

**Berücksichtigung
psychologischer Aspekte
beim Entwurf von
Landstraßen
– Grundlagenstudie –**

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 148

bast

Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –

von

Thorsten Becher
Michael M. Baier
Bernhard Steinauer

Institut für Straßenwesen
RWTH Aachen

Rainer Scheuchenpflug
Hans-Peter Krüger

Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften
Universität Würzburg

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 148

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 02.230/2003/AGB
Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –

Projektbetreuung
Roland Weber

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN (13) 978-3-86509-577-0
ISBN (10) 3-86509-577-1

Bergisch Gladbach, November 2006

Kurzfassung – Abstract

Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie

In der vorliegenden Arbeit wurde der Erkenntnisstand zu psychologischen und physiologischen Einflüssen auf das Fahrerverhalten auf Außerortsstraßen erfasst und eine mögliche Umsetzung in den Straßenentwurf geprüft.

Auf Basis von Unfalluntersuchungen, einer Analyse der Annahmen des bestehenden Regelwerks sowie eines Modells der kognitiven Prozesse, die für das Fahren relevant sind, wurden Hypothesen zu potenziellen Einflussfaktoren abgeleitet, die zur Strukturierung der Analyse der nationalen und internationalen Literatur zum Fahrerverhalten auf Landstraßen dienen. Neben einer Betrachtung von Fahrerreaktionen auf Parameter der Straßenumgebung fand dabei besondere Berücksichtigung, wie die subjektive Klassifikation der Straße sich auf das Fahrerverhalten auswirken kann und inwiefern diese Klassifikation durch den Konzeptansatz der so genannten „Selbsterklärenden Straße“ unterstützt werden kann.

Die Befunde wurden hinsichtlich ihrer statistischen Aussagekraft und Konsistenz bewertet und anhand der Hypothesen in einer Synopse zusammengefasst. Daraus wurden zum einen konkrete Erkenntnisse für die neuen Richtlinien zur Anlage von Landstraßen (RAL) abgeleitet als auch Forschungsbedarf identifiziert.

Psychological Aspects in the Design of Rural Roads – Literature Review

This study represents the state of knowledge about psychological and physiological influences on driver behaviour on rural roads and offers recommendations for possible improvements of highway design.

Based on accident investigations, assumptions implied in the existing guidelines and a model of cognitive processes in the driver a set of hypotheses was derived which structured the analysis of national and international literature regarding driver behaviour on rural roads.

In addition to studies about the influence of parameters of the road environment on human behaviour special regard was given to the question of subjective classification of roads and its influence on behaviour, known as the concept of “self-explaining roads”.

The findings were evaluated with respect to statistical significance and consistency and subsumed into a synopsis based on the hypotheses derived beforehand. Results were integrated into recommendations for the new guidelines of the design of rural roads (RAL) and were used to identify demand for further research.

Inhalt

1	Ausgangslage	9	4.5	Hypothese 5: „Seitenraumgestaltung vs. Querschnittsbreite“	49
2	Zielsetzung und Vorgehensweise	9	4.6	Hypothese 6: „Sichtweiten vs. geometrische Größen“	52
3	Modellierung des Fahrerhaltens	10	4.7	Hypothese 7: „Kognitive Straßencharakterisierung“	57
3.1	Klassifikation von Fahraufgaben	10	4.8	Hypothese 8: „Übergangsbereiche von freier Strecke zu Knotenpunkten“	59
3.2	Fahrerzustand	12	4.9	Hypothese 9: „Räumliche Linienführung“	60
3.3	Kognitive Einflüsse	12	4.10	Synopse der Hypothesen	63
3.4	Das Konzept der „Selbsterklärenden Straße“	14	5	Bedeutung der Erkenntnisse für die neuen Richtlinien für die Anlage von Landstraßen	68
3.5	Merkmalsklassen oder Verhaltensklassen?	15	6	Offene Fragen	69
4	Hypothesen zum Einfluss der Straßengestaltung auf das Fahrerhalten	17	7	Zusammenfassung und Ausblick	70
4.1	Hypothese 1: „Geometrische Größen von Kurven und Kurvenfolgen“	20	Literatur		71
4.1.1	Wahrnehmung und Antizipation der Kurve	21			
4.1.2	Regelgröße für die Kurvendurchfahrt	24			
4.1.3	Wie gut kann die Kurvenfahrt eingeregelt werden?	27			
4.2	Hypothese 2: „Fahrbahnquerschnitt“	29			
4.3	Hypothese 3: „Knotenpunkttypen und -abstände“	34			
4.4	Hypothese 4: „Ausstattungsmerkmale zur optischen Führung“	35			
4.4.1	Fahrbahnmarkierungen	36			
4.4.2	Kombinationen von Ausstattungselementen	39			
4.4.3	Verkehrszeichen	44			
4.4.4	Neue Ausstattungsmerkmale	45			
4.4.5	Wahrnehmung von Ausstattungsmerkmalen	48			

Glossar

Begriff	englische Übersetzung	Erläuterung
aktivationaler Zustand (Aktivationsniveau)	activation, arousal	variiert vom Koma bis zur Panik. Es existieren gute neurophysiologische Belege für drei verschiedene Systeme der Aktivierung (ARAS, Hypothalamus, autonomes NS). Messung über physiologische Korrelate oder subjektive Aussagen. Es gibt Hinweise, dass erhöhte Anforderungen durch die Streckensituation (enge Kurven) innerhalb gewisser Grenzen durch eine Änderung des Aktivationsniveaus ausgeglichen werden, ohne dass von außen Verhaltensänderungen beobachtbar sind (RICHTER & WEISE). Neben einer Erhöhung des Aktivationsniveaus ist im Straßenverkehr die Verringerung der Aufmerksamkeit bei reduzierter Aktivierung von Bedeutung. Moderne Fahrzeuge erhöhen durch Dämpfung von Geräuschen und Vibrationen das Risiko der Vigilanzminderung.
Antizipation	anticipation	Vorwegnahme, hier: der zukünftigen Straßenumgebung oder Verkehrssituation. Da die visuelle Informationsaufnahme beim Menschen in diskreten Fixationen erfolgt und Reaktionen eine gewisse Mindestzeit benötigen, ist für adäquates Verkehrsverhalten eine Vorhersage der Entwicklung der Verkehrssituation auf Basis einer kognitiven Repräsentation der Umwelt unabdingbar. Die Fähigkeit zur Antizipation kann in ungewohnten Situationen oder unter hoher Belastung zusammenbrechen.
autochthon	autochthonal	angeboren (eigentlich: eingeboren). Manche Informationsverarbeitungsprozesse, die unbewusst über längere Zeit ablaufen, werden als autochthon bezeichnet.
Erwartungstreue		hier eine Forderung an die Straßenumgebung. Die Strecke soll korrekte Prognosen über den weiteren Verlauf bzw. zukünftige Eigenschaften erlauben. Dies wird in der Relationstrassierung implementiert: Dort dürfen nur Kurven aus bestimmten Radienbereichen aufeinander folgen. Ist im Lageplan ein bestimmter geringer Radius fest vorgegeben, so wird der Fahrer durch abnehmende Radienfolgen vor dieser Kurve auf die Gefahrenstelle vorbereitet.
Gefahren-antizipation	risk anticipation	aus dem Bild von Straße und Umfeld die Gefahr erkennen können (bessere Berücksichtigung der Gefahr bei der Umsetzung in einen Handlungsplan nötig); erahnen und erwarten von Gefahren des vorausliegenden Straßenverlaufs
Gefahrenkognition	risk cognition	Erkennen von Gefahrenstellen oder -situationen durch Aktivieren eines Schemas; dies setzt die Existenz eines Gefahrenschemas voraus. Diese Schemata können durch Erfahrung oder explizite Instruktion erworben werden; ihre Existenz lässt sich durch Beobachtung des Blickverhaltens unterschiedlich erfahrener Fahrer nachweisen.
Handlungs-adäquanz		Passung der situationsbedingten Handlungsanforderungen an die menschliche Leistungsfähigkeit hinsichtlich Geschwindigkeit und Präzision. Ein Beispiel für die handlungsadäquate Gestaltung einer Straße sind Kurven mit Übergangsbögen, die verhindern, dass der Lenkwinkel sprunghaft geändert werden müsste. Diese sprunghafte Änderung ist vom Fahrer nicht zu leisten.
Kognition	cognition	allgemeiner Begriff für die menschliche Informationsverarbeitung, also Objektwahrnehmung, Sprache, Denken, Problemlösen, Planen
kognitive Straßencharakterisierung		hier gleichzusetzen mit der subjektiven Klassifikation der Straße, die nicht mit der objektiven Klasse übereinstimmen muss, vgl. die Befunde zu „Self-Explaining-Roads“
Kurs	course	Richtung des Fahrzeuggeschwindigkeitsvektors relativ zu einem Fixpunkt (z. B. Gitternord)
Kurvatur	curvature	wird im Text als Begriff für die wahrgenommene Kurvigkeit einer einzelnen Kurve verwendet, um eine Verwechslung mit eingeführten Begriffen der Straßenbauliteratur zu vermeiden. Ist nicht identisch mit der Krümmung ($= 1/R$), dem Richtungsänderungswinkel oder der Kurvigkeit einer Strecke ($=$ Summe der Winkeländerungen über eine Strecke)
Lagewinkel	splay angle	Winkel, den eine Markierung an der Fahrbahnbegrenzung relativ zum Beobachter einnimmt
Motivation	motivation	ein Bedürfnis oder Wunsch, der die Richtung und Stärke zielgerichteten Verhaltens bestimmt (praktisch ein Vektor)
Psychomotorik		Lehre von der Handlungsausführung. Befunde der Psychomotorik werden zur Modellierung des Lenkverhaltens genutzt (Tracking)
Psychophysik	psychophysics	Teilbereich der Psychologie, der sich mit der quantitativen Bestimmung von Wahrnehmungsleistungen, also dem Zusammenhang zwischen physikalischer Reizgröße und Empfindung, befasst. Bekannte Beispiele: Webersches Gesetz, Fechners Gesetz, Stephens Potenzfunktionen. Psychophysische Befunde werden im Straßenverkehr z. B. bei der Bestimmung der Schwellen der Erkennbarkeit von Verkehrszeichen, Hindernissen etc. eingesetzt.
Rehearsal	rehearsal	bewusste oder unbewusste Wiederholung von Inhalten des Kurzzeitgedächtnisses, die das Vergessen verhindert
Schemata	schemes	hypothetische Organisationsstruktur für Informationen im semantischen Gedächtnis. Ähneln in gewisser Weise „structs“ in der Programmiersprache C oder generell Objekten in objektorientierten Programmiersprachen, da: <ul style="list-style-type: none"> • Schemata Merkmale aufweisen, die – sofern sie nicht durch Wahrnehmungen aktualisiert werden – bei der Initialisierung auf typische Werte gesetzt werden, • Schemata sowohl Merkmale eines Begriffs als auch Methoden oder Handlungsrouitinen speichern. Schemata können durch explizite Instruktion oder durch Erfahrung gelernt werden (subjektive Straßenklassen im SER-Ansatz). Die individuellen Schemata stimmen daher eher selten mit objektiven Begriffen überein.
Vigilanz	vigilance	Grad der Bereitschaft, über längere Zeit auf kleine, zu zufälligen Zeitpunkten auftretende Reizänderungen zu reagieren

Abkürzungen

EDA:	Elektrodermale Aktivität		bei dem die subjektive Wahrnehmung von Streckendarstellungen untersucht wurde
EMG:	Elektro-Myographie		
HRV:	Herzratenvariabilität		
INDSCAL:	Verfahren zur Analyse von Ähnlichkeitsmatrizen, das zugrunde liegende Bewertungsdimensionen der Beobachter identifiziert (ähnlich der Faktorenanalyse oder PCA)	TLC:	„Time to line crossing“, von GODTHELP/MILGRAM/BLAAUW (1984) entwickeltes Maß zur Querregulation in Kurven: die Zeit, die bei Beibehaltung von Fahrzeugkurs und Geschwindigkeit noch bleibt, bis ein Teil des Fahrzeugs die Grenzen des eigenen Fahrstreifens überschreitet
MDS:	multidimensionale Skalierung; datenreduzierendes Verfahren, das auf Ähnlichkeitsmaßen basiert. Mithilfe der MDS lassen sich aus Ähnlichkeitsurteilen von Versuchspersonen zugrunde liegende Wahrnehmungsdimensionen identifizieren	TTC:	„Time to Collision“, die Zeit, die noch bis zur Kollision bleibt, wenn sich alle Verkehrsteilnehmer mit der Momentangeschwindigkeit weiterbewegen
PCA:	Hauptkomponentenanalyse, ein statistisches Verfahren zur Ermittlung der Dimensionalität eines Repräsentationsraumes für multivariate Daten; dabei werden Eigenwerte und -vektoren der Kovarianzmatrix/Korrelationsmatrix der Variablen bestimmt. Wird zur Datenreduktion und Untersuchung von Begriffsbildung eingesetzt (Teilschritt einer Faktorenanalyse). In der Nachrichtentechnik auch bekannt unter dem Namen Karhunen-Loewe-Transformation Peilung, (bearing) Richtung eines Objekts in der Umgebung (landmark) relativ zu Fixpunkt		
PET:	Post-Encroachment-Time, ein Maß für Verkehrskonflikte. Berechnet wird die Zeit, die zwischen dem Verlassen eines Konfliktpunkts und der Ankunft des Konfliktfahrzeugs an diesem Punkt liegt. Beispiel: verbleibende Zeitlücke zum Gegenverkehr, wenn die rechte hintere Ecke eines links abbiegenden Fahrzeugs den Fahrraum des Gegenverkehrs verlassen hat		
SDLP:	Standard Deviation of Lane Position; Standardabweichung der Position im Fahrstreifen; ein Maß für die Spurhaltegüte		
SER:	„Self-Explaining-Roads“; Begriff zu einem Forschungsprogramm des TNO,		

1 Ausgangslage

Trotz vielfältiger Anstrengungen mit Hilfe der Fahrzeugtechnik und bisher bekannter präventiver Mittel der Verkehrserziehung und -aufklärung sowie polizeilicher Überwachung einerseits und straßengestalterischer/-baulicher Maßnahmen andererseits hat sich die Verkehrssicherheit nicht in allen Bereichen in wünschenswerter Weise verbessert. Zur Erhöhung der Verkehrssicherheit vorgenommene straßengestalterische und -bauliche Veränderungen führen teilweise sogar zu unerwünschten Verhaltensänderungen auf Seiten der Kraftfahrer, durch die mögliche Sicherheitsgewinne verloren gehen oder die sogar eine negative Sicherheitsbilanz zur Folge haben. Dies deutet darauf hin, dass ein nennenswerter Anteil der Unfälle im Straßenverkehr durch eine psychologisch nicht adäquate Straßengestaltung zumindest teilweise induziert sein dürfte.¹ Maßgebend sind hierbei vor allem die schweren Unfälle auf Landstraßen. Dabei zeigt die Art der Unfälle, dass das Verkehrsverhalten nur z. T. durch Regeln, Sanktionen oder Ausbildung beeinflusst werden kann.

Eine wichtige und bisher nicht ausgeschöpfte Komponente stellt die auf die Wahrnehmung und das Verhalten der Kraftfahrer abgestimmte Straße selbst sowie ihr Umfeld dar. Ausgegangen wird somit von der Erkenntnis, dass es einen „trade-off“ zwischen Person und Straße bzw. zwischen Verhaltenspräferenzen des Kraftfahrers und dem von ihm wahrgenommenen straßenseitigen Verhaltensangebot gibt. Vielfach trägt heute das „Verhaltensangebot“, das spezifische Straßen hervorrufen (beispielsweise eine Landstraße mit guter optischer Führung), soweit dies denn auf eine entsprechende Verhaltensbereitschaft des Kraftfahrers trifft, zu sicherem Fahrerverhalten bei.²

Einen umfassenden Ansatz zur Berücksichtigung physiologischer und psychologischer Aspekte der Kraftfahrer (hierzu gehören auch Motorradfahrer, betrachtet werden hier aber in erster Linie Pkw-Fahrer) lassen die deutschen Richtlinien zur Anlage von Straßen – zu nennen sind hier für den Landstraßenentwurf vor allem die RAS-L (1995), die RAS-Q (1996) und die RAS-K-1 (1988) – bislang vermissen, obwohl diese Aspekte teilweise implizit enthalten sind.³ Beispielsweise spielen bei der Linienführung in erster Linie fahrdynamische Parameter eine Rolle. Auch bei der Gestaltung des Straßenumfeldes werden die genannten Aspekte der Straßennutzer bislang nur sehr unvollständig berücksichtigt.

Es wird erwartet, dass eine stärkere Berücksichtigung des Verhaltens der Kraftfahrer beim Straßenentwurf zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit auf Landstraßen beiträgt. Daher wird im nationalen sowie im internationalen Bereich (beispielsweise in den europäischen Nachbarländern und weltweit insbesondere in den angelsächsischen Ländern) nach neuen Methoden und Möglichkeiten für eine „menschengerechtere“ Straßengestaltung gesucht.⁴ Der wesentliche Ansatz liegt in der Vermeidung von Fahrfehlern durch Anpassung der Straßen an die psychologischen und auch physiologischen Fähigkeiten und Grenzen der Kraftfahrer. Mit der Definition von standardisierten Entwurfsklassen in den neuen, derzeit in Erarbeitung befindlichen Richtlinien für die Anlage von Landstraßen – kurz RAL – soll diesen Anforderungen Rechnung getragen werden und ein Schritt in Richtung selbsterklärender Straßen erfolgen (HARTKOPF/WEBER, 2005). Dennoch ist es unabhängig von den Entwurfsvorgaben bzw. -standards neuer Regelwerke erforderlich, den Einfluss der Straßengestaltung auf das Fahrerverhalten genauer zu analysieren, um eine weitergehende Berücksichtigung der Kraftfahrer und ihrer Anforderungen beim Entwurf von Landstraßen zu ermöglichen.

2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel des Forschungsvorhabens ist, in Form einer Grundlagenstudie die bisherigen Erkenntnisse zur Wirkung und Einbeziehung psychologisch sowie auch physiologisch bedingter Einflüsse auf das Fahrerverhalten und damit auf den Straßenentwurf

¹ Auf diesen Umstand weisen Experten schon seit längerem hin (vgl. hierzu u. a. THEEUWES/DIKS, 1995).

² Insofern erfolgt die Nutzung der Straße keineswegs optimal, oft vielmehr in gefährlicher Weise; es kommt demnach darauf an, eine Kompatibilität zwischen Person und Straße („person-environment fit“; vgl. van VIANEN, 2001) unter dem Ziel der Herstellung größtmöglicher Verkehrssicherheit zu erreichen.

³ Da an Landstraßen grundsätzlich auch die Anlage planfreier Knotenpunkte erfolgen kann, sind auch die RAL-K-2 (1976), die AH-RAL-K-2 (1993) und die RAS-K-2-B (1995) zu berücksichtigen. Diesen wird aber in Bezug auf die hier im Vordergrund stehenden Fragestellungen, zumindest zunächst, ein nachgeordneter Stellenwert beigemessen.

⁴ Unter dem Begriff der Straßengestaltung werden hier im Weiteren die entwurfstechnischen Aspekte der Trassierung, die Straßenausstattung (Markierungen usw.) und die Seitenraum- und Umfeldgestaltung verstanden.

systematisch aufzubereiten und zu bewerten. Hierzu sind für Landstraßen die vorliegenden Erkenntnisse zu relevanten Einflussfaktoren der Straße selbst und deren Umfeld auf das Fahrerverhalten, und damit letztendlich auch auf die Verkehrssicherheit, zu analysieren und auf ihre allgemeine Übertragbarkeit sowie insbesondere Nutzbarkeit für Straßenentwurf und -gestaltung zu überprüfen. Mögliche positive oder auch negative Effekte sind in einer synoptischen Übersicht darzustellen. Damit soll der Rahmen für weitere, nachfolgende Studien geschaffen werden.

Die Systematisierung der vorhandenen Erkenntnisse zu den relevanten Einflüssen der Straße selbst (z. B. Faktoren der Linienführung) und der Straßenseitenraumgestaltung (z. B. Faktoren der Bepflanzung) auf das Fahrerverhalten erfolgt dabei im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit nicht ausschließlich aus psychologischer, sondern auch aus ingenieurtechnischer Sicht.

Für eine zielorientierte Aufbereitung und Bewertung der Grundlagen zur Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Landstraßenentwurf erfolgt eine dreistufige Vorgehensweise:

1. Modellierung des Fahrerverhaltens (aus psychologischer Sicht) und hierauf aufbauende Analyse der straßenseitigen Einflussfaktoren auf das Fahrerverhalten; Ergebnis dieser Systematisierung sind Hypothesen zu möglichen Einflussfaktoren von Landstraßen auf das Fahrerverhalten.
2. Bewertung der allgemeingültigen Übertragbarkeit der Bedeutung dieser Einflussfaktoren mittels Überprüfung der angewandten Untersuchungsmethoden und der jeweiligen verkehrlichen Randbedingungen; Ergebnisse der Bewertung sind sowohl Definitionen gesicherter Erkenntnisse als auch offene Fragen zu einzelnen, noch zu untersuchenden bzw. zu quantifizierenden Einflussfaktoren der Straßengestaltung auf das Fahrerverhalten.
3. Schlussfolgerungen mit zum einen der Ableitung von Empfehlungen für das technische Regelwerk anhand der gesicherten Erkenntnisse und zum anderen der Festlegung und Konkretisierung des Forschungsbedarfs für weitere, vertiefende empirische Studien.

Zur Strukturierung des Berichts werden die aus der Systematisierung gefolgerten Hypothesen verwendet, die im Wesentlichen auf Grundlage der derzeit

gültigen Regelwerke (in erster Linie RAS-L, 1995, RAS-Q, 1996, und auch RAS-K-1, 1988), den Erkenntnissen zu Charakteristika von Unfällen auf Landstraßen von OTTE (2000) und dem Konzeptansatz der selbsterklärenden Straße (vgl. van der HORST/KAPTEIN, 1998) abgeleitet wurden.

3 Modellierung des Fahrer- verhaltens

3.1 Klassifikation von Fahraufgaben

Die Forderung, psychologische Aspekte – so genannte Human Factors – in die künftigen Entwurfsregelwerke mit aufzunehmen, bedeutet zuallererst, dass den in der Praxis gewachsenen und z. T. aus rein ingenieurtechnischer Sicht abgeleiteten Prinzipien des Straßenentwurfs zumindest in Ansätzen ein Modell der Fahrer-Straße-Interaktion gegenübergestellt werden muss, um diese Forderung erfüllen zu können.⁵ Dazu muss in Grundzügen dargestellt werden, in welcher Weise der Fahrer die Straße wahrnimmt (Informationsaufnahme), wie er diese Wahrnehmung interpretiert und in einen Handlungsplan umsetzt (Kognition) und wie er dann den Handlungsplan letztendlich in konkrete Bedienungshandlungen umsetzt (Psychomotorik). Einen Überblick über Modelle der Fahrzeugführung auf einer Kontrollebene gibt JOHANNSEN (1990).

Ein gängiges Modell (BERNOTAT, 1970, MICHON, 1985) teilt dazu die Fahraufgaben in Navigations-, Bahnführungs- und Stabilisierungsebene ein (in der englischsprachigen Literatur: strategic, manoeuvre, control level). Handlungen auf der Stabilisierungsebene dienen der unmittelbaren Regulation des Fahrzeugs und werden meist ohne bewusste Überwachung automatisiert ausgeführt; die Wahl der Geschwindigkeit bei Strecken ohne Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit oder die Kontrolle der Spurführung sind Beispiele für Fahraufgaben dieser Ebene. Auf der Bahnführungsebene werden Manöver durchgeführt, d. h. erworbene regelhafte Verhaltenssequenzen, die unter bewusster Kontrolle durchgeführt werden; Beispiele sind das Linksabbiegen an einer Kreuzung oder das Überholen. Manöver setzen sich aus einer Folge von Kontrollhandlungen zu-

⁵ Zum Ansatz der Human Factors vgl. z. B. auch VOLLPRACHT/BIRTH (2003).

sammen; Fehler entstehen dabei entweder durch Auslassen von Kontrollhandlungen oder durch Aktivieren falscher Verhaltenssequenzen auf Grund fehlerhafter Situationsdiagnose. Ein Beispiel für falsche Verhaltenssequenzen auf Grund einer Aktivierung eines häufigen, aber dieser Situation nicht angemessenen Manöverschemas (so genannter „strong but wrong“-Fehler) beschreibt die Unfallanalyse von HALE/QUIST/STOOP (1988). Untersucht wurde eine Kreuzung in Winsum/Friesland, an der eine untergeordnete zweistreifige Straße eine zweibahnig vierstreifige übergeordnete Straße kreuzt. Um landwirtschaftlichem Verkehr das Queren der übergeordneten Straße zu ermöglichen, wurden die Fahrbahnen der übergeordneten Straße im Kreuzungsbereich getrennt. Dennoch kam es häufig zu Unfällen, bei denen Linkseinbieger aus der untergeordneten Straße den Verkehr von rechts auf der übergeordneten Straße ignorierten. HALE/QUIST/STOOP (1988) folgern aus Blickbewegungen von Fahrern, dass an dieser Stelle ein Manöverschema für „normale“ Kreuzungen von zwei zweistreifigen Straßen aktiviert wird, was zu Fehlverhalten an der zweiten Kreuzungssituation (mit der zweiten Fahrbahn der übergeordneten Straße) führt.

Auf der Bahnführungsebene setzt auch der Ansatz der „selbsterklärenden Straße“ an (van der HORST/KAPTEIN, 1998; vgl. Kapitel 4.7), bei dem durch die Merkmale der Straße eine subjektive Klassifikation erfolgen soll, die adäquate Verhaltensschemata aktiviert. Fehlklassifikation einer Strecke kann zu ungeeigneten Kriterien für die Geschwindigkeitswahl führen sowie zu mangelhaftem Überwachungsverhalten, weil z. B. nicht mit langsamen Verkehrsteilnehmern oder Querverkehr gerechnet wird. Dieser Punkt wird später ausführlich diskutiert.

Auf der Navigationsebene werden Komponenten des Fahrerverhaltens wie Routenplanung oder Streckenwahl betrachtet. Diese Komponenten haben einen relativ langen Zeithorizont und verlangen im Allgemeinen nach bewussten Informationsverarbeitungsprozessen, die z. T. auch Problemlöse- und Planungsaufgaben beinhalten.

THEEUWES (2001) erweitert dieses Modell um die Dimensionen Informationsverarbeitung (Wahrnehmung, Verarbeitung/Entscheidung, Handlung) und Grad der Automatisierung der Handlungsausführung (fähigkeits-/regel-/wissensbasiert, RASMUSSEN, 1986; vgl. Bild 1). Während wie oben er-

wähnt zwar klar ist, dass Stabilisierungsprozesse im Allgemeinen hochautomatisiert und damit auf der Ebene der fähigkeitsbasierten Handlungssteuerung ausgeführt werden, gibt es durchaus Situationen, bei denen die Kontrolle des Fahrzeugs durch bewusste Eingriffe und Einsatz von spezifischem Wissen durchgeführt werden muss. Am deutlichsten beobachtbar ist dies bei Fahranfängern in der Fahrschule, die selbst einfache Regelungsprozesse wie die Spurführung unter bewusster Kontrolle durchführen (z. B. MOURANT/ROCKWELL, 1972); bei erfahrenen Fahrern ergeben sich solche Situationen z. B. bei starken Veränderungen der Fahrzeugeigenschaften wie Fahren mit einem Anhänger oder mit Schneeketten, oder beim Fahren im Linksverkehr. Um die Fahrzeugkontrolle zu behalten, muss der Fahrer in diesen Situationen bewusst seine Regelungshandlungen anpassen, und es lassen sich typische Fehler beobachten, wenn diese bewusste Regelung versagt und automatische Regelungsprozesse angewendet werden. Andererseits können auch strategische Entscheidungen wie die Routenwahl bei Berufsfahrern oder Dispatchern automatisch fähigkeitsbasiert ausgeführt werden.

Die Gestaltung der Straßenumgebung nimmt Einfluss auf unterschiedliche Ebenen der Fahraufgabe. Während die fähigkeitsbasierte Durchführung der Spurstabilisierung z. B. durch das Vorhandensein von Markierungen zur Fahrbahnbegrenzung beeinflusst werden kann, die die Wahrnehmung der Spurlage verbessern (siehe Kapitel 4.4), spielt dieses Merkmal nur unter spezifischen Umständen auf der Navigationsebene eine Rolle (z. B. wenn eine längere Route mit Markierungen zur Fahrbahnbegrenzung gegenüber einer kürzeren Route ohne Markierungen zur Fahrbahnbegrenzung bevorzugt wird, weil es Nacht ist und regnet).

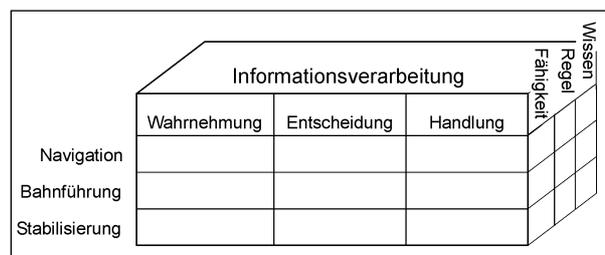


Bild 1: Beschreibung der Fahraufgabe nach THEEUWES (2001): Die Horizontale gliedert die Fahraufgabe nach den Ideen von BERNOTAT (1970); diese Anforderungen kommen extern auf den Fahrer zu. Zu ihrer Bewältigung kann der Fahrer unterschiedliche Kontrollmechanismen einsetzen (hier in der Tiefe gestaffelt); nach RASMUSSEN (1986)

3.2 Fahrerzustand

Auf der Fahrerseite wird die Bewältigung der Fahraufgaben allerdings nicht nur von der kognitiven Leistungsfähigkeit beeinflusst, die z. B. von Training und Fahrerfahrung abhängt, sondern auch vom aktivationalen Zustand, in dem der Fahrer sich befindet. So ist seit längerem bekannt, dass erhöhte Anforderungen an den Fahrer durch eine schwierige Streckenführung z. T. durch eine Steigerung der Anstrengung kompensiert werden, ohne dass eine Veränderung im Fahrerverhalten oder Fahrleistung beobachtbar wäre (vgl. z. B. RICHTER et al., 1998). Auf der anderen Seite kann es bei Fahrten auf Autobahnen und Landstraßen in Abhängigkeit von der Monotonie der Fahraufgabe und der Disposition der Fahrer zu einer starken Unterforderung und Verringerung der Aufmerksamkeit kommen, was im Stadtverkehr wohl nicht vorkommt (HORNE/REYNER, 2001). Dabei zeigt sich, dass Fahraufgaben der Stabilisierungsebene selbst bei stark reduzierter Aufmerksamkeit durchgeführt werden können (ORON-GILAD et al., 2002); treten jedoch Situationen auf, die spezielle Manöver oder sogar Strategien verlangen (z. B. durch Anwesenheit von „Fremdverkehr“), so kann es bei starker Reduktion der Vigilanz zu typischen Fehlhandlungen kommen. Von daher beeinflusst die Umwelt des Fahrers nicht nur Wahrnehmungs-, Entscheidungs- und Handlungsprozesse, die zur Erledigung der Fahraufgaben eingesetzt werden, sondern auch die Aufmerksamkeit, die psychophysische Belastung und die Müdigkeit (psychophysischer Zustand). Außerdem hat die Straßenumwelt natürlich auch einen Einfluss auf die Konsequenzen von Fahrerfehlverhalten, das auf Grund reduzierter Vigilanz entsteht. So identifizieren sowohl KENNY (1995) als auch LEE/MANNERING (2002) die Anwesenheit von Singularitäten oder Hindernissen im nahen Seitenraum (hier: Lichtmasten) als Faktoren, die die Wahrscheinlichkeit schwerer Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn erhöhen.

Der typische Müdigkeitsunfall besteht laut PACK et al. (1995) in einem Abkommen von der Straße (78 %) bei relativ hoher Geschwindigkeit (> 50 mph), spät nachts (24:00-7:00 Uhr) oder nachmittags (15:00 Uhr) mit jungen Fahrern (55 %; die Exposition war allerdings in den Analysen nicht kontrolliert). Straßenbauliche Maßnahmen gegen diesen Typ von Unfällen sollten also die Wahrscheinlichkeit des Abkommens von der Straße verhindern und insbesondere auch nachts wirksam sein.

Neben der Unterforderung des Fahrers kann auch eine Überforderung der Informationsverarbeitung durch übermäßige Informationsangebote vorkommen („Schilderwald“). Üblicherweise kann von einer umgekehrt U-förmigen Beziehung zwischen Grad der Aktivierung und Leistung ausgegangen werden, und sowohl Unter- als auch Überforderung führen jeweils zu Leistungseinbußen (YERKES/DODSON, 1908, BROADHURST, 1957). Ziel muss es deshalb sein, den Fahrer in einem mittleren Bereich der Aktivierung zu halten. Eine Minderung der Vigilanz ist dem Fahrer im Gegensatz zur Minderung der Wachheit (= Müdigkeit) nämlich nicht bewusst und kann von ihm daher auch nicht kompensiert werden. Die Gestaltung des Straßenraums hat damit insgesamt unter der Forderung der Konditionssicherheit des Fahrers zu stehen.

3.3 Kognitive Einflüsse

Während in den meisten Untersuchungen implizit von einer reaktiven Steuerung des Fahrerverhaltens ausgegangen wurde (also: Welchen Einfluss hat die Querschnittsbreite auf die gefahrenen Geschwindigkeiten?), d. h., die Beeinflussung von Fahrerhandlungen eher auf der Kontrollebene untersucht wurde, betrachten neuere Ansätze verstärkt den Einfluss der kognitiven Verarbeitung auf das Fahrerverhalten (also: Welchen Einfluss hat der Typ der Straßensituation auf bewusst initiierte Verhaltensweisen wie Überwachungsverhalten oder Überholverhalten?). Wie in Bild 1 gezeigt, können für die Bewältigung der Fahraufgaben unterschiedliche Kontrollmechanismen eingesetzt werden, die sich darin unterscheiden, welche Aspekte mentaler Repräsentationen (so genannte Schemata) manipuliert und verarbeitet werden.

Straßenumgebungen werden nämlich – wie andere Objekte – als Instanzen von Objektklassen wahrgenommen, die bestimmte Handlungsmöglichkeiten bieten. Diese Objektklassen sind im kognitiven System des Fahrers als so genannte Schemata repräsentiert. Ein Schema eines Objekts beinhaltet neben definierenden Merkmalen, die zunächst auf prototypische Werte gesetzt sind, auch typische Handlungsmöglichkeiten und -sequenzen (Skripte). Die Wahrnehmung einer Straße als Instanz einer Klasse (z. B. Kraftfahrstraße) aktiviert also ein Schema mit klassenspezifischen Merkmalswerten, die entweder durch explizite Instruktion (z. B. zulässige Höchstgeschwindigkeit, erlaubte Fahrzeugklassen) oder im Laufe der Fahrerfahrung im-

plizit erworben wurden (z. B. Wahrscheinlichkeit für Überholmöglichkeiten, Knotenpunktabstände), sowie Handlungsmöglichkeiten und -sequenzen (Überholmanöver, Einordnen an Knotenpunkten).

Die Aktivierung eines Schemas setzt dabei Standardwerte für Merkmale des Objekts, die nicht explizit beobachtet wurden (z. B. Kraftfahrstraße: keine Straßenbeleuchtung). Schemainkongruente Ausprägungen dieser Merkmale werden nach Aktivierung mit verringerter Wahrscheinlichkeit bemerkt, da die Informationssuche (im Straßenverkehr meist das Blickverhalten) ebenfalls schemaspezifisch erfolgt.

Implizit werden mit einem Schema auch die in dieser Situation verfügbaren Handlungsmöglichkeiten (= Manöver) aktiviert und gegebenenfalls parametrisiert. Erkennt der Fahrer, dass er sich auf einer Autobahn befindet, so wird er für Abstände, Überhol- und Fahrstreifenwechsellvorgänge mit Sicherheit andere zeitliche Grenzwerte und Auslösekriterien verwenden als auf einer normalen Landstraße für gemischten Verkehr. Gerade auf diese Parametrisierung von Handlungsmöglichkeiten hebt das Konzept der „Self-explaining Road“ ab, das im folgenden Kapitel detailliert diskutiert wird. Unter Umständen spielen bei der Parametrisierung der Manöver- und Kontrollebene auch strategische Entscheidungen eine Rolle; so ist davon auszugehen, dass die akzeptierten Kollisionszeitabstände (TTC) und Konfliktspielräume (PET) im Freizeit- vs. Berufsverkehr unterschiedlich ausfallen.

Wie erwähnt, sind die Handlungsmöglichkeiten mit Auslösebedingungen verknüpft (vgl. z. B. CARD, 1983). Die Auswahl einer bestimmten Handlungsmöglichkeit wird dabei durch die kognitive Repräsentation der Situation (Umwelt, Wissen, Motivation des Fahrers) bestimmt. Um zu entscheiden, welche Handlung in einer Situation ausgeführt wird, werden von einem internen Prozess die Auslösebedingungen aller aktivierten Regeln periodisch geprüft. Ist der Status einer Bedingung eines Manövers nicht bekannt, so wird aktiv nach Informationen dazu gesucht und diese relevante Information ins Arbeitsgedächtnis aufgenommen. Dies lässt sich bei Blickverhaltensuntersuchungen nachweisen.

An Kreuzungen lassen sich z. B. in Abhängigkeit vom Fahrmanöver (Schema) unterschiedliche Blickbewegungen beobachten (van der HORST, 1990). COLE/HUGHES (1990) und THEEUWES (1996) zeigen, dass Schemata von Verkehrsszenen

Informationen zum Ort von Verkehrszeichen enthalten, da Zeichen, die bei gleicher Auffälligkeit an unüblichen Orten platziert werden, deutlich später erkannt werden. COHEN (1998) weist nach, dass beim Durchfahren von Engstellen die Hinderniskanten und der weitere Streckenverlauf fixiert werden, beim Auftauchen einer Personenattrappe in der Durchfahrt jedoch verstärkt diese Person fixiert wird. Es werden also vornehmlich fahraufgabenrelevante Informationen gezielt gesucht und verarbeitet.

Da Schemata über die Zeit erworben werden, kann ihr Einfluss auch im Unterschied von Fahranfängern und erfahrenen Fahrern bei der Überwachung einer Verkehrssituation nachgewiesen werden (UNDERWOOD et al., 2002). Auch die Untersuchungen zur so genannten „change blindness“ bestätigen die Rolle der kognitiven Repräsentation der Straßenumgebung auf den Informationserwerb. Dort werden während einer kurzzeitigen (etwa 20 ms) Ablenkung der Szene, wie sie z. B. während einer Augenbewegung auftritt (sakkadische Suppression), Elemente der Szene verändert, hinzugefügt oder entnommen. Versuchspersonen bemerken diese Veränderungen bei Straßenverkehrsszenen sehr wohl, wenn es sich um schemarelevante Objekte (hier: Radfahrer) handelt (Trefferquote 80 %), Veränderungen an schemairrelevanten Objekten (hier: Werbeplakate) werden dagegen kaum bemerkt (Trefferquote: 34 %; vgl. hierzu VELICHKOVSKY et al., 2002).

Ist ein Schema aktiviert, werden im Normalfall die ausgewählten Handlungssequenzen nacheinander abgearbeitet; unter bestimmten Umständen kann es dabei zu Auslassungen von Ablaufschritten oder Abarbeitung in falscher Reihenfolge kommen (Ähnlichkeit von Subsequenzen, Vigilanzreduktion, Störung bei der Ausführung). Eine andere Klasse von Fehlern entsteht durch die korrekte Abarbeitung eines falschen Schemas, das aus irgendeinem Grund aktiviert wurde, z. B. weil definierende Merkmale eines anderen Schemas präsent sind (zweibahnig vierstreifige Landstraßen mit Schutzplanken im Mittelstreifen werden mit Autobahnen verwechselt).

Eine weitere Fehlerquelle ergibt sich aus der Tatsache, dass die Schemata und gegebenenfalls modifizierte Parameter im menschlichen Gedächtnis gehalten werden müssen. Bekanntermaßen ist die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses sowohl von der Informationsmenge (etwa 7 ± 2 Informationsein-

heiten; MILLER, 1956) als auch von der Zeit her begrenzt (Items, die nicht aktiv wiederholt werden, können nach etwa 30 s nicht mehr erinnert werden). Im Straßenverkehr handelt es sich bei diesen Items z. B. um Verbotsschilder, die ein eigentlich adäquates Verhalten (z. B. das Überholen) für eine gewisse Zeit einschränken. Wird die Tatsache, dass man sich in einer Überholverbotszone befindet, nicht durch den Fahrer wiederholt (Rehearsal) oder diese Wiederholung extern sichergestellt, indem ein zweites Verbotsschild aufgestellt oder das Verbot durch eine permanent sichtbare durchgezogene Markierung in der Fahrbahnmitte verdeutlicht wird, so ist davon auszugehen, dass nach etwa 30 s wieder die Standardausprägungen der Handlungsparameter verwendet werden.

Im Straßenverkehr kann es so zu inadäquatem Blickverhalten, fehlerhafter Antizipation von Verkehrssituationen und falschen Handlungen kommen. Da nicht explizit nach schemainkongruenten Informationen gesucht wird, bleiben fehlerhafte Schemata oder mentale Modelle der Situation auch über längere Zeit aktiviert.

Existieren für eine Situation keine passenden Schemata, so muss der Fahrer in einem bewussten Problemlöseprozess neue Schemata generieren oder aus bestehenden Schemata allgemeiner Art ableiten. Beides ist mit erheblichem kognitivem Aufwand verbunden, wodurch Überlastung des Fahrers und spezifische Fehlermuster (insbesondere kognitiver Tunnelblick und Fixierung auf ein Schema) auftreten können.

3.4 Das Konzept der „Selbsterklärenden Straße“

Für Straßenumgebungen gibt es allerdings objektive Schemata, die z. T. ebenfalls bestimmte zulässige Verhaltensweisen implizieren (Autobahn vs. Kraftfahrstraße vs. Landstraße). Spezielle Fragestellung des Forschungsansatzes zu „self explaining roads“ (SER) war deshalb die Übereinstimmung der subjektiven Schemata von Außerortsstraßen mit den offiziellen Straßenklassen; dieser Ansatz mündete mittlerweile in einer Neuklassifikation des Streckennetzes in den Niederlanden (SCHAGEN/JANSSEN, 2000). Ein ähnlicher Ansatz wird in Deutschland mit den neuen RAL verfolgt: So sollen durch definierte Entwurfsklassen, d. h. durch Gestaltungsvorgaben für unterschiedliche Typen von Straßen entsprechend ihrer Funktion,

zukünftig standardisierte und sich möglichst selbsterklärende Straßen geplant, entworfen und gebaut werden (HARTKOPF/WEBER, 2005). Auch in Schweden wird eine ähnliche Klassifikation diskutiert (WRAMBORG, 1998). Der Grundgedanke findet sich bereits in einer Forderung von LEINS aus dem Jahre 1969 (zitiert nach BUCK, 1992): „Die Aufgabe der Streckencharakteristik besteht darin, durch eine gleichgerichtete, harmonische Abstufung aller wahrnehmbaren Straßenmerkmale deutlich erkennbare Straßentypen zu schaffen und beim Verkehrsteilnehmer ein für den jeweiligen Straßentyp intuitiv richtiges Fahrverhalten zu erzeugen, das zu einer Steigerung der Verkehrssicherheit und zu einer Verbesserung des Verkehrsablaufs führt.“

Der Ansatz der „Self Explaining Roads“ geht also davon aus, dass Fahrer die Ausprägungen der Merkmale einer Straße wahrnehmen und auf Grund ihrer bisherigen Erfahrung ein Schema aktivieren, das diese Merkmale enthält. Falls die Merkmalsausprägungen verschiedener Straßenklassen disjunkt sind, so die Vermutung, sollte die subjektive Klassifikation ebenfalls disjunkte Schemata aufrufen, die idealerweise den objektiven Straßenklassen auch in den Handlungsmöglichkeiten entsprechen. Die Straße soll also „erklären“, dass sie eine Kraftfahrstraße ist, nicht aber, wie der Begriff vermuten lässt, welches Fahrerverhalten in einer spezifischen Situation angemessen sei. Nun zeigen sowohl allgemeinpsychologische Befunde zur Rolle von Prototypen bei der Objektklassifikation (für einen Überblick: ROSCH, 1975, ANDERSON, 2001) als auch die empirischen Befunde zur subjektiven Klassifikation von Straßen deutliche Grenzen für diese Vermutung. Dort wird nämlich vorausgesetzt, dass die straßenbaulich manipulierbaren Merkmale der Strecke wie Querschnittsgestaltung, Markierungen, Schutzplanken und gegebenenfalls Knotenpunktstypen als definierende Merkmale der Klasse wahrgenommen werden. Untersuchungen zur wahrgenommenen Ähnlichkeit von Straßenansichten zeigen jedoch deutlich, dass diese Merkmale nur in geringem Umfang zur subjektiven Klassifikation verwendet werden (vgl. Kapitel 4.7).

