{85} auf. Die V_{85} liegt im Anschluss an einen kurzen Beschleunigungsabschnitt am Kreuz Oranienburg in Richtung Norden zwischen etwa 125 und 136 km/h. In Richtung Süden ist eine V_{85} zwischen etwa 122 und 133 km/h mit einem wesentlich inhomogeneren Geschwindigkeitsverhalten festzustellen. Die gemittelte V_{85} liegt bei etwa 130 km/h in Richtung Norden und bei etwa 128 km/h in Richtung Süden.

Die V_{15} liegt zwischen etwa 100 km/h und 114 km/h in Richtung Norden. In der Gegenrichtung liegt die V_{15} auf einem ähnlichen Geschwindigkeitsniveau zwischen etwa 97 und 112 km/h. Die gemittelte V_{15} liegt bei etwa 107 km/h in Richtung Norden und bei etwa 106 km/h in Richtung Süden. Anders als bei der B 101 und der B 101N ist ein weniger homogenes Geschwindigkeitsverhalten der Langsamfahrer zu verzeichnen. Dies kann jedoch durch die höhere Verkehrsbelastung und die damit verbundene erhöhte Beeinflussung durch andere Fahrzeuge begründet werden.

In Fahrtrichtung Norden sind keine Unterschiede im Geschwindigkeitsverhalten zwischen Knotenpunktbereichen und knotenpunktfreien Streckenabschnitten festzustellen. In der Gegenrichtung liegen in den Knotenpunktbereichen die niedrigeren homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten vor.

B 189 – OU Perleberg (Straßentyp 2)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 189 von etwa 700 m südlich vom Knotenpunkt mit der L 10 bis nördlich des Knotenpunktes mit der B 5 (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der

B 96 von etwa 650 m nördlich vom Knotenpunkt mit der B 5 bis nördlich vom Knotenpunkt mit der L 10 (vgl. Anhang 5).

Die B 189 weist in Richtung Norden am Beginn der Messstrecke eine V_{85} von etwa 101 km/h vor. Bis zum Ende des einstreifigen Bereiches sinkt diese bis auf etwa 95 km/h bei 0,8 km. Im anschließenden zweistreifigen Bereich beschleunigen die Fahrzeugführer ihre V_{85} auf eine konstante V_{85} von etwa 129 km/h, die zwischen 1,6 und 2,1 km beibehalten wird. Im Anschluss liegt zunächst bis 3.600 m eine konstante V_{85} von etwa 114 km/h und im folgenden Bereich bis 4.700 in dem auch der zweite Knotenpunkt vorzufinden ist, liegt eine V_{85} von etwa 108 km/h vor. Zwischen 4.700 und 5.600 m ist das Überholen im Gegenfahrstreifen zugelassen und ruft deshalb eine inkonstante V_{85} hervor, die im Anschluss im einstreifigen Bereich bis zum Ende der Messstrecke wieder eine konstante V_{85} von etwa 106 km/h erreicht. Im Bereich der planfreien Knotenpunkte wird eine leichte Anpassung der V_{85} verzeichnet. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Ausfädelungsstreifen, die sich jeweils im einstreifigen Bereich befinden. Bei der V_{15} ist dies aufgrund des Einflusses der ausfädelnden Fahrzeuge noch ausgeprägter.

In Richtung Süden erfolgt am Beginn der Messstrecke zunächst eine Beschleunigung auf eine V_{85} von etwa 105 km/h. Ab 0,8 km stellt sich im Anschluss bis 3.200 m eine konstante V_{85} von etwa 100 km/h ein. Im anschließenden zweistreifigen Bereich erfolgt eine Beschleunigung der Fahrzeugführer auf eine V_{85} von etwa 120 km/h. Im Anschluss erfolgt eine Verzögerung auf eine konstante V_{85} von etwa 105 km/h zwischen 4.800 m und 5.700 m. Im folgenden Bereich in dessen Mitte sich ein planfreier Knotenpunkt befindet, liegt eine V_{85} von etwa 101 km/h vor. Im Anschluss erfolgt wiederum eine Beschleunigung auf die vor dem Knotenpunkt gefahrene V_{85} von etwa 106 km/h vor. Für die V_{15} kann wiederum eine stärkere Anpassung im Bereich der Knotenpunkte festgestellt werden.

In beiden Fahrtrichtungen sind kaum Unterschiede im Geschwindigkeitsverhalten zwischen Knotenpunktbereichen und knotenpunktfreien Streckenabschnitten festzustellen. Die Abschnitte der V_{85} beider Fahrrichtungen korrelieren mit der vorherrschenden Fahrstreifenanzahl je Fahrtrichtung. Es zeigt sich hierbei in beiden Fahrtrichtungen, dass in den Streckenabschnitten mit Überholmöglichkeit wesentlich höhere Geschwindigkeiten (Erhöhung um etwa 20 km/h) gefahren werden, die sich bis in den einstreifigen Bereich hineinziehen. In diesen Bereichen liegt eine wesentliche Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vor. Diese wird jedoch zur Schaffung einer ausreichenden Geschwindigkeitsdifferenz zum Überholen der langsam fahrenden Fahrzeuge benötigt.

B 217 – OU Weetzen (Straßentyp 2)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 217 von der signalisierten Einmündung am Abzweig Evesen nördlich von Holtensen bis zum Ende des dreistreifigen Ausbaus am Abzweig Weetzen (alte B 217) (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 217 vom Beginn des drei-

streifigen Ausbaus am Abzweig Weetzen (alte B 217) bis zur signalisierten Einmündung am Abzweig Evesen nördlich von Holtensen (vgl. Anhang 5).

Die B 217 weist in Richtung Süden bis etwa 1,1 km eine konstante V_{85} zwischen etwa 104 und 109 km/h auf. Im Anschluss befindet sich ein etwa 250 m langer Beschleunigungsabschnitt an den sich ein etwa 500 m langer homogener Abschnitt mit einer gemittelten V_{85} von knapp 120 km/h anschließt. Nach einem kurzen Verzögerungsabschnitt folgt ein homogener Abschnitt zwischen etwa 2,0 km und etwa 3,0 km mit einer gemittelten V_{85} von etwa 106 km/h. Bis 4,1 km ist im Anschluss ein homogener Abschnitt mit etwa 114 km/h vorzufinden an den vor dem Verzögerungsbereich des Knotenpunktes zwei jeweils etwa 400 m lange Abschnitte mit einer gemittelten V_{85} von etwa 110 bzw. 106 km/h anschließen.

In der Gegenrichtung schließt sich an den Beschleunigungsabschnitt zu Beginn der Untersuchungsstrecke nach 200 m ein konstanter Geschwindigkeitsabschnitt bis etwa 0,9 km mit einer gemittelten V_{85} von etwa 118 km/h an. Bis etwa 2,5 km ist folgend eine gemittelte V_{85} von etwa 110 km vorhanden. Nach einem etwa 350 m langen Abschnitt mit einer V_{85} von knapp 116 km/h befindet sich ein etwa 1.300 m langer Abschnitt mit einer V_{85} von etwa 110 km/h auf den nach einem kurzen Beschleunigungsabschnitt ein Abschnitt mit einer V_{85} von etwa 117 km/h bis zum Ende der Untersuchungsstrecke folgt.

Die V_{15} zeigt in beiden Fahrtrichtungen ein sehr homogenes Geschwindigkeitsbild mit einer nur geringfügigen Erhöhung in den zweistreifigen Bereichen. Dieser geringe Einfluss lässt sich auf die relativ geringen Verkehrsbelastungen insbesondere des Schwerverkehrs zurückführen.

In beiden Fahrtrichtungen sind keine Unterschiede im Geschwindigkeitsverhalten zwischen Knotenpunktbereichen und knotenpunktfreien Streckenabschnitten festzustellen. Die Abschnitte der V_{85} beider Fahrrichtungen korrelieren mit der vorherrschenden Fahrstreifenanzahl je Fahrtrichtung. Es zeigt sich hierbei in beiden Fahrtrichtungen, dass in den Streckenabschnitten mit Überholmöglichkeit höhere Geschwindigkeiten (Erhöhung um etwa 10 bis 15 km/h) gefahren werden als in den einstreifigen Bereichen in denen bereits ein relativ hohes Geschwindigkeitsniveau von etwa 105 bis 110 km/h existiert. Es liegt somit eine wesentliche Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei der V_{85} vor. Die höchsten Geschwindigkeiten wurden in beiden Fahrtrichtungen im jeweils ersten Überholabschnitt des dreistreifigen Streckenteils verzeichnet.

B 3 – OU Pattensen (Straßentyp 2)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 3 vom Beginn der Ausbaustrecke am Abzweig Bennigsen bis zum Ende des dreistreifigen Ausbaus etwa 500 m nördlich vom Knotenpunkt mit der K 223 (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 3 vom Beginn des dreistreifigen Ausbaus etwa 500 m nördlich vom Knotenpunkt mit der K 223 bis zum Ende des dreistreifigen Ausbaus am Abzweig Bennigsen (vgl. Anhang 5).

In Richtung Süden liegt bis zum Knotenpunkt Pattensen Nord eine konstante V_{85} von etwa 86 km/h vor. Dieses Geschwindigkeitsniveau ergibt sich aus der Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h. Ab etwa 1,0 km folgt ein etwa 400 m langer Beschleunigungsabschnitt auf den ein Abschnitt von etwa 1,0 km mit einer konstanten V_{85} von gemittelten etwa 106 km/h folgt. Ab 2,5 km schließt sich ein Abschnitt mit einer konstanten gemittelten V_{85} von etwa 118 km/h an. Ab etwa 3,6 km sinkt das Geschwindigkeitsniveau der V_{85} wieder und weist bis 5,1 km etwa 111 km/h auf. Bis 5,9 km folgt ein Abschnitt mit einer gemittelten V_{85} von etwa 119 km/h an den sich ein Verzögerungsbereich bis zum Knotenpunkt am Ende der Untersuchungsstrecke anschließt.

In Richtung Norden schließt sich an den durch den Knotenpunkt hervorgerufenen Beschleunigungsabschnitt am Beginn der Untersuchungsstrecke ein etwa 1,4 km langer Abschnitt mit einer V_{85} von etwa 101 km/h an. Darauf folgt bis etwa 3,0 km ein Abschnitt mit einer konstanten gemittelten V_{85} von etwa 116 km/h. Nach einem Verzögerungs- und Beschleunigungsbereich folgt wiederum zwischen 4,1 und etwa 4,7 km ein Abschnitt mit einer V_{85} von etwa 111 km/h. Nach einem Verzögerungsbereich schließt sich ab 5,2 km eine konstante V_{85} von etwa 86 km/h bis zum Ende der Untersuchungsstrecke an.

Die V_{15} zeigt in beiden Fahrtrichtungen ähnliche Geschwindigkeitsänderungen wie die V_{85} und liegt zwischen 70 km/h in den einstreifigen Bereichen und 100 km/h in den zweistreifigen Bereichen.

In beiden Fahrtrichtungen ist kein Einfluss der Knotenpunktbereiche auf das Geschwindigkeitsverhalten festzustellen. Die Abschnitte der V_{15} und der V_{85} beider Fahrrichtungen korrelieren mit der vorherrschenden Fahrstreifenanzahl je Fahrtrichtung. Es zeigt sich wiederum in beiden Fahrtrichtungen, dass in den Streckenabschnitten mit Überholmöglichkeit wesentlich höhere Geschwindigkeiten gefahren werden.

B 167 – Bad Freienwalde nach Wriezen (Straßentyp 3)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 167 vom Abzweig Wriezen bis zum Knotenpunkt nach Bad Freienwalde (B 158) vor dem Ende der Ausbaustrecke (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 167 vom Knotenpunkt mit der B 158 bis zum Abzweig nach Wriezen (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Süden befindet sich aus dem Knotenpunkt kommend ein Beschleunigungsbereich der nach etwa 400 m in einer konstanten Geschwindigkeit von etwa 107 km/h bis 1,4 km resultiert. Im Anschluss befindet sich bis 3,2 km ein konstanter Bereich mit einer gemittelten V_{85} von etwa 118 km/h. An diesen schließt sich der Verzögerungsbereich im Vorlauf des plangleichen, signalisierten Knotenpunktes an, der in einer V_{85} im Knotenpunkt von etwa 80 km/h bei etwa 4,0 km endet. Nach einem Beschleunigungsbereich ist zwischen etwa 4,6 und etwa 6,2 km eine konstante V_{85} von etwa 118 km/h festzustellen. In der Folge liegt eine gemittelte V_{85} von etwa 121 km/h

vor. Am Ende der Untersuchungsstrecke ist wiederum ein Verzögerungsbereich vor dem plangleichen signalisierten Knotenpunkt zu finden.

In Fahrtrichtung Norden schließt sich an den Beschleunigungsabschnitt nach dem plangleichen signalisierten Knotenpunkt nach etwa 800 m ein konstanter Bereich mit einer gemittelten V_{85} von etwa 111 km/h an. Im Anschluss sinkt die V_{85} auf etwa 105 km/h und steigt wieder auf einen konstanten Bereich von etwa 117 km/h zwischen etwa 2,2 und 3,8 km an. Folgend sinkt die V_{85} auf ein konstantes Niveau etwa 102 km/h an da sich ab etwa 4,8 km der Verzögerungsbereich vor dem signalisierten plangleichen Knotenpunkt anschließt. Im Knotenpunkt liegt eine V_{85} von etwa 80 km/h vor. Nach dem Knotenpunkt schließt sich ein Beschleunigungsbereich an, der ab etwa 5,8 km ein konstantes Geschwindigkeitsniveau der V_{85} von etwa 109 km/h bis etwa 6,6 km aufweist. Im Anschluss steigt die V_{85} auf knapp 113 km/h bis 7,6 km. Nach einem etwa 400 m langen Bereich von etwa 106 km/h steigt die V_{85} auf bis zu knapp 120 km/h bei 8,2 km an und sinkt bis zum signalisierten Knotenpunkt am Ende der Untersuchungsstrecke wieder auf etwa 85 km/h.

Die V_{15} zeigt insgesamt weniger Schwankungen als die V_{85}. Im Knotenpunktbereich erfolgt hingegen hervorgerufen durch die Knotenpunktsignalisierung eine wesentlich stärkere Reduzierung der Geschwindigkeiten als bei der V_{85}.

In beiden Fahrtrichtungen liegen auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten Fahrgeschwindigkeiten wie bei den Strecken des Straßentyps 2 vor. Es zeigt sich hierbei, dass trotz der einstreifigen Zuführung auf den Knotenpunkt sehr hohe Geschwindigkeiten im Vorlauf des Knotenpunktes existieren. Diese fallen durch eine frühzeitige Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h in Fahrtrichtung 1 nur unwesentlich geringer aus und liegen immer noch bei einer V_{85} von über 100 km/h.

B 2 – Schwedt nach Angermünde (Straßentyp 3)

In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 2 vom Beginn des dreistreifigen Ausbaus nördlich des Abzweigs nach Pinnow bis zum Ende des Überholfahrstreifens östlich von Mark Landin (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Westen erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 2 vom Beginn des einstreifigen Bereichs östlich von Mark Landin bis zum Ende des dreistreifigen Ausbaus vor dem Abzweig Pinnow (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Osten wird am Beginn der Messstrecke die V_{85} im zweistreifigen Bereich zunächst von etwa 95 km/h auf eine konstante V_{85} von etwa 116 km/h zwischen 200 und 700 m beschleunigt. Im Anschluss liegt eine V_{85} bis 2.500 m von etwa 112 km/h vor. Zischen 2.500 und 3.850 m wird eine konstante V_{85} von etwa 118 km/h gefahren bevor eine Verzögerung vor dem signalisierten Knotenpunkt erfolgt. Im Knotenpunkt wird eine V_{85} von etwa 89 km/h gefahren. Im Anschluss beschleunigen die Fahrzeugführer bis 4.650 m ihre V_{85} im zweistreifigen Bereich auf etwa 116 km/h. Nach 700 m erfolgt eine Anpassung der V_{85} auf etwa 105 km/h. Im anschließenden einstreifigen Bereich liegt eine wechselnde V_{85} vor, die ab 8.000 m in einer V_{85} von etwa 125 km/h im zweistreifigen Bereich endet. Am Ende des Überholabschnittes erfolgt ei-

ne Reduzierung der V_{85} auf etwa 112 km/h. Die V_{15} weist über die Messstrecke zumeist Geschwindigkeiten zwischen 90 und 100 km/h auf. Es liegen jedoch vereinzelt geringere Geschwindigkeiten vor, die durch andere Verkehrsteilnehmer (Schwerverkehr) hervorgerufen werden. Im Bereich des letzten einstreifigen Abschnitts ist eine Absenkung der V_{15} auf etwa 70 km/h festzustellen.

In Fahrtrichtung Westen erfolgt am Beginn der Messstrecke eine Beschleunigung. Die V_{85} steigt von etwa 100 km/h auf konstant etwa 112 km/h zwischen 400 und 800 m an. Im Anschluss liegt bis 1.600 m eine V_{85} von etwa 116 km/h vor die sich im zweistreifigen Bereich auf etwa 124 km/h erhöht. Ab 2.600 m erfolgt eine Verzögerung der V_{85} auf etwa 102 km/h. Diese erhöht sich im einstreifigen Bereich zunächst wieder auf bis zu 110 km/h bevor sie vor dem signalisierten Knotenpunkt auf etwa 82 km/h sinkt. Im Anschluss an den Knotenpunkt existiert eine starke Zunahme der V_{85} auf etwa 108 km/h. Die letzten 500 m des Überholabschnittes liegt eine konstante V_{85} von etwa 114 km/h vor. Im anschließenden einstreifigen Bereich sinkt die V_{85} auf etwa 109 km/h bevor im zweistreifigen Bereich zwischen 6.900 und 8.050 m eine V_{85} von etwa 115 km/h vorliegt. Im Anschluss erfolgt eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 107 km/h bevor im Annäherungsbereich des Knotenpunktes am Ende der Messstrecke die V_{85} weiter sinkt. Anders als die V_{85} zeigt die V_{15} eine stetige Abnahme in den einstreifigen Bereichen. Insbesondere zu Beginn der Messstrecke ist dies ausgeprägter.

Insgesamt kann ein schwächerer Zusammenhang zwischen der gefahrenen V_{85} und der Anzahl der Fahrstreifen je Fahrtrichtung beobachtet werden, als auf den anderen dreistreifigen Strecken. Dies kann im Wesentlichen auf die relativ geringe Verkehrsbelastung zurückgeführt werden, die weniger Interaktionen zwischen den Fahrzeugen hervorruft und deshalb weniger Geschwindigkeitsbeeinflussend – insbesondere auf die V_{85} - im einstreifigen Bereich wirkt.

In beiden Fahrtrichtungen liegen auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten Fahrgeschwindigkeiten wie bei den Strecken des Straßentyps 2 vor. Es zeigt sich, dass trotz der einstreifigen Zuführung auf den Knotenpunkt sehr hohe Geschwindigkeiten im Vorlauf des Knotenpunktes existieren. Die V_{85} im Vorlauf des Knotenpunktes liegt bei knapp 120 km/h.

B 101 – Herzberg nach Wiederau (Straßentyp 4)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 101 vom Ortsausgang der Ortschaft Wiederau bis kurz hinter das Ende der Ausbaustrecke vor der Ortschaft Herzberg (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 101 von kurz vor dem Beginn der Ausbaustrecke bis zum Ortseingang der Ortschaft Wiederau (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Norden wird am Beginn der Messstrecke am Ortsausgang Wiederau die V_{85} zunächst auf etwa 100 km/h beschleunigt bevor ab 400 m vor dem Knotenpunkt wieder eine Reduzierung der V_{85} bis auf etwa 93 km/h im nicht signalisierten Knotenpunkt erfolgt. Im Anschluss nimmt die V_{85} bis auf etwa 111 km/h zwischen 850 und 3.500 m zu. Ein Unterschied zwischen dem zweistreifigen und dem einstreifigen Be-

reich ist hierbei nicht auszumachen. Im Anschluss wird die V_{85} wieder bis auf etwa 98 km/h im zweiten nicht signalisierten Knotenpunkt reduziert. Im folgenden zweistreifigen Abschnitt steigt die V_{85} auf etwa 119 km/h an. Ab 5.100 m liegt im einstreifigen Bereich eine V_{85} von etwa 110 km/h bis zum Ende der Messstrecke vor, die durch eine leichte Erhöhung der V_{85} auf etwa 115 km/h zwischen 6.450 und 6.800 m unterbrochen ist. Die V_{15} weist ein ähnliches Geschwindigkeitsverhalten auf wie die V_{85} und bewegt sich zumeist um etwa 90 km/h. Nur im einstreifigen Bereich am Ende der Messstrecke ist eine stärkere Reduzierung auf bis zu etwa 78 km/h festzustellen. In den nicht signalisierten Knotenpunkten liegt eine V_{15} von etwa 75 km/h am ersten Knotenpunkt bzw. 65 km/h am zweiten Knotenpunkt vor.

In Fahrtrichtung Süden erfolgt zunächst eine Beschleunigung der V_{85} von etwa 100 km/h am Beginn der Messstrecke bis etwa 111 km/h nach 300 m. Nach dem einstreifigen Bereich erfolgt zu Beginn des folgenden zweistreifigen Bereichs ein Abschnitt mit etwa 116 km/h an den sich wiederum bei 2.300 m eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 104 km/h einstellt bevor eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 91 km/h im ersten nicht signalisierten Knotenpunkt erfolgt. Im Anschluss folgt ein Beschleunigungsbereich. Die V_{85} steigt hierbei auf etwa 111 km/h im zweistreifigen Bereich an. Ab 4.300 m schließt sich ein 400 m langer Abschnitt mit einer V_{85} von etwa 108 km/h an, dem wiederum ein 500 m langer Abschnitt mit etwa 105 km/h folgt. Vor dem Knotenpunktbereich steigt die V_{85} im geraden Streckenteil zwischen 5.250 und 5.950 m auf etwa 110 km/h an. Im Knotenpunkt liegt eine V_{85} von etwa 93 km/h vor. Im Anschluss sinkt die V_{85} zunächst auf etwa 89 km/h bevor eine weitere Reduzierung vor dem Ortseingang erfolgt. Die V_{15} weist im ersten Streckenteil ein konstantes Niveau von etwa 88 km/h auf. Im zweiten Streckenteil liegt hingegen eine wesentlich geringere V_{15} von etwa 76 km/h im einstreifigen Bereich als auch im zweistreifigen Bereich (etwa 90 km/h) vor. In den beiden nicht signalisierten Knotenpunkten liegt die V_{15} bei jeweils etwa 65 km/h.

In beiden Fahrtrichtungen liegt grundsätzlich ein ähnliches Geschwindigkeitsverhalten wie auf den Strecken des Straßentyps 2 und 3 vor. Dies ist auf die fast durchgängige dreistreifige Ausbildung der Strecke mit Überholabschnitten mit Längen deutlich über 1.000 m zurückzuführen. Die Fahrgeschwindigkeiten in den Knotenpunktbereichen liegen hingegen deutlich über denen des Straßentyps 3. Alle Knotenpunkte weisen eine V_{15} im Bereich der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h auf.

B 97 – Spremberg nach Groß Oßnig (Straßentyp 4)

In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 97 vom Ortsausgang Groß Oßnig vor dem Knotenpunkt mit der L 472 bis kurz hinter das Ende der Ausbaustrecke (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 97 vom Beginn der Ausbaustrecke bis hinter den Knotenpunkt mit der L 472 am Ortseingang Groß Oßnig (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Süden wird die V_{85} am Beginn der Messstrecke von etwa 62 km/h auf etwa 109 km/h im zweistreifigen Bereich beschleunigt. Im Anschluss erfolgt eine Reduzierung der Geschwindigkeit bis ab dem zweiten Knotenpunkt eine konstante V_{85} von

etwa 79 km/h nach 2.000 m der Messstrecke erreicht wird. Diese hat bis hinter den dritten Knotenpunkt auch in dem einstreifigen Zwischenbereich, der wie die Knotenpunktbereiche eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h aufweist, Bestand. Ab 2.900 m folgt ein Beschleunigungsabschnitt bis zu einer V_{85} von etwa 115 km/h am Anfang des zweistreifigen Bereichs. Nach 500 m folgt eine Anpassung der V_{85} auf 103 km/h, die bis 6.250 m der Messstrecke konstant beibehalten wird. Im Anschluss wird eine V_{85} von etwa 97 km/h gefahren bevor eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 88 km/h im vierten Knotenpunkt erfolgt. Im Anschluss steigt die V_{85} auf etwa 112 km/h im zweistreifigen Bereich an. Nach 700 m sinkt diese wieder auf etwa 101 km/h am Ende der Messstrecke. Die V_{15} weist in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten ein relativ konstantes Niveau von knapp über 80 km/h auf. Am Anfang der zweistreifigen Bereiche kann jedoch eine Erhöhung der V_{15} auf bis zu etwa 90 km/h registriert werden. Im Bereich der Knotenpunkte liegt die V_{15} zwischen 65 und 70 km/h.

In Fahrtrichtung Norden liegt bis 1.000 m nach dem Beginn der Messstrecke eine V_{85} von etwa 109 km/h vor. Im Anschluss erfolgt eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 87 km/h im Bereich des ersten Knotenpunktes. Anschließend wird bis auf eine V_{85} im zweistreifigen Bereich von etwa 115 km/h beschleunigt. Nach 600 m schließt sich zunächst ein 1.850 m langer Abschnitt mit einer V_{85} von etwa 107 km/h an. Auf diesen folgt bis 5.500 m ein Bereich mit einer V_{85} von etwa 101 km/h bevor die V_{85} auf etwa 80 km/h am Beginn des zweiten Knotenpunkts angepasst wird. Im folgenden einstreifigen Abschnitt sowie im dritten Knotenpunktbereich wird dieses Geschwindigkeitsniveau beibehalten. Es folgt wiederum eine Beschleunigung bis auf eine V_{85} von etwa 116 km/h im zweistreifigen Bereich. Nach 500 m wird diese zunächst auf eine konstante V_{85} von etwa 110 km/h angepasst bevor eine weitere Reduzierung bis zu etwa 62 km/h am Ende der Messstrecke hinter dem vierten Knotenpunkt erfolgt. Die V_{15} weist am Beginn der Messstrecke eine V_{15} im einstreifigen Bereich von etwa 80 km/h auf. Im folgenden Streckenverlauf liegt in den zweistreifigen Bereichen eine V_{15} von knapp 90 km/h vor und in den einstreifigen Bereichen von knapp 70 km/h. Bis auf den ersten Knotenpunkt, bei dem hervorgerufen durch die Rechtsabbieger eine Reduzierung der V_{15} auf bis zu etwa 50 km/h erfolgt, liegt die V_{15} im Bereich der Knotenpunkte bei etwa 70 km/h.

In beiden Fahrtrichtungen liegt in den zweistreifigen Bereichen eine V_{85} von knapp 120 km/h vor. Aufgrund der wesentlich geringeren Länge der Überholabschnitte wird somit keine weitere Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit vorgenommen. Dies führt somit zu einer verminderten Pulkauflösung. Die Fahrgeschwindigkeiten in den Knotenpunktbereichen liegen deutlich über denen des Straßentyps 3 und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h Für den Bereich der engen Knotenpunktfolge mit einer durchgängigen Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zeigt sich, dass die Fahrgeschwindigkeiten im zweiten Knotenpunkt deutlich geringer ausfallen.

L 48 – AS Roggosen bis Gablenz (Straßentyp 4)

In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 48 von der Anschlussstelle Roggosen der BAB A 15 bis zur Ortstafel der Ortschaft Gablenz (vgl. An-

hang 5). In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 48 von der Ortstafel Gablenz bis zur Anschlussstelle Roggosen der BAB A 15 (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Süden liegt bis nach dem Knotenpunkt mit der K 7112 nach Roggosen eine V_{85} von etwa 81 km/h vor, die auch im einstreifigen Bereich zwischen den beiden Knotenpunkten beibehalten wird. Im Anschluss erfolgt eine Beschleunigung der Geschwindigkeit im zweistreifigen Bereich bis auf eine V_{85} von 122 km/h. Nach etwa der Hälfte der Strecke mit Zusatzfahrstreifen wird die V_{85} auf eine konstante Geschwindigkeit von etwa 112 km/h angepasst. Vor dem dritten Knotenpunkt erfolgt im Bereich mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h eine Reduzierung der V_{85} bis auf ein Niveau von etwa 88 km/h. Nach 1.800 m der Messstrecke folgt eine Anpassung der V_{85} auf etwa 97 km/h, die bis 3.350 m der Messstrecke konstant beibehalten wird. Im Anschluss erfolgt eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 77 km/h am Ortseingang Gablenz. Die V_{15} weist im zweistreifigen Bereiche etwa 85 km/h auf. Im einstreifigen Bereich nimmt die V_{15} mit zunehmender Länge von etwa 80 auf 68 km/h ab. Im Bereich der Knotenpunkte liegt die V_{15} zwischen 62 und 72 km/h. Die geringsten Perzentilabstände liegen im Bereich der Geschwindigkeitsbeschränkung auf 70 km/h am Anfang der Messstrecke vor.

In Fahrtrichtung Norden wird am Ortsausgang Gablenz die V_{85} zunächst bis auf etwa 124 km/h im zweistreifigen Bereich beschleunigt. Nach etwa 600 m der Messstrecke wird Geschwindigkeit auf eine relativ konstante V_{85} von etwa 99 km/h angepasst. Vor dem Bereich der Geschwindigkeitsbeschränkung auf 80 km/h, der nach 2.000 m beginnt, wird die V_{85} auf etwa 90 km/h im Knotenpunkt reduziert. Im Anschluss wird die V_{85} auf etwa 102 km/h im einstreifigen Bereich beschleunigt, bevor die Geschwindigkeit auf eine konstante V_{85} von etwa 80 km/h zwischen den beiden Knotenpunkten vor der Anschlussstelle reduziert wird. Vor der Unterführung an der BAB A 15 am Ende der Messstrecke wird die V_{85} auf bis zu 70 km/h reduziert. Die V_{15} steigt im zweistreifigen Bereich am Beginn der Messstrecke zunächst auf knapp 90 km/h an. Im Anschluss weist die V_{15} in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten ein relativ konstantes Niveau von knapp über 80 km/h auf. Am Anfang der zweistreifigen Bereiche kann jedoch eine Erhöhung der V_{15} auf bis zu etwa 90 km/h registriert werden. Im Bereich des ersten Knotenpunktes liegt die V_{15} bei etwa 70 km/h. Im zweiten Knotenpunktbereich sinkt die V_{15} bis auf etwa 60 km/h an der Unterführung der BAB A 15.

In beiden Fahrtrichtungen liegt in dem zweistreifigen Bereich eine V_{85} von etwa 120 km/h vor. Es wird wiederum keine weitere Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit vorgenommen. Die Fahrgeschwindigkeiten im Knotenpunktbereich mit dem zweistreifigen Bereich im Vorlauf des Knotenpunktes zeigen, dass durch die vorherige Einholung des Überholfahrstreifens keine erhöhten Geschwindigkeiten vorliegen. Die V_{85} liegt jedoch deutlich über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h. Für den Bereich der engen Knotenpunktfolge mit einer durchgängigen Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zeigt sich, dass die Fahrgeschwindigkeiten im zweiten Knotenpunkt wiederum deutlich geringer ausfallen.

L 23 – Spreeau nach Grünheide (Straßentyp 5)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 23 von Streckenkilometer 0,625 km hinter der Ortschaft Spreeau bis kurz vor die Brücke über die Bahnanlage (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke in entgegengesetzter Richtung über den gleichen Messabschnitt wie in Richtung Norden. (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Norden liegt am Beginn der Messstrecke im Bereich der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h eine V_{85} von etwa 89 km/h vor. Im Anschluss folgt nach 400 m der Messstrecke ein Beschleunigungsbereich auf eine V_{85} von etwa 101 km/h, die bis 1.800 m der Messstrecke beibehalten wird. Im folgenden Bereich sinkt die V_{85} über eine Länge von 400 m auf etwa 28 km/h im Kreisverkehr. Im anschließenden Streckenabschnitt erfolgt zunächst nach einer starken Beschleunigung eine stetige Zunahme der V_{85} auf etwa 95 km/h bevor eine Reduzierung vor dem Ende der Messtrecke auf eine V_{85} von etwa 78 km/h vorliegt. Die V_{15} zeigt wiederum einen wesentlich homogeneren Verlauf. Im ersten Streckenabschnitt vor dem Kreisverkehr ist nur eine leichte Erhöhung nach Aufhebung der Geschwindigkeitsbeschränkung von einer V_{15} von etwa 76 auf 79 km/h festzustellen. Zudem reduzieren die Langsamfahrer vor dem Kreisverkehr ihre Geschwindigkeit frühzeitiger. Im zweiten Streckenabschnitt beschleunigen die Langsamfahrer bis auf eine V_{15} von etwa 79 km/h bevor die Geschwindigkeit am Ende der Messstrecke wieder reduziert wird.

In Fahrtrichtung Süden erfolgt am Beginn der Messstrecke hinter dem Brückenbereich eine Zunahme der V_{85} auf etwa 96 km/h. Nach 1.100 m der Messstrecke wird diese über 300 m auf eine V_{85} im Kreisverkehr von etwa 28 km/h reduziert. Im Anschluss liegt nach einer stärkeren Zunahme der V_{85} nach dem Kreisverkehr eine moderate Zunahme auf etwa 100 km/h vor. Diese wird bereits im Vorlauf des Abschnittes mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h wieder reduziert und verbleibt bei etwa 80 km/h. Die V_{15} zeigt wiederum einen wesentlich homogeneren Verlauf. Im ersten Streckenabschnitt vor dem Kreisverkehr liegt eine konstante V_{15} von etwa 75 km/h vor. Im zweiten Streckenabschnitt beschleunigen die Langsamfahrer bis auf eine V_{15} von etwa 80 km/h bevor die Geschwindigkeit am Ende der Messstrecke wieder reduziert wird.

Der Vergleich der beiden Fahrtrichtungen zeigt, dass der knotenpunktfreie Streckenabschnitt aus Richtung des Kreisverkehres langsamer befahren wird als aus der entgegenkommenden Fahrtrichtung. Dies lässt den Schluss zu, dass durch die Ausbildung von Kreisverkehren eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit der Schnellfahrer in knotenpunktfreien Streckenabschnitten außerhalb des direkten Einflussbereiches des Kreisverkehres, in dem ohnehin eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit vorliegt, erzielt werden kann.

L 38 – Hangelsberg bis AS BAB A 10 (Straßentyp 5)

In Fahrtrichtung Westen erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 38 von Streckenkilometer 1,9 km hinter der Ortschaft Hangelsberg bis zur Anschlussstelle Frei-

enbrink der BAB A 10 (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 38 von der Anschlussstelle Freienbrink der BAB A 10 bis zu Streckenkilometer 1,9 km vor der Ortschaft Hangelsberg (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Westen existiert zunächst eine V_{85} von etwa 103 km/h, bevor die Geschwindigkeit nach 500 m der Messstrecke kurz vor der Geschwindigkeitsbeschränkung (70 km/h) auf etwa 89 km/h reduziert wird. Im folgenden Abschnitt wird auf eine V_{85} im knotenpunktfreien Streckenabschnitt von etwa 96 km/h beschleunigt, die bis vor dem Kreisverkehr beibehalten wird. Nach der Reduzierung der V_{85} im Kreisverkehr auf unter 30 km/h erfolgt eine Beschleunigung auf eine V_{85} von etwa 94 km/h. Nach 3.500 m der Messstrecke wird zunächst auf eine konstante V_{85} von etwa 90 km/h reduziert, bevor diese auf eine konstante V_{85} von etwa 83 km/h am Ende der Messstrecke weiter abnimmt. Die V_{15} zeigt im ersten Streckenabschnitt ein relativ hohes Niveau bei etwa 89 km/h. Im Anschluss liegt auch nach Aufhebung der Geschwindigkeitsbeschränkung auf 70 km/h eine V_{15} von etwa 74 km/h vor. Nach dem Kreisverkehr zeigt sich bis auf einen kurzen Anstieg ebenfalls eine V_{15} von knapp über 70 km/h.

In Fahrtrichtung Osten ist am Beginn eine V_{85} von etwa 80 km/h festzustellen. Im anschließenden Bereich ohne Geschwindigkeitsbeschränkung wird auf eine V_{85} von etwa 95 km/h beschleunigt. Nach dem Kreisverkehr erfolgt nach einer stärkeren Zunahme der V_{85} eine moderate Zunahme auf bis 105 km/h. Dann erfolgt eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 90 km/h im Bereich einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h. Im Anschluss erfolgt wiederum eine Beschleunigung auf konstante 99 km/h. Zunächst liegt am Beginn der Messstrecke nur eine V_{15} von etwa 66 km/h vor. Nach Aufhebung der Geschwindigkeitsbeschränkung erhöht sich die V_{15} auf zunächst fast 90 km/h bevor sich eine V_{15} von knapp 80 km/h bis zum Kreisverkehr einstellt. Im Anschluss liegt wiederum unabhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit eine V_{15} von etwa 75 km/h vor. Diese erhöht sich 700 m vor Ende der Messstrecke leicht auf etwa 79 km/h.

Der Vergleich der beiden Fahrtrichtungen zeigt wiederum den direkten Einflussbereiches des Kreisverkehrs in dem eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit vorliegt. Eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit im nachfolgenden knotenpunktfreien Streckenabschnitt aus Richtung des Kreisverkehres kann nicht festgestellt werden. Der folgende Knotenpunktbereich wird jedoch mit einer leicht reduzierten Fahrgeschwindigkeit der Schnellfahrer durchfahren.

L 40 – Ragow nach Dahlewitz (Straßentyp 5)

In Fahrtrichtung Westen erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 40 von der Ortschaft Ragow bis kurz vor die Ortschaft Dahlewitz (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 40 in entgegengesetzter Richtung zwischen den beiden Ortschaften (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Westen zeigt sich zunächst ein sehr inhomogenes Geschwindigkeitsbild bei der V_{85}. Dies ist durch die Zufahrten und die Einzelkurven zu begründen. Nach etwa 500 m erfolgt dann trotz einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf 80 km/h eine

Erhöhung der V_{85} auf 100 km/h. Nach dem Kreisverkehr zeigt sich ebenfalls ein sehr inhomogenes Geschwindigkeitsverhalten mit Zunahmen auf über 90 km/h. Die V_{15} zeigt zumeist Geschwindigkeiten zwischen etwa 70 und 80 km/h. An Zufahrten werden allerdings auch geringere Werte festgestellt. Insgesamt ist ebenfalls ein relativ inhomogenes Geschwindigkeitsverhalten festzustellen.

In Fahrtrichtung Osten zeigt sich ein ähnliches Bild, wobei die V_{85} im ersten Streckenteil vor dem Kreisverkehr Werte bis etwa 97 km/h annimmt. Im zweiten Streckenteil zeigt sich insgesamt ein etwas homogeneres Geschwindigkeitsverhalten mit Werten der V_{85} bis etwa 91 km/h. Die V_{15} liegt in beiden Streckenteilen zwischen 60 und 75 km/h und zeigt ebenfalls ein inhomogenes Geschwindigkeitsverhalten über die gesamte Messstrecke.

Der Vergleich der beiden Fahrtrichtungen zeigt, dass der längere an den Kreisverkehr anschließende knotenpunktfreie Streckenabschnitt wiederum aus Richtung des Kreisverkehres langsamer befahren wird als aus der entgegenkommenden Fahrtrichtung. Dies kann ebenfalls in den anderen an den Kreisverkehr anschließenden Bereichen tendenziell bestätigt werden. In den übrigen Knotenpunktbereichen zeigt sich eine leicht reduzierte Fahrgeschwindigkeit gegenüber den knotenpunktfreien Streckenabschnitten obwohl keine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erfolgt. Dies kann jedoch aufgrund der vorliegenden Verkehrsbelastung auf den Einfluss abbiegender Fahrzeuge zurückgeführt werden und ist nicht durch eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit der freifahrenden Fahrzeuge begründet. Dies wird durch die stärkere Abnahme bei der V_{15} gestützt.

L 51 – Cottbus nach Guhrow (Straßentyp 5)

In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 51 von etwa 1.000 m westlich des Kreisverkehrs mit der L 50 bis kurz vor den Ortseingang Cottbus (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Westen beginnt die Messstrecke im Zuge der L 51 hinter der Ortstafel der Stadt Cottbus und erstreckt sich bis etwa 1.000 m vor dem Knotenpunkt mit der L 512 im Bereich der Ortschaft Guhrow (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Osten liegt bis etwa 250 m vor dem Kreisverkehr eine V_{85} von etwa 92 km/h vor. In diesem Bereich kann eine Anpassung der Geschwindigkeit im Bereich der Rechtskurve bei etwa 200 m der Messstrecke festgestellt werden. Nach dem ersten Kreisverkehr, der mit einer V_{85} von etwa 29 km/h befahren wird, liegt die V_{85} nach einem Beschleunigungsabschnitt bei einem Wert von etwa 98 km/h. Nach 2.900 m der Messstrecke kann wiederum eine reduzierte V_{85} im Bereich einer Rechtskurve festgestellt werden. Nach etwa 4.400 m erfolgt im Vorlauf des zweiten Kreisverkehrs eine gleichmäßige Reduzierung der V_{85}. Nach dem Kreisverkehr wird die V_{85} bis etwa 101 km/h am Ende der Messstrecke beschleunigt. Die V_{15} verhält sich ähnlich wie die V_{85}. Im knotenpunktfreien Bereich ohne Geschwindigkeitsbeschränkung bewegt sich die V_{15} bei etwa 80 km/h.

In Fahrtrichtung Westen liegt bis etwa 300 m vor dem Kreisverkehr eine V_{85} von etwa 91 km/h vor. Nach dem ersten Kreisverkehr, der mit einer V_{85} von etwa 35 km/h befah-

ren wird, liegt die V_{85} nach einem Beschleunigungsabschnitt zwischen 89 und 99 km/h, wobei zumeist eine V_{85} von etwa 97 km/h gefahren wird. Das inhomogenere Geschwindigkeitsbild, verglichen mit der anderen Fahrtrichtung, ergibt sich durch die Fahrten mit wesentlich höheren Maximalgeschwindigkeiten, die z.T. durch Überholvorgänge hervorgerufen werden. Nach etwa 4.200 m erfolgt im Vorlauf des zweiten Kreisverkehrs eine gleichmäßige Reduzierung der V_{85}. Nach dem Kreisverkehr liegt im Bereich mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h eine konstante V_{85} von etwa 81 km/h bis zum Ende der Messstrecke vor. Die V_{15} verhält sich auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten homogener als die V_{85} und liegt unabhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zwischen 65 und 75 km/h.

Beide Fahrtrichtungen zeigen im knotenpunktfreien Streckenabschnitt zwischen den Kreisverkehren eine V_{85} unterhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Es zeigt sich zudem, dass eine längere Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Bereich der Kreisverkehre reduzierte Fahrgeschwindigkeiten hervorruft. Es zeigt sich somit, dass eine frühzeitige Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Vorlauf des Kreisverkehrs die Geschwindigkeiten im Vorlauf des Knotenpunktes positiv beeinflussen kann.

L 77 – Philppsthal nach Güterfelde (Straßentyp 5)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 77 vom Ortsausgang Philppsthal bis zum Ortseingang Güterfelde (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 77 in entgegengesetzter Richtung zwischen den beiden Ortschaften (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Norden wird nach dem Ortsausgang bis auf eine V_{85} von etwa 90 km/h beschleunigt bevor eine starke Reduzierung im Vorlauf des Kreisverkehrs erfolgt. Im Anschluss erfolgt eine Beschleunigung auf eine V_{85} von etwa 98 km/h, die bis 3.950 m beibehalten wird. Vor Güterfelde wird die V_{85} auf bis zu 59 km/h vor der Ortschaft reduziert. Die V_{15} zeigt ebenfalls ein sehr homogenes Geschwindigkeitsbild. Im ersten Streckenabschnitt steigt die V_{15} bis auf etwa 70 km/h an. Im zweiten Streckenabschnitt liegt die V_{15} im knotenpunktfreien Streckenabschnitt bei etwa 73 km/h.

In Fahrtrichtung Süden zeigt sich ein ähnliches Geschwindigkeitsbild. Am Beginn der Messstrecke liegt zunächst eine V_{85} von etwa 65 km/h vor. Im Anschluss steigt die V_{85} nach 200 m auf zunächst relativ konstante 99 km/h. Nach Kilometer 2,4 km sinkt die V_{85} auf etwa 94 km/h, die bis vor dem Kreisverkehr beibehalten wird. Nach dem Kreisverkehr erfolgt eine Beschleunigung auf eine V_{85} von etwa 82 km/h bevor wieder eine Reduzierung vor der Ortseinfahrt erfolgt. Die V_{15} liegt im ersten Streckenteil ohne Geschwindigkeitsbeschränkung bei etwa 81 km/h, wobei sie tendenziell mit zunehmender Streckenlänge leicht sinkt. Im zweiten Streckenteil kann eine V_{15} von bis zu etwa 75 km/h festgestellt werden.

In beiden Fahrtrichtungen kann wiederum eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit sowohl für die Schnell- als auch die Langsamfahrer im hinter dem Kreisverkehr anschließenden knotenpunktfreien Streckenabschnitt festgestellt werden.

L 79 – AS Potsdam-Drewitz bis Ahrensdorf (Straßentyp 5)

In Fahrtrichtung Westen erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 79 vom Beginn des Netzabschnittes 130 hinter Ahrensdorf bis vor die Anschlussstelle Potsdam-Drewitz der BAB A 115 (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 79 in entgegengesetzter Richtung (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Westen liegt am Beginn der Messstrecke eine V_{85} von etwa 88 km/h vor. Nach 350 m erfolgt eine Reduzierung bevor nach 750 m eine V_{85} von etwa 62 km/h erreicht ist. Es folgt eine weitere Reduzierung im Kreisverkehr auf unter 30 km/h. Im Anschluss wird bis auf eine V_{85} von etwa 90 km/h beschleunigt und konstant beibehalten. Nach 2.500 m der Messstrecke wird wiederum bis auf eine V_{85} von unter 30 km/h im zweiten Knotenpunkt verzögert. Nach dem Kreisverkehr wird auf etwa 80 km/h, die am Ende der Messstrecke im Bereich der Anschlussstelle nur leicht verringert wird, beschleunigt. Die V_{15} zeigt zu Beginn der Messstrecke eine Abnahme bis zum ersten Kreisverkehr. Im Anschluss liegt zunächst eine V_{15} von etwa 70 km/h vor, die wiederum bis zum zweiten Kreisverkehr im knotenpunktfreien Streckenabschnitt auf etwa 60 km/h abnimmt. Nach dem zweiten Kreisverkehr steigt die V_{15} wieder auf etwa 63 km/h.

In Fahrtrichtung Osten liegt im ersten Abschnitt bis 550 m eine V_{85} von etwa 77 km/h vor, bis die Geschwindigkeit auf unter 30 km/h im Kreisverkehr absinkt. Im Anschließenden Abschnitt liegt anders als in der Gegenrichtung zunächst eine Beschleunigung bis auf eine V_{85} von etwa 84 km/h vor, die bei 1.500 m auf etwa 75 km/h reduziert wird. Im Anschluss steigt die V_{85} wiederum auf etwa 88 km/h bis zum zweiten Kreisverkehr vor. Nach dem Kreisverkehr liegt im kurvigen Streckenabschnitt eine inhomogene Zunahme der V_{85} vor, bis sich die V_{85} bei etwa 81 km/h einstellt. Die V_{15} zeigt insgesamt ein ähnliches Bild wie die V_{85}. Die V_{15} liegt bis auf kurze Streckenabschnitte zumeist unterhalb von 70 km/h.

Aus den Fahrprofilen lassen sich keine gestaltungsspezifischen Besonderheiten ableiten. So wird u.a. in einer Fahrtrichtung die Fahrgeschwindigkeit im Knotenpunkt reduziert wohingegen in der Gegenrichtung keine Anpassung der Geschwindigkeit festgestellt werden kann. Es scheint insgesamt ein starker Einfluss der Bäume im Seitenraum auf die Fahrgeschwindigkeit vorzuliegen.

B168 – Tiefensee nach Prötzel (Straßentyp 6)

In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 168 von Streckenkilometer 1,4 im Netzabschnitt 390 bis zum Streckenkilometer 8,2 im Netzabschnitt 360 zwischen den Ortschaften Tiefensee und Prötzel (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Westen erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der B 168 in entgegengesetzter Richtung (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Westen liegt bis vor den ersten Knotenpunktbereich nach etwa 550 m der Messstrecke eine V_{85} von etwa 102 km/h vor. Im Bereich der Einmündung wird die V_{85} auf etwa 90 km/h reduziert. Im anschließenden knotenpunktfreien Streckenabschnitt steigt die V_{85} bis auf etwa 112 km/h an und wird über ca. 400 m beibehalten be-

vor im Bereich einer Rechtskurve die V_{85} auf etwa 85 km/h reduziert wird. Im knotenpunktfreien Bereich erfolgt wieder eine Beschleunigung auf etwa 108 km/h bevor im anschließenden Einmündungsbereich die V_{85} bis auf etwa 75 km/h verzögert wird. Im folgenden Streckenabschnitt liegt über 1.000 m eine mittlere V_{85} von etwa 102 km/h bis zum Ende der Messstrecke vor.

In Fahrtrichtung Osten liegt im knotenpunktfreien Streckenabschnitt zunächst eine V_{85} von etwa 109 km/h vor. Nach 700 m erfolgt durch eine Kurve eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 101 km /h. Im Bereich der anschließenden Einmündung wird die V_{85} auf etwa 81 km/h reduziert. Im anschließenden Bereich wird eine V_{85} von etwa 98 km/h verzeichnet bevor im Kurvenbereich wiederum eine Anpassung der V_{85} auf etwa 81 km/h erfolgt. Im folgenden Abschnitt liegt eine moderate Erhöhung der V_{85} auf etwa 90 km/h. Im Bereich der folgenden Einmündung liegt eine V_{85} von etwa 85 km/h vor. Der knotenpunktfreie Streckenabschnitt am Ende der Messstrecke weist eine V_{85} von etwa 108 km/h auf.

Die V_{15} zeigt in beiden Fahrtrichtungen im Bereich der knotenpunktfreien Streckenabschnitte geringere Zunahmen als die V_{85} und liegt zumeist zwischen etwa 70 und 85 km/h. Hierdurch ergeben sich zum Teil relativ große Perzentilabstände. Im Bereich der Knotenpunkte liegt die V_{15} zwischen 50 und 70 km/h.

Insgesamt liegt in beiden Fahrtrichtungen ein höheres Geschwindigkeitsniveau vor als auf den Strecken des Straßentyps 5. Die Geschwindigkeitsprofile verdeutlichen zudem, dass die Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in den Knotenpunktbereichen eine deutlich reduzierte Fahrgeschwindigkeit bewirkt. Es zeigt sich allerdings auch, dass die reduzierten zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im Bereich der Kurven nur bedingt eingehalten werden.

L 23 – AS Chorin nach Joachimsthal (Straßentyp 6)

In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 23 vom Ortsausgang Joachimsthal bis zum westlichen Teilknotenpunkt der Anschlussstelle Chorin der BAB A 11 (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Westen erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 23 in entgegengesetzter Richtung (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Westen liegt am Beginn der Messstrecke eine V_{85} von etwa 78 km/h vor, die sich am Ende des Abschnittes mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (70 km/h) auf etwa 86 km/h erhöht. Im anschließenden knotenpunktfreien Streckenabschnitt, in dem keine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit mehr vorliegt, erfolgt eine weitere Beschleunigung der V_{85}, die dann über 2.000 m bei etwa 101 km/h verbleibt. Im folgenden, kurvigen Abschnitt wird die V_{85} auf etwa 80 km/h reduziert, der Einmündungsbereich wird mit einer V_{85} von etwa 84 km/h befahren. Im folgenden Streckenabschnitt fällt die V_{85} auf etwa 60 km/h im Bereich der Kreuzung mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 50 km/h. Der anschließende Bereich bis zur Ortschaft Joachimthal wird mit einer V_{85} von etwa 68 km/h befahren. Die V_{15} liegt im Bereich der knotenpunktfreien Streckenabschnitte zwischen 75 und 80 km/h.

In Fahrtrichtung Osten wird am Ortsausgang zunächst auf eine V_{85} von etwa 72 km/h beschleunigt. Im anschließenden Kreuzungsbereich mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h erfolgt eine weitere Beschleunigung auf eine V_{85} von etwa 75 km/h. Im folgenden kurvigen Abschnitt liegt eine V_{85} von etwa 73 km/h vor. Im Anschluss erfolgt im Bereich des geraden Streckenabschnittes eine Beschleunigung auf eine konstante V_{85} von zunächst etwa 107 km/h und nach 500 m auf etwa 111 km/h. Nach 3.000 m der Messstrecke sinkt die V_{85} wieder auf etwa 93 km/h im Bereich der Kurve. Der auf eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h beschränkte Bereich bis zum Ende der Messstrecke weist eine V_{85} von etwa 80 km/h auf. Die V_{15} liegt im Bereich der knotenpunktfreien Streckenabschnitte bei etwa 85 km/h. Im Bereich der Knotenpunkte liegt die V_{15} bei etwa 60 km/h.

Beide Fahrtrichtungen zeigen im knotenpunktfreien Bereich unterschiedliche V_{15} und V_{85} Geschwindigkeiten. Insgesamt liegen diese jedoch wiederum oberhalb derer des Straßentyps 5. Beide Fahrtrichtungen verdeutlichen zudem, dass in den Streckenbereichen mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und der damit verbundenen reduzierten Fahrgeschwindigkeiten ein wesentlich geringerer Perzentilabstand vorliegt. In den Knotenpunktbereichen zeigt sich, dass diese aus den schnellen Bereichen kommend schneller befahren werden. Zudem bewirkt die Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 50 km/h in einer Richtung nur eine geringfügige und in der Gegenrichtung gar keine Reduzierung der Geschwindigkeiten.