Ein weiterer Punkt betrifft die aktivationalen Voraussetzungen des Fahrens, die im Konzept der „Self Explaining Roads“ bisher naturgemäß ausgeklammert wurden, für die Bewertung der Benutzbarkeit einer Straße jedoch eine große Rolle spielen. Im Gegensatz zur häufig vertretenen Auffassung, dass Autofahren insgesamt als fordernder,

schwieriger Prozess zu betrachten sei, was für Fahranfänger zweifellos gilt, ist für geübte Fahrer eher davon auszugehen, dass ein hoher Anteil der Fahrzeit durch Zustände der Unterforderung gekennzeichnet ist, da alle relevanten Fahraufgaben durch automatisch ablaufende Prozesse der Kontrollebene erledigt werden können. Dabei gilt zusätzlich tendenziell, dass längere Fahrstrecken (und damit Fahrzeiten) geringere Ansprüche von Seiten der Verkehrssituation stellen (Bundesautobahnen). Das zentrale Problem einer Unterforderung des Fahrers ist die Minderung der Vigilanz, die nach MACKWORTH (1948) definiert werden kann als „der Grad der Bereitschaft, bestimmte kleine Unterschiede in der Reizumgebung, die zu zufälligen Zeitpunkten auftreten, zu entdecken und darauf zu reagieren“. Bei längeren monotonen Fahrten treten zusätzlich Prozesse der Sättigung (Motivationsverlust) und der Ermüdung (Time-On-Task-Effekte) auf.

Sollten zu detektierende Unterschiede in der Reizumgebung definierende Merkmale für ein neues Straßenschema sein, so ist davon auszugehen, dass der Wechsel vom alten zum neuen Schema mit allen Konsequenzen für die Handlungsoptionen bei verminderter Vigilanz deutlich verspätet erfolgt. Dabei kann eine Minderung der Vigilanz auch in Situationen auftreten, in denen die eigentliche Wahrnehmung problemlos möglich wäre, aber die relevanten Reize im Hintergrund einer eintönigen Menge von nicht relevanten Reizen verloren gehen.

Darüber hinaus besteht ein Problem des „Self Explaining Roads“-Ansatzes in der impliziten Vermutung, allein durch das Aktivieren des korrekten Straßenschemas beim Fahrer kann auf der Strecke das adäquate Verhalten hervorgerufen werden. So würde man erwarten, dass die Aktivierung des korrekten Schemas für Kraftfahrstraßen vs. Landstraßen Konsequenzen für das Blickverhalten, die Antizipation von Verkehrssituationen, die Wahl von Abständen und Geschwindigkeiten und die Wahrscheinlichkeit bestimmter Manöver nach sich zieht. Allerdings kann ein eigentlich klassenkonformes Verhalten auf unterschiedlichen Abschnitten der Strecke unterschiedlich angemessen sein („Auf einer Landstraße darf man 100 km/h fahren“). Der Begriff der „selbsterklärenden Straße“ verlangt eigentlich, dass die Verkehrsteilnehmer unmittelbar aus der Straßengestaltung erkennen, wie sie sich jetzt zu verhalten haben. Voraussetzung ist, dass die Verkehrsumgebung so gestaltet ist, dass sie mit den Erwartungen der Kraftfahrer

übereinstimmt bzw. solche Verhaltenserwartungen eindeutig kommuniziert (Erwartungstreue). Darüber hinaus soll sicheres Verkehrsverhalten durch das „Design“ der Straße ohne weitere externe Intervention (wie Verkehrszeichen oder LSA) hervorgerufen werden.

Da der Fahrprozess sich aus einer langfristigen Komponente der „antizipativen Steuerung“ und einer kurzfristigen und räumlich nahe liegenden Komponente der „Ausregelung“ zusammensetzt – von denen nur die langfristige Komponente (Bahnführungsebene) durch die Aktivierung der korrekten Straßenkategorie beeinflusst wird, während z. B. Spurregelungsprozesse eher von der aktuellen Straßenumgebung unterstützt oder behindert werden (Stabilisierungsebene) –, könnten an Stelle von Entwurfsklassen für unterschiedlich befahrbare Straßenverkehrsanlagenabschnitte innerhalb einer Straßenkategorie verschiedene Merkmalskombinationen definiert werden, die den Handlungsbedarf des Fahrers an dieser Stelle auf der Stabilisierungsebene entsprechend unterstützen (Handlungsadäquanz). Eine Straßenkategorie würde also nicht durch konstante Ausprägungen von Straßenzugmerkmalen definiert, sondern durch verschiedene Ausprägungen einzelner Merkmale, die an den jeweiligen Straßenverkehrsanlagenabschnitten zu den gewünschten Ausprägungen des Fahrerhaltens führen. Diese verschiedenen Merkmalskombinationen könnten durch Variation der Elemente des Querschnitts, der Markierung sowie der Straßenausstattung gebildet werden.

3.5 Merkmalsklassen oder Verhaltensklassen?

Ein stärker verhaltensbasierter Ansatz als das Konzept der „Self Explaining Roads“ geht daher davon aus, dass sich aus der Straße und dem Verkehrsgeschehen heraus für das Fahren Möglichkeiten und Restriktionen ergeben. Straßen würden in diesem Konzept nicht zuerst deshalb als ähnlich wahrgenommen, weil sie ähnliche Merkmale haben (und schon gar nicht, weil sie derselben offiziellen Kategorie angehören), sondern deshalb, weil auf ihnen dasselbe Verhalten möglich ist. Ob eine solche Klassifikation zu einer vergleichbaren Merkmalsstruktur führt, ist wahrscheinlich, aber nicht zwingend.

Straßenklassen wären damit Schemata mit ähnlichen Handlungsmöglichkeiten (vgl. auch das Affor-

danz-Konzept von GIBSON, 1982) und als solche nicht Erscheinungen mit gemeinsamen Merkmalen, sondern Gruppen von Erscheinungen funktionaler Äquivalenz (HOFFMANN, 1993). Begriffe dieser Art sind funktional, indem sie eine Menge in sich stimmiger Verhaltensklassen aufrufen (vgl. die Vermutung von THEEUWES, 2001: „If on a particular road, everyone is driving too fast, this is probably caused by the road design, i.e., the road looks like a road where you can drive fast.“)

Wenn sich für das Fahren auf Außerortsstraßen hinreichend disjunkte Fahrerverhaltensklassen definieren lassen, könnten diese Klassen als Basis für die Klassifikation der Straße und die Wahl der Ausprägung von straßenbaulichen Merkmalen benutzt werden. Diese Merkmale könnten sich auf unterschiedlichen Streckenabschnitten durchaus unterscheiden (Kurven vs. Geraden), solange sichergestellt ist, dass das gewünschte Verhalten induziert wird. Es ist davon auszugehen, dass hierzu auch Erkenntnisse aus Untersuchungen zum Einfluss von Ausstattungsmerkmalen auf das Verhalten in den Entwurfsprozess integriert werden müssen.

Wenn also – wie in den Niederlanden der Fall – z. B. auf untergeordneten Landstraßen prinzipiell mit langsamem Verkehr und Radfahrern gerechnet werden muss und deshalb das gesetzliche Tempolimit für diese Strecken niedriger gelegt wurde als für andere Überlandstraßen (für Schnellverkehr), dann muss eine solche untergeordnete Landstraße in allen ihren Elementen so gestaltet sein, dass sie das Einhalten des gesetzlichen Tempolimits erzwingt oder zumindest nahelegt (durch die Trassierung oder andere Maßnahmen zur Geschwindigkeitsregulierung; vgl. auch die ausführliche Diskussion der Literaturbefunde in Kapitel 4.4), auch wenn das bedeuten würde, dass bestimmte Merkmale wie z. B. die Anwesenheit oder Breite von Markierungen zur Fahrbahnbegrenzung im Verlauf der Strecke wechseln. Eine Straße der Klasse X wäre damit idealerweise nicht mehr eine Strecke, auf der 80 km/h schnell gefahren werden soll, sondern eine Strecke, auf der man automatisch 80 km/h fährt, und damit wirklich „selbsterklärend“.

Dies setzt aber voraus, dass sich tatsächlich verschiedene Klassen von Verhaltensweisen angeben lassen, die konsistent auf einer Straßenklasse im Gegensatz zu anderen Klassen möglich sein sollen. Anders formuliert: Welche Verhaltensweisen sollen

auf z. B. Gemeindeverbindungsstraßen notwendig oder möglich sein, die auf überregionalen Straßen nicht notwendig oder möglich sind? Diese Unterscheidung blieben die Ansätze der „Self Explaining Roads“ bisher schuldig; in der Literatur wurde nur die unterschiedlich erlaubte Geschwindigkeit diskutiert.

Neuere Entwicklungen in der Straßenklassifikation sowohl in den Niederlanden als auch in Deutschland gehen eher in die hier geforderte Richtung. Ein bestimmter Landstraßentyp erlaubt dort ein geregeltes Überholverhalten und unterscheidet sich damit in den Verhaltensmöglichkeiten deutlich von anderen Landstraßentypen. Über die Wirkung auf die subjektive Klassifikation der Strecken und das Fahrerverhalten sind zwar noch keine Studien vorhanden. Untersuchungen im Rahmen des „Self Explaining Roads“-Ansatzes zeigen aber, dass die Versuchspersonen meist deutlich zwischen Autobahnen, Landstraßen und Wohnstraßen (niederländisch: woonerfs) differenzieren, während z. B. zweibahnig vierstreifig ausgebaute Landstraßen für Schnellverkehr ebenfalls als Autobahnen kategorisiert werden. Auf diesen Straßen ist in beiden Fällen die Hauptaufgabe des Fahrers die Längsregelung des Fahrzeugs mit häufigen Überholvorgängen unter Beachtung der Abstände zu vorausfahrendem und rückwärtigem Verkehr. Da weder Gegen- noch Querverkehr auftreten (sollten), wird das Überwachungs- und Antizipationsverhalten entsprechend angepasst. Die Beobachtung des Straßenrandes (wie auf innerstädtischen Strecken mit Fußgängerverkehr) und das Überwachen von Kreuzungsdurchfahrten fallen also vollständig weg. Die Versuchspersonen nutzen also die Handlungsmöglichkeiten zur subjektiven Klassifikation der Strecken. Innerhalb der Kategorie der traditionellen Landstraßen sind diese Handlungsmöglichkeiten jedoch praktisch identisch, daher werden subjektiv die Strecken anders differenziert als in der offiziellen Klassifikation.

Es ist also zu erwarten, dass Landstraßentypen, die deutlich unterschiedliche Mengen von Verhaltensoptionen aktivieren, tatsächlich auch subjektiv diskriminiert werden können und dass die Erkenntnis, sich auf einem Straßentyp X zu befinden, durch die Aktivierung korrekter Verhaltensschemata auch zu einer sicherheitsfördernden Veränderung des Fahrerverhaltens führt. An dieser Stelle besteht allerdings noch erheblicher Forschungsbedarf.

4 Hypothesen zum Einfluss der Straßengestaltung auf das Fahrerverhalten

Unter Berücksichtigung der modellierten Fahrer-Straße-Interaktion wird eine Analyse straßen- und umfeldseitiger Einflüsse auf das Fahrerverhalten durchgeführt. Hierzu erfolgt die systematische Aufbereitung vorliegender Erkenntnisse zu relevanten Einflüssen der Straße selbst mit Faktoren aus

- Linienführung,
- Querschnitt (vor allem Fahrstreifen- bzw. Fahrbahnbreite),
- Straßenausstattung (z. B. Fahrbahnmarkierung), aber auch
- Oberflächengestaltung

sowie deren unmittelbarem Umfeld, d. h. der Straßenseitenraumgestaltung, mit Faktoren der

- Straßenausstattung (z. B. Leitpfosten) und der
- Bepflanzung

auf das Fahrerverhalten. Im Einzelnen wird dabei der straßen- und umfeldseitige Einfluss auf die bereits genannten Bereiche des Fahrerverhaltens – Geschwindigkeitsverhalten und Spurverhalten sowie Überholverhalten, aber auch Abstandsverhalten – fokussiert.

Hinsichtlich des Geschwindigkeitsverhaltens ist zu untersuchen, welche baulichen Faktoren einen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl haben (Straßenführung, vor allem Kurven, Straßenbreite, Markierungen, Straßenbelag und -beschaffenheit, Straßenseitenraumbeschaffenheit, wie Bepflanzung usw. in Abhängigkeit z. B. zur Nähe der Straße). Bezogen auf das Spurverhalten steht die Frage im Vordergrund, welche Straßen- und Umgebungseigenschaften die Fahrtrichtungsbalance negativ beeinflussen und ein Abkommen von der Fahrbahn begünstigen bzw. verhindern können. Hier werden Befunde zur optischen Führung und zum Blickverhalten wesentlich sein (hierzu liegt auch eine Reihe deutschsprachiger Arbeiten vor, z. B. COHEN, 1997). Bei allen Verhaltensbereichen ist auch der Einfluss bzw. die Beeinflussung durch andere Verkehrsteilnehmer zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für das Überholverhalten. Die Betrachtung des Abstandsverhaltens setzt zwangsläufig Interaktionen zwischen Kraftfahrern voraus.

Analysiert werden sowohl die theoretischen Ansätze als auch die praktischen Erfahrungen mit unterschiedlichen Aspekten der Berücksichtigung psychologischer Erkenntnisse in der Straßenplanung („good practice“). Des Weiteren werden auch Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit aus vorliegenden Unfalluntersuchungen, aus denen ebenfalls Rückschlüsse auf den Einfluss der Straße selbst und ihres Umfeldes auf das Fahrerverhalten geschlossen werden können, einbezogen.

Um eine zielgerichtete Analyse durchführen zu können, wie das Fahrerverhalten durch die Straßengestaltung beeinflusst wird, wurden zunächst Hypothesen aufgestellt. Dabei werden insbesondere folgende drei Fragen berücksichtigt:

1. Welche Annahmen bzw. empirischen Befunde hinsichtlich des Fahrerverhaltens und dessen straßen- und umfeldseitiger Beeinflussung liegen den im aktuellen deutschen Regelwerk (vor allem RAS-L, 1995, und RAS-Q, 1996) definierten Größen zu Grunde?
2. Welche Erkenntnisse zum Fahrerverhalten ergeben sich aus den Charakteristika von Unfällen auf Landstraßen, die von OTTE (2000) detailliert betrachtet wurden?
3. Welche Zusammenhänge lassen sich aus dem Konzeptansatz zur selbsterklärenden Straße (siehe z. B. van der HORST/KAPTEIN, 1998) ableiten?

Die Aussagen der Entwurfsrichtlinien beruhen auf theoretischen Überlegungen, auf Forschungsergebnissen und auf den Erfahrungen der Praxis. In die RAS-L (1995) sind beispielsweise die Ergebnisse von DAMES/MERCKENS/BERGMANN (1984), KÖPPEL (1984), DURTH/HABERMEHL (1986), DURTH/LEVIN (1991), DURTH/LIPPOLD (1993) und DURTH et al. (1995) eingeflossen.⁶ Die Festlegungen der RAS-Q (1996), z. B. im Hinblick auf die neuen Regelquerschnitte, beruhen u. a. auf den Erkenntnissen von BRANNOLTE et al. (1992).⁷ In den Richtlinien sind (zumindest in Bezug auf einzelne Aspekte) bereits Human Factors implizit berücksichtigt: Z. B. sind die Trassierungsparameter so

⁶ Die Veränderungen der RAS-L (1995) gegenüber der RAS-L (1984) sind bei DURTH/LIPPOLD (1995) zusammenfassend dargestellt.

⁷ Zu den Neuerungen der RAS-Q (1996) gegenüber den RAS-Q (1982) siehe BRILON (1996) und BRILON/ROHLOFF/WEISER (1998).

festgelegt, dass sie dem Kraftfahrer auf Grund seiner Erfahrungen und Fahrgewohnheiten auch zugemutet werden können (vgl. DURTH/LIPPOLD, 1995).

Die Charakteristika von Unfällen auf Landstraßen wurden von OTTE (2000) eingehend untersucht.⁸ Auf schmalen einbahnigen Straßen mit einer Fahrbahnbreite bis zu 7,00 m, d. h. einer maximalen Fahrstreifenbreite von 3,50 m, geschahen 50,4 % der Landstraßenunfälle; diese Strecken werden als am gefährlichsten bezeichnet. Im Vergleich wurden 24,2 % aller Landstraßenunfälle auf mehrstreifigen Strecken (mit/ohne bauliche Trennung der Richtungsfahrbahnen: 13,7 % bzw. 10,5 %) registriert; 17,6 % der Unfälle entfielen auf breite Straßen, d. h. einbahnige zweistreifige Querschnitte mit mehr als 3,50 m Fahrstreifenbreite. Auf schmalen einbahnigen Straßen entfielen mehr als die Hälfte der Unfälle auf Kurven. Bei einem Viertel der Landstraßenunfälle fuhren die Kraftfahrer schneller als erlaubt, meistens auch schneller als 100 km/h. OTTE (2000) macht deutlich, dass schmale Fahrstreifen eine negative Auswirkung auf das Fahrerverhalten in Kurven haben, breite Fahrstreifen dagegen eine negative Auswirkung auf Geraden darstellen.⁹

Bei diesen Werten ist aber zu berücksichtigen, dass sie von OTTE (2000) weder an der Häufigkeit der Straßenklassen im Untersuchungsgebiet noch an der Nutzungsdauer relativiert wurden. Damit ist die Aussage, 50 % der Landstraßenunfälle ereigneten sich auf schmalen Straßen vs. 24 % auf mehrstreifigen Landstraßen, schwer zu interpretieren. Wenn 90 % der Strecken im Untersuchungsgebiet schmale Straßen sind oder wenn 90 % des Verkehrsaufkommens auf solchen Strecken abgewickelt wird, dann wären diese vergleichsweise sicher.

⁸ Die Grundgesamtheit der Arbeit von OTTE (2000) enthält 7.669 Unfälle mit Personenschaden am Unfallort Hannover aus den Jahren 1985 bis 1993, davon 1.575 Unfälle auf Landstraßen (das sind mit einem Anteil von etwa 20 % weniger als im Bundesdurchschnitt von rund 30 %). Für die Auswertung selbst konnten 1.126 Landstraßenunfälle herangezogen werden.

⁹ Bezüglich Unfallkategorie, Unfalltyp und Unfallart in Bezug zur Straßenklassifizierung macht OTTE (2000) keine detaillierteren Aussagen.

¹⁰ Beim Tunneleffekt führt die innerhalb eines Alleenabschnitts entstehende Reizarmut auf Grund der monotonen Sehfeldbegrenzung seitens des Fahrers zu einer Kompensation in eine erhöhte Geschwindigkeit (siehe hierzu auch GIBSON, 1982, und GOLDSTEIN, 2002).

Die auf verschiedenen Straßenklassen ermittelten Unfalltypen unterscheiden sich z. T. in naheliegender Weise. Auf breiten Strecken mit baulicher Trennung der Richtungsfahrbahnen treten Kollisionen mit dem Gegenverkehr nicht (oder nur an Knotenpunkten) auf; Unfälle zwischen Pkw im Längsverkehr sind damit meist Auffahrunfälle. Dagegen kommt es auf einbahnig zweistreifigen Strecken auch zu Kollisionen mit dem Gegenverkehr, mit meist dramatischen Unfallfolgen. Baumunfälle sind auf einbahnigen Strecken relativ häufig; allerdings befinden sich dort auch deutlich häufiger Bäume im unmittelbaren Seitenraum als bei mehrbahnigen Strecken.

Schlussfolgerung hieraus ist, dass eine hohe Geschwindigkeit auf Straßen mit breiten Fahrstreifen sich weniger gefährlich auswirkt als auf Straßen mit schmalen Fahrstreifen. Diese Aussagen von OTTE (2000) stehen somit z. T. im Widerspruch zu den Ergebnissen von BRANNOLTE et al. (1992) und PALM/SCHMIDT (1999), die zeigen, dass eine schmalere Fahrbahn eher in Richtung einer höheren Sicherheit tendiert, was zu der Annahme geführt hat, dass der RQ 10,5 den normalbreiten Landstraßenquerschnitt mit den günstigsten Unfallkenngrößen darstellt (vgl. hierzu auch BRILON/ROHLOFF/WEISER, 1998). Im Umkehrschluss verdeutlicht dies, dass die Querschnittsgestaltung bzw. -breite wohl einen wesentlichen Einfluss auf das Fahrerverhalten hat und somit zwingend in die weiteren Betrachtungen einzubeziehen ist.

Auch BECHER/BAIER (2003) konstatieren einen Einfluss der Fahrbahnbreite auf das Fahrerverhalten. Bei den von ihnen dokumentierten Fahrerverhaltensanalysen auf Landstraßen mit unterschiedlichen Vegetationsstrukturen im Seitenraum (Baumalleen durch freies Feld, Alleen im Wald und Straßen im Wald mit unregelmäßiger Bepflanzung) konnte für Baumalleen mit schmaler Fahrbahn ein Tunneleffekt – also erhöhte Geschwindigkeit – als möglicher Einfluss festgestellt werden.¹⁰ Dieser Tunneleffekt zeigte sich bereits ohne größere räumliche Ausdehnung der Allee. Des Weiteren zeigte sich, dass hierbei schnellere Kraftfahrer tendenziell weiter links im eigenen Fahrstreifen fahren. Die Ergebnisse von BECHER/BAIER (2003) verdeutlichen die Abhängigkeit des Fahrerverhaltens vom Fahrbahnquerschnitt – aber auch von der Seitenraumgestaltung. Es liegt also der Schluss nahe, dass vor allem die visuellen Informationen über den gesamten Straßenraum (letztendlich einschließlich Verkehrszeichen) das Fahrerverhalten beeinflussen.

Ähnliche Ergebnisse zeigen die Untersuchungen von LIPPOLD et al. (2004), bei denen ein Einfluss der Bepflanzung im Seitenraum auf die Spurlage frei fahrender Fahrzeuge nachgewiesen werden konnte, der den Einfluss der Fahrbahnbreite überlagert (siehe Kapitel 4.5).

Es ist somit einerseits notwendig, die relevanten Faktoren der Straßengestaltung (d. h. die einzelnen Informationen, die zu einer bestimmten Wahrnehmung und einem hieraus resultierenden Verhalten führen) präzise zu beschreiben und ihren jeweiligen Einfluss auf das Fahrerverhalten herauszuarbeiten.¹¹ Da Wirkungszusammenhänge, wie u. a. die genannten Untersuchungen von BECHER/BAIER (2003) bestätigen, grundsätzlich nicht auszuschließen sind bzw. definitiv bestehen, ist eine monokausale Betrachtung nicht ausreichend und somit andererseits erforderlich, auch das gesamte Bild der Straße und ihrer Umgebung zu berücksichtigen.

Mit dem Konzeptansatz der „selbsterklärenden Straße“ soll durch die Straßengestaltung das Fahrerverhalten unmittelbar beeinflusst werden (van der HORST/KAPTEIN, 1998). Grundgedanke hierbei ist, dass jeder Straßentyp seine prototypische Repräsentation hat, sodass die einzelne Straße nicht individuell gespeichert werden muss. Im Gegenteil: Die selbsterklärende Straße befähigt den Kraftfahrer, den Typ der Straße, auf der er fährt, zu erkennen, sodass er sein Verhalten anpassen kann (vgl. hierzu auch Kapitel 3). Stimmen die Charakteristika einer Straße mit ihrer Funktion überein, so wird dem Fahrer eine „positive Leitung“ vermittelt.

Bei der Festlegung von entsprechenden Straßentypen ist zu berücksichtigen, dass Fahrer Straßen nicht nur nach der Straßengestaltung kategorisieren, sondern nach dem Gesamteindruck einschließlich der Straßenumgebung und dem Kontext, in dem sie sich befinden. Für eine sichere Straßengestaltung ist es somit wichtig, dass die Art, wie Fahrer Straßen subjektiv kategorisieren, mit deren Funktion und Benutzung zusammen-

passt, da nur durch eine erfolgreiche Kategorisierung der Straße der Fahrer eine zeitgerechte Antizipation für mögliche Ereignisse erhält; eine unzureichende Kategorisierung dagegen löst falsche Erwartungen von Ereignissen aus.

Folgenden Fragen ist deshalb nachzugehen:

1. Wie werden verschiedene Straßen subjektiv kategorisiert und wovon hängt dies ab?
2. Welche Erwartungen bilden sich auf den jeweiligen Straßen aus?
3. Welcher Zusammenhang besteht zwischen Erwartungen und tatsächlichem Verhalten?

Die dargestellten Wirkungszusammenhänge verdeutlichen, dass eine Vielzahl möglicher straßen- und umfeldseitiger Einflüsse auf das Fahrerverhalten besteht. Aus den aufgeführten Überlegungen ergibt sich die Notwendigkeit, auch im Hinblick auf die definierten Entwurfsklassen der neuen Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (vgl. HARTKOPF/WEBER, 2005), sowohl den Einfluss einzelner charakteristischer Elemente, wie Geraden und Kreisbögen bzw. deren jeweiliger Größen (z. B. Kurvenradius, -längen), der Ausstattungsmerkmale (z. B. Markierungen) usw., als auch den Einfluss aus der Überlagerung und dem Zusammenwirken dieser zu analysieren.

Nachfolgend sind die zu untersuchenden Zusammenhänge in Form von Hypothesen zusammengefasst:

1. Die geometrischen Größen von Kurven (Kurvenradius und -längen, Querneigung) und der zugehörigen Übergangsbögen sowie die Kurvenfolgen beeinflussen das Fahrerverhalten.
2. Die Merkmale des Fahrbahnquerschnitts (d. h. Fahrbahnbreite und Fahrstreifenbreite) beeinflussen das Fahrerverhalten, insbesondere das Geschwindigkeits- und das Spur-, aber auch das Überholverhalten.
3. Knotenpunkttypen und -abstände wirken auf das Fahrerverhalten, insbesondere auf die Geschwindigkeitswahl und das Überholverhalten.
4. Ausstattungsmerkmale zur optischen Führung wie z. B. Fahrbahnmarkierungen und Leiteinrichtungen beeinflussen das Fahrerverhalten, insbesondere das Spurverhalten.
5. Die Seitenraumgestaltung und angrenzende Nutzung, insbesondere straßenseitige Bepflan-

¹¹ Auf die Notwendigkeit einer differenzierten Betrachtung des Einflusses einzelner Parameter weist auch HAUGER (1997) hin. Seine Betrachtungen beziehen sich zwar auf Innerortsstraßen und ausschließlich auf das Geschwindigkeitsverhalten, sind aber grundsätzlich auch gültig für Landstraßen. Die von HAUGER (1997) angestellten Überlegungen wurden deshalb bei den nachfolgenden Ausführungen einbezogen bzw. auf die hier behandelten Fragestellungen übertragen.

zung, beeinflussen das Fahrerverhalten stärker als die Querschnittsbreite.

6. Die tatsächlichen und wahrgenommenen Sichtweiten beeinflussen das Fahrerverhalten (Geschwindigkeits- und Überholverhalten) stärker als die geometrischen Größen der Trassierungselemente des Lage- und Höhenplans.
7. Die kognitive Straßencharakterisierung beeinflusst insbesondere die Fahrerverhaltensausprägungen, wie beispielsweise antizipierende Fahrstile.
8. Durch die Schaffung von Übergangsbereichen von der freien Strecke zu Knotenpunkten kann das Fahrerverhalten (insbesondere die Geschwindigkeit) der Situation angepasst werden.
9. Die Ausprägungen des Fahrerverhaltens, z. B. Höhe der Fahrgeschwindigkeit, unterliegen vor allem den Charakteristika der gesamten Straßengestaltung, d. h. dem wahrgenommenen Bild der Straße.

Die Hypothese 9 hat in gewisser Weise eine zusammenfassende Funktion, da sie mit der Analyse des wahrgenommenen Gesamtbildes der Straße alle Einflüsse aus den Hypothesen 1 bis 8 verbindet. Daher kommt es an dieser Stelle möglicherweise zu Überschneidungen von Aussagen aus anderen Hypothesen.

Die aufgestellten Hypothesen dienen als Basis und Strukturvorgabe für die weiteren Literaturanalysen. Hierdurch soll eine im Hinblick auf die Festlegung bzw. Konkretisierung von charakteristischen Straßentypen zielgerichtete Aufbereitung der vorhandenen Erkenntnisse zu den Wechselwirkungen zwischen Straßengestaltung und Fahrerverhalten erfolgen. Zu berücksichtigen und im Weiteren herauszuarbeiten sind dabei mögliche unterschiedliche, also gegensätzliche Effekte auf das Fahrerverhalten, beispielsweise die positive Beeinflussung der Spurhaltung und ein gleichzeitig negativer Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl.

4.1 Hypothese 1: „Geometrische Größen von Kurven und Kurvenfolgen“

„Die geometrischen Größen von Kurven (Kurvenradius und -längen, Querneigung) und der zugehörigen Übergangsbögen sowie die Kurvenfolgen beeinflussen das Fahrerverhalten.“

SOSSOUMIHEN (2001) erläutert anhand der Daten und Strecken aus einer Studie zur Überprüfung der Relationstrassierung von Straßen der Kategorien-Gruppe A von DURTH et al. (1995) sowie weiterer, nicht veröffentlichter Studien der TU Dresden, dass das Fahrerverhalten vor allem im unteren Radienbereich (bis etwa 150 m) durch den Kurvenradius beeinflusst ist. Bild 2 zeigt eine starke Zunahme der gefahrenen Geschwindigkeiten im Radienbereich bis etwa 150 m sowie eine stete Abnahme dieses Einflusses mit zunehmenden Radiengrößen. Deutlich ist ebenfalls die große Streuung der Messwerte zu erkennen, die darauf hinweisen, dass es neben der Radiengröße weitere Einflussgrößen gibt.

Des Weiteren untersuchte SOSSOUMIHEN (2001) den Richtungsänderungswinkel im Verhältnis zum Radius und stellte fest, dass die Werte im unteren Verhältnisbereich (bis etwa 1,5), der kleinen Radien und/oder großen Richtungsänderungswinkel entspricht, relativ breit streuen. Aus Bild 3 wird die Tendenz einer Abnahme der Geschwindigkeit V_{85} mit zunehmender spezifischer Krümmung (γ/R) deutlich.

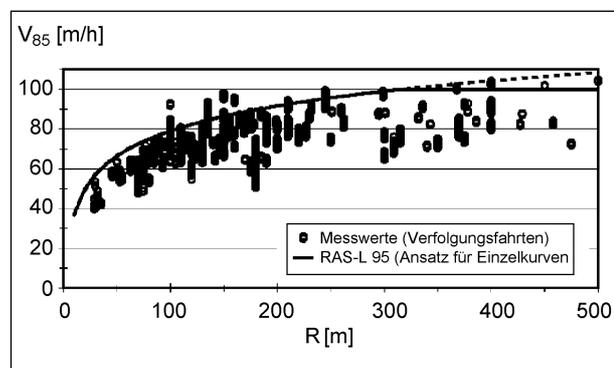


Bild 2: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit V_{85} und Kurvenradius R (SOSSOUMIHEN, 2001)

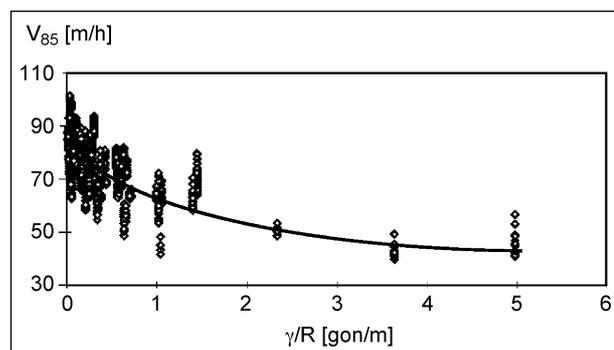


Bild 3: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit V_{85} und spezifischer Richtungsänderung γ/R (nach SOSSOUMIHEN, 2001)

Bei der Untersuchung des Geschwindigkeitsverhaltens vor, in und nach Kurven mit verschiedenen Kreisbogenradien und mit Ermittlung entsprechender Verzögerungs- bzw. Beschleunigungslängen konnte SOSSOUMIHEN (2001) bezogen auf die Kurvigkeit eine engere Korrelation mit der Geschwindigkeit V_{85} als bei der Betrachtung konstanter Berechnungslängen feststellen (Bild 4). Er sieht die Kurvigkeit als eine entscheidende Größe zur Beschreibung der Streckencharakteristik (vgl. auch TRAPP/OELLERS, 1974, und AL-KASSAR/HOFFMANN/ZMECK, 1981) und als maßgebenden bzw. dominierenden Einflussfaktor der Geschwindigkeitswahl. Diese Behauptung stützt SOSSOUMIHEN (2001) auf Untersuchungen zur Relationstrassierung (vgl. auch DURTH et al., 1995), in denen festgestellt werden konnte, dass der Zusammenhang zwischen Sichtweite und Geschwindigkeit bei querschnittsbezogenen Betrachtungen sehr schwach ausgeprägt war und die mittlere Sichtweite über einen Streckenabschnitt sehr gut mit dessen Kurvigkeit korrelierte. Bei den Untersuchungen zur Relationstrassierung wurde ebenfalls festgestellt, dass der Einfluss der Fahrbahnbreite auf das Geschwindigkeitsverhalten nur bei deutlichen Breitenunterschieden auftrat, wobei die Grenze zwischen „schmalen“ und „breiten“ Querschnitten bei 6,00 m lag.

KUPKE (1977) fand ebenfalls andeutungsweise statistische Zusammenhänge zwischen der Geschwindigkeitswahl von Versuchspersonen und den Kurvenradien bzw. Zentriwinkeln der Kurve. In einer Art Pilotstudie erarbeitete er die Validität von Simulatorversuchen anhand eines Vergleiches von Geschwindigkeitsprofilen aus Einsatzfahrten auf realen Teststrecken mit Simulatorfahrten der selben Versuchspersonen. Dabei legte er mit statistischen Tests dar, mit welchen Randbedingungen Si-

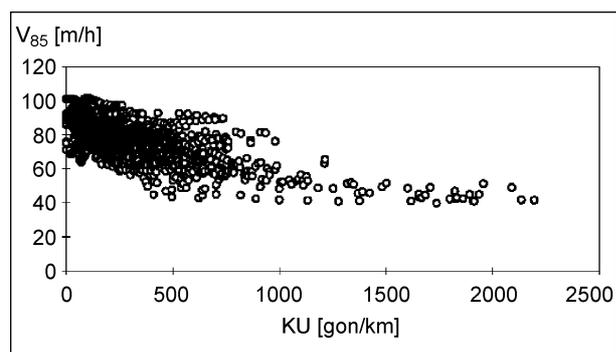


Bild 4: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit V_{85} und Kurvigkeit (SOSSOUMIHEN, 2001)

mulatorfahrten signifikante Ergebnisse liefern, ohne jedoch auf weitere Parameter der Straßengestaltung bzw. das trassenabhängige Fahrerverhalten einzugehen. Die gefundenen Ergebnisse deckten sich nachweislich mit entsprechenden Ergebnissen aus Feldversuchen, wurden jedoch von KUPKE (1977) nicht anhand konkreter Elemente quantifiziert. Eine Befragung der Testpersonen zur Sichtsimitation zeigte des Weiteren den Forschungsbedarf in diesem Feld auf, da sowohl Mängel in Bildqualität, Straßenumfeld, fehlende Vertikalelemente wie Bäume oder Pfosten sowie der unscharfe Hintergrund vom Großteil der Probanden als das Fahrerverhalten beeinflussend dargestellt wurden. Nach heutigem Kenntnisstand gelten Aussagen aus den Simulatorversuchen dieser Zeit als veraltet und nicht mehr repräsentativ.

4.1.1 Wahrnehmung und Antizipation der Kurve

In der psychologischen Literatur finden sich umfangreiche Untersuchungen zur Frage, wie aus dem optischen Fluss auf der Retina die Richtung und Geschwindigkeit der Eigenbewegung abgeleitet werden kann (z. B. WARREN/HANNON, 1988 und 1990, WARREN/MORRIS/KALISH, 1988, WARREN et al., 1991, BEALL/LOOMIS, 1996, BERTHELON et al., 1998). Dabei zeigte sich, dass für die Querregulation des Fahrzeugs und für die Wahrnehmung der Bewegungsrichtung bereits sehr wenig Informationen ausreichen; selbst eine extrem verarmte Darstellung des Raumes durch Zufallspunktwolken erlaubt bereits eine ausreichende Einschätzung der Eigenbewegung. Unter natürlichen Bedingungen sind solche Reize praktisch immer vorhanden, wenn auch bei Nacht oder Nebel von einem reduzierten optischen Fluss ausgegangen werden muss.

Eine detailliertere Betrachtung als die des optischen Flusses liegt mit der Analyse einzelner Blickpunkte vor. Dass die Sicht eine entscheidende Größe für die genaue Einregelung der Kurve sein kann, bestätigen u. a. TSIMHONI/GREEN (1999). Sie zeigten mit einem Okklusionsparadigma, dass die Schwierigkeit einer Kurvendurchfahrt mit der Krümmung ($1/R$) ansteigt, nicht jedoch mit dem Richtungsänderungswinkel. In diesem Paradigma konnte der Fahrer in einer Fahrsimulation eine Ansicht der Szenerie für jeweils 0,5 s anfordern. Bei schwierigeren Kurven, also bei höherer Belastung des Fahrers, forderte dieser häufiger die Sicht an als bei einfacheren Situationen.

UNDERWOOD et al. (1999) replizierten z. T. den Befund von LAND/LEE (1994) zur Bedeutung des Kurventangentenpunkts bei Kurvendurchfahrten. LAND/LEE (1994) hatten in einem Fahrsimulator mit drei Fahrern gezeigt, dass etwa 1 s bis 2 s vor dem Kurveneingang der Kurventangentenpunkt fixiert wird. Diese Blickstrategie erlaubt eine gute Einschätzung der Krümmung der Strecke. Im Experiment von UNDERWOOD et al. (1999) zeigte sich allerdings eine Interaktion mit der Fahrerfahrung. Wurde die Sicht auf den weiteren Streckenverlauf durch Bepflanzung oder Bebauung auf der Kurveninnenseite verdeckt, so änderten insbesondere erfahrene Fahrer ihre Blickstrategie und suchten andere Bereiche der Straße nach potenziellen Hindernissen ab. Insofern ist fraglich, ob ein Verbessern der Erkennbarkeit des Tangentenpunktes z. B. durch Verbreitern der inneren Markierung an der Fahrbahnbegrenzung in Kurven die Leistung aller Fahrer verbessern würde oder ob nur bestimmte Fahrergruppen davon profitieren würden.

JURGENSOHN/NECULAU/WILLUMEIT (1991) fanden in einer Einzelfallstudie im Simulator (mit nur einer Versuchsperson) Unterschiede in der Informationsaufnahme bei Fahrt auf gerader Strecke vs. Kurvendurchfahrt. Auf Geraden fixierte der Fahrer sowohl in die Ferne als auch auf einen Punkt etwa 20 m bis 30 m vor dem Fahrzeug (möglicherweise Spurlagekontrolle wegen fehlender Information in der Gesichtsfeldperipherie). In Kurven scheint die Versuchsperson dagegen einen Punkt am Straßenrand zu fixieren und zu verfolgen und anschließend einen weiter entfernten Punkt anzuspringen. Damit ergab sich für die Distanz des Blickzielpunktes auf Geraden eine Rechteckfunktion, in Kurven jedoch eine Sägezahnfunktion. Das Verfolgen der Punkte am Straßenrand ist ebenfalls ein Hinweis auf die höhere visuelle Belastung bei der Kurvenfahrt. Nahezu alle Augenbewegungsuntersuchungen testen mit sehr wenigen Versuchspersonen, weshalb Aussagen nur sehr beschränkt möglich sind.

GALLEY (1988) zitierte in seiner Arbeit HÖFNER/HOSKOVEC (1973), die das Fahrerverhalten von Anfängern testeten und dabei feststellten, dass ihr Blick mehr auf dem Fahrbahnrand lag, was sie damit erklären, dass Fahreranfänger die zum Lenken (Spurhaltung) benötigte Information von den Fahrbahnrandern zentral aufnehmen, während erfahrene Fahrer dafür das periphere Sehen verwenden. Erfahrene Fahrer haben dadurch freie Kapazitäten für weitere Such- und Überwachungsaktivitäten. OSAKA (1991) untersuchte das Blickverhalten bei

einer Video-Fahrt ebenfalls an Geraden und Kurven, wobei die Szene durch runde Fenster unterschiedlicher Größe gezeigt wurde. Die mittlere Fixationsdauer sank mit zunehmender Fenstergröße (es gab mehr zu sehen), stieg mit höherer Geschwindigkeit und war länger auf Geraden als in Kurven. Die geschätzte Geschwindigkeit hing von der Fenstergröße (je größer, desto höherer Geschwindigkeitseindruck), wahrer Geschwindigkeit (20 km/h vs. 40 km/h) und Straßenart ab. Sie wurde in Kurven deutlich höher geschätzt als auf Geraden. Die Reaktionszeit auf einen exzentrischen Zielreiz hing ab von der Exzentrizität sowie der Straßenart. Dabei stellte sich heraus, dass die Reaktionszeit in Kurven auf einem höheren Niveau lag. Die Fahrer nutzen also zusätzliche Informationen, wenn sie verfügbar sind und passen ihr Blickverhalten an die Anforderungen der Verkehrssituation an (siehe auch die Ergebnisse von SHINAR/MCDOWELL/ROCKWELL, 1977).

SHINAR/McDOWELL/ROCKWELL (1977) analysierten das Blickverhalten von fünf Versuchspersonen bei einer Kurvendurchfahrt. Die Fahrer fixierten im Wesentlichen den Streckenverlauf, was auf gerader Strecke zu einer Konzentration der Blickorte am Expansionspunkt führte, während bei Kurven bereits 2 s bis 3 s vor Kurveneingang der Kurvenrand fixiert wurde. Dabei zeigte sich eine Asymmetrie der Fixationsorte für die Kurvenrichtung. In Rechtskurven fixierten die Fahrer mehr den Straßenrand als bei Linkskurven. Diese Befunde wurden in anderen Untersuchungen (siehe auch Übersicht bei LEUTZBACH/PAPAVASILIOU, 1988) bestätigt. Außerdem fanden SHINAR/McDOWELL/ROCKWELL (1977), dass in unfallträchtigen Kurven die Fixationen deutlich länger dauerten (480 ms) als in unfallunauffälligen Kurven (390 ms). Sie interpretierten dies als Hinweis auf die höhere Belastung und die intensivere visuelle Suche in diesen Kurven.

Ähnliche Befunde zum Blickverhalten bei Kurvendurchfahrten berichtete DILLING (1973). Für drei von zehn Versuchspersonen konnten aus Blickfilmen mit einem kopfbasierten Blickverfolgungssystem die angeblickten Objekte ermittelt werden; dabei zeigte sich eine Orientierung der Fahrer auf den Fernbereich (hier willkürlich definiert als > 90 m Entfernung) im Wesentlichen auf die Fahrbahnrandern. Auf Grund von Fehlkalibrierungen der Messeinrichtung sind bei den restlichen Versuchspersonen keine Aussagen zu angeblickten Objekten möglich; die Behelfsanalysen zu ortsunabhängigen

Fixationsdauern und Blickpfadlängen sind auch auf Grund der geringen Bestimmtheitsmaße von begrenztem Nutzen.

Eine neuere Untersuchung der TU Darmstadt im Fahrsimulator zeigt, dass der Einsatz von Kurvenlichtsystemen, d. h. einer Auslenkung des Abblendlichtkegels in Abhängigkeit von der Streckenkrümmung, den Fixationspunkt bei nächtlicher Kurvendurchfahrt an eine Position versetzt (etwa 36 m voraus), der praktisch dem Fixationsverhalten bei Tageslichtbedingungen entspricht (etwa 38 m voraus). Dagegen liegt der Schwerpunkt der Fixationen bei normalem Halogenfahrlicht etwa 24 m vor dem Fahrzeug (VDA, 2005).

OTTEN/SCHROIFF (1988) erarbeiteten einen Untersuchungsansatz, in dem sie das Blickverhalten und die Geschwindigkeitswahl den quantitativ erfassten Straßenraummerkmalen gegenüberstellten. In einer rechnerischen Auswertung sollten Abhängigkeiten zwischen der Geschwindigkeit, dem Straßenraum und dem Blickverhalten aufgezeigt werden, welche wegen starker Streuung der erfassten Einzelwerte und einer relativ geringen Stichprobe lediglich qualitative Aussagen zu den Reaktionen der Fahrer zwischen den Untersuchungsbereichen zulassen. In einer qualitativen Auswertung des Datenmaterials fanden sie eine Asymmetrie der Blickorte in Abhängigkeit von der Kurvenrichtung. Dabei deuten sich diese Asymmetrien bereits etwa 3 s bis 5 s vor Erreichen der Kurve oder des Knotenpunktes an (so genanntes antizipatorisches Explorieren). Quantitative Zusammenhänge werden jedoch nach Aussagen von OTTEN/SCHROIFF (1988) kaum erkennbar. Somit diente die Arbeit letztendlich zur Feststellung der grundsätzlichen Eignung der Verfahren zur Analyse von Prozessen zwischen den Bestimmungskreisen des Fahrerhaltens und Straßenraum, Blickverhalten und Geschwindigkeitswahl.

Verschiedentlich wurde das subjektive Empfinden von Kurven bzw. Kurvendurchfahrten bei unterschiedlicher Kurvengeometrie untersucht. So zeigte ZAKOWSKA (1995) Videos von Kurvendurchfahrten und erhob den subjektiven Sicherheitseindruck auf einer Ratingskala. Dabei wurden die Radien (150 m bis 700 m), die Richtungsänderungswinkel (9° bis 72°), die Kurvenrichtung, die Gestaltung des Straßenseitenraums (mit/ohne Schallschutzwand) und die Expertise der Beobachter (Straßenbauingenieure, Berufskraftfahrer, erfahrene Fahrer, unerfahrene Fahrer) variiert. Eine Varianz-

analyse der Ratings zeigte im Wesentlichen einen Einfluss der Streckengeometrie (Winkel \times Radius) und tendenziell der Fahrerfahrung. Allerdings wird nicht genauer auf das unvollständige Design eingegangen (offensichtlich wurden von 16 Kombinationen nur zehn realisiert). Außerdem ist prinzipiell fraglich, welche Bedeutung dem subjektiven Sicherheitsurteil für das Fahrerverhalten beigemessen werden sollte (vgl. die Diskussionen zur Risikohomöostasetheorie von WILDE, 1988).

RIEMERSMA (1991) ließ seine Versuchspersonen Durchfahrtsansichten von Kurven unterschiedlicher Radien und Richtungsänderungswinkel auf neun Ratingskalen einschätzen und unterzog diese Ratings einer Hauptkomponentenanalyse (PCA)¹² und einer Analyse von Ähnlichkeitsmatrizen (INDSCAL)¹³, um die subjektive Wahrnehmung von Charakteristika der Kurve zu untersuchen. Da leider nicht angegeben ist, auf welchen Skalen eingeschätzt wurde, ist eine Bewertung der Befunde nicht möglich. Ein offensichtliches Problem ist generell die Verwendung von Ratingskalen anstelle von Fahrerverhaltensdaten als abhängige Variable (vgl. auch ZAKOWSKA, 1995).

FILDES/TRIGGS (1986) untersuchten die Wahrnehmung der Krümmung (vgl. Glossar) in Abhängigkeit von Kurvenradius und Kurvenwinkel (und damit -länge). Die Versuchspersonen sollten bei Perspektivbildern im Paarvergleich mit einem Standardreiz mit dem Magnitude-Estimation-Verfahren die Krümmung einschätzen: „More curved scenes were to be judged greater than 50.“ Interessanterweise hatte nur der Richtungsänderungswinkel einen Einfluss auf die Urteile, nicht aber der Kurvenradius. Eine einfache Erklärung für den Befund ist, dass die Versuchspersonen unter dem Begriff der Krümmung ohne nähere Erläuterungen etwas anderes verstanden als die Inverse des Radius: „These results confirm that the way people perceive bends in the road is not the same as geometric curvature.“ Möglicherweise können auch fahrdynamisch relevante Trassierungsgrößen aus Fahrerperspektive nur schwer wahrgenommen werden (vgl. z. B. BOER et al., 2000).

¹² PCA: Statistisches Verfahren zur Ermittlung der Dimensionalität eines Repräsentationsraumes für multivariate Daten; vgl. Glossar.

¹³ INDSCAL: Verfahren zur Analyse von Ähnlichkeitsmatrizen, das zu Grunde liegende Bewertungsdimensionen der Beobachter identifiziert (ähnlich der Faktorenanalyse oder PCA); vgl. Glossar.

Auch DILLING (1973) führte ein Experiment zur kategorialen Wahrnehmung durch. Dazu bot er Perspektivzeichnungen von Kurven mit den Radien 50 m, 100 m, 200 m, 250 m, 300 m, 400 m und 500 m einer Gruppe von 18 Versuchspersonen als Dias dar und zählte aus, wie häufig ein bestimmter Radius als „scharf“ bzw. „flach“ bezeichnet wurde. Dabei wurde anscheinend keine Definition der Begriffe (im Sinne von Ankerreizen)¹⁴ vorgegeben. Erwartungsgemäß variierte die Klassifikationshäufigkeit monoton mit der Größe der dargebotenen Radien. Hinzufügen einer gezeichneten Landschaft machte die Verteilungen steiler, d. h., erleichterte die Zuordnung. Unklar bleibt allerdings, ob und wie sich die Klassifikation einer Kurve aus einem statischen Perspektivbild als „scharf“ oder „flach“ auf das Fahrerverhalten auswirken soll.

Des Weiteren ist die Dissertation von BIEDERMANN (1984) einschlägig, in der der Anteil der sichtbaren Straßenfläche in einer Entfernung $3s$ „voraus“ als (einziger) Prädiktor für die Geschwindigkeitswahl verwendet wurde.¹⁵ Ein Vergleich empirischer und theoretischer Geschwindigkeitsprofile für eine Messstrecke zeigte, dass zu abrupte Geschwindigkeitswechsel vorhergesagt würden. Außerdem ergab sich ein geringfügig engerer Zusammenhang, wenn statt des Anteils der Fahrbahnfläche in einem Kreis konstanter Größe, dessen Mittelpunkt auf einen Punkt der Straßenfläche in 70 m Entfernung fixiert war, die Größe eines Kreises um diesen Fixationspunkt bei konstanter Fahrbahnfläche verwendet wurde. Engere Kurven führen zu kleineren Anteilen sichtbarer Fahrbahnfläche, daher muss in diesen Fällen der Kreis (von BIEDERMANN (1984) als Sehwinkel bezeichnet) vergrößert werden. In der Literatur zu Blickverhalten, die in der Arbeit z. T. auch genannt wird, wird dieser Bereich der Informationsaufnahme als so genanntes „useful field of view“ bezeichnet (z. B. ROGÉ et al., 2002).

Um die Abweichung zwischen theoretisch vorhergesagten und empirisch beobachteten V_{85} -Geschwindigkeitsprofilen zu reduzieren, schlägt BIEDERMANN (1984) vor, nicht nur die aktuell sichtba-

re Fahrbahnfläche/Sehwinkel, sondern den Mittelwert der fünf letzten Fahrbahnflächen (gemessen alle 20 m auf einer 80 m langen Strecke; Anzahl ist pragmatisch bestimmt) als unabhängige Variable der Einfachregression zu verwenden. Dadurch erhöhte sich die Vorhersagegüte für die V_{85} auf $R = 0,91$. In einem weiteren Schritt versuchte BIEDERMANN (1984), die mittleren Fahrbahnflächenwerte aus den mittleren Radien der Strecke vorherzusagen, um die aufwändige Ermittlung der sichtbaren Fahrbahnfläche aus Perspektivbildern vermeiden zu können. Da sich die über die letzten 80 m gemittelte sichtbare Fahrbahnfläche in 70 m Entfernung mit einem Bestimmtheitsmaß von $R = 0,87$ aus dem mittleren Radius (berechnet über die letzten 60 m und die kommenden 30 m) vorhersagen lässt, kann er ein Modell der V_{85} ableiten, das keinen Bezug zu vorhandener visueller Information mehr enthält. Eine Kreuzvalidierung des Ansatzes mit Daten von drei weiteren Messstrecken ergab bei individueller Anpassung der Einzugsbereiche der Mittelung (ohne weitere theoretische Motivierung) ein nichtlineares Modell, das als unabhängige Variablen die Fahrbahnbreite und den mittleren Radius enthält (Bestimmtheitsmaß $R = 0,87$), also auf die ursprünglich abgeleitete Variable „sichtbare Fahrbahnfläche“ zu Gunsten leicht zugänglicher Planungsparameter verzichtet.

4.1.2 Regelgröße für die Kurvendurchfahrt

Durch die geometrischen Größen von Kurven wirken auf den Fahrer Kräfte in unterschiedlichen Dimensionen, die je nach Fahrerverhalten in ihrer Intensität differieren. Diese fahrdynamischen Kräfte, die unmittelbar zwischen Fahrzeug und Fahrbahn auftreten, bestimmen die kontrollierte Fahrzeugbewegung und hängen zusätzlich von straßenbautechnischen Eigenschaften der Oberflächenstruktur, klimatischen, fahrzeugtechnischen und reifen-technischen Größen ab, d. h. von der Griffbarkeit. Dementsprechend existieren verschiedene Kombinationen von Kurvenradius, -länge, Querneigung und Kraftschlussbeiwert für maximal mögliche Fahrgeschwindigkeiten.

Mit der zunächst frei zu wählenden Fahrgeschwindigkeit erhält der Fahrer die Möglichkeit, die auf ihn wirkenden Kräfte nach eigenem Wunsch zu regulieren. Dabei beeinflussen nicht nur die geometrischen Größen seine Wunschgeschwindigkeit, sondern u. a. wie er verschiedene Straßen subjektiv kategorisiert und welche Erwartungen er auf den jeweiligen Straßen ausbildet. Nach KLEIN-

¹⁴ Unter Ankerreiz wird hier das Beispielbild für „scharf“ und „flach“ verstanden. Dabei handelt es sich um ein übliches Verfahren bei Rating-Urteilen. DILLING (1973) geht anscheinend davon aus, dass jeder Mensch unter „scharfe“ Kurve dasselbe versteht.

¹⁵ Die Korrelation lag etwa bei 0,6.

SCHMIDT (2000) erwarten Fahrer heutzutage eine durchgehend gut ausgebaute Straße und keine abrupten geometrischen Wechsel. Entsprechen die Erwartungen der vorhandenen Streckencharakteristik, kann die Fahrgeschwindigkeit den geometrischen Größen der Straße korrekt angepasst werden. Unstetigkeiten sieht KLEINSCHMIDT (2000) dafür als zunehmend seltener an, jedoch kritischer und gefährlicher, da sie nicht der Erwartungshaltung der Fahrer entsprechen. Widersprechen die Erwartungen der vorhandenen Streckencharakteristik, besteht die Möglichkeit, dass der Fahrer die geometrischen Größen nicht richtig erkennt und durch seine falsche Erwartung bzw. die nicht eindeutig kommunizierte Streckencharakteristik die maximal mögliche Fahrgeschwindigkeit überschreitet. Diesen Effekt beschreiben TRAPP/OELLERS (1974) anhand längerer Zwischengeraden, die mit zunehmender Länge den Eindruck erwecken, dass die Fahrbedingungen günstiger werden und zum Beschleunigen anregen. Da jedoch vor der nächsten Kurve wieder abgebremst werden muss, führt dieser Fahrvorgang bei kurzer Kurvenfolge aus ihrer Sicht zu Fahrunsicherheiten.

Auch OTTEN/SCHROIFF (1988) befassten sich in einer umfassenden Literaturanalyse, die sowohl den ingenieurwissenschaftlichen als auch den psychologischen Kenntnisstand zum Thema „Streckencharakteristik und Geschwindigkeitswahl“ repräsentierte, vor allem mit der Thematik der Geschwindigkeitswahl in Kurven. Dabei stellten sie als wichtigste Ergebnisse heraus, dass die höchsten Werte der Verzögerungen bei manchen engen und unübersichtlichen Kurven nicht vor, sondern in den Kurvenbereichen zu finden sind und die Fahrer vor allem bei Nässe wesentlich höhere Seitenreibungswerte als in den Richtlinien angenommen akzeptieren. Dabei unterschieden sich bei engen Radien die akzeptierten Maxima der Seitenreibungsbeiwerte von Kurve zu Kurve kaum. Die maximale Seitenbeschleunigung deklarieren sie als eine wahrscheinlich maßgebliche Eingangsgröße der Geschwindigkeitswahl; quantitative Ergebnisse präsentieren sie jedoch nicht.

Da Außerortsstraßen, insbesondere Landstraßen, historisch gewachsen sind und häufig der Entwicklung der Kraftfahrzeugtechnik nicht im angemessenen Rahmen angepasst wurden, haben sie teilweise generell inhomogene Entwurfsmerkmale über die gesamte Länge und teilweise Probleme mit der Größe einzelner Entwurfsmerkmale. Dies zeigt sich z. B. in der Studie von TRAPP/OELLERS (1974),

die zehn Messstrecken mit Radiengrößen zwischen 20 m und 8.000 m sowohl mit als auch ohne Relationstrassierung untersuchten.

Die Ergebnisse der Studie von KLEINSCHMIDT (2000) zeigten, dass für die Fahrer die Möglichkeit besteht, die freie Fahrgeschwindigkeit auf einem konstanten Niveau zu halten, wenn eine stetige Streckencharakteristik nach dem Prinzip der Relationstrassierung (mit Radien im Bereich von 350 m bis 650 m) vorliegt. Bei einer unstetigen Streckencharakteristik dagegen, mit Radien, die im Bereich zwischen 30 m und 180 m liegen und ohne Relationstrassierung entworfen sind, erzwingen die geometrischen Größen eine ständige Nachregelung der Geschwindigkeit. TRAPP/OELLERS (1974) beschrieben diesen Zusammenhang ebenfalls anhand des Fahrerverhaltens infolge der Streckencharakteristik und somit über das Geschwindigkeitslängsprofil einer Strecke. Dabei ermittelten sie die Ungleichförmigkeit der streckencharakteristischen Geschwindigkeit zur Beschreibung der Streckencharakteristik.¹⁶ Das Ergebnis des Messprogramms mit zehn Messstrecken führte zu der Aussage, dass mit zunehmender Kurvigkeit ein einheitlicheres Geschwindigkeitsverhalten erzwungen wird und dass die Ungleichförmigkeit der streckencharakteristischen Geschwindigkeit mit zunehmender Kurvigkeit abnimmt. Des Weiteren zeigten die Messdaten, dass Zwischengeraden stets beschleunigend wirken und Radiengrößen im zu vermeidenden Bereich nach den Regeln der Relationstrassierung zur Erhöhung der Ungleichförmigkeit beitragen. Dabei bewirkt das Ausschöpfen der maximalen Kurvigkeit (Trassierung mit R_{\min} nach RAL-L-1, 1973) bei einer Entwurfsgeschwindigkeit von 80 km/h (100 km/h) einen Geschwindigkeitsverlust von 12 km/h (8 km/h) bei 1 km Kurvenlänge im Vergleich zur Geraden. In den Ergebnissen von TRAPP/OELLERS (1974) und KLEINSCHMIDT (2000) scheinen vor allem die Häufigkeit der Krümmungswechsel, die Differenz zwischen den Krümmungen sowie die Größe der einzelnen Krümmungen maßgebend für das Geschwindigkeitsprofil zu sein. Eine Vorhersage der Reisegeschwindigkeiten aus den Messfahrten und aus Erhebungen der Geschwindigkeit V_{85} ortskundiger Fahrer auf Basis aller möglichen Kombinationen von Streckenmerk-

¹⁶ Die Ungleichförmigkeit gibt die Summe der absoluten Geschwindigkeitsänderungen an, die auf 1 km Streckenlänge auftreten.

malen gelingt nur begrenzt; das Bestimmtheitsmaß für eine Regressionsgleichung mit 50 unabhängigen Variablen liegt bei $R = 0,66$. Eine mögliche Erklärung ist die relativ geringe Konsistenz des Geschwindigkeitsverhaltens der Testfahrer (lokale Differenzen von etwa 8 km/h sind nicht selten). Dadurch wird die Vorhersagegüte aus lokalen Streckenmerkmalen natürlich begrenzt.

AL-KASSAR/HOFFMANN/ZMECK (1981) versuchten, die real erzielbare Reisegeschwindigkeit auf einer Strecke auf Basis von Streckenmerkmalen vorherzusagen. Dabei war mit der mittleren Reisegeschwindigkeit die Geschwindigkeit eines idealisierten Fahrzeugs gemeint, das an jedem Querschnitt der Strecke die mittlere Momentangeschwindigkeit fährt; sie ergab sich also aus einer Mittelung der Mittelwerte der Messquerschnitte. Zunächst nutzten AL-KASSAR/HOFFMANN/ZMECK (1981) existierende Geschwindigkeitsmodelle, um die Reisegeschwindigkeit auf fünf Strecken (ohne Geschwindigkeitsbeschränkung oder Ortsdurchfahrten) vorherzusagen. Die Vorhersagen der Modelle unterschieden sich sowohl untereinander als auch von den real gefahrenen Geschwindigkeiten deutlich. Daher wurden im zweiten Teil der Untersuchung zahlreiche Regressionsansätze überprüft, die die Krümmung, Längsneigung, Sichtweiten, Querschnittsmerkmale z. T. nichtlinear kombinierten; außerdem wurde die Streckencharakteristik durch Mittelung der Parameter über unterschiedlich große Streckenstücke vor bzw. nach dem Messquerschnitt berücksichtigt. Damit sollten in einfacher Form Gedächtniseffekte und Voraussichtseffekte integriert werden. Die besten Regressionsansätze enthielten nichtlineare Beziehungen, berücksichtigten die über 900 m ungewichtet gemittelten Parameter, d. h. den Mittelwert der Krümmung, Längsneigung usw. über die letzten 500 m vor und die 400 m nach dem zu modellierenden Messquerschnitt, und ignorierten Sichtweiten. Damit ergaben sich relativ hohe Bestimmtheitsmaße; an einzelnen Querschnitten konnten berechnete und empirisch gefundene Momentangeschwindigkeiten jedoch erheblich abweichen. Die empirischen Reisegeschwindigkeiten über die Strecke ließen sich dagegen relativ gut (auf etwa 5 km/h genau) vorhersagen. Das Modell ist allerdings auf Grund der nichtlinearen Verknüpfungen relativ empfindlich gegen Überschreitungen des Wertebereichs der Parameter. Bei einer Kreuzvalidierung (Schätzung des Modells aus den Daten von drei Strecken, Vorhersage der Geschwindigkeit

auf einer vierten Strecke) zeigt sich, dass geringfügige Überschreitungen der Längsneigung zu erheblichen Abweichungen der berechneten mittleren Momentangeschwindigkeiten führen. Auch können lokale Geschwindigkeiten in S-Kurven durch die Mittelung der Parameter über fast 1 km Streckenlänge prinzipbedingt nicht korrekt vorhergesagt werden. Generell wäre zu diskutieren, ob derart empfindliche Modelle in der Praxis anwendbar sind.

BUCK (1992) untersuchte u. a. den Einfluss von Krümmungen bzw. der Kurvigkeit auf das Geschwindigkeitsverhalten basierend auf Verfolgungsfahrten frei fahrender Fahrzeuge mit Hilfe eines radarbestückten Messfahrzeugs. Die Ergebnisse zeigten, dass Strecken mit hoher Kurvigkeit homogenere Geschwindigkeitsverläufe aufwiesen als Strecken mit geringer Kurvigkeit. Dabei besaßen Radien größer als 500 m und mehr keinen Einfluss auf das lokale Geschwindigkeitsverhalten, bei Radien unterhalb von 500 m nahmen dagegen die Geschwindigkeiten mit zunehmender Krümmung ab. Auch DURTH/BIEDERMANN/VIETH (1983) kamen anhand von Verfolgungsfahrten frei fahrender Pkw auf vier Landstraßenzügen zu dem Ergebnis, dass bei großzügiger Linienführung ($R \geq 500$ m) der Fahrer seine Wunschgeschwindigkeit unbehindert von der geometrischen Bedingung der Linienführung frei wählen kann. Im Radienbereich zwischen $R = 250$ m und $R = 500$ m stellten sie eine Änderung der Geschwindigkeit nur in geringem Maße fest, was im Beschleunigungsverhalten zum Ausdruck kommt; bei Radien kleiner als $R = 250$ m kann der Fahrer dagegen seine Wunschgeschwindigkeit nicht aufrechterhalten, weshalb häufige Beschleunigungsvorgänge in diesem Fall auftraten.

Ähnlich wie in den Untersuchungen von AL-KASSAR/HOFFMANN/ZMECK (1981) erwies es sich bei BUCK (1992) als günstig, die Krümmungswerte nicht nur lokal zu betrachten, sondern Krümmungen bis 400 m vor dem Messquerschnitt in die Berechnung einfließen zu lassen. Eine detailliertere Beschreibung der Untersuchung findet sich in Kapitel 4.9.

GODTHELP (1986) zeigte, dass Fahrer in der Lage sind, die Krümmung einer Kurve relativ gut zu antizipieren. Er ließ sechs Fahrer in einem speziellen Messfahrzeug Kurven mit einem Radius von 260 m, 200 m bzw. 100 m befahren, wobei in der Hälfte der Fälle den Fahrern bei der Kurveneinfahrt

die Sicht genommen wurde (so genanntes Okklusionsparadigma). Es zeigte sich nur ein geringer Effekt der Okklusion auf das Fahrerverhalten (Lenkradbewegungen) und die resultierende Zeit bis zum Verlassen des Fahrstreifens (Time to Line Crossing, kurz TLC); die Fahrer waren also in der Lage, vor der Kurve den korrekten Lenkradeinschlag zu wählen, ohne kontinuierliche visuelle Rückmeldung zu haben. Welche Informationen aus dem Fahrraum dafür benutzt wurden, wurde allerdings nicht untersucht (vgl. dazu die Untersuchungen von LAND/LEE, 1994, LAND/HORWOOD, 1995, oder UNDERWOOD et al., 1999, sowie auch Kapitel 4.4).

WINSUM/GODTHELP (1996) berichteten über Kompensationsstrategien von Fahrern beim Durchfahren von Kurven mit unterschiedlichen Radien im Simulator. Dabei zeigte sich zwar eine Abhängigkeit der Geschwindigkeit, des Lenkfehlers und trivialerweise des notwendigen Lenkwinkels vom Kurvenradius, jedoch keine Abhängigkeit der minimalen TLC vom Radius; dieser Wert, der als Sicherheitsabstand zur Markierung der Fahrbahnbegrenzung interpretiert werden kann, wurde also von den Fahrern durch Reduktion der Geschwindigkeit konstant gehalten. Betrachtet man die Genauigkeit der Lenkregelung (gemessen über das Integral der Lenkwinkel), so zeigte sich, dass Personen, die auf gerader Strecke sehr präzise lenkten, auch in Kurven geringere Lenkfehler machten, dass aber diese Genauigkeit durch höher gefahrene Geschwindigkeiten kompensiert wurde. Damit fuhren sowohl präzise Lenker als auch ungenaue Fahrer mit denselben Sicherheitsabständen zum Rand des Fahrstreifens (TLC) durch die Kurven.

4.1.3 Wie gut kann die Kurvenfahrt eingeregelt werden?

COMTE (1998) untersuchte vier verschiedene Systeme, die zu einer Geschwindigkeitsreduktion vor Kurven führen sollen, im Fahr Simulator mit Kurvenradien von 100 m und 200 m. Zum Einsatz kamen Quermarkierungen auf der Fahrbahn, ein Wechsel-

verkehrszeichen mit Tempolimit und Hinweis auf Verkehrsüberwachung (so genanntes „Variable Message Sign“), ein Display im Fahrzeug, das eine geeignete Geschwindigkeit anzeigte, und ein automatisches System, das vor der Kurve die Fahrgeschwindigkeit ohne Fahrereingriff drosselte. Alle Systeme führten im Vergleich zu einer Kontrollbedingung zu besseren Kurvenfahrten, d. h. niedrigeren Einfahrtsgeschwindigkeiten (Reduktion um etwa 5-13 km/h je nach System bei 100 m Radius, etwa 0-4 km/h bei 200 m Radius), einer Geschwindigkeitsreduktion vor anstatt in der Kurve, geringeren Durchfahrtsgeschwindigkeiten und weniger abrupten Manövern (hier operationalisiert über den maximalen Bremsdruck). Dabei ähnelten sich alle hinweisenden Systeme im angenommenen Geschwindigkeitsprofil, während das automatisch bremsende System einen deutlich anderen Geschwindigkeitsverlauf vor der Kurve zeigte (vgl. Bild 5 und Bild 6). Die sichersten Kurvenfahrten wurden mit dem automatischen System realisiert (gemessen an Durchfahrtsgeschwindigkeit oder minimaler TLC), der automatische Eingriff in die

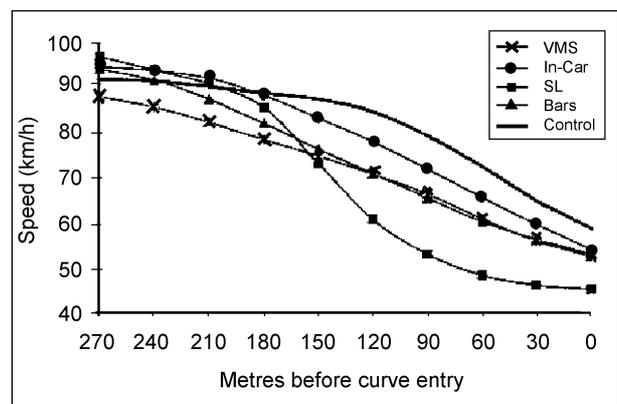


Bild 5: Geschwindigkeitsprofile bei der Anfahrt auf Kurven mit 100 m Radius¹⁷ (COMTE, 1998)

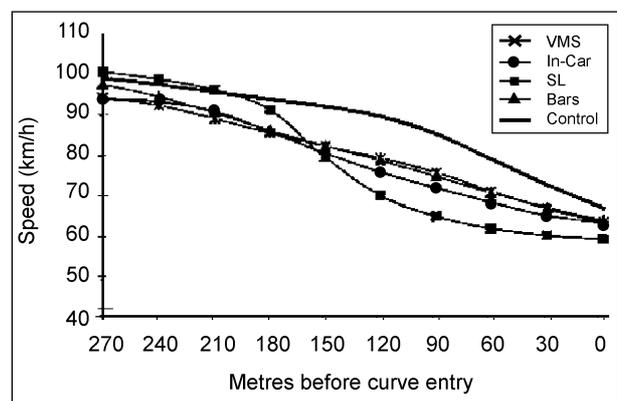


Bild 6: Geschwindigkeitsprofile bei der Anfahrt auf 200 m Radius im Simulator (COMTE, 1998)

¹⁷ Die empfohlene Durchfahrtsgeschwindigkeit wurde entweder über Wechselverkehrszeichen mit Hinweis auf Radarüberwachung (VMS), ein Fahrerinformationssystem im Fahrzeug (In-Car) oder Quermarkierungen auf der Fahrbahn signalisiert (Bars) oder durch ein automatisches System zwangsgeführt (Speed limiter, kurz SL). In der Kontrollgruppe wurden keine Geschwindigkeitshinweise gegeben.

Geschwindigkeitsregelung wurde aber wie zu erwarten von den Fahrern am wenigsten akzeptiert.

FIOLIC (1971) berichtete, dass auf richtlinienkonform trassierten Landstraßen die Unfallhäufigkeit invers mit dem Kurvenradius variierte, d. h., dass bei größeren Radien mehr Unfälle geschehen, möglicherweise durch Überholvorgänge. Er folgert, dass die Beeinflussung des Unfallgeschehens durch den Ingenieur ausgereizt sei und andere Faktoren als Kurvigkeit o. Ä. als Einflussgrößen betrachtet werden müssen, wenn man die Unfallzahlen weiter reduzieren möchte. Dabei geht er aber implizit von relationstrassierten Strecken aus, die in weiten Teilen des Straßennetzes zu diesem Zeitpunkt noch nicht realisiert waren. Außerdem unterscheidet er nicht nach der Art der Unfälle, die mit Sicherheit auf geraden Streckenstücken anders ausfällt als in Kurven. Ob sich die Daten auf das heute existierende Fahrzeugkollektiv übertragen lassen, ist ebenfalls fraglich.

Einen interessanten Befund zum Einfluss von geometrischen Größen von Kurven auf die Unfallrate berichteten SHINAR/McDOWELL/ROCKWELL (1977; zitiert in SHINAR/ROCKWELL/MALECKI, 1980): Für über 1.600 Kurven habe sich keinerlei Beziehung zwischen der Unfallrate und Radius, Länge und Richtungsänderungswinkel ergeben. Ebenso fanden ELVIK/VAA (2004) in einer Metaanalyse von Studien zur „Entschärfung“ von Singularitäten keinen positiven Effekt einer Verbreiterung der Fahrbahn, der Änderung des Kurvenprofils oder des Anbaus von Übergangsbögen auf die Unfallzahlen.

SPACEK (1999) untersuchte das Spurverhalten bei der Kurvendurchfahrt an sieben Kurven mit unterschiedlichen Geometrien (Radien zwischen 65 m und 220 m, Winkel der Richtungsänderung zwischen 48 gon bis 146 gon) und Sichtverhältnissen und fand verschiedene Muster von Spurverläufen. Auf der Basis der Fahrzeugposition im Fahrstreifen an unterschiedlichen Querschnitten der Kurve definierte er die Spurtypen Schneiden, Ausholen, Hinaustragen, Korrigieren, Normal- und Idealverhalten.

Als ein Ergebnis stellte er heraus, dass die Häufigkeit dieser einzelnen Spurtypen von Kurve zu Kurve unterschiedlich war. Dabei betrug der Anteil der „unerwünschten“ Spurtypen (Schneiden, Ausholen, Hinaustragen und Korrigieren) in den untersuchten Kurven durchschnittlich 37 %, mit einem stets sehr hohen Anteil des Spurtyps Schneiden. Diese Aussage relativiert sich, wenn das Spurverhalten weiter unterteilt wird in „bewusstes“ und „unbewusstes“ Ausführen eines Fehlverhaltens wie

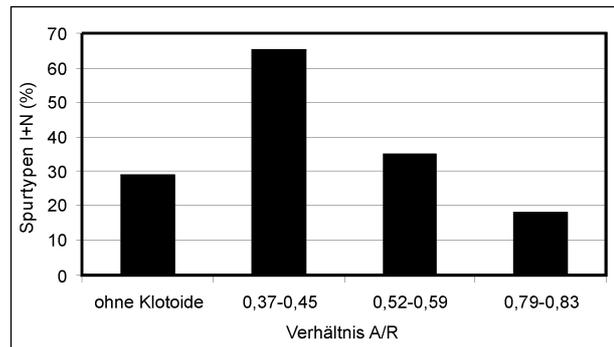


Bild 8: Anteile der Spurtypen Ideal- und Normalverhalten nach dem Verhältnis A/R (SPACEK, 1999)

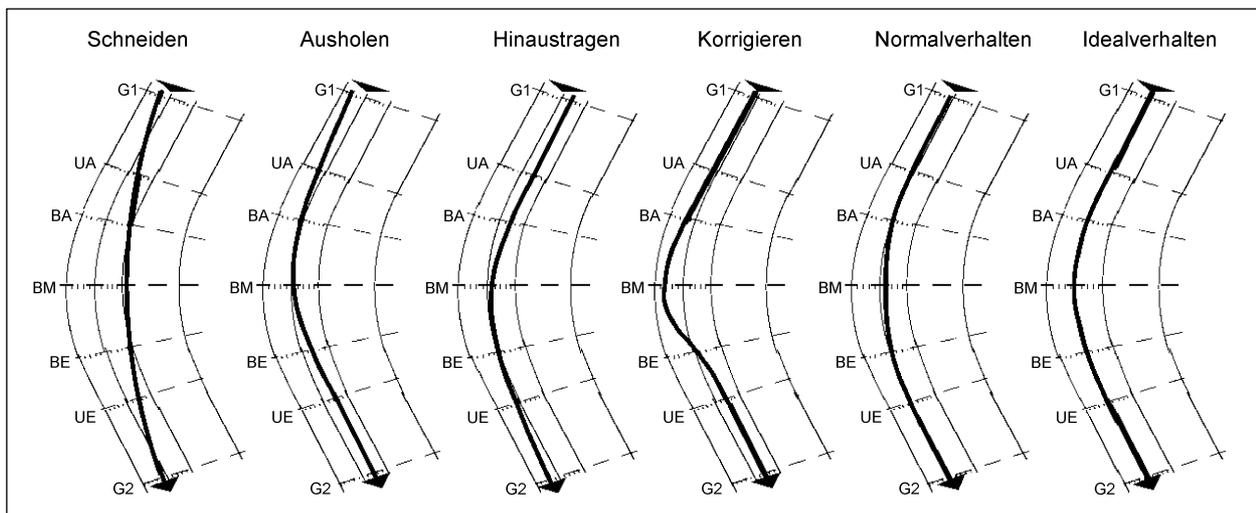


Bild 7: Idealisierte Spurtypen in der Kurve (SPACEK, 1999)

dem so genannten Kurvenschneiden. Als typisch unbewussten Spurtyp, der auf Wahrnehmungsunsicherheiten hindeutet, sieht SPACEK (1999) den Spurverlauf „Korrigieren“, bei dem ein Fahrzeuglenker die Kurvenkrümmung unterschätzt und im weiteren Verlauf zwangsläufig eine mehr oder weniger abrupte Änderung des Lenkradeinschlags vornehmen muss. Dazu beschrieb SPACEK (1999), dass dies einen Anstieg der Querbeschleunigung bewirkt, der in Kurven mit mittleren und kleinen Radien ($R < \text{etwa } 120 \text{ m}$) mehr als zweimal größer ist als bei einem normgemäßen Fahrerverhalten. Des Weiteren stellte er fest, dass die Fahrzeuglenker in Kurvenbereichen grundsätzlich links versetzt im Fahrstreifen fahren (unabhängig von der Straßenbreite). Zwischen Spurtypenhäufigkeit und Kurvengeometrie konnte er jedoch nur tendenzielle Zusammenhänge aufdecken. Bei einem Verhältnis Klothoidenparameter/Kurvenradius von $A/R = 0,37$ bis $A/R = 0,45$ entsprachen etwa 65 % der Kurvendurchfahrten dem erwünschten Spurverhalten (Ideal- oder Normalspur); bei größeren Quotienten ($A/R > 0,52$) und bei Kurven ohne Klothoide ($A = 0$) ging dieser Anteil auf 35 % und weniger zurück (Bild 8). Auf Grund der geringen Anzahl untersuchter Kurven (sieben) und des untersuchten Radienbereichs ($65 \text{ m} < R < 220 \text{ m}$) ist die Generalisierbarkeit dieser Aussagen zu diskutieren. Die Beurteilung des Einflusses des Klothoidenparameters auf das Fahrerverhalten über eine radiendifferenzierte Sekundärauswertung lassen die Daten aber nicht zu. Die Studie zeigt jedoch interessante Ansätze, aus denen die Frage abgeleitet werden kann, ob für bestimmte Radien und Radienöffnungswinkel stärker als bisher eingeschränkte Kennstellen der Klothoide ein präziseres Fahrerverhalten hervorrufen.

HEGER/WEISE (1997) vermuten, dass der Fahrer beim Befahren von Einzelkurven die erhöhte Aufgabenschwierigkeit durch ein Erhöhen des Aktivationsniveaus intern kompensiert, da der übliche Mechanismus der externen Kompensation – die Reduktion der Fahrzeuggeschwindigkeit – nicht augenblicklich wirken kann. Bei Einsatzfahrten auf kurvenreichen Landstraßen, bei denen (mehrere) psychophysiologische Indikatoren der Fahrerbeanspruchung sowie die Fahrgeschwindigkeit gemessen wurden, konnten sie durch Regressionsanalyse einen Einfluss der gefahrenen Geschwindigkeit und der Kurvigkeit (jeweils mit positiven Koeffizienten) auf die elektrodermale Aktivität nachweisen.

RICHTER et al. (1998) untersuchten die Beanspruchung des Fahrers durch die Kurvigkeit der

Strecke. Sie manipulierten die Kurvigkeit der Strecken, die in Einsatzfahrten befahren wurden ($< 5 \text{ gon/km}$, 41 gon/km , 80 gon/km , 130 gon/km , 148 gon/km , 235 gon/km), und maßen Geschwindigkeit und physiologische Parameter wie Herzrate, Herzratenvariabilität (HRV), Elektrodermale Aktivität (EDA) und Lidschluss.¹⁸ Varianzanalysen zeigten, dass die Kurvigkeit einen Einfluss auf alle Variablen hatte, wobei im Prinzip nur zwischen praktisch geraden Strecken und kurvigen Strecken unterschieden werden konnte. Die Zusammenhänge zwischen Kurvigkeit als unabhängiger Variable und subjektiver Schwierigkeit, Geschwindigkeit, Herzrate, HRV (0,1-Hz-Komponente), EDA und Lidschluss entsprachen den Erwartungen; für die Variabilität der Geschwindigkeit ergab sich dagegen kein einfacher Zusammenhang mit der Kurvigkeit. RICHTER et al. (1998) schlagen vor, die Beanspruchung des Fahrers (im Sinne einer Handlungsadäquanz) für die Bewertung verschiedener Trassierungsalternativen zu verwenden, weisen aber darauf hin, dass keine Optima oder Grenzwerte für die Belastungsindikatoren existieren (vgl. dazu auch WAGNER et al., 1997).

Ähnliche Befunde zum Einfluss der Streckencharakteristik auf physiologische Reaktionen berichten HELANDER/SODERBERG (1973). Sie verwendeten die EDA als Indikator für die Fahrerbeanspruchung und fanden Zusammenhänge mit der Komplexität der Verkehrssituation (Kreuzungen vs. Verbindungsstraßen im Stadtverkehr) und mit der Häufigkeit von Einzelfahrzeugunfällen auf einem Landstraßenabschnitt.

4.2 Hypothese 2: „Fahrbahnquerschnitt“

„Die Merkmale des Fahrbahnquerschnitts (d. h. Fahrbahnbreite und Fahrstreifenbreite) beeinflussen das Fahrerverhalten, insbesondere das Geschwindigkeits- und das Spur-, aber auch das Überholverhalten.“

GODLEY/TRIGGS/FILDES (2004) beschrieben eine Simulatoruntersuchung, in der die wahrgenommene Fahrstreifenbreite (2,50 m, 3,00 m, 3,60 m) und die Art der Markierung in der Fahrbahnmitte bzw. Fahrstreifentrennung manipuliert wurden. Die Fahr-

¹⁸ Zur Erläuterung der gesamten Parameter vgl. auch Glossar.

streifentrennung wurde realisiert durch entweder eine normale Mittellinie, eine schräggestreifte Mittelmarkierung (1,3 m oder 2,3 m breit) oder einen amorph weißen Streifen (1,3 m oder 2,3 m breit) mit haptischer Rückmeldung, der eine Kiesauflage simulieren sollte. Dabei blieb die Fahrbahnbreite konstant, die Markierung in der Fahrbahnmitte wurde also gegebenenfalls asymmetrisch aufgetragen. Überfahren der Kiesmarkierung erzeugte Vibrationen in der Simulation. 28 Versuchspersonen befuhren die Strecken mit etwa 100 km/h (Tachometer wurde abgeblendet). Fahrstreifen, die durch die Markierung auf unter 3,00 m verengt waren, führten zu einer Reduktion der Geschwindigkeit um etwa 2 km/h; die Verringerung der Fahrstreifenbreite von 3,60 m auf 3,00 m ergab keine Geschwindigkeitsunterschiede. Die Manipulation der Markierung in der Fahrbahnmitte wirkte sich in Interaktionseffekten aus. Auf gerader Strecke mit schräggestreifter Markierung in der Fahrbahnmitte wurde etwa 3 km/h langsamer gefahren; dieser Unterschied reduzierte sich in Kurven auf 1,5 km/h. Dies lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass bei Geradeausfahrt das Bild der Markierung in der Fahrbahnmitte in die Netzhautperipherie fällt und dort bei entsprechender Gestaltung die Geschwindigkeitswahrnehmung verstärkt, während bei Kurvenfahrten die Markierung in der Fahrbahnmitte ins foveale Gesichtsfeld gelangt oder noch stärker in die Peripherie verschoben wird. Außerdem schieben die breiteren Markierungen in der Fahrbahnmitte nur in Rechtskurven (Achtung: australische Untersuchung, Linksverkehr) zu einer Geschwindigkeitsreduktion um 1 km/h zu führen. Als Ursache vermuten GODLEY/TRIGGS/FILDES (2004), dass nur in Rechtskurven der Mittelstreifen auch angeblickt worden sei; bei Linkskurven werde (im Linksverkehr) die Randmarkierung fixiert, die nicht manipuliert wurde. Eine Markierung mit haptischer Rückmeldung hatte keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit. Die Spurführung (gemessen in SDLP¹⁹) war auf engeren Strecken genauer, wobei dort der Lenkaufwand (gemessen in Standardabweichung des Lenkwinkels) anstieg. Dies ist konsistent mit der Theorie, dass die Fahrer die laterale Position des Fahrzeugs über die Zeit, die noch bis zum Verlassen der Spur bleibt (TLC), regeln. Auf engeren Strecken kann das individuelle Kriterium für diese Größe eingehalten werden, wenn der Fahrer präziser lenkt (daher höherer Lenkaufwand und geringere SDLP) und/oder die Geschwindigkeit reduziert. GODLEY/TRIGGS/FILDES (2004) folgern, dass durch eine optische Verengung des Fahrstreifen

auf Breiten unter 3,00 m mit einer breiten, gestreiften Markierung in der Fahrbahnmitte eine leichte Reduktion der Durchschnittsgeschwindigkeit erreicht werden kann, wobei ungeklärt ist, ob die Fahrerpopulation mit der Zeit auf die veränderte Wahrnehmungssituation adaptiert oder nicht.

BAKABA (2003) folgert aus eigenen Messungen und den Schlüssen der Arbeiten von MAIER/MEEWES (1990) und LIPPOLD (1997), dass durch die Querschnittsbreite einer Straße bei Kurvigkeiten bis 225 gon/km eine deutliche Differenz im Geschwindigkeitsniveau zwischen den Fahrbahnbreitenklassen (FB) von $FB < 6,00$ m und $6,00$ m $< FB < 7,00$ m vorhanden ist. Diese Aussagen gelten für bestimmte Kombinationen der Kurvigkeits-(KU-) und Welligkeitsklassen (WE)²⁰, da lediglich für diese Bereiche ausreichend Daten vorlagen; dazu zählen die Kombinationen des Welligkeitsbereiches 7 gon/km $< WE < 15$ gon/km mit 0 gon/km $< KU < 75$ gon/km, 75 gon/km $< KU < 150$ gon/km und 150 gon/km $< KU < 225$ gon/km. Dagegen wiesen die Klassen $6,00$ m $< FB < 7,00$ m und $7,00$ m $< FB < 8,00$ m keine signifikanten Geschwindigkeitsdifferenzen auf, allerdings sind die Fahrbahnbreitenklassen $FB > 7,00$ m im Rahmen der Untersuchungen statistisch unterbesetzt. Auf Basis dieses Wissens unterteilte BAKABA (2003) in seiner Kategorisierung für einen Modellansatz zur Geschwindigkeitsprognose die Fahrbahnbreite in größer 6,00 m und kleiner als 6,00 m. Diese Aussagen sind jedoch mit keinen statistischen Verfahren nachgewiesen und auf Grund eines geringen Stichprobenumfangs nur als tendenziell zu bewerten. In einem letzten Schritt ermittelte BAKABA (2003) aus den Geschwindigkeitsprofilen kategorisiert nach Kurvigkeit, Welligkeit und Fahrbahnbreite eine Referenzgeschwindigkeit, die die mittlere Geschwindigkeit beschreibt, die auf einer Sequenz eines bestimmten Streckentyps ohne Berücksichtigung des Einflusses der davor liegenden Sequenz zu erwarten ist. Anhand dieser Daten leitete er einen Zusammenhang zwischen Referenzgeschwindigkeit, Kurvigkeit, Welligkeit und Fahrbahnbreite ab, der in Bild 9 dargestellt ist. Dabei wird u. a. deutlich, dass der Einfluss der Kurvigkeit auf die Referenzgeschwindigkeit bei breiten Fahrbahnen größer ist als

¹⁹ SDLP: Standardabweichung der seitlichen Position im Fahrstreifen (vgl. Glossar).