L 23 – Rieplos nach Spreenhagen (Straßentyp 6)

In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 23 vom Ortsausgang Rieplos bis Streckenkilometer 1,850 im Netzabschnitt 60 (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 23 in entgegengesetzter Richtung (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Süden liegt die V_{85} bei einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bis zum ersten Knotenpunkt bei etwa 78 km/h. Im folgenden Streckenabschnitt mit einer engen Knotenpunktfolge schwankt die V_{85} zwischen 70 und 80 km/h. Nach Aufhebung der Geschwindigkeitsbeschränkung steigt die V_{85} auf zunächst etwa 94 km/h und nach weiteren 500 m auf etwa 97 km/h. Nach 5.000 m der Messstrecke wird zunächst auf eine konstante V_{85} von etwa 92 km/h verzögert bevor vor dem Ortseingang Rieplos die V_{85} weiter reduziert wird. Die V_{15} liegt im knotenpunktfreien Streckenabschnitt ohne eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zwischen 70 und 78 km/h.

In Fahrtrichtung Norden wird nach dem Ortsausgang Rieplos bis auf eine konstante V_{85} im knotenpunktfreien Streckenabschnitt von etwa 102 km/h beschleunigt und über etwa 1.500 m beibehalten. Nach 2.050 m sinkt die V_{85} im Streckenabschnitt mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h und variiert hervorgerufen durch die enge Knotenpunktfolge zwischen 75 und 80 km/h. Im Anschluss an die Knotenpunkte verbleibt die V_{85} bei etwa 77 km/h. Die V_{15} liegt im knotenpunktfreien

Streckenabschnitt ohne eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei etwa 80 km/h. Im Bereich der Knotenpunkte variiert die V_{15} zwischen 53 und 60 km/h.

Für beide Fahrtrichtungen können durch die enge Knotenpunktfolge geringe Geschwindigkeiten festgestellt werden. Die stärkste Reduzierung wird bei der V_{15} im Bereich der stärker belasteten Einmündungen an der Anschlussstelle zur BAB A 10 registriert und wird demzufolge nicht bei den freifahrenden Fahrzeugen festgestellt. Der angrenzende knotenpunktfreie Streckenabschnitt weist eine gleichbleibende Fahrgeschwindigkeit auf. Der knotenpunktfreie Streckenabschnitt ohne eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit wird nicht durch die enge Knotenpunktfolge beeinflusst.

L 17 – Kleßen nach Stölln (Straßentyp 7)

In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 17 von 150 m vor dem Knotenpunkt mit der K 6325 bis Streckenkilometer 7,0 km im Netzabschnitt 200 (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Westen erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 17 in entgegengesetzter Richtung (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Osten liegt am Beginn der Messstrecke eine V_{85} von etwa 94 km/h vor. Nach 300 m sinkt die V_{85} im Knotenpunktbereich auf etwa 85 km/h. Im folgenden, knotenpunktfreien Streckenabschnitt wird bis auf eine V_{85} von knapp 102 km/h beschleunigt und über 1.000 m beibehalten. Nach 1.800 m der Messstrecke erfolgt eine Absenkung der V_{85} auf etwa 87 km/h im zweiten Knotenpunktbereich. Nach einer kurzen Beschleunigung wird weiter bis auf eine V_{85} von etwa 75 km/h in einer scharfen Linkskurve reduziert. Im Anschluss steigt die V_{85} wieder auf etwa 106 km/h an. Nach 3.400 m bleibt die V_{85} bis zum Ende der Messstrecke mit zwei Abweichungen auf etwa 77 und 67 km/h in engen Kurven bei etwa 84 km/h. Die V_{15} liegt zumeist zwischen 70 und 75 km/h.

In Fahrtrichtung Westen sinkt nach einer V_{85} am Beginn der Messstrecke von etwa 78 km/h die V_{85} von etwa 65 km/h in der engen Rechtskurve. Im Anschluss steigt die V_{85} auf zunächst knapp 90 km/h bevor in einer Linkskurve die V_{85} wieder auf etwa 76 km/h sinkt. Im anschließenden Bereich liegt über 700 m eine konstante V_{85} von etwa 99 km/h vor. Nach 1.900 m wird in der folgenden Rechtskurve die V_{85} bis auf etwa 73 km/h reduziert. Im Anschluss erfolgt zunächst eine Beschleunigung auf etwa 93 km/h. Nach dem Knotenpunkt erhöht sich die V_{85} weiter bis auf etwa 102 km/h. Nach 1.000 m wird im Bereich des zweiten Knotenpunktes in der Linkskurve die V_{85} bis auf etwa 85 km/h reduziert. Am Ende der Messstrecke erfolgt wieder eine Beschleunigung auf etwa 90 km/h. Die V_{15} liegt in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten bei etwa 80 km/h.

In beiden Fahrtrichtungen werden die geringsten Geschwindigkeiten sowohl bei der V_{15} als auch bei der V_{85} nicht in den Knotenpunktbereichen sondern in den engen Kurvenbereichen verzeichnet. Die unstetige Trassierung der Strecke ruft somit ein inhomogenes Fahrverhalten hervor und weist Geschwindigkeiten der V_{85} in den knotenpunktfrei-

en Streckenabschnitten von etwa 20 km/h über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf.

L 43 – Treppeln nach Groß Muckrow (Straßentyp 7)

In Fahrtrichtung Westen erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 43 von Streckenkilometer 1,85 im Netzabschnitt 40 bis zum Streckenkilometer 2,75 im Netzabschnitt 50 zwischen den Ortschaften Treppeln und Groß Muckrow (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 43 in entgegengesetzter Richtung (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Westen liegt die V_{85} am Beginn der Messstrecke bei etwa 89 km/h. Nach 800 m steigt die V_{85} auf etwa 94 km/h an, wobei im Knotenpunktbereich keine Veränderung vorliegt. Nach 1.600 m wird im Bereich des zweiten Knotenpunktes mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h die V_{85} auf etwa 70 km/h reduziert. Im Anschluss erfolgt eine Beschleunigung bis auf eine V_{85} im dritten Knotenpunkt von etwa 86 km/h, die bis zum Ende der Messstrecke beibehalten wird. Die V_{15} zeigt bis auf den Bereich des ersten Knotenpunktes ähnliche Veränderungen wie die V_{85} bei etwa 10 bis 20 km/h geringeren Geschwindigkeiten.

In Fahrtrichtung Osten steigt die V_{85} am Beginn der Messstrecke von etwa 92 km/h auf eine konstante V_{85} von etwa 100 km/h bei 500 m an. Am ersten Knotenpunkt ist eine nur leicht verringerte V_{85} von 99 km/h festzustellen. Eine Verringerung der V_{85} tritt mit der Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ab etwa 1.500 m der Messstrecke ein. Im Bereich des zweiten Knotenpunktes liegt die V_{85} bei etwa 80 km/h. Nach 2.200 m steigt die V_{85} zunächst bis auf etwa 97 km/h und verbleibt ab dem dritten Knotenpunkt bei 2.700 m bis zum Ende der Messstrecke bei etwa 95 km/h.

Insgesamt zeigt sich, dass die Fahrgeschwindigkeiten in Fahrtrichtung Osten etwa 10 km/h höher liegen als in der Gegenrichtung. In beiden Fahrtrichtungen liegen die Geschwindigkeiten in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten etwa 10 bis 20 km/h über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Zudem existieren sehr hohe Geschwindigkeiten in den Knotenpunktbereichen, in denen keine Geschwindigkeitsbeschränkung vorliegt.

L 98 – Marzahne nach Mützlitz (Straßentyp 7)

In Fahrtrichtung Süden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 98 vom Ortsausgang Mützlitz bis zum Orteingang Marzahne (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Norden erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 98 vom Ortsausgang Marzahne bis zum Orteingang Mützlitz (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Süden steigt die V_{85} nach dem Ortsausgang Mützlitz auf etwa 87 km/h an. Nach 600 m steigt diese weiter auf etwa 92 km/h an bevor im Bereich der Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h eine Reduzierung im Bereich der Kurven auf etwa 82 bis 86 km/h eintritt. Nach den beiden Kurven und der Aufhebung der Geschwindigkeitsbeschränkung steigt die V_{85} auf etwa 89 km/h an. Nach dem Knotenpunkt steigt die Geschwindigkeit auf eine konstante V_{85} von etwa

96 km/h an. Nach einer Reduzierung der V_{85} im Bereich der Kurve nach 4.050 m sinkt die V_{85} weiter im Vorlauf des Ortseingangs Marzahne. Die V_{15} liegt zwischen 70 und 80 km/h und sinkt im Bereich einer Kurve auf etwa 60 km/h.

In Fahrtrichtung Norden steigt ab dem Ortsausgang Marzahne die V_{85} auf etwa 94 km/h an bevor zwischen 600 und 700 m im Bereich der Kurve eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 87 km/h eintritt. Im Anschluss steigt die V_{85} auf etwa 100 km/h an und erfährt auch im Bereich des Knotenpunktes keine Veränderung. Nach 2.400 m erfolgt eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 82 km/h im Bereich von zwei weiteren Kurven zwischen denen trotz Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h eine Erhöhung der V_{85} auf etwa 97 km/h liegt. Im Anschluss steigt die V_{85} auf etwa 98 km/h an und wird erst vor dem Ortseingang Mützlitz wieder reduziert. Die V_{15} liegt bei knapp 80 km/h und sinkt in den Kurvenbereichen und im Knotenpunkt auf unter 70 km/h.

Trotz der reduzierten zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Bereich zwischen den beiden Kurven erfolgt ein starker Anstieg der V_{85}. Zudem werden wiederum sehr hohe Geschwindigkeiten im Knotenpunktbereich festgestellt, da keine reduzierte Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit vorliegt.

L 29 – Ützdorf bis B 109 (Straßentyp 7)

In Fahrtrichtung Westen erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 29 von Streckenkilometer 6,55 im Netzabschnitt 190 bis zum Streckenkilometer 2,9 im Netzabschnitt 190 zwischen der Ortschaft Ützdorf und der B 109 (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 29 in entgegengesetzter Richtung (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Westen erreicht die V_{85} nach 120 m einen konstanten Wert von etwa 87 km/h der nach 1.200 m im Bereich einer Linkskurve in dem zugleich der Knotenpunkt liegt auf etwa 55 km/h absinkt. Im Anschluss steigt die V_{85} wieder auf konstante etwa 87 km/h an bevor in einer Kurve bei 2.150 m die V_{85} auf etwa 70 km/h sinkt. Im folgenden Streckenabschnitt steigt die V_{85} wieder auf konstante 87 km/h bevor ab 2.900 m der Messstrecke wieder eine Reduzierung beginnt und die V_{85} bis zum Ende der Messstrecke zwischen 74 und 76 km/h schwankt. Die V_{15} liegt zumeist zwischen etwa 55 und 70 km/h.

In Fahrtrichtung Osten liegt die V_{85} am Beginn der Messstrecke bei etwa 73 km/h und steigt nach 550 m auf eine konstante V_{85} von etwa 81 km/h an. Nach 1.450 m sinkt die V_{85} im Bereich einer Kurve auf knapp 70 km/h und steigt im Folgenden wieder auf etwa 81 km/h an. Nach 2.200 m erfolgt wieder eine Reduzierung der V_{85} im Kurvenbereich mit dem Knotenpunkt auf etwa 59 km/h. Im Anschluss steigt die V_{85} auf einen konstanten Wert von etwa 79 km/h, der bis zum Ende der Messstrecke beibehalten wird. Die V_{15} liegt außerhalb der Kurvenbereiche bei etwa 60 km/h.

Trotz der freien Geschwindigkeit und der gestreckten Linienführung führt der geringe Ausbaugrad (Fahrbahnbreite, Straßenzustand) zu relativ geringen Fahrgeschwindigkei-

ten, die frei gewählt sind, da sich in den Geraden ein konstantes Fahrprofil einstellt. In den Kurven erfolgt insbesondere bei der V_{15} eine geringfügige Veränderung.

L 291 – Liepe nach Eberswalde (Straßentyp 7)

In Fahrtrichtung Westen erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 291 von Streckenkilometer 1,525 bis zum Streckenkilometer 6,725 im Netzabschnitt 10 zwischen den Ortschaften Liepe und Eberswalde (vgl. Anhang 5). In Fahrtrichtung Osten erstreckt sich die Messstrecke im Zuge der L 291 in entgegengesetzter Richtung zwischen den beiden Ortschaften (vgl. Anhang 5).

In Fahrtrichtung Westen liegt bis 1.440 m der Messstrecke eine konstante V_{85} von etwa 97 km/h vor. Im Anschluss sinkt die V_{85} im Kurvenbereich auf etwa 81 km/h. Im Folgenden wird auf eine V_{85} von etwa 100 km/h beschleunigt bis im Bereich einer Einzelkurve wieder bis auf eine V_{85} von etwa 89 km/h verzögert wird. Nach einem Anstieg der V_{85} auf etwa 97 km/h sinkt diese im kurvigen Abschnitt und schwankt um 85 km/h. In einer kurzen Zwischengeraden steigt die V_{85} auf etwa 92 km/h. Im anschließenden Streckenabschnitt mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h sinkt die V_{85} bis auf etwa 60 km/h im Bereich der Kurve bei 4.100 m der Messstrecke. Bis zum Ende der Messstrecke folgt eine Beschleunigung auf etwa 77 km/h. Die V_{15} liegt außerhalb des Streckenabschnittes mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h zumeist zwischen 70 und 80 km/h.

In Fahrtrichtung Osten steigt die V_{85} am Beginn der Messstrecke auf etwa 90 km/h an. Nach 650 m sinkt die V_{85} bis auf etwa 65 km/h nach 1.000 m. Im Anschluss steigt die V_{85} zunächst auf etwa 91 km/h und verbleibt dann bei etwa 85 km/h. Nach 2.450 m steigt die V_{85} wieder auf etwa 91 km/h an. Im Bereich der Kurven zwischen 3.500 m und 3.700 m sinkt die V_{85} auf etwa 79 km/h bevor sie im Anschluss wieder auf etwa 97 km/h ansteigt. Ab 4.200 m der Messstrecke sinkt die V_{85} auf etwa 79 km/h im Bereich mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h bis zum Ende der Strecke. Die V_{15} liegt zumeist zwischen 60 und 70 km/h. Nur in engeren Kurven liegt die V_{15} unterhalb dieses Bereichs.

Beide Fahrtrichtungen zeigen ein sehr inhomogenes Geschwindigkeitsbild. Zudem werden auch im Bereich mit einer relativ hohen Kurvigkeit relativ hohe Geschwindigkeiten sowohl in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten als auch im Knotenpunktbereich verzeichnet, was wiederum auf den höheren Ausbaugrad (Fahrbahnbreite, Straßenzustand) zurückgeführt wird. Die Fahrprofile verdeutlichen zudem, dass aus dem kurvigen Streckenabschnitt kommend geringere Geschwindigkeiten im angrenzenden Streckenabschnitt vorliegen.

Zusammenfassung

Die Betrachtung der Perzentilgeschwindigkeiten zeigt, dass die Untersuchungsstrecken vom Straßentyp 1 insgesamt für beide Perzentilgeschwindigkeiten ein sehr homogenes Geschwindigkeitsverhalten aufweisen. Weiterhin ist ein Einfluss einzelner planfreier Knotenpunkte auf das Fahrverhalten nicht nachzuweisen. Allerdings weist

die Strecke mit dem geringsten mittleren Knotenpunktabstand das geringste Geschwindigkeitsniveau der V_{85} auf.

Beim Straßentyp 2 kann erwartungsgemäß der Einfluss der Fahrstreifenaufteilung auf das Geschwindigkeitsverhalten festgestellt werden. Im zweistreifigen Bereich werden zumeist Geschwindigkeiten der V_{85} von knapp 120 km/h erzielt. Im einstreifigen Bereich liegen diese zumeist bei etwa 105 bis 110 km/h. Die Perzentilgeschwindigkeiten der V_{15} zeigen sogar einen noch stärkeren Zusammenhang zu der Fahrstreifenaufteilung, die zumeist durch den vorhandenen Schwerverkehr hervorgerufen werden. Ein Einfluss der planfreien Knotenpunkte auf das Geschwindigkeitsverhalten ist jedoch auch hier nicht festzustellen.

Beim Straßentyp 3 liegen in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten Fahrgeschwindigkeiten wie bei den planfrei geführten Strecken des Straßentyps 2 vor. Aufgrund der geringeren Verkehrsbelastung liegen diese z.T. sogar auf einem höheren Geschwindigkeitsniveau. Eine geschwindigkeitsreduzierende Wirkung der signalisierten Knotenpunkte auf die knotenpunktfreien Streckenabschnitte liegt somit nicht vor. Es zeigt sich, dass trotz der einstreifigen Zuführung auf den Knotenpunkt sehr hohe Geschwindigkeiten im Vorlauf des Knotenpunktes existieren. Die V_{85} im Vorlauf des Knotenpunktes liegt bei bis zu 120 km/h.

Beim Straßentyp 4 liegen in den zweistreifigen Bereichen Geschwindigkeiten der V_{85} von zumeist etwa 120 km/h vor. Die wesentlich geringeren Längen der Überholabschnitte führen im Vergleich zu den durchgängig dreistreifig ausgeführten Strecken zu keiner weiteren Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit. Dies führt somit zu einer verminderten Pulkauflösung. Es kann zudem kein Unterschied in den Fahrgeschwindigkeiten in den zweistreifigen Bereich bei unterschiedlichen Anteilen an Überholabschnitten auf den Strecken festgestellt werden. In den einstreifigen Bereichen liegen in Abhängigkeit der Streckenlänge ohne Überholabschnitt die Geschwindigkeiten der V_{85} zumeist unterhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Die Fahrgeschwindigkeiten in den Bereichen der nicht signalisierten Knotenpunkte liegen deutlich über denen des Straßentyps 3 und die V_{85} über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h.

Straßentyp 5 zeigt fahrtrichtungsabhängige Unterschiede in an Kreisverkehre angrenzenden Streckenabschnitten. Im Anschluss an Kreisverkehre kann tendenziell eine leicht reduzierte Fahrgeschwindigkeit auch außerhalb des direkten Einflussbereiches festgestellt werden. Daher sollte eine frühzeitige Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auch im Vorlauf der Kreisverkehre erfolgen, um die Annäherungsgeschwindigkeiten zu reduzieren.

Straßentyp 6 zeigt im Vergleich zum Straßentyp 5 leicht höhere Geschwindigkeiten auf den knotenpunktfreien Streckeabschnitten.

Straßentyp 7 zeigt, dass die unstetige Trassierung der Strecken ein sehr inhomogenes Geschwindigkeitsverhalten hervorruft. Zudem werden relativ hohe Knotenpunktgeschwindigkeiten erzielt, da keine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in diesen Bereichen erfolgt. Dies führt zudem dazu, dass dem Fahrzeugführer durch

die fehlende Beschilderung kein zusätzlicher Hinweis zur erhöhten Aufmerksamkeit gegeben wird.

5.3.2 Mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten

Die mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit (V_M) auf den untersuchten Streckenzügen kann durch die mittlere Geschwindigkeit der Verfolgungsfahrten über die gesamte Untersuchungsstrecke bestimmt werden. Hierfür wird die aus beiden Fahrtrichtungen gemittelte Fahrgeschwindigkeit verwendet. Die mittlere Abweichung der mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten zwischen den beiden Fahrtrichtungen liegt über alle Strecken bei 0,69 km/h (vgl. Abb. 44 und Tab. 3). Neben der Bewertung der vorhandenen mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten (V_M) kann auch ein Vergleich mit den nach den RIN [36] angestrebten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten vorgenommen werden.

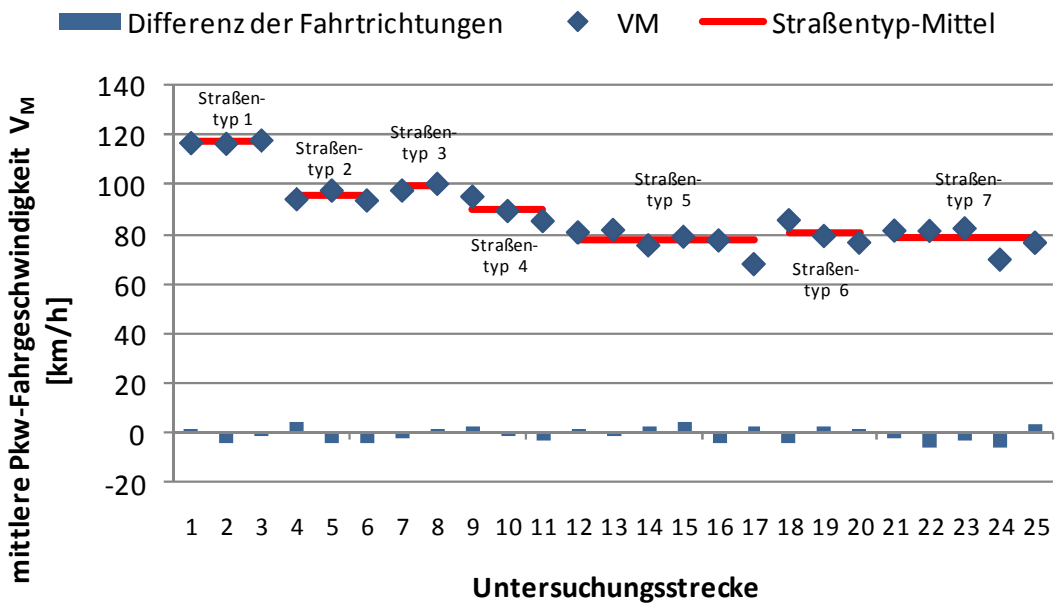


Abb. 44 mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten auf den Untersuchungsstrecken

Es zeigt sich, dass die einzelnen Straßentypen deutliche Unterschiede in den mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten aufweisen. Erwartungsgemäß ist die wesentliche Einflussgröße auf die mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten die Querschnittsgestaltung auf den untersuchten Streckenzügen. Es besteht ein direkter Bezug zu der Anzahl der Fahrstreifen. Straßentyp 1 mit einem vierstreifigen Querschnitt weist mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten von knapp 120 km/h auf. Die dreistreifigen Querschnitte bzw. Querschnitte mit Anteilen an Überholfahrstreifen (Straßentyp 2-4) liegen zwischen 90 und 100 km/h. Die höchsten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten dieser drei Straßentypen wurden trotz der signalisierten Knotenpunkte auf Straßentyp 3 erzielt. Dies ist auf den hohen mittleren Abstand der relevanten Knotenpunkte zurückzuführen. Kein wesentlicher Unterschied besteht hingegen zwischen Straßentyp 5, 6 und 7, die alle einen zwei- oder einstreifigen Straßenquerschnitt aufweisen und mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten von etwa 80 km/h zeigen. Allerdings zeigt die Untersuchungs-

strecke des Straßentyps 5 mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h eine deutlich reduzierte mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit von etwa 70 km/h. Beim Straßentyp 7 weist die Untersuchungsstrecke mit dem geringsten Ausbaugrad die niedrigste mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit auf.

Die Bewertung der mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeit erfolgt nach den Vorgaben der RIN [36] (vgl. Tab. 1). Für alle Straßentypen werden die angestrebten Zielgrößen erreicht. Zumeist liegen die mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten im oberen Bereich der Zielgröße oder sogar darüber. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die untersuchten Streckenzüge keine Ortsdurchfahrten beinhalteten und deshalb eher höhere Geschwindigkeiten vorliegen. Weiterhin liegen die Längen der Untersuchungsstrecken der höherwertigen Straßentypen (vgl. Anhang 3) unterhalb des angegebenen Standardentfernungsbereichs.

Straßen-typ	V_M Fahrtrichtung 1 [km/h]	V_M Fahrtrichtung 2 [km/h]	gemittelte V_M [km/h]	Differenz der Fahrtrichtungen [km/h]
1	116,2	118,0	117,1	1,80
2	94,9	95,8	95,4	0,99
3	99,0	99,4	99,2	0,37
4	90,2	90,3	90,2	0,05
5	77,9	76,9	77,4	0,96
6	80,7	80,9	80,8	0,18
7	77,2	80,1	78,6	2,90

Tab. 3 mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten der Straßentypen

Die vorhandenen Verkehrsbelastungen auf den Untersuchungsstrecken zeigen innerhalb der verschiedenen Straßentypen keinen eindeutigen Zusammenhang zu den mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten.

5.3.3 Homogene Abschnittsgeschwindigkeiten

Die Bildung homogener Abschnittsgeschwindigkeiten ermöglicht die Beurteilung der Einflüsse der einzelnen Gestaltungsmerkmale auf das Geschwindigkeitsverhalten. Die ermittelten Abschnitte identifizieren Streckenteile, die sich als geschwindigkeitsbeeinflussend erweisen. Dies können Veränderungen in der Linienführung, in Knotenpunkten oder auch im Querschnitt sein. Weiterhin kann eine Bewertung des Einflusses der angeordneten Geschwindigkeitsbeschränkungen erfolgen. Das Modell zur Abschnittsbildung wurde für die V_{85} angewendet (vgl. Kapitel 5.2.1). Insgesamt wurden 224 homogene Abschnitte ermittelt. Der Vergleich der Geschwindigkeiten in den homogenen Abschnitten ermöglicht es, den Einfluss der verschiedenen Gegebenheiten zu untersuchen. Insbesondere den unterschiedlichen Einfluss auf die Langsam- und Schnellfahrer galt es zu bewerten. Hierzu wurden die Differenzen der Perzentilgeschwindigkeiten

V_{85} und V_{15} in den homogenen Abschnitten herangezogen. Anders als bei der V_{85} handelt es sich bei der V_{15} nicht um eine konstante Abschnittsgeschwindigkeit, sondern um einen Mittelwert in dem betrachteten Abschnitt. Die ermittelten Kennwerte der homogenen Geschwindigkeitsabschnitte der jeweiligen Straßentypen in Abhängigkeit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sind in Tab. 4 aufgeführt.

Straßentyp	Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	Anzahl der Abschnitte	Mittlere Länge [m]	Mittelwert V_{85} [km/h]	Maximalwert V_{85} [km/h]	Minimalwert V_{85} [km/h]	Mittelwert V_{15} [km/h]
1	120	22	2.150	128,1	134,5	123,6	106,1
2	100	32	943	110,5	129,3	97,6	84,0
3	100	40	766	111,9	125,4	101,6	87,8
4	100	30	855	108,2	120,5	97,2	83,0
5	100	23	881	95,7	102,4	89,6	77,1
5	80	22	674	85,6	97,9	76,6	68,7
6	100	18	710	99,9	112,0	91,8	76,7
7	100	17	694	87,9	100,3	73,2	67,7
7	80	20	675	93,9	102,3	84,2	74,6

Tab. 4 Kennwerte der homogenen Abschnitte der Straßentypen in Abhängigkeit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit

Straßentyp 1 weist homogene Abschnittsgeschwindigkeiten für die V_{85} zwischen etwa 124 und etwa 135 km/h auf (vgl. Abb. 45). Somit liegen alle ermittelten homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten der V_{85} oberhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h (vgl. auch Kapitel 5.3.4). Der durchschnittliche Anteil der Fahrten, die die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschritten haben, liegt bei 38 Prozent. Drei Untersuchungsstrecken weisen sogar eine homogene Abschnittsgeschwindigkeit über den gesamten Streckenzug auf. Dies zeigt, dass planfreie Knotenpunkte keinen Einfluss auf das punktuelle Geschwindigkeitsverhalten haben. Weiterhin zeigt sich, dass das Fahrverhalten der Schnellfahrer nur wenig von langsam fahrenden Fahrzeugen beeinflusst wird. Die Geschwindigkeiten der Langsamfahrer (V_{15}) liegen bis auf zwei Werte in den betrachteten Bereichen zwischen etwa 102 und 109 km/h. Die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Schnell- und Langsamfahrern liegt bei 22 km/h. Sowohl bei der V_{85} als auch bei der V_{15} ist keine Veränderung der homogenen Abschnittsgeschwindigkeit mit der Abschnittslänge verbunden. Dies lässt darauf schließen, dass unabhängig von der Abschnittslänge nach Erreichen der streckencharakteristischen Geschwindigkeit keine weitere Anpassung erfolgt.

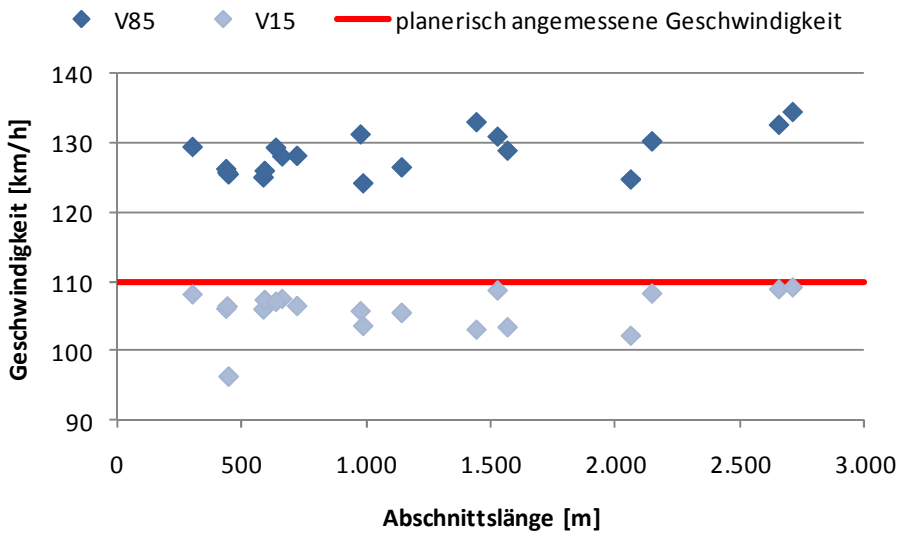


Abb. 45 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 1 ($V_{zul.}$=120 km/h)

Straßentyp 2 zeigt anders als Straßentyp 1 eine querschnittbedingte Veränderung der homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten. Es lassen sich zwei verschiedene Geschwindigkeitsbereiche ausmachen. Für die einstreifigen Bereiche liegen die homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten zumeist zwischen etwa 100 und 110 km/h (vgl. Abb. 46). In den zweistreifigen Geschwindigkeitsbereichen liegt diese zumeist zwischen etwa 115 und 120 km/h. Diese liegen somit oberhalb der planerisch angemessenen Geschwindigkeit nach den RAL.

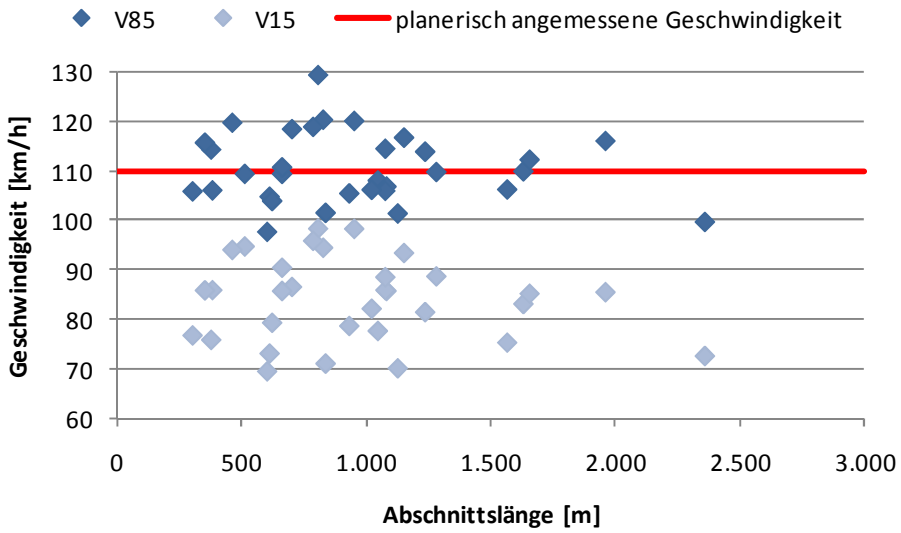


Abb. 46 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 2 ($V_{zul.}$=100 km/h)

Die Abschnittslängen verteilen sich unabhängig von der Fahrstreifenanzahl je Fahrtrichtung hauptsächlich auf den Bereich zwischen 400 und 1.200 m. Die durchschnittliche Abschnittslänge ist mit etwa 950 m wesentlich geringer als die des Straßentyps 1. Eine starke Korrelation zwischen der Abschnittslänge und den Geschwindigkeiten ist

nicht auszumachen. Dies zeigt, dass sich nach einer gewissen Abschnittslänge wiederum eine streckentypische Geschwindigkeit einstellt, die auch mit zunehmender Länge nicht weiter zunimmt. Die Geschwindigkeiten der Langsamfahrer (V_{15}) liegen in den betrachteten Bereichen zwischen etwa 70 und 98 km/h. Es zeigt sich hierbei ein sehr inhomogenes Bild über die verschiedenen Abschnittslängen. Die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Schnell- und Langsamfahrern liegt bei etwa 26,5 km/h.

Straßentyp 3 zeigt homogene Abschnittsgeschwindigkeiten der V_{85} auf einem ähnlichen Niveau wie Straßentyp 2. Die Geschwindigkeiten bewegen sich zwischen etwa 100 und 125 km/h (vgl. Abb. 47). Alle Abschnitte der V_{85} liegen oberhalb der planerisch angemessenen Geschwindigkeit nach den RAL, sofern man diesen Straßentyp einer EKL 2 zuordnen würde. Für die Langsamfahrer (V_{15}) ergeben sich homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten zwischen etwa 72 und etwa 98 km/h. Die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Schnell- und Langsamfahrern liegt bei etwa 24 km/h. Die Länge der Abschnitte konzentriert sich zumeist auf Längen zwischen 300 und 1.000 m, vereinzelt sind auch größere Längen festzustellen, die dann eine Geschwindigkeit über 110 km/h bei der V_{85} bzw. über 90 km/h bei der V_{15} aufweisen.

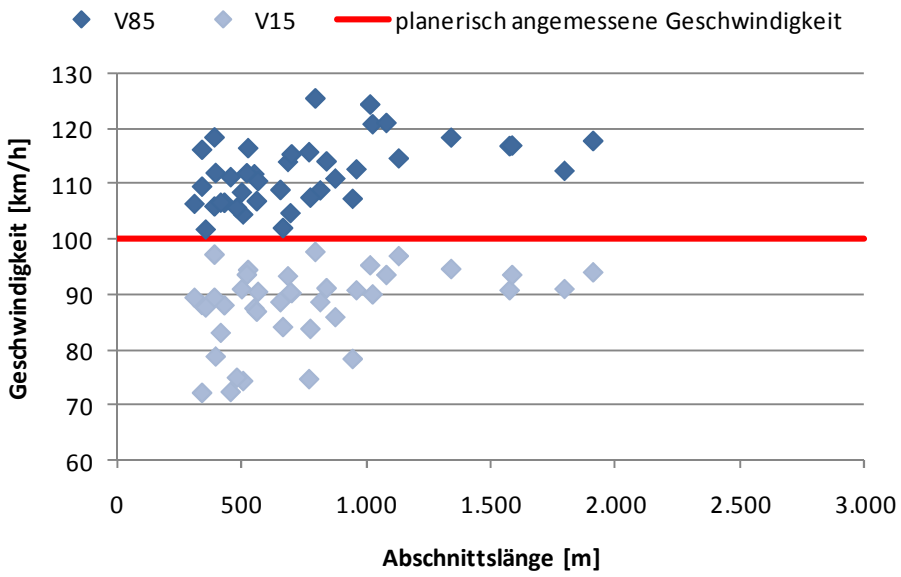


Abb. 47 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 3 ($V_{zul.}$=100 km/h)

Bei der V_{15} liegen alle Abschnitte unterhalb der gewünschten Geschwindigkeit von 100 km/h. Für die planerisch angemessenen Geschwindigkeit einer EKL 1, die aufgrund der vorliegenden Trassierungsparameter zweckmäßiger ist, ergibt sich das gleiche Bild wie bei Straßentyp 2. In diesem Fall gilt, dass die V_{85} in den einstreifigen Abschnitten wiederum unterhalb und die zweistreifigen Abschnitte oberhalb der planerisch angemessenen Geschwindigkeit von 110 km/h liegen.

Es zeigt sich, dass die plangleiche Knotenpunktgestaltung keinen Einfluss auf die homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten der V_{85} auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten hat. Dies bestätigt, dass nach einer gewissen Entfernung vom Knotenpunkt

sich bei diesem Straßentyp ein querschnittbedingtes Fahrverhalten einstellt, insbesondere bei den auf den Untersuchungsstrecken vorliegenden großen Knotenpunktabständen. Es kann hierdurch insgesamt geschlussfolgert werden, dass sich bei einer Gestaltung des Straßentyps 4 mit einem sehr hohen Anteil an Überholabschnitten und großen Knotenpunktabständen durch das entstehende Erscheinungsbild ähnlich eines Straßentyps 2 auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten höhere Abschnittsgeschwindigkeiten ergeben.

Straßentyp 4 weist homogene Abschnittsgeschwindigkeiten der V_{85} zwischen etwa 97 und 120 km/h auf. Für die Langsamfahrer (V_{15}) ergeben sich homogene Abschnittsgeschwindigkeiten zwischen etwa 69 und 94 km/h (vgl. Abb. 48). Es liegt allerdings eine Konzentration der V_{15} zwischen 75 und 90 km/h vor. Die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Schnell- und Langsamfahrern lag bei 25 km/h. Die Länge der Abschnitte konzentriert sich zumeist auf Längen zwischen 300 und 1.000 m. Die planerisch angemessene Geschwindigkeit nach den RAL von 100 km/h wird somit von den Schnellfahrern größtenteils überschritten.

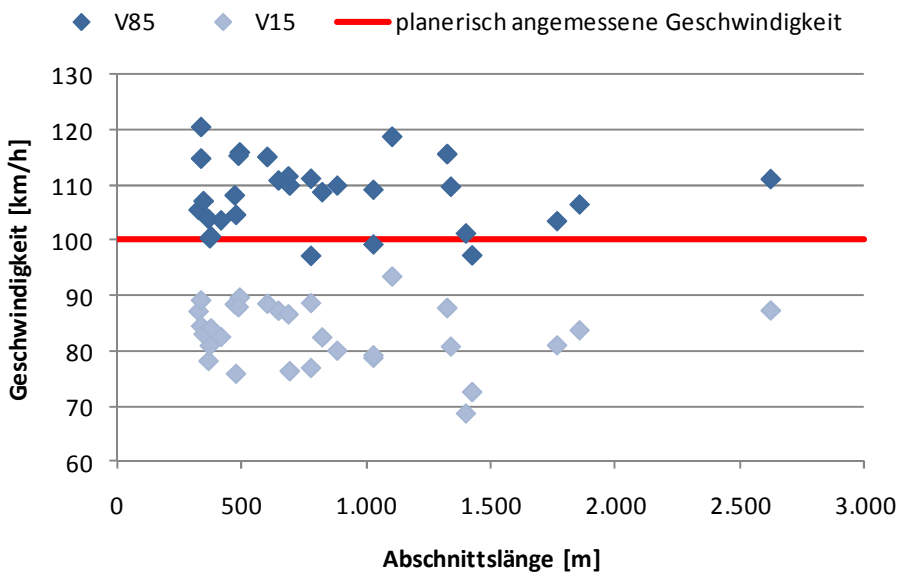


Abb. 48 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 4 ($V_{zul.}$=100 km/h)

Es zeigt sich, dass insbesondere die V_{15} unterhalb der Werte des Straßentyps 2 und 3 liegen. Insgesamt zeigt sich für beide Geschwindigkeitsperzentile, dass trotz der Querschnittsgestaltung mit abschnittsweisen Überholfahrstreifen auch längere Abschnitte existieren, in denen eine Beeinflussung der eigenen Fahrgeschwindigkeit vorliegt.

Straßentyp 5 zeigt homogene Abschnittsgeschwindigkeiten der V_{85} zwischen etwa 89,5 und 102,5 km/h (vgl. Abb. 49). Für die Langsamfahrer (V_{15}) ergeben sich homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten zwischen etwa 70,5 und 88,5 km/h. Die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Schnell- und Langsamfahrern liegt bei etwa 18,5 km/h. Die Länge der Abschnitte verteilt sich gleichmäßig auf den Bereich zwischen 300 und 1.300 m, nur zwei größere Längen können festgestellt werden. Ein Zusammenhang zwischen der Abschnittslänge und der Fahrgeschwindigkeit existiert

nicht. Die V_{85} der Abschnitte liegen fast ausnahmslos oberhalb der planerisch angemessenen Geschwindigkeit von 90 km/h. Die V_{15} der Abschnitte liegen wesentlich unterhalb der planerisch angemessenen Geschwindigkeit.

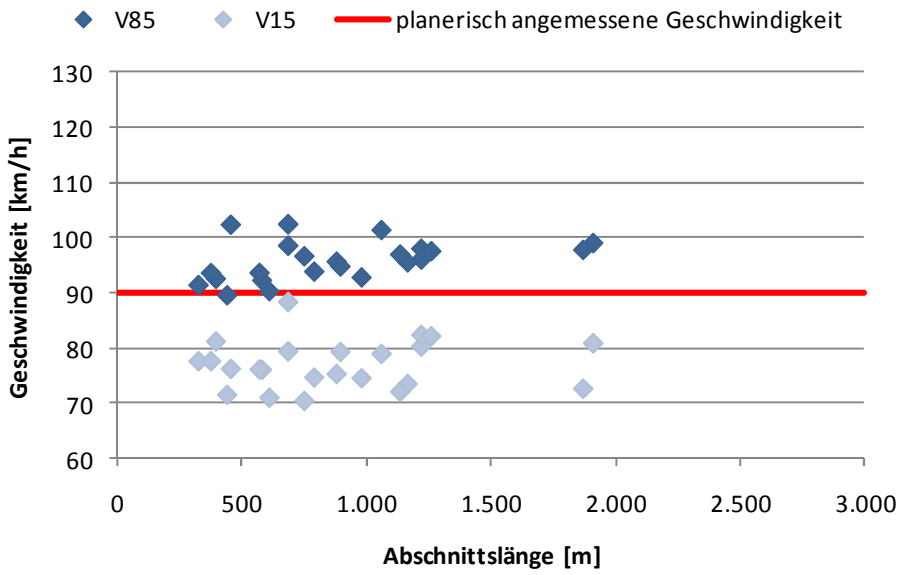


Abb. 49 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 5 ($V_{zul.}$=100 km/h)

Für den Straßentyp 6 konnten homogene Abschnittsgeschwindigkeiten der V_{85} zwischen etwa 90,5 und 112 km/h festgestellt werden (vgl. Abb. 50). Für die Langsamfahrer (V_{15}) ergeben sich Geschwindigkeiten zwischen etwa 71 und 89 km/h. Die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Schnell- und Langsamfahrern liegt bei 23 km/h. Straßentyp 6 zeigt insgesamt höhere Geschwindigkeiten als Straßentyp 5. Insbesondere die Schnellfahrer zeigen ein höheres Geschwindigkeitsniveau auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten. Die Langsamfahrer hingegen liegen nur unwesentlich oberhalb der Geschwindigkeiten vom Straßentyp 5. Dies führt dazu, dass sich ein größerer Perzentilabstand bildet und somit ein inhomogeneres Geschwindigkeitsverhalten der Fahrzeugführer vorliegt.

Dies wird auch durch die Längen der Abschnitte verdeutlicht. Die Abschnittslängen konzentrieren sich im Bereich von 500 m, die sich zum Teil aus zwei unterschiedlichen Bereichen innerhalb eines knotenpunktfreien Streckenabschnittes ergeben. Weiterhin werden für diese Abschnitte sehr unterschiedliche Geschwindigkeiten registriert. Ein genereller Zusammenhang zwischen der Abschnittslänge und der Fahrgeschwindigkeit existiert nicht. Es ist zu beobachten, dass sich mit einer Abschnittslänge über 1.000 m eine V_{85} von etwa 100 km/h einstellt.

Die V_{85} der Abschnitte liegen ausnahmslos oberhalb der planerisch angemessenen Geschwindigkeit von 90 km/h. Die V_{15} der Abschnitte liegen wesentlich unterhalb der planerisch angemessenen Geschwindigkeit, weisen jedoch stärkere Streuungen auf und zeigen ein höheres Niveau als die des Straßentyps 5.

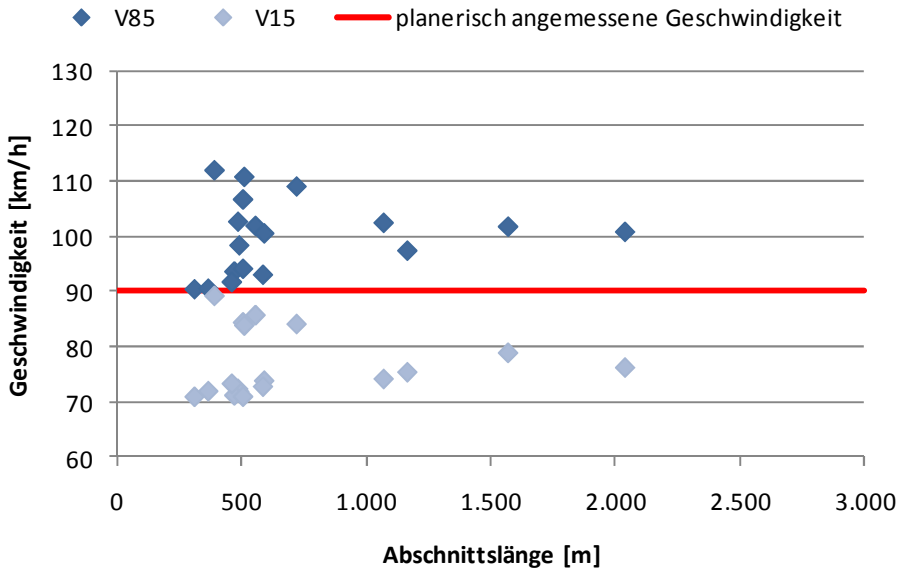


Abb. 50 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 6 ($V_{zul.}$=100 km/h)

Straßentyp 7 zeigt für die homogenen Abschnitte mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h Werte der V_{85} zwischen etwa 73 und 100,5 km/h (vgl. Abb. 51). Für die Langsamfahrer (V_{15}) ergeben sich homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten zwischen etwa 56 und 78 km/h. Die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Schnell- und Langsamfahrern liegt bei etwa 20 km/h.

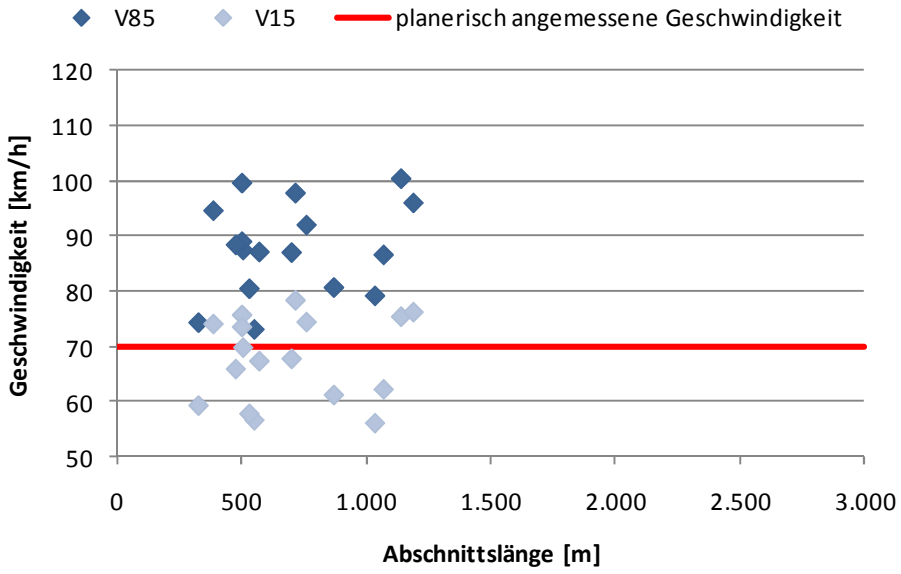


Abb. 51 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 7 ($V_{zul.}$=100 km/h)

Die Länge der Abschnitte verteilt sich gleichmäßig auf den Bereich zwischen 400 und 1.200 m. Ein enger Zusammenhang zwischen der Abschnittslänge und der Fahrgeschwindigkeit existiert nicht. Die V_{85} der Abschnitte liegen alle oberhalb der planerisch angemessenen Geschwindigkeit von 70 km/h. Die V_{15} der Abschnitte liegen sowohl

oberhalb als auch unterhalb der planerisch angemessenen Geschwindigkeit. Sie weisen somit die größte Abweichung auf.

Ein Einfluss der Markierung beim Straßentyp 7 auf das Geschwindigkeitsverhalten kann nicht nachgewiesen werden. Es zeigt sich jedoch, dass die Untersuchungsstrecke mit der schlechtesten Qualität der Fahrbahnoberfläche die geringsten Geschwindigkeiten aufweist.

Die homogenen Abschnitte der Straßentypen 5 und 7 mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h sind in Abb. 52 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Geschwindigkeiten auf den untersuchten Strecken nicht wesentlich unterhalb derer mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h liegen. Vielmehr sind für den Straßentyp 7 sogar höhere Abschnittsgeschwindigkeiten festzustellen. Dieser Vergleich verdeutlicht, dass sich ohne eine angemessene Linienführung keine niedrigeren Geschwindigkeiten durch eine Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erzielen lassen.

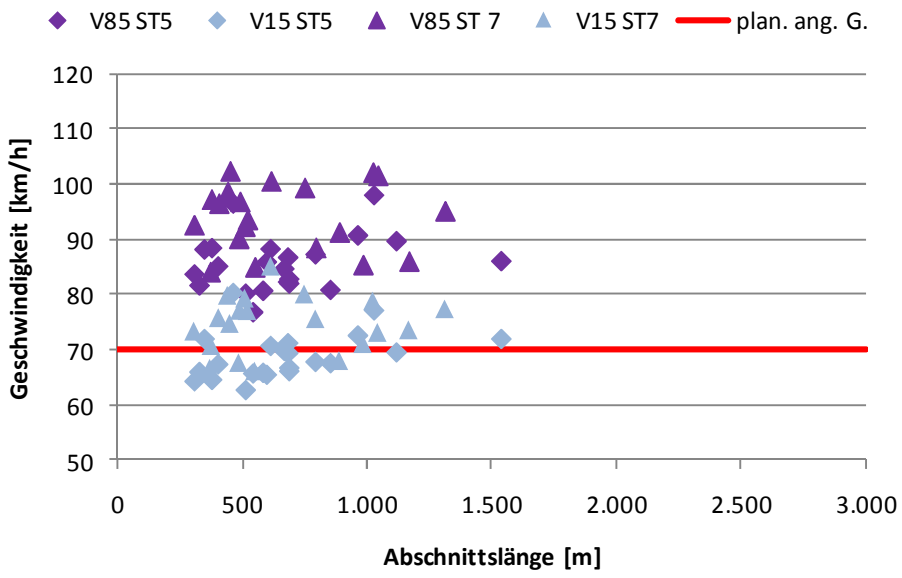


Abb. 52 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 5 und 7 ($V_{zul.}$=80 km/h)

Zusammenfassend können aus der Bildung von Abschnitten mit homogenen Geschwindigkeiten folgende Ergebnissen festgehalten werden:

- Mit niederrangigem Straßentyp kann beobachtet werden, dass die Abschnittslängen mit homogenen Geschwindigkeiten sinken. Dies zeigt, dass mit abnehmendem Ausbaugrad neben den geringeren Knotenpunktabständen, die sich geschwindigkeitsbeeinflussend auswirken, insbesondere Bereiche mit inhomogenen Geschwindigkeiten durch die Trassierung ergeben.

- Die planerisch angemessenen Geschwindigkeiten der einzelnen Straßentypen werden von den Schnellfahrer (V_{85}) fast ausnahmslos überschritten. Die Langsamfahrer (V_{15}) liegen zumeist unterhalb des gewünschten Niveaus. Insbesondere beim Straßentyp 7 (schmale Landstraßen) liegt eine starke Überschreitung der planerisch angemessenen Geschwindigkeit vor.
- Es existiert ein querschnittbedingtes Geschwindigkeitsverhalten auf den Strecken. Bei den vierstreifigen Querschnitten vom Straßentyp 1 ist nur eine sehr geringe Beeinflussung festzustellen. Auf den Strecken mit einem dreistreifigen Querschnitt konnte beobachtet werden, dass die Anordnung der Überholfahrstreifen einen wesentlichen Einfluss auf die Geschwindigkeit hat. Die genaue Betrachtung der Überholfahrstreifen zeigt, dass mit abnehmender Länge der Überholfahrstreifen und mit zunehmender Verkehrsbelastung die Geschwindigkeiten sinken.
- Die planfreie Führung in Knotenpunkten weist unabhängig von der Querschnittsgestaltung keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit auf. Alle Strecken mit einer planfreien Führung haben keine Abschnittstrennungen im Bereich von Knotenpunkten gezeigt. Es stellt sich somit ein rein querschnittbedingtes Fahrverhalten auf den Straßentypen 1 und 2 ein.
- Der größte Einfluss auf die Geschwindigkeit geht erwartungsgemäß von den Kreisverkehren aus, da dort zum Befahren der Kreisfahrbahn die Geschwindigkeit reduziert werden muss. Kreisverkehre haben allerdings auch einen Einfluss auf die in den knotenpunktfeien Streckenabschnitten gefahrene Geschwindigkeit. Hinter Kreisverkehren werden geringere Geschwindigkeiten als vor diesen gefahren.
- Die zulässige Höchstgeschwindigkeit hat nur in Kombination mit einer angemessenen Trassierung einen wesentlichen Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeit. Um ein angemessenen Geschwindigkeitsniveau zu erreichen, muss somit eine abgestimmte Gestaltung erfolgen.
- Ein Einfluss der verschiedenen Markierungsformen (mit/ohne Leitlinie in Straßenmitte) auf das Geschwindigkeitsverhalten beim Straßentyp 7 kann nicht nachgewiesen werden.