²⁰ Als Welligkeit definiert BAKABA (2003) die Kurvigkeit im Höhenplan.

bei schmalen Fahrbahnen. Um den Gesamtzusammenhang zwischen Referenzgeschwindigkeit, Kurvigkeit, Welligkeit und Fahrbahnbreite jedoch zu vervollständigen und statistisch zu untermauern, müssten weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

SOSSOUMIHEN (2001) stellte bei seinen Untersuchungen zur Relationstrassierung ebenfalls fest, dass der Einfluss der Fahrbahnbreite auf das Geschwindigkeitsverhalten nur bei deutlichen Breitenunterschieden auftritt, wobei die Grenze zwischen „schmalen“ und „breiten“ Fahrbahnbreiten bei 6,00 m lag. COHEN (1996) gab auf Grund von Versuchen mittels Messfahrzeug unter dem Aspekt einer psychisch bedingten Straßenbreite eine günstigste Fahrbahnbreite für zweistreifige Außerortsstraßen ohne Seitenstreifen von 8,00 m an. Die Versuchsergebnisse zeigten eine U-förmige Funktion in der Betrachtung des Zusammenhangs von Straßenbreite und Latenz (Zeit zwischen Reizwirkung und Reaktion). Es zeigten sich die kürzesten Latenzzeiten bei Fahrbahnbreiten von 7,50 m und 8,00 m, längere Latenzzeiten wiesen Fahrbahnbreiten von

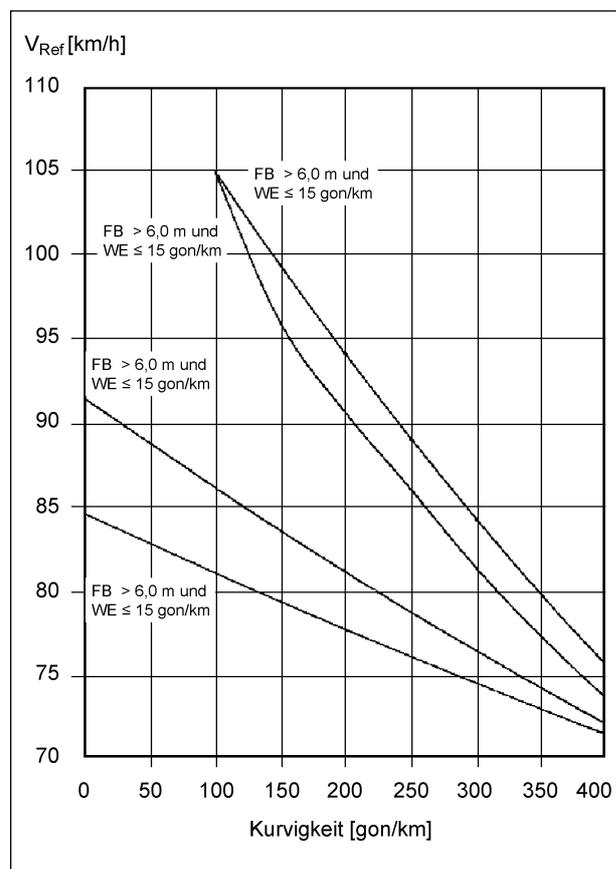


Bild 9: Zusammenhang zwischen Referenzgeschwindigkeit, Kurvigkeit, Welligkeit und Fahrbahnbreite (BAKABA, 2003)

6,00 m, 6,50 m, 7,00 m und 9,00 m auf. COHEN (1996) stellte fest, dass schmale Fahrbahnbreiten den Fahrer durch Komplexität der Fahraufgabe überfordern, breitere Fahrbahnen dagegen über die größere Toleranz gegenüber Fahrfehlern eine Erhöhung der Geschwindigkeit, die Ausführung gewagter Fahrmanöver oder eine abnehmende Aufmerksamkeit bewirkten. Des Weiteren konnte er eine signifikante Interaktion zum einen der Variablen Fahrbahnbreite mit Gegenverkehr und Geschwindigkeit und zum anderen der Straßengeometrie (gerade Abschnitte und Kurven) mit Gegenverkehr und Geschwindigkeit feststellen. Dabei zeigte sich, dass der Gegenverkehr in allen Geschwindigkeitsklassen sowohl in den Geraden als auch in den Kurven und in nahezu allen untersuchten Fahrbahnbreitenklassen zu niedrigeren Latenzzeiten führte – der maximale Wert der Abweichung lag hier bei etwa 145 ms.

LEUZZBACH et al. (1989) ermittelten an 16 Messstrecken mit geringer Kurvigkeit und unterschiedlichen Querschnittsbreiten die Reisegeschwindigkeiten durch die Methodik der Fahrzeugkennzeichenerfassung mittels Tonbandgeräts. Aus den Ergebnissen stellen LEUZZBACH et al. (1989) die Hypothese auf, dass grundsätzlich ein Zusammenhang zwischen Fahrbahn- bzw. Fahrstreifenbreite und gewählter Geschwindigkeit besteht. Allerdings stellten sie ebenfalls fest, dass auf den untersuchten Querschnitten nach RAS-Q (1982) b2 (befestigte Fahrbahnbreite 8,00 m), c2 (befestigte Fahrbahnbreite 7,50 m), d2 (befestigte Fahrbahnbreite 7,00 m) gleich schnell gefahren wurde (Bild 10 bis Bild 12).

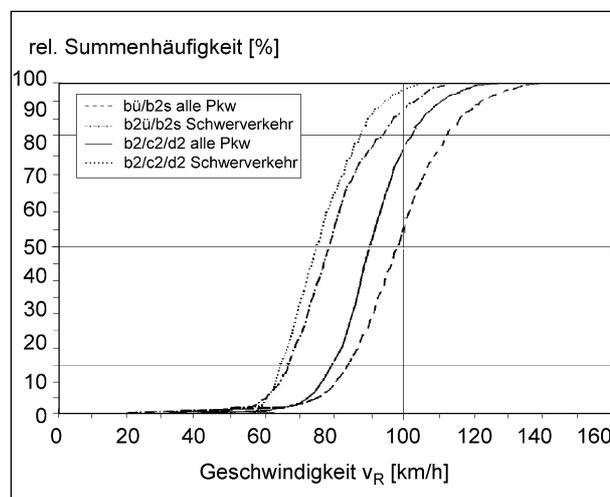


Bild 10: Geschwindigkeitsverteilungen für „frei fahrende“ Pkw und „frei fahrenden“ Schwerverkehr, differenziert nach Querschnittstypen (LEUZZBACH et al., 1989)

Q	Messintervalle bzw. Fahrzeuge in Auswertung	Percentilgeschw. [km/h]			Q	Messintervalle bzw. Fahrzeuge in	Percentilgeschw. [km/h]		
		v15 %	v50 %	v85 %			v15 %	v50 %	v85 %
b2ü	alle	73	93	112	c2	alle	69	82	97
	ohne Interv. mit langs. Fz.	73	93	112		ohne Interv. mit langs. Fz.	70	83	98
	nur Interv. mit langs. Fz.	80	85	109		nur Interv. mit langs. Fz.	66	78	92
	nur frei fahrende Fz.	75	94	112		nur frei fahrende Fz.	74	86	101
b2s	alle	75	92	108	d2	alle	69	85	98
	ohne Interv. mit langs. Fz.	76	92	108		ohne Interv. mit langs. Fz.	71	86	99
	nur Interv. mit langs. Fz.	68	91	107		nur Interv. mit langs. Fz.	56	72	86
	nur frei fahrende Fz.	79	94	110		nur frei fahrende Fz.	75	88	100
b2	alle	69	85	99	e2	alle	75	89	106
	ohne Interv. mit langs. Fz.	69	85	99		ohne Interv. mit langs. Fz.	77	90	107
	nur Interv. mit langs. Fz.	64	80	95		nur Interv. mit langs. Fz.	27	76	95
	nur frei fahrende Fz.	73	88	102		nur frei fahrende Fz.	78	91	107

Bild 11: Percentilgeschwindigkeiten für unterschiedliche Stichprobenumfänge auf den einzelnen Querschnitten (LEUZBACH et al., 1989)

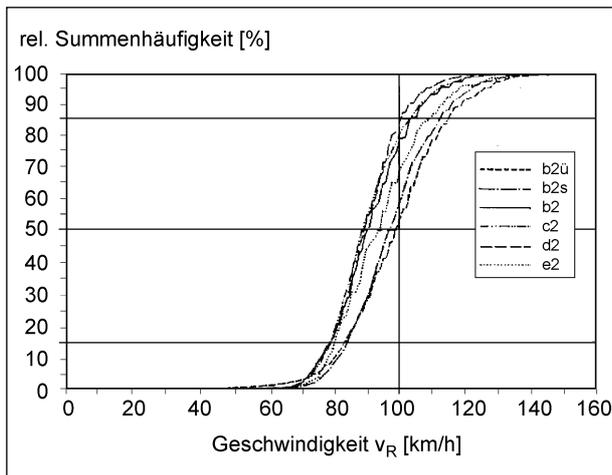


Bild 12: Geschwindigkeitsverteilungen für „frei fahrende“ Pkw (Bruttozeitlücken $\geq 5,0$ s, keine aktiven und passiven Überholvorgänge im Messintervall; LEUZBACH et al., 1989)

	Gesamtlänge [km]	DTV [Kfz/24h]	U (P)	GT	SV	LV	U (SS)
b2	189,0	10.342	676	77	409	723	389
c2	88,6	6.268	136	11	84	121	114
d2	101,2	4.304	228	9	114	227	154
e2	80,0	3.464	127	8	75	117	84

Tab. 1: Kennwerte der Untersuchungsstrecken mit deren Unfallkennwerten nach Querschnittstypen (BRANNOLTE et al., 1992, und BRANNOLTE et al., 1993)

BRANNOLTE et al. (1992) und BRANNOLTE et al. (1993) haben Unfalldaten und Verkehrsstärken von Strecken mit einbahnig zweistreifigen Regelquerschnitten (b2, c2, d2 und e2) in ihre Studie zur Bewertung des Einsatzes von Zwischenquerschnitten zu Vergleichszwecken einbezogen (Tab. 1). Als Vergleichsgrößen dienten Unfallraten und querschnittbezogene, angepasste Unfallkostenraten. Dabei wiesen die Unfallraten für die Unfälle auf b2- und c2-Strecken eine um etwa zwei Drittel geringere Unfallrate auf als die Unfälle auf d2- und e2-Strecken (Bild 13). BRANNOLTE et al. (1992) kamen durch die Gegenüberstellung der Unfallkostenraten zu dem nicht erwarteten Ergebnis, dass der c2-Querschnitt sicherer ist als der b2-Querschnitt. Dabei wies der b2-Querschnitt eine etwa gleich hohe Unfallkostenrate auf wie der e2-Querschnitt (Bild 14).

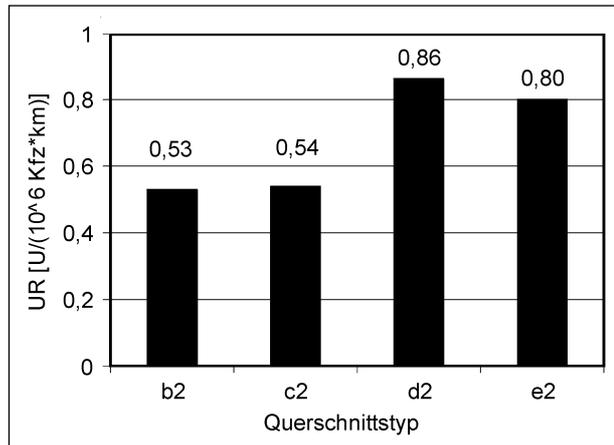


Bild 13: Unfallraten (P + SS) für die Untersuchungsstrecken mit b2-, c2-, d2- und e2-Querschnitt (BRANNOLTE et al., 1992)

Nach den Ergebnissen der Verkehrssicherheitsanalyse von BRANNOLTE et al. (1992) und BRANNOLTE et al. (1993) ist also eine Fahrbahnbreite von 7,50 m eindeutig einer Fahrbahnbreite von 8,00 m vorzuziehen, obwohl bei Fahrbahnbreiten von 7,50 m und 8,00 m nach COHEN (1996) ähnliche Latenzzeiten und nach LEUTZBACH et al. (1989) ähnliche Geschwindigkeit gemessen wurden.

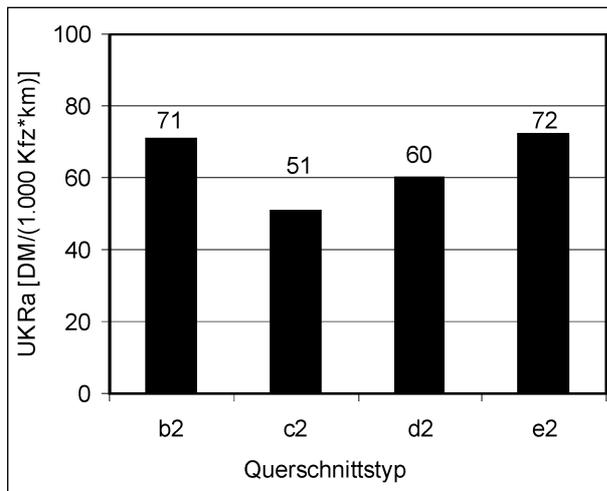


Bild 14: Angepasste Unfallkostenraten (P + SS) für die Untersuchungsstrecken mit b2-, c2-, d2- und e2-Querschnitt (BRANNOLTE et al., 1992)

Auch PALM/SCHMIDT (1999) untersuchten einbahnig zweistreifige Querschnitte nach Unfallkenngrößen, jedoch in einem höheren Detaillierungsgrad als BRANNOLTE et al. (1992 und 1993). Sie unterteilten die Querschnittstypen weiter in Unterklassen „breit“, „normal“ und „schmal“, um die untersuchten Straßen sowohl nach Fahrstreifenbreite als auch nach Fahrbahnbreite aufteilen zu können (Tabelle 2). Neben allgemeinen Aussagen zu Unfallkennwerten in Bezug auf Unfalltyp, Unfallart und Unfallschwere trafen sie detaillierte Aussagen zu Unfallkennwerten an 115 ausgewählten Untersuchungsstrecken in den neuen und alten Bundesländern, vor allem unterschieden nach Querschnittstypen, DTV-Klassen und Streckenmerkmalen (Radweg und Längsneigung). Dabei analysierten sie 6.583 Unfälle auf insgesamt 760 km Streckenlänge (Tabelle 3). Als Unfallkenngrößen dienten Unfallrate und Unfallkostenrate in Anlehnung an DEFKE et al. (1995).

PALM/SCHMIDT (1999) kamen in ihrer Untersuchung zu dem Ergebnis, dass der c2-Querschnitt sicherer als der b2-Querschnitt ist. Gerade bei größeren Verkehrsstärken (> 7.500 Kfz/d) war der c2-Querschnitt am sichersten. Bei niedrigeren Verkehrsstärken (< etwa 6.000 bis 7.000 Kfz/d) empfahlen sie dagegen den RQ 9,5, der von der Fahrbahnbreite dem d2-, von der Fahrstreifenbreite aber dem e2-Querschnitt entspricht, da dieser Querschnittstyp bei der Unfallkostenrate von allen d2- und e2-Querschnitten am günstigsten abschneidet (Tabelle 4).

HERBERG (1983) untersuchte unter Beachtung u. a. der Geschwindigkeit frei fahrender Pkw,

Querschnittstyp		Fahrstreifenbreite [m]	Fahrbahnbreite [m]
b2	breit	3,63 - 4,00	8,41 - 8,80
	normal		7,88 - 8,40
	schmal		7,50 - 7,87
c2	breit	3,38 - 3,62	7,56 - 8,20
	normal		7,41 - 7,55
	schmal		7,24 - 7,40
d2	breit	3,13 - 3,37	7,26 - 8,20
	normal		6,96 - 7,25
	schmal		6,50 - 6,95
e2	breit	2,88 - 3,12	6,21 - 7,00
	normal		5,76 - 6,20

Tab. 2: Aufteilung der Fahrstreifen- und Fahrbahnbreiten nach Querschnittstypen (PALM/SCHMIDT, 1999)

Querschnittstyp	Anzahl der Untersuchungsstrecken	Gesamtlänge
b2	41	261,7 km
c2	24	172,4 km
d2	26	173,3 km
e2	24	152,7 km
Summe	115	760,1 km

Tab. 3: Anzahl der Untersuchungsstrecken, Gesamtlängen nach Querschnittstypen (PALM/SCHMIDT, 1999)

Breitenklasse	Anzahl Strecken	UKR	WUa
b2-b	19	43,4	153.253
b2-n	12	65,1	201.694
b2-s	5	39,5	161.566
c2-b	4	19,4	103.697
c2-n	8	43,0	142.110
c2-s	6	16,8	100.391
d2-b	8	62,0	160.812
d2-n	7	55,9	129.922
d2-s	5	76,0	134.803
e2-b	10	46,3	97.893
e2-n	8	58,8	113.900

Tab. 4: Unfallkostenrate (UKR, DM/(1.000Kfz-km)) und durchschnittliche Unfallkosten (WUa, DM/Unf.) der Untersuchungsstrecken nach Fahrbahnbreitenklassen in den alten Bundesländern (PALM/SCHMIDT, 1999)

Häuserhöhe, Baum und Buschhöhe die optische Breite und Höhe sowie die nutzbare Breite der Straße mit einem gestalttheoretischen Ansatz unter verkehrspsychologischen Gesichtspunkten. Er konnte zeigen, dass bei vergleichbarer Situation ein Verkehrsteilnehmer an einem bestimmten Straßenquerschnitt bei gleicher Fahrmotivation annähernd die gleiche Geschwindigkeit fuhr; dabei konnte diese Geschwindigkeit je nach Persönlich-

keitsmerkmal sowohl auf einem hohen als auch auf einem niedrigen Niveau liegen.²¹ Des Weiteren stellte er fest, dass eine ansteigende optische und nutzbare Breite (mit den Koeffizienten 0,23 und 0,12) geschwindigkeitserhöhend und der Einfluss durch Passanten, ruhenden Verkehr, Gegenverkehr und die optische Höhe (mit den Koeffizienten -0,09, -0,11, -0,08 und -0,05) geschwindigkeitsreduzierend wirkte.

DILLING (1973) untersuchte in seiner Studie das Geschwindigkeitsverhalten frei fahrender Pkw in 20 Kurven (mit $120 \text{ m} < R < 400 \text{ m}$) anhand von Lichtschrankenmessungen. Dabei stellte er große Unterschiede zwischen dem Verhalten der Kraftfahrer in den einzelnen Kurven fest. Große Streuungen in diesen Bereichen führt er auf einen möglichen Einfluss der Strecke zurück und belegt dies über die Streuung der Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich der Kurve. Auf Basis seiner Messungen erstellte er 24 Regressionsgleichungen, um die Abhängigkeit verschiedener Größen voneinander untersuchen zu können. Über eine der Regressionsgleichungen zur Bestimmung der mittleren Kurvengeschwindigkeit wies er mit einem Bestimmtheitsmaß von $R = 0,65$ nach, dass ein Einfluss der Veränderung der Straßenbreite um 1,00 m (6,50 m auf 7,50 m) gleich dem Einfluss einer Änderung der Kurvigkeit von 50 Grad/km auf 150 Grad/km ist.

Hier ist auch die Untersuchung von de WAARD et al. (1995) relevant, die in Kapitel 4.4.4 detailliert beschrieben wird. In dieser Studie wurde versucht, die mittleren gefahrenen Geschwindigkeiten auf Landstraßen durch eine Reduktion der Breite der komfortabel befahrbaren Fahrbahn zu senken. Dazu wurden breite Markierungen der Fahrbahnmitte und der Fahrbahnbegrenzung aus rauem Material aufgebracht, die beim Überfahren mit hoher Geschwindigkeit unangenehme Fahrzeugvibrationen verursachten. Wollte ein Fahrer diese Vibrationen vermeiden, musste er sehr präzise in der Spur fahren (die vibrationsfreie Fahrbahnbreite betrug 2,25 m), was auf Grund der Begrenzung der menschlichen Regelungsfähigkeiten im Allgemeinen nur

durch eine Reduktion der Geschwindigkeit erreichbar ist. Querschnittsmessungen und Einsatzfahrten zeigten allerdings nur sehr geringe Effekte der Manipulationen auf die gefahrenen Geschwindigkeiten (etwa 3 km/h), aber deutlich bessere Spurhaltung. Solche rein haptisch oder optisch (vgl. GODLEY/TRIGGS/FILDES, 2004) verengten Fahrstreifen haben den Vorteil, dass die befestigte Fahrbahnbreite nicht verändert wird, sodass in Notfällen wie bei Verlust der Fahrzeugkontrolle noch ausreichend Reaktionsraum zur Verfügung steht.²²

ELVIK/VAA (2004) berichteten über metaanalytische Ergebnisse, die eine Reduktion von Unfallzahlen auf Landstraßen nach Querschnittsvergrößerung (auf die Breite der aktuellen Entwurfsstandards der jeweiligen Länder) von etwa 9 % nachwies. Eine Verbreiterung der Fahrstreifen reduzierte die Unfälle um etwa 13 %, die Befestigung der Bankette verringerte die Zahlen um etwa 7 %. Untersuchungen zur Verbreiterung befestigter Bankette führten allerdings zu inkonsistenten Befunden. Besonders starke Effekte hatten das Abflachen von Böschungen (etwa 30 %) und das Freihalten des Seitenraums von Hindernissen (Vergrößerung des Abstands von Hindernissen vom Fahrbahnrand von 1 m auf 5 m reduziert die Unfallzahlen um 22 %).

Eine theoretische Erklärung der Wirkung der Fahrstreifenbreite liegt in der Kontrollvariable TLC, die von den Fahrern konstant gehalten wird (GODT-HELP/MILGRAM/BLAAUW, 1984, GODTHELP, 1988). Fahrer korrigieren eine Fahrtrichtungsabweichung früher, wenn sie höhere Geschwindigkeiten fahren; dadurch ergibt sich eine konstante TLC bei Fahrereingriffen. Eine verringerte Breite des Fahrstreifens bei gleicher Geschwindigkeit führt bei gleicher Regelgenauigkeit zu geringeren TLC-Werten; wenn sich die Regelgenauigkeit nicht durch zusätzliche Anstrengung erhöhen lässt (z. B. HEGER/WEISE, 1997), müssen die Fahrer die Geschwindigkeit reduzieren, um die gewohnten TLC-Werte einregeln zu können.

4.3 Hypothese 3: „Knotenpunkttypen und -abstände“

„Knotenpunkttypen und -abstände wirken auf das Fahrerverhalten, insbesondere auf die Geschwindigkeitwahl und das Überholverhalten.“

KÖLLE/SCHNÜLL (1999) analysierten Sicherheitseigenschaften von 14 Strecken mit planfreien, teil-

²¹ Die Studie wurde auf Strecken innerorts durchgeführt. Eine Übertragbarkeit auf außerorts ist denkbar, müsste jedoch noch untersucht werden.

²² Ebenso sind die Befunde von LIPPOLD et al. (2004) einschlägig, die auf einen Einfluss der Bepflanzung im Seitenraum auf die Spurlage frei fahrender Fahrzeuge hinweisen, diese Untersuchung wird in Kapitel 4.5 genauer beschrieben.

planfreien und plangleichen Knotenpunkten anhand von Geschwindigkeitsmessungen und Unfallanalysen. Dabei stellte sich heraus, dass die Geschwindigkeiten in den plangleichen und teilplanfreien Knotenpunkten (mit etwa $82 \text{ km/h} < V_{85} < 103 \text{ km/h}$) weit über der zulässigen Geschwindigkeit von 70 km/h lagen. Bei der Betrachtung der Geschwindigkeitsprofile konnten Einflussbereiche der Knotenpunkte von 100 m bis 900 m ausgemacht werden. Dabei fielen die Geschwindigkeiten aus Richtung der planfreien Führung in der Regel deutlich später ab als bei den Geschwindigkeitsprofilen aus der anderen Richtung: „Die Einflussbereiche in Annäherung auf die plangleichen oder teilplanfreien Knotenpunkte waren je nach Untersuchungsknotenpunkt sowohl kürzer als auch länger als die Einflussbereiche hinter dem Knotenpunkt der entsprechenden Fahrtrichtung. Ein klar definierter Einflussbereich ließ sich mit den Ergebnissen nicht angeben.“

RICHTER/HÜSKEN (1998) untersuchten zehn kleine einstreifige Kreisverkehrsplätze außerhalb bebauter Gebiete u. a. unter Berücksichtigung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufs. Im Knotenpunktbereich und auf den anschließenden knotenpunktfreien Streckenabschnitten wurde nach dem Umbau von Kreuzungen zu Kreisverkehrsplätzen ein verändertes Fahrerverhalten beobachtet. Die Messergebnisse zeigten, dass ein mittlerer Abstand der für die Reisezeit relevanten Knotenpunkte von etwa 1.000 m eine Pkw-Reisegeschwindigkeit von etwa 70 km/h , ein mittlerer Knotenpunktabstand von etwa 2.000 m eine Pkw-Reisegeschwindigkeit von etwa 80 km/h und ein mittlerer Knotenpunktabstand von etwa 2.600 m eine Pkw-Reisegeschwindigkeit von etwa 90 km/h auf diesen Streckenabschnitten aufwies. Eine Abhängigkeit zwischen Knotenpunktabstand und Reisegeschwindigkeit konnte an den Streckenabschnitten mit mehreren Kreisverkehrsplätzen von nahezu gleicher Ausprägung festgestellt werden. Die gemessenen stationären Geschwindigkeiten auf der Kreisfahrbahn lagen zwischen 30 km/h und 38 km/h . Deutlich zeigten die Ergebnisse die Zunahme der Geschwindigkeiten auf der Kreisfahrbahn mit zunehmendem Außendurchmesser der Kreisverkehrsplätze. Zwischen den gemessenen Geschwindigkeiten auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten und den gemessenen Geschwindigkeiten auf den Kreisfahrbahnen waren dagegen keine Abhängigkeiten erkennbar. Da nur eine begrenzte Anzahl von Knotenpunkten und Streckenabschnitten untersucht wurde, die keine Aussagen über die Reisegeschwindigkeiten im Straßen-

netz erlauben, sind die Ergebnisse dieser Studie lediglich als Tendenz zu sehen.

RICHTER (1993) konnte in einer Vorher-Nachher-Untersuchung zu Auswirkungen nachträglich signalisierter Knotenpunkte mit einer linienhaften Signalisierung nach Grundform IV feststellen, dass auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten (mittlerer Knotenpunktabstand von $1,5 \text{ km}$) und in den Knotenpunkten die mittlere Geschwindigkeit freifahrender Pkw nach der Signalisierung signifikant reduziert wurde. Die mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeit sank deutlich von 90 km/h auf 67 km/h . Dagegen konnten durch eine Einzelanlage eine Verringerung des Geschwindigkeitsniveaus auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten und eine Beruhigung des Verkehrsablaufes nicht erreicht werden. Bei einem Vergleich der Knotenpunktgrundformen I (signalisiert) und IV (nicht signalisiert) wurde ein deutlich höheres Geschwindigkeitsniveau freifahrender Pkw bei der Knotenpunktgrundform IV festgestellt. Des Weiteren konnte RICHTER (1993) zeigen, dass auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten mit Knotenpunkten nach der Grundform IV (nicht signalisiert) wie in den Knotenpunkten selbst deutlich schneller gefahren wurde als auf den knotenpunktfreien Abschnitten mit den signalisierten Knotenpunkten nach der Grundform I. Als Ergebnis stellte er heraus, dass das Geschwindigkeitsniveau in den Knotenpunkten und auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten am stärksten von der Knotenpunktgrundform, der Signalisierung und durch die Verkehrsstärke beeinflusst wurde. Abhängigkeiten von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und vom Regelquerschnitt konnten dagegen nicht nachgewiesen werden.

Hier sind in der psychologischen Literatur zwar Untersuchungen zum Verhalten an Knotenpunkten selbst zu finden (z. B. ALEXANDER/BARHAM/BLACK, 2002, STAPLIN/FISK, 1991, SUMMALA et al., 1996, VOGEL et al., 2003), jedoch keine Befunde zu Knotenpunktabständen. Da der Schwerpunkt der Analyse auf dem Befahren von Landstraßen, jedoch nicht auf dem Abbiegen an Knotenpunkten liegt, sind die Befunde hier nicht referiert.

4.4 Hypothese 4: „Ausstattungsmerkmale zur optischen Führung“

„Ausstattungsmerkmale zur optischen Führung wie z. B. Fahrbahnmarkierungen und Leiteinrichtungen beeinflussen das Fahrerverhalten, insbesondere das Spurverhalten.“

Generell können Ausstattungsmerkmale dazu eingesetzt werden, erwünschtes Verhalten zu fördern oder zu erleichtern oder unerwünschtes Verhalten zu hemmen oder zu verhindern. KLEBELSBERG (1982) bezeichnete diese beiden Wirkungsweisen als das Leitprinzip und das Hemmungsprinzip. Der Einsatz von aufgelösten Richtungstafeln in Singularitäten ist ein Beispiel für das Leitprinzip: Hier soll das Erkennen des Kurvenverlaufs gefördert und die Wahl einer situationsangepassten Geschwindigkeit erleichtert werden. Dagegen sind Schwellen, die zur Geschwindigkeitsregulation in Tempo 30-Zonen eingesetzt werden, Beispiele für das Hemmungsprinzip. Ausstattungselemente können je nach Bedingung sowohl eine Orientierungsfunktion als auch eine Barrierefunktion haben.

4.4.1 Fahrbahnmarkierungen

DAVIDSE/DRIEL/GOLDENBELD (2003) fassten Literatur zur Wirkung von Markierungen in einer Metaanalyse zusammen. Insgesamt identifizierten sie 41 brauchbare Studien (mit Schwerpunkt auf niederländischer und US-amerikanischer Berichterstattung), in denen Markierungen geändert wurden (Tabelle 5).

Über alle untersuchten Manipulationen der Markierung ergaben sich für die Geschwindigkeiten und die seitliche Position in der Fahrspur keine Effekte (mittlere Geschwindigkeitsreduktion 0,1 km/h, Verschiebung zur Mittellinie um 3,75 cm). Betrachtet man die verschiedenen Markierungsvarianten separat (und berechnet die Vergleiche mit korrekten Werten für n), so zeigte sich folgendes Bild: Fügt man auf einer gänzlich unmarkierten Strecke Markierungen an der Fahrbahnbegrenzung ein, so erhöhten sich die gefahrenen Geschwindigkeiten um 6 km/h. Wird eine existierende Markierung in der Fahrbahnmitte entfernt und dafür Markierungen zur Fahrbahnbegrenzung aufgebracht, so reduzierten sich die Geschwindigkeiten um etwa 2 km/h. Abgesehen von unspezifizierten „anderen“ Änderungen der Markierungsart waren keine weiteren Manipulationen, wie Zufügen von Markierungen an der Fahrbahnbegrenzung zur Markierung in der Fahrbahnmitte, Änderung der Art der Markierungen usw., signifikant.

Ein ähnliches Bild ergab sich für die Veränderung der seitlichen Position. Werden vorher unmarkierte Strecken mit einer Markierung in der Fahrbahnmitte versehen, so verlagerte sich die mittlere Fahrzeugposition um 0,12 m zum Fahrbahnrand (vgl. auch LEUTZBACH/PAPAVASILIOU, 1988).

Vorher	Nachher	mittlere Geschwindigkeitsdifferenz [km/h]	Standardabweichung
keine Markierung	Markierung in der Mitte der Fahrbahn aufgebracht	+3,0	4,6
keine Markierung	Markierung an den Fahrbahnbegrenzungen aufgebracht	+6,1	3,5
Markierung in der Mitte der Fahrbahn	Markierung an den Fahrbahnbegrenzungen zusätzlich aufgebracht	+0,4	2,7
Markierung in der Mitte der Fahrbahn	Markierung in der Mitte der Fahrbahn entfernt und stattdessen an den Fahrbahnbegrenzungen aufgebracht	-1,7	1,7
Markierung in der Mitte der Fahrbahn und an den Fahrbahnbegrenzungen	Markierung in der Mitte der Fahrbahn bleibt, anderer Typ von Markierung an den Fahrbahnbegrenzungen zusätzlich aufgebracht	-0,7	3,0
Markierung in der Mitte der Fahrbahn und an den Fahrbahnbegrenzungen	Markierung in der Mitte der Fahrbahn entfernt, anderer Typ von Markierung an den Fahrbahnbegrenzungen aufgebracht	0,7	0,6
Markierung in der Mitte der Fahrbahn und an den Fahrbahnbegrenzungen	anderer Typ von Markierung in der Mitte der Fahrbahn und bisherige Markierung an den Fahrbahnbegrenzungen beibehalten	-0,1	2,8
Markierung in der Mitte der Fahrbahn und an den Fahrbahnbegrenzungen	anderer Typ von Markierung sowohl in der Mitte der Fahrbahn als auch an den Fahrbahnbegrenzungen	-0,4	0,5
	Pflasternägel (raised pavement markers)	0,6	2,3

Tab. 5: Manipulationen von Straßenmarkierungen und ihr Effekt auf die Geschwindigkeit (metaanalytische Ergebnisse von DAVIDSE/DRIEL/GOLDENBELD, 2003)

SCHÖNBORN (1993) hebt in seinem Bericht deutlich die Wichtigkeit von Fahrbahnmarkierungen hervor und verweist dabei auf eine Kosten-Nutzen-Analyse aus den USA von MILLER (1993), die sehr günstige Kosten-Nutzen-Verhältnisse für die Anbringung von Fahrbahnmarkierungen identifiziert hatte. Allerdings beruhen die Ergebnisse z. T. auf Untersuchungen auf Strecken, die vorher gänzlich ohne Leiteinrichtungen waren und im Rahmen der Untersuchung mit Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen und in der Fahrbahnmitte versehen wurden – eine Situation, die in Deutschland derzeit nur kurzzeitig während des Streckenausbaus anzutreffen ist (vgl. LIPPARD/MEEWES, 1994).

RUDINGER/HOLTE (1994) berichteten über ein Laborexperiment, bei dem im Paarvergleich computermanipulierte Ansichten von Alleinstrecken danach eingeschätzt werden sollten, welche Strecke als gefährlicher zu befahren empfunden werde und auf welcher Strecke man langsamer fahren würde. Dabei wurden die Ausstattungsmerkmale der Strecke für drei Ansichten (Gerade, Linkskurve, Rechtskurve) systematisch in vier Stufen variiert (normale Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen, eingerückte Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen, normale Markierung an den Fahrbahnbegrenzungen + in der Fahrbahnmitte, Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen + in der Fahrbahnmitte + Schutzplanken). Die Manipulation der Ausstattung wirkte sich deutlich und praktisch konsistent auf die subjektive Gefährlichkeit und die Bereitschaft, langsamer zu fahren, aus: Strecken, die nur mit Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen ausgestattet waren, wurden am gefährlichsten und „langsamsten“ beurteilt, wobei bei eingerückten Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen tendenziell geringere Gefährlichkeitsurteile beobachtbar waren. Strecken mit Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen und in der Fahrbahnmitte wurden deutlich ungefährlicher beurteilt, Strecken mit Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen und in der Fahrbahnmitte zusammen mit Schutzplanken wurden subjektiv als noch ungefährlicher empfunden (vgl. dazu auch die Befunde zur subjektiven Bewertung der Sicherheit unterschiedlich ausgestatteter Landstraßenkurven von WEISE/STEYER, 1999). Allerdings konnten diese Befunde im Feldversuch nicht repliziert werden. Dafür könnte eine prinzipielle Diskrepanz zwischen geäußelter Intention und realisiertem Verhalten verantwortlich sein, die auch in anderen Situationen beobachtbar ist, oder auch die stärkere Variation der Streckenumgebung im Realverkehr.

In diesem Kontext wurden auch Simulatorexperimente von WITT/HOYOS (1976) erwähnt, die herausgefunden haben, dass eine unterbrochene Markierung an der Fahrbahnbegrenzung zur Voranzeige des Kurvenradius und zur Induktion einer adäquaten Geschwindigkeitswahl genutzt werden kann. Dazu veränderten sie die Länge der Markierungen (bei konstanten Lücken zwischen Markierungen) vor der Kurve in Abhängigkeit vom Radius in sechs Stufen. Kurze Striche am Fahrbahnrand wiesen auf eine enge Kurve und lange Striche auf eine weite Kurve hin. Zwölf Versuchsfahrer befuhren Strecken, die sich aus Radien zwischen 20 m und 300 m zusammensetzten. Die Fahrer schienen die Vorinformation über den Radius decodieren zu können und auch für eine Anpassung der Geschwindigkeit zu nutzen. Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte allerdings berücksichtigt werden, dass in dem Simulator nur weiße Linien auf schwarzem Grund bei einer Sichtweite von 48 m dargestellt werden konnten, dass jegliche andere Hinweisreize auf die gefahrene Geschwindigkeit und Spurlage fehlten und dass Radiengrößen verwendet wurden, die auf realen Strecken nur in Extremfällen auftreten (Mittelwerte der Klassen 1-3: 27 m, 43 m, 63 m). Für eine Übersicht über ältere Befunde zur Wirkung von Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen vgl. LEUTZBACH/PAPAVASILIOU (1988).

NEDAS (1986) berichtete über sehr positive Effekte einer Verdopplung der Breite der Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen auf die Unfallzahlen. Allerdings handelte es sich um Ergebnisse aus einem Pilotversuch, die sich anscheinend in größeren Untersuchungen nicht bestätigen ließen (ELVIK/VAA, 2004).

Die Frage, welche Reizeigenschaften der Ausstattungsmerkmale (hier: Leitpfosten oder Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen) von Versuchspersonen genutzt werden, wurde von BEALL/LOOMIS (1996) untersucht. Dazu ließen sie in einer Laborsituation im Simulator eine gerade Straße befahren, die durch unterschiedliche Aperturen²³ zu sehen ist. Mit dieser Anordnung konnte geprüft werden, welche Anteile des visuellen Feldes vom Fahrer für die Regelung der Fahrzeuglage verwendet werden (vgl. LAND/HORWOOD, 1995).

²³ Aperturen: Blendenöffnung oder Sehschlitz, ähnlich wie das Paradigma von LAND/HORWOOD (1995 und 1998).

Während der simulierten Fahrt wirkten seitliche Störkräfte auf das Fahrzeug, die ausgeregelt werden mussten. Durch unterschiedliche Ausstattung der simulierten Strecke mit Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen oder Leitpfosten wurde manipuliert, ob dem Fahrer sowohl die Bewegungsparallaxe als auch der Lagewinkel (splay-angle, vgl. Bild 15) zur Verfügung standen (bei Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen) oder ob nur die Bewegungsparallaxe vorhanden war (bei Leitpfosten). Die Verfügbarkeit zweier Informationsquellen für die Bewegungsrichtung verbesserte dabei die Fahrzeugführung und verringerte den Einfluss der Abdeckung des Sehfeldes. Bemerkenswert ist dabei, dass das Zufügen von Informationen zum optischen Fluss (durch einzelne Texturpunkte) nicht genügte, um die Regelungsleistung der Fahrer auf das Niveau zu heben, das sie bei durchgezogenen Linien (die den Lagewinkel dauernd wahrnehmbar machen) zeigen. Durchgezogene Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen waren also Leitpfosten in dieser Aufgabe deutlich überlegen. Zu kritisieren ist an der Untersuchung, dass eine sehr einfache Fahraufgabe (auf einer geraden Straße bleiben) in einem sehr einfachen Bildschirmaufbau mit sechs Versuchspersonen untersucht wurde und somit die Aussage lediglich tendenziellen Charakter besitzt; dafür erlaubt das Versuchsdesign eine Identifikation der Information, die von den Fahrern tatsächlich genutzt wird.

Dagegen wies LANDWEHR (1991) darauf hin, dass Leitpfosten im Gegensatz zu Linien oder Leitplanen tatsächlich optischen Fluss erzeugen. Von daher sollten sie eine bessere Geschwindigkeits- und Richtungswahrnehmung ermöglichen als Linien, insbesondere bei Nacht.

LAND/HORWOOD (1995 und 1998) berichteten über ein Simulatorexperiment zur Kurvenfahrt, bei

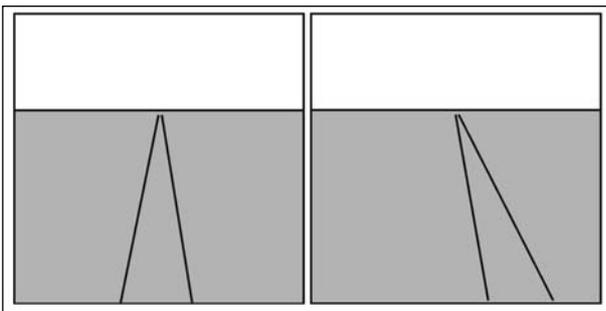


Bild 15: Beispieldarstellung der Veränderung des Lagewinkels (splay-angle) der Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen bei Spurlagefehlern (BEALL/LOOMIS, 1996)

dem den Fahrern nur bestimmte Anteile des Streckenverlaufs dargeboten wurden. Die Fahrer sahen dabei die Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen einer kurvenreichen Strecke durch Sehschlitze von 1° Breite, die sich an unterschiedlichen Positionen unterhalb des Horizonts befanden; dadurch wurde die Vorausschau manipuliert (vgl. Bild 16). Bei langsamer Fahrt (hier 45 km/h) genügte ein Sehschlitz von etwa 7° unter dem Horizont, um eine Güte der Spurhaltung zu erreichen wie bei voller Sichtbarkeit der Strecke. Bei höheren Geschwindigkeiten (60 km/h oder 70 km/h) erreichte die Regelungsleistung allerdings auch bei optimaler Positionierung des Sehschlitzes nur 80 % bzw. 55 % der Leistung bei voll sichtbarer Strecke.

Fügte man jedoch einen zweiten Sehschlitz von 1° Breite an einer anderen Position ein, so war der Fahrer in der Lage, die Spurhaltung deutlich zu verbessern. Die optimale Kombination ergab sich, wenn ein Sehschlitz im Nahbereich vor dem Fahrzeug lag und der andere den Fernbereich einnahm; dann war die Regelungsleistung so gut wie bei voller Sichtbarkeit der Strecke. Dabei wurde normalerweise der Fernbereich fixiert und der Nahbereich durch periphere Wahrnehmung genutzt. Die Versuche wurden mit nur drei Personen durchgeführt. Ihre Aussagekraft ist deshalb lediglich tendenziell zu berücksichtigen, zumal CHATZIASTROS/WALLIS/BÜLTHOFF (1999) bei der Replizierung der Befunde von LAND/HORWOOD (1995) mit einem modernen Fahr Simulator herausfanden, dass sich kein

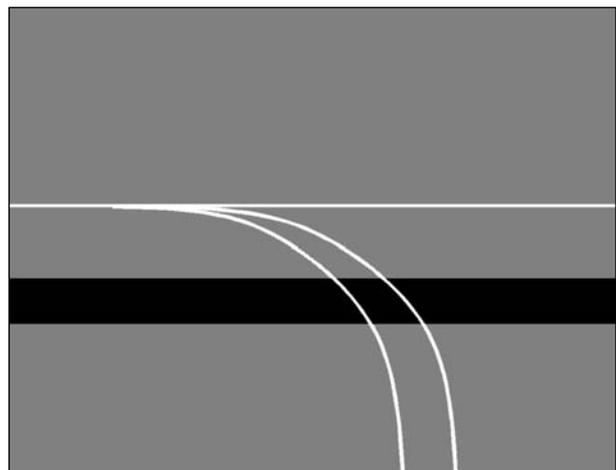


Bild 16: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus von LAND/HORWOOD (1995). Der Streckenverlauf wird durch helle Linien auf einem Bildschirm vorgegeben. In einer Kontrollbedingung ist die gesamte Strecke bis zum simulierten Horizont sichtbar; in den Experimentalbedingungen sieht die Versuchsperson nur einen Teil der Strecke durch einen „Sehschlitz“ (hier durch graue Maskierung erzeugt).

Vorteil einer mittleren Positionierung des Sehschlitzes nachweisen lässt; auch trug das Hinzufügen eines zweiten Sehschlitzes nicht zu besserer Spurhaltung bei; gefahren wurde mit 60 km/h, also der Geschwindigkeit, bei der LAND/HORWOOD (1995) einen Vorteil für zwei Sichtbereiche nachgewiesen hatten. Texturierte Straßen wurden allerdings besser befahren als untexturierte. Sehschlitzte, die Abschnitte der Strecke weit unter dem Horizont zeigten (also nahe an der Fahrzeugposition lagen), führten dagegen zur besten Spurhaltung.