5.3.4 Zulässige Höchstgeschwindigkeiten

Die mittleren Fahrgeschwindigkeiten auf den Strecken werden im Wesentlichen durch die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten beeinflusst. Eine erste Abschätzung der Einhaltung dieser Werte gibt der Vergleich der mittleren Geschwindigkeit über einen Abschnitt gleicher zulässiger Höchstgeschwindigkeit mit der Vorgabe. Es wird hierbei unterschieden in Abschnitte auf freier Strecke und Abschnitte, die aufgrund von Knotenpunkten eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h aufweisen (vgl. Abb. 53).

Der Vergleich zeigt, dass die angeordneten Geschwindigkeiten in Knotenpunktbereichen eher überschritten werden als in Abschnitten auf freier Strecke. Auf freier Strecke ist eine Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei der V_{85} auf etwa 50 % der Abschnitte vorhanden. Die V_{50} liegt fast ausschließlich (etwa 92 %) unterhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. In den Knotenpunktabschnitten ist hingegen ein anderes Bild zu verzeichnen. Hier überschreitet die V_{85} in allen Abschnitten die zulässige Höchstgeschwindigkeit und die V_{50} weist etwa eine Überschreitung von 90 % auf. Die V_{15} in Knotenpunktabschnitten weist wiederum zu drei Vierteln eine Einhaltung der angeordneten Geschwindigkeit auf.

Grundsätzlich gilt, dass die punktuelle Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in Knotenpunktbereichen einfacher durchgesetzt werden kann (punktuelle Anordnung einer OGÜ) als in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten.

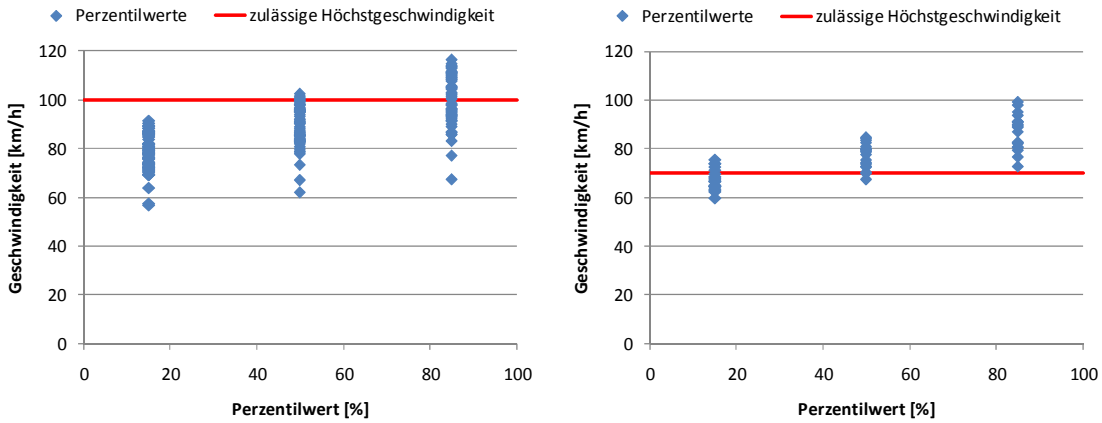


Abb. 53 mittlere Geschwindigkeiten in Abschnitten auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten bzw. Streckenabschnitten, die keine Reduzierung an den Knotenpunkten aufweisen (links) und in Abschnitten mit nicht signalisierten Knotenpunkten die eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h aufweisen (rechts)

Abb. 54 zeigt den mittleren Anteil an Fahrten über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit nach Straßentyp auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten. Es zeigt sich hierbei, dass die höchsten Anteile der Geschwindigkeitsüberschreitung bei den höherrangigen Straßentypen vorliegen. Der Anstieg vom Straßentyp 1 zum Straßentyp 3 ist zum einen durch die höhere zulässige Höchstgeschwindigkeit vom Straßentyp 1 und zum anderen durch die Verkehrsbelastungen und die damit verbundenen Fahrgeschwindigkeiten auf den Straßentypen 2 und 3 zu begründen. Beim Straßentyp 5 bis 7 liegt mit abnehmendem Ausbaugrad eine Abnahme des Anteils der Fahrten über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vor.

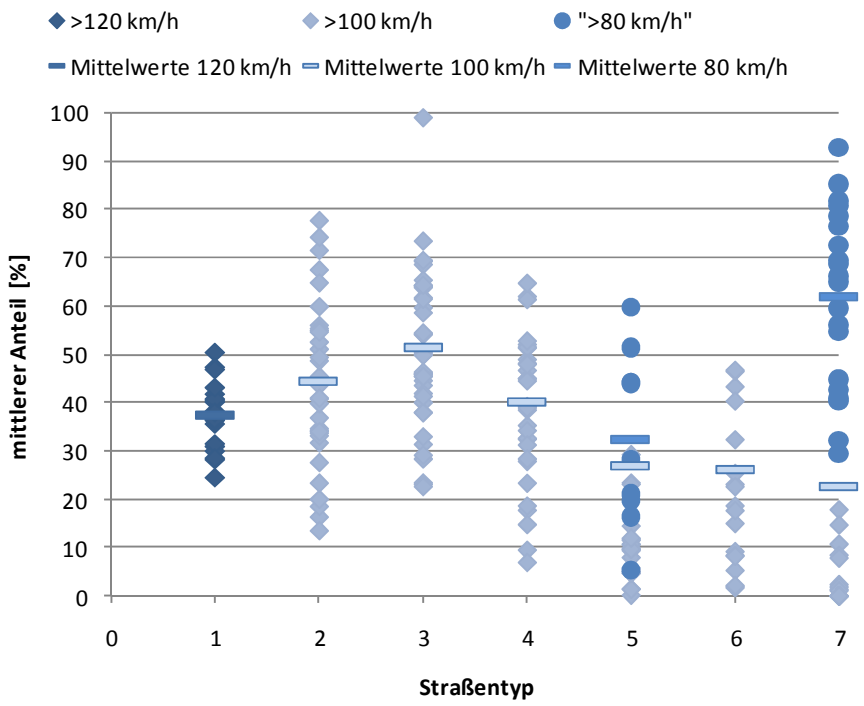


Abb. 54 mittlerer Anteil der Fahrten oberhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit innerhalb der homogenen Geschwindigkeitsabschnitte (knotenpunktfreie Streckenabschnitte)

Es zeigt sich weiterhin beim Straßentyp 5 und 7, dass die Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h wesentlich geringer ist als die von 100 km/h. Insbesondere beim Straßentyp 7 zeigt sich diese Tendenz mit dem höchsten mittleren Anteil an Überschreitungen von über 60 % der Fahrten. Dies wird darauf zurückgeführt, dass bei den schwach belasteten Landstraßen zumeist eine freie Fahrgeschwindigkeit vorliegt und hiermit verbunden die Disziplin der Geschwindigkeitseinhaltung sinkt.

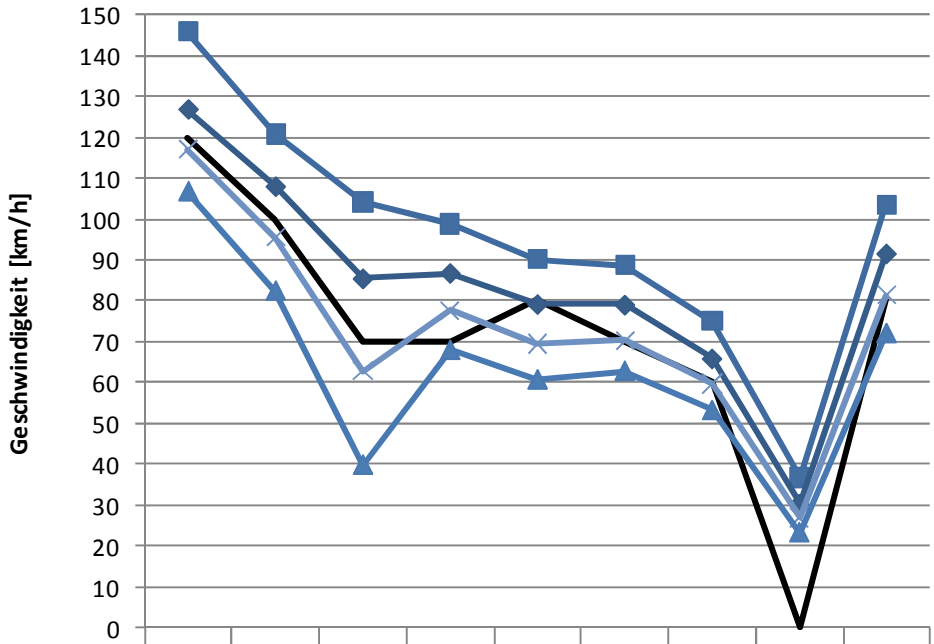
5.3.5 Geschwindigkeitsverhalten an Knotenpunkten

Neben den Perzentilgeschwindigkeiten und den auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten ermittelten homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten kann aus den Fahrprofilen auch die Knotenpunktgeschwindigkeit abgeleitet werden. Die nachfolgend beschriebenen Geschwindigkeiten wurden in Knotenpunktmitte ermittelt (vgl. Abb. 55).

Bereits die Analyse der Fahrprofile der Untersuchungsstrecken des Straßentyp 1 und 2 haben gezeigt, dass die planfreien Knotenpunkte keinen Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeit aufweisen. Dieses wird durch die Geschwindigkeiten in Knotenpunktmitte bestätigt. Beim Straßentyp 1 wird eine mittlere V_{85} von etwa 127 km/h festgestellt. Die dreistreifigen Untersuchungsstrecken weisen eine mittlere V_{85} in Knotenpunktmitte von etwa 108 km/h auf. Beide liegen somit in einem ähnlichen Maß oberhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Die mittleren Geschwindigkeiten (V_m) liegen bei beiden Straßentypen leicht unterhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

Wesentlich ist jedoch die Fahrgeschwindigkeit in den plangleichen Knotenpunkten, da mit steigender Knotenpunktgeschwindigkeit eine erhöhte Unfallschwere zu erwarten

ist. Die signalisierten Knotenpunkte des Straßentyps 3 zeigten eine mittlere V_{85} von etwa 85 km/h, wobei die frühzeitige Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit eine geringere Fahrgeschwindigkeit in Knotenpunktmitte bewirkt.



	ST 1 (pf 120 km/h)	ST 2 (pf 100 km/h)	ST 3 (K mit LSA 70 km/h)	ST 4 (E+K 70 km/h)	ST 5+6 (E+K 80 km/h)	ST 5+6 (E+K 70 km/h)	ST 5+6 (E+K 60 km/h)	ST 5 (KV)	ST 7 (E+K 80 km/h)
n	18	16	4	18	10	24	6	16	10
Vzul.	120	100	70	70	80	70	60	0	80
Vmax	145,9	120,8	104,2	98,8	90,2	88,7	75,0	36,6	103,5
V85	126,9	108,0	85,5	86,8	79,2	79,0	65,9	30,4	91,6
Vm	117,0	95,5	62,8	77,6	69,4	70,3	59,7	27,0	81,4
V15	106,7	82,4	39,8	67,9	60,6	62,7	53,1	23,2	72,0

Abb. 55 Geschwindigkeiten der einzelnen Straßentypen in Knotenpunktmitte (nach Knotenpunkttyp mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit)

Die nicht signalisierten Einmündungen und Kreuzungen des Straßentyps 4 (alle sind mit einem Linksabbiegestreifen im Hauptstrom ausgestattet) weisen eine mittlere V_{85} von etwa 87 km/h auf und liegen somit leicht oberhalb der Geschwindigkeiten des Straßentyps 3. Durch die Signalisierung der Knotenpunkte des Straßentyps 3 hervorgerufen, nimmt dieser Unterschied bei der V_m und der V_{15} weiter zu. Die mittlere Geschwindigkeit (V_m) liegt beim Straßentyp 4 mit 77,6 km/h noch deutlich oberhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

Es zeigt sich zudem, dass die Geschwindigkeiten V_{85}, V_m und V_{15} etwa 7 km/h und die maximalen Geschwindigkeiten sogar etwa 10 km/h über den Geschwindigkeiten der vergleichbaren Knotenpunkte der Straßentypen 5 und 6 liegen. Dies ist auf die höheren Fahrgeschwindigkeiten in den angrenzenden Streckenabschnitten zurückzuführen.

Bei den zweistreifigen Landstraßen des Straßentypen 5 und 6 existieren Einmündungen und Kreuzungen mit verschiedenen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten (60 km/h, 70 km/h, 80 km/h) sowie Kreisverkehre. Es zeigt sich, dass die in Knotenpunktmitte gefahrenen Geschwindigkeiten bei zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 70 und 80 km/h nicht wesentlich unterscheiden (vgl. Tab. 5). Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei den Knotenpunkten mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h geringere Fahrgeschwindigkeiten in den angrenzenden Streckenabschnitten vorliegen. Es zeigt zugleich jedoch auch, dass eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Knotenpunktbereich eine deutliche Reduzierung der Geschwindigkeiten ergibt.

	angrenzender Streckenabschnitt			Knotenpunkt			Differenz	
	$V_{zul.}$ [km/h]	V_{85} [km/h]	V_{15} [km/h]	$V_{zul.}$ [km/h]	V_{85} [km/h]	V_{15} [km/h]	V_{85} [km/h]	V_{15} [km/h]
Straßentyp 5 und 6	100	95,7	77,7	70	79,0	62,7	-16,7	-15,0
Straßentyp 5 und 6	80	83,9	67,6	80	79,2	60,6	-4,7	-7,0
Straßentyp 5 und 6	80	83,9	67,6	60	65,9	53,1	-18,0	-14,5
Straßentyp 7	80	93,9	74,6	80	91,6	72,0	-2,3	-2,6

Tab. 5 Geschwindigkeitsvergleich zwischen Knotenpunkten und angrenzenden Streckenabschnitten bei verschiedenen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten

Die Fahrgeschwindigkeiten in Kreisverkehren liegen aus den fahrgeometrischen Gegebenheiten resultierend im Mittel für die V_{85} bei etwa 30 km/h. Die mittlere Geschwindigkeit beträgt 27 km/h.

Die Knotenpunktgeschwindigkeiten beim Straßentyp 7 zeigen im Vergleich zu denen der Straßentypen 5 und 6 wesentlich höhere Werte (vgl. Tab. 5). Die Perzentilwerte liegen etwa 12 km/h oberhalb derer vom Straßentyp 5. Da beide Untersuchungsgruppen gleichmäßige Unterschiede zwischen den betrachteten Geschwindigkeiten aufweisen, ist dies nicht auf die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern zurückzuführen, sondern auf die Erwartungshaltung der Fahrzeugführer, andere Fahrzeuge anzutreffen (Ein- und Abbieger). Weiterhin sind die Knotenpunkte des Straßentyps 7 zumeist schlechter als solche auszumachen. Dies ist auf den geringeren Ausbaustandard der Knotenpunkte und auch auf die fehlende Beschilderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und die weniger übersichtliche Wegweisung - aus denen das Vorhandensein eines Knotenpunktes ableitbar ist - zurückzuführen.

5.3.6 Lokales Geschwindigkeitsverhalten

Das lokale Geschwindigkeitsverhalten ermöglicht es, die auf den Untersuchungsstrecken durchgeführten Verfolgungsfahrten durch eine breitere Datenmenge abzusichern. Da die lokalen Begebenheiten einen starken Einfluss haben und nicht grundsätzlich auf

die Gesamtstrecke übertragen werden können, lassen sich nur schwer Rückschlüsse auf das straßentypspezifische Fahrverhalten ableiten.

Der Abgleich der lokalen Geschwindigkeiten mit den an gleicher Stelle ermittelten Geschwindigkeiten aus den Verfolgungsfahrten zeigt für beide Perzentilgeschwindigkeiten, dass die Messungen der Verfolgungsfahrten zumeist höhere Werte aufweisen als bei den lokalen Messungen (vgl. Abb. 56 und Abb. 57). Bei der V_{15} ist diese Tendenz bei geringeren Geschwindigkeiten ausgeprägter als bei höheren. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass bei den Verfolgungsfahrten zumeist Fahrzeuge verfolgt wurden, die nicht bereits am Beginn der Messstrecken durch andere Fahrzeuge beeinflusst waren. Zudem ist es bei Verfolgungsfahrten nicht möglich, dem Pulkführer, dem i. A. langsamsten Fahrzeug, direkt zu folgen.

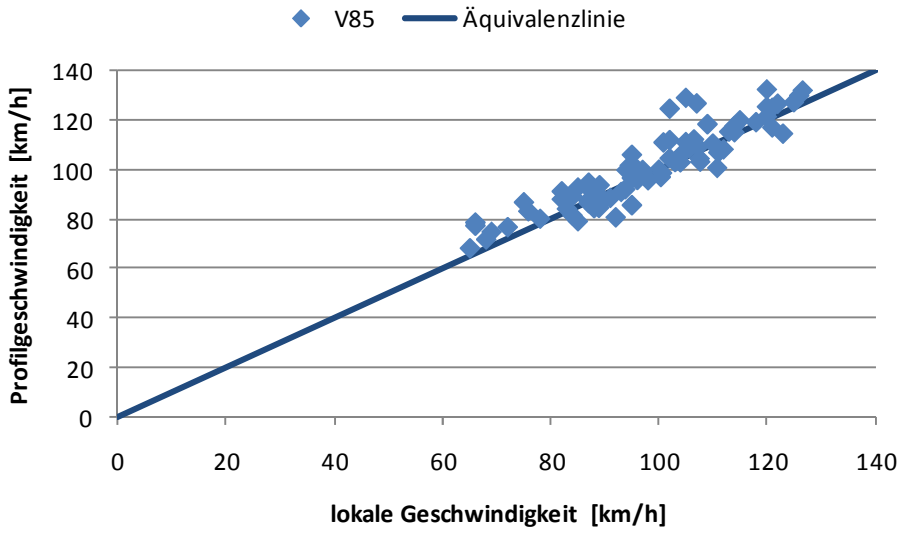


Abb. 56 Vergleich der V_{85}-Profilgeschwindigkeiten mit den lokalen V_{85}-Geschwindigkeiten

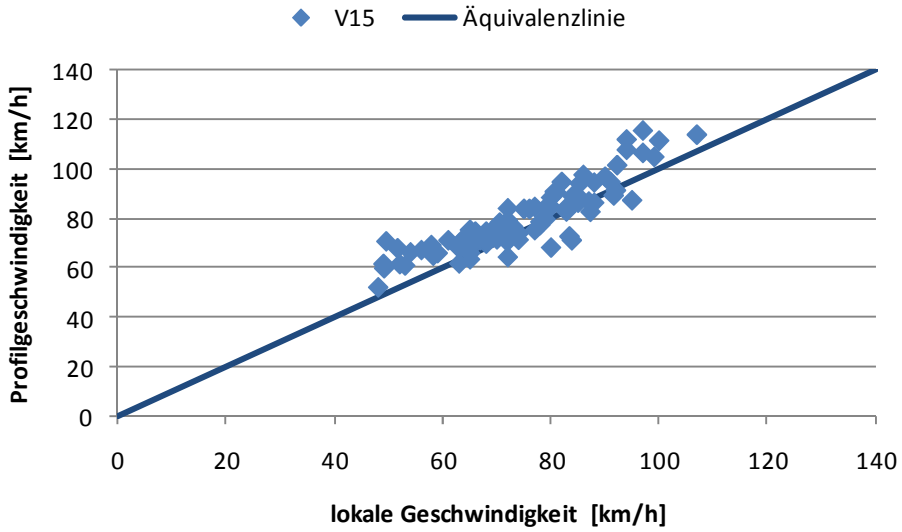


Abb. 57 Vergleich der V_{15}-Profilgeschwindigkeiten mit den lokalen V_{15}-Geschwindigkeiten

Bei den lokalen Geschwindigkeitsmessungen auf den Strecken liegen für die straßentypspezifischen Geschwindigkeiten ähnliche Werte vor wie für die Perzentilgeschwindigkeiten, die Perzentilabstände (70%-Kanal) und die Geschwindigkeiten in den homogenen Abschnitten (vgl. Tab. 6). Insbesondere die Erkenntnisse zu den Effekten einer Beschränkung einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit werden durch die lokalen Messungen bestätigt.

	Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	Anzahl der Messstellen	V_{15} [km/h]	V_{85} [km/h]	70%-Kanal [km/h]
Straßentyp 1	120	8	97,5	122,6	25,0
Straßentyp 2	100	12	84,2	108,4	24,2
Straßentyp 3	100	8	85,0	112,2	27,2
Straßentyp 4	100	6	83,6	103,1	19,6
Straßentyp 5	100	4	76,7	97,9	21,2
Straßentyp 5	80	8	64,4	85,1	20,7
Straßentyp 6	100	5	77,2	102,5	25,3
Straßentyp 7	100	6	59,4	82,2	22,7
Straßentyp 7	80	12	66,4	90,6	24,2

Tab. 6 lokales Geschwindigkeitsverhalten (Pkw) der Straßentypen auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten mit verschiedenen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten

5.3.7 Perzentilabstände

Eine hohe Geschwindigkeitsdifferenz der einzelnen Fahrprofile lässt auf ein inhomogenes Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer auf der jeweiligen Strecke schließen, welches ein erhöhtes Unfallrisiko erwarten lässt. Neben den Profilen können diese Perzentilabstände auch durch die lokalen Geschwindigkeitsmessungen belegt werden. Der 70%-Kanal, der den Perzentilabstand zwischen den Langsam- (V_{15}) und Schnellfahrern (V_{85}) ausdrückt, zeigt innerhalb der homogenen Abschnitte, dass sich mit zunehmender Abschnittslänge ein Wert von etwa 25 km/h einstellt (vgl. Abb. 58).

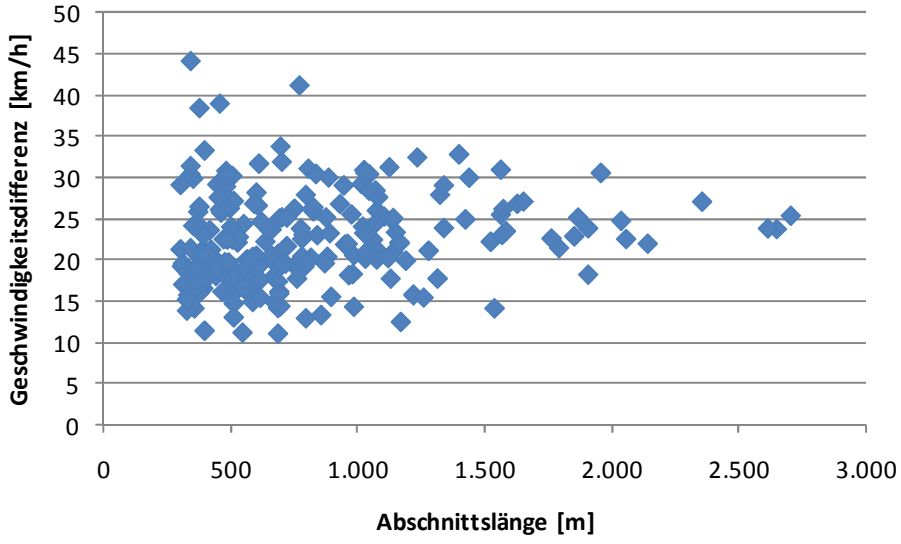


Abb. 58 Perzentilabstände der homogenen Abschnitte in Abhängigkeit der Abschnittslänge (alle Straßentypen, n=224)

Mit steigender V_{85} kann eine Zunahme der Perzentilabstände festgestellt werden (Abb. 59). Die gefahrene Geschwindigkeit der Langsamfahrer zeigt hingegen keine Veränderung. Dies verdeutlicht, dass die gefahrene Geschwindigkeit der Schnellfahrer im Wesentlichen zu hohen Perzentilabständen führt und deshalb eine Reduzierung der Höchstgeschwindigkeiten eine Homogenisierung der Fahrprofile erzielt.

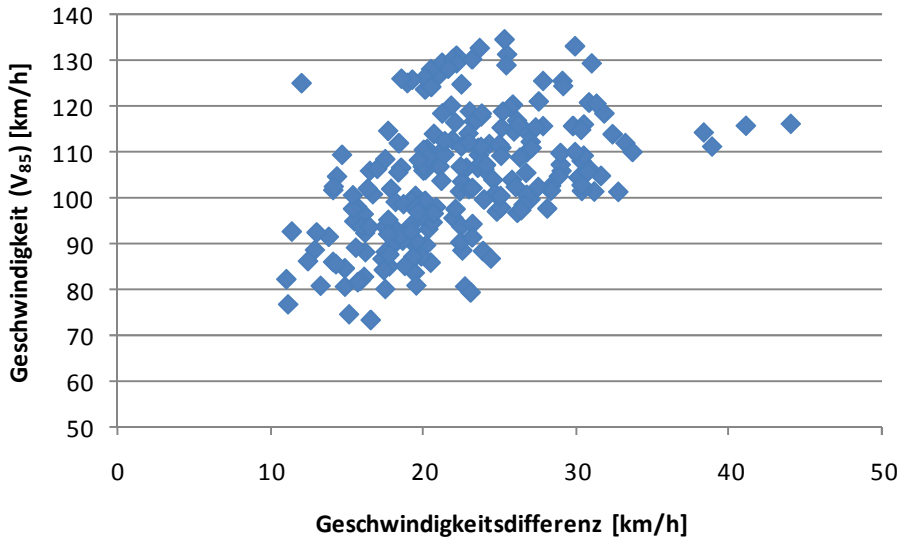


Abb. 59 Perzentilabstände der homogenen Abschnitte in Abhängigkeit der V_{85} (alle Straßentypen, n=224)

Die lokalen Messungen zeigen, dass sich die Perzentilabstände nicht streng straßentypabhängig verändern.

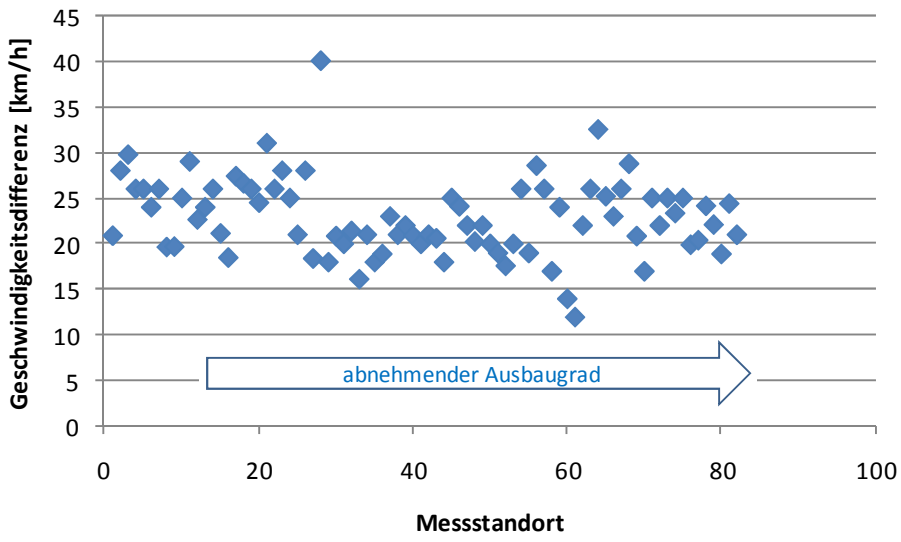


Abb. 60 Perzentilabstände (70%-Kanal) der lokalen Messungen (alle Straßentypen, n=69)

5.3.8 Vorher-Nachher-Vergleich Geschwindigkeitsverhalten Straßentyp 7

Der Vorher-Nachher-Vergleich des Straßentyps 7 konnte anhand der Kreisstraße K 88 zwischen Höfingen und Fischbeck in Niedersachsen vorgenommen werden (vgl. Kapitel 4.2). Die Messungen wurden in drei Phasen durchgeführt (vgl. Abb. 61). Der Einfluss des Gewöhnungseffekts an die neuartige Markierung wurde durch die zweifachen Nachher-Messungen mit in die Beurteilung der Ergebnisse einbezogen.

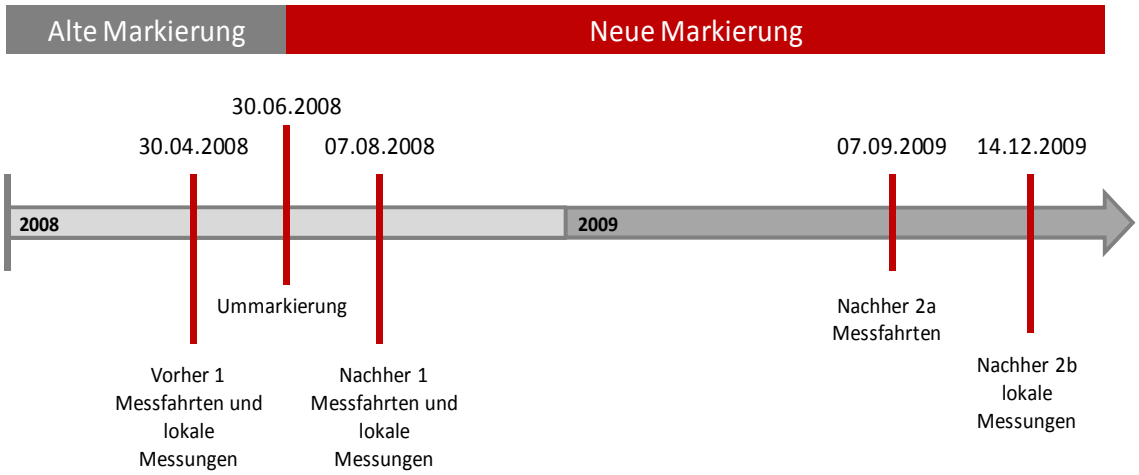


Abb. 61 zeitlicher Ablauf der Vorher-Nachher-Messungen auf der K 88

Die Analyse der mittleren Perzentilgeschwindigkeiten über die Untersuchungsstrecke zeigt kein einheitliches Bild in den Veränderungen. Es treten sowohl Unterschiede zwischen den beiden Fahrtrichtungen als auch zwischen den verschiedenen Messphasen auf. Für die beiden Messphasen Vorher und Nachher 2 liegen die gemittelten Perzentilwerte von Fahrtrichtung 1 um etwa 3 km/h unterhalb den Werten von Fahrtrichtung 2. Für den Messzeitraum während der Gewöhnungsphase hingegen zeigen sich leicht höhere Perzentilwerte für Fahrtrichtung 2 (vgl. Tab. 7).

	Fahrtrichtung 1			Fahrtrichtung 2		
	V_{85}	V_{50}	V_{15}	V_{85}	V_{50}	V_{15}
Vorher	89,9	80,2	71,5	85,7	77,7	68,8
Nachher 1 (3 Monate)	82,9	73,7	63,7	83,4	74,4	66,1
Nachher 2 (1 Jahr)	87,0	79,3	71,0	84,0	76,6	68,6

Tab. 7 durchschnittliche Perzentilwerte der Fahrgeschwindigkeit [in km/h]

Die Entwicklung der mittleren Perzentilwerte weist für beide Fahrtrichtungen auf geringere Geschwindigkeiten bei der neuen Markierungsvariante hin. In Fahrtrichtung 1 wurden für die einzelnen Perzentile drei Monate nach der Ummarkierung (Nachher 1) mittlere Geschwindigkeitsreduktionen zwischen 6,4 und 7,8 km/h erzielt (vgl. Abb. 62). Dies entspricht einer Reduktion von etwa 8 und 11 %. In Fahrtrichtung 2 wurden für den Nachher 1-Fall um 2,3 bis 3,3 km/h geringere durchschnittliche Perzentilwerte als für den Vorher-Fall festgestellt. Die Geschwindigkeitsreduktion lag somit bei etwa 3 bis 4 %. In beiden Fahrtrichtungen stellt sich für alle betrachteten Perzentilwerte eine jeweils etwa gleich große absolute Geschwindigkeitsreduktion ein.

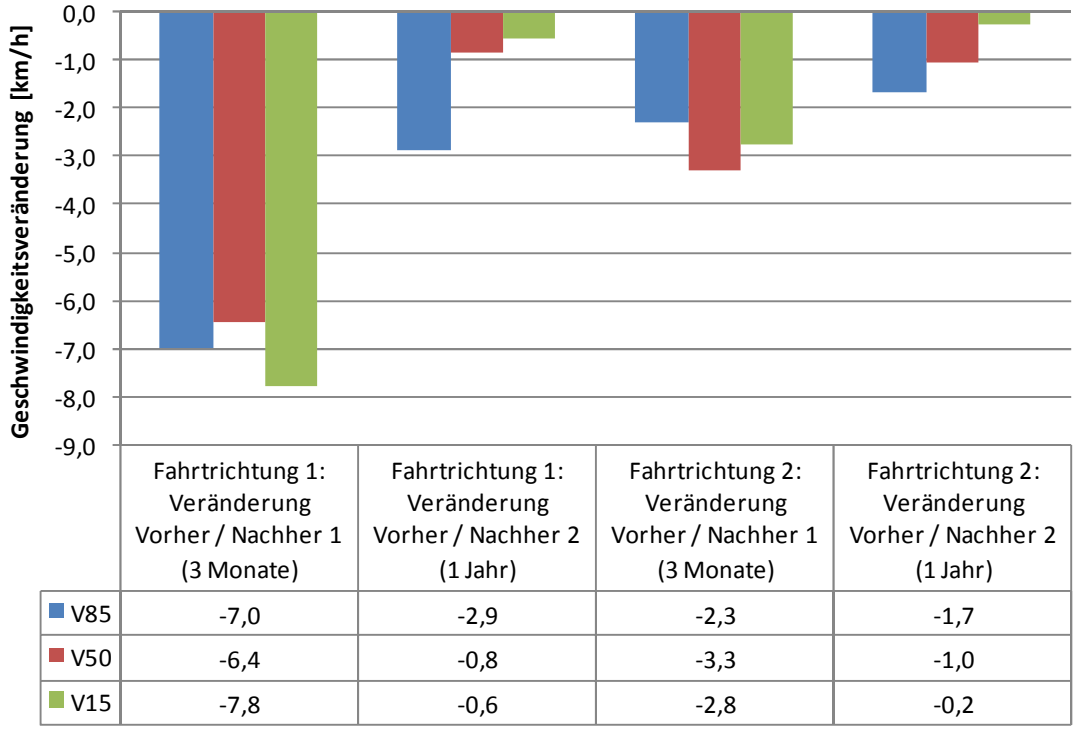


Abb. 62 Veränderung der durchschnittlichen Perzentilgeschwindigkeiten

Ein Jahr nach der Ummarkierung (Nachher 2) zeigen sich für beide Fahrtrichtungen geringere Geschwindigkeitsreduktionen im Vergleich zum Vorher-Zeitraum als beim Nachher 1-Fall. Es ist somit ein deutlicher Gewöhnungseffekt festzustellen. Anders als beim Nachher 1-Fall zeigt sich nach über einem Jahr, dass die Veränderungen der verschiedenen Perzentilwerte unterschiedlich ausgeprägt sind. Die höchsten Reduktio-

nen zeigen sich in beiden Fahrtrichtungen bei der V_{85}. In Fahrtrichtung 1 kann eine um 2,9 km/h (etwa 3 %) geringere V_{85} festgestellt werden. In Fahrtrichtung 2 liegt diese bei 1,7 km/h (etwa 2 %). Es werden somit immer noch geringere Perzentilwerte registriert. Bei der V_{50} liegen die Reduktionen bei etwa 1 %. Bei der V_{15} kann nur eine sehr geringe Reduktion von unter 1 % festgestellt werden. Es kann somit geschlussfolgert werden, dass die neue Markierung insbesondere bei den Schnellfahrern eine Geschwindigkeitsreduktion bewirkt und somit das Ziel einer Absenkung der Höchstgeschwindigkeiten unterstützt. Hiermit ist zugleich eine Verringerung des 70%-Kanals verbunden, was zu einem homogeneren Geschwindigkeitsverhalten des Nutzerkollektivs auf der Untersuchungsstrecke führt.

Die Geschwindigkeitsprofile zeigen in beiden Fahrtrichtungen einen direkten Bezug zu den Trassierungsparametern. Im kurvigeren Streckenteil (vgl. Anhang 7) liegen die Geschwindigkeiten um etwa 10 km/h unter den im geraden Streckenteil ermittelten Geschwindigkeiten (vgl. Abb. 63 und Abb. 64).

In Fahrtrichtung 1 zeigt sich für den Nachher 1-Fall im gesamten Streckenverlauf außerhalb der Beschleunigungs- und Verzögerungsbereiche am Anfang und Ende eine Geschwindigkeitsreduktion von etwa 10 km/h. Im Nachher 2-Fall ist hingegen nur im geraden Streckenteil eine Absenkung der Geschwindigkeiten im Vergleich zum Vorher-Fall um etwa 8 km/h festzustellen. Diese fällt somit etwas geringer aus als im Nachher 1-Fall. Das Geschwindigkeitsprofil der V_{85} von Fahrtrichtung 1 ist in Abb. 63 dargestellt.

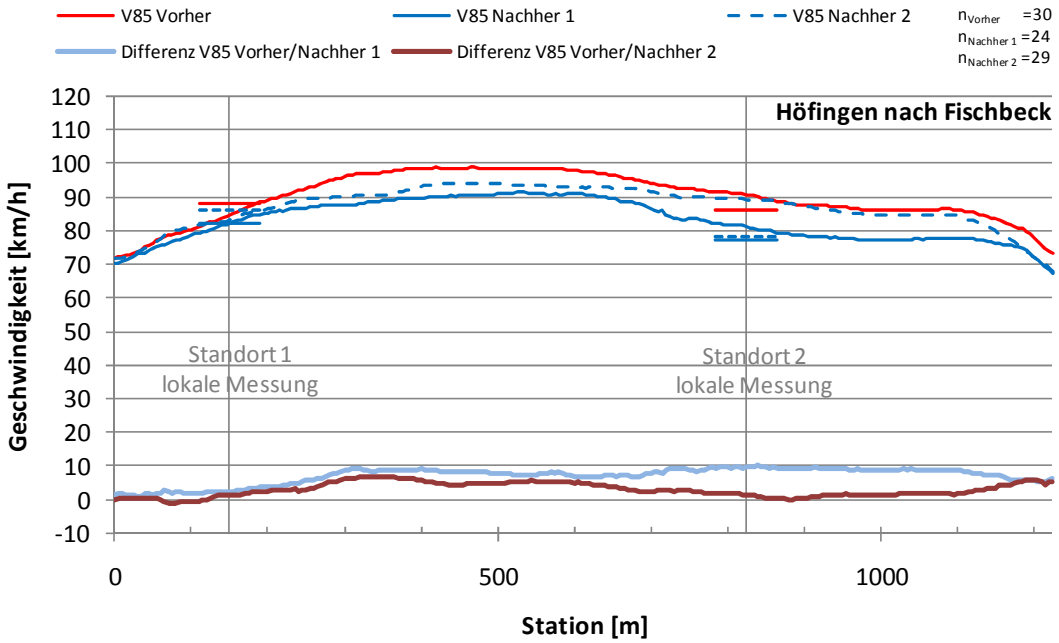


Abb. 63 V_{85}-Geschwindigkeitsprofil der K 88 (Fahrtrichtung 1)

Für Fahrtrichtung 2, die bereits im Vorher-Fall ein etwas geringeres Geschwindigkeitsniveau aufwies, ist kaum eine Geschwindigkeitsdifferenz auszumachen. Lediglich am Beginn und Ende der Messstrecke liegt für beide Untersuchungsfälle mit der neuen

Markierung eine etwas geringere V_{85} vor. Das Geschwindigkeitsprofil der V_{85} von Fahrtrichtung 2 ist in Abb. 64 dargestellt.

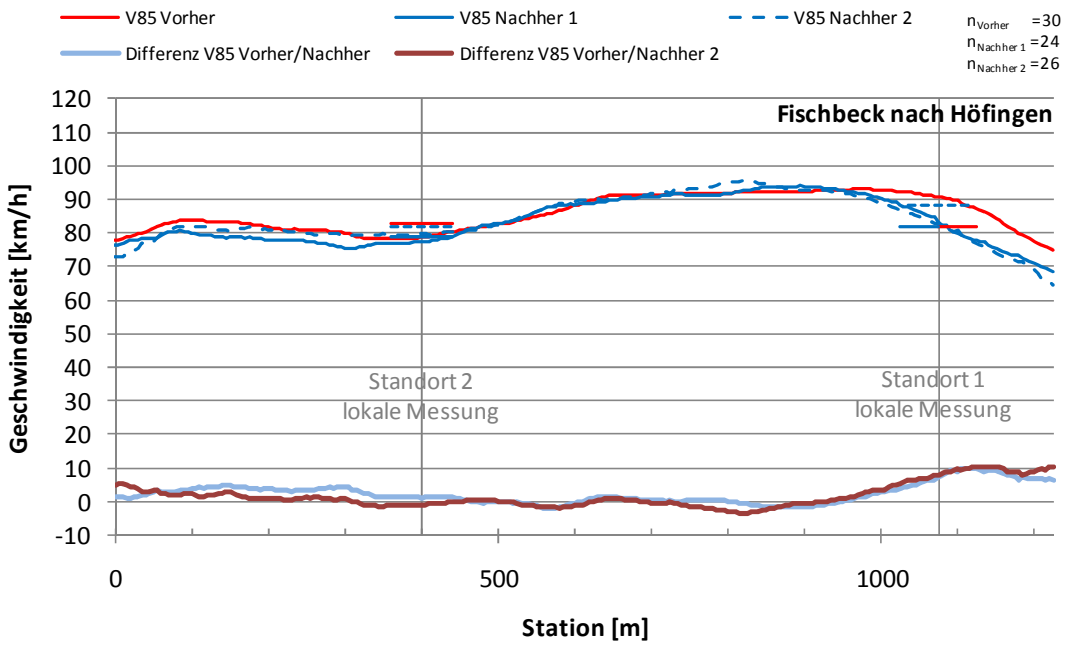


Abb. 64 V_{85}-Geschwindigkeitsprofil K 88 (Fahrtrichtung 2)

Die lokalen Geschwindigkeitsmessungen bestätigen die in den Profilen ermittelten Ergebnisse. Es wurden zwei verschiedene Standorte untersucht (vgl. Abb. 63 und Abb. 64). Hierbei zeigt sich, dass in beiden Fahrtrichtungen am Standort 1 höhere Geschwindigkeiten vorliegen als am Standort 2, der sich im kurvigen Streckenbereich befindet (vgl. Anhang 4).

In Fahrtrichtung 1 werden für beide Nachher-Messungen signifikante Geschwindigkeitsreduzierungen verzeichnet (vgl. Tab. 8). Für den Nachher 1-Fall wurde eine um 6 bzw. 9 km/h geringere V_{85} registriert. Die V_{15} weist um 5 bzw. 7 km/h geringere Werte auf als beim Vorher-Fall. Für den Nachher 2-Fall liegen wieder etwas höhere Werte der V_{85} im Vergleich zum Nachher 1-Fall vor. Es existiert jedoch immer noch eine signifikante Geschwindigkeitsreduzierung im Vergleich zum Vorher-Fall von 2 bzw. 8 km/h für die V_{85}. Bei der V_{15} liegt eine Absenkung im Vergleich zum Vorher-Fall in Höhe von 2 bzw. 6 km/h vor.

In Fahrtrichtung 2 werden für die beiden Nachher-Messungen unterschiedliche Ergebnisse an den beiden Standorten verzeichnet (vgl. Tab. 8). Am Standort 1 liegt für den Nachher 1-Fall kein signifikanter Geschwindigkeitsunterschied zum Vorher-Fall vor. Nur die V_{15} weist leicht geringere Werte auf. Für den Nachher 2-Fall wird sogar eine signifikante Geschwindigkeitserhöhung festgestellt. Am Standort 2 liegt für den Nachher 1-Fall eine signifikante Geschwindigkeitsreduzierung um 4 km/h bei der V_{85} und um 3 km/h bei der V_{15} vor. Für den Nachher 2-Fall wird für die V_{15} ein etwas höherer Wert verzeichnet. Es liegt kein signifikanter Geschwindigkeitsunterschied zum Vorher-Fall mehr vor.

Zusammenfassend kann aus den lokalen Geschwindigkeitsmessungen festgehalten werden, dass im Nachher 1-Fall ein um bis zu 11 % geringere Geschwindigkeitsniveaus der Perzentilwerte vorliegen. Eine Geschwindigkeitserhöhung wurde unabhängig vom Perzentil an keinem der Standorte festgestellt. Beim Nachher 2-Fall stellt sich nach einer Eingewöhnungszeit wieder ein etwas höheres Geschwindigkeitsniveau ein. Trotz der Tatsache, dass auf dem neuen Fahrbahnbelag jedoch höhere Fahrgeschwindigkeiten zu erwarten sind, kann resümierend ein positiver Effekt der neuartigen Markierung auf das Geschwindigkeitsverhalten abgeleitet werden.

	Standort 1					
	Fahrtrichtung 1 (KM 0,150)			**Fahrtrichtung 2 (KM 1,075)**		
	Vorher (30.04.2008) -	**Nachher 1 (07.08.2008) 3 Monate**	**Nachher 2 (14.12.2009) 19 Monate**	**Vorher (30.04.2008) -**	**Nachher 1 (07.08.2008) 3 Monate**	**Nachher 2 (14.12.2009) 19 Monate**
n	313	215	284	353	263	308
V_{15}	65	60	63	60	57	64
V_{50}	76	72	72	70	68	73
V_{85}	88	82	86	82	82	88
t-Test, α= 0.05	Nachher 1 zu Vorher: t=4,43, p<0,001 Nachher 2 zu Vorher: t=3,21, p<0,001			Nachher 1 zu Vorher: t=1,77, p=0,038 Nachher 2 zu Vorher: t=-4,72, p<0,001		

	Standort 2					
	Fahrtrichtung 1 (KM 0,825)			**Fahrtrichtung 2 (KM 0,400)**		
	Vorher (30.04.2008) -	**Nachher 1 (07.08.2008) 3 Monate**	**Nachher 2 (14.12.2009) 19 Monate**	**Vorher (30.04.2008) -**	**Nachher 1 (07.08.2008) 3 Monate**	**Nachher 2 (14.12.2009) 19 Monate**
n	283	282	286	332	325	299
V_{15}	64	57	58	61	58	62
V_{50}	73	67	69	73	67	72
V_{85}	86	77	78	83	79	82
t-Test, α= 0.05	Nachher 1 zu Vorher: t=6,91, p<0,001 Nachher 2 zu Vorher: t=6,13, p<0,001			Nachher 1 zu Vorher: t=5,04, p<0,001 Nachher 2 zu Vorher: t=0,96, p=0,169		

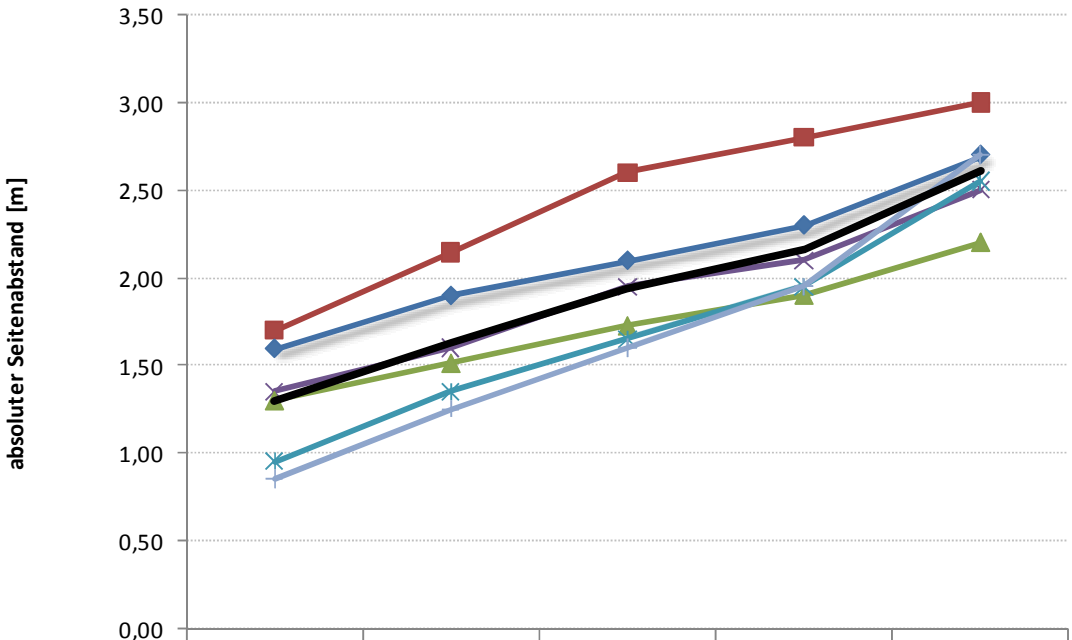
Tab. 8 Perzentile der lokalen Geschwindigkeitsmessungen für Pkw [in km/h]

5.4 Spurverhalten

5.4.1 Lokales Spurverhalten

Das lokale Spurverhalten wird anhand von zwei Gruppen analysiert. Die erste Gruppe besteht aus zweistreifigen Straßenquerschnitten mit einer Fahrbahnbreite von > 6,0 m. Die zweite Gruppe beinhaltet Straßenquerschnitte mit einer Fahrbahnbreite von ≤ 6,0 m. Die Strecken weisen verschiedene Markierungsvarianten auf. Neben schmalen zweistreifigen Querschnitten mit einer Leitlinie in Straßenmitte und Randmarkierungen wurden auch Straßenquerschnitte untersucht, die nur Randmarkierungen aufweisen. Zudem erfolgt ein Vergleich mit dem einstreifigen Querschnitt mit Kernfahrbahn.

Die absoluten Seitenabstände der untersuchten Straßenquerschnitte > 6,0 m (vgl. Abb. 65) zeigen für die breitesten Straßenquerschnitte die größten Seitenabstände zum rechten Fahrbahnrand. Insgesamt bewegen sich die Minimalwerte zwischen 0,85 m beim schmalsten Querschnitt und 1,70 m bei der größten Fahrbahnbreite. Die Maximalwerte liegen zwischen 2,20 und 3,00 m. Unabhängig von der Fahrbahnbreite wurde auf allen Straßen innerhalb des eigenen Fahrstreifens gefahren.

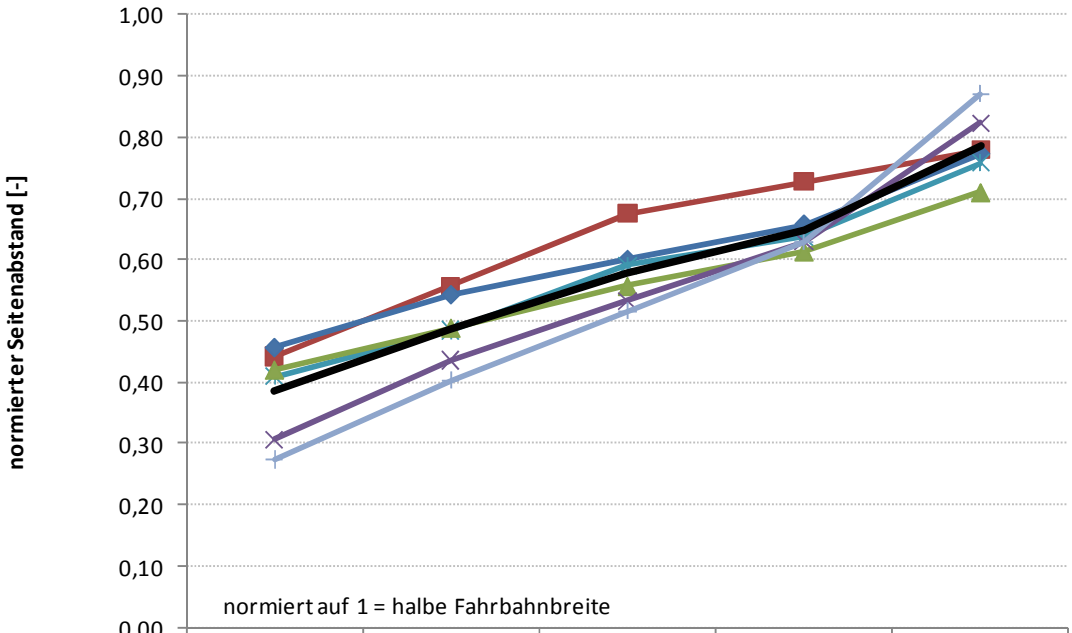


	smin	s15	s50	s85	smax
L38	1,70	2,15	2,60	2,80	3,00
L23	1,60	1,90	2,10	2,30	2,70
B168	1,35	1,60	1,95	2,10	2,50
L40	1,30	1,51	1,73	1,90	2,20
L51	0,95	1,35	1,65	1,95	2,55
L33	0,85	1,25	1,60	1,95	2,70
Mittelwert	1,29	1,63	1,94	2,17	2,61

Abb. 65 absolute Seitenabstände der Fahrzeugachse zum rechten Fahrbahnrand auf Strecken mit Fahrbahnbreiten > 6,0 m

Neben dem absoluten Seitenabstand zum rechten Fahrbahnrand ist der absolute Seitenabstand zum Fahrstreifen des Gegenverkehrs von hoher sicherheitstechnischer Bedeutung. Im Mittel liegt der Perzentilabstand S_{85} der Fahrzeugachse zum Fahrstreifen des Gegenverkehrs bei 1,16 m mit nur geringfügigen Unterschieden zwischen den verschieden breiten Querschnitten. Es verbleibt somit bei einer Fahrzeugbreite von 1,75 m ein Abstand von etwa 29 cm zur Fahrbahnmitte.