4.4.2 Kombinationen von Ausstattungselementen

ZWIELICH/REKER/FLACH (2001) leiteten in ihrer Untersuchung an Alleenstrecken Ergebnisse zum Einfluss von Markierungen, Leitpfosten, Leittafeln und Schutzplanken sowie Kombinationen dieser auf das Fahrerverhalten anhand von 77 Versuchsfahrten mit fahrerbegleitender Beobachtung über eine 195 km lange Strecke mit hoher Unfallbelastung ab. Mit Hilfe von Videokameras wurden die gefahrenen Geschwindigkeiten und das Seitenabstandsverhalten auf der in Geraden, Kurven und Streckenabschnitte mit leichter Krümmung (Verschwenkungen) unterteilten Versuchsstrecke aufgezeichnet. Sie fanden heraus, dass von den Fahrbahnmarkierungen eine bedeutsame Wirkung auf das Spurverhalten und die Geschwindigkeit ausgeht. Vorhandene Markierungen der Fahrbahnbegrenzung erzeugten im Vergleich zu Strecken ohne diese Markierungen einen geringeren Abstand zum rechten Fahrbahnrand; eine vorhandene Markierung in Fahrbahnmitte führte zu einer Vergrößerung des Seitenabstandes. Zu diesen Ergebnissen bezüglich vorhandener Markierungen am rechten Fahrbahnrand und der Fahrbahnmitte als Leitlinie kamen auch KLEBELSBERG (1982) und STEYVERS/de WAARD (2000). Auf Geraden und in Linkskurven bewirkten Markierungen der Fahrbahnmitte einen Anstieg und Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen eine Reduzierung der Geschwindigkeit. In Rechtskurven kehrte sich dieser Effekt um. Daraus ließ sich ableiten, dass Markierungen auf der Kurveninnenseite eher beschleunigend und Markierungen auf der Kurvenaußenseite eher verzögernd wirken. Nicht untersucht wurden Faktoren wie Nachtsichtbarkeit, Sichtbarkeit bei Nässe und Strichstärke, die jedoch unter Umständen ebenfalls einen Einfluss haben könnten.

Durch Leitpfosten konnte eine verzögernde Wirkung auf Geraden und in Linkskurven gleicher-

maßen festgestellt werden, während in Rechtskurven eine beschleunigende Wirkung gemessen wurde. Einflüsse auf das Spurverhalten waren nicht erkennbar. Der von ZWIELICH/REKER/FLACH (2001) gewählte Ansatz ging jedoch lediglich vom Vorhandensein der Leitpfosten aus und betrachtete nicht die Frage des Standorts, also ob sich Leitpfosten an der Kurveninnenseite oder aber an der Kurvenaußenseite befinden. Ebenfalls konnte eine nicht quantifizierte geschwindigkeitsreduzierende Wirkung durch Leittafeln und Schutzplanken festgestellt werden.²⁴ Hervorgerufene Änderungen im Spurverhalten ließen sich nicht für Schutzplanken, aber für Leittafeln nachweisen. Der Abstand des Fahrzeugs zum Fahrbahnrand war im Bereich der Leittafeln geringer, wurde jedoch ebenfalls nicht quantifiziert. Bei der Betrachtung bzw. dem Vergleich der Leitelemente auf und neben der Fahrbahn war ersichtlich, dass die Elemente auf der Fahrbahn stärker auf das Seitenabstandsverhalten wirkten als die Leitelemente in der Peripherie. Die von ZWIELICH/REKER/FLACH (2001) analysierten Ausstattungsmerkmale übten einen stärkeren Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl als auf das Spurverhalten aus.

LIPPHARD/MEEWES (1994) nutzten den Streckenausbau von Bestandsstrecken in den neuen Bundesländern für umfangreiche Vorher-Nachher-Untersuchungen des Geschwindigkeitsverhaltens. So konnte der Einfluss einer allgemeinen zulässigen Höchstgeschwindigkeit (vorher 80 km/h, nachher 100 km/h auf Landstraßen), einer beschilderten zulässigen Höchstgeschwindigkeit sowie verschiedener Ausstattungs- und Umfeldmerkmale auf die Geschwindigkeit V_{85} untersucht werden. Als Ergebnisse stellten LIPPHARD/MEEWES (1994) heraus, dass Markierungen, Bankette, Leitpfosten, Richtungstafeln, Schutzplanken und Überholverbote die Geschwindigkeit bei Helligkeit nicht erhöhten. Im Resümee erklären sie u. a., dass die vielfach behauptete beschleunigende Wirkung von Ausstattungsmerkmalen nicht auftritt und Alleen sowie Wald keinen geschwindigkeitsdämpfenden Einfluss ausüben. Ihre Ergebnisse belegten sie anhand der beschriebenen Vorher-Nachher-Analyse über Regressionen der Geschwindigkeit V_{85} und der Darstellung von Überschreitungshäufigkeiten der Geschwindigkeiten. Generell ist jedoch aus

²⁴ Für Schutzplanken konnte der Einfluss nur in Rechtskurven überprüft werden.

ihren Ergebnissen festzustellen, dass die Erneuerung der Fahrbahndecke eine Geschwindigkeitserhöhung um etwa 8 km/h für alle Bereiche der Geschwindigkeit V_{85} bewirkt (die Regressionsgeraden haben die Steigung 1 und sind um 8 km/h nach oben verschoben). Für beschilderte Geschwindigkeitsbeschränkungen zeigte sich eine (begrenzte) Wirksamkeit auf die Geschwindigkeit V_{85} : Auf Geraden, die schon vor der Deckenerneuerung schnell befahren wurden, reduzierte ein beschildertes Tempolimit die Geschwindigkeit nur um etwa 1-2 km/h; in vorher langsam befahrenen Abschnitten (hier: Kurven) wirkte eine nachträgliche Beschilderung deutlich stärker auf die Geschwindigkeit V_{85} (etwa 4-5 km/h weniger).

Da an zwölf Messstellen nach Erneuerung der Fahrbahndecke, aber vor vollständiger Ausstattung der Straße mit Leitlinien, Leitpfosten und Seitenraumgestaltung Messungen durchgeführt wurden, konnte ein Einfluss dieser Einrichtungen auf die Geschwindigkeitswahl isoliert betrachtet werden. An allen Messstellen galt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Anbringen von Markierungen beeinflusste die Geschwindigkeit V_{85} auf Geraden nicht (95 km/h vs. 96 km/h), zeigte jedoch in Kurven eine geschwindigkeitserhöhende Wirkung (etwa 4-7 km/h, je nach Richtung). Nach dem Anbringen von Leitpfosten wurde an einer Messstelle eine Geschwindigkeit V_{85} von 100 km/h statt 103 km/h gemessen; dieser Rückgang ist aber durch den allgemeinen Trend zur Geschwindigkeitsreduktion zwischen den betrachteten Messintervallen erklärbar. Ein praktisch identischer Befund zeigte sich für Steckenabschnitte, an denen eine Schutzplanke angebracht wurde.

Bei den Betrachtungen der Messergebnisse ließen LIPPARD/MEEWES (1994) mögliche Effekte durch einen Einfluss der Veränderung der Fahr-

bahnbreiten außer Acht. Aussagen zu den diversen Ausstattungselementen sind ebenfalls in Elementkombinationen möglich, an denen nicht nur ein einzelnes Ausstattungselement geändert wurde, sondern direkt eine Gruppe von Elementen sowie ein Einfluss durch neue Fahrbahnen und auch die Verbreiterung der Fahrbahnen vorhanden ist. Als Untersuchungsmethodik kam ein Vergleich der arithmetischen Mittelwerte zum Einsatz, ohne durch entsprechende Korrelationen verschiedene Einflüsse auszuschließen. Hier lassen sich Tendenzen für den Einfluss der einzelnen Kombinationen in den Mittelwerten der Geschwindigkeit V_{85} freifahrender Pkw erkennen.

Auf einer geraden Straße im Wald kam es laut LIPPARD/MEEWES (1994) z. B. durch eine neue Fahrbahndecke, die Wegnahme der Leitpfosten und eine um 0,9 m breitere Fahrbahn zu einer Geschwindigkeitszunahme um etwa 7 km/h. Die Geschwindigkeit reduzierte sich wieder um etwa 3 km/h durch die Anbringung von Leitpfosten und noch mal um etwa 2-3 km/h bei Beschilderung der zulässigen Geschwindigkeit (Bild 17 und Bild 18).

Eine weitere Messstelle zeigte, dass durch das Anbringen von Schutzplanken und gleichzeitig Richtungstafeln in einer scharfen Alleenkurve (Richtungsänderung 80 gon, Kurvenradius 100 m) als Zusatz zu Baumspiegeln keine Geschwindigkeitsreduzierung auftrat (Bild 19).

In der Kombination Beschilderung der zulässigen Geschwindigkeit und gleichzeitiger Ausstattung mit Richtungstafeln (Zeichen 625 StVO) war anhand eines weiteren Beispiels einer Alleenkurve im Wald (Richtungsänderung 40 gon, Kurvenradius 200 m) ein Geschwindigkeitsrückgang um im Mittel 4 km/h der frei fahrenden Pkw festzustellen (Bild 20).



Bild 17: Ausbauzustand während der Messintervalle „Vorher“ und „Zwischen“ (LIPPARD/MEEWES, 1994)



Bild 18: Ausbauzustand während der Messintervalle „Nachher-1“ und „Nachher-2“ (LIPPHARD/MEEWES, 1994)



Bild 19: Ausbauzustand während der Messintervalle „Vorher“, „Nachher-1“ und „Nachher-2“ (LIPPHARD/MEEWES, 1994)



Bild 20: Ausbauzustand während der Messintervalle „Vorher“, „Zwischen“, „Nachher-1“ und „Nachher-2“ (LIPPHARD/MEEWES, 1994)

Bei dem Vergleich der Geschwindigkeiten eines Knotenpunktes ohne LSA, alter Fahrbahndecke, stark zerstörter Markierung und ohne Geschwindigkeitsbeschränkung mit den Geschwindigkeiten für den Fall Knotenpunkt mit LSA, neuer Fahrbahndecke, neuer Markierung und Geschwindigkeitsbeschränkung konnte eine Geschwindigkeitsreduzierung um im Mittel 24 km/h der frei fahrenden Pkw ausgemacht werden (Bild 21).

Über das Geschwindigkeitsverhalten in Alleen im Vergleich zum freien Feld oder Allee im Wald konnte auf Basis der Ergebnisse von LIPPHARD/MEEWES (1994) keine Aussage getroffen werden, da keine vergleichbaren Fälle mit u. a. gleicher Fahrbahnbreite usw. vorhanden waren.

WEISE/STEYER (1999) betrachteten in ihrer Untersuchung, wie Umgestaltungsmaßnahmen von zweistreifigen Landstraßenkurven mit erhöhtem Unfallrisiko das Fahrerverhalten beeinflussten. Dazu erfolgte die Erfassung des Fahrerverhaltens unbeeinflusst fahrender Pkw über Querschnittsmessungen, Verfolgungsfahrten, Einsatzfahrten mit einem Probandenkollektiv und Spurverhaltensmessungen an geeigneten Kombinationen von Ausstattungsmerkmalen in fünf unfallträchtigen Landstraßenkurven. Dabei analysierten sie, wie vergrößerte Kurventafeln, gelbes retroreflektierendes Band auf den abgeflachten Teilen der Schutzplankeholme, Quermarkierungen (optische Bremse), variable Leitpfostenabstände und höhere Leitpfosten im Kurvenbereich auf das Fahrerverhalten wirken. Die Kurvenradien betragen 50 m bis 190 m, die teilweise in Form der Wendelinie, teilweise mit Korbbogen, aber auch ohne Klothoiden ausgeführt waren. Die Ergebnisse eines Vorher-Nachher-Vergleichs waren je nach Maßnahme und Kurvenklassifizierung – dabei gingen die Parameter des Er-

scheinungsbilds der Kurve, die Sichtweite und die kurvenspezifischen Richtungsänderungen mit ein – unterschiedlich. Subjektiv wurden die umgestalteten Kurven als besser erkennbar und sicherer befahrbar bewertet (besonders bei Ausstattung mit vergrößerten Kurventafeln und retroreflektierendem Band); allerdings zeigten sich keine konsistenten Wirkungen auf die Geschwindigkeitswahl. Tendenziell schienen Kurven nach der Umgestaltung zwar früher/besser erkannt zu werden, was zu einer geringeren Belastung der Fahrer (gemessen über die Herzratenvariabilität) führte, doch dieser potenzielle Sicherheitsgewinn wurde durch spätere Verzögerung (Verzögerung erst in, nicht vor der Kurve) und leicht höhere Geschwindigkeiten kompensiert. Ob also durch die bessere optische Führung und die daraus resultierende, zum Vorher-Fall unterschiedliche Einregelung der Kurvenfahrt eine Verbesserung oder Verschlechterung erzeugt wird, muss über weitere Unfallanalysen der untersuchten Kurvenbereiche festgestellt werden.

Für die optische Bremse, d. h. Quermarkierungen auf der Fahrbahn, deren Breite und Abstand in Richtung des Kurveneingangs geringer werden, ergab sich nicht die erwünschte geschwindigkeitsreduzierende Wirkung. Die modifizierten Leitpfostenabstände erbrachten ebenfalls keine konkreten Auswirkungen auf das Fahrerverhalten, allenfalls eine nicht genauer identifizierbare Mitwirkung bzw. verstärkende Wirkung der anderen Elemente. Auch das gelbe Band auf den Schutzplankenholmen entfaltete seine Leitwirkung nicht konsistent; in zwei Kurven zeigte sich keinerlei Effekt auf Fahrerverhaltensparameter.

KREBS/DAMIANOFF (1983) konnten in ihrer Studie geschwindigkeitsmindernde Effekte durch verschiedene Beschilderungen, u. a. durch Zeichen



Bild 21: Ausbauzustand während der Messintervalle „Vorher“ und „Nachher“ (LIPPHARD/MEEWES, 1994)

103, 104 oder 105 StVO (Kurvenzeichen), lokale Beschränkung der Geschwindigkeit auf 70 km/h, mit Zeichen 625 StVO (schraffierte Leit- bzw. Richtungstafeln), Zeichen 101 StVO (Gefahrstelle) mit Zusatzschild „Kuppe“ sowie Kombinationen dieser, nachweisen. Die Untersuchungen erfolgten an acht Messstrecken mit jeweils vier hintereinander liegenden Messquerschnitten vor den Gefahren- bzw. Kurvenbereichen mit Kurvenradien zwischen 80 m und 500 m, wobei alle Kurven am Ende einer längeren Geraden lagen, die dem Fahrer eine freie Geschwindigkeitswahl ermöglichte. Eine allgemein gültige Abstufung der geschwindigkeitsbeeinflussenden Maßnahmen ergab die Tendenz, dass die Maßnahmen einzeln betrachtet in der Reihenfolge Richtungstafeln (am stärksten), dann Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit und als letztes Kurvenzeichen die Veränderung im Geschwindigkeitsverhalten bestimmen. Da die verschiedenen Varianten in nur geringem Stichprobenumfang untersucht wurden, gelten die getroffenen Aussagen über die allgemein gültige Abstufung nur eingeschränkt. Die Abnahmen der Geschwindigkeit V_{85} betragen im Mittel je nach Maßnahmenkombination bzw. Einzelmaßnahme zwischen 4 % und 6 %, was Extremwerte der Geschwindigkeitsabnahmen von teilweise bis 12 % bedeutete. Durch aufgelöste Richtungstafeln erzeugte Geschwindigkeitsabnahmen konnten bis in niedrigere Geschwindigkeitsniveaus festgestellt werden, wobei schnelle Fahrzeuge ihre Geschwindigkeit relativ stärker verminderten. Die stärksten Veränderungen in der Geschwindigkeit konnte durch die Kombination aufgelöster Richtungstafeln mit der Beschilderung des Kurvenzeichens erreicht werden, die Geschwindigkeitsbeschränkung zusammen mit dem Kurvenzeichen erzielte ebenfalls Werte der Geschwindigkeitsabnahme in diesem Bereich. Konnten Richtungstafeln so angeordnet werden, dass sich eine deutliche kontinuierliche optische Führung des Kurvenverlaufs ergab, so schienen zusätzliche Maßnahmen keine Auswirkungen mehr auf das Geschwindigkeitsverhalten zu haben. Jedoch bleibt generell festzuhalten, dass Kombinationen der Maßnahmen stärker wirken als die einzelnen Maßnahmen alleine. Eine makroskopische Betrachtung des Fahrerverhaltens am Querschnitt ergab zwar generell homogenere Geschwindigkeiten, jedoch differierte das Bremsverhalten der einzelnen Fahrer auf einigen Versuchsstrecken nach der Maßnahme stärker als vorher.

TRIGGS/FILDES (1986) zeigten computermanipulierte Dias von echten Kurven auf Landstraßen, die mit unterschiedlichen Leiteinrichtungen versehen

waren: Markierungen in der Fahrbahnmitte, Markierungen in der Fahrbahnmitte und an der Fahrbahnbegrenzung, Markierungen in der Fahrbahnmitte und Leitpfosten, Markierungen in der Fahrbahnmitte und an der Fahrbahnbegrenzung und Leitpfosten. Die Aufnahmen zeigten die Kurve aus Fahrersicht in einer Entfernung von 60 m/120 m/180 m vom Kurveneingang. Die Kurven verliefen in der Ebene bzw. auf Kuppen und in Wannen. Die Versuchspersonen sollten so schnell wie möglich die Richtung der Kurve angeben. Die Leistung der Versuchspersonen verbesserte sich, wenn Leitpfosten verfügbar waren; Veränderungen der Markierungen hatten hier keinen Einfluss. Da ein Defokussieren der Versuchspersonen auf -2 Dioptrien das Leistungsmuster nicht änderte, folgerten TRIGGS/FILDES (1986), dass die Detektion der Kurvenrichtung in diesem Fall wohl nicht (ausschließlich) foveal erfolgt. Ebenso zeigte sich kein Einfluss einer Reduktion der Beleuchtung. Eine Replikation der Untersuchung mit kurzen Filmsequenzen anstelle von Dias ergab, dass alle künstlichen Leiteinrichtungen die Erkennbarkeit der Kurve erhöhten, wobei Leitpfosten am stärksten wirkten.

Die Erkennbarkeit der Kurve erhöhte sich dabei, wenn Leitpfosten an der Kurvenaußenseite oder auf beiden Seiten standen und wenn sich die Frequenz der Leitpfosten in der Kurve erhöhte. Zweck der Untersuchung war eine Identifikation wirtschaftlicher Methoden zur Markierung von Kurven, z. B. durch einseitige Leitpfostenreihen (was in Australien wegen der großen Streckenlängen ins Gewicht fällt).

CAVALLO et al. (1998) untersuchten die Einschätzung der Zeit bis zur Kollision mit statischen Objekten in einem klassischen Okklusionsparadigma. Dem Fahrer wurde einige Zeit vor der Kollision mit dem Objekt die Sicht auf die Szene genommen; er sollte dann eine Reaktionstaste drücken, wenn bei gleich bleibender Geschwindigkeit das Objekt an der Zielposition angekommen wäre. Dabei zeigte sich eine höhere Konsistenz der Zeiturteile bei durchgehend systematischer Unterschätzung der wahren Ankunftszeit bei Simulationsumgebungen, die mehr visuelle Information zur Verfügung stellten (Textur, Markierungen an der Fahrbahnbegrenzung, Leitpfosten).

ELVIK/VAA (2004) fassten die Ergebnisse von 38 Studien zur Wirkung von Straßenmarkierungsmaßnahmen auf die Unfallzahlen in Metaanalysen zusammen und fanden keine signifikanten Reduktio-

nen der Unfälle bei Auftragen einer Markierung an der Fahrbahnbegrenzung, Verbreiterung dieser Markierungen von 10 cm auf 20 cm, Auftragen einer durchgezogenen Markierung zum Gegenverkehr, einer gelben statt weißen Markierung, einer durchgezogenen Markierung zwischen Fahrzeugen in einer Richtung, erhöhten Markierungen und Leitpfosten mit Reflektoren. Dagegen führten Rumble Strips im Seitenstreifen zu einer Reduktion der Unfallzahlen um etwa 30 %. Auch Kombinationen von Markierungen an der Fahrbahnbegrenzung und in der Fahrbahnmitte schienen zu wirken (Reduktion der Unfälle um etwa 24 %; dabei ist unklar, ob die Strecken vorher überhaupt nicht markiert waren).

4.4.3 Verkehrszeichen

JENNSEN/BREKKE (1999) verglichen normale und tagleuchtende Verkehrszeichen. Fluoreszierende Verkehrszeichen wurden im Labor aus größerer Distanz früher fixiert als normale Verkehrszeichen. Diese Ergebnisse bestätigen STEINAUER et al. (2005) mit ihrer Untersuchung hinsichtlich von Einsatzmöglichkeiten und Sicherheitswirkungen fluoreszierender Materialien bei Verkehrszeichen und Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen auf Bundesautobahnen. Die Fahrerverhaltensuntersuchungen von STEINAUER et al. (2005) zeigten, dass durch die veränderte Gestaltung der Beschilderung die Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Zulaufbereich eingedämmt wurden. Insbesondere bei Dämmerung war hierbei eine deutliche geschwindigkeitsreduzierende Wirkung festzustellen. Über Befragungen konnte zusätzlich ermittelt werden, dass die veränderten Beschilderungen von vielen Kraftfahrern nicht bewusst wahrgenommen wurden. Speziell für diese Untersuchung neu gestaltete Verkehrszeichen und Leiteinrichtungen wurden vom überwiegenden Teil der Befragten als Verbesserung gegenüber der herkömmlichen Beschilderung bewertet. Inwieweit sich diese Ergebnisse auf Landstraßen übertragen lassen, wurde nicht untersucht.

Eine Installation der fluoreszierenden Verkehrszeichen auf einer unfallträchtigen Strecke führte bei JENNSEN/BREKKE (1999) zu einer verringerten Reisegeschwindigkeit der Fahrzeuge von 72 km/h auf 68 km/h.

RÄMÄ/KULMALA (2000) zeigten, dass Wechselverkehrszeichen, die vorhandene Straßenglätte anzeigen und eine Abstandsempfehlung geben, zu leicht reduzierten Geschwindigkeiten (1,2 km/h) und etwas günstigeren Verteilungen der Abstände

führen. LUOMA et al. (2000) wiesen nach, dass es durch diese Wechselverkehrszeichen nicht zu höherer Belastung oder Risikokompensation bei den Fahrern kommt.

KAYSER/STRUIF (1993) untersuchten anhand eines Vorher-Nachher-Vergleichs die Maßnahmen, wie eine Beschilderung mit Hinweis auf eine gute Überholsichtweite und eine Ummarkierung von einer Leitlinie zu einer Warnlinie auf den Prozess der Überholentscheidung wirken (Bild 22). Dabei kamen sie zu dem Schluss: „Die Auswertung der Messdaten zeigte weder für die Veränderung der Leitlinie zu einer Warnlinie noch für die Aufstellung der Hinweisschilder eine Veränderung des Überholverhaltens.“ Allerdings lässt sich aus ihren Ergebnissen eine Tendenz zum Einfluss der untersuchten Maßnahmen auf die Geschwindigkeit ableiten. Die Messungen der Geschwindigkeiten erfolgten dabei durch ein im Verkehr mitschwimmendes Fahrzeug und zusätzliche Videoaufzeichnungen von einem erhöhten Standort aus.

Durch die Ummarkierung der Straße konnte die Geschwindigkeit V_{85} im Bereich ungünstiger Überholsichtweiten um etwa 2 km/h und im Bereich mit Möglichkeiten des gefahrlosen Überholens um 8 km/h reduziert werden (vgl. dazu die Bilder 23 und 24). Eine denkbare Erklärung liegt in einer Verbesserung der Geschwindigkeitswahrnehmung durch die Verfügbarkeit hochkontrastiger Texturreize in der Netzhautperipherie. Allerdings sind auch andere Erklärungen wie eine gelernte Assoziation der Warnlinie mit zu reduzierender Geschwindigkeit (z. B. vor Kurven) oder nicht im Versuch kontrollierte Trends der Geschwindigkeitsänderung nicht auszuschließen.

Zusätzlich zur Ummarkierung erfolgte das Aufstellen von Hinweisschildern, mit Hinweis auf eine gute Überholmöglichkeit im vorausliegenden Streckenabschnitt (2. Nachherzustand). Die Geschwindigkeitsverteilungen veränderten sich für diesen Fall kaum: Im Bereich ungünstiger Überholsichtweite konnte eine um 4 km/h geringere, im Bereich des gefahrlosen Überholens eine um 5 km/h geringere Geschwindigkeit V_{85} festgestellt werden.²⁵

Der Einfluss von Gewöhnungseffekten wurde jedoch nicht näher untersucht, obwohl diese gege-

²⁵ Während aller drei Messzustände waren etwa gleich gute Überholmöglichkeiten sowie vergleichbare Verkehrszustände vorhanden.

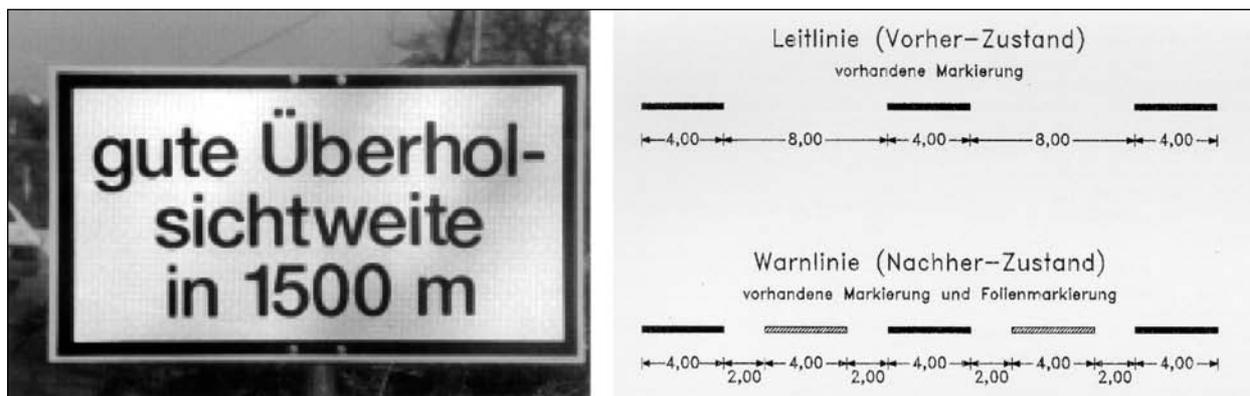


Bild 22: Untersuchte Maßnahmen „Beschilderung einer guten Überhol-sichtweite“ und „Ummarkierung von Leitlinie zur Warnlinie“ (KAYSER/STRUIF, 1993)

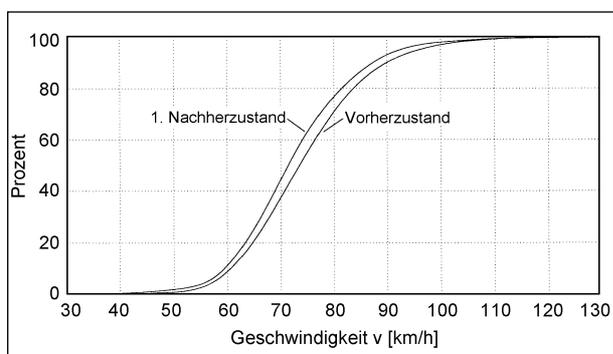


Bild 23: Gegenüberstellung der Geschwindigkeitsverteilungen für den Bereich mit ungünstiger Überhol-sichtweite (Vorherzustand zu 1. Nachherzustand, d. h. nach Ummarkierung; KAYSER/STRUIF, 1993)

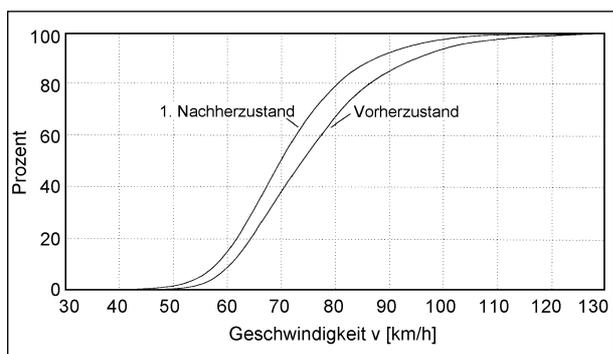


Bild 24: Gegenüberstellung der Geschwindigkeitsverteilungen für den Bereich des gefahrlosen Überholens (Vorherzustand zu 1. Nachherzustand, d. h. nach Ummarkierung; KAYSER/STRUIF, 1993)

benenfalls zumindest im Bereich des gefahrlosen Überholens eine Rolle für das wieder erhöhte Geschwindigkeitsniveau gespielt haben könnten.

4.4.4 Neue Ausstattungsmerkmale

SHINAR/ROCKWELL/MALECKI (1980) untersuchten verschiedene Möglichkeiten, gefährliche Kurven auf realen Strecken durch Ankündigung oder

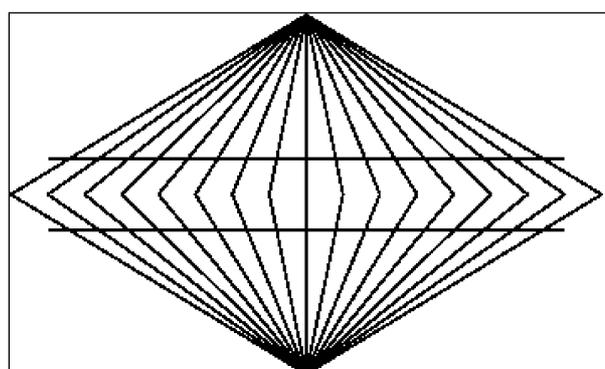


Bild 25: Wundt-Täuschung. Die waagerechten Linien sind gerade und parallel. Als Straßenmarkierung werden nur die Teile der Zeichnung zwischen den waagerechten Linien aufgetragen; dadurch soll sich die Straße optisch verengen (der Fahrer sieht die Linien in diesem Fall aus einer anderen Perspektive)

verbesserte Wahrnehmung zu entschärfen. Dazu verwendeten sie vier verschiedene Maßnahmen: Verbreiterung der Markierung an der Fahrbahnbegrenzung auf der Kurveninnenseite (verkleinert den Kurveninnenwinkel), winkelförmige Querstreifen auf der Fahrbahn, deren Öffnungswinkel zur Kurvenmitte abnimmt (= Wundt-Täuschung, macht die Straße optisch schmaler, vgl. Bild 25), gerade Querstreifen mit abnehmender Distanz, die den optischen Fluss in der Peripherie erhöhen sollten, sowie ein verbales Hinweisschild als Basisbedingung. Die mittleren Geschwindigkeiten vor der Kurve änderten sich stärker für Lastkraftwagen als für Pkw; Ähnliches galt für die Anteile von „Rasern“. Am deutlichsten war der Effekt bei den Querstreifen mit enger werdenden Abständen bei Lkw (etwa 13 km/h), sonst lag die Reduktion der Geschwindigkeit im Bereich von 5 km/h. Dagegen hatte die symbolische Information des Verkehrszeichens überhaupt keinen Effekt. Es gibt also schwache Indikatoren für eine Wirksamkeit solcher spezi-

ellen Markierungen, wobei über das Generalisieren des Effekts keine Aussagen getroffen werden können.

RAY (1994) stellte ein Computerprogramm vor, das eine Skalierung der Sicherheit von Streckenabschnitten in Abhängigkeit von Trassierungsmerkmalen wie Radius, Krümmung, Böschungswinkel usw. und Ausstattungsmerkmalen erlaubt. Die Sicherheitsbewertung beruhte auf einer mathematischen Modellierung der Wahrscheinlichkeit für Einzelfahrzeugunfälle, die auf eine unspezifizierte Art und Weise aus linearen Kombinationen von Streckenparametern hergeleitet wurden. Ziel war allerdings nicht, empirisch validierte Modelle der Unfallwahrscheinlichkeit aufzustellen, sondern eine integrierte Arbeitsumgebung zu schaffen, die dem Ingenieur die Sicherheitsbewertung einer Strecke erlaubt, wenn geeignete Modelle existieren. RAY (1994) liefert keine Erkenntnisse, die hier weiter verwendet werden könnten.

ASHMAN et al. (1994) untersuchten verschiedene Möglichkeiten, mit denen älteren Fahrern eine sichere Teilnahme am Straßenverkehr ermöglicht werden könnte. Neben physischer Therapie zur Erhöhung der Beweglichkeit wurden auch Veränderungen der Straßenumgebung vorgenommen, die im Wesentlichen in einer deutlicheren Beschilderung und Markierung von Kreuzungen bestanden. Diese Maßnahmen verbesserten ebenso wie andere Eingriffe die Leistung der betrachteten Fahrergruppe. ASHMAN et al. (1994) fügten eine Betrachtung der Kosteneffektivität der Maßnahmen an. Danach seien straßenbauliche Verbesserungen auf dicht befahrenen Straßen kosteneffektiver als individuelle Trainingsmaßnahmen. Leider sind die konkreten Ausprägungen der Verbesserungen nicht beschrieben.

De WAARD et al. (1995) beschrieben das Problem, das in den Niederlanden zum Forschungsprogramm der „Selbsterklärenden Straße“ geführt hat. Auf niederländischen Landstraßen mischen sich langsamer (landwirtschaftlicher) Verkehr, Radfahrverkehr und schnelle Fahrzeuge. Durch die inhomogenen Geschwindigkeiten bestand ein höheres Risiko für Auffahrunfälle und Überholunfälle. Aus diesem Grund wurde für diese Straßen ein generelles Tempolimit von 80 km/h eingeführt, das nicht gesondert angezeigt wird. Die Entwurfsgeschwindigkeit dieser Strecken liegt aber aus Sicherheitsgründen über dem Tempolimit, sodass im Allgemeinen erheblich höhere Geschwindigkeiten gefahren werden (können). Ziel der Studie war es, das

Tempolimit von 80 km/h durch Manipulation der Straßenausstattung implizit durchzusetzen. Dazu wurden zwei Straßen (kurvenreich durch ein Waldgebiet, gerade durch Moorlandschaft) abschnittsweise folgendermaßen verändert:

- Die weiße Markierung an der Fahrbahnbegrenzung wurde entfernt, um die Spurführung zu erschweren,
- die Breite der Mittellinie wurde verdreifacht (auf 30 cm),
- unter der Mittellinie wurden Splittstreifen (chip pings) angebracht, die beim Überfahren Vibrationen und Geräusche im Fahrzeug erzeugen,
- anstelle der Markierung an der Fahrbahnbegrenzung wurden Blöcke aus Splitt angebracht, die beim Überfahren mit Geschwindigkeiten größer 80 km/h zu unangenehmen Vibrationen und Geräuschen führen.

Durch diese Maßnahmen wurde der komfortabel befahrbare Fahrstreifen von 2,70 m auf 2,25 m reduziert. Da angenommen wurde, dass die Fahrer komfortabel fahren wollen und die Belastung auf einem geringen Niveau halten wollen, müssten sie, um die notwendige genauere Spurführung zu erreichen, ihre Geschwindigkeit reduzieren (wie im TLC-Ansatz von GODTHELP/MILGRAM/BLAAUW 1984).²⁶ Die Ausprägungen der Mittellinienbreite und der Blockabstände waren zuvor in einem Simulatorversuch ermittelt worden (van der HORST, 1996); dort zeigte sich eine Geschwindigkeitsreduktion von 3 km/h bis 5 km/h, wenn Rumble Strips eingesetzt wurden, und von etwa 4 km/h bei Verengung des Fahrstreifens.

Zusätzlich wurde

- nach jeder Kreuzung die Zahl 80 auf die Fahrbahndecke gemalt,
- die Leitpfosten, außer auf der Kurvenaußenseite abgeschafft und
- neue Leitpfosten im Abstand von 500 m aufgestellt, die oben in einem roten Kreis die Zahl 80 trugen.

Diese Maßnahmen dienten als kognitive Hinweisreize, dass man sich auf einer Straße befindet, auf der das Tempolimit 80 km/h gilt (vgl. Bild 26 und

²⁶ Vgl. auch Kapitel 4.1.2 und Kapitel 4.1.3

Bild 27; in beiden Bildern sind nicht alle beschriebenen Manipulationen erkennbar).

28 Versuchspersonen fuhren mit einem instrumentierten Fahrzeug die Straße „wie normal“ ab. Gemessen wurden Spurhaltung, Geschwindigkeit, Herzrate, Elektro-Myographie (EMG) und die Anmutung der Straße (RECL-Fragebogen). Die experimentelle Variation resultierte in

- näherem Fahren an der Mittellinie,
- geringerer Spurunsicherheit, gemessen als Standardabweichung der seitlichen Position im Fahrstreifen (so genannte SDLP; etwa 1,20 cm),
- stärkerem Hochfrequenz-Anteil in der Lenkbewegung, d. h. mehr raschen Lenkkorrekturen,

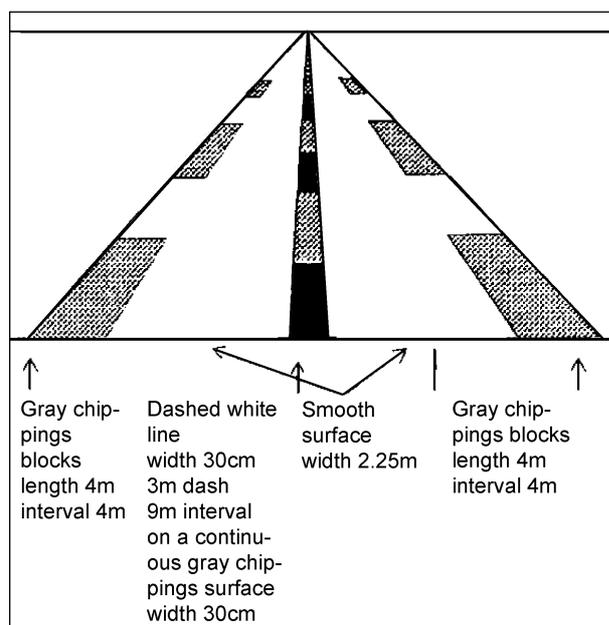


Bild 26: Schematische Darstellung der Manipulation der Straßenausstattung (STEYVERS, 1999)



Bild 27: Ansicht der realen Strecke (van der HORST, 1996)

- etwas langsamerem Fahren (84 km/h statt 87 km/h auf kurvenreicher Straße, 87 km/h statt 88,5 km/h auf gerader Straße),
- Herzratenmaße zeigten nur bei einer Straße die erwarteten Unterschiede,
- EMG reagierte nicht (nur auf Straßentyp),
- Befragung zeigte, dass der hedonistische Wert der experimentellen Abschnitte geringer war.

Der „hedonistische Wert“ ergibt sich aus einer Kombination von Ratingskalen des Einstellungsfragebogens; dazu wurden Urteile über die Strecke auf den Skalen „bedrohlich“, „bedrückend“, „gefährlich“, „fordernd“, „irritierend“, „entspannend“, „gute Übersicht“, „erfreulich“, „geräumig“, „friedlich“, „sicher“ gewichtet addiert (für Details zur Entwicklung des RECL-Fragebogens siehe STEYVERS, 1993, oder STEYVERS et al., 1994); im Prinzip wurde also beurteilt, wie angenehm die Straße zu befahren war.

Videobeobachtungen von Fahrzeugen im Realverkehr auf solchen Straßen zeigten, dass die Spurlage sich nicht verschlechterte, was auf Grund der Simulatoruntersuchung befürchtet worden war (van der HORST, 1996). In einer späteren Veröffentlichung (STEYVERS, 1999) wurde auch über Langzeitmessungen (2 Jahre) berichtet: Demnach reduzierte sich die mittlere gefahrene Geschwindigkeit auf den manipulierten Streckenabschnitten um maximal 4,5 km/h. Eine Analyse der Unfallzahlen zeigte einen Trend zur Reduktion der Unfälle. Allerdings berichteten beide Veröffentlichungen auch über Probleme mit der Haltbarkeit der Einrichtungen (die Splittstreifen werden durch landwirtschaftlichen Verkehr abgerieben). Auch eine Verschiebung des Unfallgeschehens auf Grund der Wahl von Alternativrouten kann nicht ausgeschlossen werden. Insgesamt erscheint der Effekt der – doch recht massiven – Eingriffe in die Straßengestaltung eher gering.

Im EU-Projekt „Managing Speed of Traffic on European Roads“ wurden verschiedene Maßnahmen zur Geschwindigkeitsbeeinflussung analysiert (KALLBERG et al., 1999). Die Literaturanalyse (MARTENS/COMTE/KAPTEIN, 1997) ergab dabei eine Überlegenheit physikalischer Eingriffe wie Schwellen, Verschwenkungen oder physikalische Verengung der Fahrbahn. Für die Geschwindigkeitsreduktion vor Gefahrenpunkten lassen sich auch spezielle Fahrbahnmarkierungen (Querstreifen)

fen mit reduzierten Abständen, eventuell auch als Rumble Strips) einsetzen. Ähnliche Ergebnisse berichtet SCHNULL/LANGE (1992).

CAIRNEY (1995) wies darauf hin, dass Rumble Strips im Seitenstreifen so ausgeführt werden müssen, dass das Überfahren auch von gefährdeten Fahrern wahrgenommen werden kann. Bei Versuchen mit Markierungen unterschiedlicher Höhe (4-8 mm) und Abstände (50-450 mm) stellte er fest, dass die Warnwirkung nur für Pkw und Geländewagen gegeben ist. In den Kabinen unbeladener Lkw ist das Überfahren einer 8 mm hohen Markierung praktisch nicht wahrnehmbar, da erhebliche Grundlärmpiegel und Vibrationsbelastungen vorliegen.

4.4.5 Wahrnehmung von Ausstattungsmerkmalen

Die interessante Frage, ob Elemente der Straßenausstattung überhaupt vom Fahrer bemerkt werden, wurde von HUGHES/COLE (1986) an einer innerorts gelegenen Straße untersucht. Sie ließen Versuchspersonen bei einer Fahrt durch bebauten Gebiet frei berichten, welche Objekte ihre Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Eine Klassifikation der Berichte in acht Kategorien zeigte, dass ein erheblicher Teil der attendierten Objekte nicht fahraufgabenrelevant war (Werbetafeln, Vegetation, Gebäude). Nur 15-20 % der Berichte entfielen auf Verkehrszeichen. Allerdings ist die Schlussfolgerung von HUGHES/COLE (1986), dass nur 20 % der gesamten Aufmerksamkeit auf Verkehrszeichen entfielen und daher wohl nur eines von zehn Zeichen beachtet würde, nicht korrekt, da nur geprüft wurde, ob ein Verkehrszeichen genannt wurde, jedoch nicht, ob ein Verkehrszeichen genannt wurde, wenn es vorhanden war. Andererseits ist die Folgerung, dass bei der vorgegebenen Fahraufgabe reichlich freie Kapazität zum Umherblicken blieb, wohl korrekt.

MacDONALD/HOFFMANN (1991) nutzten ein ähnliches Paradigma zur Evaluation eines Laborverfahrens zur Untersuchung der Erkennbarkeit von Beschilderungen. Sie ließen Fahrer im Realverkehr während einer Okklusion alle fahrtrelevanten Objekte berichten. Es zeigte sich, dass Beschilderungen, die mit höherer Wahrscheinlichkeit eine Reaktion des Fahrers erfordern, häufiger registriert und zugleich auch berichtet wurden. Ähnliche Ergebnisse berichteten SUMMALA/HIETAMAKI (1984). Untersuchungen von BARTMANN/SPIJKERS/

HESS (1991) zeigten, dass die Häufigkeit, mit der fahrrelevante und irrelevante Objekte angeblickt werden, stark individuell variiert. Auch spielt die Verkehrsdichte eine erhebliche Rolle (im Stadtverkehr werden mehr relevante Objekte fixiert als auf Landstraßen). Dabei spielen offensichtlich Schemata für übliche Verkehrsszenen eine große Rolle; so steigen die Suchzeiten für ein Straßenschild erheblich an, wenn dieselbe Szene spiegelverkehrt dargeboten wird. Dabei bleiben der Kontrast des Schildes zum Hintergrund und die generelle Struktur der Szene erhalten, aber das Schild befindet sich an einem „nicht-kanonischen“ Ort (THEEUWES, 1995).

FISHER (1992) berichtete über eine bessere Methode, die Wirkung von Warnschildern zu untersuchen. Üblicherweise werden Fahrer nach den Verkehrszeichen angehalten und nach dem Inhalt der Zeichen befragt. Hier fuhr FISHER (1992) per Anhalter bei Verkehrsteilnehmern mit und befragte sie nach der Vorbeifahrt an einer signalisierten Gefahrenstelle über die Verkehrszeichen und beobachtete das Antizipationsverhalten. Dabei zeigte sich, dass eine Verhaltensänderung durch das Verkehrszeichen nicht mit der Erinnerung an das Zeichen korreliert; es gab also Fahrer, die ihre Geschwindigkeit auf Grund des Verkehrszeichens anpassten, sich jedoch nicht an den Inhalt des Zeichens erinnern konnten. Die Wirkung von Warnschildern muss also über eine Verhaltensbeobachtung geprüft werden; ein Verbalreport ist nicht geeignet.

Eine weitere Methode zur Ermittlung der Objekte, die der Fahrer beachtet, besteht in der Überwachung des Blickverhaltens. LUOMA (1988) untersuchte beispielsweise, ob bei einer Fahrt auf einer Landstraße im Realverkehr Verkehrszeichen, Richtungspfeile, Fußgängerüberwege, Werbetafeln oder Häuser angeblickt wurden und ob diese Straßenelemente anschließend auch berichtet werden konnten. Dabei zeigte sich für einige verkehrsrelevante Elemente (Ankündigungsschild „Fußgängerüberweg“, Schild „Fußgängerüberweg“, Zebrastrifen-Markierung), dass diese Elemente im Straßenraum zwar fixiert, aber anschließend nicht erinnert werden konnten. Dagegen konnte das Fehlen eines Fußgängerüberwegs oder Markierungen für Abbiegestreifen korrekt berichtet werden, obwohl die Blickaufzeichnung keine Fixation auf die relevanten Streckenabschnitte registrierte.

Zu kritisieren ist an dieser Untersuchung, dass auf die Wahrnehmung eines Elements aus dem

nachträglichen Bericht geschlossen wird (der Autor schreibt auch von „perception“, wenn eigentlich „recall“ gemeint ist), was Wahrnehmungs- und Gedächtniseffekte konfundiert (vgl. FISHER, 1992), und dass keine Verhaltensänderungen beobachtet werden.

4.5 Hypothese 5: „Seitenraumgestaltung vs. Querschnittsbreite“

„Die Seitenraumgestaltung und angrenzende Nutzung, insbesondere straßenseitige Bepflanzung, beeinflussen das Fahrerverhalten stärker als die Querschnittsbreite.“

BERTHELON/MESTRE/NACHTERGAELE (1998) untersuchten die Einschätzung der Geschwindigkeit anderer Fahrzeuge in Abhängigkeit der Vielfalt einer simulierten Straßenumgebung. In ihren Experimenten fuhren die Fahrer in einer Bildschirmsimulation an eine rechtwinklige Kreuzung heran, an die sich von rechts ein Fahrzeug annäherte, das die Kreuzung entweder vor oder nach dem Beobachter erreichte. Das Einbringen von Straßenmarkierungen, die optischen Fluss erzeugen, führte zu einer Tendenz der Versuchspersonen, die Ankunft des Fremdfahrzeugs später zu schätzen. Fügt man allerdings noch feste vertikale Referenzreize (hier: Bäume an der Querstraße) ein, so reduzierte sich diese Reaktionstendenz (modifiziert durch Persönlichkeitsvariablen wie Feldabhängigkeit, vgl. BERTHELON et al., 1998). Interessanterweise zeigte sich in einer weiteren Variante des Experiments kein Einfluss eines texturierten Seitenraums auf die Schätzungen; in dieser Aufgabe schien nur die Textur der simulierten Straße genutzt zu werden.

Pilotuntersuchungen des IZVW zur Wirkung unterschiedlicher Bepflanzung im Straßenseitenraum auf die Orientierung des Fahrers ergaben eine differenzielle Wirkung aufragender Bepflanzung in Abhängigkeit von Lage- und Höhenplan. Bei dieser Untersuchung wurde im Simulator eine nicht relationstrassierte Strecke ohne künstliche Leiteinrichtungen von fünf Versuchspersonen mehrfach befahren, wobei die Bepflanzung verschiedener Streckenabschnitte systematisch variiert wurde. Es zeigten sich eine gute Übereinstimmung der Geschwindigkeitsprofile mit Daten aus Realfahrten, relativ deutliche Effekte der Änderung der Bepflanzung auf die gefahrene Geschwindigkeit und die Güte der Spurführung und deutliche Effekte geeigneter Bepflanzung (hier: einseitige Baumreihe, Al-

leen oder Buschbepflanzung vs. blickdichter Wald oder freies Feld) auf die Antizipation kritischer Kurven (Singularitäten). So reagierten die Fahrer etwa 1,0 s bis 1,5 s früher auf eine Kurve, wenn der Verlauf der Strecke durch die Bepflanzung erkennbar gemacht wurde. Die Aussagen zur Wirkung unterschiedlicher Seitenraumbepflanzung sind allerdings nicht repräsentativ; die Studie diente zur Prüfung der prinzipiellen Einsetzbarkeit der Methode, nicht zur Erhebung von Unterschieden (LIPPOLD et al., 2004).

Die Untersuchung von ZWIELICH/REKER/FLACH (2001) enthält ebenfalls Aussagen zu Baumalleen und Baumspiegeln. Neben Aussagen zu Baumalleen und Baumspiegeln konnten sie Ergebnisse zu Markierungen, Leitpfosten, Leittafeln und Schutzplanken sowie Kombinationen dieser auf das Fahrerverhalten anhand von 77 Versuchsfahrten mit fahrerbegleitender Beobachtung über eine 195 km lange Strecke mit hoher Unfallbelastung ableiten (vgl. Kapitel 4.4). Die Ergebnisse zu Baumalleen und Baumspiegeln differierten teilweise je nach Jahres- und Tageszeit. Sie kamen zu dem Schluss, dass auf Geraden ein Baumspiegel an in Fahrtrichtung links stehenden Bäumen eine schnellere Fahrweise bewirkt (wenn auch nicht durchgängig) und ein Baumspiegel auf der rechten Seite dagegen zu einer Geschwindigkeitsreduktion führte. Einen tendenziell geschwindigkeitssteigernden Einfluss übten Baumspiegel auf der Kurvenaußenseite aus; auf der Kurveninnenseite von Linkskurven wirkten sie dagegen geschwindigkeitsreduzierend, und in Rechtskurven war kein Einfluss erkennbar. Dass Art und Ausmaß der Wirkung auf das Fahrerverhalten von anderweitigen Gestaltungseigenschaften der Straße darüber hinaus abhängig sind, vermuten sie, können es jedoch nicht explizit belegen. Ein allgemeiner Einfluss der Baumspiegel auf das Seitenabstandsverhalten konnte ebenfalls nicht entdeckt werden, lediglich die rechten Baumspiegel wirkten geringfügig auf Geraden und in Linkskurven abstandsvergrößernd und in Rechtskurven abstandsreduzierend. Ferner ließ sich feststellen, dass die Geschwindigkeit bei dicht bewaldeten Strecken vergleichsweise hoch und bei Baumalleen, die von freiem Feld umgeben sind, vergleichsweise niedrig lag. Eine Reduktion des Seitenabstandes wurde an geraden Straßen mit einem großen Abstand der rechten Bäume zum Fahrbahnrand beobachtet, in Kurven nahm der Abstand zum Fahrbahnrand dagegen leicht zu. Auf Geraden führte das dachbildende Zusammenstoßen der Baumkronen im

Sommer zu einer Reduktion des seitlichen Abstandes, in Rechtskurven wurde die Fahrbahn weiter links außen befahren, bei Linkskurven wurde durch diese Straßenmerkmale kein Effekt beobachtet.

Die Fahrbahnbreite übte starke Einflüsse auf das Seitenabstandsverhalten aus. Auf Geraden wurde auf einer 7,00 m breiten Fahrbahn etwa 75 cm weiter links als auf einer etwa 5,00 m breiten Fahrbahn gefahren; der Unterschied des Spurverhaltens zwischen einer 6,00 m und einer 5,00 m breiten Fahrbahn betrug dagegen nur etwa 35 cm. In Linkskurven sank diese Differenz im Fall 7,00 m und 5,00 m auf 25 cm und im Fall 6,00 m und 5,00 m auf 10 cm; in Rechtskurven war kein Einfluss feststellbar. Damit wirkte die Fahrbahnbreite in nahezu gleichem Maße wie der Abstand der rechten Bäume zum Fahrbahnrand auf das Spurverhalten und nur in einem Fall auch stärker als Leitplanken. Trotz anfänglicher Zielsetzung der Analyse des Einflusses der Querschnittsbreite auf das Geschwindigkeitsverhalten mit möglicher interferierender Wirkung mit den untersuchten Ausstattungselementen kommt diese Studie in dieser Hinsicht zu keinen Aussagen, weder ob noch wie stark dieser Einfluss ist bzw. sein könnte.

MAIER/MEEWES/NEUMANN (1999) untersuchten das Geschwindigkeitsverhalten auf einem etwa 4 km langen geradlinigen Streckenabschnitt (mittlere Fahrbahnbreite etwa 7,30 m) mit drei Induktionsschleifen. Die erste Messstelle befand sich im ersten Drittel einer Allee vor freiem Feld (Abstand der Baumreihen etwa 12 m), die zweite im zweiten Drittel der Allee mit Wald im weiteren Seitenraum und die dritte etwa 1.000 m nach Ende der Allee in einer Walddurchfahrt. Als geschwindigkeitsreduzierende Maßnahme wurde die Allee mit Baumspiegeln beidseitig versehen. In einer späteren Maßnahme wurde ein polizeiliches Tempolimit von 80 km/h für den Alleenbereich angeordnet und durch intensive mobile Geschwindigkeitsüberwachung (48 h/Jahr) durchgesetzt.

Das Anbringen von Baumspiegeln hatte keinerlei Wirkung auf die gefahrenen Geschwindigkeiten in der Allee. Die Geschwindigkeit V_{85} lag ohne Baumspiegel in der Allee bei 115 km/h bzw. 119 km/h, nach Anbringen der Baumspiegel bei 115 km/h bzw. 117 km/h. Die Einführung der Geschwindigkeitsbeschränkung in Kombination mit intensiver Überwachung führte dann zu einer deutlichen Reduktion der gefahrenen Geschwindigkeiten ($V_{85} = 101$ km/h). An der Kontrollmessstelle nach der

Allee lag zur selben Zeit die Geschwindigkeit V_{85} bei 117 km/h bzw. 118 km/h; dort wurde im Zuge der Geschwindigkeitsüberwachung nur dreimal häufiger kontrolliert als früher (in der Allee fünfzehn Mal). Die Geschwindigkeiten der überholenden Fahrzeuge sowie die Anzahl der Überholvorgänge nahmen ebenfalls ab. Dabei waren die Geschwindigkeitsrückgänge in allen Verkehrsstärkebereichen zu erkennen. MAIER/MEEWES/NEUMANN (1999) folgern, dass intensive Geschwindigkeitsüberwachung eine Reduktion der gefahrenen Geschwindigkeiten bewirke, und empfehlen daher – wohl auf Basis anderer Untersuchungen – die Einrichtung ortsfester Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen in Abständen von 1,5 km bis 2,0 km bei gleichzeitiger Anhebung der zulässigen Geschwindigkeit auf hier 100 km/h (zum Thema der Wirksamkeit von Verkehrsüberwachungen und Kontrollmaßnahmen vgl. allerdings auch BJORNSSKAU/ELVIK, 1992).

LIPPARD/MEEWES (1994) kamen in ihrer Untersuchung über den Einfluss der landschaftlichen Umgebung bei geraden Strecken und Helligkeit zu dem Ergebnis, dass beim Vergleich der Landschaftstypen Allee, Wald und freies Umfeld keine erkennbare Beeinflussung des Geschwindigkeitsverhaltens vorliegt: In allen Fällen betrug die Geschwindigkeit V_{85} nach Deckenerneuerung 100 km/h (bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h!). Bemerkenswert ist insbesondere, dass die Fahrbahnbreite in Alleen nur 6,00 m, auf den freien Strecken jedoch 7,00 m betrug. Obwohl man bei Alleen infolge des erhöhten optischen Flusses eine Geschwindigkeitsdämpfung erwarten würde und obwohl üblicherweise bei kleineren Querschnitten etwas langsamer gefahren wird, zeigten sich die Fahrer unbeeinflusst. Bei Strecken mit generellem Tempolimit (100 km/h) ergab sich ein ähnliches Bild: In Alleen betrug die Geschwindigkeit V_{85} 104 km/h, im Wald 99 km/h und auf freier Strecke 102 km/h, wieder unabhängig vom verfügbaren Querschnitt.

LIPPOLD et al. (2004) untersuchten anhand von Querschnittsmessungen mit Radar und Lichtschranke sowie ergänzendem Videomaterial das Spurverhalten auf Geraden und in Kurven in Abhängigkeit der Straßenseitenraumgestaltung – Wiese/Feld, Baumallee, Bepflanzungen (Bäume bzw. Buschwerk) einseitig und Walddurchfahrt. Es wurden zwölf Streckensequenzen mit Querschnittsbreite größer als 6,00 m berücksichtigt. Die Breite der Messstrecken wurde in den weiteren

Analysen nicht mehr als Variable geführt. Um zu vergleichbaren Größen zu kommen, wurde als Spurlagemmaß die Position der Fahrzeugachsen relativ zur Querschnittsbreite berechnet. Unterschiede wurden Geraden, Links- und Rechtskurven.

Auf Geraden zeigte sich ein von der Mitte des eigenen Fahrstreifens links versetztes Fahren bei 84,8 % aller gemessenen Fahrzeuge, unabhängig vom Seitenraum. Bei der Betrachtung der Walddurchfahrt und der Baumallee zeigten sich nahezu identische Werte, das Spurverhalten schien gleich zu sein. Weitere Messquerschnitte zeigten, dass durch eine Bepflanzung auf der rechten Seite eine leichte Verschiebung zur Mitte des eigenen Fahrstreifens hervorgerufen wurde; die Fahrer fuhren also weiter rechts im Fahrstreifen als bei Strecken ohne aufragende Bepflanzung im Seitenraum. Einseitiges Buschwerk erzeugte im Vergleich zur Baumallee ein Fahrerverhalten weiter rechts im eigenen Fahrstreifen um etwa 7 cm im Bereich der größten Häufigkeiten.

Die Studie definierte neben Idealspur, Normalspur auch eine Abweichspur und eine Extremspur, die jeweils in linker und rechter Fahrstreifenhälfte auftreten konnten (vgl. Bild 28). Bezogen auf diese Definition fuhren zwei Drittel aller Fahrzeuge in der Normalspur der linken Fahrstreifenhälfte. Insgesamt lagen 81,4 % aller Messwerte innerhalb eines Bereiches, der hinsichtlich des Spurverhaltens im Bereich der Idealspur und Normalspur der linken und rechten Fahrstreifenhälfte lag.

Konkrete quantitative Ergebnisse des Spurversatzes auf Geraden ergaben sich im Vergleich der Straßenseitenraumgestaltung zwischen Walddurchfahrtstrecke und Wiese/Feld im Mittel zu 3 cm, zwischen Baumallee und Wiese/Feld im Mittel zu 4 cm und zwischen Walddurchfahrt und dem

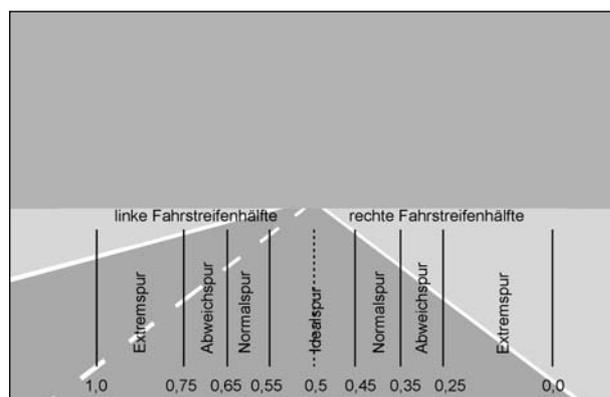


Bild 28: Definition verschiedener Spurlagetypen aus LIPPOLD et al. (2004)

Übergang zwischen Walddurchfahrt und Wiese/Feld zu 13 cm. Alle Maßangaben bezogen sich auf die normierten Seitenabstände des Regelquerschnittes RQ 9,5, d. h. auf 6,50 m Fahrbahnbreite.

Für Rechtskurven ließen sich folgende Aussagen treffen:

- Ein Kurvenschneiden kam häufiger vor, wenn die Sicht unbehindert war,
- bei beidseitiger Bepflanzung wurde die Rechtskurvenmitte im Wald etwas stärker (~13 cm) geschnitten als bei der Allee,
- eine Baumreihe an der Kurvenaußenseite führt zu keiner Lageveränderung im Vergleich zu Wiese/Feld.

Bei den untersuchten Linkskurven wurde in Alleen im Gegensatz zum Wald im Kurveneingang durchschnittlich 36 cm weiter links gefahren, in Kurvenmitte und Kurvenausgang waren die Unterschiede deutlich geringer. Im Vergleich der Linkskurven für die Strecke mit einseitiger Baumreihe im Kurvenaußenbereich zur Strecke mit Wiese/Feld im Straßenseitenraum wurde auf der Strecke mit Baumreihe im Kurvenausgang etwa 58 cm weiter rechts gefahren. Die Anzahl der Beobachtungen in Kurven war jedoch sehr gering, sodass gesicherte Aussagen zur Wirkung von Bepflanzung in Kurven nicht abgeleitet werden können.

Auch BECHER/BAIER (2003) fanden in ihrer Untersuchung kaum Unterschiede im Geschwindigkeitsverhalten von frei fahrenden Pkw in Abhängigkeit von der Seitenraumgestaltung (Allee, Allee im Wald und Straße im Wald). Die mittleren lokalen Geschwindigkeiten lagen insgesamt sehr hoch (im Bereich von 87 km/h und 97 km/h). Die Geschwindigkeit V_{85} variierte ebenfalls geringfügig um 7 km/h und lag zwischen 104 km/h und 111 km/h, ohne Zuordnung zur Seitenraumgestaltung.

Wie bereits erwähnt, fanden ELVIK/VAA (2004) eine Abhängigkeit der Unfallzahlen von der Querschnittsbreite. Besonders starke Effekte hatten das Abflachen von Böschungen (etwa 30 %) und das Freihalten des Seitenraums von Hindernissen (Vergrößerung des Abstands von Hindernissen vom Fahrbahnrand von 1,00 m auf 5,00 m reduziert die Unfallzahlen um 22 %). Bäume stellten einen erheblichen Anteil dieser Hindernisse und sind bekanntermaßen ein Risikofaktor für schwere Einzelfahrzeugunfälle.

Dagegen fanden ELVIK/VAA (2004) für die Einführung von separaten Fahrradwegen keine signifikanten Reduktionen der Unfälle (verursacht durch sehr breite Konfidenzintervalle für die Effekte). Die Wirkung der Seitenraumbepflanzung wurde nicht behandelt. Stationäre Geschwindigkeitskontrollanlagen reduzierten die Unfallzahlen um etwa 19 %; betrachtet man nur Unfälle außerorts, so fand sich eine Reduktion um 4 %.

Untersuchungen wie von ELVIK/VAA (2004) sind zwar aufschlussreich, dienen jedoch nicht der Beurteilung dieser Hypothese. Während nämlich die Reduktion der Unfallzahlen durch „Starenkästen“ wohl auf eine Verringerung der Geschwindigkeit (oder alternative Routenwahl) der Fahrer zurückgeht, ergibt sich die Wirkung des geringeren Böschungswinkels und frei geräumten Seitenraums möglicherweise aus einer Verringerung der Folgen von Fahrfehlern; hier würden sich also die Folgen des Verhaltens ändern, nicht das Verhalten selbst. Ein weiterer Punkt ist das Problem der Spezifikation des Fahrerverhaltens, auf das die Straßenmerkmale wirken sollen.

4.6 Hypothese 6: „Sichtweiten vs. geometrische Größen“

„Die tatsächlichen und wahrgenommenen Sichtweiten beeinflussen das Fahrerverhalten (Geschwindigkeits- und Überholverhalten) stärker als die geometrischen Größen der Trassierungselemente des Lage- und Höhenplans.“

In Untersuchungen zum Geschwindigkeits- und Verzögerungsverhalten einzeln fahrender Fahrzeuge an einzelnen Landstraßenkurven mit Radien $120 \text{ m} \leq R \leq 400 \text{ m}$ wies DILLING (1973) deutliche Zusammenhänge zwischen der Sichtweite am Beginn der Kurve (ein Maß für die Überschaubarkeit) bzw. der mittleren Sichtweite und der mittleren Verzögerung im Kurvenbereich nach. Unüberschaubare Kurven führten zu stärkeren Verzögerungen. Die Regressionsgleichungen mit den höchsten Bestimmtheitsmaßen enthielten für die Vorhersage der mittleren Verzögerung außer Sichtweitenindikatoren auch den Radius der Kurve (je kleiner, desto stärker muss man bremsen) und die mittlere Geschwindigkeit am Anfang des Messbereichs (je schneller man in eine Kurve einfährt, desto stärker muss man verzögern). Da in der Arbeit allerdings keine standardisierten Regressionskoeffizienten angegeben sind, lassen sich keine vergleichenden

Aussagen zur Höhe des Einflusses der Einzelprädiktoren machen.

LAMM (1973) versuchte in seiner Studie, den Einfluss der Streckencharakteristik durch die Definition eines so genannten „streckenspezifischen Parameters“ zu quantifizieren. In diesen Parameter gingen Länge und Radien der Kreisbögen und Klothoiden sowie die Sichtweiten auf einer Strecke ein. Die Krümmungsindikatoren wurden durch einen so genannten Krümmungsfaktor gewichtet, der berücksichtigte, dass sich für Radien $> 500 \text{ m}$ im Allgemeinen kein Zusammenhang zwischen Radius oder Krümmung und gewählter Geschwindigkeit mehr nachweisen ließ, während bei kleineren Radien dieser Zusammenhang mit der Radiengröße variierte. Als Sichtweiten wurden die Sichtweite bis zum und ab dem Messquerschnitt berücksichtigt, jedoch keine Mittelwerte über die Strecke wie in anderen Ansätzen.

Dieser streckenspezifische Parameter stellte eine Funktionsgleichung dar, mit der die Geschwindigkeit V_{85} an einem Punkt der Strecke (Messquerschnitt) vorhergesagt werden konnte. Die Funktionsgleichung ist also aus analytischen Überlegungen abgeleitet und nicht etwa auf Grund einer multiplen Regressionsanalyse bestimmt; damit vermeidet LAMM (1973) die Probleme des Overfitting bzw. des „capitalizing on chance“, die die Generalisierbarkeit von multiplen Regressionsansätzen (z. B. von AL-KASSAR/HOFFMANN/ZMECK, 1981, und BUCK, 1992) häufig einschränken. Durch gezieltes Weglassen verschiedener Terme der Funktionsgleichung ließ sich abschätzen, ob die Berücksichtigung z. B. der Sichtweiten für die Vorhersage der Geschwindigkeit V_{85} notwendig war.

Generell zeigte sich, dass sinnvollerweise Alt- und Neubaustrecken getrennt analysiert werden müssen; insofern scheint die Gleichung des streckenspezifischen Parameters noch unvollständig, der Krümmungsfaktor reicht nicht aus, um die Unterschiede zwischen relationstrassierten und nicht relationstrassierten Strecken zu erfassen. Für Neubaustrecken ließ sich die Geschwindigkeit V_{85} auch ohne Berücksichtigung der Sichtverhältnisse vorhersagen (das Bestimmtheitsmaß veränderte sich kaum, wenn der Term aus der Funktionsgleichung gestrichen wurde); dagegen ging die Güte der Anpassung deutlich zurück, wenn bei Altbaustrecken die Sichtweiten ignoriert wurden. Die Untersuchung macht ebenfalls deutlich, dass für den Krümmungsfaktor und damit für den radienbeding-

ten Geschwindigkeitsrückgang die Querneigung nur von untergeordneter Bedeutung ist.

BUCK (1992) analysierte das Geschwindigkeitsverhalten frei fahrender Fahrzeuge in Abhängigkeit von baulichen, betrieblichen und verkehrlichen Parametern anhand von Daten aus Radarverfolgungsfahrten und Querschnittsmessungen mit Induktivdoppelschleifen. Dazu untersuchte er vier verschiedene Strecken (mit nur geringem Anteil von Radien mit Übergangsbögen, keine Relationstrassierung), die er nach Kurvigkeit und Längsneigung qualitativ grob unterschied in Strecken mit hoher bzw. geringer Kurvigkeit, kombiniert mit hoher bzw. geringer Längsneigung. Er konnte feststellen, dass im Bereich kleiner Kurvigkeit, d. h. Streckenanteile mit Radien größer 500 m, kein Einfluss der Kurvigkeit auf das Geschwindigkeitsverhalten vorliegt. Die Streckenanteile mit großer Kurvigkeit (Radien lagen zwischen 45 m und 550 m) wiesen einen linearen Zusammenhang der Krümmung mit der Geschwindigkeit auf: mit zunehmender Krümmung $0,18 [1.000/m] < K < 2,22 [1.000/m]$ fiel die Geschwindigkeit V_{85} um 34 km/h ab. Dabei verringerte sich ebenfalls die Streuung der Geschwindigkeiten mit kleiner werdenden Radien. Die Werte streuen jedoch sehr stark, sodass ein Bestimmtheitsmaß von lediglich $R = 0,57$ erreicht wird und somit die Aussage aus statistischer Sicht nur schwach bestätigt wird (Bild 29).

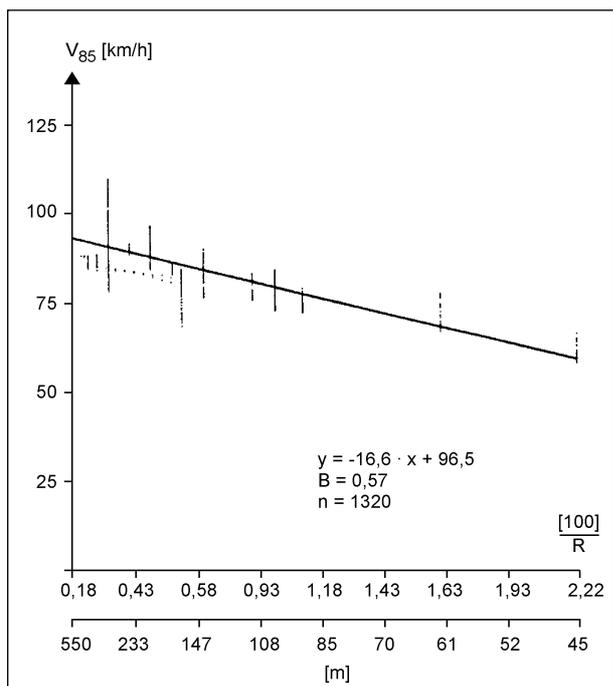


Bild 29: Zusammenhang Krümmung und Geschwindigkeit V_{85} für $R \leq 550$ m (BUCK, 1992)

Eine direkte signifikante Abhängigkeit der Sichtweite von der Krümmung konnte BUCK (1992) nicht feststellen, weshalb er die Sichtweite als eine für sich eigenständige Einflussgröße sieht. „Bei der Analyse des Geschwindigkeitsverhaltens in Abhängigkeit von der Sichtweite kleiner 300 m konnte der vermutete starke Abfall der Geschwindigkeiten nicht bestätigt werden.“ Dazu nennt BUCK (1992) als Beispiel die Differenz der Geschwindigkeiten bei unterschiedlichen Sichtweitenverhältnissen. Im Vergleich der Sichtweiten von 250 m und 150 m existiert eine Geschwindigkeitsdifferenz von 6 km/h, beim Vergleich der Sichtweiten 150 m und 50 m beträgt diese Geschwindigkeitsdifferenz 28 km/h (Bild 30).

Des Weiteren betrachtete er zur Beschreibung des Einflusses der Krümmungsänderungen die mittlere Krümmung einer zurückliegenden Strecke. Dabei erwies sich eine Streckenlänge von 400 m für die Strecke mit hoher Kurvigkeit als am besten geeignet, um das Geschwindigkeitsverhalten in Abhängigkeit dieser Einflussgröße zu beschreiben; hier lagen die Bestimmtheitsmaße zwischen $R = 0,49$ und $R = 0,55$, bei den Strecken mit geringer Kurvigkeit konnte kein Einfluss festgestellt werden. Die gleiche Distanz konnte er zur Bestimmung des Einflusses der Abhängigkeit der Geschwindigkeiten V_{85} von der Haltesichtweite feststellen. Die Bestimmtheitsmaße der Strecken mit hoher Kurvigkeit

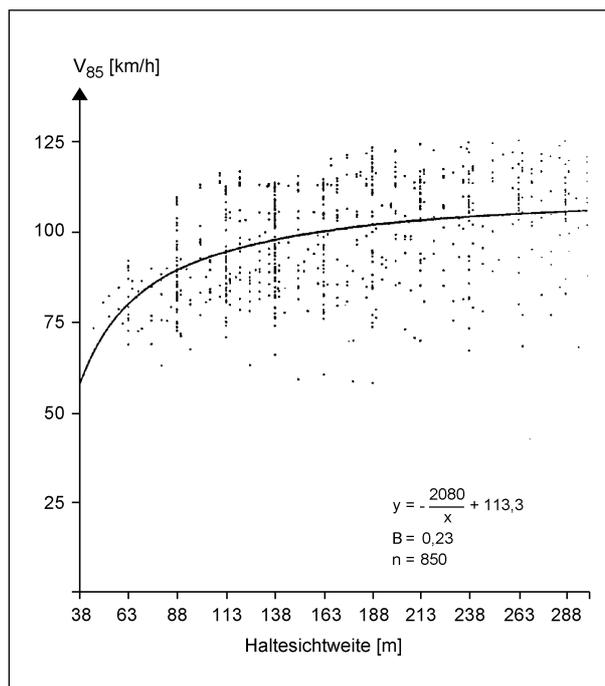


Bild 30: Zusammenhang Haltesichtweiten (≤ 300 m) und Geschwindigkeit V_{85} (BUCK, 1992)

lagen bei $R = 0,50$ und $R = 0,43$, die der Strecken mit geringer Kurvigkeit bei $R = 0,16$ und $R = 0,29$. Diese geringen Korrelationen resultierten aus den sehr stark streuenden Werten der Geschwindigkeiten und ließen somit keine quantifizierbaren Aussagen zu.

KÖPPEL/BOCK (1979) werteten hinsichtlich möglicher Einflüsse der Streckencharakteristik auf das Fahrerverhalten 450 Messstellen mit trockener Fahrbahn und 119 Messstellen mit nasser Fahrbahn, die an 19 Messstrecken mit einer Streckenlänge von rund 55 km erhoben wurden, aus. Dabei wurden die Einflussgrößen Kurvigkeit, Fahrbahnbreite, Sichtweite und Längsneigung explizit über eine Regressionsanalyse untersucht. Es zeigte sich ein dominierender Einfluss der Kurvigkeit auf die Geschwindigkeitswahl. Bei einem linearen Zusammenhang der jeweiligen Einflussgrößen mit der Geschwindigkeit der über mehrere Messstellen verfolgten Einzelfahrzeuge ergaben sich bei der Betrachtung nur einer einzelnen Einflussgröße verschieden starke Bestimmtheitsmaße. Die Betrachtung der Bestimmtheitsmaße des Zusammenhangs der Einflussgrößen Kurvigkeit ($R = 0,703$), Sichtweite ($R = 0,613$) und Fahrbahnbreite ($R = 0,544$) mit nur der Geschwindigkeit zeigen verschiedene Intensitätsstärken. Betrachtet man zusätzlich die Intensität des Zusammenhangs der Einflussgrößen untereinander, so ergeben sich noch stärkere Bestimmtheitsmaße. Der stärkste Zusammenhang mit der Geschwindigkeit ergibt sich aus der Kombination der Einflussgrößen Kurvigkeit und Fahrbahnbreite. Allgemein wurde festgestellt, dass mit zunehmender Kurvigkeit der Einfluss der Kurvigkeit auf die Geschwindigkeit zunimmt und bei geringerer Kurvigkeit die Fahrbahnbreite und Sichtweite an Einfluss gewinnen. So traten im Bereich kleinerer Sichtweiten die Kurvigkeitswerte mehr in den Vordergrund und bei größeren Sichtweiten über 200 m die Fahrbahnbreite. Ein Einfluss der Längsneigung ($-4\% < s < +2\%$) auf die Geschwindigkeit konnte nicht festgestellt werden. Für größere Längsneigungen entwickelten die Autoren ein Diagramm zur Bestimmung der Geschwindigkeitsabnahme in Abhängigkeit von Kurvigkeit und Längsneigung. Das einheitlichste Fahrerverhalten konnten KÖPPEL/BOCK (1979) an den Messstrecken nachweisen, deren Radienverhältnisse stetig waren.

TRAPP/OELLERS (1974) versuchten, regressionsanalytisch die gefahrene Geschwindigkeit in Einsatzfahrten aus Streckenmerkmalen vorherzusagen. Dabei erwiesen sich fünf von neun untersuch-

ten Variablen als signifikant: Fahrstreifenbreite, Breite des Zusatzfahrstreifens, Längsneigung, Kurvigkeit und Sichtweite. Krümmung, Gesamttrichtungsänderung und der Streckenanteil mit Schutzplankenbegrenzung oder Überholverbot eigneten sich nicht zur Vorhersage. Allerdings bestand in vielen Fällen eine innere Abhängigkeit der Variablen, sodass bei Variation einer Einflussgröße die Wirksamkeit anderer Größen ebenfalls betroffen war. So waren in den meisten Fällen Zusatzspuren Kriechspuren, die an steilen Streckenabschnitten angelegt wurden, um langsamen Lkw- und schnelleren Pkw-Verkehr zu trennen. Eine Breite des Zusatzfahrstreifens > 0 ging also meist mit einer hohen Längsneigung einher.

Unter diesen Einschränkungen leiten TRAPP/OELLERS (1974) die Aussagen ab, dass die Kurvigkeit (Richtungsänderung pro Streckenkilometer) das Fahrerverhalten am stärksten beeinflusst. Dabei wirkte der Übergang von einer Geraden in eine Kurve am stärksten geschwindigkeitsmindernd; weitere Erhöhungen der Kurvigkeit führen zu geringerer Geschwindigkeitsreduktion, aber noch zu deutlicher Homogenisierung des Geschwindigkeitsverhaltens. Die empirisch vorhandenen Sichtweiten korrelierten stark mit der Kurvigkeit, sodass eine losgelöste Betrachtung eigentlich nicht statthaft ist; allerdings zeigte die Regressionsanalyse einen von Kurvigkeitsindikatoren unabhängigen Beitrag der Sichtweitenverhältnisse auf. Ob eine reduzierte Sichtweite einen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl hat, hängt z. T. vom Ausgangsniveau ab (was mit einem auditiven linearen Modell nicht adäquat beschreibbar ist). In einer von TRAPP/OELLERS (1974) genauer beschriebenen Situation konnte eine reduzierte Sichtweite von 200 m deshalb keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl nehmen, da auf Grund einer engen Kurve vor dieser Sichteinschränkung bereits Geschwindigkeiten gefahren wurden, die weit unter der Grenze lagen, die durch die Notwendigkeit, innerhalb der Sichtweite anhalten zu können (erforderliche Haltesichtweite), entstehen würde. Dagegen wirkte sich eine ähnliche Einschränkung der Sichtweite auf einem geraden Streckenabschnitt uneinheitlich auf die Geschwindigkeitswahl aus: Manche Fahrer reduzieren ihre Geschwindigkeit von 115 km/h auf die notwendigen 105 km/h, andere beschleunigen sogar.

TRAPP/OELLERS (1974) stellten fest, dass Fahrer auf eine Verschlechterung der Sichtweite nur dann reagierten, wenn ihre eigene Geschwindigkeit we-

sentlich über der Geschwindigkeit lag, die sie auf Grund der vorhandenen Haltesicht fahren durften. Große Unsicherheiten und ein sehr unterschiedliches Fahrerverhalten traten im Grenzbereich auf, in dem Sichtweiten für das Fahrerverhalten bedeutsam wurden, da das Schätzen der erforderlichen Haltesicht und das Abstimmen der Geschwindigkeit auf kritische Sichtverhältnisse individuell sehr unterschiedlich sind. Diese Verunsicherung erfolgte auf Grund von Streckenmerkmalen, die einen widersprüchlichen Eindruck erweckten, wenn z. B. eine geringe Sichtweite auf einem Streckenabschnitt mit allgemein günstigen Fahrbedingungen (breite Fahrbahn, geringe Längsneigung, geringe Kurvigkeit) vorhanden ist. Aus diesem Grund wird gefordert, dass die Sichtweite auf das Hauptmerkmal Kurvigkeit abgestimmt wird.

Die Vorhersage der Momentangeschwindigkeit nach den Modellen von TRAPP (1971), LAMM (1973), TRAPP/OELLERS (1974), MEEWESE/GERZ (1975) und KÖPPEL/BOCK (1979) für die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von den Streckenmerkmalen sehen AL-KASSAR/HOFFMANN/ZMECK (1981) als nicht zufrieden stellend an. Sie stellten in ihrer Studie fest, dass die Kurvigkeit und die Querschnittsbreite, beschrieben insbesondere durch Rand- und Seitenstreifenbreite, den maßgebenden Einfluss auf die Momentangeschwindigkeit ausübten. Daneben trat die Wirkung von Längsneigung und Sichtweiten zurück, wobei der Einfluss der Sichtweiten in ihrer Studie durch die Korrelation mit den übrigen Ausbauelementen bereits erfasst war. Bei der Vorhersage von Geschwindigkeiten und dem Vergleich mit real gefahrenen Geschwindigkeiten zeigte sich in der Studie von AL-KASSAR/HOFFMANN/ZMECK (1981) jedoch ebenfalls, dass die Sichtweite dennoch eine starke Rolle für die Geschwindigkeitswahl darstellte.

COHEN (1988) diskutierte das Problem der Fahrt auf Sichtabstand bei Nacht. Dort steht zwar wegen der geringen Reichweite des Abblendlichts nur eine geringe Sichtweite zur Verfügung, die Fahrer reduzieren ihre Geschwindigkeit aber nicht in angemessener Weise. Die Fahrer stecken hier gewissermaßen in einem Dilemma: Fahren sie außerorts tatsächlich auf Sicht (was laut COHEN (1988), maximal 50 km/h bedeutet), so behindern sie den nachfolgenden Verkehr und riskieren Auffahrunfälle. Er schlägt vor, durch die Einführung von Standardmustern an den Leitpfosten den Fahrern eine Möglichkeit der Schätzung der aktuellen Sichtweite zu geben, die als Norm benutzt werden könne,

um die tatsächlich vorhandene Sichtweite zu definieren, die sonst von den Reflektionseigenschaften des Zielreizes abhängt.

HARMS (1993) untersuchte den Einfluss reduzierter Sichtweiten (durch Nebel) auf die Spurhaltung. In einem Simulatorversuch reduzierte sie auf einer kurvenreichen Landstraßenstrecke die Sichtweite von 480 m auf 120 m, 60 m bzw. 30 m. Bei geringerer Sichtweite verringerten die Fahrer die Geschwindigkeit; für die mittlere Spurlage und die SDLP²⁷ ergab sich kein Effekt. Bei einer Betrachtung der Spurlage an verschiedenen Querschnitten (hier: gemittelt über je 100 m der Strecke) zeigte sich, dass das Kurvenschneiden bei verringerter Sichtweite abnahm.

OTTEN/HAHN (1986) untersuchten anhand von Simulatorfahrten das Überholverhalten von Kraftfahrern auf einbahnigen Außerortsstraßen. Dabei konnten sie keine quantitativen Aussagen zu Gesetzmäßigkeiten zwischen Parametern der Straßengestaltung bzw. Umgebung und dem Fahrerverhalten ableiten. Insbesondere die Aufteilung des Probandenkollektives in vier unterschiedliche Gruppen nach verschiedenen Fahrstilen (sehr defensive, defensive, zügige und Kontrollfahrer) erschwerte das Treffen von quantitativen Aussagen, da der Stichprobenumfang (mit $5 < n < 14$) stets sehr klein blieb. Lediglich im Bereich der großen Radien – $R = 550$ m, $R = 800$ m und $R = 900$ m – verhielten sich die Probandengruppen ähnlich und überholten in diesen Bereichen langsamere Fahrzeuge, obwohl die Sichtweiten oder der Abstand zum Gegenverkehr häufig unter dem von der RASL (1984) als notwendig erachteten Wert von 500 m, der so genannten Mindestüberholsichtweite, lagen. Die Geschwindigkeiten schienen von den Radien abhängig zu sein, da starke Verzögerungen bei Radien kleiner 300 m, leichte Verzögerungen bei Radien kleiner 400 m und Beschleunigungen bei Radien ab 550 m auftraten. Signifikant unterschiedlich waren die Geschwindigkeiten zwischen den verschiedenen Gruppen, dabei wies die Gruppe der zügig Fahrenden wie die Gruppe der Kontrollfahrer ein um 20 km/h bis 25 km/h höheres Geschwindigkeitsniveau auf als die Gruppe der sehr defensiv Fahrenden zusammen mit der Gruppe der defensiv Fahrenden.

²⁷ SDLP: Standardabweichung der seitlichen Position im Fahrstreifen (vgl. Glossar).

OTTEN/HAHN (1988) konnten in einer weiteren Studie im Fahrsimulator Aspekte der Überholbeeinflussung testen. Auch bei diesen Versuchen teilten sie das Probandenkollektiv nach der Häufigkeit des Überholens in verschiedene Gruppen auf. Durch diese Differenzierung bestanden die Gruppen aus einer sehr geringen Probandenanzahl, wodurch statistisch gesicherte Ergebnisse bzw. Aussagen nur teilweise bis gar nicht möglich waren. Daher wurden im Bericht teilweise Aussagen zu Mittelwerten des gesamten Probandenkollektivs getroffen. Dabei streuten jedoch die Werte sehr stark: Z. B. lagen die durchschnittlichen Reisegeschwindigkeiten der verschiedenen Gruppen zwischen 85 km/h und mehr als 120 km/h, was durch die Fahrweise der einzelnen Gruppen begründet werden kann. Bei der Betrachtung dieser Mittelwerte lagen die Reisegeschwindigkeiten bei unbeflusstem Überholverhalten um etwa 10 km/h niedriger als bei einer Beeinflussung durch die Maßnahmen „Hilfestellung zum Überholen“ bzw. „Breitere Fahrstreifen zum Überholen“. Diese Werte sind nachvollziehbar und passen zu der Feststellung, dass eine Beeinflussung des Überholverhaltens durch Vergrößerung des Fahrbahnquerschnitts von 8,00 m auf 11,00 m (befestigte Fahrbahnbreite) vorliegt, die jedoch nicht weiter quantifiziert werden kann, da keine detaillierten Angaben zu den einzelnen Gruppen vorhanden sind.

OTTEN/HABERMEHL (1989) stellten den Ergebnissen der Simulatorexperimente von OTTEN/HAHN (1986 und 1988) Videoaufzeichnungen des realen Verkehrs von fünf Messstrecken gegenüber. Dabei erwies sich bezüglich der Anteile an Abschnitten mit ausreichender Überholmöglichkeit lediglich eine Strecke als vergleichbar, was die Ergebnisse negativ beeinflusste. Von Nachteil erwies sich ebenfalls die höhere Motorleistung des Simulatorfahrzeugs im Gegensatz zu der Motorleistung des im realen Verkehr benutzten Fahrzeugs. So lag die maximale Überholgeschwindigkeit im Simulator im Mittel 14 km/h über der im realen Verkehr, bei ähnlicher Verteilungsfunktion. Ebenfalls schien die höhere Motorleistung im Simulator einen Anteil der stärkeren Beschleunigungen zu Beginn und während der Überholungen zu haben. Als wesentliches Ergebnis stellte sich heraus, dass im Simulator zum Überholen öfter kürzere Sichtweiten angenommen wurden als im Realverkehr; unterhalb von 450 m im realen Verkehr und 400 m im Simulator erfolgte jedoch nur selten ein Überholvorgang. So betrug am Anfang des Überholvorganges die mitt-

lere Überholstrecke im realen Verkehr 580 m und in der Simulation 540 m. Diese Ergebnisse könnten jedoch durch die höhere Motorleistung des Simulatorfahrzeugs zumindest teilweise beeinflusst sein. Des Weiteren stellten OTTEN/HABERMEHL (1989) fest, dass unabhängig vom Geschwindigkeitsniveau eine einheitliche Reaktion auf die Streckenparameter vorhanden war, d. h., die Form der erhobenen Geschwindigkeitseinzelpfade war trotz unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus sehr ähnlich. Es zeigte sich, dass an den Stellen, wo Abschnitte verschiedener Kurvigkeit aneinanderstießen, auch der Geschwindigkeitsverlauf merkbare Änderungen erfuhr.

TENKINK (1988) fand in einem sehr einfachen Fahrsimulator einen Einfluss reduzierter Sichtweiten auf die Geschwindigkeitswahl und die Präzision der Spurführung. Durch die Reduktion der gefahrenen Geschwindigkeit konnten die Fahrer die höheren Anforderungen an die Spurführung bis zu einer Sichtweite von 37 m kompensieren; danach stiegen die Streuungen in der Spur an. Dieser Effekt zeigte sich allerdings nur auf kurvenreicher Strecke; auf gerader Strecke wurde zwar die Geschwindigkeit reduziert, aber es zeigte sich kein Effekt auf die SDLP²⁸. LIPPOLD (1997) kommt dagegen auf Basis von Verfolgungsfahrten auf relationstrassierten und nicht relationstrassierten Strecken zu der Schlussfolgerung, dass die Geschwindigkeit V_{85} im Wesentlichen durch die Kurvigkeit der Strecke bestimmt wird und dass die vorhandene Sichtweite nur einen geringen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl hat.