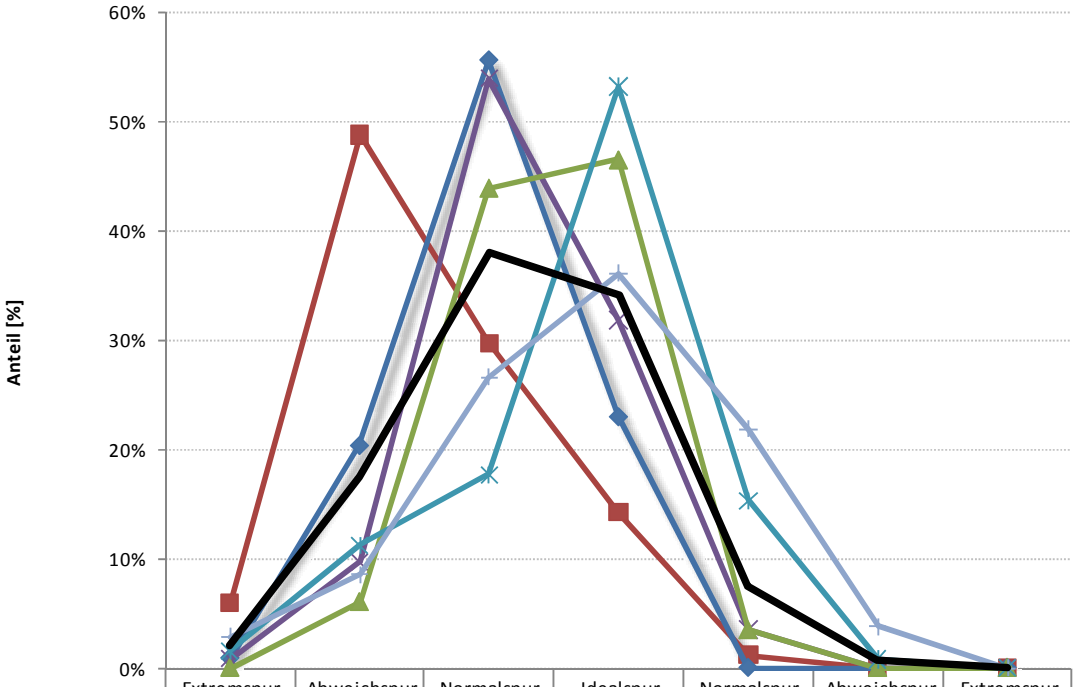
Die normierten Seitenabstände (vgl. Abb. 66) der untersuchten Straßenquerschnitte > 6,0 m zeigen mit zunehmender Fahrbahnbreite einen Versatz der Fahrlinie hin zur Straßenmitte. Eine Erhöhung der Fahrbahnbreite führt somit nicht zu einer linearen Steigerung des seitlichen Abstandes zum Fahrstreifen des Gegenverkehrs. Grundsätzlich wird von der Fahrstreifenmitte nach links versetzt gefahren. Dies verdeutlicht der gemittelte 70%-Kanal zwischen 0,49 und 0,65. Hierbei zeigt sich, dass die linke Kanalhälfte einen geringeren Wert aufweist, was darauf hindeutet, dass die Fahrzeugführer unabhängig von der vorhandenen Fahrbahnbreite einen festen Sicherheitsabstand zum Gegenverkehr wählen.



	smin	s15	s50	s85	smax
L38	0,44	0,56	0,68	0,73	0,78
L23	0,46	0,54	0,60	0,66	0,77
B168	0,41	0,48	0,59	0,64	0,76
L40	0,42	0,49	0,56	0,61	0,71
L51	0,31	0,44	0,53	0,63	0,82
L33	0,27	0,40	0,52	0,63	0,87
Mittelwert	0,38	0,49	0,58	0,65	0,79

Abb. 66 normierte Seitenabstände der Fahrzeugachse zum rechten Fahrbahnrand auf Strecken mit Fahrbahnbreiten > 6,0 m

Die Analyse der Spurtypen (vgl. 5.2.3) zeigt, dass insgesamt 80 % der Fahrzeuge innerhalb des Bewegungsraumes der Normalspur liegen. Bis auf die Strecke mit der höchsten Fahrbahnbreite zeigen alle untersuchten Querschnitte den höchsten Spuranteil innerhalb der Ideal- und der linken Normalspur. Dies verdeutlicht, dass nur bei ausreichend großen Fahrbahnbreiten höhere normierte Seitenabstände auftreten. Zudem wird der Versatz der Fahrlinien hin zur Fahrbahnmitte verdeutlicht.



	Extremspur	Abweichspur	Normalspur	Idealspur	Normalspur	Abweichspur	Extremspur
L38	6%	49%	30%	14%	1%	0%	0%
L23	1%	20%	56%	23%	0%	0%	0%
B168	1%	10%	54%	32%	4%	0%	0%
L40	0%	6%	44%	47%	3%	0%	0%
L51	2%	11%	18%	53%	15%	1%	0%
L33	3%	9%	27%	36%	22%	4%	0%
Mittelwert	2%	17%	38%	34%	8%	1%	0%

Abb. 67 Verteilung der Spurtypen auf Strecken mit Fahrbahnbreiten > 6,0 m

Eine Übertragung des ermittelten lokalen Spurverhaltens auf verschiedene Fahrbahnbreiten lässt sich nur für vergleichbare Fahrbahnbreiten vornehmen. Anhand der beiden untersuchten Straßenquerschnitte mit der höchsten Fahrbahnbreite kann eine Übertragung des Spurverhaltens auf Regelquerschnitte mit einer Fahrbahnbreite von 7,5 m (RQ 10,5) bzw. 8,0 m (RQ 11) vorgenommen werden. Eine Erhöhung der Fahrbahnbreite um 50 cm führt bei der Übertragung der gemittelten Perzentile der normierten Seitenabstände der L 38 bzw. L 23 zu einer Verlagerung des S_{15} Perzentils um etwa 14 cm nach links, das S_{85} Perzentil führt zu einem Seitenabstandsverhalten mit einem Versatz um etwa 18 cm hin zur Fahrbahnmitte. Dies zeigt, dass sich durch eine größere Fahrbahnbreite eine doppelt so große Erhöhung für den Seitenabstand nach rechts ergibt. Da die Erhöhung des Seitenabstandes zum Fahrbahnrand auch durch eine Erhöhung des Randstreifens erzielt werden kann, verbleibt im Wesentlichen ein

Vorteil in der Erhöhung des Seitenabstandes zur Fahrbahnmitte um 7 cm von 25,5 auf 32,5 cm. Da sich dieser Effekt jedoch für beide Fahrtrichtungen einstellen würde, ergibt sich zum Gegenverkehr eine Erhöhung des Seitenabstandes von 14 cm.

Anhand der Straßenquerschnitte an der unteren Grenze kann eine Übertragung des Spurverhaltens auf Straßen mit einer Fahrbahnbreite von 6,5 m vorgenommen werden, um eine Aussage über die Mindestfahrbahnbreite treffen zu können. Eine Übertragung der normierten Seitenabstände des gemittelten S_{15} Perzentils zeigt einen Seitenabstand zum rechten Fahrbahnrand von 58,5 cm. Eine Fahrbahnbreite von unter 6,5 m würde demnach zu einem nicht mehr als ausreichend anzusehenden Seitenabstand von unter 50 cm zum rechten Fahrbahnrand führen. Das S_{85} Perzentil führt zu einem Seitenabstandsverhalten zum Fahrstreifen des Gegenverkehrs von 32,5 cm. Dies zeigt, dass unabhängig von der Fahrbahnbreite ein relativ konstanter Abstand zum linken Fahrtstreifenrand beibehalten wird.

Die absoluten Seitenabstände der untersuchten Straßenquerschnitte ≤ 6,0 m (vgl. Abb. 69) zeigen für die Straßenquerschnitte, die nur eine Randmarkierung aufweisen (L 17, L 29) bei allen Perzentilwerten bis auf S_{max} die größten Seitenabstände zum rechten Fahrbahnrand. Im Mittel liegen diese bei 2,05 bzw. 2,06 m. Der geringste absolute Seitenabstand kann mit im Mittel 1,57 bzw. 1,65 m für die schmalen zweistreifigen Querschnitte mit Leitlinie in Straßenmitte (K 88 vorher, L 98) nachgewiesen werden. Der einstreifige Querschnitt mit der Kernfahrbahn (K 88 nachher) weist absolute Seitenabstände zwischen diesen beiden Querschnittformen auf. Im Mittel konnte hier 1,90 bzw. 1,89 m festgestellt werden. Weiterhin zeigte sich bei den Querschnitten mit Leitlinie in Straßenmitte der geringste 70%-Kanal.

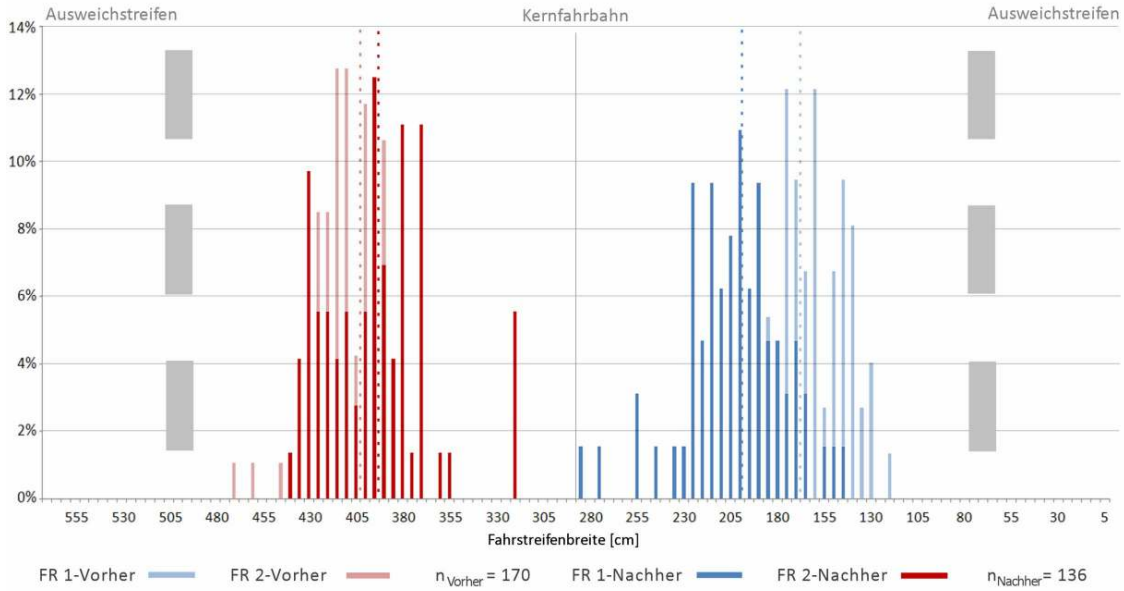
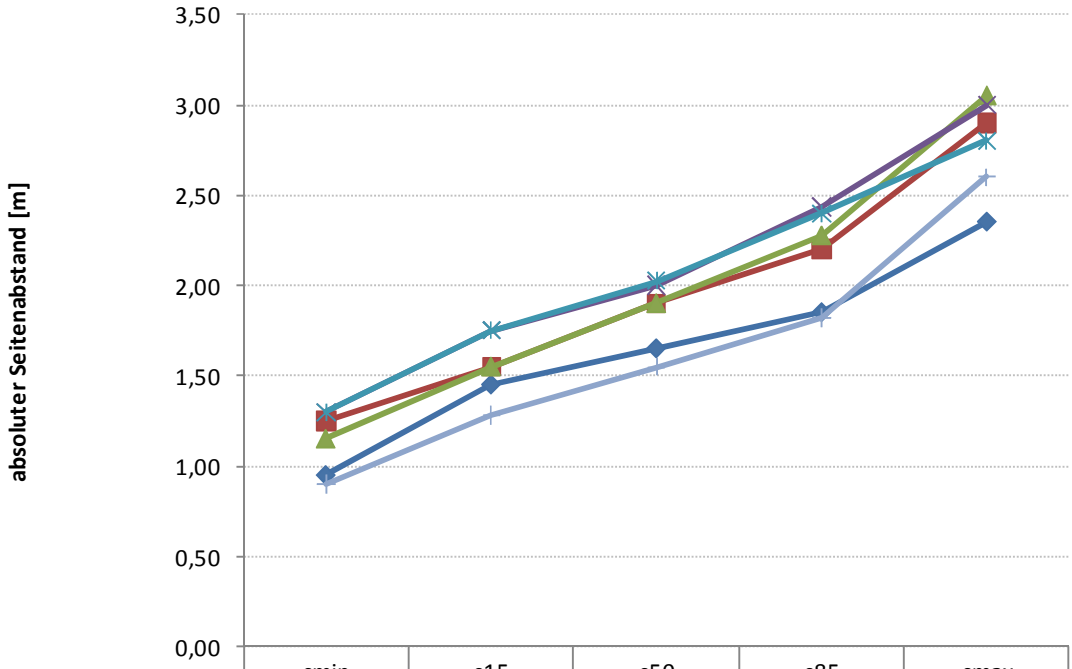


Abb. 68 lokales Spurverhalten auf der K 88 im Bereich einer Geraden bei beiden Markierungsvarianten (Position der Fahrzeugachse)

Die Ergebnisse auf der K 88 zeigen für den Vorher-Fall, dass alle Fahrzeuge im eigenen Fahrstreifen gefahren sind. Im Vergleich dazu zeigt sich, dass bei der neuen

Querschnittsgestaltung eine Fahrlinie links der rechten Ausweichstreifenmarkierung vorliegt und dadurch eine größere Spurtreue als bei den Querschnitten nur mit Randmarkierungen existiert. Hierbei wurde von den freifahrenden Pkw ohne Begegnungsverkehr der rechte Ausweichstreifen nicht in Anspruch genommen. Lediglich in Begegnungsfällen wird dieser seitens der Fahrzeugführer in Anspruch genommen. Im Vergleich zu den schmalen zweistreifigen Querschnitten kann ein Versatz der Fahrlinien um etwa 25 cm hin zur Fahrbahnmitte festgestellt werden (vgl. Abb. 68).

Hinsichtlich des Spurverhaltens über die gesamte Strecke und damit auch über die Kurvenbereiche konnte als Tendenz festgestellt werden, dass die Fahrzeugführer ihr Spurverhalten den Sichtweiten anpassen. Bei geringen Sichtweiten wird in Kurven weiter rechts an der Markierung gefahren. Bei höheren Sichtweiten wird die von beiden Fahrtrichtungen genutzte Kernfahrbahn weiter links befahren.

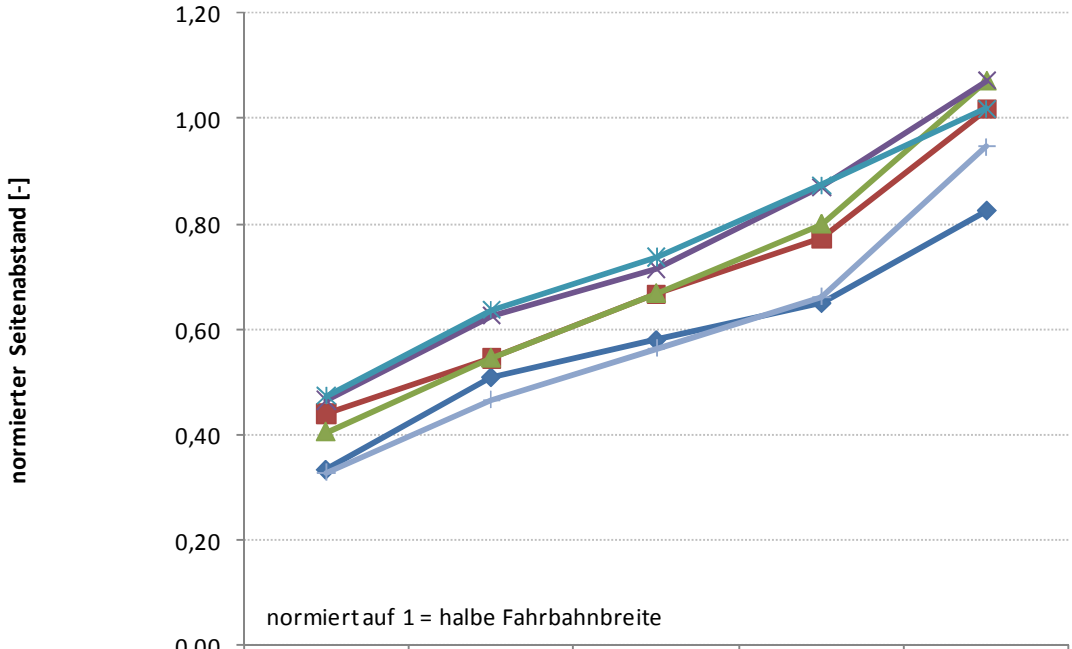


	smin	s15	s50	s85	smax
K88 (vorher)	0,95	1,45	1,65	1,85	2,35
K88 (nachher 1)	1,25	1,55	1,90	2,20	2,90
K88 (nachher 2)	1,15	1,55	1,90	2,28	3,05
L17	1,30	1,75	2,00	2,44	3,00
L29	1,30	1,75	2,03	2,40	2,80
L98	0,90	1,28	1,55	1,82	2,60

Abb. 69 absolute Seitenabstände der Fahrzeugachse auf Strecken mit Fahrbahnbreiten ≤ 6,0 m

Ein Vergleich der normierten Seitenabstände (vgl. Abb. 70) zeigt für die schmalen Querschnitte ≤ 6,0 m ein ähnliches Bild wie die absoluten Seitenabstände. Grundsätzlich ist ein Versatz zur Fahrbahnmitte festzustellen, der sich bei den verschiedenen Markierungsvarianten unterschiedlich ausgeprägt darstellt. Die zweistreifigen Querschnitte liegen im Mittel bei 0,56 bzw. 0,58 im Bereich der breiteren Querschnitte. Bei den Querschnitten mit Randmarkierungen liegt das Mittel des Spurverhaltens bei nor-

mierten Seitenabständen bei 0,71 bzw. 0,74. Für den einstreifigen Querschnitt mit Kernfahrbahn liegen die normierten Seitenabstände im Mittel bei 0,66 bzw. 0,67 und zeigen für beide Messsequenzen konstante Perzentile, sodass auch nach einem Gewöhnungseffekt an die neue Querschnittsgestaltung das gleiche Fahrspurverhalten vorherrscht. Die Maximalwerte bei den Straßenquerschnitten ohne Leitlinie in Fahrbahnmitte steigen auf Werte > 1,0 an. Dies bedeutet, dass die Fahrzeugachse links der Fahrbahnmitte liegt.

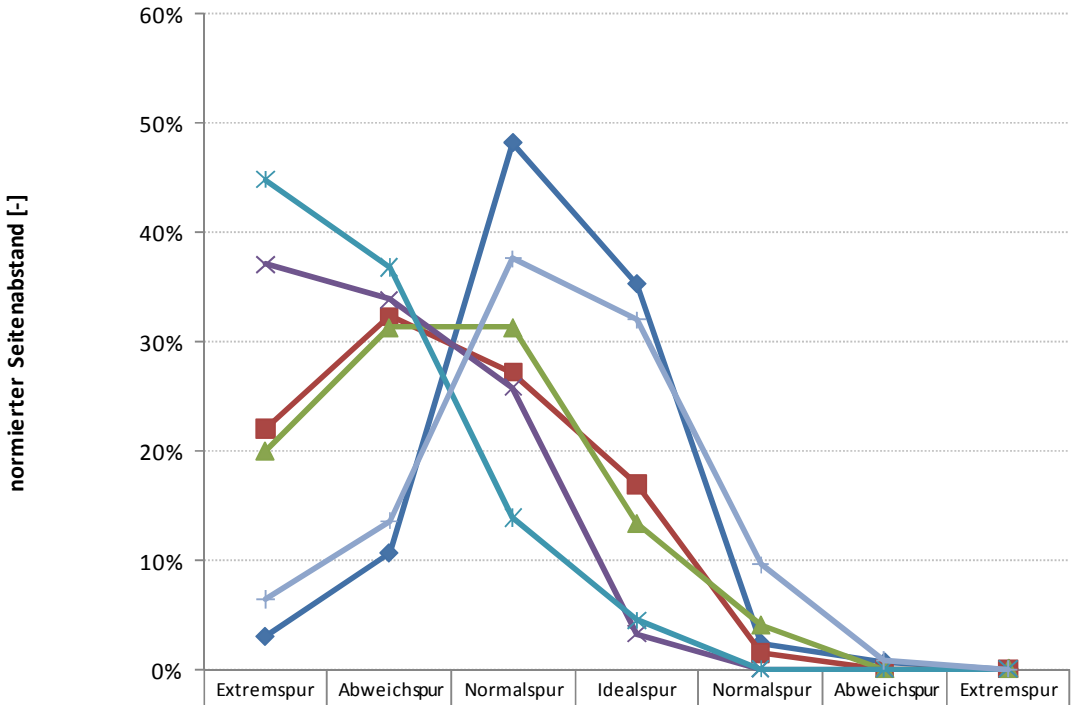


	smin	s15	s50	s85	smax
K88 (vorher)	0,33	0,51	0,58	0,65	0,82
K88 (nachher 1)	0,44	0,54	0,67	0,77	1,02
K88 (nachher 2)	0,40	0,54	0,67	0,80	1,07
L17	0,46	0,63	0,71	0,87	1,07
L29	0,47	0,64	0,74	0,87	1,02
L98	0,33	0,47	0,56	0,66	0,95

Abb. 70 normierte Seitenabstände der Fahrzeugachsen auf Strecken mit Fahrbahnbreiten ≤6,0 m

Die Zuteilung der normierten Seitenabstände zu den Spurtypen (vgl. 5.2.3) ergibt für die Querschnitte ≤ 6,0 m das in Abb. 71 dargestellte Ergebnis. Bei den zweistreifigen Querschnitte ≤ 6,0 m liegen wie bei den zweistreifigen Querschnitte > 6,0 m über 80 % der Fahrlinien im Bereich der Ideal- und Normalspur. Bei den Querschnitten ohne Leitlinie in Straßenmitte ist durch die Entfernung von der Idealspur nach links zur Fahrbahnmitte eine Zunahme der Anteile der linken Spurtypen zu verzeichnen. Beim einstreifigen Querschnitt mit Kernfahrbahn konzentrieren sich die Fahrlinien im Bereich der zur Mitte liegenden Normal- und Abweichspur. Es zeigt sich somit ein Sprung der zwei häufigsten Spurtypen je Markierungsform um je einen Spurtyp in Richtung Fahrbahnmitte vom Straßenquerschnitt ohne Leitlinie in Straßenmitte bis zum Straßenquerschnitt nur mit Randmarkierungen. Insgesamt zeigt sich, dass ein breiterer Spurkanal

auf den Querschnitten ohne Leitlinie in Straßenmitte vorliegt. Die Markierung der Kernfahrbahn bewirkt jedoch eine Orientierung an der rechten Leitlinie.



	Extremspur	Abweichspur	Normalspur	Idealspur	Normalspur	Abweichspur	Extremspur
K88 (vorher)	3%	11%	48%	35%	2%	1%	0%
K88 (nachher1)	22%	32%	27%	17%	1%	0%	0%
K88 (nachher2)	20%	31%	31%	13%	4%	0%	0%
L17	37%	34%	26%	3%	0%	0%	0%
L29	45%	37%	14%	4%	0%	0%	0%
L98	6%	14%	38%	32%	10%	1%	0%

Abb. 71 Verteilung der Spurtypen auf Strecken mit Fahrbahnbreiten ≤6,0 m

Anhand des ermittelten lokalen Spurverhaltens auf der K 88 kann eine Übertragung auf einen einstreifigen Regelquerschnitt mit einer Fahrbahnbreite von 6,0 m (RQ 9) mit unterschiedlichen Ausweichstreifenbreiten vorgenommen werden. Unabhängig von der Fahrbahnbreite kann davon ausgegangen werden, dass die Fahrzeugführer sich an der rechten Markierung des Ausweichstreifens orientieren. Da der Versatz der Fahrlinie beim einstreifigen Querschnitt mit Ausweichstreifen etwa 25 cm im Vergleich zum zweistreifigen Querschnitt beträgt, sollte der Ausweichstreifen nicht weniger als 75 cm betragen, da andernfalls die Erhöhung des Seitenabstandsverhaltens zum rechten Fahrbahnrand wieder egalisiert werden würde.

Für den hauptsächlich vorliegenden Begegnungsfall Pkw-Pkw kann aus dem Spurverhalten der unbeeinflussten Fahrzeuge eine Kernfahrbahnbreite von 4,5 m abgeleitet werden, sodass für die Sicherstellung eines Abstandes zum Gegenverkehr von 20 cm 55 % der Fahrzeuge ihre Fahrlinie nach außen verlagern müssten. Äquivalent hierzu müsste für einen Abstand von 30 cm bei 64 % der Begegnungsfälle eine Anpassung der Fahrlinie erfolgen. Insgesamt verdeutlicht die Darstellung des Abstandes zum Ge-

genverkehr (vgl. Abb. 72), dass nur eine geringfügige Anpassung der Fahrlinien im Begegnungsfall Pkw-Pkw notwendig ist.

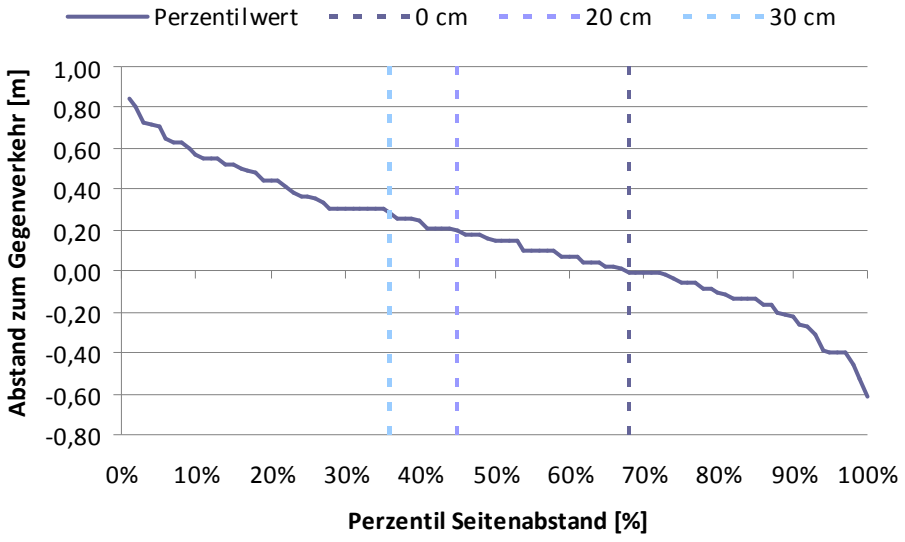


Abb. 72 Abstand zum Gegenverkehr bei einer einstreifigen Querschnittsgestaltung mit 6,0 m Fahrbahnbreite mit beidseitigen 75 cm breiten Ausweichstreifen

5.4.2 Spurverhaltensprofile

Im Zuge der Verfolgungsfahrten wurde auch das Spurverhalten des Messfahrzeugs ermittelt (vgl. Kapitel 5.1.1 und 5.2.3). Dies lässt aufgrund der Methodik (eigenes Spurverhalten) nur grobe Tendenzen zu. Aufgrund der zeitlichen Randbedingungen konnten jedoch keine Einsatzfahrten von Probanden durchgeführt werden. Die Auswertung der Fahrlinien zeigt jedoch, dass für Fragestellungen des Spur- bzw. Spurwechselverhaltens die Methodik der Probandenfahrten zu validen Ergebnissen führen würde. Hierdurch könnte insbesondere anhand der kontinuierlichen Werte die Spurtreue über einen Streckenabschnitt untersucht werden. Weiterhin wäre es möglich, Überholvorgänge zu bewerten.

5.5 Unfallanalyse

Für die betrachteten Untersuchungsstrecken wurden die Unfälle über einen Zeitraum von drei Jahren (2005 bis 2007) erfasst und ausgewertet. Die makroskopische Unfalluntersuchung erlaubte nur eine generelle Einschätzung der Verkehrssicherheit auf den Straßentypen. Bei den mikroskopischen Unfalluntersuchungen ist es möglich, das Unfallgeschehen einzelnen Charakteristiken oder Streckenabschnitten detailliert zuzuordnen. Hierdurch können besondere Kennstellen des Unfallgeschehens auf den Untersuchungsstrecken ermittelt werden. Zusätzlich erfolgt ein Vergleich der mikroskopischen Unfalldaten mit dem Fahrverhalten auf den Untersuchungsstrecken.

5.5.1 Sicherheitstechnische Bewertung der Straßentypen

Insgesamt ereigneten sich 189 Unfälle auf den 25 Untersuchungsstrecken. Diese verteilen sich zu 4 % auf Unfälle mit Getöteten, 15 % auf Unfälle mit Schwerverletzten, 40 % auf Unfälle mit Leichtverletzten und 42 % auf Unfälle mit schweren Sachschäden (inklusive Unfallkategorie 6). Dies entspricht etwa dem Durchschnitt auf Landstraßen in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Unfallkennziffern der Untersuchungsstrecken bestätigen die Ergebnisse der makroskopischen Unfallanalyse (vgl. Kapitel 3.5). Den stärksten Zusammenhang zum Ausbaugrad zeigt wiederum das Sicherheitspotenzial (R^2=0,9526). Mit abnehmendem Ausbaugrad ist ein Anstieg des Sicherheitspotenzials zu erkennen (vgl. Abb. 73).

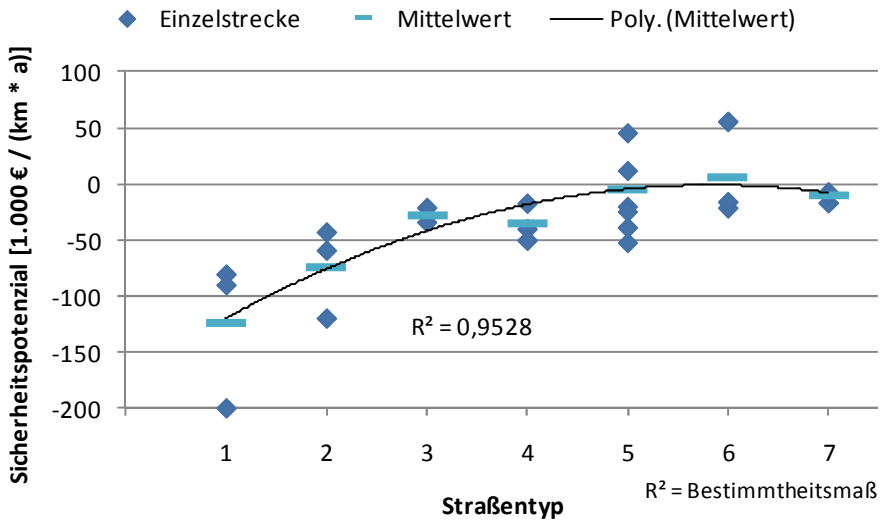


Abb. 73 Sicherheitspotenzial der Untersuchungsstrecken

Die Unfallkostenraten der Untersuchungsstrecken (vgl. Abb. 74) zeigen ebenfalls einen starken Zusammenhang zum Ausbaugrad für die Straßentypen 1 bis 6 (R^2=0,8805), wobei sich drei Sicherheitslevel darstellen. Straßentyp 1, Straßentyp 2 bis 4 und Straßentyp 5 und 6 bilden je ein ähnliches Level der mittleren Unfallkostenrate. Straßentyp 7 zeigt hingegen einen sehr geringen Wert für die Unfallkostenrate, was u.a. auf die geringe Unfallanzahl auf den schwach belasteten Untersuchungsstrecken vom Straßentyp 7 zurückzuführen ist.

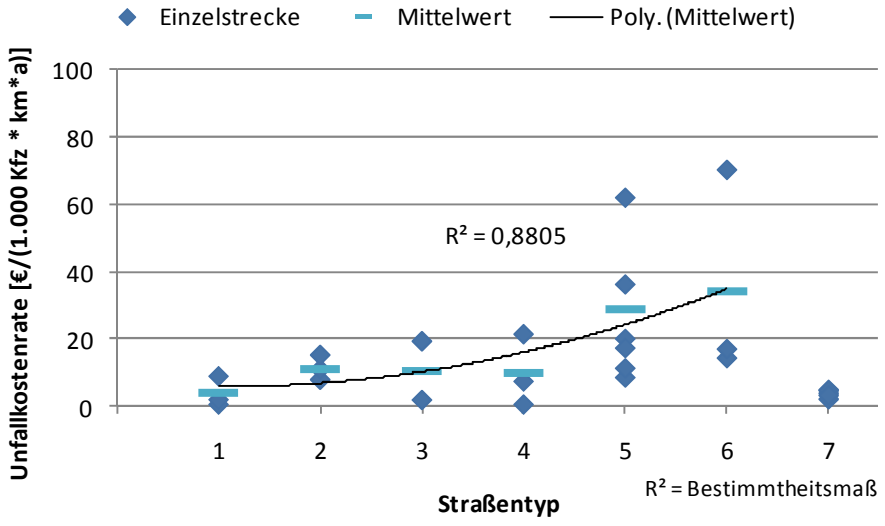


Abb. 74 Unfallkostenraten der Untersuchungsstrecken

Die Unfallrate, Unfalldichte sowie die Unfallkostendichte ergeben in den Untersuchungen einen schwachen Zusammenhang über alle Straßentypen, wobei auch hier drei Tendenzen zu beobachten sind (ohne Abbildungen). Zum einen besteht ein Anstieg vom Straßentyp 1 zu Straßentyp 2 und von Straßentyp 3 zu Straßentyp 6. Zum anderen ist eine Abnahme beim Straßentyp 7 im Vergleich zum Straßentyp 6 zu verzeichnen.

Die Verteilung der Unfallkategorien innerhalb der Straßentypen (vgl. Abb. 75) verdeutlicht, dass beim Straßentyp 7 nur Unfälle mit leichten Personenschäden vorliegen. Bei den anderen Straßentypen zeigt sich, dass bei den Straßentypen 1 und 2 die geringsten Anteile an Unfällen mit schweren Personenschäden vorliegen. Die Straßentypen 3 und 4 zeigen von allen Strecken die höchsten Anteile mit Unfällen mit Personenschäden.

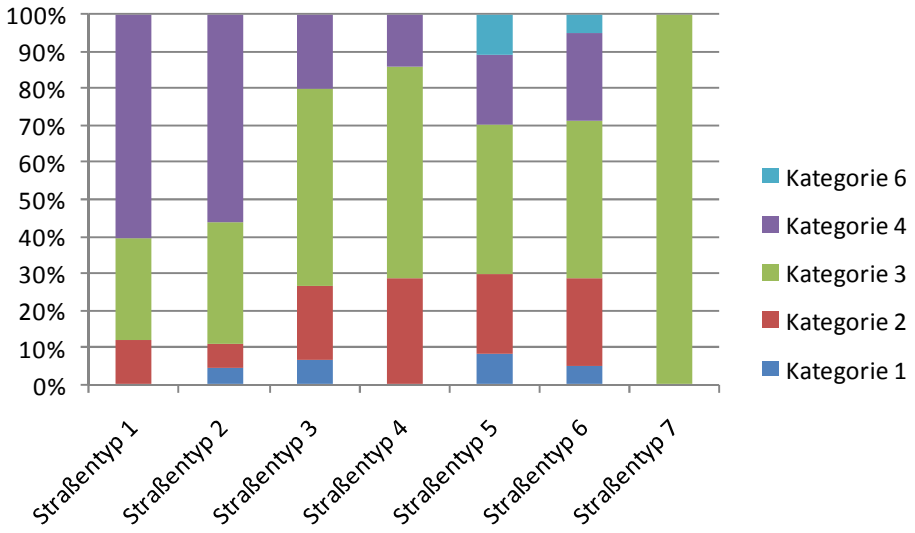


Abb. 75 Verteilung der Unfallschwere (Unfallkategorie) innerhalb der verschiedenen Straßentypen

Die Analyse der Lichtverhältnisse während der Unfallzeitpunkte ergibt mit abnehmendem Ausbaugrad eine Zunahme der Unfälle bei Tageslicht. Beim Straßentyp 1 betragen die Unfälle bei Tageslicht etwa die Hälfte der registrierten Unfälle. Dieser Wert steigt bis auf etwa 80 % beim Straßentyp 7 an. Dies lässt darauf schließen, dass die gestalterischen Mängel als Unfallursache bei niederrangigen Straßen in den Vordergrund treten.

Eine ähnliche Tendenz zeigt sich auch für den Straßenzustand. Während beim Straßentyp 1 lediglich etwa die Hälfte der Unfälle bei Trockenheit passiert ist, ereigneten sich beim Straßentyp 6 etwa 70 % der Unfälle bei Trockenheit. Zudem zeigt sich mit abnehmendem Ausbaugrad ein Anstieg der Unfälle bei trockener Fahrbahn.

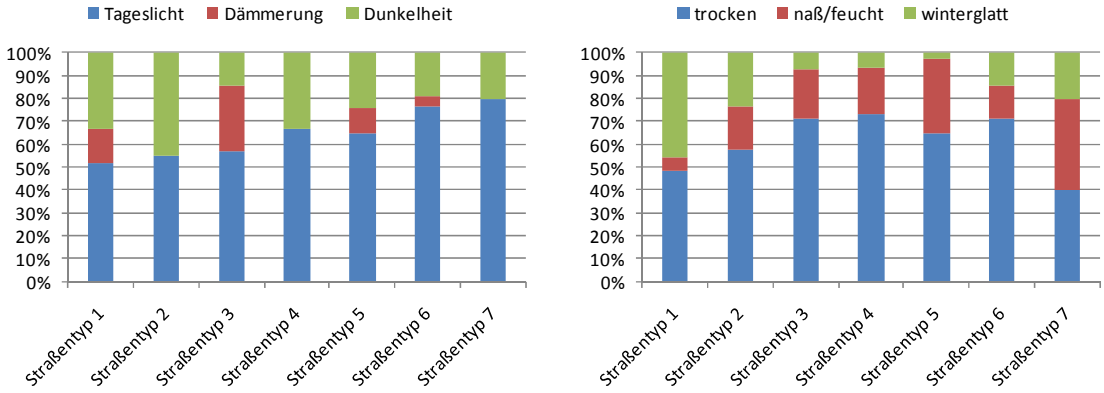


Abb. 76 Verteilung der Unfällen innerhalb der verschiedenen Straßentypen nach Lichtverhältnissen (links) und Straßenzustand (rechts)

Die Verteilung der Unfalltypen innerhalb der Straßentypen verdeutlicht, dass die wesentlichen Ziele der einzelnen Gestaltungsmerkmale der Straßentypen sich positiv auf das Unfallgeschehen auf den Untersuchungsstrecken auswirken. Bei den Straßentypen 1 und 2 zeigt sich, dass die planfreie Führung zu einem Anteil der Knotenpunkt bezogenen Unfälle (Unfalltyp 2+3) von unter 10 % führt. Die verbleibenden Unfälle ereignen sich beim Ein- und Ausfädeln. Dementgegen stehen Anteile der knotenpunktbezogenen Unfälle von mehr als einem Drittel bei den Straßentypen 3 und 5 und etwa der Hälfte beim Straßentyp 6. Bei den Straßentypen 3 und 6 zeigen sich hierbei größere Anteile der Abbiegeunfälle, die sich auf die hohen Fahrgeschwindigkeiten in der Hauptrichtung zurückführen lassen. Straßentyp 4 weist keine Unfälle des Unfalltyps 2 und 3 auf. Die nicht signalisierten Knotenpunkte sind demnach nicht unfallauffällig. Der höhere Ausbaugrad der Knotenpunkte durch die Linksabbiegestreifen scheint sich somit im Vergleich zu den Untersuchungsstrecken des Straßentyps 6 positiv auszuwirken. Aufgrund der Ausbaudaten der Untersuchungsstrecken des Straßentyps 4 muss jedoch eine längere Entwicklung beobachtet werde. Zudem liegen relativ geringe Verkehrsbelastungen in den untergeordneten Knotenpunktarmen vor. Straßentyp 7 weist aufgrund der geringen Verkehrsbelastungen und der damit verbundenen wenigen Ein-/ Abbiege- sowie Kreuzenmanöver nur einen Anteil der Unfalltypen 2+3 von etwa 20 % auf.

Bei den Straßentypen 1 bis 4 dominieren die Fahrunfälle. Der Anteil von Unfällen im Längsverkehr, die durch Konflikte zwischen Verkehrsteilnehmern entstehen, zeigt sich bei den Straßentypen mit Überholfahrstreifen mit etwa 15 bis 20 % als relativ konstant.

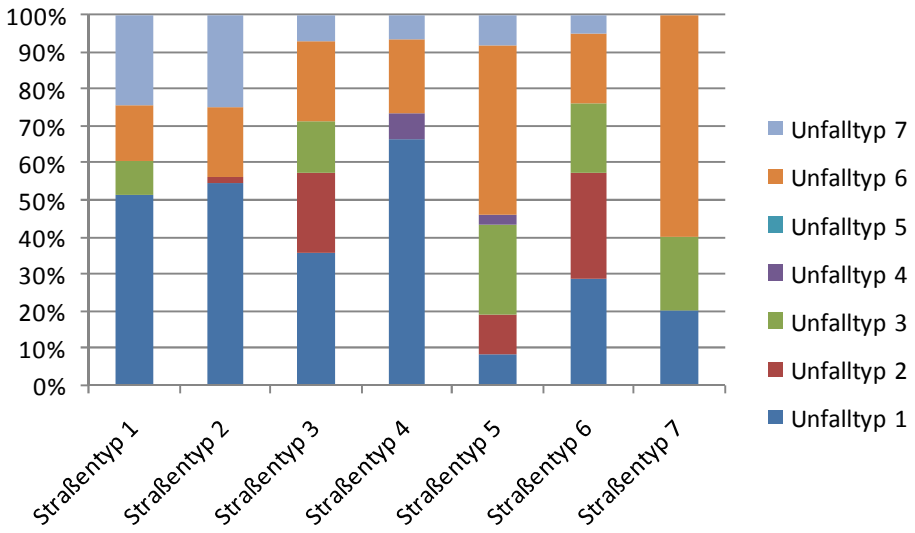


Abb. 77 Verteilung der Unfalltypen innerhalb der verschiedenen Straßentypen

Gleiches kann bei der Verteilung der Unfallarten je Straßentyp festgestellt werden. U.a. führt die Richtungstrennung bei den Untersuchungsstrecken des Straßentyps 1 dazu, dass keine Unfälle mit entgegenkommenden Fahrzeugen vorliegen. Weiterhin ist für die Untersuchungsstrecken mit abschnittsweisen Überholfahrstreifen ein um 23 % geringerer Anteil von Unfällen mit entgegenkommenden Fahrzeugen zu verzeichnen als auf den zweistreifigen Untersuchungsstrecken. Die Implementierung eines geänderten Überholprinzips wirkt sich somit positiv auf das Unfallgeschehen aus.

5.5.2 Unfallgeschehen auf den Untersuchungsstrecken

Die mikroskopische Betrachtung des Unfallgeschehens auf den Untersuchungsstrecken ermöglicht eine Zuordnung zu einzelnen Gestaltungselementen. U.a. lassen sich Defizite in den heutigen Entwurfsstandards aufzeigen und Unfallschwerpunkte definieren. Insbesondere die charakteristischen Merkmale der einzelnen Untersuchungsstrecken wie die Querschnittsgestaltung, das Überholprinzip, die Knotenpunktgestaltung, die zulässige Höchstgeschwindigkeit und die Trassierungselemente werden näher betrachtet.

Straßentyp 1

Untersuchungsstrecke 1 weist 2 Fahrunfälle auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten bei schlechten Witterungsverhältnissen auf. Beide Unfälle sind somit nicht auf die Streckencharakteristik zurückzuführen.

Untersuchungsstrecke 2 weist drei Fahrunfälle und einen Unfall durch ungenügende Ladungssicherung auf. Zwei der Fahrunfälle ereigneten sich wiederum bei winterglatter

Fahrbahn. Trotz der hohen Verkehrsbelastungen ereignen sich keine Unfälle zwischen verschiedenen Fahrzeugen.

Untersuchungsstrecke 3 weist insgesamt 27 Unfälle auf. Die sechs Unfälle, die nicht durch Witterungseinflüsse oder Alkoholgenuss hervorgerufen wurden, sind bis auf einen Unfall den Unfalltypen 3 oder 6 zuzuordnen und zeigen Fehler beim Ein- und Ausfädeln bzw. beim Längsabstandsverhalten.

Auf allen drei Untersuchungsstrecken dominieren die Fahrunfälle, die sich jedoch zumeist bei schlechten Witterungsverhältnissen ereigneten. Die planfreie Führung im Knotenpunkt, die nur zu wenigen Unfällen beim Ein- und Ausfädeln mit geringer Unfallschwere führt, sowie das durchgängig gesicherte Überholprinzip mit der Richtungstrennung induzieren kaum Unfälle und führen zu einem hohen Sicherheitsstandard. Es kann allerdings ein erhöhtes Aufkommen an nicht durch die Straßengestaltung beeinflussbaren Unfällen festgestellt werden. Diese sind zumeist dem sonstigen Unfalltyp zugeordnet und beinhalten u.a. Unfälle mit unzureichender Ladungssicherung bei Lastkraftwagen.

Straßentyp 2

Untersuchungsstrecke 4 weist fünf Unfälle auf. Vier dieser Unfälle waren Fahrunfälle bzw. Unfälle im Längsverkehr, die sich beim Überholen ergaben.

Untersuchungsstrecke 5 weist insgesamt 25 Unfälle auf, die fast ausschließlich aus Fahrunfällen bestehen. Bei drei Unfällen lagen schwere Personenschäden vor. Bei den beiden Unfällen mit Getöteten lag jeweils ein Verlust über die Kontrolle des Fahrzeuges vor. Nur drei der Unfälle zeigen trotz der relativ hohen Verkehrsbelastung Konflikte zwischen Verkehrsteilnehmern im Längsverkehr oder beim Ein- und Ausfädeln.

Untersuchungsstrecke 6 weist insgesamt 34 Unfälle auf, die sich ausschließlich auf Fahrunfälle, Unfälle im Längsverkehr und sonstige Unfälle verteilen. Es ereigneten sich drei Unfälle mit schweren Personenschäden. Der Unfall mit Todesfolge entstand bei einem Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern.

Auf allen drei Untersuchungsstrecken dominieren ebenfalls die Fahrunfälle. Im Vergleich zu den Untersuchungsstrecken des Straßentyps 1 zeigt sich ein höherer Anteil der Unfälle mit Konflikten zwischen den Verkehrsteilnehmern im Längsverkehr. Dies ist auf die wechselnden Überholabschnitte zurückzuführen. Es liegen jedoch ebenfalls nur wenige Unfälle im Bereich der Knotenpunkte vor, was den positiven Einfluss der planfreien Führung im Knotenpunkt verdeutlicht.

Straßentyp 3

Untersuchungsstrecke 7 weist insgesamt zehn Unfälle auf. Es liegt eine Konzentration von fünf Unfällen am signalisierten Knotenpunkt in der Mitte der Untersuchungsstrecke vor. Bei drei dieser Unfälle liegt ein Konflikt eines Abbiegers mit einem entgegenkommenden Fahrzeug vor. Die Unfälle auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten setzen sich aus zwei Unfällen mit Fehlern beim Überholen und zwei Unfällen mit Verlust

der Kontrolle des Fahrzeuges zusammen von denen einer mit einem Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug verbunden war.

Untersuchungsstrecke 8 weist vier Unfälle auf, bei denen es sich ausschließlich um Unfälle auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten handelt. Die drei Fahrunfälle ereignen sich alle in Fahrtrichtung 1 im Bereich der Linkskurve hinter dem Knotenpunkt und sind mit einem Abkommen von der Fahrbahn nach rechts verbunden. Beim Unfall in der Gegenrichtung handelt es sich um einen Fehler im Längsverkehr am Ende des Überholfahrstreifens.

Auf beiden Untersuchungsstrecken zeigt sich, dass die Unfälle auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten zu etwa der Hälfte Alleinunfälle sind, die zumeist auf ein nicht angepasstes Geschwindigkeitsverhalten zurückzuführen sind. Zudem ereignen sich Unfälle im Zuge von Überholmanövern trotz der angeordneten Überholfahrstreifen. Diese liegen zumeist im Vorlauf der Wechselbereiche. Weiterhin kann auf einer der Untersuchungsstrecken eine Konzentration von Unfällen am signalisierten Knotenpunkt festgestellt werden. Die zweite Untersuchungsstrecke ist diesbezüglich unauffällig.

Straßentyp 4

Untersuchungsstrecke 9 weist nur einen Unfall auf. Allerdings liegt aufgrund des Ausbaus nur ein auswertbarer Zeitraum von einem Jahr für die Unfallanalyse vor. Der Unfall ereignete sich in Fahrtrichtung 0 hinter dem zweiten Knotenpunkt im Bereich des Übergangs vom dreistreifigen zum zweistreifigen Abschnitt. Der dreistreifig ausgebildete Streckenabschnitt weist somit keine Unfälle auf.

Untersuchungsstrecke 10 weist insgesamt neun Unfälle im Untersuchungszeitraum auf. Bei allen Unfällen handelt es sich um Fahrunfälle oder Unfälle im Längsverkehr. Alle acht Fahrunfälle sind mit einem Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links verbunden. Es zeigt sich, dass nur ein Unfall im Bereich eines angeordneten Überholfahrstreifens vorliegt. Dieser endete jedoch tödlich. Alle anderen Unfälle ereignen sich im Bereich der zweistreifigen Zwischenabschnitte. Hierbei ist eine Konzentration der Unfälle am Beginn der zweistreifigen Bestandsabschnitte festzustellen. Es zeigt sich somit, dass die durch die Überholabschnitte hervorgerufenen höheren Fahrgeschwindigkeiten in den Übergangsbereichen zu einem erhöhten Unfallaufkommen führen. Insbesondere am Übergang aus dem Überholfahrstreifen in den zweistreifigen Streckenabschnitt in Fahrtrichtung 1 nach dem ersten Knotenpunkt tritt dies auf.

Untersuchungsstrecke 11 weist fünf Unfälle auf. Neben drei Fahrunfällen, die alle mit dem Abkommen von der Fahrbahn verbunden sind, existiert ein Unfall im Längsverkehr und ein Überschreiten-Unfall. Die Unfälle ereignen sich sowohl in zweistreifigen als auch in dreistreifigen Bereichen der Untersuchungsstrecke.

Auf den Untersuchungsstrecken dominieren die Fahrunfälle. Insgesamt sind bei nur etwa einem Viertel der Unfälle mehrere Verkehrsteilnehmer beteiligt. Die Alleinunfälle dominieren somit. Dies lässt darauf schließen, dass ohne eine Interaktion zwischen den Verkehrsteilnehmern durch das höhere Geschwindigkeitsniveau ein erhöhtes Unfallrisiko insbesondere am Beginn der zweistreifigen Bereiche im Anschluss an Stre-

ckenabschnitte mit Überholfahrstreifen hervorgerufen wird. Zudem ereignen sich im Bereich der zweistreifigen Streckenabschnitte vermehrt Baumunfälle. Knotenpunktunfälle werden auf den drei Untersuchungsstrecken nicht verzeichnet, was im Wesentlichen auf die schwache Verkehrsbelastung der zu verknüpfenden Straße zurückzuführen ist.

Straßentyp 5

Untersuchungsstrecke 12 weist fünf Unfälle auf. Drei Unfälle ereigneten sich am Kreisverkehr mit Fahrzeugen, die vorausgefahren sind oder gewartet haben. Die beiden Unfälle auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten waren jeweils mit einem Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug verbunden, wobei nur einer durch Fehler beim Überholen hervorgerufen wurde und weisen eine höhere Unfallschwere auf.

Untersuchungsstrecke 13 weist fünf Unfälle auf. Es ereignete sich jeweils ein Unfall am Kreisverkehr und an der Einmündung. Zudem existieren ein Überschreiten-Unfall und ein Unfall mit einem Radfahrer. Die schwerste Unfallfolge (tödlich) liegt wiederum für den Unfall auf knotenpunktfreiem Streckenabschnitt mit einem entgegenkommenden Fahrzeug vor.

Untersuchungsstrecke 14 weist fünf Unfälle auf. Die drei Unfälle mit der geringsten Unfallschwere ereigneten sich am Kreisverkehr. Zudem sind zwei Unfälle im Längsverkehr auf knotenpunktfreiem Streckenabschnitt zu verzeichnen, von denen der Überholunfall wiederum die schwerste Unfallfolge (SP) aufweist. Am zweiten Unfall war ein Lastkraftwagen mit Spezialaufbau beteiligt, der in den Fahrstreifen des Gegenverkehrs ragte.

Untersuchungsstrecke 15 weist sieben Unfälle auf. Drei Unfälle ereigneten sich im Bereich des Kreisverkehrs. Ein Unfall wurde hierbei durch einen alkoholisierten Radfahrer verursacht. Vier Unfälle ereigneten sich auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten, von denen alle durch Fehler beim Überholen hervorgerufen wurden. Bei den beiden Unfällen mit der schwersten Unfallfolge lag wiederum ein Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug vor.

Untersuchungsstrecke 16 weist acht Unfälle auf. Zwei Unfälle ereigneten sich an Knotenpunkten, wobei der Unfall am Kreisverkehr unter Alkoholeinfluss stattfand. Die anderen Unfälle traten im knotenpunktfreien Streckenabschnitt auf. Neben einem Überholunfall traten zwei durch Krafträder hervorgerufene Unfälle im Längsverkehr auf. Zudem wurden zwei Unfälle durch Wende- bzw. Abbiegemanöver an Zufahrten von Wirtschaftswegen herbeigeführt.

Untersuchungsstrecke 17 weist sieben Unfälle auf. Zwei Unfälle ereigneten sich an den Kreisverkehren. Diese Unfälle hatten die geringste Unfallschwere (SS). Neben zwei Alkoholunfällen lagen drei Unfälle mit Personenschäden vor. Hierbei endete der durch einen Fahrunfall hervorgerufene Unfall mit einem Motorrad tödlich. Die beiden weiteren Unfälle ereigneten sich durch Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern im Längsverkehr.

Auf den Untersuchungsstrecken des Straßentyps 5 liegen ausschließlich Unfälle mit mehreren Beteiligten vor. Es dominieren Unfälle im Längsverkehr sowie Knotenpunktunfälle von zumeist geringerer Unfallschwere. Bei den Unfällen auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten ist ein hoher Anteil von Überholunfällen zu verzeichnen. Diese weisen insbesondere für die zu etwa der Hälfte auftretenden Unfälle mit einem Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug eine hohe Unfallschwere auf. Die Unfälle mit schweren Personenschäden sind fast ausschließlich Überholunfällen zuzuordnen. Baumunfälle liegen kaum vor. Zumeist ist kein Aufprall auf ein Hindernis im Seitenraum mit dem Unfall verbunden.