Die Frage, welche Sichtweite von einem Fahrer für die Orientierung über den Streckenverlauf tatsächlich genutzt wird, wird derzeit am IZVW der Universität Würzburg und der TU Dresden untersucht. Dabei soll das bestehende Modell der Haltesichtweite, das derzeit als bestimmende Größe im Straßenentwurf verwendet wird, um ein psychologisch begründetes Modell der Orientierungssichtweite ersetzt werden.

LEVIN (1991) untersuchte anhand von Nachfolgefahrten das Geschwindigkeitsverhalten von zufällig ausgewählten Personenkraftwagen an acht Messstrecken respektive acht Kuppenhalbmessern (H_K

²⁸ SDLP: Standardabweichung der seitlichen Position im Fahrstreifen (vgl. Glossar)

= 1.100 m bis $H_K = 8.300$ m). Die Geschwindigkeitsprofile zeigten starke Streuungen an allen Streckenabschnitten, sodass die Aussagen zum Zusammenhang zwischen Kuppenhalbmesser und gefahrener Geschwindigkeit tendenziell zu interpretieren sind. Dabei zeigte sich mit ansteigendem Kuppenhalbmesser auch eine höhere Geschwindigkeit. Eine nicht weiter spezifizierte Regression wies im Bereich eines Kuppenhalbmessers von 1.100 m eine Geschwindigkeit V_{85} von etwa 87 km/h auf, bei einem Kuppenhalbmesser von 8.000 m lag diese bereits bei 115 km/h. Die Regression der Geschwindigkeit V_{50} zeigte nahezu den gleichen Geschwindigkeitszuwachs bei größer werdenden Kuppenhalbmessern mit etwa 10 km/h niedrigeren Werten als die Geschwindigkeit V_{85} . Einflüsse durch die Seitenraumgestaltung und die Fahrbahnbreiten wurden bei den Betrachtungen vernachlässigt. Eine Analyse über verminderte Sichtweiten an Kuppen ergab, dass die Fahrer ihre Geschwindigkeit nicht anpassen. Zwar konnte an kleineren Kuppenhalbmessern ein leichter Geschwindigkeitsrückgang beobachtet werden, dieser erwies sich aber geringer als die in den RAS-L (1984) dargestellte Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Kuppenhalbmesser. So stellte LEVIN (1991) bei kleineren Halbmessern nach der Überquerung des Scheitelpunkts eine Geschwindigkeitszunahme fest, deren Betrag mit größer werdenden Halbmessern immer geringer wurde und bei Halbmessern um 8.000 m nicht mehr feststellbar war. Einen Zusammenhang zwischen dieser Geschwindigkeitszunahme und der Größe des Längsneigungsunterschiedes konnte LEVIN (1991) dagegen nicht nachweisen.

Eine mögliche modifizierende Variable für den Einfluss der Sichtweite wären Fahrererwartungen zum Verkehrsaufkommen. So ist durchaus denkbar, dass ein Fahrer stärker „auf Sicht fährt“, wenn er mit besonders langsamen Verkehrsteilnehmern rechnet: Beispiel wären Schüler an Werktagen zwischen 7:30 Uhr und 8:30 Uhr oder landwirtschaftliche Fahrzeuge während der Erntezeit („Zuckerrübenkampagne“). Zu dieser Fragestellung liegen jedoch keine Untersuchungen vor.

4.7 Hypothese 7: „Kognitive Straßencharakterisierung“

„Die kognitive Straßencharakterisierung beeinflusst insbesondere die Fahrerverhaltensausprägungen, wie beispielsweise antizipierende Fahrstile.“

Die Forschung zu diesem Thema wurde hauptsächlich in den Niederlanden unter dem Überbegriff „Self-explaining Roads“ durchgeführt.²⁹

Basisproblem war, dass in den Niederlanden außerhalb bebauter Gebiete ein generelles Tempolimit von 80 km/h gilt, das nicht extra beschildert wird. Die Straßen sind aber häufig so großzügig ausgebaut, das darauf wesentlich höhere Geschwindigkeiten möglich sind; ein Tempolimit erhält so nur eine geringe Glaubwürdigkeit und Akzeptanz. Nach einem nur begrenzt erfolgreichen Versuch, durch Einführung vollkommen neuer Straßenausstattungen die Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h implizit durchzusetzen (de WAARD et al., 1995; vgl. Beschreibung in Kapitel 4.4), wurde deshalb verstärkt diskutiert, wie durch eine Neustrukturierung der Regeln für die Ausstattung von Straßen mit Standardmerkmalen eine bessere Übereinstimmung der subjektiv wahrgenommenen Straßenklasse mit der objektiv vorliegenden erzeugt werden könnte. Dabei wurden folgende Straßenklassen im Außerortsbereich als relevant bezeichnet (Begriffe ins Deutsche übersetzt):

- Autobahnen,
- Kraftfahrstraßen (100 km/h möglich, wenn angezeigt),
- 80 km/h, nur schneller Verkehr, und
- 80 km/h, gemischter Verkehr, insbesondere Radfahrer und landwirtschaftliche Fahrzeuge.

Über verschiedene Untersuchungen zeigte sich, dass Versuchspersonen erhebliche Schwierigkeiten haben, die „offizielle“ Straßenkategorie zu erkennen, was sowohl an der Überschneidung der Ausprägungen der Ausstattungsmerkmale verschiedener Straßenklassen liegt (van der HORST/KAPTEIN, 1998) als auch an der subjektiven Verwendung anderer klassifizierender Merkmale als der „offiziellen“. Bei diesen Untersuchungen wurden den Versuchspersonen Ansichten der Strecke (z. T. auch kurze Videoaufnahmen) vorgelegt, die nach Ähnlichkeit sortiert werden sollen. Die Häufigkeit, mit der zwei Ansichten zusammensortiert werden, dient dann als Maß für die subjektive Ähnlichkeit der Bilder; diese Daten lassen sich mit einer

²⁹ Im Überblick wurde dieses Thema bereits in Kapitel 3.3 diskutiert. Hier werden die Studien nochmals, jedoch detaillierter beschrieben.

multidimensionalen Skalierung (MDS) auswerten. Eine alternative Vorgehensweise besteht in der sogenannten „Repertory Grid“-Technik. Dabei werden den Versuchspersonen Tripel von Streckenansichten vorgelegt, aus denen zwei Bilder auszuwählen sind, die sich in einem bestimmten Aspekt ähneln und gleichzeitig vom dritten Bild unterscheiden. In einem nächsten Schritt lässt man sich diesen Aspekt von der Versuchsperson beschreiben und gewinnt so subjektive Bewertungsdimensionen für die Objekte. Anschließend werden alle Bilder auf diesen subjektiven Dimensionen eingeschätzt. Die Lage der Objekte in diesem multidimensionalen Repräsentationsraum kann man dann mit multivariaten Standardverfahren (Faktorenanalyse, Clusteranalyse, multidimensionale Skalierung) analysieren, um die subjektive Klassifikation der Objekte zu ermitteln (RIEMERSMA, 1988).

Zum Beispiel ließ STEYVERS (1998) Versuchspersonen zu 67 Bildern von Außerortsstraßen die präferierte Geschwindigkeit zuordnen. Dabei werden anscheinend drei Gruppen unterschieden:

- 60 km/h bei engen, kurvenreichen Straßen durch den Wald mit schlechtem Belag ohne Markierungen,
- 90 km/h bis 100 km/h bei breiten, geraden Straßen mit glatter Oberfläche, Markierungen in Fahrbahnmitte und an Fahrbahnbegrenzung, keine Sichtbehinderung durch Bepflanzung, separate Fahrradstreifen, keine Gräben,
- 70 km/h bis 80 km/h bei geraden, breiten Strecken, aber schlechter Belag und Hindernisse am Straßenrand oder kurvenreich, aber guter Belag und Markierungen (Mischgruppe).

Eine nachträgliche Befragung ergab, dass Fahrbahnbreite, Straßenoberflächenqualität und Markierungen die subjektiv wichtigsten Variablen für die Geschwindigkeitswahl waren. Eine Befragung nach erwarteten Verkehrssituationen zeigte, dass auf „schnellen“ Straßen kein langsamer Verkehr wie Fahrradfahrer, Traktoren usw. erwartet wurden, obwohl auf einem Teil dieser Strecken sehr wohl solcher Verkehr vorhanden sein konnte.

In der Studie von RIEMERSMA (1988) ergab sich aus solchen Analysen, dass z. B. die Anwesenheit eines Seitenstreifens, die ein eindeutiges Merkmal für die Klasse der niederländischen Autobahnen ist, subjektiv nicht für die Klassifikation berücksichtigt wurde (dagegen wurde eine Kombination aus Querschnitt, Güte der Straßenoberfläche und Trassierung sehr wohl für die subjektive Klassifizierung verwendet, obwohl diese Merkmale die objektive Kategorie nicht eindeutig bestimmten (STEYVERS, 1998). Ein Vergleich der subjektiven und objektiven Klassifikation zeigte, dass nur Autobahnen korrekt wahrgenommen wurden. Für Landstraßen unterschied sich die kognitive Repräsentation erheblich von der offiziellen Kategorisierung (THEEUWES, 1998). Beispielsichten für fehlklassifizierte Strecken aus THEEUWES (1995) finden sich in Bild 31.

Zumindest bei erfahrenen Fahrern ließ sich ein Einfluss der Straßenklassifikation auf die Informationsaufnahme nachweisen. CRUNDALL/UNDERWOOD (1998) untersuchten das Blickverhalten von Fahranfängern und erfahrenen Fahrern in Abhängigkeit von der Art der Strecke, die befahren wurde (hier: einbahnige zweistreifige Landstraße, Straße durch bebauten Gebiet und zweibahnige vierstreifi-

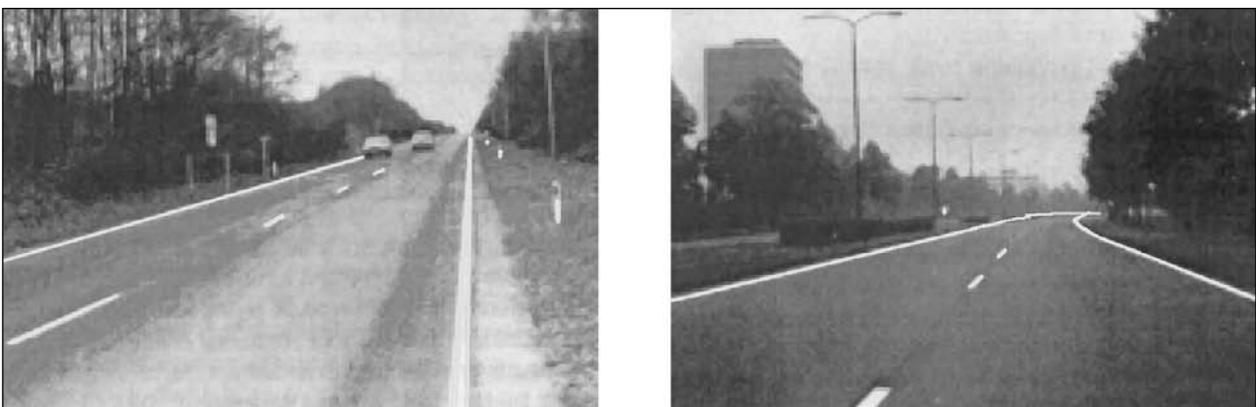


Bild 31: Ansichten niederländischer Landstraßen unterschiedlicher Klassifikation (THEEUWES, 1995)

(Auf der linken Strecke muss der Fahrer mit langsamen Verkehrsteilnehmern, insbesondere mit Radfahrern rechnen. Auf der rechten Strecke kann Gegenverkehr auftreten. In beiden Fällen kann der Fahrer das nicht aus der Gestaltung der Strecke erkennen)

ge Überlandstraße). Dabei zeigte sich, dass erfahrene Fahrer ihr Überwachungsmuster bei der horizontalen Suche an die Art der Fahrstrecke anpassen, während unerfahrene Fahrer ihr Suchmuster nicht variierten. Ähnlich unzureichende Anpassung des Blickverhaltens fanden MOURANT/ROCKWELL (1972).

Kritisch anzumerken ist, dass der Einfluss der subjektiven Klassifikation von Landstraßen auf das Fahrerverhalten zwar stets plausibel dargelegt, aber nur in einer Untersuchung auch getestet wurde. Dabei wurden die Geschwindigkeit und das Spurverhalten im Fahrsimulator auf Strecken gemessen, die entweder nach den Standardregeln des niederländischen Straßenbaus gestaltet waren oder nach einem neuen Regelsatz, der jeder Straßenkategorie eindeutige Werte für die Straßenausstattungsmerkmale zuordnet. Es zeigten sich nur geringe Effekte der konsistenteren Kategorisie-



Bild 32: Landstraßen für gemischten Verkehr im Standarddesign (oben) und im SER-Design (unten) aus dem Experiment von van der HORST/KAPTEIN (1998). Im Simulator wurde auf der unteren Strecke schneller gefahren.

rung (van der HORST/KAPTEIN, 1998), die z. T. sogar gegen die intendierte Richtung gingen: Auf Landstraßen für gemischten Verkehr wurde nach der Manipulation schneller gefahren als vorher. Die überhöhte Geschwindigkeit auf diesen Straßen wird aber als Risikofaktor für Auffahr- und Überholunfälle gesehen (de WAARD et al., 1995). Allerdings war auf diesen Strecken im Simulator kein Fremdverkehr vorhanden; möglicherweise wurde deshalb die Fahrbahn bei der Klasse der Landstraßen für gemischten Verkehr anders genutzt. In Bild 32 sind Ansichten dieser Straßenklasse gezeigt. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Fahrer auf Grund der Abwesenheit von Gegenverkehr den grauen Teil der Fahrbahn als Fahrstreifen interpretierten und durch den damit deutlich verbreiterten Fahrstreifen und auch durch den vorhandenen Seitenstreifen eine höhere Geschwindigkeit wählten. Leider sind in der Untersuchung die seitlichen Positionen der Fahrzeuge nicht berichtet, sodass die Vermutung nicht geprüft werden kann.

Ein prinzipielles Problem für die konsistente Definition der Straßenklassen ist die Vielfalt von Merkmalskombinationen im real existierenden Straßennetz. Selbst wenn neue Strecken nach den Vorschlägen der „Self-explaining Road“ mit klar getrennten Merkmalsausprägungen für verschiedene Klassen hergestellt würden, so existieren genügend Instanzen der Klassen im alten Netz, bei denen diese Trennung nicht gewährleistet ist. Die Hoffnung, dass sich die neuen klar definierten Klassenprototypen auch in der subjektiven Klassifikation durchsetzen, hat sich zumindest bei ersten Experimenten nicht bestätigt (van der HORST/KAPTEIN, 1998).

4.8 Hypothese 8: „Übergangsbereiche von freier Strecke zu Knotenpunkten“

„Durch die Schaffung von Übergangsbereichen von der freien Strecke zu Knotenpunkten kann das Fahrerverhalten (insbesondere die Geschwindigkeit) der Situation angepasst werden.“

RICHTER/HÜSKEN (1998) zeigten am Beispiel einer Umbaumaßnahme (eine Kreuzung wird zu einem kleinen Kreisverkehrsplatz umgebaut) anhand von Nachfolgefahrten mit 30 Fahrten je Fahrtrichtung und anhand von stationären Geschwindigkeitsmessungen mit Radar sowohl auf den angrenzenden Streckenabschnitten als auch in den

untersuchten Knotenpunkten selbst mit 100 frei fahrenden Pkw je Querschnitt und Fahrtrichtung, dass vor und nach dem Knotenpunkt im Vorher-Nachher-Vergleich der Umbaumaßnahme ein verändertes Fahrerverhalten auftrat. Dabei ließ sich der Einflussbereich des Kreisverkehrsplatzes nicht genau eingrenzen. Basierend auf ihren Daten schätzten RICHTER/HÜSKEN (1998) diesen Bereich auf etwa 1.500 m, ohne Angaben zu machen, wie groß der Einfluss vor bzw. nach dem Knotenpunkt ist. Im Rahmen weiterer Untersuchungen von 32 Kreisverkehrsplätzen konnten sie aus den gewonnenen verkehrstechnischen Daten den Einflussbereich vor dem Kreisverkehrsplatz zu 200 m bis 800 m und hinter dem Kreisverkehrsplatz zu 400 m bis 900 m bestimmen. Diese Angaben hängen stark von den örtlichen Gegebenheiten ab.

Untersuchungen von AL-KASSAR/HOFFMANN/ZMECK (1981) zum Übergangsbereich zwischen „mit“ und „ohne“ Geschwindigkeitsbeschränkung führten zu dem Ergebnis, dass aus der Regressionsanalyse ein verändertes Geschwindigkeitsverhalten in den Bereichen 400 m vor und 500 m nach Geschwindigkeitsbeschränkungen erkennbar war.

CARSTEN/ZAKOWSKA/JAMSON (2004) erweitern den Ansatz der „Self-Explaining Roads“ auf die Anfahrt an Kreuzungen. Sie verwenden im Simulator T- oder X-förmige Markierungen an den Fahrbahnbegrenzungen, um im Annäherungsbereich den Typ der Kreuzung zu signalisieren (Bild 33). Zumindest tendenziell zeigen sich auch die erwarteten Effekte auf das Fahrerverhalten: Zeitliche Indikatoren der Gefährlichkeit des Fahrerverhaltens, wie die Zeit bis zur Kollision (TTC) und Spielraum nach dem Konflikt (PET) an Kreuzungen, waren an den

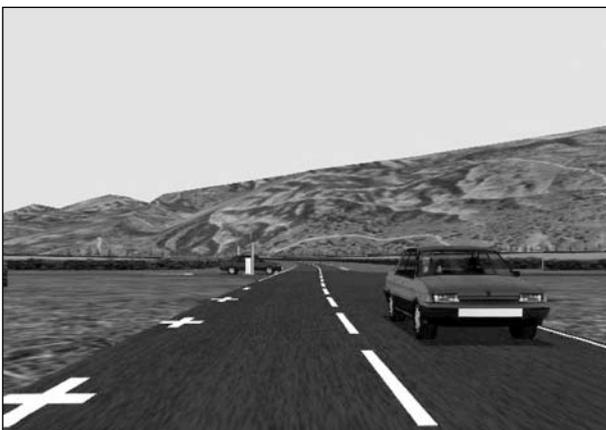


Bild 33: Anfahrt auf eine X-Kreuzung mit Signalisierung der Kreuzungsgeometrie durch Umgestaltung der Markierungen an der Fahrbahnbegrenzung im Annäherungsbereich (CARSTEN/ZAKOWSKA/JAMSON, 2004)

neu markierten Kreuzungen sicherer ausgeprägt als an Standardkreuzungen.

4.9 Hypothese 9: „Räumliche Linienführung“

„Die Ausprägungen des Fahrerverhaltens, z. B. Höhe der Fahrgeschwindigkeit, unterliegen vor allem den Charakteristika der gesamten Straßengestaltung, d. h. dem wahrgenommenen Bild der Straße.“

WEISE et al. (2002) ermittelten über Nachfolgefahrten an elf Untersuchungsstrecken das Geschwindigkeitsverhalten frei fahrender Pkw und bezogen diese Daten auf die vorliegenden Raumelemente. In ihrer Betrachtung der V_{95} -Geschwindigkeiten an geraden Raumelementen ($R = 0$ und $H \neq 0$; gerade Kuppe, gerade Wanne und gerade Senke) stellten sie fest, dass für diese Elemente keine allgemeinen Aussagen getroffen werden können, da die Messwerte einer zu großen Streuung unterlagen und somit das Bestimmtheitsmaß der Regression sehr niedrig ausfiel. Bei gekrümmten Raumelementen ($R \neq 0$) sah das Bild dagegen anders aus: Hier konnten bei den V_{95} -Geschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Radius an den Raumelementen gekrümmte Kuppe, gekrümmte Wanne, gekrümmte Senke und gekrümmter Buckel gute Korrelationen erreicht werden, deren Bestimmtheitsmaße zwischen $R = 0,54$ und $R = 0,91$ lagen (Bild 34).

Dabei stellte sich als auffällig heraus, dass mit zunehmendem Lageplanradius der Geschwindigkeitsunterschied zwischen gekrümmtem Buckel und gekrümmter Senke zunimmt. Im unteren Radienbereich ($R = 80$ m) betrug dieser etwa 5 km/h und im oberen Radienbereich ($R = 240$ m) bereits etwa 11 km/h. Sie erklären die annähernd gleichen Geschwindigkeiten im niedrigeren Radienbereich mit dem dominanten Einfluss des Lageplanradius auf das Fahrerverhalten. Des Weiteren betrachteten sie den Einfluss des Halbmessers auf das Geschwindigkeitsverhalten näher und wiesen einen deutlichen Einfluss für die gekrümmten Buckel und gekrümmten Senken nach. Sie stellten fest, dass gleiche Lageplanradien bei unterschiedlichen Höhenplanhalbmessern verschieden schnell durchfahren werden (Bild 35).

In Abhängigkeit vom Lageplanradius verzeichneten sie die geringsten Geschwindigkeiten im gekrümmten Buckel bei $H < 2.000$ m, bei größeren Halbmessern $2.000 \text{ m} < H < 5.000$ m wurden da-

gegen besonders im oberen Radienbereich wesentlich höhere Geschwindigkeiten gemessen. Prinzipiell scheinen diese Aussagen auch auf die Senke zuzutreffen, jedoch fehlen für diesen Fall im oberen Radienbereich teilweise entsprechende Messwerte. Die zu erwartenden höheren Geschwindigkeiten beim Durchfahren einer Senke im Vergleich zum Buckel konnten anhand der Mes-

sung bestätigt werden. Diese Geschwindigkeitsdifferenzen lagen im oberen Radienbereich bei 20 km/h und mehr. Im Ergebnis steht fest, dass bei größeren Halbmessern und gleichen Lageplanradien deutlich höhere Geschwindigkeiten gefahren werden. Ein Einfluss der Geschwindigkeitsdifferenzen aus anderen streckencharakteristischen Merkmalen wurde nicht weiter bedacht bzw. untersucht.

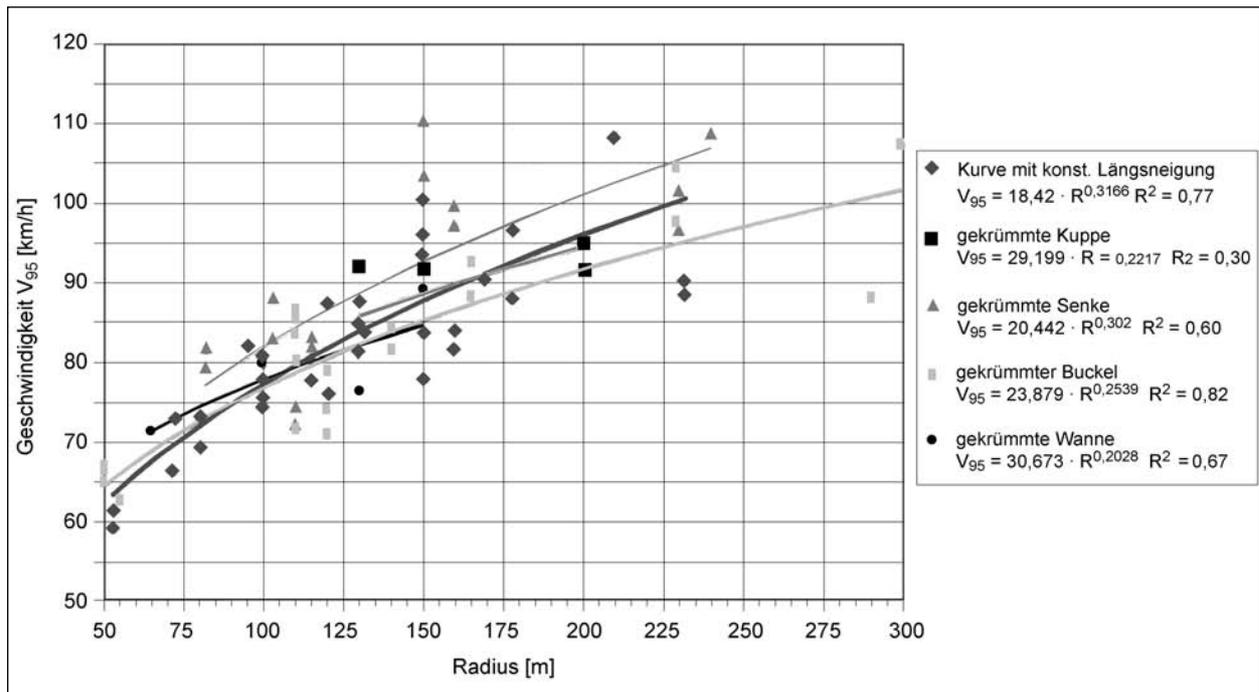


Bild 34: Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Radius bei gekrümmten Raumelementen (WEISE et al., 2002)

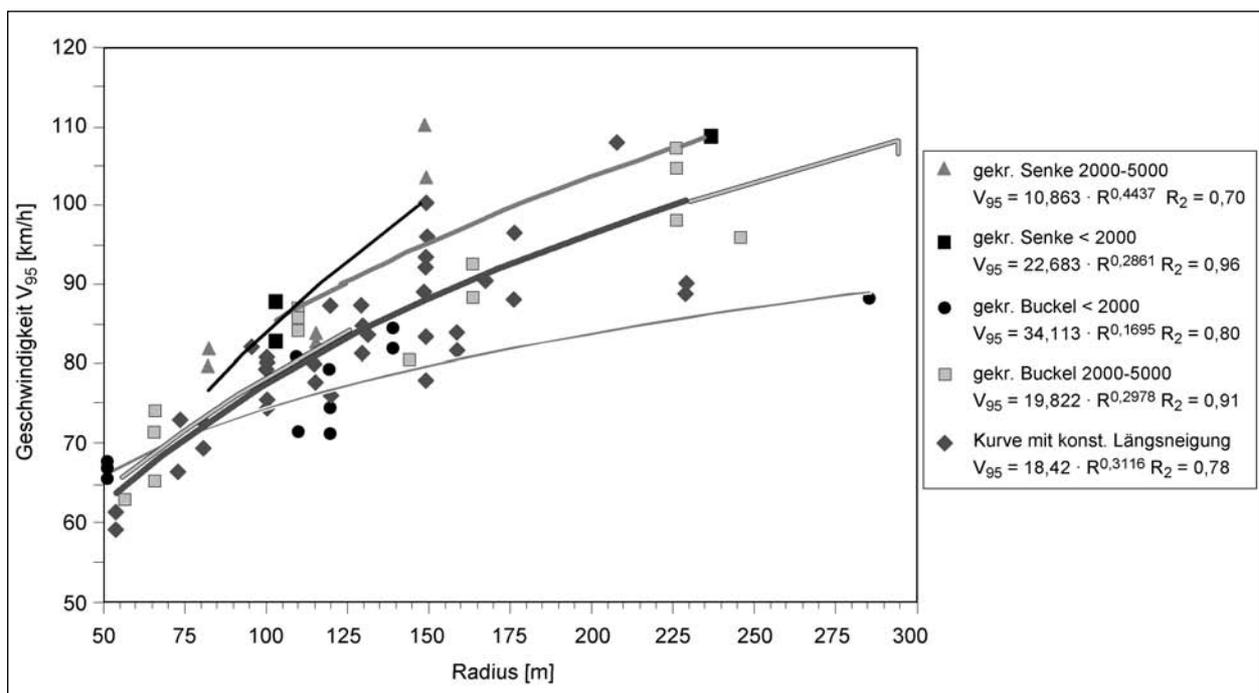


Bild 35: Vergleich mit dem Raumelement Kurve mit konstanter Längsneigung (WEISE et al., 2002)

BALD (1987) untersuchte das Antizipationsverhalten bei Kurven auf Basis von Verfolgungs- und Einsatzfahrten. Als Kenngröße für eine Antizipationsreaktion wurde das Minimum des Ruckprofils vorgeschlagen (Ruck = 3. Ableitung des Wegs nach der Zeit). Dieser Parameter ließ sich aus den Weg-Zeit-Profilen theoretisch maschinell ermitteln. In der Praxis begrenzten allerdings Rauschen des Geschwindigkeitsaufnehmers und nicht eindeutige Fahrerreaktionen die Berechenbarkeit. Eine manuelle Auswertung von 250 Kurvenannäherungen identifizierte 17 analysierbare Annäherungsbereiche. Auf einem Teil dieser interessanten Streckenabschnitte wurden Einsatzfahrten mit sieben Testfahrern und unterschiedlicher Fahrtinstruktion durchgeführt.

Auf eng trassierten Strecken ($V_e = 40-60$ km/h) zeigten sich abrupte Fahrerreaktionen und höhere Verzögerungswerte, wenn bei Kurven mit kleinen Radien ($R = 70$ m bis $R = 150$ m) und großen Öffnungswinkeln der Streckenverlauf durch Sichthindernisse auf der Kurveninnenseite (hier: Hang) verdeckt war. Bei einer Folge kurzer, übersichtlicher Kurven kam es dagegen auf Grund kleiner Öffnungswinkel zu einer gleichmäßigen und zügigen Fahrt. Eine mit Radien zwischen 450 m und 1.000 m trassierte Strecke wies deutliche Unterschiede im Geschwindigkeitsniveau (10-20 km/h) in Hin- und Rückrichtung auf. BALD (1987) führt dies auf den Einfluss unterschiedlicher Sichtbedingungen zurück. Ein noch großzügiger trassierter Streckenabschnitt ($R = 800$ m bis $R = 3.500$ m) lieferte deutliche Hinweise darauf, dass mit zunehmender Sichtweite auch der Wunsch nach höheren Geschwindigkeiten zunimmt. BALD (1987) schlussfolgert aus seinen Ergebnissen, dass die deutlichen Reaktionspunkte der Fahrer teils aus dem Lageplan und teils aus dem Höhenplan resultieren, je nachdem, welcher der beiden relativ enger trassiert ist. Sichtbeschränkungen verändern den Zeitpunkt der Reaktion auf eine Kurve, nicht jedoch die gefahrene Geschwindigkeit. Dies stimmt auch mit Befunden von WEISE/STEYER (1999) überein, die bei einer Verbesserung der Erkennbarkeit von Landstraßenkurven ebenfalls keine Geschwindigkeitsreduktion fanden. Aus einer Analyse von Perspektivansichten der Kurven folgert BALD (1987), dass wohl die in der Kurve sichtbare, seitwärts wegführende Fahrbahnfläche eine besondere Rolle für die Fahrerorientierung spiele (vgl. dazu auch BIEDERMANN, 1984). Ebenso wird vermutet, dass eine kontinuierliche Orientierungslinie von Bedeutung sei.

In der Untersuchung von BALD (1987) zeigten sich auch deutliche Grenzen von Modellen, die nur von Daten des Lageplans ausgehen. So ergab sich in einer der untersuchten Kurven deutlich unterschiedliches Verhalten je nach Fahrtrichtung, bei konstanten Werten der Lageplangeometrie. Berücksichtigt man allerdings, dass es sich bei dieser Kurve um eine Steigungsstrecke mit 5-6 % Steigung handelte und ein Hang an der Kurveninnenseite die Sicht auf den Streckenverlauf effektiv verdeckte, so sind die Unterschiede durchaus plausibel.

BUCK (1992) benutzte zur Modellierung der Geschwindigkeit unbeeinflusst fahrender Fahrzeuge ähnlich wie AL-KASSAR/HOFFMANN/ZMECK (1981) Regressionsmodelle, bei denen zur Vorhersage von Momentangeschwindigkeiten nicht nur die lokalen Parameter der Streckengeometrie, sondern Mittelwerte der Parameter über die letzten 400 m der Strecke verwendet wurden. Damit ließen sich Nacheffekte durchfahrener Streckenteile modellieren. So würde z. B. für eine Kurve mit festem Radius und Öffnungswinkel bei einer Verwendung lokaler Parameter dieselbe Durchfahrtsgeschwindigkeit vorhergesagt, wenn sie am Ende einer langen Geraden liegt, als wenn sie in einem kurvenreichen Abschnitt mit guter Abstimmung der Radienfolgen liegen würde.

Zusätzlich überprüfte BUCK (1992), ob in Einzelregressionen der Parameter nichtlineare Zusammenhänge (ohne theoretische Motivation) zu besseren Vorhersagen führen. Wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben, ergab sich nur für Radien < 500 m ein Zusammenhang zwischen Radius und Geschwindigkeit; größere Radien wurden ungehindert durchfahren. Die berechneten Sichtweiten waren unabhängig von der Krümmung, sodass die Aufnahme des Sichtweitenparameters in ein Modell sinnvoll erschien. Empirisch führten lokale oder mittlere Haltesichtweiten unter etwa 300 m zu Geschwindigkeitsreduktionen. Die lokale Längsneigung hatten erwartungsgemäß keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl, dagegen fand sich ebenso erwartungsgemäß ein Einfluss bei Steigungs- und Gefällestrrecken, d. h., mittlere Längsneigungen (über die letzten 400 m) größer 2 % oder kleiner -4 % wirkten sich auf die lokalen Geschwindigkeiten aus.

Im Modell benutzte BUCK (1992) die Inverse der lokalen und über die letzten 400 m gemittelten Haltesichtweite, lokale und gemittelte Krümmung und die gemittelte Längsneigung mit einem linearen und einem quadratischen Term. Geschwindigkeits-

profile aus diesem Modell wichen insbesondere auf geraden Abschnitten von den empirischen Werten nach oben ab. BUCK (1992) vermutet, dass die Abhängigkeit von Elementfolgen noch stärker (als über das Gleitmittelwertverfahren) im Modell berücksichtigt werden sollte.

HAGLUND/ABERG (2002) untersuchten die Konsistenz der Geschwindigkeitswahl von Fahrern u. a. in Abhängigkeit von Geschwindigkeitsbeschränkungen. Die Wahl der Geschwindigkeit sollte individuelle Risikoakzeptanz reflektieren, daher war eine gewisse Konsistenz der gefahrenen Geschwindigkeiten zu erwarten. Gewertet wurden nur frei fahrende Fahrzeuge. HAGLUND/ABERG (2002) fanden Korrelationskoeffizienten von $r = 0,49$ bis $r = 0,81$, wobei die Korrelation geringer wurde, wenn die Streckencharakteristik sich änderte. Anscheinend werden Veränderungen im Fahrraum von unterschiedlichen Fahrern verschieden bewertet.

RUWENSTROTH/KULLER/RADDER (1989) untersuchten u. a. das Geschwindigkeitsverhalten in Abhängigkeit von Strecken- und Fahrbahnmerkmalen an zwölf Messstrecken unterschiedlicher Trassierung. In ihrer Studie bieten sie zwar Schlussfolgerungen, jedoch sind diese nicht nachvollziehbar, da sowohl Informationen über die Messmethoden als auch über die Ergebnisse der Messungen fehlen. Des Weiteren ist nichts bekannt zu Streuung und Validität der Daten. Die Aussagen werden teilweise über die Geschwindigkeit V_{85} und teilweise über die mittlere Fahrgeschwindigkeit aller untersuchten Streckenabschnitte getroffen. Auf diese Weise stellten sie einen Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und Geschwindigkeit fest (Bild 36), jedoch

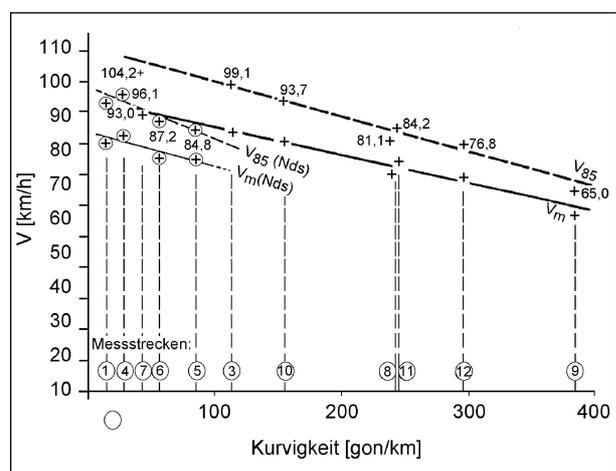


Bild 36: Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und Fahrgeschwindigkeit auf den Messstrecken (N = 10.742) (RUWENSTROTH/KULLER/RADDER, 1989)

wurden die Abschnitte mit unterschiedlichen Sichtweiten und unterschiedlichen Fahrbahnbreiten an dieser Stelle nicht berücksichtigt, obwohl anhand der mittleren Geschwindigkeiten ein Einfluss dieser Größen zumindest tendenziell vermutet wurde. Ein Einfluss der Seitenräume und der Bepflanzung konnte ebenfalls auf diese Art nachgewiesen werden, obwohl die Unterschiede der Geschwindigkeiten nur sehr gering waren und auch zufällig vorhanden sein konnten. Ein statistischer Nachweis lag diesbezüglich ebenfalls nicht vor. Quantitative Aussagen zu konkreten Situationen bzw. Streckenmerkmalen können aus dieser Studie nicht getroffen werden.

4.10 Synopse der Hypothesen

Im Folgenden erfolgt eine Zusammenstellung der aus der Literaturanalyse gewonnenen Erkenntnisse in einer synoptischen Übersicht. Diese werden aus Gründen einer besseren Übersicht den untersuchten Hypothesen zugeordnet.

Hypothese 1: „Die geometrischen Größen von Kurven (Kurvenradius und -längen, Querneigung) und der zugehörigen Übergangsbögen sowie die Kurvenfolgen beeinflussen das Fahrerverhalten.“

Diese Hypothese kann anhand der vorliegenden Literatur klar bestätigt werden. Es liegen folgende Erkenntnisse vor:

- Vor allem im unteren Radienbereich (bis etwa 150 m) hat sich gezeigt, dass das Fahrerverhalten, insbesondere die Geschwindigkeit, durch den Kurvenradius stark beeinflusst ist.
- Jedoch konnte kein radienabhängiger Geschwindigkeitswert gefunden werden, diesen scheint es nicht zu geben, was die großen Streuungen vorliegender Messungen zeigen.
- Die Schwierigkeit, eine Kurve zu durchfahren, steigt mit der Krümmung ($1/R$) an, nicht mit dem Richtungsänderungswinkel (γ).
- Nicht nur der einzelne Radius spielt als Einflussfaktor der Geschwindigkeitswahl eine Rolle, sondern auch die Abfolge der Radien sowie die Kurvigkeit. Bei Radienfolgen im Bereich von 350 m bis 650 m sowie vorliegender Relationstrassierung und stetiger Streckencharakteristik halten die Fahrer eine freie Fahrgeschwindigkeit auf einem konstanten Niveau aufrecht, d. h., mit zunehmender Kurvigkeit wird ein ein-

heitlicheres bzw. homogeneres Geschwindigkeitsverhalten erzwungen und die Ungleichförmigkeit der streckencharakteristischen Geschwindigkeit nimmt mit zunehmender Krümmung ab.

- Radien größer als 500 m haben keinen Einfluss auf das lokale Geschwindigkeitsverhalten, bei Radien unterhalb von 500 m nehmen dagegen die Geschwindigkeiten mit zunehmender Krümmung ab.
- Bei einer un stetigen Streckencharakteristik dagegen, mit Radien, die im Bereich zwischen 30 m und 180 m liegen und ohne Relationstrassierung entworfen sind, erzwingen die geometrischen Größen eine ständige Nachregelung der Geschwindigkeit.
- Zwischengeraden wirken stets beschleunigend.
- Radienrelationen im zu vermeidenden Bereich nach den Regeln der Relationstrassierung tragen zur Erhöhung der Ungleichförmigkeit bei. Dabei bewirkt das Ausschöpfen der maximalen Krümmung (Trassierung mit R_{\min} nach RAL-L-1, 1973) bei einer Entwurfsgeschwindigkeit von 80 km/h (100 km/h) einen Geschwindigkeitsverlust von 12 km/h (8 km/h) bei 1 km Kurvenlänge im Vergleich zur Geraden.
- Um den Verlauf der Strecke abzuschätzen, fixieren die Fahrer etwa 2,0 s bis 3,0 s vor Kurveneingang den Kurvenrand und etwa 1,0 s bis 2,0 s vor Kurveneingang den Kurventangentenpunkt. Dabei zeigt sich eine Asymmetrie der Fixationsorte für die Kurvenrichtung. In Rechtskurven fixieren die Fahrer mehr auf die Fahrbahnrandmarkierung als bei Linkskurven. In unfallauffälligen Kurven dauern die Fixationen deutlich länger (480 ms) als in unfallauffälligen Kurven (390 ms), was auf eine tiefere Verarbeitung bzw. höhere Belastung schließen lässt. Fahrer nutzen also die vorhandene Information effizient zur Antizipation der Krümmung einer Kurve. Inwieweit der Zeitpunkt des antizipatorischen Explorierens von der Fahrgeschwindigkeit abhängt, wurde bislang noch nicht untersucht. Erste Ansätze, bei denen dem Fahrer die Größe der Krümmung durch eine Änderung der Markierungsfrequenz der Seitenlinie signalisiert werden sollte, wurden nicht weiter verfolgt.
- Ist eine einzelne Kurve deutlich sichtbar oder liegt sie in einem kurvigen Abschnitt mit vergleichbaren Radien (d. h. mit konstanter Stre-

ckencharakteristik), so kann die Fahrgeschwindigkeit den geometrischen Größen der Straße korrekt angepasst werden. Kommt es zu Wahrnehmungsunsicherheiten, erfordert eine unterschätzte Kurve eine Korrektur der Geschwindigkeit, die dann nicht mehr vor, sondern in der Kurve stattfindet, sowie ein Korrigieren der Fahrzeuglage und im weiteren Verlauf der Kurve zwangsläufig eine mehr oder weniger abrupte Änderung des Lenkradeinschlags. Dieser bewirkt einen Anstieg der Querbefleunigung, der in Kurven mit mittleren und kleinen Radien (etwa $R < 120$ m) mehr als zweimal größer ist als bei einem normgemäßen Fahrerverhalten.

- Bei der Kurvendurchfahrt scheint ein individueller zeitlicher Mindestabstand zu den Fahrstreifenbegrenzungen (die so genannte TLC) eingehalten zu werden, der unabhängig vom Kurvenradius ist. Die Einhaltung dieses Wertes wird durch die Präzision der Spurführung und die gefahrene Geschwindigkeit bestimmt. Personen, die präzise lenken, fahren daher schneller durch Kurven als unpräzise Lenker.
- Fahrzeuglenker orientieren sich in Kurvenbereichen grundsätzlich an der Markierung der Fahrbahnrande und fahren links versetzt im eigenen Fahrstreifen (unabhängig von der Straßenbreite).
- Die erhöhte Schwierigkeit der Kurvendurchfahrt wird von den Fahrern durch Erhöhung des Aktivationsniveaus innerhalb gewisser Grenzen kompensiert. Dabei können aber keine Obergrenzen für die noch tolerierte Aktivierung angegeben werden.

Hypothese 2: „Die Merkmale des Fahrbahnquerschnitts (d. h. Fahrbahnbreite und Fahrstreifenbreite) beeinflussen das Fahrerverhalten, insbesondere das Geschwindigkeits- und das Spur-, aber auch das Überholverhalten.“

Ob die Merkmale des Fahrbahnquerschnitts, insbesondere die Fahrbahnbreite und die Fahrstreifenbreite, das Fahrerverhalten beeinflussen, erfordert letzten Endes weitere Untersuchungen, da die Befundlage uneinheitlich ist:

- Einerseits führt eine Verringerung der Fahrstreifenbreite von 3,60 m auf 3,00 m zu keinen Geschwindigkeitsunterschieden oder auf Querschnitten b2, c2, d2 wird gleich schnell gefahren. Andererseits konnte nachgewiesen werden,

dass ein Einfluss der Veränderung der Fahrbahnbreite um 1,00 m (von 6,50 m auf 7,50 m) gleich dem Einfluss einer Änderung der Kurvigkeit von 50 Grad/km auf 150 Grad/km ist. Zusätzlich liegen Erkenntnisse vor, dass der Einfluss der Fahrbahnbreite auf das Geschwindigkeitsverhalten nur bei deutlichen Breitenunterschieden auftritt, wobei die Grenze bei einer Breite von 6,00 m liegt. Tendenziell untermauern weitere Studien diese Aussage, wobei eine Unterscheidung in verschiedene Kurvigkeits- und Welligkeitsklassen Einschränkungen vorgibt.