Straßentyp 6

Untersuchungsstrecke 18 weist einen Unfall auf. Dieser ereignete sich im Bereich einer Kurve und resultierte in einem Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug mit schwerem Personenschaden.

Untersuchungsstrecke 19 weist zehn Unfälle auf. Im Bereich der knotenpunktfreien Streckenabschnitte ereigneten sich sechs Alleinunfälle, die bis auf einen durch Wild auf der Fahrbahn hervorgerufenen Unfall alle mit Fahrfehlern und einem Abkommen von der Fahrbahn nach links verbunden waren. Vier Unfälle endeten zudem mit einem Aufprall auf einen Baum. Im zweiten Streckenteil liegen neben drei Knotenpunktunfällen zwei Unfälle im Längsverkehr vor, die durch falsches Abstandsverhalten sowie Kurvenschneiden hervorgerufen wurden.

Untersuchungsstrecke 20 weist neun Unfälle auf. Diese setzen sich bis auf zwei Unfälle aus Knotenpunktunfällen mit mehreren Beteiligten zusammen und bestehen etwa gleichverteilt aus Abbiege bzw. Einbiegen-/ Kreuzen-Unfällen. Ein Unfall auf knotenpunktfreiem Streckenabschnitt wurde durch das Missachten des Rechtsfahrgebotes hervorgerufen und resultierte in einem tödlichen Ausgang.

Auf allen drei Untersuchungsstrecken zeigt sich, dass eine Konzentration der Unfälle an den Knotenpunkten vorliegt. Zudem werden aufgrund der geringeren Verkehrsbelastungen vermehrt Alleinunfälle auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten verzeichnet, die häufig mit einem Aufprall im Seitenraum verbunden sind und eine hohe Unfallschwere aufweisen. Überholunfälle liegen anders als bei den Untersuchungsstrecken des Straßentyps 5 nicht vor.

Straßentyp 7

Die Untersuchungsstrecken 21 bis 25 weisen jeweils einen Unfall mit jeweils leichten Personenschäden als schwerster Unfallfolge auf. Neben einem Fahrunfall und einem Unfall an einem Knotenpunkt liegen drei Unfälle im Längsverkehr vor, die alle unabhängig von der vorliegenden Markierungsvariante zu einem Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug führten. Trotz der geringen Verkehrsbelastungen werden somit auf den Untersuchungsstrecken vom Straßentyp 7 überwiegend Unfälle mit mehreren Beteiligten verzeichnet. Die Unfälle ereignen sich zumeist in Einzelkurven im Anschluss an Geraden.

5.5.3 Abgleich Fahrverhalten und Unfallgeschehen

Der Abgleich des Fahrverhaltens der Verfolgungsfahrten mit dem Unfallgeschehen ermöglicht es, jene Streckencharakteristiken herauszuarbeiten, die offensichtlich zu einem nicht angepassten Fahrverhalten führen oder aus sonstigen Gründen nicht für eine sicher befahrbare Landstraße geeignet sind. Hierzu werden einzelne Unfallgruppen einem Fahrverhaltensparameter gegenübergestellt.

Geschwindigkeit

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Fahrgeschwindigkeit aus den Verfolgungsfahrten und der Unfallkategorie liegt nicht vor (vgl. Abb. 78). Dies verdeutlicht zum einen, dass die Unfallschwere nicht grundsätzlich von der Fahrgeschwindigkeit des Kollektivs abgeleitet werden kann, sondern stark vom Individualverhalten der Fahrzeugführer abhängig ist. Zum anderen wird deutlich, dass die Unfallschwere im Wesentlichen von den vorliegenden Randbedingungen der Strecken abhängig ist.

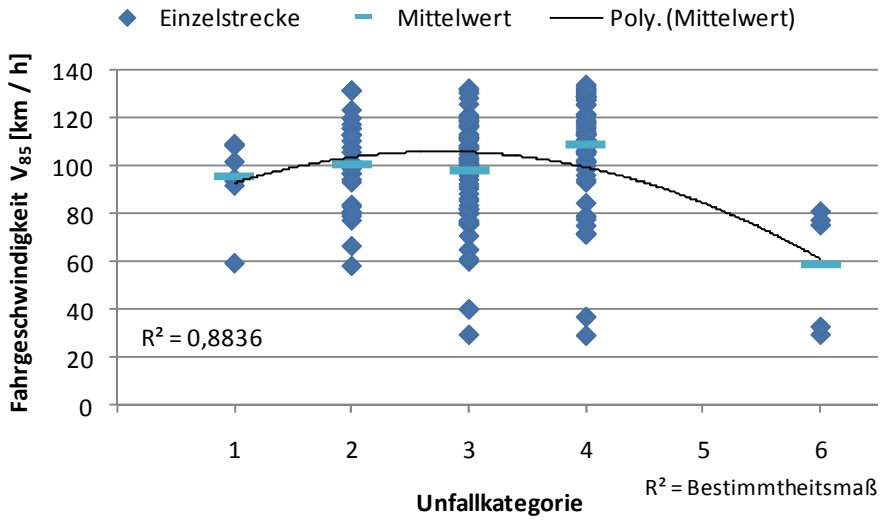
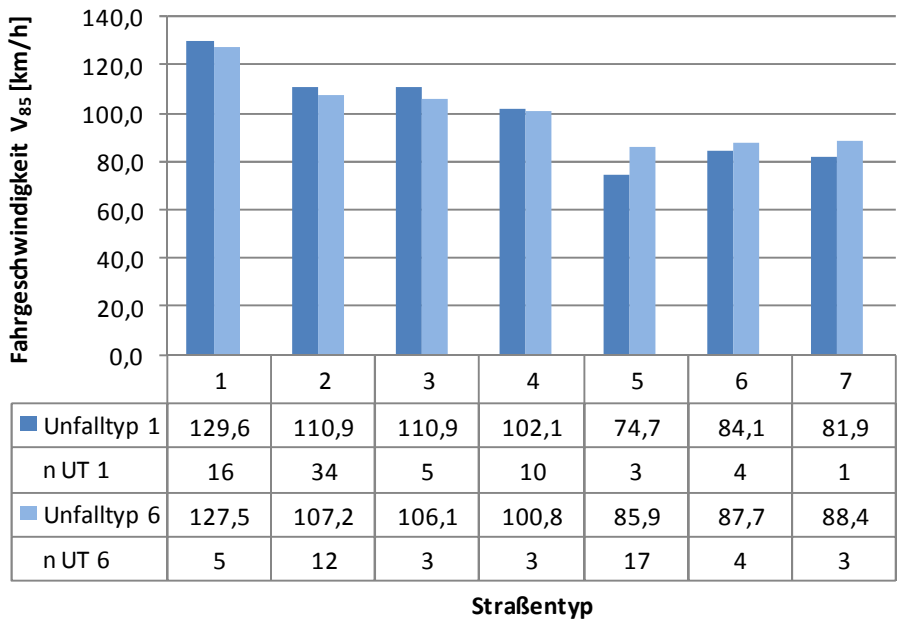


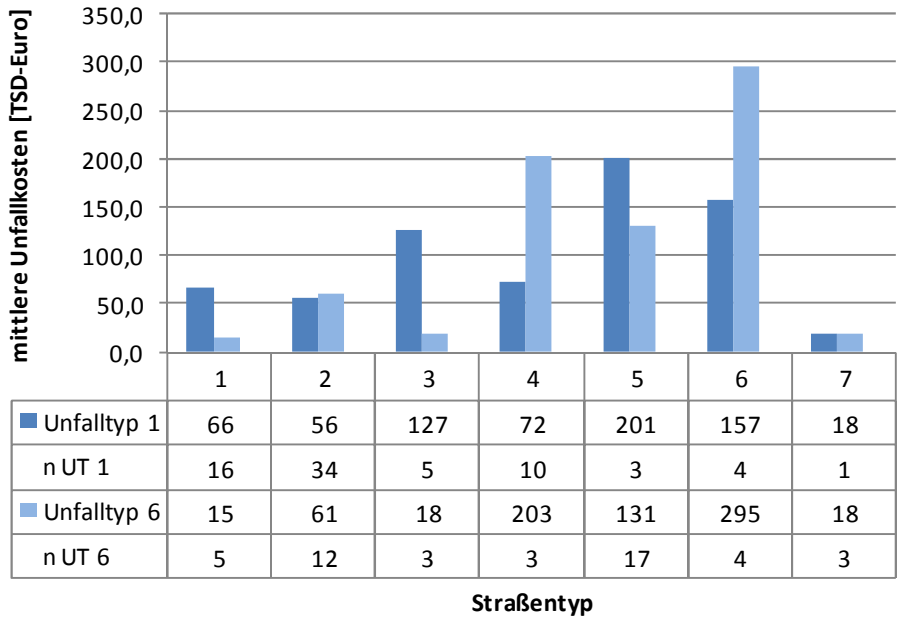
Abb. 78 V_{85} der Unfälle nach Unfallkategorie (n=184)

Der Einfluss der vorliegenden Streckencharakteristik auf die Unfallschwere kann insbesondere durch die genaue Betrachtung der beiden Unfalltypen 1 und 6 (Fahrunfälle und Unfälle im Längsverkehr) belegt werden. Die Analyse der Fahrgeschwindigkeiten der beiden Unfalltypen verdeutlicht den bereits festgestellten Zusammenhang zu der straßentypspezifischen Geschwindigkeit (vgl. Abb. 79). Die Betrachtung der Unfallschwere der beiden Unfalltypen zeigt, dass insbesondere für die Straßentypen 4 bis 6 bei den Unfällen im Längsverkehr ein starker Anstieg der mittleren Unfallkosten verzeichnet wird (vgl. Abb. 80). Dies ist zumeist auf Unfälle zurückzuführen, die in direktem Zusammenhang zu einem Überholmanöver stehen. Zudem liegen bei den Straßentypen 5 und 6 die höchsten mittleren Unfallkosten bei den Fahrunfällen vor.



	1	2	3	4	5	6	7
Unfalltyp 1	129,6	110,9	110,9	102,1	74,7	84,1	81,9
n UT 1	16	34	5	10	3	4	1
Unfalltyp 6	127,5	107,2	106,1	100,8	85,9	87,7	88,4
n UT 6	5	12	3	3	17	4	3

Abb. 79 V_{85} der Unfälle des Unfalltyps 1 und 6 nach Straßentypen



	1	2	3	4	5	6	7
Unfalltyp 1	66	56	127	72	201	157	18
n UT 1	16	34	5	10	3	4	1
Unfalltyp 6	15	61	18	203	131	295	18
n UT 6	5	12	3	3	17	4	3

Abb. 80 mittlere Unfallkosten der Unfälle des Unfalltyps 1 und 6 nach Straßentypen

Auf den Straßentypen 3 bis 7 ereigneten sich insgesamt 29 Unfälle des Unfalltyps 2 oder 3 (Abbiege- und Einbiege-/ Kreuzen-Unfälle), wobei sich fünf an einer durch eine Lichtsignalanlage geregelten Kreuzung ereigneten. Die höchste mittlere Geschwindigkeit der V_{85} liegt mit etwa 82 km/h an den Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage vor. Die Einmündungen und Kreuzungen ohne Lichtsignalanlage (n=19) weisen im Mittel eine V_{85} von etwa 77 km/h vor. Bei den Unfällen an Kreisverkehren wird im Mittel eine V_{85} von etwa 33 km/h verzeichnet. Die V_{85} in Abhängigkeit der Unfallkategorie zeigt für die Orte der Unfallkategorie 3 mit etwa 79 km/h eine um etwa 3 km/h höhere Geschwin-

digkeiten für Orte der Unfallkategorie 4. Ein wesentlicher Unterschied der Geschwindigkeiten an den Unfallorten ist somit nicht feststellbar.

Querbeschleunigung

Insgesamt wurden 46 Unfälle mit einem Abkommen von der Fahrbahn registriert. Zwei Drittel dieser Unfälle entfallen auf den rechten Seitenraum. Es zeigt sich, dass alle Straßentypen Abkommenunfälle aufweisen. Allerdings ist bei den höherrangigen Straßentypen dieser zumeist ohne Aufprall oder mit Aufprall auf einen Schutzeinrichtung verbunden. Bei den niederrangigen Straßentypen liegt häufig ein Aufprall auf Bäume mit einer höheren Unfallschwere vor. Ein Abgleich der Abkommenunfälle mit den vorliegenden mittleren Querbeschleunigungen sowie den mittleren Geschwindigkeiten der Fahrprofile am Unfallort zeigt, dass sowohl für das Abkommen nach rechts als auch nach links kein eindeutiger Zusammenhang vorliegt. Es zeigt jedoch den physikalischen Zusammenhang, dass mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit auch höhere Querbeschleunigungen vorliegen. Dies begründet u.a. das Auftreten von Abkommenunfällen bei den höherrangigen Straßentypen und verdeutlicht die Notwendigkeit von größeren Trassierungselementen für diese Straßen.

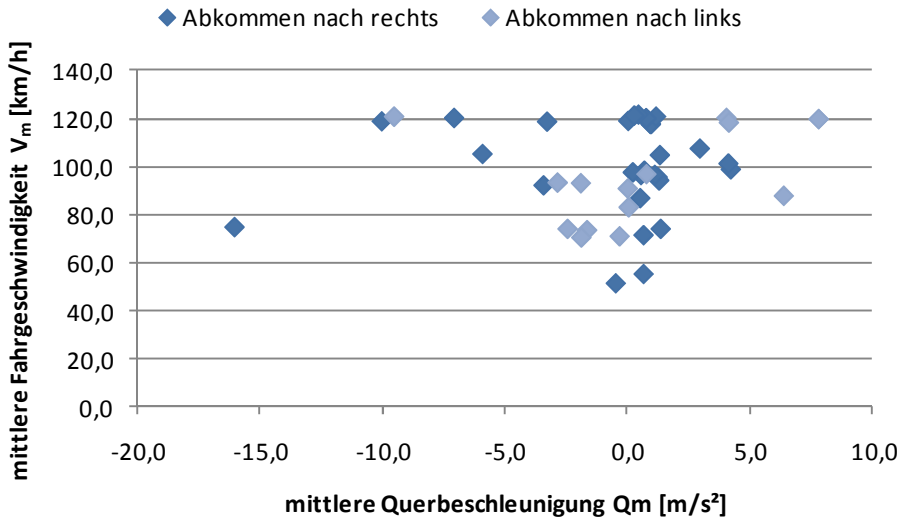


Abb. 81 Mittlere Querbeschleunigungen an den Unfallorten von Abkommenunfällen

6 Validierung der Ergebnisse durch Fahrsimulatorversuche

Die Validierung dient der Kontrolle der Zielerreichung der definierten Parameter für die einzelnen Straßentypen. Ziel dieser Untersuchungen ist es, die Streckencharakteristiken zu identifizieren, die auf eine sichere bzw. unsichere Gestaltung hindeuten. Hierbei soll insbesondere nachgewiesen werden, dass mit der Anwendung der eindeutig von einander unterscheidbaren Straßentypen die jeweils angemessene planerische Geschwindigkeit erzielt werden kann oder zumindest annähernd erreicht werden kann. Unter anderem soll der Einfluss der Kreisverkehre auf das Geschwindigkeitsverhalten auf der freien Strecke sowie der Einsatz des einstreifigen Querschnitts untersucht werden.

6.1 Methodik der empirischen Untersuchungen im Fahrsimulator

Als Grundlage für die Versuche im Fahrsimulator dienten die erarbeiteten Erkenntnisse über die Zusammensetzung günstiger Gestaltungsvarianten der Straßentypen. Insgesamt wurden elf Gestaltungsvariationen untersucht (vgl. Tab. 9 und Tab. 10). Es handelt es sich dabei um fünf verschiedene Straßentypen. Neben fünf fahrverhaltensoptimierten Strecken, die angenähert an die RAL [30] entworfen wurden, wurden als Vergleich fünf Referenzstrecken, die aus den Daten realer Strecken bestanden untersucht. Im Wesentlichen unterscheiden sich die Referenzstrecken („reale Strecken“) von den fahrverhaltensoptimierten Strecken durch die geringeren Kurvigkeiten, wodurch sie eine eher ungünstig einzustufende Streckencharakteristik aufweisen. Die verschiedenen Trassierungen werden im Weiteren als „fahrverhaltensoptimierte Strecken“ und „reale Strecken“ bezeichnet. Zusätzlich wurde der Vorher-Nachher-Versuch des einstreifigen Straßenquerschnitts durch eine zusätzliche Strecke nachempfunden. Weiterhin wurden als variabler Parameter Fremdfahrzeuge mit jeweils eigenem Verhalten mit in die Fahrsimulation eingebunden. Hierdurch konnte zusätzlich zu den empirischen Untersuchungen zum Fahrverhalten das Überholverhalten auf dem neuen einstreifigen Straßenquerschnitt mit untersucht werden.

Der Untersuchungsumfang umfasste 30 Versuchspersonen. Die Länge der Fahrten der einzelnen Strecken betrug dabei etwa 15 bis 20 km, um mindestens drei auswertbare Runden je Versuchsperson zu erlangen. Insgesamt ergab sich damit eine Untersuchungsstrecke von etwa 5.000 km. Die Fahrten im Fahrsimulator wurden von Probanden durchgeführt, die aus einer umfangreichen Liste des Fachgebietes rekrutiert werden konnten. Zusätzlich erfolgte eine Akquirierung über die Projekthomepage, um eine ausreichende Auswahl an Probanden zur Sicherstellung der definierten Randbedingungen (vgl. Kapitel 6.4) gewährleisten zu können.

Die durchgeführten Messungen entsprechen der Methodik der Realfahrten. Zusätzlich zu dem Geschwindigkeits-, Spur- sowie Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten wurde auch das Blickverhalten (vgl. Kapitel 6.8) bei einem Teil der Probanden mit in die Untersuchungen einbezogen. Die Ergebnisse der Versuche im Fahrsimulator wurden statistisch analog zu den Ergebnissen der in situ Versuche aufbereitet, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten (vgl. Kapitel 5.2).

6.2 Beschreibung des Fahrsimulators der TU Berlin

Beim Fahrsimulator der TU Berlin handelt es sich um einen vibrationsakustischen Fahrsimulator. Die Versuchsperson sitzt bei den geplanten Fahrsimulatorversuchen im Cockpit eines Serienfahrzeuges (VW Bora), in dem der Fahrer alle Funktionen, Bedienelemente und Anzeigen wie im realen Fahrzeug vorfindet. In einem helligkeitsvariablen Raum wird ein durch einen Rechner generiertes Szenenbild auf eine Leinwand projiziert. Dadurch erhalten die Personen einen sehr realitätsnahen Fahreindruck.

In dieser Simulation sind unterschiedlichste Szenarien (Straßenverläufe, Landschaften, Verkehrsströme etc.) darstellbar. Um das Fahrgefühl möglichst realistisch zu gestalten, werden Fahr- und Motorgeräusche nachgebildet.

Entsprechend der Aufgabe fahren die Versuchsteilnehmer Strecken, die individuell zusammengestellt werden können. Für das jeweilige Projekt werden die relevanten Fahrzeugparameter oder Fahrerzustandsdaten gemessen und aufgezeichnet. Zudem sind Kameras im Cockpit des Versuchsfahrzeugs installiert. Die Fahrsimulatorsteuerung und die Visualisierungsgenerierung erfolgt über einen Standard-PC. Die Aufzeichnung des Blickverhaltens erfolgte mit einem mobilen Eyetracker.

6.3 Beschreibung der Fahrsimulatorstrecken

Anhand vorhandener Strecken war es möglich, die Anforderungen an die neu zu programmierenden Strecken sehr genau zu definieren, da die Auswertungen der vorhandenen Strecken und die Darstellungsweise als Referenz vorlagen.

Die neu für diese Untersuchung zu programmierenden Strecken umfassten insgesamt zehn verschiedene Versuchsstrecken. Die zehn Strecken teilen sich in je eine fahrverhaltensoptimierte und eine real existierende Strecke je Straßentyp auf (vgl. Tab. 9). Hierdurch kann zum einen die Evaluation des Fahrsimulators anhand des Vergleiches der realen Strecken im Fahrsimulator und in situ erfolgen und zum anderen kann der Vergleich der realen Strecken und der fahrverhaltensoptimierten Strecken erfolgen.

Szenerie	5 reale Strecken / 5 fahrverhaltensoptimierte Strecken				
Querschnittsgestaltung	dreistreifig	zweistreifig mit Zusatzfahrstreifen	zweistreifig		Schmal zweistreifig (einstreifig)
Linienführung	sehr gestreckt	gestreckt	angepasst		Sehr angepasst
Knotenpunktgestaltung	Planfrei	Plangleich			
	Ein-/ Ausfädeln	Ein-/ Abbiegen mit LSA	Ein-/ Abbiegen ohne LSA	Kreisverkehr	Kreuzen ohne LSA

Tab. 9 Gestaltungsmerkmale der Fahrsimulatorstrecken

Zusätzlich zu den in Tab. 9 dargestellten Charakteristika der Fahrsimulatorstrecken wurden noch Varianten der Markierung auf den schmalen zweistreifigen Landstraßen untersucht. Die genaue Erstellung der Fahrsimulatorstrecken ist im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

6.3.1 Generierung der Fahrsimulatorstrecken

Die Generierung der fahrverhaltensoptimierten Strecke erfolgte auf Grundlage der ermittelten angemessenen Radienbereiche mit einem Standardentwurfsprogramm. Hierbei wurden für die Strecken der EKL 3 und 4 (Straßentyp 5 bis 7) Kreisbögen mit unterschiedlichen Radien mit dazugehörigen Klothoiden ohne Zwischengeraden unter Verwendung geeigneter Radienrelationen aneinander gereiht. Die EKL 1 und 2 (Straßentyp 1 bis 4) wurden z.T. durch Zwischengeraden ergänzt, um die Knotenpunkte besser in die Fahrsimulation einbinden zu können. Die Länge der fahrverhaltensoptimierten Fahrsimulatorstrecken betragen jeweils etwa 5 km.

Die realen Strecken wurden mittels eines Abgleichs der im Zuge der empirischen Untersuchungen erhobenen GPS-Daten und den z.T. vorhandenen Lageplandaten ebenfalls mit einem Entwurfsprogramm generiert. Die Länge der realen Fahrsimulatorstrecken wurde z.T. um einige Trassierungselemente erweitert, um ausreichend lange Strecken zu erhalten.

Die Strecken können in unbegrenzter Länge aneinander gereiht werden, so dass ein Befahren der Strecke ohne Unterbrechungen möglich war. Das mehrfache Befahren jeder Strecke von einem Probanden mit insgesamt 20 km Streckenlänge ermöglicht es, zufällige Ereignisse zu erkennen und gemittelte Profile zu erstellen.

6.3.2 Trassierungs- und Gestaltungsmerkmale der Fahrsimulatorstrecken

Insgesamt wurden aus den verschiedenen Randbedingungen die in Tab. 10 zusammengefassten Untersuchungsbeispiele zusammengestellt.

Nr.	Straßentyp	Bezeichnung	Streckenlänge [m]	Querschnittsgestaltung	Verkehrsbelastung [Kfz/24h]	Geschwindigkeit Fremdfahrzeuge [km/h]
1	2	EKL 1	4.991	RQ 15,5 nach RAL	15.000	100
2	2	EKL 1 real	5.679	RQ 15,5 nach RAS-Q-96	15.000	100
3	4	EKL 2	4.992	RQ 11,5+ nach RAL	10.000	90
4	4	EKL 2 real	3.779	RQ 11,5 + nach RAL	10.000	90
5	5	EKL 3 KV	5.007	RQ 11 nach RAL	5.000	80
6	5	EKL 3 KV real	3.810	RQ 10,5 nach RAS-Q-96	5.000	80
7	6	EKL 3 E	4.993	RQ 11 nach RAL	5.000	80
8	6	EKL 3 E real	3.803	RQ 10,5 nach RAS-Q-96	5.000	80
9	7	EKL 4	4.992	RQ 9,0 nach RAL	1.500	70
10	7	EKL 4 real	4.994	RQ 7,5 + nach RAS-Q-96	1.500	70
11	7	EKL 4 real NT	4.994	RQ 9,0 nach RAL	1.500	70

Tab. 10 Charakteristika der Fahrsimulatorstrecken

Die gewählten Trassierungsparameter der fahrverhaltensoptimierten Strecken sind an den Vorgaben der RAL orientiert. Die Radien und Kurvigkeiten sind in Tab. 11 dargestellt.

	Straßentyp 2 (EKL 1)	Straßentyp 4 (EKL 2)	Straßentyp 5+6 (EKL 3)	Straßentyp 7 (EKL 4)
Radienbereich [m]	> 500	350 - 900	250 – 600	150 – 300
Kurvigkeit [gon/km]	0 - 75	75 - 150	150 - 225	> 225

Tab. 11 Trassierungsparameter der fahrverhaltensoptimierten Fahrsimulatorstrecken

Die Querschnitt- und Knotenpunktgestaltungen der Fahrsimulatorstrecken sind in den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 82 bis Abb. 89) dargestellt. Die Querschnitte wurden hierbei angenähert an die RAS-Q-96 [35] bzw. den RAL [30] entwickelt. Insbesondere für die EKL 4 sollte hierdurch der Vorher-Nachher-Vergleich in Anlehnung an die realen Untersuchungen nachgebildet werden.

Die Krümmungsbänder und Kurvigkeiten der Straßen sind im Anhang dargestellt

Abb. 82 Querschnittgestaltungen der EKL 1 angenähert nach RAS-Q-96 (links) und den RAL (rechts)

Abb. 83 Knotenpunktgestaltungen der EKL 1 (links: EKL 1 real) (rechts: EKL 1)

Abb. 84 Querschnittgestaltungen der EKL 2 im dreistreifigen (links) und zweistreifigen (rechts) Bereich

Abb. 85 Knotenpunktgestaltung der EKL 2

Abb. 86 Querschnittsgestaltungen der EKL 3 angenähert nach RAS-Q-96 (links) und den RAL (rechts)

Abb. 87 Knotenpunktgestaltung der EKL 3

Abb. 88 Querschnittsgestaltungen der EKL 4 angenähert nach RAS-Q-96 (links) und den RAL (rechts)

Abb. 89 Knotenpunktgestaltung der EKL 4 (links: EKL 4 real) (rechts: EKL 4)

6.4 Das Probandenkollektiv

Bei der Auswahl des Probanden wurde zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse ein möglichst homogenes Kollektiv ausgewählt. Um verschiedene Verkehrszustände untersuchen zu können, wurden die Probanden in zwei Untersuchungsgruppen unterteilt: mit anderen Verkehrsteilnehmern und ohne anderer Verkehrsteilnehmer.

Die 30 Versuchspersonen, deren Fahrverhaltensdaten auswertbar waren, bestanden zu zwei Dritteln aus männlichen Versuchspersonen und wiesen ein durchschnittliches Alter von Mitte Zwanzig auf. Keiner der Versuchspersonen befand sich in der Führerscheinprobezeit oder musste in der Vergangenheit seinen Führerschein vorübergehend abgeben. Der durchschnittliche Führerscheinbesitz lag bei 7,5 Jahren. Die durchschnittliche Fahrleistung lag bei mehr als 7.000 km pro Jahr. Für die Durchführung des Blickverhaltens wurden fünf Probanden mit sehr ähnlichen Alters und Fahrleistung ausgewählt. Ein größerer Stichprobenumfang für die Blickverhaltensmessungen konnte aufgrund des wesentlichen erhöhten Zeitaufwandes nicht umgesetzt werden.

6.5 Durchführung der Versuche im Fahrsimulator

Für die Durchführung der Versuche im Fahrsimulator wurde ein Ablaufplan entwickelt, um bei allen Probanden möglichst den gleichen Informationsstand zu gewährleisten. Die Grobjustierung der Messeinrichtung für die einzelnen Versuchspersonen wurde vor der eigentlichen Messdurchführung vom Messingenieur vorgenommen, um die eigentliche Versuchszeit möglichst kurz zu halten.

Ablauf der Messungen:

- Theoretische Einweisung der Probanden anhand eines Informationsblattes und Informationsgespräches,
- Praktische Einweisung in den Fahrsimulator,
- Anpassung der Messeinrichtung,
- Einführungsrunden auf jedem Straßentyp,
- Versuchsdurchführung.

Es wurde ein natürlicheres Fahrverhalten der Versuchspersonen gewünscht. Aufgrund der gewählten Messanordnung wurde davon ausgegangen, dass das Ausbilden von Hypothesen zum Versuch seitens der Fahrer verhindert werden konnte.

6.6 Geschwindigkeitsverhalten auf den Fahrsimulatorstrecken

Die Analyse des Geschwindigkeitsverhaltens auf den elf untersuchten Fahrsimulatorstrecken wurde analog der Methodik zu den Realfahrten vorgenommen. Wesentliches Ziel der im Fahrsimulator gegebenen gleichmäßigen Randbedingungen ist die Validierung der erzielten Geschwindigkeiten auf den unterschiedlichen Straßentypen. Insbesondere die sich einstellende Straßentyp-spezifische Geschwindigkeit, die durch die homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten ausgedrückt werden, kann hierdurch genau-

er bestimmt werden. Anders als auf den Realstrecken können auch leichte Variationen in der Gestaltung aufgrund der ansonsten identischen Testbedingungen evaluiert werden.

Zunächst werden die auf den einzelnen Straßentypen erzielten Geschwindigkeiten beschrieben. Darauf folgend wird ein Vergleich der Straßentypen untereinander vorgenommen sowie eine Einordnung in den Kontext der planerisch angemessenen Geschwindigkeiten vorgenommen.

Die gesamte Auswertung des Fahrverhaltens auf den Fahrsimulatorstrecken trennt sich in die Betrachtung der beiden verschiedenen Verkehrssituationen (mit Verkehr / ohne Verkehr).

6.6.1 Perzentilgeschwindigkeiten auf den Fahrsimulatorstrecken

Nachfolgend wird ein Überblick über das Geschwindigkeitsverhalten auf den Fahrsimulatorstrecken anhand der verschiedenen Perzentilgeschwindigkeiten gegeben. Die angegebenen Kilometrierungen beziehen sich auf die Messstrecken (vgl. Anhang 6).

Straßentyp 2 (EKL 1 / EKL 1 real)

Straßentyp 2 besteht aus den beiden Fahrsimulatorstrecken „EKL 1“ und „EKL 1 real“ (vgl. hierzu Tab. 9 bis Tab. 11). Die Gestaltungsform „EKL 1“ weist für das unbeeinflusste freie Fahren (ohne andere Verkehrsteilnehmer) ein mittleres Geschwindigkeitsniveau von etwa 115 km/h auf. Dieses liegt im Vergleich dazu bei der Gestaltungsform „EKL 1 real“ etwa 5 km/h niedriger. Die V_{85} und V_{15} liegen bei der Strecke „EKL1“ mit knapp 125 km/h bzw. etwa 106 km/h ebenfalls etwa 5 km/h über denen der Strecke „EKL 1 real“. Signifikante Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den einstreifigen und zweistreifigen Bereichen sowie den Knotenpunktbereichen und den knotenpunktfreien Streckenabschnitten sind für keine der Perzentilgeschwindigkeiten festzustellen. Das höhere Geschwindigkeitsniveau auf Strecke „EKL1“ wird darauf zurückgeführt, dass der breitere Mittelstreifen („verkehrstechnischer Mittelstreifen“) ein höheres Sicherheitsempfinden beim Fahrzeugführer hervorruft und deshalb tendenziell schneller gefahren wird. Allerdings wird ein homogenerer Geschwindigkeitsverlauf über die Gesamtstrecke erzielt.

Ein anderes Geschwindigkeitsverhalten zeigt sich bei der Implementierung von Fremdverkehr. Die gefahrenen Geschwindigkeiten werden in Abhängigkeit der vorhandenen Anzahl an Fahrstreifen in zu erwartender Weise beeinflusst. Für die beiden Strecken des Straßentyps 2 ergibt sich mit implementiertem Fremdverkehr das nachfolgend beschriebene Geschwindigkeitsverhalten.

Am Beginn der dreistreifigen Messstrecke „EKL 1“ liegt im einstreifigen Bereich der Fahrtrichtung eine V_{85} von etwa 113 km/h vor. Nach 300 m beschleunigen die Fahrzeugführer über eine Strecke von 400 m bis auf eine über knapp 700 m Länge konstante V_{85} von etwa 132 km/h im zweistreifigen Bereich. Bereits 300 m vor der kritischen Wechselstelle wird die Geschwindigkeit wieder reduziert auf eine konstante V_{85} im einstreifigen Bereich von etwa 115 km/h. Zu Beginn des nächsten zweistreifigen Be-

reiches nach 3.000 m der Messstrecke beschleunigen die Fahrzeugführer über eine Strecke von 300 m bis auf eine V_{85} von etwa 140 km/h. Nach 600 m verzögern die Fahrzeugführer ihre Geschwindigkeit wieder. Der Verzögerungsbereich beginnt bereits 600 m vor der Wechselstelle und endet 200 m nach Beginn des einstreifigen Bereichs bei einer V_{85} mit etwa 112 km/h. Die V_{15} zeigt über die gesamte Messstrecke ein relativ konstantes Niveau von etwa 100 km/h. Dies entspricht der vorgegebenen Geschwindigkeit des Fremdverkehrs. Im zweistreifigen Bereich kann wiederum eine leichte Erhöhung auf maximal 108 km/h festgestellt werden.

Am Beginn der Messstrecke „EKL 1 real“ liegt im einstreifigen Bereich der Fahrtrichtung eine V_{85} von etwa 116 km/h vor. Nach 350 m beschleunigen die Fahrzeugführer über eine Strecke von 300 m bis auf eine über 700 m Länge konstante V_{85} von etwa 131 km/h im zweistreifigen Bereich. Bereits 300 m vor der kritischen Wechselstelle wird die Geschwindigkeit wieder reduziert und auf eine konstanteV_{85} im einstreifigen Bereich von etwa 111 km/h. Die Verzögerungsstrecke reicht bis 400 m nach Beginn des einstreifigen Bereichs. Zu Beginn des nächsten zweistreifigen Bereiches nach 2.950 m der Messstrecke beschleunigen die Fahrzeugführer über eine Strecke von 200 m bis auf eine V_{85} von 132 km/h. Nach 800 m verzögern die Fahrzeugführer ihre Geschwindigkeit wieder. Der Verzögerungsbereich beginnt bereits 600 m vor der Wechselstelle und endet 200 m nach Beginn des einstreifigen Bereichs mit einer V_{85} von etwa 110 km/h. Die V_{15} zeigt wiederum über die gesamte Messstrecke ein relativ konstantes Niveau von etwa 100 km/h. Im zweistreifigen Bereich kann eine leichte Erhöhung auf maximal 110 km/h festgestellt werden.

Zusammenfassend kann für die dreistreifigen Messstrecken festgehalten werden, dass die Geschwindigkeiten in den zweistreifigen Bereichen im Fall mit Fremdverkehr über denen ohne Fremdverkehr liegen. Dies wird darauf zurück geführt, dass die Verkehrsteilnehmer bei Fremdverkehr wesentlich höhere Geschwindigkeiten wählen, um den Überholdruck abzubauen. Belegt werden kann dies durch die Tatsache, dass auf beiden Strecken zu Beginn des zweiten zweistreifigen Bereichs bei der V_{85} eine kürzere Beschleunigungsstrecke als zu Beginn des ersten zweistreifigen Bereichs festgestellt werden kann. Dies lässt auf einen höheren Überholdruck schließen, der sich aus der Pulkbildung im einstreifigen Bereich ergibt. Am Ende der zweistreifigen Bereiche erfolgt jeweils frühzeitig vor der Wechselstelle eine Reduzierung der Geschwindigkeiten. Hieraus kann wiederum geschlussfolgert werden, dass die Fahrzeugführer nach dem Abbau des Überholdrucks durch die Überholvorgänge im zweistreifigen Bereich ihre freie Geschwindigkeit wieder reduzieren. Ein Einfluss der planfreien Knotenpunkte auf das Geschwindigkeitsverhalten kann für beide Verkehrssituationen auf keiner der Strecken festgestellt werden.

Straßentyp 4 (EKL 2 / EKL 2 real)

Straßentyp 4 besteht aus den beiden Fahrsimulatorstrecken „EKL 2“ und „EKL 2 real“ (vgl. hierzu Tab. 9 bis Tab. 11). Die Gestaltungsform „EKL 2“ weist für das unbeeinflusste freie Fahren ein mittleres Geschwindigkeitsniveau von etwa 100 km/h auf. Dieses liegt im Vergleich dazu bei der Gestaltungsform „EKL 2 real“ etwa 3 km/h höher.

Beide Strecken weisen für die Perzentilgeschwindigkeiten V_{85} und V_{15} signifikante Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den Knotenpunktbereichen und den knotenpunktfreien Streckenabschnitten auf. Das höhere mittlere Geschwindigkeitsniveau auf Strecke „EKL2 real“ kann auf die gestrecktere Linienführung zurückgeführt werden.

Ein anderes Geschwindigkeitsverhalten zeigt sich wiederum bei der Implementierung des Fremdverkehrs. Die gefahrenen Geschwindigkeiten werden wie beim Straßentyp 2 in Abhängigkeit der vorhandenen Anzahl an Fahrstreifen in zu erwartender Weise beeinflusst. Für die beiden Strecken des Straßentyps 4 ergibt sich bei implementiertem Fremdverkehr das nachfolgend beschriebene Geschwindigkeitsverhalten.

Am Beginn der Messstrecke „EKL 2“ reduzieren die Fahrzeugführer ihre V_{85} auf bis zu 86 km/h in der Mitte des Knotenpunktes nach 200 m. Nach 400 m der Messstrecke liegt ein knapp 300 m langer Beschleunigungsabschnitt vor. Die anschließende konstante V_{85} im knotenpunktfreien einstreifigen Bereich beträgt etwa 114 km/h bis zum Beginn des zweiten Knotenpunktes nach 2.100 m der Messstrecke vor dem sich ein 150 m langer Verzögerungsbereich befindet. Die V_{85} in Knotenpunktmitte beträgt etwa 90 km/h. Nach dem Knotenpunkt erfolgt eine Beschleunigung auf eine V_{85} im einstreifigen Bereich von etwa 107 km/h. Im anschließenden Bereich mit Überholfahrstreifen liegt eine mittlere V_{85} von etwa 113 km/h vor. Nach 3.900 m der Messstrecke wird die V_{85} am Ende des Überholfahrstreifens im Verziehungsbereich auf etwa 106 km/h reduziert. Im folgenden einstreifigen Bereich wird eine V_{85} von etwa 110 km/h gefahren.

Am Beginn der Messstrecke „EKL 2 real“ wird die V_{85} von den Fahrzeugführern bis zum Knotenpunktbereich nach 900 m von etwa 109 km/h auf etwa 82 km/h reduziert. Die inkonstante V_{85} Geschwindigkeit in diesem Bereich kann darauf zurückgeführt werden, dass z.T. kein Fremdverkehr in diesem Bereich vor den Fahrzeugführern vorzufinden war. Im Knotenpunktbereich wird eine V_{85} von etwa 77 km/h gefahren. Nach dem Knotenpunkt folgt nach 1.150 m der Messstrecke ein Beschleunigungsbereich, der nach 300 m eine V_{85} von etwa 95 km/h erreicht. Ab 1.900 m erfolgt eine Verzögerung der Geschwindigkeit auf eine V_{85} von etwa 77 km/h im zweiten Knotenpunktbereich. Im Anschluss erfolgt zunächst eine Beschleunigung auf etwa 96 km/h im einstreifigen Bereich und auf knapp 133 km/h im zweistreifigen Bereich nach 2.700 m der Messstrecke. Bereits 300 m vor dem Ende des Überholfahrstreifens erfolgt eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 98 km/h im einstreifigen Bereich am Ende der Messstrecke.

Die V_{15} liegt auf beiden Strecken zwischen etwa 85 und 90 km/h im einstreifigen Bereich. Im Bereich der Überholfahrstreifen steigt die V_{15} auf etwa 105 km/h an. Vor den Knotenpunkten reduzieren die Fahrzeugführer ihre V_{15} beeinflusst durch den Fremdverkehr (starke Verzögerung zu Beginn des Knotenpunktbereichs) zunächst auf bis 60 km/h bevor sich eine V_{15} von etwa 70 km/h einstellt.

Zusammenfassend kann für die zweistreifigen Strecken mit abschnittsweisen Überholfahrstreifen festgehalten werden, dass ein wesentlich inhomogeneres Geschwindigkeitsverhalten als auf den Strecken des Straßentyps 2 existiert. Zudem liegen vor den Knotenpunkten und in den Abschnitten mit Überholfahrstreifen stärkere Streuungen der

gefahrenen Geschwindigkeiten vor (vgl. auch Perzentilabstände in Kapitel 6.6.3). Es zeigte sich weiterhin, dass die gestreckte Linienführung der „EKL 2 real“ höhere Geschwindigkeiten als die Strecke „EKL 2“ mit der fahrverhaltensorientierten Trassierung aufweist.

Straßentyp 5

Straßentyp 5 besteht aus den beiden Fahrsimulatorstrecken „EKL 3 KV“ und „EKL 3 KV real“ (vgl. hierzu Tab. 9 bis Tab. 11). Die Gestaltungsform „EKL 3 KV“ weist für das unbeeinflusste freie Fahren ein mittleres Geschwindigkeitsniveau von etwa 92 km/h auf. Dieses liegt im Vergleich dazu bei der Gestaltungsform „EKL 3 KV real“ etwa 1,0 km/h höher. Das höhere mittlere Geschwindigkeitsniveau auf der Strecke „EKL 3 real“ kann ebenfalls auf die gestrecktere Linienführung zurückgeführt werden. Beide Strecken weisen für die Perzentilgeschwindigkeiten V_{85} und V_{15} signifikante Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den Knotenpunktbereichen und den knotenpunktfreien Streckenabschnitten auf. Für das unbeeinflusste Fahren ohne Fremdverkehr ergaben sich die nachfolgend beschriebenen Geschwindigkeitsprofile.

Am Beginn der Messstrecke „EKL 3 KV“ liegt eine V_{85} von etwa 108 km/h vor. Nach 500 m verzögern die Fahrzeugführer über eine Strecke von 200 m bis auf eine V_{85} im Kreisverkehr von etwa 38 km/h. Im Anschluss erfolgt eine Beschleunigung bis auf eine V_{85} im knotenpunktfreien Bereich von etwa 108 km/h bevor nach 3.200 m der Messstrecke wieder eine Reduzierung der V_{85} auf etwa 37 km/h im zweiten Kreisverkehr erfolgt. Im Anschluss an den Kreisverkehr beschleunigen die Fahrzeugführer ihre V_{85} wieder auf etwa 110 km/h am Ende der Messstrecke nach 5.000 m.

Am Beginn der Messstrecke „EKL 3 KV real“ liegen bis 2.150 m der Messstrecke schwankende Geschwindigkeiten der V_{85} zwischen etwa 106 km/h und etwa 111 km/h vor, die durch die vorliegenden Kurvenradien beeinflusst werden. Im Anschluss verzögern die Fahrzeugführer über eine Strecke von 200 m bis auf eine V_{85} im Kreisverkehr von etwa 38 km/h bei 2.500 m. Im Anschluss erfolgt eine Beschleunigung auf eine konstante V_{85} im knotenpunktfreien Streckenabschnitt von etwa 104 km/h.

Beide Strecken weisen bei der V_{15} ähnliche Geschwindigkeitsveränderungen wie bei der V_{85} auf. Zudem kann festgestellt werden, dass vor den Kreisverkehren die größten Streuungen der Fahrgeschwindigkeiten vorliegen.

Die Implementierung des Fremdverkehrs zeigt, dass kein freies Fahren möglich ist. Bis auf vereinzelte Überholvorgänge wird das Geschwindigkeitsverhalten durch das vorgegebene Verhalten des Fremdverkehrs bestimmt. Grundsätzliche Schlussfolgerungen zum Fahrverhalten auf zweistreifigen Straßen aus diesen Geschwindigkeitsprofilen zu ziehen ist deshalb nicht möglich.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Perzentilgeschwindigkeiten auf der fahrverhaltenstrassierten Strecke geringer ausfallen (vgl. 6.6.3) und ein wesentlich homogeneres Geschwindigkeitsbild zeigen.

Straßentyp 6

Straßentyp 6 besteht aus den beiden Fahrsimulatorstrecken „EKL 3 E“ und „EKL 3 E real“ (vgl. hierzu Tab. 9 bis Tab. 11). Beide Strecken unterscheiden sich lediglich in der Knotenpunktgestaltung von den beiden Strecken des Straßentyps 5. Beide Strecken weisen für die Perzentilgeschwindigkeiten V_{85} und V_{15} signifikante Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den Knotenpunktbereichen und den knotenpunktfreien Streckenabschnitten auf. Für das unbeeinflusste Fahren ohne Fremdverkehr ergaben sich die nachfolgend beschriebenen Geschwindigkeitsprofile.

Am Beginn der Messstrecke „EKL 3 E“ liegt eine V_{85} von etwa 111 km/h vor. Nach 500 m verzögern die Fahrzeugführer über eine Strecke von 200 m bis auf eine V_{85} im Knotenpunktbereich von etwa 88 km/h. Im Anschluss erfolgt eine Beschleunigung bis auf eine V_{85} im knotenpunktfreien Streckenabschnitt von etwa 113 km/h, bevor nach 3.300 m der Messstrecke wieder eine Reduzierung der der V_{85} auf etwa 86 km/h im zweiten Knotenpunktbereich erfolgt. Im Anschluss beschleunigen die Fahrzeugführer ihre V_{85} zunächst auf eine V_{85} von etwa 104 km/h und nach 400 m weiter auf etwa 112 km/h bis zum Ende der Messstrecke bei 5.000 m.

Am Beginn der Messstrecke „EKL 3 E real“ beschleunigen die Fahrzeugführer von einer V_{85} von etwa 105 km/h konstant auf eine V_{85} von etwa 115 km/h. Die mittlere V_{85} liegt zwischen 400 und 2.350 m der Messstrecke bei etwa 112 km/h. Im Anschluss verzögern die Fahrzeugführer über eine Strecke von 200 m bis auf eine V_{85} im Knotenpunktbereich von etwa 86 km/h. Im Anschluss erfolgt eine Beschleunigung auf eine konstante V_{85} im knotenpunktfreien Streckenabschnitt von etwa 105 km/h.

Beide Strecken weisen auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten bei der V_{15} ähnliche Geschwindigkeitsveränderungen wie bei der V_{85} auf. Im Knotenpunktbereich erfolgt hingegen eine frühzeitigere und stärkere Reduzierung der V_{15} als bei der V_{85}. Zudem kann festgestellt werden, dass im Annäherungsbereich der Knotenpunkte die größten Streuungen der Fahrgeschwindigkeiten vorliegen.

Bei der Implementierung des Fremdverkehrs gelten die Anmerkungen zu Straßentyp 5.

Zusammenfassend lässt sich für Straßentyp 6 festhalten, dass die Perzentilgeschwindigkeiten auf beiden Strecken mit einer Knotenpunktgestaltung in Form von Einmündungen höher liegen als beim Straßentyp 5. Der Unterschied zwischen fahrverhaltenstrassierter Strecke und der gestreckter trassierten realen Strecke fällt geringer aus als beim Straßentyp 5.

Der Vergleich der Straßentypen 5 und 6 zeigt weiterhin, dass die Geschwindigkeitsprofile der Entwurfsklasse 3 einen eindeutigen Einfluss der Knotenpunktgestaltung auf das Geschwindigkeitsverhalten auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten aufweisen. Unabhängig von der Trassierung (fahrverhaltensoptimiert oder gestreckt) wurde eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit über die gesamten Strecken beim Straßentyp 5 im Vergleich zu Straßentyp 6 verzeichnet (vgl. Abb. 90 und Abb. 91).

Durch die veränderte Knotenpunktgestaltung in Form von Kreisverkehren kann bei allen Perzentilgeschwindigkeiten eine Verringerung festgestellt werden, wobei die Reduzierung bei den fahrverhaltensoptimierten Strecken insbesondere bei der V_{15} wesentlich stärker ausfällt (vgl. Kapitel 6.6.3). Insbesondere die Langsamfahrer werden stärker von engeren Radien und höheren Kurvigkeiten beeinflusst und passen ihr Fahrverhalten an. Es kann somit zusammengefasst werden, dass der Einsatz von Kreisverkehren eine Geschwindigkeitssenkung auch in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten erzielt und somit ein Einsatz von Kreisverkehren aus sicherheitstechnischen Überlegungen aus dem geringeren Geschwindigkeitsniveau abgeleitet werden kann.

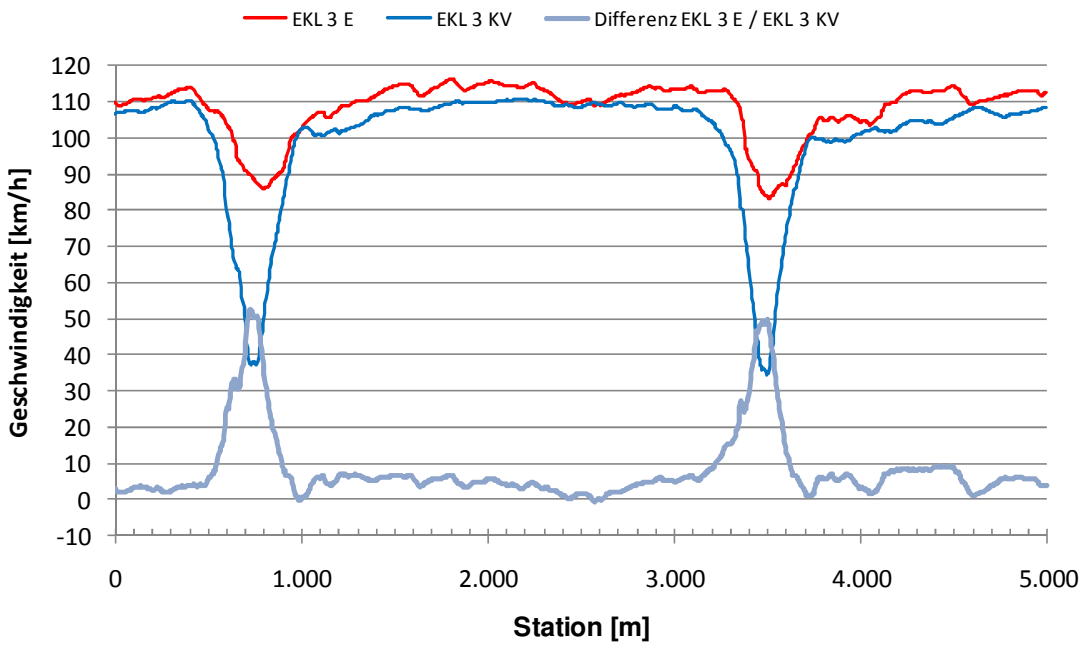


Abb. 90 Geschwindigkeitsprofile der V_{85} der fahrverhaltenstrassierten Strecken des Straßentyps 5 (EKL 3 KV) und des Straßentyps 6 (EKL 3 E) im Fahrsimulator (ohne Fremdverkehr)

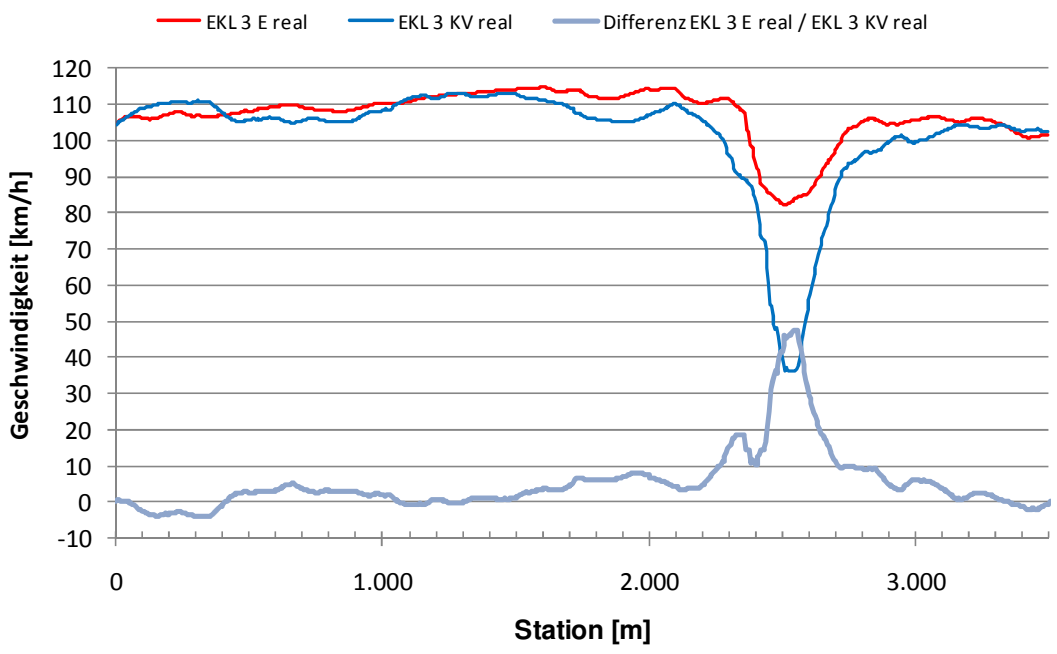


Abb. 91 Geschwindigkeitsprofile der V_{85} der gestreckt trassierten realen Strecken des Straßentyps 5 (EKL 3 KV real) und des Straßentyps 6 (EKL 3 E real) im Fahrsimulator (ohne Fremdverkehr)

Straßentyp 7

Straßentyp 7 besteht aus den drei Fahrsimulatorstrecken „EKL 4“, „EKL 4 real“ und „EKL 4 real NT“ (vgl. hierzu Tab. 9 bis Tab. 11). Die beiden „real“-Strecken unterscheiden sich lediglich in der Querschnittsgestaltung voneinander. Die Auswertung des Geschwindigkeitsverhaltens konnte hierdurch u.a. anhand eines direkten Vorher-Nachher-Vergleichs zwischen dem zweistreifigen Regelquerschnitt (Vorher-Fall „EKL 4 real“ - etwa RQ 7,5, mit Leitlinie in Straßenmitte und Randmarkierungen) nach den RAS-Q-96 [35] und dem einstreifigen Regelquerschnitt (Nachher-Fall „EKL 4 real NT“ - RQ 9,0 mit Kernfahrbahn) nach den RAL [30] erfolgen. Wesentliches Ziel war es, herauszuarbeiten, welche Geschwindigkeiten sich beim Einsatz der neuen Markierungsform einstellen. Hierfür wurden lediglich die Geschwindigkeitsprofile der freifahrenden Versuchspersonen (Fahrten ohne Fremdverkehr) herangezogen, um den Einfluss vorausfahrender Fahrzeuge auszuschließen. Weiterhin wurde untersucht, inwiefern das Geschwindigkeitsniveau durch eine sehr angepasste Trassierung auf der „EKL 4“-Strecke gesenkt werden kann. Für das unbeeinflusste Fahren ohne Fremdverkehr ergaben sich auf den Strecken des Straßentyps 7 die nachfolgend beschriebenen Geschwindigkeitsprofile.

Am Beginn der Messstrecke „EKL 4“ liegt bis 1.300 m der Messstrecke eine V_{85} zwischen etwa 92 und 99 km/h vor (mittlere V_{85} von etwa 95 km/h). Dieser Bereich weist Radien zwischen R = 200 m und R = 300 m auf. Im Anschluss verzögern die Fahrzeugführer über eine Strecke von 200 m bis auf eine V_{85} im Knotenpunktbereich von etwa 83 km/h. Im Anschluss erfolgt eine Beschleunigung bis auf eine mittlere V_{85} im knotenpunktfreien Streckenabschnitt von etwa 88 km/h. Dieser Bereich weist leichte Schwankungen der Geschwindigkeiten auf, die die Trassierung wiederspiegeln (gerin-

gere Radien zwischen R = 150 m und R = 250 m). Die Geschwindigkeiten der V_{85} in diesem Streckenbereich ist im Mittel um etwa 7 km/h geringer als im ersten knotenpunktfreien Streckenabschnitt. Nach 3.900 m der Messstrecke erfolgt wieder eine leichte Reduzierung der V_{85} auf etwa 85 km/h im zweiten Knotenpunktbereich. Im Anschluss beschleunigen die Fahrzeugführer ihre V_{85} wieder auf eine V_{85} von etwa 94 km/h. Dieser Bereich weist wieder eine Trassierung wie im ersten knotenpunktfreien Bereich auf und zeigt auch wieder das zuvor erzielte Geschwindigkeitsverhalten. Entgegen der V_{85} erfolgt bei der V_{15} durch die Trassierung nur eine leichte Anpassung. Im knotenpunktfreien Streckenabschnitt liegt die V_{15} zwischen 75 und 80 km/h. Im Knotenpunktbereich wird die V_{15} auf etwa 68 km/h reduziert.

Am Beginn der Messstrecke „EKL 4 real“ liegt bis 500 m der Messstrecke eine V_{85} von etwa 108 km/h vor bevor im Kurvenbereich (R = 250 m und R = 200 m) die V_{85} auf etwa 98 km/h reduziert wird. Im Anschluss beschleunigen die Fahrzeugführer im Bereich einer Geraden auf eine V_{85} von etwa 108 km/h und verzögern wiederum auf eine V_{85} im Knotenpunktbereich von etwa 79 km/h. Im Anschluss erfolgt eine Beschleunigung bis auf eine mittlere V_{85} im knotenpunktfreien Streckenabschnitt von etwa 108 km/h in einer Geraden. Nach 2.350 m der Messstrecke erfolgt in einer Einzelkurve über eine kurze Strecke von etwa 200 m eine leichte Anpassung der V_{85} auf etwa 105 km/h bevor bis zum nächsten Kurvenbereich bei 3.100 m eine mittlere V_{85} von etwa 110 km/h vorliegt. Der Kurvenbereich mit Radien von R = 250 m und R = 200 m wird mit einer V_{85} von etwa 103 km/h befahren. Vor dem Knotenpunktbereich nach 4.000 m der mit einer V_{85} von etwa 82 km/h befahren wird, erfolgt zunächst eine Beschleunigung auf etwa 107 km/h. Nach dem Knotenpunkt wird auf eine V_{85} von etwa 109 km/h beschleunigt, bevor in einer weiteren Einzelkurve (R = 400 m) eine Anpassung der V_{85} auf etwa 101 km/h am Ende der Messstrecke erfolgt.

Messstrecke „EKL 4 real NT“ weist aufgrund der gleichen Trassierungswerte wie Strecke „EKL 4 real“ ein vergleichbares Geschwindigkeitsverhalten über die Messstrecke auf. Anders als bei der Messstrecke „EKL 4“ weisen beide Strecken eine Geschwindigkeitsveränderung der V_{15} wie bei der V_{85} auf.

Der Vergleich des Geschwindigkeitsverhaltens ohne Fremdverkehr auf den drei Strecken ergab für das Probandenkollektiv das in Abb. 92 dargestellte Ergebnis für die V_{85}. Die mittlere Geschwindigkeit liegt im Vorher-Fall bei 95 km/h. Im Nachher-Fall konnte eine um 5 % reduzierte Geschwindigkeit von 91 km/h festgestellt werden. Eine genauere Betrachtung der Differenz der V_{85} ergibt den in Abb. 92 dargestellten Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit V_{85} im Vorher-Fall (real) und der Veränderung zum Nachher-Fall (real NT). Es zeigt sich, dass auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten eine stärkere Geschwindigkeitsreduktion bei höheren Geschwindigkeiten vorliegt. Auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten ist auf der Strecke „EKL 4 real NT“ eine etwa 11 km/h geringere V_{85} als auf der Strecke „EKL 4 real“ festzustellen. Die gegenteilige Tendenz lässt sich in den Knotenpunktbereichen feststellen.

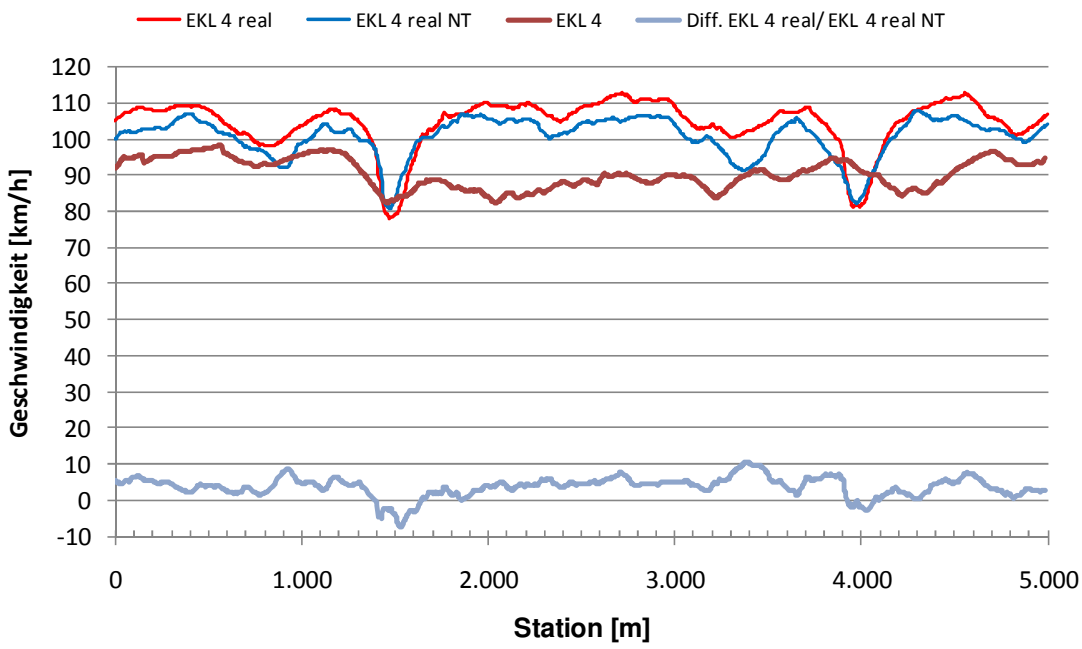


Abb. 92 Geschwindigkeitsprofile der V_{85} der Fahrsimulatorstrecken des Straßentyps 7 (ohne Fremdverkehr)

Die Geschwindigkeiten der fahrverhaltensoptimierten Strecke „EKL 4“, die eine sehr angepasste Linienführung aufweist und aus zusammengesetzten Kreisbögen im Radienbereich der RAL [30] mit der gewünschten hohen Kurvigkeit besteht, liegen nochmals unter den Geschwindigkeiten der nicht fahrverhaltensoptimierten Strecke („EKL 4 real NT“) bei gleicher Markierungsform (vgl. Abb. 92).

6.6.2 Mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten

Analog zu der Untersuchung auf den realen Untersuchungsstrecken werden auch für die Fahrsimulatorstrecken die mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten V_M durch das arithmetische Mittel über den gesamten Streckenzug ausgedrückt.

Es zeigt sich, dass insgesamt nur geringe Unterschiede innerhalb der einzelnen Straßentypen auszumachen sind. Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale der Straßentypen zeigen hingegen einen eindeutigen Einfluss auf die mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten. Straßentyp 2 weist mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten zwischen 110 km/h und 115 km/h auf. Der Einfluss des Fremdverkehrs bedingt hierbei nur geringe Reduzierungen der Geschwindigkeiten. Straßentyp 4 hingegen weist aufgrund des geringeren Anteils an Überholfahrstreifen bereits eine wesentlich höhere Beeinflussung durch den Fremdverkehr auf. Die mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten liegen mit 94 bzw. 92 km/h etwa 10 km/h unter den mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten ohne Fremdverkehr, die bei etwa 100 bzw. 103 km/h liegen.

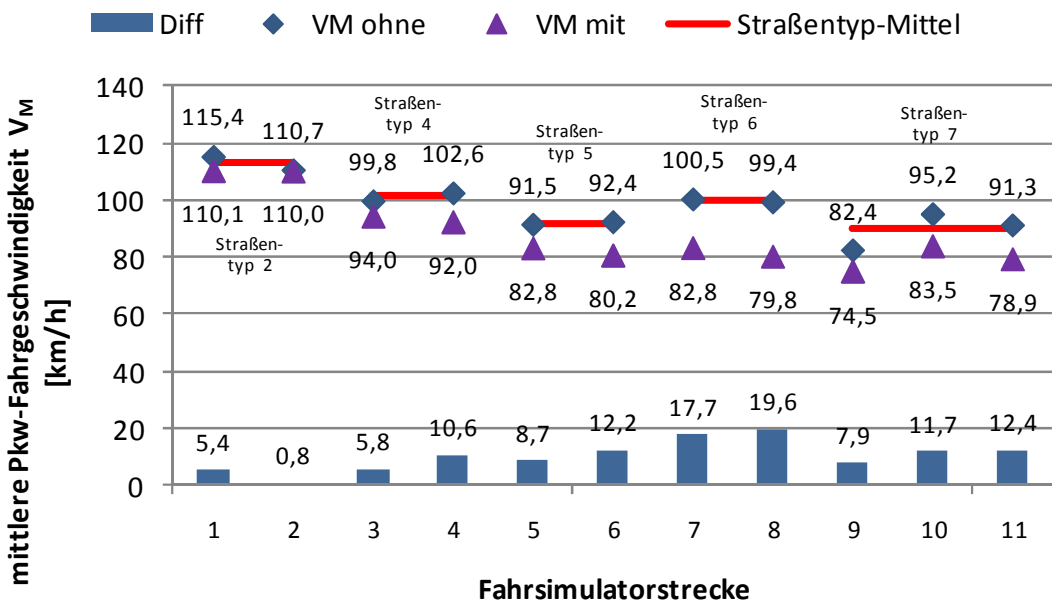


Abb. 93 mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten auf den Fahrsimulatorstrecken

Erwartungsgemäß ist der stärkste Einfluss des Fremdverkehrs bei den zweistreifigen Untersuchungsstrecken des Straßentyps 5 und 6 auszumachen. Es sind Differenzen von etwa 20 km/h auszumachen (Strecken 7 und 8). Es zeigt sich hierbei, dass die Knotenpunktgestaltung bei der Verkehrssituation mit Fremdverkehr keinen Einfluss mehr auf die mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten ausmacht (Strecken 5 bis 8). Diese liegen sowohl bei den Strecken mit Kreisverkehren als auch bei denen mit nicht signalisierten Einmündungen bei etwa 80 bis 83 km/h. Bei Straßentyp 7 sind Unterschiede zwischen den beiden Verkehrssituationen zwischen etwa 8 und 12 km/h festzustellen. Am geringsten fallen diese bei der neuen Querschnittsgestaltung (mit Kernfahrbahn) aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass hier auch die unbeeinflussten Fahrzeugführer eine geringere Geschwindigkeit aufweisen und damit die Differenz zu dem implementierten Geschwindigkeitsverhalten der Fremdfahrzeuge geringer ausfällt.

Bis auf Straßentyp 2 liegt bei allen Straßentypen ein geringerer Unterschied in der gefahrenen mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeit bei den fahrverhaltensoptimierten Strecken vor.

6.6.3 Homogene Abschnittsgeschwindigkeiten

Die Betrachtung der für die Straßentypen ermittelten homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten zeigt einen eindeutigen Unterschied zwischen den Entwurfsklassen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Straßentypen innerhalb der einzelnen Entwurfsklassen sind hingegen nicht allzu ausgeprägt. Dies stützt das angestrebte Ziel, dass sich innerhalb der Entwurfsklassen möglichst homogene Gestaltungen, die sich aber eindeutig von den anderen Entwurfsklassen unterscheiden, auf das Geschwindigkeitsverhalten übertragen lassen. Die charakteristischen Geschwindigkeiten der elf Unter-

suchungsstrecken in den homogenen Abschnitten der V_{85} sind für die Verkehrssituation ohne Fremdverkehr in Tab. 12 dargestellt.

Strecken-nummer	Stra-ßen-typ	Strecken-bezeichnung	Mittlere Länge [m]	V_{85} [km/h]	V_{50} [km/h]	V_{15} [km/h]	Perzentil-abstand (V_{85} - V_{15}) [km/h]	Differenz der V_{85} zur planerisch angemessenen Geschwindigkeit [km/h]
1	2	EKL 1	4.990	124,5	115,5	106,3	18,3	14,5
2		EKL 1 real	5.680	120,1	110,2	101,7	18,4	10,1
3	4	EKL 2	768	110,2	102,9	96,6	13,7	10,2
4		EKL 2 real	753	117,8	109,5	101,2	16,6	17,8
5	5	EKL 3 KV	1.292	106,9	99,5	89,3	17,6	16,9
6		EKL 3 KV real	478	107,5	97,9	90,0	17,6	17,5
7	6	EKL 3 E	746	110,8	102,4	96,8	14,0	20,8
8		EKL 3 E real	1.043	108,3	99,7	92,1	16,2	18,3
9	7	EKL 4	1.510	92,6	83,0	75,5	17,0	22,6
10		EKL 4 real	537	106,7	97,1	87,6	19,1	36,7
11		EKL 4 real NT	504	102,8	93,5	84,4	18,4	32,8

Tab. 12 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf den Fahrsimulatorstrecken ohne Fremdverkehr

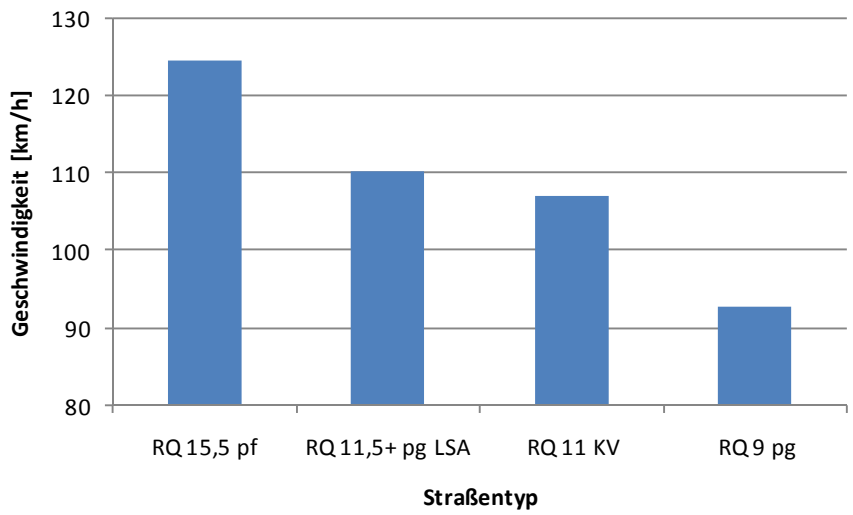


Abb. 94 Mittlere V_{85} der homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten auf den fahrverhaltensoptimierten Fahrsimulatorstrecken ohne Fremdverkehr (Strecken 1, 3, 5 und 9)

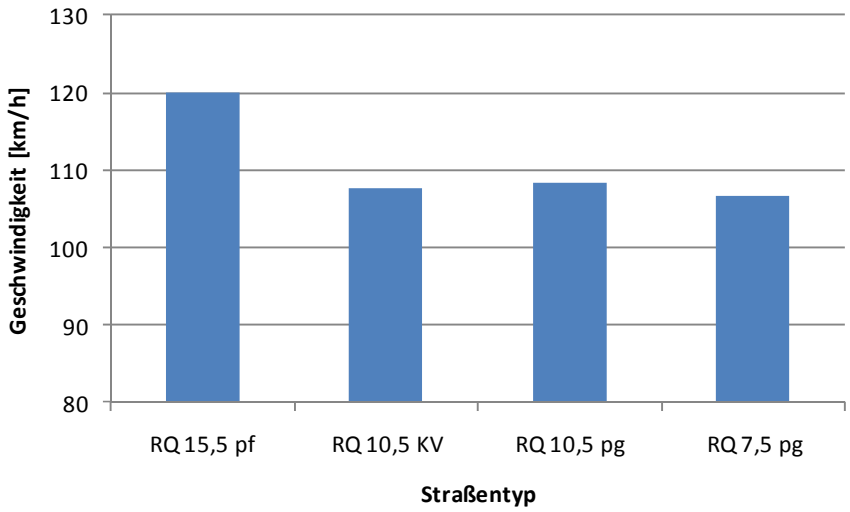


Abb. 95 Mittlere V_{85} der homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten auf den realen Fahrsimulatorstrecken ohne Fremdverkehr (Strecken 2, 6, 8 und 10)

Die Perzentilabstände in den homogenen Abschnitten zeigen innerhalb der Straßentypen für die fahrverhaltensoptimierten Strecken die jeweils geringeren Perzentilabstände. Es wird somit bestätigt, dass sich bei höheren Kurvigkeiten, die die fahrverhaltensoptimierten Strecken aufweisen, ein homogeneres Fahrverhalten einstellt.

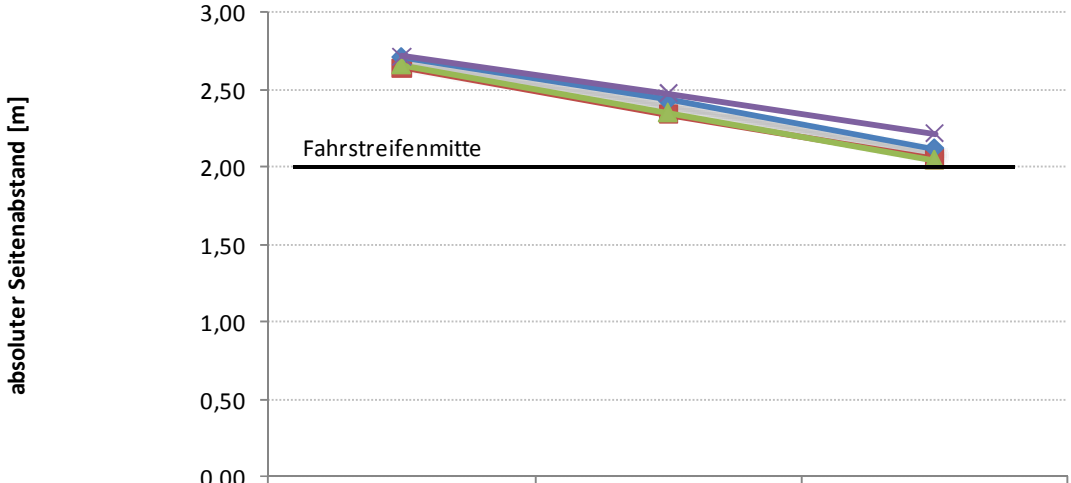
Der Vergleich der homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten mit der in den RAL angesetzten planerisch angemessenen Geschwindigkeit zeigt, dass sich bei allen Strecken unabhängig von der Trassierung ein höheres Geschwindigkeitsniveau einstellt. Die höchsten Unterschiede zeigten sich für die niederrangigen Straßentypen (vgl. Tab. 12).

Bei der Implementierung von Fremdverkehr stellt sich bei den fahrverhaltenstrassierten Strecken ein mittleres Geschwindigkeitsverhalten der V_{85} etwa 10 km/h oberhalb der vorgegebenen Fahrgeschwindigkeit des Fremdverkehrs ein. Bei den gestreckt trassierten Strecken kann kein eindeutiger Trend bei der V_{85} in den homogenen Abschnitten festgestellt werden. Die schmalen Landstraßen zeigen die größten Abweichungen, was auf die vorliegenden Überholmöglichkeiten und die damit erhöhten Geschwindigkeiten zurückgeführt werden kann.

6.7 Spurverhalten auf den Fahrsimulatorstrecken

Das Spurverhalten wird auf den Fahrsimulatorstrecken der Straßentypen 5 bis 7 (EKL 3 und EKL 4) analysiert. Hierbei kommen zwei verschiedene Herangehensweisen zum Einsatz. Zum einen wird das Spurverhalten ohne die Interaktion mit anderen Fahrzeugen untersucht, um das freie unbeeinflusste Spurverhalten zu untersuchen. Zum anderen wird das Spurverhalten mit Fahrzeugen in beiden Richtungen betrachtet, um die gemeinsame Fahrbahnnutzung evaluieren zu können.

Es erfolgt ein direkter Vergleich der einzelnen Strecken auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten im Bereich von Geraden, um u.a. die Effekte der Kurvenfahrt ausschließen zu können. Hierzu wird das ermittelte Spurverhalten über einen Abschnitt als gemittelter Wert für die Auswertung herangezogen. Weiterführend kann eine Übertragung der normierten Seitenabstände auf verschiedene Regelquerschnitte erfolgen. Zusätzlich ist eine tendenzielle Bewertung des Spurverhaltens in den Kurven bzw. in den Knotenpunkten möglich. Ähnlich der Auswertemethodik zum Geschwindigkeitsverhalten wird für den einstreifigen Querschnitt auch das Spurverhalten in einem Vorher-Nachher-Vergleich analysiert. Weiterhin soll die Fragestellung untersucht werden, ob die gemeinsame Benutzung der Kernfahrbahn in beiden Fahrtrichtungen zu Problemen führt.



	S85 [m]	S50 [m]	S15 [m]
ST 6 mit Verkehr	2,64	2,34	2,05
ST 6 ohne Verkehr	2,71	2,43	2,12
ST 5 mit Verkehr	2,66	2,35	2,04
ST 5 ohne Verkehr	2,72	2,47	2,22

Abb. 96 absoluter Seitenabstand auf den realen Fahrsimulatorstrecken mit einem RQ 10,5 (Straßentyp 5 und 6)

Der Vergleich der untersuchten Strecken der der Straßentypen 5 und 6 (EKL 3) ergab die in Abb. 96 und Abb. 97 dargestellten Ergebnisse für den RQ 10,5. Die Seitenabstände zeigen, dass sich sowohl mit als auch ohne andere Verkehrsteilnehmer ein nach links von der Fahrstreifenmitte versetztes Fahrspurverhalten einstellt. Hierbei

zeigt sich, dass ohne andere Verkehrsteilnehmer im Mittel etwa 10 cm weiter links gefahren wird. Der Unterschied der beiden Verkehrssituationen ist für die rechts im Fahrstreifen fahrenden Fahrzeuge größer als für die weiter in Fahrbahnmitte Fahrenden. Die Fahrzeugführer nehmen somit im Fall ohne Fremdverkehr vornehmlich eine Erhöhung des Seitenabstandes zum Seitenraum vor.

Die absoluten Seitenabstände des 70%-Kanals zum rechten Fahrbahnrand liegen mit Fremdverkehr bei etwa 1,18 m und ohne Fremdverkehr bei etwa 1,30 m. Die Abstände des 70%-Kanals zur Fahrbahnmitte sind bei etwa 0,23 m mit Fremdverkehr und etwa 0,16 m ohne Fremdverkehr zu verzeichnen.

Die normierten Seitenabstände verdeutlichen, dass das ermittelte Spurverhalten auf den Fahrsimulatorstrecken kaum Abweichungen von den vergleichbaren Straßenquerschnitten auf den realen Untersuchungsstrecken aufweist. Der Unterschied der normierten Seitenabstände mit Fremdverkehr liegt im Vergleich zu den Realstrecken bei allen drei dargestellten Perzentilen unterhalb einem Wert von 0,015 (dies entspricht bei einem RQ 10,5 etwa 6 cm).

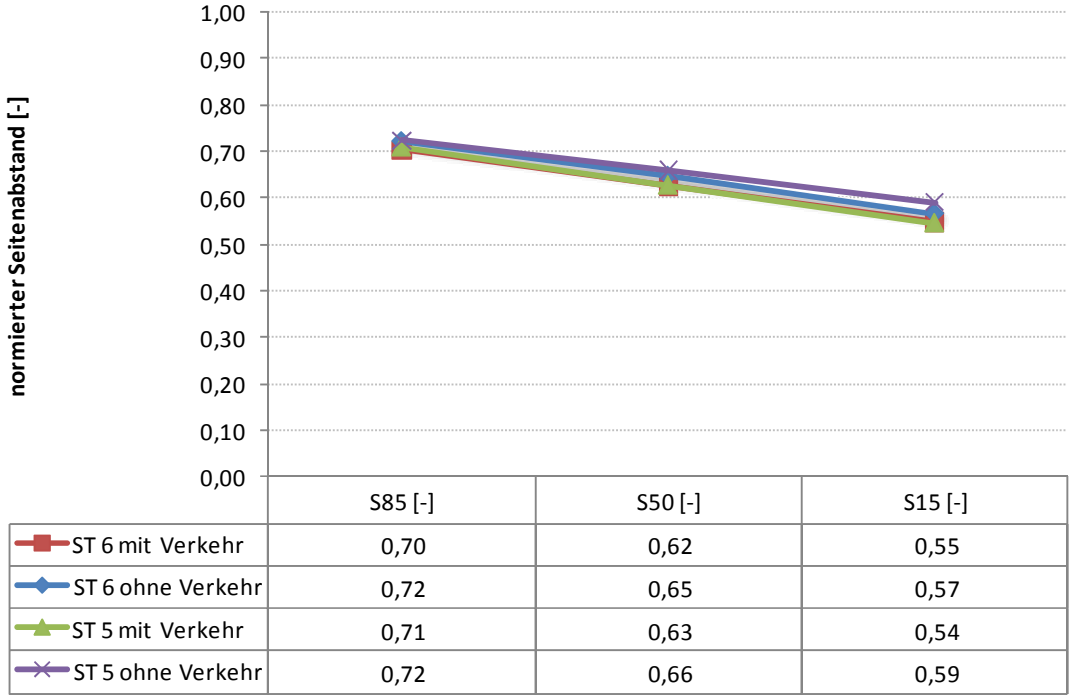


Abb. 97 normierter Seitenabstand auf den realen Fahrsimulatorstrecken mit einem RQ 10,5 (Straßentyp 5 und 6)

Anders als auf den Realstrecken kann bei den Fahrsimulatorversuchen eine Abschätzung des Spurverhaltens auf dem RQ 11 gegeben werden. Da die untersuchte Strecke jedoch lediglich aus Kurven ohne längere Bereiche mit einer Geraden besteht, ist die Übertragung des Spurverhaltens anhand der gemittelten Streckenwerte vorzunehmen. Das gemittelte Seitenabstandsverhalten zeigt für den RQ 11 nur sehr geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen Verkehrssituationen (vgl. Tab. 13). Eine Beeinflussung auf das Spurverhalten durch die Fahrzeuge des Gegenverkehrs ist somit nicht

mehr festzustellen. Weiterhin zeigen die normierten Seitenabstände des RQ 11 Werte, die sich nur geringfügig von denen unterscheiden, die sich bei Übertragung auf Realstrecken ergäben. Demnach liegen die normierten Seitenabstände des 70%-Kanals auf einem RQ 11 zwischen 0,52 und 0,70 vom rechten Fahrbahnrand. Durch die Erhöhung der Randstreifenbreite verglichen zum RQ 10,5 wird demnach eine leichte Verlagerung der Fahrlinie nach links erzielt, wodurch sich sowohl der Seitenabstand zum Rand als auch zum Fahrstreifen des Gegenverkehrs erhöht.

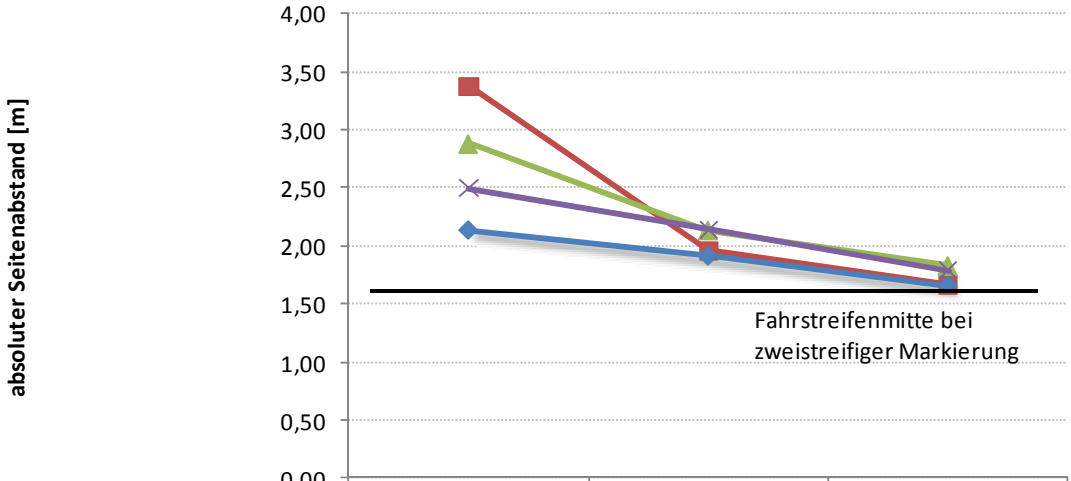
	absoluter Seitenabstand über die Strecke [m]			**normierter Seitenabstand über die Strecke [-]**			**normierter Seitenabstand in der Geraden [-]**		
	S_{85}	**S_{50}**	**S_{15}**	**S_{85}**	**S_{50}**	**S_{15}**	**S_{85}**	**S_{50}**	**S_{15}**
EKL 3 E real mit Verkehr	2,58	2,30	2,01	0,69	0,61	0,54	0,70	0,62	0,55
EKL 3 E real ohne Verkehr	2,66	2,37	2,06	0,71	0,63	0,55	0,72	0,65	0,57
EKL 3 KV real mit Verkehr	2,68	2,37	2,07	0,72	0,63	0,55	0,71	0,63	0,54
EKL 3 KV real ohne Verkehr	2,71	2,46	2,20	0,72	0,66	0,59	0,72	0,66	0,59
EKL 3 E mit Verkehr	2,80	2,46	2,10	0,70	0,61	0,53	nicht erhoben		
EKL 3 E ohne Verkehr	2,81	2,46	2,12	0,70	0,61	0,53			
EKL 3 KV mit Verkehr	2,80	2,45	2,09	0,70	0,61	0,52			
EKL 3 KV ohne Verkehr	2,82	2,49	2,13	0,70	0,62	0,53			

Tab. 13 gemitteltes Seitenabstandsverhalten auf den Fahrsimulatorstrecken vom Straßentyp 5 (EKL 3 KV) und 6 (EKL 3 E)

Die Analyse des Spurverhaltens auf den Strecken der EKL 4 mit anderen Verkehrsteilnehmern umfasst alle aufgezeichneten Spurprofile. Dies führt dazu, dass auch die Fahrlinien der Überholer mit in die Auswertung einbezogen werden. Aufgrund der geringen Anzahl an Überholvorgängen weisen diese jedoch nur einen Einfluss auf die S_{85}-Werte auf. Ein Ausschluss dieser Fahrten oder Fahrtenteile würde andernfalls zu einem nicht korrekten allgemeinen Spurverhalten führen, da bereits im Vorlauf eines Überholvorganges ein anderes Spurverhalten auftritt und keine eindeutige Abgrenzung eines Überholvorganges vorgenommen werden kann (Fahrzeugführer passen fortlaufend ihr Spurverhalten zur Überprüfung der Überholsicht an). Z.B. kann nicht festgestellt werden, ob ein Fahrzeugführer eine Überholmöglichkeit nicht angenommen oder abgelehnt hat.

Die absoluten Seitenabstände auf den Fahrsimulatorstrecken der EKL 4 real (mit Leitlinie in Fahrbahnmitte) und der EKL 4 real NT (mit Kernfahrbahn) zeigen, dass zwischen den beiden Verkehrssituationen für die Perzentile S_{15} und S_{50} nur geringe Unterschiede bestehen (vgl. Abb. 98). Die Fahrlinien mit Fremdverkehr liegen leicht nach links versetzt. Dies kann auf die Überholversuche zurückgeführt werden. Die S_{85}-Werte ver-

deutlichen, dass im Fall einer markierten Leitlinie in Fahrbahnmitte eine höhere Anzahl an Überholern vorliegt. Weiterhin verdeutlichen die Perzentilwerte der Fahrten ohne fremdverkehr, dass im Fall einer markierten Kernfahrbahn im Mittel etwa 0,25 m weiter links zur Fahrbahnmitte gefahren wird, was zu einer Erhöhung des Abstandes zu Hindernissen im Seitenraum führt. Hierbei ist für die höheren Perzentilwerte eine stärkere Ausprägung festzustellen.

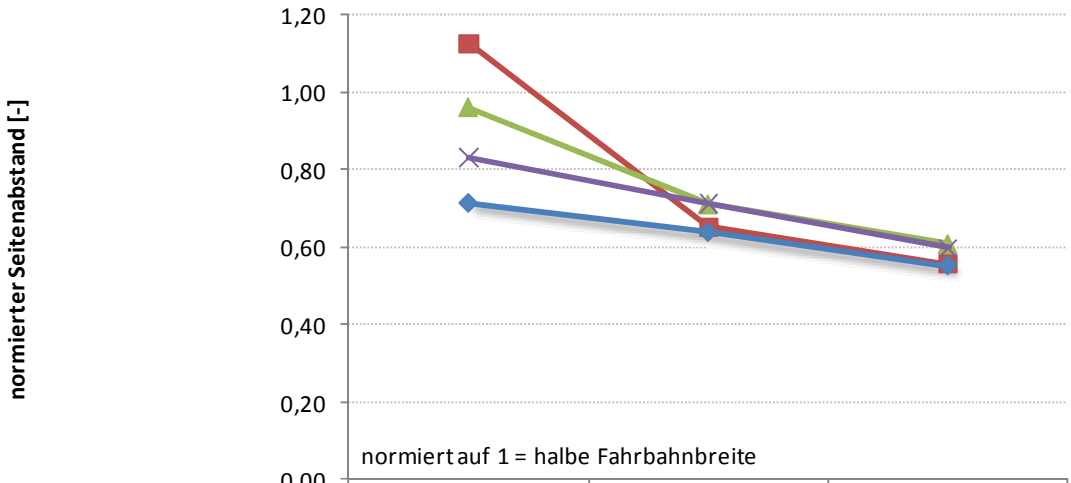


	S85 [m]	S50 [m]	S15 [m]
ST 7 real mit Verkehr	3,37	1,96	1,67
ST 7 real ohne Verkehr	2,14	1,91	1,65
ST 7 real NT mit Verkehr	2,88	2,13	1,83
ST 7 real NT ohne Verkehr	2,50	2,14	1,79

Abb. 98 absoluter Seitenabstand auf den Fahrsimulatorstrecken mit einem schmalen zweistreifigen Querschnitt (real) bzw. einem einstreifigen Querschnitt mit Kernfahrbahn (real NT) im Bereich einer Geraden

Ein Vergleich der normierten Seitenabstände (vgl. Abb. 99) zeigt den grundsätzlichen Versatz zur Fahrbahnmitte, der sich bei den verschiedenen Markierungsvarianten unterschiedlich ausgeprägt darstellt. Die zweistreifigen Querschnitte liegen im Mittel bei 0,64 bzw. 0,65. Der einstreifige Querschnitt mit Kernfahrbahn liegt im Mittel bei 0,71 und zeigt für beide Verkehrssituationen konstante Perzentile.

Ein Vergleich der ermittelten normierten Seitenabstände im Fahrsimulator mit denen auf der Realstrecke (K 88) zeigt für den einstreifigen Querschnitt mit Kernfahrbahn einen Versatz von 0,05 nach links. Dies wird zu einem Teil auf die um 0,3 m breitere Fahrbahn der Fahrsimulatorstrecke zurückgeführt.



	S85 [-]	S50 [-]	S15 [-]
ST 7 real mit Verkehr	1,12	0,65	0,56
ST 7 real ohne Verkehr	0,71	0,64	0,55
ST 7 real NT mit Verkehr	0,96	0,71	0,61
ST 7 real NT ohne Verkehr	0,83	0,71	0,60

Abb. 99 normierter Seitenabstand auf den Fahrsimulatorstrecken mit einem schmalen zweistreifigen Querschnitt (real) bzw. einem einstreifigen Querschnitt mit Kernfahrbahn (real NT) im Bereich einer Geraden

Eine Betrachtung des Spurverhaltens über die gesamte Fahrsimulatorstrecke ermöglicht eine Einschätzung des Spurverhaltens in Kurven sowie in den Knotenpunktbereichen. In Linkskurven mit hohen Sichtweiten konnte ein Spurversatz von bis zu 0,67 m festgestellt werden (vgl. Abb. 100). In Rechtskurven wurde bei beiden Markierungsformen ein ähnliches Spurverhalten festgestellt ebenso in den Knotenpunktbereichen. Dies kann auf die Unterbrechung der Kernfahrbahn durch eine Markierung in Fahrbahnmitte im Knotenpunktbereich zurückgeführt werden. Die Anpassung der Fahrspur erfolgt hierbei über eine längere Wegstrecke, wodurch keine ruckartige Anpassung erfolgt und demnach kein erhöhtes Sicherheitsrisiko vorliegt.

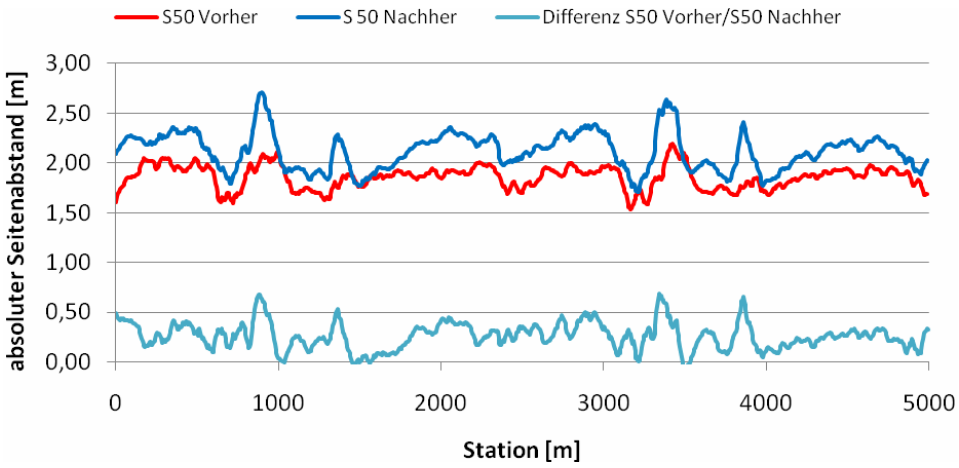


Abb. 100 mittleres Spurverhalten ohne Fremdverkehr, Differenz Vorher/Nachher

Es zeigt sich im Nachher-Fall ohne andere Verkehrsteilnehmer ein durchschnittlicher Versatz der mittleren Fahrspur von etwa 0,25 m nach links. Im Fall mit anderen Verkehrsteilnehmern liegt dieser Wert bei etwa 0,18 m (Tab. 14). Es wird somit die Orientierung der Fahrzeugführer an der rechten Leitlinie des Ausweichstreifens bestätigt.

Tab. 14 zeigt die verschiedenen Perzentilwerte des Seitenabstandsverhaltens auf den Strecken der EKL 4. Es zeigt sich hierbei, dass das gemittelte Spurverhalten bei den realen Fahrsimulatorstrecken (EKL 4 real und EKL 4 real NT) für den Fall ohne andere Verkehrsteilnehmer über die Strecke die gleichen Werte aufweist wie in den Geradenbereichen. Zudem werden für das gemittelte Spurverhalten auf den kurvigen Strecken fast identische normierte Seitenabstände festgestellt (vgl. Tab. 14).

	absoluter Seitenabstand über die Strecke [m]			**normierter Seitenabstand über die Strecke [-]**			**normierter Seitenabstand in der Geraden [-]**		
	S_{85}	**S_{50}**	**S_{15}**	**S_{85}**	**S_{50}**	**S_{15}**	**S_{85}**	**S_{50}**	**S_{15}**
EKL 4 real mit Verkehr	2,46	1,91	1,64	0,82	0,64	0,55	1,12	0,65	0,56
EKL 4 real ohne Verkehr	2,11	1,87	1,62	0,70	0,62	0,54	0,71	0,64	0,55
EKL 4 real NT mit Verkehr	2,54	2,09	1,80	0,85	0,70	0,60	0,96	0,71	0,61
EKL 4 real NT ohne Verkehr	2,48	2,12	1,78	0,83	0,71	0,59	0,83	0,71	0,60
EKL 4 mit Verkehr	2,56	2,13	1,75	0,85	0,71	0,58	nicht erhoben		
EKL 4 ohne Verkehr	2,53	2,12	1,75	0,84	0,71	0,58			

Tab. 14 gemitteltes Seitenabstandsverhalten auf den Fahrsimulatorstrecken des Straßentyps 7 (EKL 4)

6.8 Blickverhalten

Zusätzlich zu den Untersuchungen zum Fahrverhalten wurde bei den Fahrsimulatorversuchen das Blickverhalten ausgewählter Probanden untersucht. Ziel war es, eine Evaluierung des Einflusses der einstreifigen Querschnittsgestaltung nach den RAL [30] durchzuführen.

Da bereits in anderen Untersuchungen (u.a. DIEM [18], LAND / LEE [57]) für die verschiedenen Entwurfselemente Gerade, Rechtskurve und Linkskurve unterschiedliche Blickverhalten festgestellt werden konnten, wurden diese getrennt voneinander untersucht. Für den Streckenverlauf der Strecke EKL 4 real / EKL 4 real NT wurden neben einem geraden Abschnitt Bereiche in einer Links- und in einer Rechtskurve mit den Radien R = 200 m bzw. R = 400 m betrachtet. Aufgrund der geringen Länge der Rechtskurve von etwa 100 m werden alle Abschnitte über diese Länge pro Durchfahrt untersucht. Da die nach den RAL [30] entworfene Fahrsimulatorstrecke EKL 4 aufgrund der zugehörigen Trassierungsparameter keine geraden Abschnitte bzw. keine Kurvenradien von R = 400 m aufweist, erfolgte die Auswertung des Blickverhaltens in der Rechtskurve hier vergleichend für den Radius R = 250 m und die Auswertung in der Geraden entfiel. Eine Übertragung war möglich, da bereits durch DIEM [18] festgestellt wurde, dass zwischen den betreffenden Radien grundsätzlich kein gravierend anderes Blickverhalten auftritt, weshalb die Daten für qualitative Aussagen herangezogen werden können.

6.8.1 Methode zur Erfassung der Blickbewegungen

Für die Erfassung des Blickverhaltens existieren verschiedene Methoden (vgl. DIEM [18]). Zu den geläufigsten Methoden zur Registrierung der Blickbewegungen gehören die mit optischer Abbildung.

Bei Methoden mit optischer Abbildung ist es möglich, die Augenbewegungen berührungslos zu detektieren und mittels Kameras aufzuzeichnen. Unterschieden wird dabei zwischen der Cornea- und der Limbusreflexmethode. Während bei der Corneareflexmethode der Unterschied der Krümmungen von Pupille und Augapfel dazu verwendet wird, die Blickbewegung zu bestimmen, bezieht sich die Limbusreflexmethode auf die unterschiedlichen Reflexionseigenschaften von Iris und Lederhaut. Aufgrund der erreichbaren Messgenauigkeiten und der geringen Beeinflussung der Versuchsperson ist die Corneareflexmethode gut geeignet, um Blickbewegungen während des Fahrens aufzuzeichnen.

6.8.2 Messungen des Blickverhaltens

Die Aufzeichnung des Blickverhaltens erfolgte mit dem mobilen Eyetracker iView X™ HED der SMI SensoMotoric Instruments GmbH des Zentrums Mensch-Maschine-Systeme der TU Berlin. Dieser Eyetracker stellt ein videobasiertes System dar, das die Augenbewegung mit einem Corneareflex-Verfahren aufzeichnet. Die Messtechnik ist dabei auf einem Baseball Cap angebracht und wiegt unter 100 g, was eine hohe Mobilität garantiert und kleinstmögliche Beeinträchtigung des Fahrers bei der Fahraufgabe

bedeutet (vgl. Abb. 101). In dem Eyetracker ist eine Videokamera integriert, die das vorausliegende Umfeld aufzeichnet. Durch die fixe Position des Eyetrackers zum Kopf der Versuchsperson kann somit das gesamte Blickfeld dargestellt werden. Für die Auswertung der Daten erfolgt eine Ausgabe der Aufzeichnungen sowohl als Videodatei mit eingeblendetem Fadenkreuz zur Visualisierung des Blickpunktes als auch als Systemdatei mit den Programminformationen des Eyetrackers.

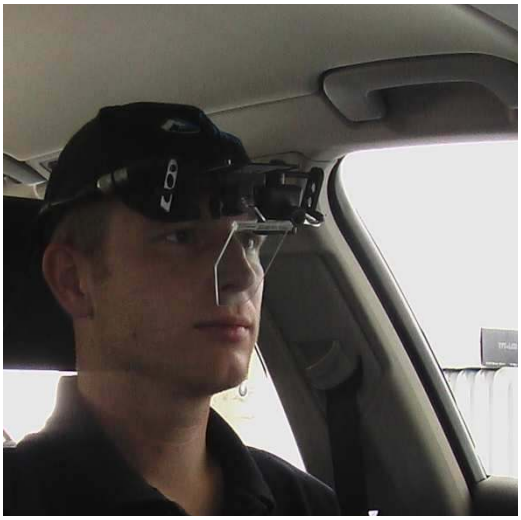


Abb. 101 Apparatur des Eyetrackers zur Blickerfassung

Alle Versuche zum Blickverhalten wurden ausschließlich im Fahrsimulator durchgeführt, da auf den realen Untersuchungsstrecken keine Probandenfahrten durchgeführt wurden. Zur Kalibrierung des Eyetrackers mussten die Probanden vor und nach jeder Versuchsfahrt mehrere definierte Objekte fixieren, um die Übereinstimmung der Positionen dieser Objekte mit den aufgezeichneten Blickpunkten sicherzustellen.

6.8.3 Analyse der örtlich-räumlichen Gestaltung und der Suchprozesse

Für die Analyse der Blickbewegungen lassen sich diverse Parameter erfassen, die zum Beispiel Auskunft über den Informationsgehalt von Regionen im Blickfeld oder das Suchverhalten der Testperson geben. Zu diesen Parametern gehören die folgenden, in DZAACK [20] aufgeführten Kenngrößen.

Fixationsdichte

Hierfür wird über das Blickgebiet ein regelmäßiges Raster gelegt. Anschließend wird die Anzahl oder die Dauer der in die einzelnen Felder des Rasters fallenden Fixationen bestimmt. Die absolute oder relative Angabe dieser Werte weisen auf den Informationsgehalt in den Zellen hin, wobei hohe Werte der Fixationsdichte für einen hohen Informationsgehalt stehen.

Räumliche Dichte

Wie bei der Fixationsdichte wird das Blickgebiet in regelmäßige Felder unterteilt. Mit der Information über die Anzahl der Fixationen in den einzelnen Feldern wird die Anzahl der Felder bestimmt, in die mindestens eine Fixation gefallen ist. Ein kleiner pro-

zentualer Anteil der Fixierten an der Gesamtheit aller im Blickgebiet vorhandenen Felder deutet dabei auf eine gerichtete globale Suche hin.

Relative Häufigkeit der Fixation von Objekten

Für die Bestimmung der relativen Häufigkeit der Fixation von Objekten wird das Blickgebiet wiederum in ein Raster unterteilt oder es werden so genannte areas of interest (AOI) definiert, die untersucht werden sollen. Bei der Analyse wird dann die Anzahl der in die Felder bzw. AOI fallenden Fixationen ermittelt. Eine große Anzahl an Fixationen in einer AOI deutet dabei auf eine Region hin, die eine hohe visuelle Aufmerksamkeit erfordert.

Kumulierte Fixationsdauer

Zur Ermittlung der kumulierten Fixationsdauer werden die Dauern aller in die jeweiligen Rasterfelder fallenden Fixationen summiert. Ähnlich wie bei der relativen Fixationshäufigkeit weist ein hoher Wert auf einen Ort hin, der eine hohe visuelle Aufmerksamkeit verlangt. Die kumulierte Fixationsdauer eignet sich für den Vergleich von unterschiedlichen Aufgabenbedingungen. Dieser Parameter ermöglicht, schnell Unterschiede und Gemeinsamkeiten im Blickverhalten zu erkennen.

Übergangshäufigkeiten

Voraussetzung für die Bestimmung der Übergangshäufigkeiten ist die Definition von regelmäßigen (Raster) oder selbst gewählten (AOI) Gebieten. Mit ihnen lässt sich die Anzahl der Übergänge der Fixationen zwischen den bestimmten Gebieten feststellen und summieren. Die Anzahl der Übergänge zwischen den Gebieten gibt Aufschluss über die Effizienz des Blickpfades. Darüber hinaus kann aus den Übergangshäufigkeiten gelerntes Verhalten abgeleitet werden.

Anzahl der Fixationen

Innerhalb eines Zeitintervalls wird die Anzahl aller registrierten Fixationen bestimmt. Dieser Parameter kann Hinweise liefern, mit denen sich Suchprozesse beschreiben lassen. So kann eine kleine Anzahl auf ein vordringliches Ziel, eine gut trainierte Testperson oder eine einfache Aufgabe hindeuten, wogegen eine große Anzahl an Fixationen ein Hinweis auf eine behinderte visuelle Suche bedeuten kann.

Übergangsdichte

Die Ermittlung der Übergangsdichte basiert auf der Ermittlung der Übergangshäufigkeiten. Zunächst wird die Anzahl der Übergänge zwischen zwei Gebieten mit mehr als einem Übergang bestimmt und anschließend ins Verhältnis zu allen möglichen Übergängen gesetzt. Ein großer Wert kann dabei ein Indiz für einen langen, verteilten Blickpfad und ein kleiner Wert für eine direkte visuelle Suche sein.

6.8.4 Auswertung des Blickverhaltens

Bei der Auswertung des Blickverhaltens wird auf die konvertierten Daten von LORENZ [67] zurückgegriffen, die wiederum auf den durchgeführten Fahrsimulatorversuchen

basieren. Diese wurden für die Auswertung des Blickverhaltens durch die Software SimTrA (vgl. DZAACK [20]) erzeugt. Um die mit dem Eyetracker der Firma SMI gewonnenen Daten mit SimTrA verwenden zu können, erfolgte zunächst eine Konvertierung der Systemdateien mit dem Programm BeGaze 2 der Firma SMI. Bei der Konvertierung wurden aus den Rohdaten die Fixationen mit Orts- und Zeitangaben extrahiert und in von SimTrA einlesbare .txt-Dateien gespeichert. Die Konvertierung erfolgte mit den Standardparametern aus BeGaze 2 für die Mindestdauer der Fixation (t = 80 ms) und der zulässigen Abweichung vom ersten Fixationspunkt (Δ = 100 px). Für die Analyse des Blickverhaltens wurden die folgenden Parameter ermittelt und ausgewertet:

- Räumliche Dichte,
- Relative Häufigkeit der Fixation von Objekten,
- Kumulierte Fixationsdauer.

Auf die Auswertung weiterer Parameter (z.B. Anzahl der Fixationen) wurde verzichtet, da die betrachteten Abschnitte zu kurz sind, um fundierte Aussagen treffen zu können. Aufgrund der Kürze der Abschnitte kommt es nur zu wenigen Fixationen und kurze, zufällige Augenbewegungen, wie zum Beispiel ein Lidschlag, haben einen zu großen Einfluss auf das Ergebnis.

Problematisch bei der Blickauswertung ist die in den Videos auftretende Dynamik der abgebildeten Straße. Diese ist in dem dynamischen Spurverhalten des Fahrzeugs begründet. Aber auch die Kopfbewegungen des Probanden führen zu einer Verschiebung der Straße im Blickfeld und damit auch zu einer anderen Lage im Video. Um diese Dynamik weitestgehend nicht in die Auswertung einfließen zu lassen, musste die Auswertungsmethode dementsprechend gewählt werden. Das heißt, dass das für die Auswertung über das Videobild gelegte Raster eine Auflösung haben muss, die zwar Änderungen im Blickverhalten registriert, aber von Spuränderungen verursachte Verschiebungen unberücksichtigt lässt. Es wurde daher ein Raster gewählt, dass eine Feldgröße von 80x45 Pixel aufweist (vgl. Abb. 102).

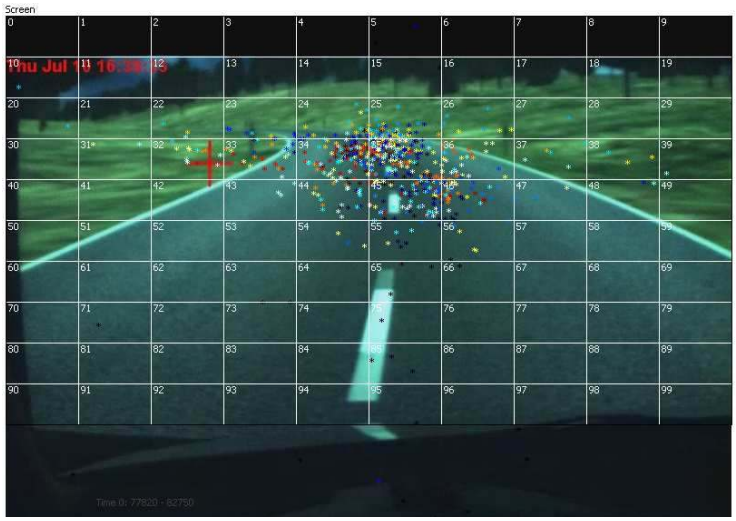


Abb. 102 Raster zur Blickauswertung [67]

In der weiteren Auswertung mussten die erfassten Daten für Vergleichszwecke aufbereitet werden. Dazu wurde der jeweils erste Kurven- bzw. Geradenabschnitt als Referenzobjekt definiert und die Abweichungen der folgenden Abschnitte über die manuelle Änderung der Fixationspunkte ermittelt. Damit war es möglich, die Daten aller entsprechenden Untersuchungsabschnitte übereinander zu legen und das Blickverhalten auf den unterschiedlichen Streckenabschnitten zu vergleichen.

Durch die relativ große Fehleranfälligkeit durch die vorhandene Dynamik, die manuelle Überlagerung der Fixationspunkte und den geringen Umfang der Stichprobe kann die Auswertung des Blickverhaltens bei erfassten Änderungen nur Tendenzen einer Verschiebung des fovealen Sehens liefern. Es erfolgte aufgrund der Einflüsse der auftretenden Kopf- und Fahrzeugbewegungen keine ausführliche statistische Auswertung der erfassten Daten.

Eine Auswertung der Fixationen auf die Fahrzeuge des Gegenverkehrs kann wegen der genannten Dynamik sowohl des Fahrers und des eigenen Fahrzeuges als auch der entgegenkommenden Fahrzeuge mit der benutzten Auswertungssoftware nicht erfolgen. Durch das große Raster bei der Auswertung und dem Entfernungsbereich, in dem der Gegenverkehr fixiert wird, kann nur bedingt zwischen der Fixation der Straße und des Gegenverkehrs unterschieden werden. Es konnte jedoch beobachtet werden, dass die Fahrzeugführer die Fahrzeuge des Gegenverkehrs als Referenzobjekt verwendeten.

6.8.5 Blickverhalten in der Geraden

Das Blickverhalten auf der Geraden weist bei den Probanden keine wesentlichen Unterschiede zwischen der Markierung nach den RAS-Q [35] mit einer Leitlinie in Straßenmitte und der Markierung nach den RAL [30] mit seitlichen Leitlinien zur Schaffung einer Kernfahrbahn auf. Die Auswertung der Fixationen zeigt, dass der Blick in beiden Fällen zum Fluchtpunkt mit einer seitlichen Verschiebung zum rechten Fahrbahnrand gerichtet ist.

Proband 1 zeigt für beide Markierungsvarianten eine fast ausnahmslose Konzentration der räumlichen Dichte der Fixationen auf die beiden Felder im Bereich des Fluchtpunktes der Straße (vgl. Abb. 103 und Abb. 104). Neben der räumlichen Dichte ist auch bei Auswertung der relativen Häufigkeit der Fixation von Objekten ersichtlich, dass der überwiegende Teil aller registrierten Fixationen auf den bereits beschriebenen Bereich gerichtet waren. Das heißt, dass dieser Bereich für die Fahraufgabe einen hohen Informationsgehalt für die Spur- und Geschwindigkeitswahl liefert. Die Auswertung der kumulierten Fixationsdauern unterstreicht ebenfalls das bei den vorhergehenden Auswertungen beobachtete Blickverhalten. Die von der Straße abgewandten Fixationen bei der neuen Markierung sind zu vernachlässigen, da sie für die Orientierung und die Wahl des Fahrverhaltens keinen Einfluss haben, was auch an deren Anteil an der kumulierten Fixationsdauer zu erkennen ist.

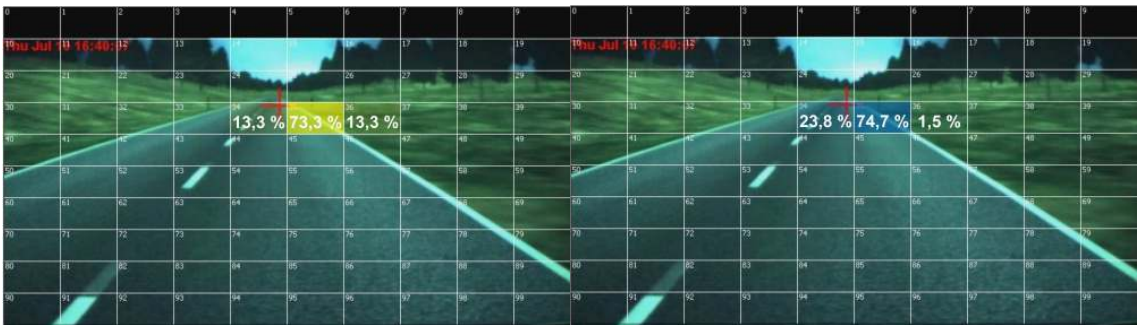


Abb. 103 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 auf der Geraden; Daten der EKL 4 real

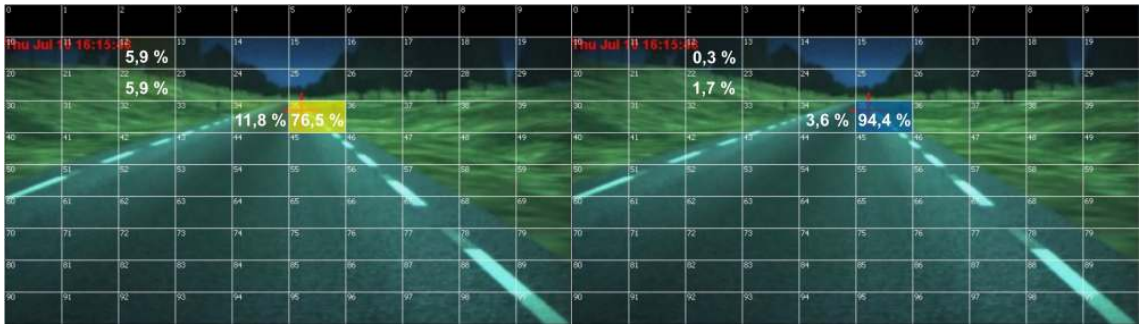


Abb. 104 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 auf der Geraden; Daten der EKL 4 real NT

Die Auswertung der räumlichen Dichte für Proband 2 ergibt für die Markierungsvariante nach den RAS-Q [35] einen etwas breiteren Bereich in den die Fixationen fallen. Die in den Untersuchungsintervallen festgestellten Fixationen in die Seitenräume liefern jedoch keine Informationen für die Spur- und Geschwindigkeitswahl. Bei der Betrachtung der relativen Häufigkeit der Fixationen und besonders der prozentualen kumulierten Fixationsdauern ist festzustellen, dass der Schwerpunkt der Fixationen wie bei Proband 1 im Bereich des Fluchtpunktes mit einem Versatz zum rechten Fahrbahnrand liegt. Die Messdaten zeigen darüber hinaus die Tendenz, dass bei der Markierung nach den RAL [30] ein größerer Teil der Fixationen näher an das Fahrzeug rücken. Dies kann bei der Durchsicht der Videosequenzen bestätigt werden.

Es kann zudem beobachtet werden, dass die Fixationen auf der Geraden bei der Markierung mit Kernfahrbahn häufig weiter auf der Fahrbahn im Bereich der Leitlinie liegen, als dies bei der alten Markierung geschieht. Dies lässt den Schluss zu, dass sich Proband 2 häufig an der seitlichen Leitlinie orientiert.

Aufgrund des groben Rasters bei der Auswertung erlauben die Daten keine grundsätzliche Aussage darüber, ob sich die Probanden bei der neuen Markierung an der Leitlinie oder am Fahrbahnrand orientieren. Im Bereich der Geraden liefert die visuelle Auswertung der Videoaufnahmen keinen eindeutigen Eindruck, da die Fixationen so weit vor dem Fahrzeug liegen, dass keine verlässliche Unterscheidung nach Leitlinie oder Fahrbahnrand möglich ist.

6.8.6 Blickverhalten in Rechtskurven

Die Auswertung des Blickverhaltens in Rechtskurven ergab unterschiedliche Ergebnisse für die beiden Probanden. Anders als auf der Geraden zeigt sich bei einer der Probanden in der Rechtskurve eine leichte Verschiebung der Fixationen.

Der Vergleich der räumlichen Dichte bei Proband 1 in der Rechtskurve mit alter und neuer Markierung macht kenntlich, dass bei beiden Markierungsvarianten ein etwa gleich großer Bereich für die Suchvorgänge von Bedeutung ist (vgl. Abb. 105 und Abb. 106). Die Bestimmung der relativen Häufigkeiten der Fixationen zeigt jedoch, dass die Fixationen bei der Markierung nach den RAS-Q [35] im Bereich des rechten Fahrbahnrandes liegen, wohingegen die Fixationen bei der Markierung nach den RAL [30] vom Fahrzeug weg in Richtung des Kurvenausgangs verschoben sind. Die Auswertung der nach den RAL [30] trassierten kurvigen Strecke bestätigt dieses Verhalten. Die relativen kumulierten Fixationsdauern verdeutlichen den größeren Anteil an der Fixationsdauer hin zum Kurvenausgang und zeigen somit die erhöhte Aufmerksamkeit in diesem Bereich an. Die Sichtung der entsprechenden Videosequenzen legt nahe, dass der Proband bei der abmarkierten Kernfahrbahn im Kurvenbereich sowohl die Leitlinie als auch den Fahrbahnrand zur Orientierung nutzt.

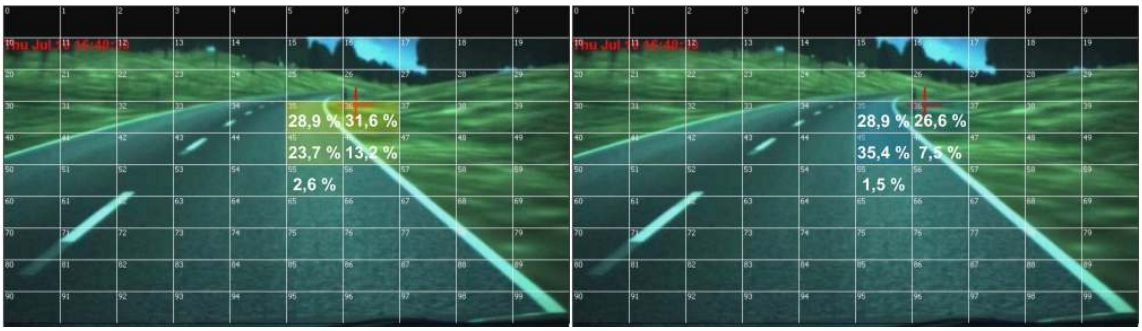


Abb. 105 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 in der Rechtskurve; Daten der EKL 4 real

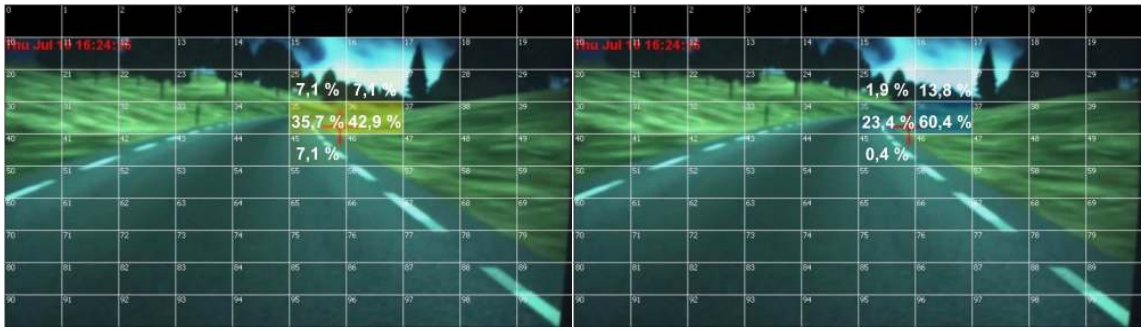


Abb. 106 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 in der Rechtskurve; Daten der EKL 4 real

Beim zweiten Proband ist bei der Untersuchung des Blickverhaltens in der Rechtskurve zwischen den Markierungsfällen auf der realen Strecke anhand der Daten kein Unterschied festzustellen. In beiden Fällen erfolgt die Orientierung im Bereich der rechten Fahrbahnbegrenzung. Dieses registrierte Verhalten kann nach Durchsicht der Video-

aufnahmen ebenfalls bestätigt werden. Die Videoaufzeichnungen und die entsprechenden Messwerte für die fahrverhaltensoptimiert trassierte Strecke bestätigen grundsätzlich das beobachtete Blickverhalten. Es liegt jedoch ähnlich wie bei Proband 1 eine leichte Verschiebung der Fixationen zum Kurvenausgang vor.

Insgesamt scheint das Vorhandensein der Leitlinie in Straßenmitte keinen großen Einfluss auf das Blickverhalten in Rechtskurven zu haben. Genau wie bei dem geraden Abschnitt konnte bei beiden Probanden in Zusammenhang mit der Änderung der Blickweite eine entsprechende Geschwindigkeitsänderung beobachtet werden.

6.8.7 Blickverhalten in Linkskurven

Die Auswertung der Linkskurven ergab ein ähnliches Ergebnis wie bei den Rechtskurven. Beide Probanden weisen in der Linkskurve bei der neuen Markierung mit einer Kernfahrbahn ein verändertes Blickverhalten auf als bei der alten Markierung mit Leitlinie in Straßenmitte.

Die Auswertung der Messdaten der Linkskurve für die räumliche Dichte der Fixationen bei der Markierung nach den RAS-Q [35] von Proband 1 zeigt, dass bei der Kurvenfahrt in einer Linkskurve ein relativ großer Bereich des Blickfeldes zur Informationsaufnahme genutzt wird (vgl. Abb. 107). Dieser Bereich erstreckt sich von der Fahrbahnmitte hin zur Richtung des Kurvenausgangs. Es liegt jedoch eine Konzentration im Bereich der Leitlinie in Straßenmitte vor. Auch die Auswertung der relativen Häufigkeiten der Fixationen zeigt, dass dabei der Blick häufig auf die Fahrbahnmitte gerichtet ist, wo sich nach der Markierung nach den RAS-Q [35] die Leitlinie befindet. Bei der visuellen Auswertung der Videoaufnahmen von Proband 1 kann ebenfalls festgestellt werden, dass in Linkskurven die Leitlinie in Straßenmitte häufig fixiert wird. Bei der neuen Markierungsvariante ist die mittlere Leitlinie nicht vorhanden. Proband 1 ändert daraufhin das Fixationsverhalten. Der die Fixationen umfassende Bereich zeigt sich etwas kompakter und verschiebt sich leicht vom Fahrzeug weg (vgl. Abb. 108). Es wird nun häufiger der Bereich des Kurvenausgangs und der linke Fahrbahnrand, sowie die Fahrbahnmitte im Bereich des Fluchtpunktes fixiert. Dies ist bedingt durch die fehlende optische Führung in der Straßenmitte, so dass Proband 1 andere Objekte, wie zum Beispiel die linke Leitlinie, zur Orientierung nutzt. Dieses tendenziell geänderte Blickverhalten kann auf der fahrverhaltensoptimiert trassierten Strecke reproduziert werden. Auch hier ergibt die visuelle Auswertung des Videomaterials, dass die linke Leitlinie eines der fixierten Objekte war.

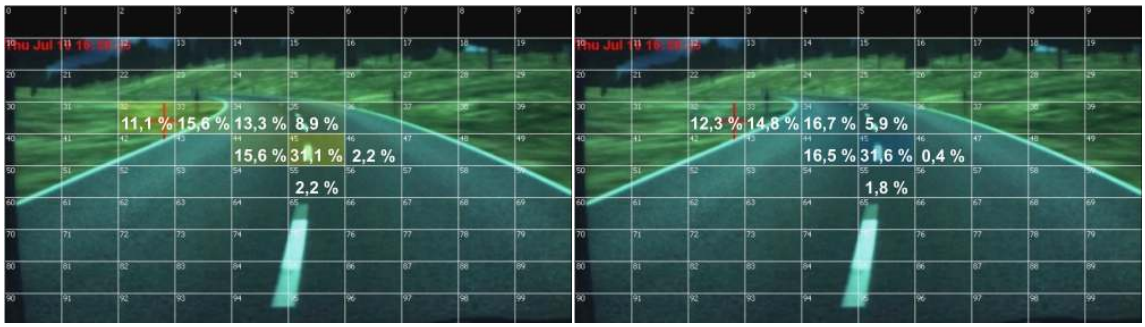


Abb. 107 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 in der Linkskurve; Daten der nach den RAS-Q markierten Strecke

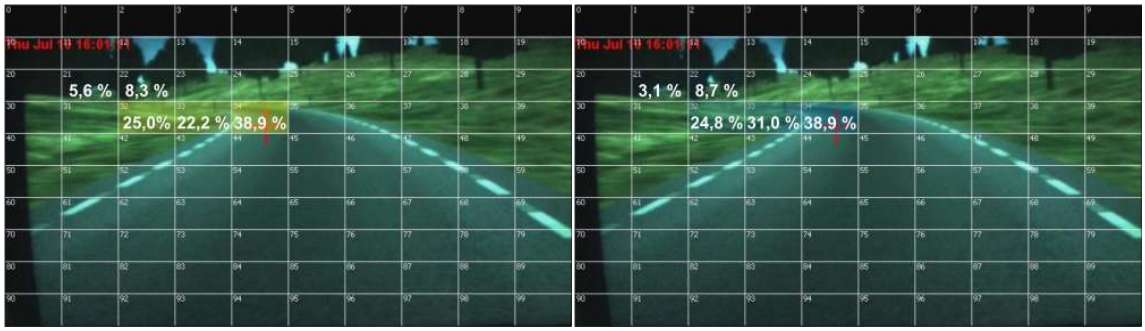


Abb. 108 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 in der Linkskurve; Daten der nach den RAL markierten Strecke

Die Auswertung der Messdaten der Linkskurve für Proband 2 zeigt, dass bei verschiedenen Längsmarkierungen ebenfalls unterschiedliche Blickverhalten auftreten. Die räumliche Dichte der Fixationen verdeutlicht, dass bei der Markierung nach den RAL [30] ein größerer Bereich für die foveale Wahrnehmung genutzt wird als bei der Markierung nach den RAS-Q [35]. Die Vergrößerung dieses Bereichs erfolgt dabei durch die Verschiebung der Fixation auf Fahrbahnmitte näher am Fahrzeug sowie zur linken Straßenseite hin zum Kurvenausgang. Dies bedeutet, dass die Proband sowohl im Falle der vorhandenen als auch der fehlenden Mittellinie die Fahrbahnmitte bei der Kurvenfahrt zur Orientierung nutzt, sich jedoch in einem Bereich näher am Fahrzeug orientiert, wenn keine Leitlinie in Straßenmitte vorhanden ist. Zudem erfolgen wenige Fixationen am Kurvenausgang. Der Proband erfährt also in Linkskurven bei der Markierung nach den RAL eine geringere Führung durch die Leiteinrichtungen und kompensiert dies nicht wie Proband 1, indem sie andere Objekte der Längsmarkierung zur Orientierung nutzt, sondern reduziert daraufhin die Sichtweite für die Spur- und Geschwindigkeitswahl. Die relative Häufigkeit der Fixationen sowie die Verteilung der relativen kumulierten Fixationsdauern bekräftigen diese Verschiebung der Fixationen. Die Messdaten der verhaltensangepasst trassierten Strecke und auch die Durchsicht der Videoaufzeichnungen bestätigen das durch die geänderte Markierung induzierte Verhalten.

6.8.8 Zusammenfassung

Die Versuche zur Ermittlung des Blickverhaltens ergaben ein ähnliches Verhalten wie es u.a. von DIEM [6] bereits beobachtet wurde. Insgesamt zeigt sich, dass sich bei Änderung der Längsmarkierung ein geändertes Fixationsverhalten einstellt. Die gewonnenen Ergebnisse waren bei den untersuchten Probanden nicht einheitlich.

Bei beiden Probanden kann ein Zusammenhang zwischen Blickweite und gefahrener Geschwindigkeit bestätigt werden. In einem Fall zeigte sich eine Vergrößerung der Blickweite mit einhergehender Steigerung der gefahrenen Geschwindigkeit, um den benötigten Bremsweg überschauen zu können. In dem anderen Fall konnte die Verringerung der Blickweite aufgrund der neuen Markierung in Zusammenhang mit der Reduzierung der Geschwindigkeit beobachtet werden, was die Intention der neuen Markierung auf schwach belasteten Landstraßen ist. Es scheint sich somit die Wirkung der unterschiedlichen Strich-Lücke-Verhältnisse zu bestätigen (vgl. DAVIDSE et al. [15], HERSTEDT [44]). Eine Quantifizierung lässt sich mit dem gewählten Versuchsaufbau jedoch nicht durchführen.

In jedem Fall zeigen die Versuche, dass die Änderung der Längsmarkierung im untersuchten Umfang in Linkskurven die deutlichste Änderung des Blickverhaltens bewirkt, da die Leitlinie in Straßenmitte vor der Ummarkierung häufiger fixiert wird und bei der neuen Markierung nicht mehr als Orientierungsmerkmal zur Verfügung steht. Insgesamt wird bei fehlender Leitlinie in Straßenmitte das Blickverhalten angepasst. Es erfolgt eine Orientierung an den seitlichen Leitlinien bzw. dem Fahrbahnrand.

Da das veränderte foveale Sehen hauptsächlich Auswirkungen auf die Geschwindigkeitswahl hat, wird anhand eines Analogieschlusses zwischen Blickweite und Geschwindigkeit davon ausgegangen, dass das Kollektiv ein ähnliches Blickverhalten aufweist wie Proband 2 und somit bei der Markierung nach den RAL [30] im Mittel eine Reduzierung der Blickweite erfolgt.

Die Auswertung des Blickverhaltens zeigte insgesamt, dass die Änderungen im Fahrverhalten nur zum Teil mit Analysen des fovealen Sehens begründet werden können. Es wurde u.a. eine Veränderung der Geschwindigkeit beobachtet, ohne eine Änderung des Fixationsverhaltens feststellen zu können. Das bedeutet, dass die neue Markierungsvariante auch Auswirkungen auf die periphere Wahrnehmung hat, welche mit der gewählten Methode jedoch nicht darstellbar und zu bewerten sind. Es existiert somit ein Einfluss des peripheren Sehens auf die Geschwindigkeits- und Spurwahl und sollte deshalb mit in eine Auswertung herangezogen werden. Für weitere Erkenntnisse der Auswirkungen der neuen Längsmarkierung auf das Blickverhalten ist es daher sinnvoll, geeignete Methoden zur Erfassung der peripheren visuellen Wahrnehmung mit einzubeziehen.

Für weiterführende Untersuchungen sollte eine ausreichende Anzahl an frei fahrenden Personen ohne Fremdverkehr verwendet werden. Die Videoaufzeichnungen der Probanden mit implementiertem Fremdverkehr haben gezeigt, dass die anderen Fahrzeuge das Fixationsverhalten stark beeinflussen, und daher nur wenige Daten zum gene-

rellen Blickverhalten liefern. Weiterhin sollte für entsprechende Untersuchungen der Versuchsaufbau verfeinert werden. Das heißt, die untersuchten Abschnitte (z.B. Kurvenbereiche) sollten deutlich länger als die der verwendeten Teststrecken sein, um viele und möglichst komplette Fixationen registrieren zu können, damit der Einfluss stochastischer Schwankungen auf das Ergebnis geringer wird. Außerdem ist für eine detailliertere Auswertung darauf zu achten, relative Bewegungen des Straßenraumes zum Aufnahmegerät zu minimieren beziehungsweise auszuschließen. Damit kann das Raster für die Auswertung feiner definiert werden, und es besteht die Möglichkeit, feinere Änderungen im Blickverhalten zu erfassen.

6.9 Vergleich Fahrsimulator / Realfahrten

Der Vergleich der Ergebnisse der Fahrsimulatorversuche („EKL real“) mit den Versuchen auf den realen Untersuchungsstrecken soll die Validität der Fahrsimulatorversuche überprüfen, um abgesicherte Aussagen über die Anwendbarkeit, die Variationsmöglichkeiten und die Einsatzgrenzen der Fahrsimulatorversuche zu ermöglichen.

Ein Vergleich der ermittelten Geschwindigkeiten auf den Fahrsimulatorstrecken bzw. den Referenzstrecken der realen Untersuchungen ist bei vier Strecken möglich. Es erfolgt jeweils der Vergleich der Ergebnisse der Fahrsimulatorversuche mit / ohne Fremdverkehr mit den ermittelten Geschwindigkeiten auf der Referenzstrecke.

Der Vergleich der Fahrsimulatorstrecken der EKL 1 mit der Referenzstrecke (B 3) zeigt, dass die Geschwindigkeitsprofile einen sehr ähnlichen Verlauf aufweisen (vgl. Abb. 109). Die V_{85} auf der Fahrsimulatorstrecke mit Fremdverkehr zeigt hierbei sowohl für den einstreifigen als auch den zweistreifigen Bereich gleiche Veränderungen wie auf der Realstrecke. Der mittlere Geschwindigkeitsunterschied der V_{85} liegt bei etwa 11 km/h. Es ist somit eine leicht höhere Geschwindigkeit im Fahrsimulator festzustellen. Der Geschwindigkeitsunterschied ist jedoch für den Fall mit Verkehr abhängig von der implementierten Fahrgeschwindigkeit der Fremdfahrzeuge. Es zeigt sich, dass u.a. die Pulkbildung im einstreifigen Bereich in der Realität weiter hinten auf der Strecke vorliegt. Ohne andere Fahrzeuge auf der Fahrsimulatorstrecke hingegen liegt kein reales Abbild der Verkehrssituation auf der Referenzstrecke vor. Es wird somit die unbeeinflusste freie Fahrt simuliert.

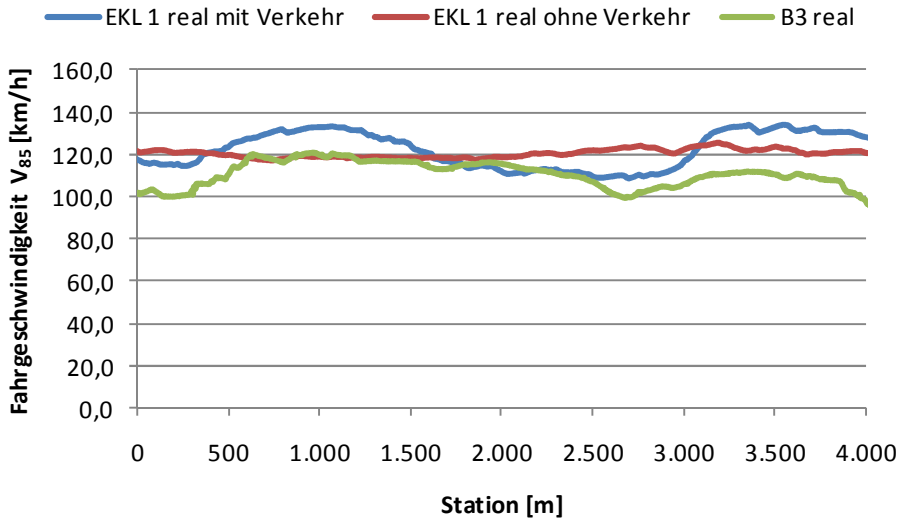


Abb. 109 Vergleich der Geschwindigkeitsprofile (V_{85}) der Fahrsimulatorstrecken der EKL 1 mit der Referenzstrecke (B 3)

Der Vergleich der Fahrsimulatorstrecken der EKL 2 mit der Referenzstrecke (L 48) zeigt, dass die Geschwindigkeitsprofile beider Verkehrssituationen im Fahrsimulator ebenfalls einen sehr ähnlichen Verlauf aufweisen wie die Referenzstrecke (vgl. Abb. 110). Anders als bei der Strecke der EKL 1 ist beim Vergleich der Fahrsimulatorstrecke mit Fremdverkehr mit der Referenzstrecke festzustellen, dass abwechselnd die höheren Geschwindigkeiten vorliegen. Die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz der V_{85} liegt bei 2,9 km/h, wobei die Referenzstrecke die höheren Werte aufweist. Für den Untersuchungsfall ohne andere Verkehrsteilnehmer sind auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten höhere Geschwindigkeiten festzustellen als auf der Referenzstrecke. Im Mittel liegen die Werte der V_{85} 11,6 km/h oberhalb der Werte auf der Referenzstrecke.

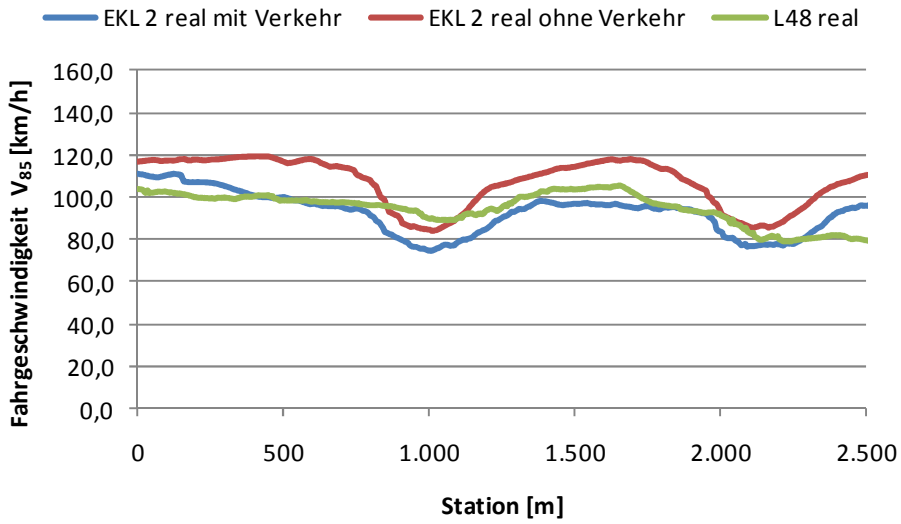


Abb. 110 Vergleich der Geschwindigkeitsprofile (V_{85}) der Fahrsimulatorstrecken der EKL 2 mit der Referenzstrecke (L 48)

Der Vergleich der Fahrsimulatorstrecken der EKL 3 mit der Referenzstrecke (L 77) zeigt insbesondere für den Kreisverkehr eine hohe Übereinstimmung. Auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten liegt die V_{85} auf der Referenzstrecke im ersten Streckenabschnitt zwischen den beiden im Fahrsimulator ermittelten Profilen (vgl. Abb. 111). Für die Situation mit Fremdverkehr liegt die V_{85} im Mittel 9,1 km/h unterhalb der Geschwindigkeiten auf der Referenzstrecke. Ohne Fremdverkehr ist im Mittel eine V_{85} von 10,6 km/h oberhalb der Werte auf der Referenzstrecke. Im Kreisverkehr liegen alle Profile auf einem fast identischen Geschwindigkeitsniveau. Im Streckenteil hinter dem Kreisverkehr zeigt sich, dass für beide Verkehrssituationen höhere Geschwindigkeiten der V_{85} als auf der Referenzstrecke vorliegen. Dies ist auf die Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf der realen Strecke zurückzuführen. Es zeigt sich somit, dass ohne eine Beschränkung in diesem Bereich wesentlich schneller gefahren werden würde.

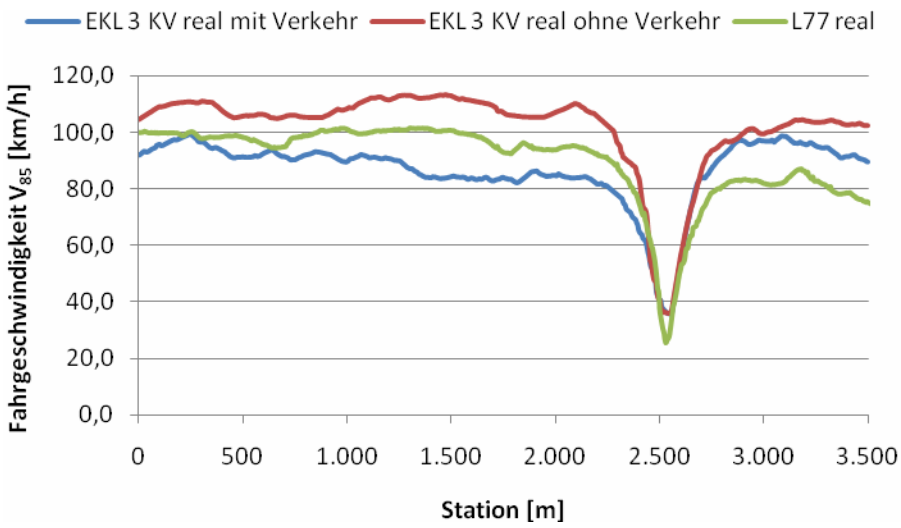


Abb. 111 Vergleich der Geschwindigkeitsprofile (V_{85}) der Fahrsimulatorstrecken der EKL 3 mit der Referenzstrecke (L 77)

Der Vergleich der Fahrsimulatorstrecken der EKL 4 mit der Referenzstrecke (K 88) zeigt ein sehr ähnliches Geschwindigkeitsprofil (vgl. Abb. 112). Allerdings liegt nur ein sehr kurzer Streckenbereich für den Vergleich vor. Für die Fahrsimulatorstrecke mit Fremdverkehr wurde eine im Mittel um 4,2 km/h geringere V_{85} als auf der Referenzstrecke festgestellt. Ohne Fremdverkehr lag die V_{85} im Mittel um 12,5 km/h höher. Aufgrund des fehlenden Knotenpunktbereichs auf der Referenzstrecke kann hierfür kein Vergleich angestellt werden.

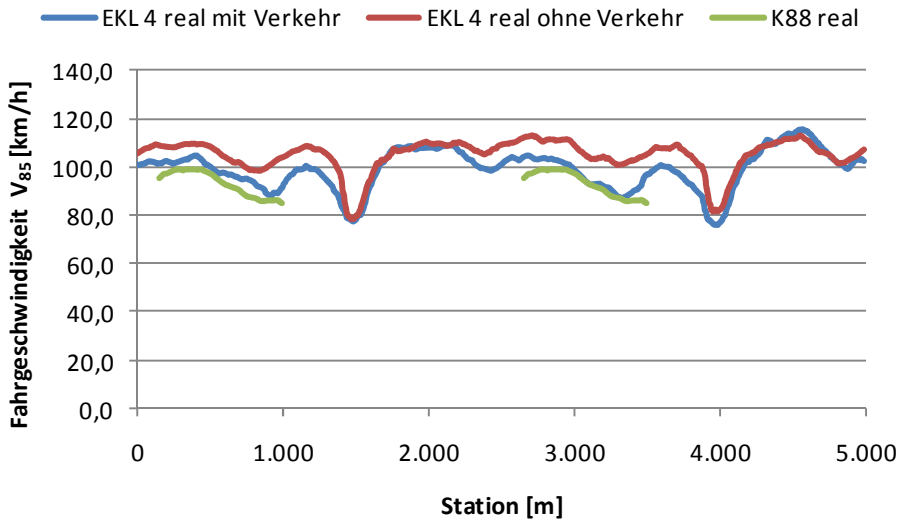


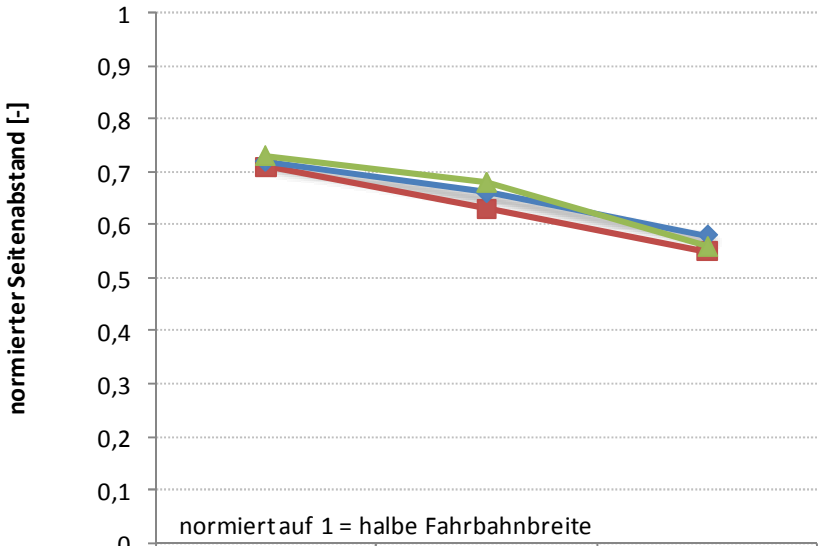
Abb. 112 Vergleich der Geschwindigkeitsprofile (V_{85}) der Fahrsimulatorstrecken der EKL 4 mit der Referenzstrecke (K 88)

Insgesamt zeigt sich eine hohe Übereinstimmung der ermittelten Geschwindigkeiten im Fahrsimulator mit denen auf den Referenzstrecken. Es zeigt sich allerdings für die Untersuchungen mit Fremdfahrzeugen, dass eine Abhängigkeit zu der implementierten Fahrgeschwindigkeit der Fremdfahrzeuge existiert. Für die Untersuchungen ohne Fremdfahrzeuge kann resümiert werden, dass diese das freie Fahren abbilden und somit Geschwindigkeiten oberhalb derer auf den Referenzstrecken aufweisen.

6.9.1 Spurvergleich

Der Vergleich des Spurverhaltens zwischen den Fahrsimulatorstrecken und den Referenzstrecken wird beispielhaft für die zweistreifigen Strecken aufgeführt (vgl. Abb. 113). Die Spurverhaltensanalyse zeigt hierbei eine sehr hohe Übereinstimmung. Dies gilt insbesondere für den Vergleichsfall ohne Fremdverkehr, der den Randbedingungen der Spurverhaltensanalyse auf der Referenzstrecke entspricht. Der Vergleich der Fahrsimulatorstrecke der EKL 3 mit einem Regelquerschnitt RQ 10,5 und der L 38 als Referenzstrecke zeigt für den normierten Seitenabstand nur geringfügige Abweichungen. Bei der S_{85} und der S_{15}, die den 70 %-Kanal beschreiben, liegen diese bei maximal 0,02. Dies entspricht etwa 7,5 cm.

Die anderen untersuchten Querschnitte weisen ähnliche Ergebnisse auf.



	S85	S50	S15
EKL 3 mit Verkehr	0,71	0,63	0,55
EKL 3 ohne Verkehr	0,72	0,66	0,58
Referenz L 38	0,73	0,68	0,56

Abb. 113 Vergleich der normierten Seitenabstände auf zweistreifigen Strecken

6.9.2 Einsatzempfehlungen für den Fahrsimulator

Die durchgeführten Versuche zeigen, dass der Einsatz eines Fahrsimulators valide Ergebnisse für Fragestellungen in der Straßenplanung liefern kann. Es bietet sich u.a. ein Einsatz für Untersuchungen zum Geschwindigkeits- und Spurverhalten an.

Hierzu ist jedoch insbesondere die Implementierung von anderen Verkehrsteilnehmern von hoher Bedeutung. Wie sich bei den Untersuchungen zeigt, liegen für die jeweiligen Verkehrssituationen unterschiedliche Ergebnisse vor. Neben der grundsätzlichen Frage, ob Untersuchungen mit oder ohne Verkehr durchgeführt werden sollten, ist ggf. auch nur eine Implementierung entgegenkommender Fahrzeuge sinnvoll. Zudem zeigte sich, dass neben der Verkehrsdichte auch eine sinnvolle Verteilung der Fahrzeuge (Pulkbildung) sowie eine Variation des Anteils der Schwerverkehrsfahrzeuge erfolgen müssen. Bei Untersuchungen mit Fremdverkehr ist die angesetzte Geschwindigkeit der implementierten Fahrzeuge von wesentlicher Bedeutung.

Der Vergleich der Fahrsimulatorstrecken mit den Referenzstrecken verdeutlicht, dass neben dem grundsätzlichen Erscheinungsbild der Fahrsimulatorstrecken der Einbindung in das Straßennetz eine hohe Bedeutung zukommt. Ein Vergleich realer Strecken mit Fahrsimulatorstrecken ist demnach nur sinnvoll, wenn sehr ähnliche Randbedingungen vorliegen. Hierbei sind u.a. Besonderheiten wie ein Beginn der Messstrecke am Ortsausgang nur schlecht im Fahrsimulator abbildbar. Zudem sollten die Untersuchungsstrecken eine ausreichende Länge aufweisen und mehrfach befahren werden.

Weiterhin sind die Ergebnisse von Fahrsimulatorversuchen abhängig vom Untersuchungskollektiv. Da zumeist nur ein begrenzter Untersuchungsumfang durchgeführt werden kann, sollte das Untersuchungskollektiv möglichst homogen sein.

Als weiteren Untersuchungsgegenstand sind zahlreiche Fragestellungen möglich. Hierbei sind Untersuchungen zum Überholverhalten als auch detaillierte Betrachtungen zum Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten aufgrund der höheren Risikobereitschaft der Probanden bei Fahrsimulatorfahrten kritisch zu sehen. Gleiches gilt für Blickverhaltensmessungen. So sind Untersuchungen zu Sichtweiten nur bedingt möglich, da Blickentfernungen aufgrund der begrenzten Darstellungsmöglichkeiten, die durch die Auflösung der verwendeten Bildschirme existieren, nicht ausreichend abbildbar sind. Zudem zeigte sich bei den Blickverhaltensmessungen, dass das periphere Sehen einen großen Einfluss hat, weshalb eine abgesicherte Wirkung gezielter Fragestellungen, wie die zur Ausführung der Markierungen, zurückhaltend bewertet werden müssen.

Es können allerdings zahlreiche weiterführende Aussagen von erheblicher Tragweite für andere Fragestellungen außerhalb des Bereiches der Straßenplanung abgeleitet werden, da auch Methoden und Komponenten getestet werden können, deren Wirksamkeit schwer abschätzbar ist und wo ein in situ-Versuch nicht kalkulierbare Risiken bergen würde. Hierzu zählen physiologische Messungen wie z.B. zu Müdigkeitsuntersuchungen. Grundsätzlich gilt es jedoch, den Messaufbau der jeweiligen Fragestellung entsprechend anzupassen.

7 Empfehlungen

7.1 Ansätze zur Bildung von wiedererkennbaren Straßen

Wesentliches Ziel der Arbeit ist es, Empfehlungen für eine sichere Gestaltung von Landstraßen abzuleiten. Es zeigt sich, dass eine einheitliche Gestaltung innerhalb der Straßentypen zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit führt und deshalb möglichst wiedererkennbare Straßentypen für den Fahrzeugführer geschaffen werden sollten, damit er sein Fahrverhalten der entsprechenden Charakteristik anpassen kann.

Die Vermutung, dass im ungünstigsten Fall eine verbesserte Vorhersagbarkeit der Streckencharakteristik zu einem erhöhten Geschwindigkeitsniveau führen könnte, da der Fahrzeugführer mit keinen Überraschungen zu rechnen hat, wird nicht bestätigt. Selbst bei leichten Erhöhungen der Geschwindigkeiten wird jedoch auch keine Absenkung des Sicherheitsgewinns erwartet, sofern die verkehrsrechtlichen Vorgaben der einzelnen Straßentypen eingehalten werden.

Für die Bildung von sicheren und wiedererkennbaren Straßentypen gilt es, die folgenden Kriterien in den Vordergrund zu stellen:

- Die Aspekte der Verkehrssicherheit müssen in den Vordergrund treten und ggf. auch höhere Ausbaugrade ermöglichen, die aus Sicht der Verkehrsqualität nicht erforderlich wären (Ergänzung eines Überholfahrstreifens oder planfreie Führung im Knotenpunkt).
- Die Empfehlungen für eine verkehrssichere Gestaltung von Landstraßen müssen in ihrer gesamten Streckencharakteristik erfolgen.
- Die Regelung des Überholprinzips und die Führung im Knotenpunkt sind hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die Verkehrssicherheit, die Verkehrsqualität und die Kosten mit einzubeziehen.
- Die Gestaltungsvorgaben für den Planer müssen in sich homogene aber eindeutig von einander unterscheidbare Straßentypen ergeben.
- Die Implementierung von charakteristischen Unterscheidungsmerkmalen muss erfolgen (Markierung, Beschilderung der zul. Höchstgeschwindigkeit).

7.2 Ableitung von günstigen Straßentypen

Die Ableitung günstiger Straßentypen erfolgt sowohl auf den Ergebnissen der realen Untersuchungsstrecken als auch auf denen der Fahrsimulatorversuche. Die getroffene Vorauswahl geeigneter Straßentypen wird hierbei geprüft und um günstige Elemente der Streckencharakteristik ergänzt. Die Definition der günstigen betrieblichen Elemente bezieht auch die Regelungen der Straßenverkehrsordnung mit ein. Es hat sich gezeigt, dass nur eine ganzheitliche Betrachtung von Planung, Entwurf, Bau und Betrieb eine ausgewogene Streckencharakteristik ergibt und somit möglichst wenige, in sich einheitliche und eindeutig voneinander unterscheidbare Straßentypen geschaffen werden müssen. Nachfolgend sind grundsätzliche Anforderungen an die Gestaltung von Land-

straßen formuliert. Diese werden im Folgenden konkret mit Gestaltungsvorgaben belegt.

Die Ermittlung der mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeiten zeigt, dass eine Einteilung der Landstraßen in vier Entwurfsklassen jeweils die raumordnerischen Ansprüche nach den Vorgaben der RIN erfüllt. Zudem zeigt sich, dass sich ein abgestuftes Geschwindigkeitsniveau zwischen den vier Entwurfsklassen ergibt. Die grundsätzliche Einteilung in vier Entwurfsklassen stellt demnach eine gute Lösung dar.

Die Einteilung in Entwurfsklassen muss allerdings eine ausreichende Differenzierung der einzelnen Gestaltungsmerkmale aufweisen, wobei grundsätzlich im Neubau keine oder nur wenige Ausnahmen zugelassen werden sollten, um das Grundprinzip der wiedererkennbaren Straße nicht zu gefährden. Insbesondere die Identifizierung der Entwurfsklassen lässt sich nur durch eine hohe Homogenität innerhalb der einzelnen Entwurfsklassen erzielen.

Um dem Fahrer eine Entwurfsklasse begreifbar zu machen, damit er sein Fahrverhalten entsprechend anpassen kann, bedarf es entwurfsklassenspezifischer Merkmale. Hierfür ist am besten die längsgerichtete Markierung, die sich dauerhaft im Blickfeld der Fahrer befindet, geeignet. Hierdurch ist es insbesondere möglich, die schmalen Landstraßen von den „normalen“ Landstraßen abzuheben. Weiterhin ist es denkbar eine Markierung einzuführen, die eine erhöhte Aufmerksamkeit der Fahrer bezüglich der Durchführung von Überholvorgängen erzielt. Hierbei kann ggf. eine doppelte Leitlinie zwischen den beiden Fahrtrichtungen eingeführt werden.

Da sich eine der Gestaltung der jeweiligen Straßentypen angemessene Geschwindigkeit nur bis zu einem gewissen Maß beeinflussen lässt, sollte eine Einbeziehung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in die Vorgaben der Straßentypen erfolgen. Hierbei gilt es insbesondere die Nahbereichsstraßen, die als schmale Landstraßen ausgestaltet werden, auf eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h zu beschränken. Desweiteren gilt es aus sicherheitstechnischen Überlegungen die Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit an Orten, die eine zu hohe Fahrgeschwindigkeit erwarten lassen, zu überwachen. Insbesondere an nichtsignalisierten Einmündungen und Kreuzungen und im Vorfeld von Bestandsstrecken ist eine angemessene Fahrgeschwindigkeit sicher zu stellen.

Um an Knotenpunkten ein angemessenes Geschwindigkeitsniveau zu erreichen, sollte an allen plangleichen Knotenpunkten eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf maximal 70 km/h erfolgen. Hierbei sollten enge Knotenpunktabstände zu einem Bereich zusammengefasst werden. Sofern eine reduzierte zulässige Höchstgeschwindigkeit auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten vorliegt, sollte eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im angrenzenden Knotenpunktbereich erfolgen, die mindestens 20 km/h unterhalb der Geschwindigkeit auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten liegt. Auch an Kreisverkehren sollte eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in zwei Schritten auf 70 bzw. 50 km/h vorgenommen werden, um insbesondere bei Dunkelheit den Knotenpunktbe-

reich die Erkennbarkeit zu erhöhen und hierdurch geringere Fahrgeschwindigkeiten zu erzielen.

Die Schaffung von sicheren Überholabschnitten im Landstraßennetz ist von wesentlicher Bedeutung. Neben der Neuordnung der möglichen Überholprinzipien z.B. durch die Anordnung von Überholfahrstreifen beim Straßentyp 4 als regelmäßiges Element, gilt es zudem die zweistreifigen Landstraßen so auszugestalten, dass keine gefährlichen Überholmanöver initiiert werden. In Bereichen mit kritischen Überholsichtweiten, sollte grundsätzlich ein Überholverbot sowohl durch eine Beschilderung als auch durch eine Markierung angeordnet werden. Bei den Nahbereichsstraßen sollte das Überholen, mit der Ausnahme von langsam fahrendem Verkehr, unterbunden werden. Dies könnte ohne eine Beschilderung durch eine neue Markierungsvariante (Kernfahrbahn) angezeigt werden.

Seitenräume sollten hindernisfrei ausgebildet werden bzw. mit den nötigen Schutzeinrichtungen nach den RPS ausgestattet werden.

7.2.1 Ausgestaltung der Straßentypen

Die Ausgestaltung der Straßentypen beinhaltet neben den Elementen der Straßenplanung auch Vorschläge für die Einbeziehung von betrieblichen, verkehrsrechtlichen und organisatorischen Maßnahmen, um den Ansprüchen der Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Landstraßen gerecht zu werden.

Folgende Streckentypen sind unter Einbeziehung der Anforderungen an die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf sinnvoll.

Straßentyp 1 (Entwurfsklasse 1)

- vierstreifiger Querschnitt mit Mittelstreifen (Autobahncharakter)
- durchgängige Überholmöglichkeit
- ausschließlich planfreie Führung im Teilknotenpunkt
- zulässige Höchstgeschwindigkeit 120 km/h

Straßentyp 2 (Entwurfsklasse 1)

- dreistreifiger Querschnitt mit planfreien Knotenpunkten
- knapp 50 % gesichertes Überholen je Fahrtrichtung
- ausschließlich planfreie Führung im Teilknotenpunkt
- zulässige Höchstgeschwindigkeit 110 km/h

Neben den wesentlichen Gestaltungselementen kann beim Straßentyp 2 auch die Ausgestaltung des dreistreifigen Querschnitts mit einem verkehrstechnischen Mittelstreifen mit einer Breite von mindestens 1,0 m zweckmäßig sein, da sich hierdurch die Fahrlinien der beiden Fahrtrichtungen weiter entfernt voneinander befinden und somit ein reduziertes Risiko besteht, in den Fahrstreifen des Gegenverkehrs zu geraten. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit sollte 110 km/h nicht übersteigen, da andern-

falls sehr hohe Exzessivgeschwindigkeiten (insbesondere am Ende der Überholfahrstreifen) zu erwarten sind.

Straßentyp 3 (Entwurfsklasse 2)

Der Einsatz von Straßentyp 3 mit durchgängig, dreistreifigem Querschnitt mit plangleichen Knotenpunkten wird nicht empfohlen.

Straßentyp 4 (Entwurfsklasse 2)

- Zweistreifiger Querschnitt
- situationsabhängig angeordnete Zusatzfahrstreifen (etwa 25 % je Fahrtrichtung), kein freies Überholen
- signalisierte plangleiche Knotenpunkte
- zulässige Höchstgeschwindigkeit 100 km/h auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten, 70 km/h in den Knotenpunkten

Nichtsignalisierte Einmündungen sollten nur bei geringen Verkehrsbelastungen der einmündenden Straßen (unter 3.000 Kfz/24 h) zum Einsatz kommen, da sehr hohe Geschwindigkeiten auch bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h vorliegen (V_{85} etwa 87 km/h) und zudem die mittleren Wartezeiten im Nebenstrom bei höheren Knotenpunktgesamtverkehrsbelastungen oberhalb eines annehmbaren Wertes liegen. Kreuzungen sollten generell signalisiert werden. Sofern nichtsignalisierte Einmündungen angeordnet werden, ist eine Beschränkung der zulässige Höchstgeschwindigkeit bereits in dem an den Knotenpunkt anschließenden knotenpunktfreien Streckenabschnitten vorzunehmen. Zudem ist dieser Bereich in beiden Fahrtrichtungen ohne einen Überholabschnitt im weiteren Knotenpunktbereich (etwa 500 m) auszuführen.

Grundsätzlich sollte ein mittlerer Anteil (etwa 25 % je Fahrtrichtung) von Abschnitten mit Überholfahrstreifen gewählt werden, da ein geringerer Überholdruck die Geschwindigkeiten homogenisiert. Zudem sollte mit abnehmender Länge der Überholabschnitte eine Erhöhung des Anteils erfolgen, um sehr hohe Geschwindigkeiten in den Überholabschnitten zu vermeiden.

Straßentyp 5 (Kreisverkehr) und 6 (Einmündung/Kreuzung) (Entwurfsklasse 3)

- Zweistreifiger Querschnitt
- freies Überholen nur in Bereichen mit ausreichenden Sichtweiten
- Kreisverkehre
- zulässige Höchstgeschwindigkeit 90 km/h auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten, 70 km/h in den Knotenpunkten

Durch eine Erhöhung der Randstreifenbreite von 0,25 m auf 0,50 m wird eine leichte Verlagerung der Fahrlinie innerhalb des Fahrstreifens nach links erzielt, wodurch sich der Seitenabstand zum Rand erhöht. Eine Regelfahrbahnbreite von 8,0 m ist demnach als sinnvoll anzusehen, wobei grundsätzlich ein Randstreifen von 0,50 m vorgesehen

werden sollte und die Fahrstreifenbreite demnach 3,50 m beträgt. Dies würde auch der Zunahme der Fahrzeugbreite der Pkw in den letzten Jahren Rechnung tragen. Bei geringen Schwerverkehrsanteilen ist eine Reduzierung der Fahrstreifenbreite auf minimal 3,25 m möglich. Eine Reduzierung der Randstreifenbreite auf minimal 0,25 m kommt nur bei sehr geringen Verkehrsbelastungen in Betracht.

Die Untersuchungen haben einen Einfluss der Knotenpunktgestaltung auf das Geschwindigkeitsverhalten auf der gesamten Strecke nachgewiesen. Deshalb sollte der Kreisverkehr in Abhängigkeit der Verkehrsbelastungen auf den zu verknüpfenden Straßen insbesondere bei vierarmigen Knotenpunkten bevorzugt eingesetzt werden. Andernfalls sollten Einmündungen Anwendung finden, die allerdings bis zu mittleren Verkehrsbelastungen (insbesondere des einbiegenden/ kreuzenden Verkehrsströme) ohne Lichtzeichenanlage betrieben werden sollten. Nichtsignalisierte Kreuzungen sollten vermieden werden. Grundsätzlich sollten alle Einmündungen und Kreuzungen mit Linksabbiegestreifen ausgestattet werden, um die wartenden Fahrzeug von den Hauptfahrstreifen zu trennen und die Erkennbarkeit von Knotenpunkten zu erhöhen.

Als zulässige Höchstgeschwindigkeit wird 90 km/h empfohlen, um die Fahrgeschwindigkeiten der Schnellfahrer zu senken und damit eine Homogenisierung der Geschwindigkeiten zu erzielen und den Überholdruck abzubauen. In Knotenpunkten sollte unabhängig von dem Vorhandensein einer Lichtsignalanlage eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf maximal 70 km/h erfolgen.

Straßentyp 7 (Entwurfsklasse 4)

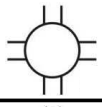
- einstreifiger Querschnitt
- freies Überholen nur bei langsam fahrendem Verkehr
- plangleiche Knotenpunkten
- zulässige Höchstgeschwindigkeit 70 km/h auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten, 50 km/h in Knotenpunkten

Beim Straßentyp 7 sollte zur Abhebung der Nahbereichsstraßen von den Regionalstraßen ein einstreifiger Querschnitt zum Einsatz kommen. Dieser einstreifige Querschnitt sollte unter der Beibehaltung eines konstanten Ausweichstreifens betrieben werden, damit die Fahrzeugführer den Abstand zum Fahrbahnrand einschätzen können. Die Fahrbahnbreite sollte im Regelfall 6,0 m betragen. Die seitliche Abmarkierung einer Kernfahrbahn durch Leitlinien sollte in einem Abstand von mindestens 0,75 m zum Fahrbahnrand erfolgen, da bei geringerer Entfernung zum Fahrbahnrand die Verlagerung der Fahrlinien zur Fahrbahnmitte deutlich reduziert würde und somit die Reduzierung der Wahrscheinlichkeit des Abkommens fast verloren ginge.

Die Knotenpunkte sollten trotz des geringen Verkehrsaufkommens möglichst gut erkennbar sein und immer eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 50 km/h erhalten. Zudem kann eine Ausgestaltung des Nebenarms mit einem Fahrbahnteiler die Erkennbarkeit fördern.

Das freie Überholen sollte auf den Strecken unterbunden werden, da die angestrebten mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeiten ohnehin erfüllt werden. Das Überholen von langsam fahrenden Fahrzeugen, insbesondere des landwirtschaftlichen Verkehrs, sollte hingegen zugelassen werden. Zusätzlich sollte eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h erfolgen. Beides könnte durch die neuartige Markierung ohne erhebliche Mehrkosten, die für zusätzliche Verkehrszeichen entstehen würden, geregelt werden.

Zusammenfassend zeigt Abb. 114 die empfohlenen wesentlichen Gestaltungsmerkmale der Entwurfsklassen.

Entwurfs klasse	knotenpunktfreie Streckenabschnitte			Knotenpunkte	
	Querschnitt	Überhol-prinzip	zulässige Höchst-geschwindigkeit	Knotenpunkt-form	zulässige Höchst-geschwindigkeit
EKL 1		gesichert	110		110
EKL 2		gesichert	100		70
EKL 3		Nutzung des Gegenverkehrsfahrstreifens bei ausreichender Sichtweite	90		50
EKL 4		kein regelmäßiges Überholen	70	*	50

Lichtsignalanlage mit gesicherten Linksabbiegern

* mit kleinem Tropfen im Nebenarm und ggf. Aufstellbereich für Linksabbieger / kurzem Linksabbiegestreifen

Abb. 114 Ausgestaltung der wesentlichen Gestaltungsmerkmale der Entwurfsklassen

7.3 Schlussfolgerungen für die Entwurfspraxis

Eine einheitliche Gestaltung von Landstraßen in Straßentypen schafft durch eindeutige Vorgaben für den Planer ein homogenes Erscheinungsbild von Streckenzügen. Die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Gestaltungsmerkmalen werden zudem ausreichend beachtet. Es gilt jedoch die Vorgaben der Netzplanung als Grundlage für die Gestaltung von Landstraßen heranzuziehen.

Die Anpassung des vorhandenen Netzes an das Prinzip der wiedererkennbaren Straße stellt eine große Herausforderung dar. Grundsätzlich sollte eine Baulastträgerübergreifende Einteilung und Bewertung des Straßennetzes erfolgen. Hierbei gilt es eine Kategorisierung der vorhandenen Straßen vorzunehmen und den Bestand hinsichtlich seiner Gestaltungsmerkmale inklusive der vorhandenen Markierungen und Beschilderungen zu erfassen. Aufbauend auf die Bewertung der Erfüllung der charakteristischen Gestaltungsmerkmale der einzelnen Straßentypen, müssen Anpassungsempfehlungen erarbeitet werden, die für eine Implementierung der Straßentypen notwendig

sind. Hierbei muss eine ganzheitliche Betrachtung aller Gestaltungsmerkmale vorgenommen werden. Die umzusetzenden Um-/ Ausbaumaßnahmen sollten hierbei mit bestehenden Ausbau-/ Erhaltungs- oder Erneuerungsmaßnahmen und -programmen abgeglichen und verknüpft werden.

Es gilt jedoch auch weiterhin einzelne sicherheitsfördernde Maßnahmen im vorhandenen Straßennetz zu implementieren, sofern eine Umsetzung eines gesamten Streckenzuges oder eines Netzes nicht möglich ist. Einzelmaßnahmen gilt es jedoch immer hinsichtlich möglicher, notwendiger Folgemaßnahmen in den angrenzen Streckenteilen hin zu untersuchen.

Das momentan in der Vorbereitung befindliche „Merkblatt für die Übertragung des Prinzips der Entwurfsklassen auf bestehende Straßen“ im Arbeitskreis 2.2.2 – Verbesserung bestehender Straßen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) wird zur Anpassung des vorhandenen Straßennetzes Empfehlungen enthalten.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es, abgesicherte Erkenntnisse über das Fahrverhalten auf Landstraßen zu gewinnen und daraus Empfehlungen für eine sichere und angemessene Gestaltung abzuleiten.

Zunächst wurde im Kapitel 2 im Zuge der Grundlagenermittlung der Stand der Forschung und der Regelwerke im Bereich Streckencharakteristik und Fahrverhalten analysiert. Hierbei wurden die Bereiche Netzgestaltung, Linienführung, Querschnitte und Knotenpunkte analysiert und in den Kontext des Ansatzes einer selbsterklärenden Straße gesetzt. Weiterführend wurde das Unfallgeschehen auf Landstraßen untersucht.

In Kapitel 3 wurde eine Klassifizierung des Landstraßennetzes in Deutschland in Straßentypen mit einer hohen Wiedererkennbarkeit durchgeführt. Hierzu wurden zunächst die Ansprüche und Ziele der RAL formuliert und die dort definierten Entwurfsklassen auf das vorhandene Straßennetz übertragen. Basierend auf diesen Entwurfsklassen wurden Straßentypen für die empirischen Untersuchungen definiert. Um diese sicherheitstechnisch zu bewerten, wurden die Unfallkenngrößen der Straßentypen analysiert und hinsichtlich der Ansprüche und Ziele der RAL bewertet.

Für die sieben abgeleiteten Straßentypen konnte eine Auswahl von 25 Untersuchungsstrecken für die empirischen Untersuchungen erfolgen, die sich hauptsächlich im Land Brandenburg befinden (vgl. Kapitel 4).

Im Rahmen der weiteren Bearbeitung wurden in Kapitel 5 empirische Untersuchungen auf Realstrecken durchgeführt. Hierzu wurden zunächst geeignete Methoden zu Bewertung der Fahrparameter ausgewählt. Zudem wurde eine Methode zur Ermittlung von homogenen Geschwindigkeitsabschnitten entwickelt, um charakteristische Geschwindigkeiten der Straßentypen ermitteln zu können.

Die empirischen Untersuchungen zum Fahrverhalten auf den Untersuchungsstrecken umfassten die Erhebung des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens in Form von aus Verfolgungsfahrten gewonnenen Profilen sowie lokale Messungen. Die Analyse der Geschwindigkeitsprofile umfasste die verschiedenen Perzentilgeschwindigkeiten zur detaillierten Betrachtung der Untersuchungsstrecken sowie die mittleren Geschwindigkeiten über die Messstrecke, die in Bezug zu den gewünschten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten nach den RIN [36] gesetzt werden konnten. Im Weiteren wurden die homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten ermittelt, bewertet und mit den planerisch angemessenen Geschwindigkeiten nach den RAL [30] verglichen. Zusätzlich konnte die Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und das Geschwindigkeitsverhalten an Knotenpunkten bewertet werden. Weiterhin konnte ein Abgleich der Geschwindigkeitsprofile mit den lokalen Messungen erfolgen und eine Analyse der jeweiligen Perzentilabstände durchgeführt werden. Wesentliche neue Erkenntnisse konnten abschließend durch den Vorher-Nachher-Vergleich auf einer Untersuchungs-

strecke des Straßentyps 7 erlangt werden. Hierbei wurde eine im Zuge einer Deckenerneuerung von einer zweistreifigen Straße zu einer einstreifigen Straße mit Kernfahrbahn ummarkierte Nahbereichsstraße der EKL 4 betrachtet. Neben dem Geschwindigkeitsverhalten wurde das Spurverhalten auf ausgewählten Untersuchungsstrecken des Straßentyps 5 bis 7 ermittelt und bewertet. Abschließend erfolgte eine Unfallanalyse der Untersuchungsstrecken. Hierbei wurde neben der sicherheitstechnischen Bewertung anhand der Unfallkenngrößen auch eine Abgleich des Unfallgeschehens mit dem Fahrverhalten vorgenommen.

Die Ergebnisse der Messungen auf den Realstrecken zeigten, dass sich bei einer Gestaltung von Landstraßen in eindeutig voneinander abgegrenzten Straßentypen ein typspezifisches Fahrverhalten einstellt. Insbesondere die Untersuchungen zu den zweistreifigen Landstraßen und den schmalen Landstraßen haben gezeigt, dass eine typspezifische Gestaltung positive Effekte erzielen kann. Bei den zweistreifigen Landstraßen konnte anhand der Untersuchungen nachgewiesen werden, dass Kreisverkehre im Vergleich zu Einmündungen eine Geschwindigkeitssenkung auch in den knotenpunktfreien Streckenabschnitten außerhalb eines Einflussbereiches der Knotenpunkte bewirken und damit sicherheitsfördernd in diesem Streckenabschnitt sind.

Anhand der Analyse des Spurverhaltens konnten Empfehlungen für die Querschnittsgestaltung abgeleitet werden. Insbesondere die Einführung eines neuen einstreifigen Regelquerschnittes für schmale Landstraßen erzielt hinsichtlich der Verlagerung der Fahrlinien hin zur Fahrbahnmitte positive Ergebnisse. Die Schaffung einer Kernfahrbahn erhöht den Sicherheitsabstand zum Seitenraum und macht durch die neue Markierungsform die schwach belasteten schmalen Landstraßen eindeutig von anderen unterscheidbar.

Die im Rahmen des Vorher-Nachher-Versuchs auf der ersten Strecke mit der neuartigen Markierung erzielten Ergebnisse lassen bisher keine wesentlichen Probleme mit anderen Verkehrsteilnehmern im Begegnungsfall erkennen und weisen zudem eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit auf. Ferner konnte bei den Verkehrsteilnehmern eine hohe Akzeptanz des neuen Straßenquerschnittes festgestellt werden. Die neue eindeutig von den anderen Querschnitten zu unterscheidende Gestaltung des einstreifigen Querschnitts ermöglicht dem Verkehrsteilnehmer die Straßen klar zu identifizieren und sein Fahrverhalten anzupassen. Die erzielten Erkenntnisse können jedoch nur als erste Hinweise zum erwarteten Fahrverhalten verstanden werden, da auch nach einem Jahr nach der Ummarkierung der Strecke Langzeiteffekte (Gewöhnung an die neue Markierung) nicht ausgeschlossen werden können. Um demnach abschließende Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen ziehen zu können, muss eine Langzeitbeobachtung erfolgen. Zudem gilt es auch längere Strecken, die eine gestreckte Linienführung oder Unstetigkeiten in der Trassierung aufweisen, zu untersuchen.

Aus der Analyse der empirischen Untersuchungen wurden geeignete Gestaltungsformen herausgearbeitet. Der Einfluss verschiedener Charakteristiken wurde mittels elf Untersuchungsstrecken durch Versuche im Fahrsimulator untersucht. Der Einsatz des Fahrsimulators stellte sich für die untersuchten Fragestellungen als geeignet heraus.

Deswegen sollte bei weiteren Untersuchungen zur Fahrverhaltensanalyse, insbesondere dem Vergleich einzelner konkreter Gestaltungsvarianten, der Fahrsimulator eingesetzt werden (vgl. Kapitel 6).

Es zeigte sich bei den Untersuchungen auf elf Fahrsimulatorstrecken mit verschiedenen Verkehrssituationen (mit/ohne Fremdverkehr), dass den untersuchten Straßentypen ein jeweils typisches Fahrverhalten zugeordnet werden kann, das sich von anderen Straßentypen unterscheidet und somit der wiedererkennbaren Straßen förderlich ist. Es konnte nachgewiesen werden, dass durch die verschiedenen Elemente der Straßentypen deutlich unterscheidbare Straßentypen geschaffen werden und dies sich auch im Fahrverhalten widerspiegelt. Der Implementierung von einzelnen Elementen zur Verdeutlichung einer der charakteristischen Straßentypen kommt hierbei besondere Bedeutung zu.

Weiterhin konnte im Fahrsimulator eine Teststudie zum Blickverhalten durchgeführt werden. Es zeigte sich hierbei, dass die Untersuchungshypothesen bei dieser Untersuchungsmethode sehr spezifisch formuliert werden müssen und das Untersuchungsdesign nur eingeschränkt für straßengestalterische Fragestellungen geeignet ist. Unter anderem zeigte sich, dass aufgrund des hohen Anteils peripheren Sehens bei großen Sichtweiten nur bedingt Aussagen zum detaillierten Blickverhalten des Fahrers getroffen werden können. Als Beispiel kann hierfür die Untersuchung des Blickpunktes auf die Markierung oder den Fahrbahnrand genannt werden.

Abschließend wurden in Kapitel 7 Empfehlungen zur Implementierung des Ansatzes von wiedererkennbaren Straßen sowie zur einzelnen Ausgestaltung der Straßentypen gegeben. Zudem wurden Schlussfolgerungen für die Entwurfspraxis abgeleitet.

8.2 Ausblick

Die durchgeführten Arbeiten haben ein grundlegendes Verständnis für das auf verschiedenen Straßentypen vorliegende Fahrverhalten auf Landstraßen geschaffen. Auf dieser Grundlage lassen sich zwei wesentliche Entwicklungsrichtungen für zukünftige Forschungsaktivitäten unmittelbar ableiten. Zum Einen müssen weitere Untersuchungen zu einzelnen konkreten Fragestellungen erfolgen. Derzeit fehlen u.a. Erkenntnisse zum Einfluss von einzelnen Knotenpunktelementen auf das punktuelle Fahrverhalten. Weiterhin ist nicht abschließend beschrieben, bei welchen genauen Verkehrsbelastungen verschiedene Straßentypen oder Knotenpunktgestaltungen (u.a. die Erkennbarkeit von Knotenpunkten, Führung der Linksabbieger bei Straßen der EKL 4) eingesetzt werden sollten. Insbesondere den Einfluss von Kreisverkehren auf die mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit auf Streckenzügen gilt es in einem Vergleich mit signalisierten Einmündungen/Kreuzungen zu untersuchen. Als weiteren Punkt gilt es, das Überholverhalten auf zweistreifigen Bereichen zu untersuchen und die Akzeptanz von Überholverboten zu evaluieren. Hierbei gilt es insbesondere das vorhandene Netz hinsichtlich der vorhandenen Bedingungen (Überholverbot, Sichtweiten, etc.) hin zu untersuchen. Zum Anderen ist ein logischer nächster Schritt, die Implementierung von Maß-

nahmen in das bestehende Straßennetz zu analysieren, um daraus geeignete Hinweise für eine schrittweise Anpassung der vorhandenen Straßeninfrastruktur abzuleiten.

Literaturverzeichnis

[1] **Anund, A.** Milled rumble strips on the centre line on a two-lane road. VTI Rapport 508 – Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping/ Schweden 2005

[2] **Bakaba, J. E.** Streckentypisierung und Geschwindigkeiten – Ein Ansatz zur Differenzierung des Geschwindigkeitsverhaltens unbeeinflusster Fahrer auf zweistreifigen Außerortsstraßen. in: Straßenverkehrstechnik [2005], Heft 10, Bonn 2005

[3] **Bark, A.** Handbuch für die Verkehrssicherheit von Straßen, Gießen 2008

[4] **Bartelt, B. / Regniet, G. / Schmidt, G.** Geschwindigkeit und Unfallgeschehen auf Landstraßen, Heusch Boesefeld - Beratende Ingenieure für Verkehrstechnik und Datenverarbeitung GmbH, Aachen 1992

[5] **BASt** Pilotanwednung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN), Information 06/2008 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2008

[6] **BASt** Starenkästen und Überholfahrstreifen im Praxistest, Pressemitteilung 23/2008 der Bundesanstalt für Straßenwesen – Langfassung, Bergisch Gladbach 2008

[7] **BB-SIB** Digitale Straßeninformationsbank, Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg, Hoppegarten, Stand 31.12.2006

[8] **Becher, T. / Baier, M. / Steinhauer, B.** Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie – Heft V 148 der Schriftenreihe „Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen“, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2006

[9] **Berger, W.** Abschätzung der Auswirkungen einer Einführung von Tempo 80 km/h auf Landstraßen in Österreich. in: Straßenverkehrstechnik [2007], Heft 8, Bonn 2007

[10] **Biedermann, B.** Straßentrassierung auf der Grundlage von Geschwindigkeiten aus Sehfelduntersuchungen. Dissertation an der technischen Hochschule Darmstadt, Darmstadt 1984

[11] **Bühlmann, F. / Spacek, P.** Unfallgeschehen in Kreiselanlagen, IVT-ETH Zürich, VSS-Forschungsbericht Nr. 382, Zürich/ Schweiz

[12] **Cohen, A.** Blickverhalten und Informationsaufnahme von Kraftfahrern. Bericht zum Forschungsprojekt 8306/3, Bergisch Gladbach 1987

[13] **CROW** Richtlijn essentiële herkenbaarheidkenmerken van weginfrastructuur: wegwijzer voor implementatie (Richtlinien der wesentlichen Wiedererkennbarkeitsmerkmale der Straßeninfratsruktur). No. 203. CROW National Information and Technology Platform for Transport, Infrastructure and Public space. Ede, Niederlande 2004

[14] **Damianoff, N.** Beeinflussung und Schätzung von Fahrgeschwindigkeiten in Kurven. Dissertation, Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1981

[15] **Davidse, R., van Driel, C., Goldenbeld, C.** The effect of altered road markings on speed and lateral position. Rapport R-2003-31. SWOV Institute for Road Safety Research. Leidschendam 2003

[16] **Deffke, H. / Ernst, R. / Köppel, W. / Meewes, V.** Kostensätze für die volkswirtschaftliche Bewertung von Straßenverkehrsunfällen – Preisstand 1995, in: Straße und Autobahn, Heft 1, Bonn 1995

[17] **DER ELSNER** Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen 2009. Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Berlin 2008

[18] **Diem, C.** Blickverhalten von Kraftfahrern im dynamischen Straßenverkehr. Herbert Utz Verlag, München 2005

[19] **Durth, W.** Ein Beitrag zur Erweiterung des Modells für Fahrer, Fahrzeug und Straße in der Straßenplanung. Heft 163 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bonn-Bad Godesberg 1974

[20] **Dzaack, J.** Analyse kognitiver Benutzermodelle für die Evaluation von Mensch-Maschine-Systemen. Dissertation an der Technischen Universität Berlin, Berlin 2008

[21] **Ebersbach, D. / Schüller, H.** Praktische Anwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN) – Erfahrungen mit den Verfahren der Abschnittsbildung. in: Straßenverkehrstechnik [2008], Heft 9, Bonn 2008

[22] **ERSO** European Road Safety Observatory, erso.eu, abgerufen am 16.07.2009, bfs2007_sn-kfv-1-3-mainfigures.pdf

[23] **FGSV** Empfehlungen für das Sicherheitsaudit an Straßen (ESAS), Köln 2002

[24] **FGSV** Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN), Köln 2003

[25] **FGSV** Entwurf der Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS), Köln 1997

[26] **FGSV** Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Köln 2001

[27] **FGSV** Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Köln 2008

[28] **FGSV** Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Teil: Knotenpunkte (RAL-K), Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte (RAL-K-1), Köln 1976

[29] **FGSV** Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Teil: Knotenpunkte (RAL-K), Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte (RAL-K-2), Köln 1976

[30] **FGSV** Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Köln Entwurf März 2008

[31] **FGSV** Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt), Köln 2006

[32] **FGSV** Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Linienführung (RAS-L), Köln 1995

[33] **FGSV** Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Knotenpunkte, Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte (RAS-K-1), Köln 1988

[34] **FGSV** Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes (RAS-N), Köln 1988

[35] **FGSV** Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Querschnitte (RAS-Q), Köln 1996

[36] **FGSV** Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN), Köln 2008

[37] **FGSV** Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS), Teil2: Anwendung von Fahrbahnmarkierungen (RMS-2), Köln 1980

[38] **FGSV** Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten, Köln 2003

[39] **FGSV** Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 2: Maßnahmen gegen Unfallhäufungen, Köln 2001

[40] **Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV)** Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten, Köln 2003

[41] **Hardes, J.** Grenz- und Folgezeitlücken als Grundlage der Leistungsfähigkeit von Landstraßen, Heft 216 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bonn-Bad Godesberg 1976

[42] **Hartkopf, G.** / **Weber, R.** Die neuen Richtlinien für Landstraßen – Ein Schritt zu selbsterklärenden Straßen? In: Straßenverkehrstechnik, Heft 1/2005, 2005, Seite 10-18

[43] **Hegewald, A.** / **Weber, R.** Unfälle auf schmalen Landstraßenquerschnitten, in: Straßenverkehrstechnik [2008], Heft 11, Bonn 2008

[44] **Herstedt, L.** Narrow cross sections without centre line markings – “2 minus 1“ rural road – road user behavior study, Trafitec, 2007

[45] **Hiersche, E. U.** Die Bedeutung und Ermittlung der Sichtweiten von Straßen. Heft 67 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bonn-Bad Godesberg 1968

[46] **Höhnsscheid, K.-J.** / **Köppel, W.** / **Krupp, R.** / **Meewes, V**. Bewertung von Straßenverkehrsunfällen, Entwicklung der Unfallkosten in Deutschland 1995 bis 1998 – Unfallkostensätze, in: Straßenverkehrstechnik [2000], Heft 9, Bonn 2000

[47] **Horst, R. van der** / **Kaptein, N.** Self-Explaining Roads, Abstract ICTCT-Workshop, Budapest 1998

[48] **Ihs, A.** The effect of road equipment on traffic safety, accessibility and comfort – A driving simulator study regarding the effect of centre line and guide posts respectively. VTI Rapport 551 – Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping/ Schweden 2006

[49] **Kaptein, N.** / **Claessens, M.** Effects of Cognitive Road Classification on Driving Behaviour: a Driving Simulator Study. MASTER Deliverable D5, TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg/ Niederlande 1998

[50] **Kaptein, N.** / **van Hattum, T.** / **van der Horst, R.** Categorization of Road Environments and Driving Speed. MASTER Deliverable D9, TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg/ Niederlande 1998

[51] **Kölle, M.** Zweckmäßigkeit planfreier Knotenpunkte an zweispurigen Straßen außerhalb bebauter Gebiete, Heft 21 der Schriftenreihe "Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau", Universität Hannover, Hannover 1999

[52] **Köppel, G. / Bock, H.** Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kurvigkeit, Heft 269 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bonn-Bad Godesberg 1979

[53] **Krebs, H. G.** Einfluss des Kurvenschneidens auf Bogengeschwindigkeiten und Trassierungsgrundsätze, in: Straße und Autobahn 24 [1973], Heft 8

[54] **Krebs, H.G. / Klöckner** Untersuchungen über Unfallraten in Abhängigkeit von Straßen- und Verkehrsbedingungen außerhalb geschlossener Ortschaften, Heft 223 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bonn-Bad Godesberg 1977

[55] **Kupke, P.** Simulatorexperimente zum trassenabhängigen Fahrverhalten und Überprüfen der Linienführung, Dissertation an der Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1977

[56] **Lamm, R.** Fahrdynamik und Streckencharakteristik – Ein Beitrag zum Entwurf von Straßen unter besonderer Berücksichtigung der Geschwindigkeit, Veröffentlichungen des Instituts für Straßenbau und Eisenbahnwesens der Universität Karlsruhe, Heft 11, Karlsruhe 1973

[57] **Land, M. / Lee, D.** Where we look when we steer. In: Nature, Volume 369, Seite 742-744, 1994

[58] **Leutzbach, W. / Baumann, N.** Zusammenhang zwischen Verkehrsunfällen und Verkehrsbedingungen auf zweispurigen Landstraßen in Abhängigkeit vom Straßenquerschnitt. Forschungsauftrag 3.123 G 80 F, 1983

[59] **Leutzbach, W. / Maier, W.** Einfluss von Verkehrsbeschränkungen und Ausbauformen auf die Sicherheit an plangleichen, außerörtlichen Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage, Heft 376 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bonn-Bad Godesberg 1982

[60] **Leutzbach, W. / Handschmann, W. / Schuler, M.** Einfluss von Verkehrsbeschränkungen und Ausbauformen auf die Sicherheit an plangleichen Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage außerhalb bebauter Gebiete, Heft 376 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bonn-Bad Godesberg 1982

[61] **Leutzbach, W. / Zoellmer, J.** Zusammenhang zwischen der Verkehrssicherheit und den Elementen des Straßenentwurfs, Heft 545 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bonn-Bad Godesberg 1989

[62] **Lindemann, H.P.** Verbesserung der optischen Führung nachts in Kurven durch betriebliche und bauliche Maßnahmen, in: route et traffic, März 1981

[63] **Lippold, Ch.** Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstraßen, Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen, Darmstadt 1997

[64] **Lippold, Ch.** / **Dietze, M.** / **Krüger, H.-P.** / **Scheuchenpflug, R.** / **Mark, Ch.** / **Stauff, M.** / **Lorenz, Ch.**, „Einfluss der Straßenbepflanzung und Straßenraumgestaltung auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer und auf die Sicherheit im Straßenverkehr an Außerortsstraßen“, FE 02.217/2002 der BASt, Dresden 2005

[65] **Lippold, Ch.** / **Krüger, H.-P.** / **Schulz, R.** / **Scheuchenpflug, R.** Orientierungssichtweite – Definition und Beurteilung, Heft 977 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bonn-Bad Godesberg 2007

[66] **Lippold, Ch.** / **Weise, G.** / **Kuczora, V.** / **Jährig, T.** “Ganzheitliche auf Entwurfsklassen beruhende Entwurfsrichtlinien für Straßen außerhalb bebauter Gebiete (Landstraßen)“, FE 02.226/2002/ARB der BASt, Dresden 2007

[67] **Lorenz, M.** Auswirkung der neuen Straßengestaltung nach den RAL auf das Fahrverhalten auf Landstraßen am Beispiel des Blickverhaltens, Studienarbeit, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb, Berlin 2009.

[68] **Martens, M.** / **Comte, S.** / **Kaptein, N.** The Effects of Road Design on Speed Behaviour: A Literature Review. MASTER Deliverable D1, TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg/ Niederlande 1998

[69] **Martens, M.** / **Kaptein, N.** Speed behavior before and after design modifications – A meta review. MASTER Deliverable D2, TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg/ Niederlande 1998

[70] **Matena, S.** Best practice on road design and road environment – reduction of head-on and run-off-the-road accidents. Ripcord-Iserest Final Conference. URL: ripcord.bast.de, Aktualisierungsdatum: 03.08.2009, Dateigröße: 5,52 MB

[71] **Matena, S.** / **Weber, R.** / **Louwerse, R.** / **Drolenga, H.** / **Vaneerdewegh, P.** / **Pokorny P.** / **Gaitanidou, L.** / **Hollo P.** / **Moksari T.** / **Elvik R.** / **Cardoso J.** Road categorisation and design of self explaining roads. Report im Rahmen des „Road Infrastructure Safety Protection – Core-Research and Development for Road Safety in Europe; Increasing safety and reliability of secondary roads for a sustainable Surface Transport, URL: ripcord.bast.de/pdf/ri-bast-wp3-r1-V3-road_categorisation_and_ser_final.pdf, Aktualisierungsdatum: 14.05.2009, Dateigröße: 2,38 MB

[72] **Meewes, V.** Mobile und ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung - Auswirkungen auf Verhalten und Verkehrssicherheit, Heft 34 der "Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung", Köln 1993

[73] **Meewes, V.** Sicherheit von Landstraßenknotenpunkten – Teil1-3, in: Straßenverkehrstechnik [4-6/2003], Heft 4-6, Bonn 2003

[74] **Meewes, V.** Sicherheit von Landstraßenknotenpunkten – Knotenpunktgrundformen Verkehrsregelung Zufahrten, Mitteilung Nr. 40 des Instituts für Straßenverkehr Köln (ISK), Köln 2002

[75] **Otte, D.** Charakteristika von Unfällen auf Landstraßen, Mensch und Sicherheit Heft M 122, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach 2000

[76] **Richter, T.** Entwurfsrichtlinien für Straßen außerhalb bebauter Gebiete - aktuelle Entwicklungen, in: Straße und Autobahn 50 (1999), Heft 5, Seite 252

[77] **Richter, T.** Entwurfsstandards für Knotenpunkte an Ortsumgehungen, Heft 653 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik" des Bundesministers für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg 1994

[78] **Richter, T. / Hüsken, B.** Einsatzkriterien für Kreisverkehrsplätze außerhalb bebauter Gebiete, Heft 757 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik" des Bundesministers für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg 1998

[79] **Richter, T. / Schnüll, R.** Überführung der sektoralen Entwurfsrichtlinien RAS-L, RAS-Q und RAS-K-1 in ganzheitlichen Richtlinien zu Landstraßen (RAL), Forschungsauftrag 02/197 der BASt, Hannover 2003

[80] **Richter, T. / Zierke, B.** Ergänzungen der Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL) zur Anwendung beim am Bestand orientierten Um- und Ausbau, Forschungsauftrag 02/.0293/2007/FRB des BMVBS, Berlin 2010

[81] **Riemersma, J. B. J.** An empirical study of subjective road categorization Ergonomics 31 (4), Seite 621-630, 1988

[82] **Rötting, M.** Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Aachen 2001

[83] **Sagberg, F.** Influencing driver behaviour and safety by road system improvements, Institute of Transport Economics, TOI Report 648, 2003

[84] **Schagen, I. N. L. G. van / Dijkstra, a. / Claessens, F. M. M. / Janssen, W.H.** Herkenning van duurzaam-veilige wegcategorieën: selectie van potentieel relevante kenmerken en uitwerking van de onderzoeksopzet. [Recognisability of the sustainably safe road types: selecting potential, relevant road characteristics and making a definite research design] R-98-57. SWOV Institute for Road Safety Research. Leidschendam 1999

[85] **Schnüll, R. / Kölle, M.** Empfehlungen für die Anlage von Knotenpunkten an zweistreifigen Straßen der Kategoriengruppe A, Forschungsvorhaben 02.162 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Universität Hannover, Hannover laufend

[86] **Schnüll, R. / Lenart, R.** Anpassung der Entwurfsrichtlinien für planfreie Knotenpunkte (RAL-K-2 1976) an jüngere Entwurfsrichtlinien, Heft 589 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik" des Bundesministers für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg 1990

[87] **Schnüll, R. / Richter, T.** Sicherheitsvergleich der Knotenpunktgrundformen Kreuzung und Rechtsversatz an Straßen außerhalb bebauter Gebiete, Heft 683 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik" des Bundesministers für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg 1994

[88] **Schönborn, H.D.** Markierungen und Verkehrssicherheit, in: Straßenverkehrstechnik 37 [1993], Heft 6

[89] **Spacek, P.** Fahrverhalten und Unfallgeschehen in Kurven – Fahrverhalten in Kurvenbereichen, IVT-ETH Zürich, VSS-Forschungsbericht Nr. 410, Zürich/ Schweiz 1998

[90] **Spacek, P.** / **Belopitov, I.** Geschwindigkeit in Kurven, IVT-ETH Zürich, VSS-Forschungsbericht Nr. 420, Zürich/ Schweiz 1999

[91] **Statistisches Bundesamt** Verkehr, Verkehrsunfälle, Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden 2006

[92] **Steierwald, G.** / **Buck, M.** Geschwindigkeitsverhalten auf einbahnigen Außerortsstraßen in Abhängigkeit von baulichen, betrieblichen und verkehrlichen Randbedingungen, Heft 621 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik" des Bundesministers für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg 1992

[93] **Steinauer, B.** / **Schuckließ, W.** / **Becher, Th.** Übergreifende Bewertung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten auf Landstraßen, Heft 1004 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik" des Bundesministers für Verkehr, Bonn 2008

[94] **Sturm, P.** Verkehrssicherheit an plangleichen und teilweise planfreien Knotenpunkten von Außerortsstraßen, Dissertation am Fachbereich Verkehr der Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt 1989

[95] **StVO** Straßenverkehrs-Ordnung vom 16. November 1970 (Bundesgesetzblatt Teil I, S. 1565) aktuell gültige Fassung, zuletzt geändert mit Verordnung vom 11. Mai 2006 (Bundesgesetzblatt Teil I, S. 1160)

[96] **Theeuwes, J.** / **Godthelp, H.** Self-explaining roads, Safety Science 19 (1995) 217-225, TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg/ Niederlande 1995

[97] **Tingvall, C.** / **Howarth, N.** Vision Zero: an ethical approach to safety and mobility. The 6th Institute of Transport Engineers International Conference on Road safety an Traffic Enforcement. Melbourne/ Australien 2000

[98] **Underwood, G.** / **Chapman, P.** / **Brocklehurst, N.** / **Underwood, J.** / **Crundall, D.** Visual attention while driving: sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers. Ergonomics, volume 43 (6), Seite 629-646, 2003

[99] **Vaa, T.** / **Glad, A.** / **Sagberg, F.** / **Gjornskau, T.** / **Gerge, G.** Factors which affect driving speeds, Institute of Transport Economics, TOI Report 601, 2002

[100] **Vadeby, A.** / **Brüde, U.** Junction design – a review. VTI Rapport 554 – Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping/ Schweden 2006

[101] **VD** Vejdirektoratet: Veje og stier i åbent land - Hæfte 0 - Planlægning af veje i det åbne land, Danish Road Directorate. Kopenhagen, Dänemark Entwurf 2005

[102] **Weber, R.** / **Löhe, U.** Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1 Strecken mit allgemeinem Verkehr, Verkehrstechnik Heft V 109, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach 2003

[103] **Weise, G.** / **Steyer, R.** Gestaltungskriterien von LandstraßenkurvenCharakteristika, Verkehrstechnik Heft V 63, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach 1999

[104] **Zimmermann, M.** / **von Loeben, W.** / **Roos, R.** / **Dietze, M.** / **Lippold, Ch.** Entwicklung eines Verfahrens zur Kontrolle und Bewertung der räumlichen Linienführung von Außerortsstraßen auf der Grundlage quantitativer Parameter, Heft 960 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik" des Bundesministers für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg 2007

[105] **Zwielich, F.** / **Reker, K.** / **Flach, J.** Fahrverhaltensbeobachtungen auf Landstraßen am Beispiel von Baumalleen, Mensch und Sicherheit Heft 124, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach 2001

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AOSI	Außerortssicherheit
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
bzw.	beziehungsweise
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
E	Einmündung
EKL	Entwurfsklasse Landstraße
ESN	Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen
EWS	Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
gUKR	Grundunfallkostenrate
h	Stunde
HVS	Handbuch für die Verkehrssicherheit von Straßen
i.d.R.	in der Regel
Kfz	Kraftfahrzeug(e)
km	Kilometer
Kr	Kreuzung
KP	Knotenpunkt
KV	Kreisverkehr
Lkw	Lastkraftwagen
LSA	Lichtsignalanlage
m	Meter
Pkw	Personenkraftwagen
P	Personenschaden
R	Radius
RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen
RAS-K	Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil : Knotenpunkte
RAS-L	Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil : Linienführung
RAS-N	Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil : Netzgestaltung
RAS-Q	Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil : Querschnitte
RASt	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen

RIN	Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung
RQ	Regelquerschnitt
RPS	Richtlinien für den passiven Schutz an Straßen
S	Spur
S	Sachschaden
SS	schwerer Sachschaden
s	Sekunde
SIPO	Sicherheitspotential
sog.	so genannte
SV	Schwerverkehr
u.a.	unter anderem
UA	Unfallart
UD	Unfalldichte
UK	Unfallkategorie
UKD	Unfallkostendichte
UKR	Unfallkostenrate
UR	Unfallrate
UT	Unfalltyp
UU	Unfallursache
V	Geschwindigkeit
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Getötete je 1 Million Einwohner, alle Straßen (eigene Darstellung nach [22]) 1

Abb. 2 Getötete im Jahr 2005 in Deutschland nach Ortslage [eigene Darstellung nach [91]] 2

Abb. 3 Vorgehensweise 3

Abb. 4 Kategoriengruppe bei Straßen nach den RIN [36] 6

Abb. 5 Verknüpfungsmatrix zur Ableitung von Straßenkategorien nach den RIN [36] 7

Abb. 6 Radienrelation und Länge der Zwischengerade [30] 10

Abb. 7 Vergleich der wesentlichen Gestaltungsmerkmale der verschiedenen Straßenkategorien der Länder Niederlande, Dänemark und Deutschland [70] 21

Abb. 8 Unfallkostensätze WU (k) in €/U zur Bewertung des aktuellen Unfallgeschehens in Abhängigkeit von Unfallkategorie (k) und Straßenkategorie – Preisstand 2000 [24] 28

Abb. 9 Grundunfallkostenraten (gUKR) nach ESN [24] 30

Abb. 10 Verunglückte und Unfälle mit Personenschaden nach Ortslage in Deutschland (eigene Darstellung nach [91]) 32

Abb. 11 Getötete je 1.000 Kilometer Straßenlänge auf Straßen des überörtlichen Verkehrs (eigene Darstellung nach [91]) 33

Abb. 12 Unfalltypen auf Landstraßen bei Unfällen mit Personenschaden (eigene Darstellung nach [91]) 34

Abb. 13 Unfallarten auf Landstraßen bei Unfällen mit Personenschaden (eigene Darstellung nach [91]) 35

Abb. 14 Charakteristik der Unfallstelle auf Landstraßen bei Unfällen mit Personenschaden (eigene Darstellung nach [91]) 36

Abb. 15 Fehlverhalten der Fahrzeugführer auf Landstraßen bei Unfällen mit Personenschäden (eigene Darstellung nach [91]) 36

Abb. 16 Unfallkostenrate (UKR) der verschiedenen Regelquerschnitte (links) und Barwerte der längenbezogenen Unfallkosten (UKL) der verschiedenen Regelquerschnitte in Abhängigkeit des DTV für Streckenabschnitte [74] 40

Abb. 17 Unfallkostenraten (UKR) von Knotenpunkttypen an Landstraßen [74] 45

Abb. 18 Regelquerschnitt RQ 15,5 der EKL 1 nach RAL [30] 52

Abb. 19 Regelquerschnitt RQ 11,5+ der EKL 2 mit und ohne Überholfahrstreifen nach RAL [30] 53

Abb. 20 Regelquerschnitt RQ 11 der EKL 3 nach RAL [30] 54

Abb. 21 Regelquerschnitt RQ 9 der EKL 4 nach RAL [30] 54

Abb. 22 Anzahl [km] der Straßenklassen am Gesamtstraßennetz in Deutschland (Stand 01.01.2008) [17] 55

Abb. 23 Länge der Entwurfsklasse nach RAL bezogen auf die Verbindungsfunktionsstufen (links) und bezogen auf die Entwurfsklasse (rechts) [80] 56

Abb. 24 Streckenlänge und Summenlinie der vorhandenen Querschnitte (links) und der Querschnitte nach den RAL (rechts) [80] 56

Abb. 25 Charakteristika der Straßentypen 60

Abb. 26 Sicherheitspotenzial von Streckenzügen der verschiedenen Straßentypen. 61

Abb. 27 Unfallkostenrate von Streckenzügen der verschiedenen Straßentypen 62

Abb. 28 Unfallkostendichte von Streckenzügen der verschiedenen Straßentypen ... 63

Abb. 29 Lage der Untersuchungsstrecken in Brandenburg 68

Abb. 30 durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastungen (DTV) der Untersuchungsstrecken 69

Abb. 31 Querschnittsgestaltung der Straßentypen 1 (links) und 2 (rechts) 70

Abb. 32 Querschnittsgestaltung des Straßentyps 3 im zweistreifigen Abschnitt (links) und dreistreifigen Abschnitt (rechts) 70

Abb. 33 Querschnitts- und Knotenpunktgestaltung des Straßentyps 5 71

Abb. 34 Knotenpunktgestaltung des Straßentyps 6 71

Abb. 35 Querschnittsgestaltungen des Straßentyps 7 72

Abb. 36 Untersuchungsstrecke des Vorher-Nachher-Vergleichs vor (oben) und nach (unten) der Ummarkierung 72

Abb. 37 Aufzeichnung mit dem Driverecorder 75

Abb. 38 Messaufbau 77

Abb. 39 Darstellung der Perzentile 79

Abb. 40 Beispielhaftes Geschwindigkeitsprofil einer Untersuchungsstrecke 80

Abb. 41 Fahrspurerkennung auf einem einstreifigen Querschnitt 82

Abb. 42 Normierung des Seitenabstandes 84

Abb. 43 Einteilung der Spurtypen 85

Abb. 44 mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten auf den Untersuchungsstrecken 108

Abb. 45 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 1 (Vzul.=120 km/h) 111

Abb. 46 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 2 (Vzul.=100 km/h) 111

Abb. 47 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 3 (Vzul.=100 km/h) 112

Abb. 48 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 4 (Vzul.=100 km/h) 113

Abb. 49 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 5 (Vzul.=100 km/h) 114

Abb. 50 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 6 (Vzul.=100 km/h) 115

Abb. 51 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 7 (Vzul.=100 km/h) 115

Abb. 52 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf Strecken vom Straßentyp 5 und 7 (Vzul.=80 km/h) 116

Abb. 53 mittlere Geschwindigkeiten in Abschnitten auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten bzw. Streckenabschnitten, die keine Reduzierung an den Knotenpunkten aufweisen (links) und in Abschnitten mit nicht signalisierten Knotenpunkten die eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h aufweisen (rechts) 118

Abb. 54 mittlerer Anteil der Fahrten oberhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit innerhalb der homogenen Geschwindigkeitsabschnitte (knotenpunktfreie Streckenabschnitte) 119

Abb. 55 Geschwindigkeiten der einzelnen Straßentypen in Knotenpunktmitte (nach Knotenpunkttyp mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit) 120

Abb. 56 Vergleich der V85-Profilgeschwindigkeiten mit den lokalen V85-Geschwindigkeiten 122

Abb. 57 Vergleich der V15-Profilgeschwindigkeiten mit den lokalen V15-Geschwindigkeiten 122

Abb. 58 Perzentilabstände der homogenen Abschnitte in Abhängigkeit der Abschnittslänge (alle Straßentypen, n=224) 124

Abb. 59 Perzentilabstände der homogenen Abschnitte in Abhängigkeit der V85 (alle Straßentypen, n=224) 124

Abb. 60 Perzentilabstände (70%-Kanal) der lokalen Messungen (alle Straßentypen, n=69) 125

Abb. 61 zeitlicher Ablauf der Vorher-Nachher-Messungen auf der K 88 125

Abb. 62 Veränderung der durchschnittlichen Perzentilgeschwindigkeiten 126

Abb. 63 V85-Geschwindigkeitsprofil der K 88 (Fahrtrichtung 1) 127

Abb. 64 V85-Geschwindigkeitsprofil K 88 (Fahrtrichtung 2) 128

Abb. 65 absolute Seitenabstände der Fahrzeugachse zum rechten Fahrbahnrand auf Strecken mit Fahrbahnbreiten > 6,0 m 130

Abb. 66 normierte Seitenabstände der Fahrzeugachse zum rechten Fahrbahnrand auf Strecken mit Fahrbahnbreiten > 6,0 m 131

Abb. 67 Verteilung der Spurtypen auf Strecken mit Fahrbahnbreiten > 6,0 m 132

Abb. 68 lokales Spurverhalten auf der K 88 im Bereich einer Geraden bei beiden Markierungsvarianten (Position der Fahrzeugachse) 133

Abb. 69 absolute Seitenabstände der Fahrzeugachse auf Strecken mit Fahrbahnbreiten < 6,0 m 134

Abb. 70 normierte Seitenabstände der Fahrzeugachsen auf Strecken mit Fahrbahnbreiten ≤6,0 m 135

Abb. 71 Verteilung der Spurtypen auf Strecken mit Fahrbahnbreiten ≤6,0 m 136

Abb. 72 Abstand zum Gegenverkehr bei einer einstreifigen Querschnittsgestaltung mit 6,0 m Fahrbahnbreite mit beidseitigen 75 cm breiten Ausweichstreifen 137

Abb. 73 Sicherheitspotenzial der Untersuchungsstrecken 138

Abb. 74 Unfallkostenraten der Untersuchungsstrecken 139

Abb. 75 Verteilung der Unfallschwere (Unfallkategorie) innerhalb der verschiedenen Straßentypen 139

Abb. 76 Verteilung der Unfällen innerhalb der verschiedenen Straßentypen nach Lichtverhältnissen (links) und Straßenzustand (rechts) 140

Abb. 77 Verteilung der Unfalltypen innerhalb der verschiedenen Straßentypen 141

Abb. 78 V85 der Unfälle nach Unfallkategorie (n=184) 146

Abb. 79 V85 der Unfälle des Unfalltyps 1 und 6 nach Straßentypen 147

Abb. 80 mittlere Unfallkosten der Unfälle des Unfalltyps 1 und 6 nach Straßentypen 147

Abb. 81 Mittlere Querbeschleunigungen an den Unfallorten von Abkommenunfällen 148

Abb. 82 Querschnittgestaltungen der EKL 1 angenähert nach RAS-Q-96 (links) und den RAL (rechts) 153

Abb. 83 Knotenpunktgestaltungen der EKL 1 (links: EKL 1 real) (rechts: EKL 1) 153

Abb. 84 Querschnittgestaltungen der EKL 2 im dreistreifigen (links) und zweistreifigen (rechts) Bereich 153

Abb. 85 Knotenpunktgestaltung der EKL 2 153

Abb. 86 Querschnittsgestaltungen der EKL 3 angenähert nach RAS-Q-96 (links) und den RAL (rechts) 154

Abb. 87 Knotenpunktgestaltung der EKL 3 154

Abb. 88 Querschnittsgestaltungen der EKL 4 angenähert nach RAS-Q-96 (links) und den RAL (rechts) 154

Abb. 89 Knotenpunktgestaltung der EKL 4 (links: EKL 4 real) (rechts: EKL 4) 154

Abb. 90 Geschwindigkeitsprofile der V85 der fahrverhaltenstrassierten Strecken des Straßentyps 5 (EKL 3 KV) und des Straßentyps 6 (EKL 3 E) im Fahrsimulator (ohne Fremdverkehr) 161

Abb. 91 Geschwindigkeitsprofile der V85 der gestreckt trassierten realen Strecken des Straßentyps 5 (EKL 3 KV real) und des Straßentyps 6 (EKL 3 E real) im Fahrsimulator (ohne Fremdverkehr) 162

Abb. 92 Geschwindigkeitsprofile der V85 der Fahrsimulatorstrecken des Straßentyps 7 (ohne Fremdverkehr) 164

Abb. 93 mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten auf den Fahrsimulatorstrecken 165

Abb. 94 Mittlere V85 der homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten auf den fahrverhaltensoptimierten Fahrsimulatorstrecken ohne Fremdverkehr (Strecken 1, 3, 5 und 9) 166

Abb. 95 Mittlere V85 der homogenen Abschnittsgeschwindigkeiten auf den realen Fahrsimulatorstrecken ohne Fremdverkehr (Strecken 2, 6, 8 und 10) 167

Abb. 96 absoluter Seitenabstand auf den realen Fahrsimulatorstrecken mit einem RQ 10,5 (Straßentyp 5 und 6) 168

Abb. 97 normierter Seitenabstand auf den realen Fahrsimulatorstrecken mit einem RQ 10,5 (Straßentyp 5 und 6) 169

Abb. 98 absoluter Seitenabstand auf den Fahrsimulatorstrecken mit einem schmalen zweistreifigen Querschnitt (real) bzw. einem einstreifigen Querschnitt mit Kernfahrbahn (real NT) im Bereich einer Geraden 171

Abb. 99 normierter Seitenabstand auf den Fahrsimulatorstrecken mit einem schmalen zweistreifigen Querschnitt (real) bzw. einem einstreifigen Querschnitt mit Kernfahrbahn (real NT) im Bereich einer Geraden 172

Abb. 100 mittleres Spurverhalten ohne Fremdverkehr, Differenz Vorher/Nachher 172

Abb. 101 Apparatur des Eyetrackers zur Blickerfassung 175

Abb. 102 Raster zur Blickauswertung [67] 177

Abb. 103 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 auf der Geraden; Daten der EKL 4 real 179

Abb. 104 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 auf der Geraden; Daten der EKL 4 real NT 179

Abb. 105 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 in der Rechtskurve; Daten der EKL 4 real 180

Abb. 106 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 in der Rechtskurve; Daten der EKL 4 real 180

Abb. 107 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 in der Linkskurve; Daten der nach den RAS-Q markierten Strecke 182

Abb. 108 Verteilung der relativen Häufigkeiten der Fixationen (links) und der relativen kumulierten Fixationsdauern (rechts) von Proband 1 in der Linkskurve; Daten der nach den RAL markierten Strecke 182

Abb. 109 Vergleich der Geschwindigkeitsprofile (V85) der Fahrsimulatorstrecken der EKL 1 mit der Referenzstrecke (B 3) 185

Abb. 110 Vergleich der Geschwindigkeitsprofile (V85) der Fahrsimulatorstrecken der EKL 2 mit der Referenzstrecke (L 48) 185

Abb. 111 Vergleich der Geschwindigkeitsprofile (V85) der Fahrsimulatorstrecken der EKL 3 mit der Referenzstrecke (L 77) 186

Abb. 112 Vergleich der Geschwindigkeitsprofile (V85) der Fahrsimulatorstrecken der EKL 4 mit der Referenzstrecke (K 88) 187

Abb. 113 Vergleich der normierten Seitenabstände auf zweistreifigen Strecken 188

Abb. 114 Ausgestaltung der wesentlichen Gestaltungsmerkmale der Entwurfsklassen 195

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Straßenkategorie LS mit Standardentfernungsbereichen und angestrebten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten (eigene Darstellung nach [36]) 7

Tab. 2 Definition der Geschwindigkeiten 78

Tab. 3 mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten der Straßentypen 109

Tab. 4 Kennwerte der homogenen Abschnitte der Straßentypen in Abhängigkeit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit 110

Tab. 5 Geschwindigkeitsvergleich zwischen Knotenpunkten und angrenzenden Streckenabschnitten bei verschiedenen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten 121

Tab. 6 lokales Geschwindigkeitsverhalten (Pkw) der Straßentypen auf knotenpunktfreien Streckenabschnitten mit verschiedenen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten 123

Tab. 7 durchschnittliche Perzentilwerte der Fahrgeschwindigkeit [in km/h] 126

Tab. 8 Perzentile der lokalen Geschwindigkeitsmessungen für Pkw [in km/h] 129

Tab. 9 Gestaltungsmerkmale der Fahrsimulatorstrecken 150

Tab. 10 Charakteristika der Fahrsimulatorstrecken 152

Tab. 11 Trassierungsparameter der fahrverhaltensoptimierten Fahrsimulatorstrecken 152

Tab. 12 homogene Abschnittsgeschwindigkeiten auf den Fahrsimulatorstrecken ohne Fremdverkehr 166

Tab. 13 gemitteltes Seitenabstandsverhalten auf den Fahrsimulatorstrecken vom Straßentyp 5 (EKL 3 KV) und 6 (EKL 3 E) 170

Tab. 14 gemitteltes Seitenabstandsverhalten auf den Fahrsimulatorstrecken des Straßentyps 7 (EKL 4) 173