- Des Weiteren hebt sich zunächst aus psychologischer Sicht eine Fahrbahnbreite von 7,50 m und 8,00 m als günstigste Größe hervor, da schmalere Fahrbahnbreiten den Fahrer eventuell überfordern, breitere Fahrbahnen dagegen eine größere Toleranz gegenüber Fahrfehlern zulassen. Bei konstanter individueller TLC wird eine Kursabweichung auf breiteren Fahrbahnen eben später korrigiert oder mit erhöhter Geschwindigkeit gefahren. Unter Umständen ist auch die Aufmerksamkeit reduziert; dazu besteht allerdings noch Forschungsbedarf. Aus Verkehrssicherheitsbetrachtungen wird ersichtlich, dass die Fahrbahnbreite nicht ohne die Fahrstreifenbreite analysiert werden darf, da sich bereits durch geringe Unterschiede andere Unfallkostenraten einstellen. Aus Verkehrssicherheitssicht müsste demnach ein Querschnitt mit einer Fahrbahnbreite zwischen 7,24 m und 7,40 m bei einer Fahrstreifenbreite von 3,38 m bis 3,62 m für zweistreifige Landstraßen mit einem DTV > 7.500 Kfz/d gewählt werden, da diese Kombination die günstigste Unfallkostenrate aufweist.
- Um dem unerwünschten Effekt, dass auf breiteren Fahrbahnen schneller gefahren wird, entgegenzuwirken, wurde teilweise versucht, die wahrgenommene Fahrstreifenbreite unter Beibehaltung der physikalisch nutzbaren Breite durch entsprechende Markierungsmaßnahmen (optisch und/oder haptisch wirkend) zu reduzieren. Dabei zeigen sich z. T. deutliche Effekte auf die gefahrenen Geschwindigkeiten. Allerdings liegen über Gewöhnungseffekte keine Erkenntnisse vor.

Hypothese 3: „Knotenpunkttypen und -abstände wirken auf das Fahrerverhalten, insbesondere auf die Geschwindigkeitswahl und das Überholverhalten.“

Mangels Aussagen hierzu in der Literatur können nur tendenzielle Aussagen zur Beantwortung dieser Hypothese getroffen werden. Tendenziell ist die Hypothese zu bestätigen, dass Knotenpunkttypen und -abstände das Fahrerverhalten beeinflussen:

- Der gefundene Einfluss der Knotenpunktabstände auf die Reisezeit ergibt sich wohl aus fahrdynamischen Gründen: Wenn alle 1.000 m auf 30-40 km/h abgebremst werden muss, braucht der Fahrer länger für die Strecke, als wenn er nur alle 2.000 m verzögern muss. Dabei wäre zu vermuten, dass sich eine Folge von Knotenpunkten bestimmten Typs auf das Antizipationsverhalten der Fahrer auswirkt, was sich in Zeitabständen von Fahrerreaktionen zum Knotenpunkt oder im Blickverhalten nachweisen lassen müsste, da bestimmte Schemata aktiviert werden. An dieser Stelle besteht also Forschungsbedarf; so ließe sich eventuell auch die unklare Befundlage zum Einflussbereich von Knotenpunkten aufklären.
- Am stärksten beeinflussen Knotenpunktgrundform, Regelung und Verkehrsstärke das Geschwindigkeitsniveau in den Knotenpunkten und auch auf den knotenpunktfreien Streckenabschnitten.

Hypothese 4: „Ausstattungsmerkmale zur optischen Führung wie z. B. Fahrbahnmarkierungen und Leiteinrichtungen beeinflussen das Fahrerverhalten, insbesondere das Spurverhalten.“

Zunächst ist die Hypothese eindeutig zu bestätigen: Fahrbahnmarkierungen, Leiteinrichtungen und sonstige Straßenausstattung beeinflussen das Fahrerverhalten in vielfältiger Weise:

- Entgegen häufig geäußerter Vermutungen (RisikoKompensation) zeigt sich bei Verbesserung der optischen Führung durch Markierung vorher unmarkierter Strecken kein Anstieg der Unfallrate. Zwar werden u. U. leicht höhere Geschwindigkeiten gefahren, aber die Geschwindigkeitsverteilungen sind tendenziell auch homogener.
- Die Spurlageänderungen sind relativ gering (hier sind die Befunde inkonsistent: Auf sehr schmalen Straßen scheinen Markierungen die Fahrer abzustoßen, auf etwas breiteren Straßen ziehen sie sie an). Die Orientierung der Fahrer an Markierungen, die ja auch in der Fahrausbildung gelehrt wird, kann dabei zu Spurversatz bei gleichzeitiger Reduktion der Spurschwankung

führen. Dabei stellt sich generell die Frage, wie diese Parameter des Spurverhaltens zu gewichten wären bzw. welches Spurlageverhalten bei frei fahrenden Fahrzeugen als erwünscht angesehen werden soll.

- Ein positiver Effekt auf die Unfallzahlen lässt sich nur bei der Neumarkierung vorher unmarkierter Strecken erkennen.
- Änderungen der Markierung haben dagegen keinen nachweisbaren Einfluss auf die Unfallzahlen und uneindeutige Effekte auf Geschwindigkeiten oder Seitenabstände.
- Versuche, in denen die Verfügbarkeit verschiedener Kombinationen von Ausstattungsmerkmalen manipuliert wurde, weisen meist geringe Effekte beim Hinzufügen zusätzlicher Ausstattung aus. Wenn der Verlauf der Strecke bereits durch Leitpfosten erkennbar ist, dann bringen zusätzliche Markierungen keinen weiteren Gewinn. Allerdings ist die Befundlage in diesem Bereich sehr uneinheitlich, was z. T. auch an der Methode (Regressionsanalysen mit sehr großen Variablenmengen) liegt.
- Isolierte Aussagen zur Wirkung einzelner Ausstattungsmerkmale sind zwar durch Aufsuchen entsprechender Situationen in der Realität oder durch kontrollierte Manipulation im Simulator möglich, aber nur von umschriebenem Interesse, da üblicherweise Strecken nicht nur mit Markierungen, sondern auch mit Verkehrszeichen (hierzu gehören auch Leittafeln), Schutzplanken und Leitpfosten ausgestattet werden.
- Teilweise wurde versucht, durch neuartige Ausstattungsmerkmale ein gewünschtes Fahrerverhalten zu erzielen, sei es durch so genannte optische Bremsen, haptische Fahrbahnverengung, Ausstattung der Schutzplanken in Kurven mit retroflektierendem Material, neuartige Verkehrszeichen usw., wobei diese Manipulationen z. T. durch psychologische Theorien zur Fahrerwahrnehmung und zum Regelungsverhalten begründet waren. Es zeigten sich teilweise beeindruckende Effekte auf relevante Parameter (Geschwindigkeitsreduktion um 13 km/h bei optischer Bremse für Lkw), die durch rein semantische Information nicht erreicht werden konnten. Andererseits sind die Wirkungen im Vergleich zu anderen Maßnahmen (insbesondere Geschwindigkeitsüberwachung) deutlich begrenzt. Selbst bei erheblichen Veränderungen der Strecken-

ausstattung blieben die Effekte weit hinter den Erwartungen zurück.

- Über Gewöhnungseffekte bei neuartigen Maßnahmen liegen keine Erkenntnisse vor.

Hypothese 5: „Die Seitenraumgestaltung und angrenzende Nutzung, insbesondere straßenseitige Bepflanzung, beeinflussen das Fahrerverhalten stärker als die Querschnittsbreite.“

Letztlich kann aus den vorliegenden Studien nicht gefolgert werden, dass diese Hypothese zutrifft, da der Einfluss durch die Fahrbahnbreite bzw. Fahrstreifenbreite wie auch schon in Hypothese 2 beschrieben teilweise noch nicht ausreichend untersucht ist:

- Zwar zeigt sich einerseits eine Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Bepflanzung im Seitenraum, die einen erwarteten Effekt der Fahrbahnbreite anscheinend komplett unterdrückt. Für eine abschließende Bewertung der Einflussgrößen von Fahrbahnbreite und Seitenraumgestaltung wären jedoch weitere Untersuchungen nötig.
- Mit Sicherheit lässt sich sagen, dass Fahrer das erhöhte Unfallrisiko, das von Bäumen im Seitenraum ausgeht, nicht in ihrem Verhalten berücksichtigen. Hier sind andere Maßnahmen zur Risikobegrenzung vonnöten, wie z. B. die Anordnung und Überwachung von Geschwindigkeitsbeschränkungen.
- Durch intensive Geschwindigkeitskontrollen in einer Allee sinken die Geschwindigkeiten im Mittel um 15 km/h, sodass sie im Rahmen der zulässigen Geschwindigkeit liegen.

Hypothese 6: „Die tatsächlichen und wahrgenommenen Sichtweiten beeinflussen das Fahrerverhalten (Geschwindigkeits- und Überholverhalten) stärker als die geometrischen Größen der Trassierungselemente des Lage- und Höhenplans.“

Diese Hypothese kann auf Grund der Literatur nicht bestätigt werden, sondern muss klar abgelehnt werden:

- Mehrere regressionsanalytische Studien zeigen, dass ein Modell der gefahrenen Geschwindigkeiten einen separaten Parameter der Sichtweite enthalten sollte; allerdings wird dieser Parameter nur bei bestimmten Radienbereichen

wirksam. Es konnte gezeigt werden, dass die Sichtweite mit der Kurvigkeit der Strecke korreliert, also z. T. durch den Kurvigkeitsparameter bereits erfasst wird. Dadurch ergibt sich in Modellen, die beide Parameter enthalten, zwangsläufig ein geringeres Gewicht der Sichtweite.

- Fahrer reagieren auf eine Verringerung der Sichtweite nur dann, wenn die eigene Geschwindigkeit wesentlich über der erlaubten Geschwindigkeit liegt. Die dann gewählten Geschwindigkeitsanpassungen sind deutlich zu gering. Eine mögliche Erklärung liegt in der Lerngeschichte: Stehende Hindernisse kommen auf Landstraßen nur sehr selten vor; das vom Gesetzgeber geforderte „Fahren auf Haltsicht“ wird durch die Erfahrung nicht verstärkt. Dagegen scheinen auf Altbaustrecken vom Fahrer durchaus Trassierungsüberraschungen antizipiert zu werden, hier wird im Fahrerverhalten die Sichtweite deutlich stärker berücksichtigt als auf stetig trassierten Neubaustrecken.
- Als Ergebnis wird festgehalten, dass die geometrischen Größen das Fahrerverhalten stärker beeinflussen als die Sichtweite, die Sichtweite jedoch stärker als eigenständige Einflussgröße betrachtet werden kann, obwohl sie je nach Fall mit der Kurvigkeit korreliert. So kann der Einfluss der Sichtweite lediglich auf Ort und Stärke der Fahrerreaktionen beschränkt sein.

Hypothese 7: „Die kognitive Straßencharakterisierung beeinflusst insbesondere die Fahrerverhaltensausprägungen, wie beispielsweise antizipierende Fahrstile.“

Diese Hypothese lässt sich bestätigen:

Fahrer kategorisieren Streckenansichten von Landstraßen subjektiv in bestimmte Klassen, die sich (bei Landstraßen) im Wesentlichen durch die komfortabel zu fahrende Geschwindigkeit bestimmen. Diese Klassen stimmen jedoch nicht mit der offiziellen Straßenkategorisierung überein, was Probleme aufwirft, wenn die offizielle Kategorie auch die erlaubte Geschwindigkeit bestimmt. Allerdings existiert bisher nur eine Studie, in der tatsächlich Fahrerverhalten in Abhängigkeit von der Straßenklassifizierung untersucht wurde.

Hypothese 8: „Durch die Schaffung von Übergangsbereichen von der freien Strecke zu Knotenpunkten kann das Fahrerverhalten (insbesondere

die Geschwindigkeit) der Situation angepasst werden.“

Zu gestalteten Übergangsbereichen von der freien Strecke zu Knotenpunkten liegen keine Erkenntnisse bzw. Untersuchungen vor, inwiefern die Straßengestaltung das Fahrerverhalten beeinflusst. Demnach kann diese Hypothese noch nicht beantwortet werden, hier liegt Untersuchungsbedarf vor.

Hypothese 9: „Die Ausprägungen des Fahrerverhaltens, z. B. Höhe der Fahrgeschwindigkeit, unterliegen vor allem den Charakteristika der gesamten Straßengestaltung, d. h. dem wahrgenommenen Bild der Straße.“

Diese Hypothese lässt sich in Abhängigkeit der Raumelemente wie folgt zusammenfassen:

- Für gerade Raumelemente können keine allgemeinen Aussagen getroffen werden.
- Bei gekrümmten Raumelementen konnten anhand der V_{95} -Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Radius an den Raumelementen gekrümmte Kuppe, gekrümmte Wanne, gekrümmte Senke und gekrümmter Buckel relativ eindeutige Korrelationen nachgewiesen werden.
- Es stellt sich heraus, dass bei größeren Halbmessern und gleichen Lageplanradien deutlich höhere Geschwindigkeiten gefahren werden.
- Ebenfalls steht fest, dass durch Sichtbeschränkungen nicht die gefahrene Geschwindigkeit beeinflusst werden kann, sondern lediglich der Zeitpunkt der Reaktion bzw. das Reaktionsverhalten der Kraftfahrer. Die deutlichen Reaktionspunkte der Fahrer resultieren dabei teils aus dem Lageplan und teils aus dem Höhenplan, je nachdem, welcher der beiden relativ enger trassiert ist. Andererseits fördern mit großen Radien ($R = 800$ m bis $R = 3.500$ m) trassierte Streckenabschnitte mit zunehmender Sichtweite den Wunsch nach höheren Geschwindigkeiten. Zu bedenken sei an dieser Stelle jedoch, dass Veränderungen im Fahrraum von unterschiedlichen Fahrern verschieden bewertet werden. Für das Fahrerverhalten ist somit nicht nur das gesamte optische Bild des Fahrraumes ausschlaggebend, sondern auch, wie verschiedene Straßen von den einzelnen Fahrern subjektiv kategorisiert werden und welche Erwartungen sich dementsprechend auf den jeweiligen Straßen ausbilden.

5 Bedeutung der Erkenntnisse für die neuen Richtlinien für die Anlage von Landstraßen

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens können für die neuen Richtlinien für die Anlage von Landstraßen an drei Stellen relevant sein:

1. Zum Ersten wurde eine Menge von Befunden zum Fahrerverhalten dokumentiert, die für die Abstimmung einzelner Parameterkombinationen der Trassierung von Bedeutung sind.
2. Zum Zweiten wurden Maßnahmen identifiziert, die nachweislich Fahrerreaktionen in eine bestimmte Richtung beeinflussen können.
3. Zum Dritten sind die berichteten Befunde zur subjektiven Klassifikation von Strecken relevant für die geplante Einführung so genannter Straßentypen.

Empirische Untersuchungen zeigen, dass sich das Prinzip der Abstimmung von Radienfolgen (Relationstrassierung) positiv auf das Verhalten der Kraftfahrer auswirkt. So werden auf relationstrassierten Strecken gleichmäßigere Geschwindigkeiten gefahren und diese den Radiengrößen besser angepasst. Allgemein kann die Kurvigkeit als stärkster Einflussfaktor auf das Fahrerverhalten angesehen werden, weshalb ihre Bedeutung in den neuen Richtlinien einer besonderen Beachtung unterliegen sollte.

Die typischen horizontalen Blickverläufe vor Kurven treten im Allgemeinen etwa 3 s bis 5 s vor dem Erreichen der Kurve in Erscheinung. D. h., Fahrer benötigen diese Zeit, um sich auf die Kurve vorzubereiten. Durch entsprechende Sichtfelder, Bepflanzung (unter Beachtung der ESAB, 2002) oder durch Leiteinrichtungen kann sichergestellt werden, dass dem Fahrer diese Zeit auch zur Verfügung steht.

Schmale Fahrbahnbreiten können den Fahrer überfordern, breitere Fahrbahnen dagegen unterfordern, was zu reduzierter Aufmerksamkeit und größerer Toleranz gegenüber Fahrfehlern führt.

Nicht alleine Markierungen tragen zur besseren Erkennbarkeit der Straßenführung bei, sondern auch andere Elemente, wie Leitpfosten, die von den optischen Leitelementen am stärksten auf das Fahrerverhalten wirken und die beste Leistung von Fahrern verfügbar machen. Zusätzliche Rumble Strips im Seitenstreifen führen zu einer Reduktion der Unfallzahlen.

Insgesamt wurde eine große Menge (z. T. neuartiger) Maßnahmen identifiziert, die nachweislich Fahrerreaktionen in eine bestimmte Richtung beeinflussen können. Diese Maßnahmen können gezielt eingesetzt werden, um z. B. lokalisierte Unfallschwerpunkte wirksam zu entschärfen bzw. um verschiedene Lösungsansätze zur Entschärfung sinnvoll bewerten zu können.

Als neuer Gesichtspunkt wurden Studien zur subjektiven und objektiven Klassifikation von Straßentypen beschrieben. Dabei handelt es sich um Unterkategorien von Landstraßen, die sich insbesondere durch rechtliche Vorschriften (zulässige Höchstgeschwindigkeit) und Verkehrszusammensetzung (gemischter Verkehr mit Radfahrern vs. nur Schnellverkehr) unterscheiden. In den neuen Richtlinien ist die Einführung solcher Straßentypen geplant.

Aus den Studien zu dieser Thematik lassen sich folgende Hinweise ableiten:

- Die neuen Straßentypen sollten durch Ausprägungen von Merkmalen charakterisiert sein, die sich uneindeutig einer der Kategorien zuordnen lassen. Z. B. sollte eine Querschnittsbreite nicht für zwei verschiedene Straßentypen zulässig sein.
- Selbst wenn diese Forderung eingehalten wird, ist damit zu rechnen, dass die neuen Straßentypen nicht einwandfrei erkannt werden können, da noch zahlreiche Bestandsstrecken existieren, die verwechselbare Merkmalsausprägungen besitzen. Da vom Fahrer erwartet wird, dass er auf unterschiedlichen Straßentypen auch unterschiedliches Verhalten zeigt, muss – zumindest für eine Übergangszeit – der Straßentyp zusätzlich zur Markierung symbolisch angezeigt oder das gewünschte Verhalten durch explizite Hinweise durchgesetzt werden. Also: Selbst wenn z. B. für einen Straßentyp 3 ein Tempolimit von 90 km/h gilt, müsste dieses explizit beschildert werden, da eine Verwechslungsgefahr mit existierenden Straßenklassen besteht.
- Die Einführung neuer Straßentypen mit impliziten Änderungen der Handlungsmöglichkeiten des Fahrers muss mit intensiver Information der Bevölkerung sowie einer Änderung der Fahrer-erstausbildung einhergehen.

Ob ein Fahrer das Wissen um straßentypische Tempolimits auch umsetzt, ist auf Grund der bishe-

rigen Befunde zum Einhalten von Höchstgeschwindigkeiten stark anzuzweifeln. So zeigen die Untersuchungen von SILCOCK et al. (2000), dass Fahrer die Höchstgeschwindigkeit in den meisten Fällen bewusst übertreten, insbesondere wenn der Grund für die Einschränkung nicht wahrnehmbar ist (vgl. auch LIPPARD/MEEWES 1994). Sofern die Trassierung und das Verkehrsaufkommen also schnelleres Fahren erlauben, ist anzunehmen, dass ein durch den Straßentyp generell vorgeschriebenes Tempolimit nicht eingehalten werden wird. Ein solches Tempolimit müsste dann durch intensive Geschwindigkeitsüberwachung durchgesetzt werden.

6 Offene Fragen

Anhand der vorliegenden Untersuchungen und der daraus abgeleiteten Erkenntnisse lassen sich offene Fragen formulieren, die zum einen konkret die Beantwortung der aufgestellten Hypothesen und zum anderen generelle bzw. grundsätzliche Fragen betreffen.

Eine quantitative Beurteilung des Einflusses des Klothoidenparameters auf das Fahrerverhalten über eine radiendifferenzierte Auswertung konnte anhand der vorliegenden Studien nicht abschließend geklärt werden. Es liegen jedoch interessante Ansätze vor, aus denen die Frage abgeleitet werden kann, ob für bestimmte Radien und Radienöffnungswinkel stärker als bisher eingeschränkte Kennstellen der Klothoiden ein präziseres Fahrerverhalten hervorrufen. So hat sich z. B. für das Spurverhalten in Kurven mit einem Radienbereich von $65 \text{ m} < R < 220 \text{ m}$ und einem Richtungsänderungswinkel von $48 \text{ gon} < \gamma < 146 \text{ gon}$ ein Klothoidenparameter/Kurvenradien-Verhältnis von $A/R = 0,37$ bis $A/R = 0,45$ als besonders günstig erwiesen. Die Datenbasis ist jedoch ungenügend, so dass weitere Untersuchungen zu konkreten Aussagen notwendig sind.

Inwiefern Knotenpunkttypen und -abstände auf das Fahrerverhalten wirken, bleibt mangels Erkenntnissen in der Literatur zu diesem Thema ungewiss, auch wenn auf Basis der vorliegenden Studien tendenziell davon auszugehen ist, dass Knotenpunkttypen und -abstände das Fahrerverhalten beeinflussen.

Ein klar definierter Einflussbereich von Knotenpunkten auf die freie Strecke lässt sich nach heutigem Wissensstand ebenfalls nicht bestimmen. Weitere Untersuchungen wären an dieser Stelle zur

Quantifizierung dieser Bereiche notwendig. Analog fehlen Untersuchungen zum Einfluss der Gestaltung von Übergangsbereichen von der freien Strecke zu Knotenpunkten auf das Fahrerverhalten.

Über Gewöhnungseffekte zu Ausstattungsmerkmalen liegen keine Erkenntnisse vor. Um Maßnahmen auf ihre Wirkung zu untersuchen, müssten sowohl Unfallanalysen als auch Fahrerverhaltensuntersuchungen an ausgewählten Maßnahmen durchgeführt werden.

Zum Einfluss der Querschnitts- und Seitenraumgestaltung insbesondere durch straßenseitige Bepflanzung auf das Fahrerverhalten liegen derzeit erst Pilotstudien vor; diese Frage wird derzeit in einem aktuellen Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen näher untersucht.

Die analysierten Studien haben ergeben, dass Zusammenhänge zwischen Sichtweite am Beginn einer Kurve und der Verzögerung im Kurvenbereich bestehen, die jedoch nicht weiter quantifiziert werden konnten. Demnach ist noch unklar, inwiefern dieser Zusammenhang für die Verkehrssicherheit in Kurven relevant ist.

Zwar lässt sich die Hypothese, dass die kognitive Straßencharakterisierung insbesondere die Fahrerverhaltensausprägungen beeinflusst, bestätigen, doch die aus den kategorisierten Streckenansichten von Landstraßen subjektiv bestimmten Klassen stimmen nicht mit der offiziellen Straßenkategorisierung überein, was Probleme aufwirft, wenn die offizielle Kategorie auch die erlaubte Geschwindigkeit bestimmt. Demnach bliebe zu untersuchen, wie eine Übereinstimmung erreicht werden könnte.

Die Fragestellungen, wie verschiedene Straßen von den einzelnen Fahrern subjektiv kategorisiert werden und welche Erwartungen sich dementsprechend auf den jeweiligen Straßen ausbilden, wurde noch nicht genauer untersucht, wären aber zur Einbindung des Menschen in das technische Regelwerk von starkem Interesse. Insbesondere wäre eine Betrachtung von Straßenklassen von Interesse, die außer einer Anpassung der Geschwindigkeit weitere Verhaltensänderungen der Fahrer bedingen, z. B. die Bereitstellung neuer Manöverschemata. So erzeugen die geplanten neuen dreistreifigen Regelquerschnitte neuartige Anforderungen an die Abstandsregelung, das Überwachungsverhalten, das Überholverhalten und insbesondere das Entscheidungsverhalten (am Ende des Überholbe-

reichs). Für diese Straßenklasse müsste also ein anderer Satz von Manöverschemata aktiviert werden als für „klassische“ Landstraßen. Hier wären weitere Untersuchungen insbesondere mit Überwachung des Blickverhaltens von Interesse, die auch mögliche Transfereffekte beim Wechsel der Straßenklasse betrachten. Ein detaillierter Vorschlag für eine solche Untersuchung findet sich im Anhang.

Schließlich stellt sich die generelle Frage, wie die Wirkung von Variablen wie Radiengrößen, Querneigungen, Anwesenheit und Breite von Markierungen zur Fahrbahnbegrenzung usw. auf das Fahrerverhalten bewertet werden soll. Vereinfacht gesagt: Welche Kriterien gibt es für die „Sicherheit“, die durch bestimmte straßenbauliche Merkmale erzeugt wird, und mit welchen Methoden – außer Unfallzahlen – kann man sie messen?

Viele der berichteten Untersuchungen betrachten die gefahrenen mittleren (oder 85%-)Geschwindigkeiten als zentrale Variable. Dabei ist die implizite Annahme häufig, dass eine Reduzierung der gefahrenen Geschwindigkeiten die Sicherheit von Streckenabschnitten erhöht. Umgekehrt werden Maßnahmen, die zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit führen könnten (Neumarkierung von Strecken), als sicherheitskritisch gesehen. Ähnlich wird bei der Spurlage anscheinend davon ausgegangen, dass die Mitte des eigenen Fahrstreifens „ideal“ sei, was bei frei fahrenden Fahrzeugen zu diskutieren wäre.

Diesen Maßen sollten neue Kennwerte des Fahrerverhaltens gegenübergestellt werden, die stärker berücksichtigen, dass Straßen von Menschen, deren Informationsverarbeitung bestimmten Einschränkungen unterliegt, in Raum und Zeit befahren werden müssen. Eine straßenbauliche Maßnahme, die dem Fahrer erlaubt, früher zu erkennen, dass eine Reaktion verlangt wird, sollte z. B. als „sicherer“ bewertet werden, selbst wenn sich im Vergleich zu anderen Bedingungen Geschwindigkeit und Spurlage nicht ändern, da eine solche Maßnahme dem Fahrer die Möglichkeit gibt, sein Fahrerverhalten rechtzeitig und ohne größere mentale Belastung der Situation anzupassen. Die Entwicklung von Messverfahren und die Definition solcher Kennwerte wären ein wichtiges Thema künftiger Forschungsvorhaben.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Grundlagenstudie erfolgten die Aufbereitung und Bewertung vorhandener Erkenntnisse zur Wirkung und Einbeziehung psychologisch sowie auch physiologisch bedingter Einflüsse auf das Fahrerverhalten und damit auf den Straßenentwurf. Dabei zeigt zunächst die Modellierung des Fahrerverhaltens insbesondere, wie die relevanten Fahraufgaben klassifiziert, die Faktoren des Fahrerzustands zur Bewältigung der Fahraufgabe eine entscheidende Rolle spielen und kognitive Einflüsse zu fehlerhaften mentalen Modellen der Fahrsituation führen können. Auf diesem Wissen aufbauend lässt sich der Konzeptansatz der so genannten „Selbsterklärenden Straße“ ableiten, der davon ausgeht, dass Fahrer die Ausprägungen der Merkmale einer Straße wahrnehmen und auf Grund ihrer bisherigen Erfahrung ein Schema aktivieren, welches die Merkmale der Straße enthält.

Vor diesem Hintergrund, dem aktuellen Regelwerk für den Entwurf von Landstraßen und den Erkenntnissen zum Fahrerverhalten aus den Charakteristika von Unfällen auf Landstraßen, erfolgte eine Analyse sowohl nationaler als auch internationaler Literatur. Berücksichtigung fanden besonders Ergebnisse aus Literaturstellen mit statistischer Aussagekraft, die hypothesengeleitet in eine Synopse überführt wurden. Daraus wurden zum einen konkrete Erkenntnisse für die neuen Richtlinien zur Anlage von Landstraßen (RAL) und relevante, noch nicht beantwortete (und in der Fachwelt z. B. kontrovers diskutierte) Fragen abgeleitet. Letztere zeigen den Forschungsbedarf auf.

Bei vielen der durchleuchteten Studien mangelt es an statistischer Aussagekraft, was häufig an einem zu kleinen Kollektiv bei zu vielen Variablen liegt. Daher können viele Ergebnisse lediglich als Tendenz gesehen werden. Neue Studien sollten also möglichst so angelegt sein, dass jeweils nur einzelne Aspekte bzw. Merkmale, aber dafür mit einem ausreichenden Kollektiv untersucht werden. Die Auswahl der Aspekte oder Merkmale sollte dabei von theoretischen Überlegungen geleitet sein und nicht erst ex post durch rein statistische Kriterien der Datenanpassung getroffen werden.

Fraglich ist ebenfalls, wie Ergebnisse aus Fahrersimulationsstudien zu bewerten sind. Zwar stellen Simulatoren auf Grund ihrer künstlich modellierten Umwelt zunächst ein geeignetes Werkzeug dar,

um auf schnelle und einfache Weise Variationen von Straßenmerkmalen darzustellen und im geringen Umfang empirisch zu bewerten, die Übertragbarkeit der Befunde muss jedoch stets durch Untersuchungen im Realverkehr nachgewiesen werden. Im – leider recht selten realisierten – Idealfall wird die Simulation genutzt, um Hypothesen zu generieren und die relevanten Wertebereiche von Parametern bzw. geeignete Kombinationen der manipulierten Variablen zu identifizieren. Diese Ergebnisse werden für die Spezifikation von Versuchsdesigns im Realverkehr genutzt und eventuelle Befunde aus der Simulation an Realdaten validiert (Beispiel: de WAARD et al., 1995). Die Aufzeichnung des Fahrerhaltens im Simulator erlaubt dann möglicherweise eine Interpretation und Erklärung der Verhaltensphänomene, während die externe Beobachtung von Fahrparametern an großen Stichproben die notwendige Konfidenz in die Befunde sicherstellt. Eine solche Abstimmung von Simulation und Beobachtung im Realverkehr stellt somit eine mögliche Variante für zukünftige Untersuchungen dar.

Literatur

- ALEXANDER, J., BARHAM, P., BLACK, I.: Factors influencing the probability of an incident at a junction: results from an interactive driving simulator. In: *Accident Analysis & Prevention*, 34 (2002), No. 6, pp. 779-792
- AL-KASSAR, B., HOFFMANN, G., ZMECK, D.: Der Einfluss der Streckenmerkmale auf die Momentangeschwindigkeit frei fahrender Pkw. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 323, Bonn-Bad Godesberg 1981
- ANDERSON, J. R.: *Kognitive Psychologie*. Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg 2001
- ASHMAN, R. D., BISHU, R. R., FOSTER, B. G., MCCOY, P. T.: Countermeasures to improve the driving performance of older drivers. In: *Educational Gerontology*, 20 (1994), No. 6, pp. 567-577
- BAKABA, J. E.: Ableitung vereinfachter Modellansätze zur Geschwindigkeitsprognose auf Außerortsstraßen auf der Grundlage der verfügbaren Variablen aus der Straßendatenbank. Heft 5, Fakultät für Verkehrswissenschaften "Friedrich List" der Technischen Universität Dresden, Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen, Schriftenreihe SVA, Dresden 2003
- BALD, S.: Untersuchungen zu Determinanten der Geschwindigkeitswahl – Bericht 1 – Auswertung von Geschwindigkeitsprofilen auf Außerortsstraßen. Bericht zum Forschungsprojekt 8525/3, Heft U158, Bergisch Gladbach 1987
- BARTMANN, A., SPIJKERS, W., HESS, M.: Street environment, driving speed and field of vision. In: *Vision in Vehicles III*, Aachen 1991
- BEALL, A. C., LOOMIS, J. M.: Visual control of steering without course information. In: *Perception* 25 (1996), No. 4, pp. 481-94
- BECHER, Th., BAIER, M. M.: Einfluss der Straßenraumgestaltung auf Fahrverhalten und Unfallgeschehen in Baumalleen. In: *Perspektiven für das Straßenwesen*. Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd und Tunnelbau, Nr. 43, S. 71-92, Aachen 2003
- BERNOTAT, R.: Antropotechnik in der Fahrzeugführung. In: *Ergonomics* 13 (1970), pp. 353-377
- BERTHELON, C., MESTRE, D., NACHTERGAELE, C.: Influence of the road texture on the visual anticipation of a collision during self-motion. Paper presented at the Road Safety in Europe, 9th International Conference, Bergisch Gladbach – Cologne, Germany. 1998
- BERTHELON, C., MESTRE, D., POTTIER, A., PONS, R.: Is visual anticipation of collision during self-motion related to perceptual style? *Acta Psychologica*, 98 (1998), pp. 1-16
- BIEDERMANN, B.: *Strassentrassierung auf der Grundlage von Geschwindigkeiten aus Sehfelduntersuchungen*. Unpublished Dissertation, Technische Hochschule, Darmstadt 1984
- BJORNSKAU, T., ELVIK, R.: Can road traffic law enforcement permanently reduce the number of accidents? In: *Accident Analysis & Prevention*, 24 (1992), No. 5, pp. 507-520
- BOER, E. R., YAMAMURA, T., KUGE, N., GIRSHICK, A.: Experiencing the Same Road Twice: A Driver Centered Comparison between Simulation and Reality. Paper presented at the DSC 2000 (Driving Simulation Conference 2000), Paris 2000
- BRANNOLTE, U., DILLING, J., DURTH, W., HARTKOPF, G., MEEWES, V., ROHLOFF, M., SCHLIE-

- SING, H., STIEVERMANN, P.: Einsatz von Zwischenquerschnitten. Bericht der Projektgruppe „Zwischenquerschnitte“ der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 1992
- BRANNOLTE, U., BARTH, H.-B., SCHWARZMANN, R., JUNKERS, W., LIU, Y., SIGTHORSSON, H., STEIN, J.: Sicherheitsbewertung von Querschnitten außerörtlicher Straßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V5, Bergisch Gladbach 1993
- BRILON, W.: Die RAS-Q 96 – Was ist neu? In: Straßenverkehrstechnik 40 (1996), Heft 11, S. 529-532
- BRILON, W., ROHLOFF, M., WEISER, F.: RAS-Q 96: Ein Kommentar. In: Straße + Autobahn 49 (1998), Heft 12, S. 653-663
- BROADHURST, P. L.: The interaction of task difficulty and emotion: The Yerkes-Dodson Law revived. In: Acta Psychologica 16 (1957), pp. 321-338
- BUCK, M.: Geschwindigkeitsverhalten auf einbahnigen Außerortsstraßen in Abhängigkeit von baulichen, betrieblichen und verkehrlichen Randbedingungen. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 621, Bonn-Bad Godesberg 1992
- CAIRNEY, P.: The effect of profile line-markings on in-vehicle noise levels. In: Fatigue and Driving – Driver Impairment, Driver Fatigue and Driving Simulation, L. HARTLEY, 1995, Taylor & Francis: London. pp. 127-132
- CARD, S., MORAN, T., NEWELL, A.: The psychology of human-computer interaction. Erlbaum Verlag, Hillsdale 1983
- CARSTEN, O., ZAKOWSKA, L., JAMSON, H.: Driver's perception of self explained road infrastructure and architecture. In: 3rd International Conference on Traffic and Transportation Psychology, Nottingham 2004
- CAVALLO, V., BERTHELON, C., MESTRE, D., POTTIER, A.: Visual information and perceptual style in time-to-collision estimation. Paper presented at the Vision in Vehicles VI., Derby 1998
- CHATZIASTROS, A., WALLIS, G. M., BÜLTHOFF, H. H.: The effect of field of view and surface texture on driver steering performance. Paper presented at the Vision in Vehicles VII., Marseilles 1999
- COHEN, A. S.: Fahrt auf Sichtabstand in der Nacht: Eine bisher unerfüllbare Forderung des Gesetzgebers. Paper presented at the Fortschritte der Verkehrspsychologie '88-29. Fortbildungsveranstaltung der Sektion Verkehrspsychologie im Berufsverband Deutscher Psychologen e. V. 1988
- COHEN, A. S.: Psychisch bedingte Straßenbreite. Verlag TÜV Rheinland, Köln 1996
- COHEN, A. S.: Menschgerechte Straßenbreite. In: Fortschritte in der Verkehrspsychologie (Hrsg. SCHLAG, B.), Deutscher Psychologen Verlag, Bonn 1997
- COHEN, A. S.: Visuelle Orientierung im Straßenverkehr, In: bfu Report, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu), Schoch & Co. AG, Ostermündingen 1998
- COLE, B. L., HUGHES, P. K.: Drivers don't search: They just notice. In: Visual search, B. David (Ed.), pp. 407-417., Taylor & Francis, London 1990
- COMTE, S.: Simulator Study on the Effects of ATT and non-ATT Systems and Treatments on Driver Speed Behaviour. MASTER Working Paper 3.1.2, 1998
- CRUNDALL, D. E., UNDERWOOD, G.: Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. In: Ergonomics 41 (1998), No. 4, pp. 448-458
- DAMES, J., MERCKENS, R., BERGMANN, J.: Neuermittlung des Bewertungshintergrundes für Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 413, Bonn-Bad Godesberg 1984
- DAVIDSE, R., DRIEL, C. V., GOLDENBELD, C.: The effect of altered road markings on speed and lateral position. A meta-analysis - Report (R-2003-31), SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, 2003
- DEFKE, H., ERNST, R., KÖPPEL, W., MEEWES, V.: Kostensätze für die volkswirtschaftliche Bewertung von Straßenverkehrsunfällen – Preisstand 1995. In: Straße + Autobahn 46 (1995), Heft 1, S. 23-33

- De WAARD, D. J., JESSURUN, M., STEYVERS, F. J. J. M., RAGGATT, P. T. F., BROOKHUIS, K. A.: Effect of road layout and road environment on driving performance, drivers' physiology and road appreciation. In: *Ergonomics* 38 (1995), No. 7, pp. 1395-1407
- DILLING, J.: Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen auf kurvigen Strecken. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 151, Bonn 1973
- DURTH, W., BIEDERMANN, B., VIETH, B.: Einflüsse der Erhöhung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen von Fahrzeugen auf die Entwurfsgeschwindigkeit. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 385, Bonn-Bad Godesberg 1983
- DURTH, W., HABERMEHL, K.: Überholvorgänge auf einbahnigen Straßen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 489, Bonn-Bad Godesberg 1986
- DURTH, W., LEVIN, C.: Differenzierte Kuppenbemessung. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 600, Bonn-Bad Godesberg 1991
- DURTH, W., LIPPOLD, Chr.: Anpassung der Entwurfsrichtlinien für die Linienführung (RAS-L-1 1984) an neuere Entwurfsrichtlinien. FA 02.144 G91E im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Schlussbericht (unveröffentlicht), Darmstadt 1993
- DURTH, W., LIPPOLD, Chr.: Entwurf der neuen Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung (RAS-L 1994). In: *Straße + Autobahn* 46 (1995), Heft 2, S. 80-86
- DURTH, W., WEISE, G., BARK, A., LIPPOLD, CHR., SOSSOUMIHEN, A.: Überprüfung des Relationstrassierung für Straßen der Kategoriegruppe A. FA 02.153 R93E im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Zwischenbericht (unveröffentlicht), Darmstadt 1995
- ELVIK, R., VAA: *The handbook of road safety measures*. Amsterdam 2004
- Empfehlungen zum Schutz vor Unfällen mit Aufprall auf Bäume (ESAB) (unveröffentlichtes Arbeitspapier), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln 2002
- Entwurfshinweise für planfreie Knotenpunkte an Straßen der Kategoriegruppe B, Ergänzungen zu den RAL-K-2 (RAS-K-2 B), Ausgabe 1995. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln 1995
- FILDES, B. W., TRIGGS, T. J.: An Illusion of curvature in the perception of road curves. Paper presented at the *Vision in Vehicles I.*, Nottingham 1986
- FIOLIC, R.: Der Kurvenradius als Einflussgröße auf die Verkehrssicherheit. In: *Berater für Schadenverhütung des Verbandes der Haftpflicht-Unfall- und Kraftverkehrsversicherer* (Ed.), *Straßenbau, Verkehrstechnik und Verkehrssicherheit* (Vol. 15, *Verkehrssicherheit auf Landstraßen*. Kolloquium über die Notwendigkeit und Möglichkeiten der Zusammenarbeit von Ingenieuren mit Psychologen und Physiologen bei der Entwicklung von Grundlagen der Straßenplanung. Bericht über die 5. gemeinsame Veranstaltung der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e. V. und des HUK Verbandes am 15.-17. April 1970 in Saarbrücken, S. 21-22). Bonn-Bad Godesberg 1971
- FISHER, J.: Testing the effect of road traffic signs' informational value on driver behavior. In: *Human Factors* 34 (1992), pp. 231-237
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): *Aktuelle Hinweise zur Gestaltung planfreier Knotenpunkte außerhalb bebauter Gebiete (AH-RAL-K-2)*, Ausgabe 1993
- GALLEY, N.: Erfassung von Blickbewegungen – Die Orientierung im Straßenverkehr bei Nachtfahrten. *Forschungsgemeinschaft Auto Sicht Sicherheit* (A.S.S. e. V.), Verlag TÜV Rheinland, Köln 1988
- GIBSON, J. J.: *Wahrnehmung und Umwelt – Der ökologische Ansatz in der visuellen Wahrnehmung*. Urban & Schwarzenberg, München 1982
- GODLEY, S. T., TRIGGS, T. J., FILDES, B. N.: Perceptual lane width, wide perceptual road centre markings and driving speeds. In: *Ergonomics* 47 (2004), No. 3, pp. 237-256
- GODTHELP, H.: Vehicle control during curve driving. In: *Human Factors* 28 (1986), No. 2, pp. 211-221
- GODTHELP, H.: The limits of path error-neglecting in straight lane driving. In: *Ergonomics* 31 (1988), No. 4, pp. 609-619

- GODTHELP, H., MILGRAM, P., BLAAUW, G. J.: The development of a time-related measure to describe driving strategy. In: *Human Factors* 26 (1984), No. 3, pp. 257-268
- GOLDSTEIN, E. B.: *Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung*. 2. deutsche Auflage, Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin 2002
- HAGLUND, M., ABERG, L.: Stability in drivers' speed choice. In: *Transportation Research Part F* 5 (2002), No. 3, pp. 177-188
- HALE, A. R., QUIST, B. W., STOOP, J.: Errors in routine driving tasks: a model and proposed analysis technique. In: *Ergonomics* 31 (1988), No. 4, pp. 631-641
- HARMS, L.: The influence of sight distance on subjects' lateral control: A study of simulated driving in fog. Paper presented at the Vision in Vehicles IV., Leiden 1993
- HARTKOPF, G., WEBER, R.: Die neuen Richtlinien für Landstraßen – Ein Schritt zu selbsterklärenden Straßen? In: *Straßenverkehrstechnik* 49 (2005), Heft 1, S. 10-18
- HAUGER, G.: Geschwindigkeitsverhalten im motorisierten Individualverkehr auf Innerortsstraßen. In: *Straßenverkehrstechnik* 41 (1997), Heft 11, S. 542-551 (Teil 1: Methodischer und konzeptioneller Lösungsansatz zur empirischen Erfassung des Geschwindigkeitsverhaltens auf verschiedenen Straßentypen), Heft 12, S. 602-607 (Teil 2: Verkehrliche, städtebauliche und straßenfunktionelle Einflußparameter auf das Geschwindigkeitsverhalten)
- HEGER, R., WEISE, G.: Fahrverhalten und Aktivierung von Kraftfahrern als Kriterien zur Bewertung der Linienführung von Außerortsstraßen. *Fortschritte der Verkehrspsychologie*, Bonn 1997
- HELANDER, M. G., SODERBERG, S.: Driver activation level and road demand. Division of Highway Engineering (Technical Report No. 11), Chalmers University of Technology, Göteborg 1973
- HERBERG, K.-W.: Geschwindigkeit – eine verkehrspsychologische Betrachtung. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 29 (1983), Heft 4, S. 154-161
- HÖFNER, K. J., HOSKOVEC, J.: Registrierung der Blickbewegungen beim Autofahren – bisherige Forschungen. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 19 (1973), Heft 4, S. 222-241
- HOFFMANN, J.: *Vorhersage und Erkenntnis*. Hogrefe, Göttingen 1993
- HORNE, J., REYNER, L.: Sleep-related vehicle accidents: some guides for road safety policies. In: *Transportation Research* (2001), F 4, pp. 63-74
- HUGHES, P. K., COLE, B. L.: What attracts attention when driving? In: *Ergonomics* 29 (1986), No. 3, pp. 377-391
- JENNSSEN, G. D., BREKKE, B.: A comprehensive evaluation of fluorescent retroreflective traffic control devices based on human factors and traffic engineering data. Paper presented at the Vision in Vehicles VII., Marseilles 1999
- JOHANNSEN, G.: Fahrzeugführung. In: *Ingenieurpsychologie (Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Praxisgebiete)* (1990), Editor: H. C. GRAF & B. ZIMOLONG, Hogrefe, Göttingen, S. 426-454
- JURGENSOHN, T., NECULAU, M., WILLUMEIT, H. P.: Visual scanning pattern in curve negotiation. In: *Vision in Vehicles III*, Aachen 1991
- KALLBERG, V. P., ALLSOP, R. E., WARD, H., Van der HORST, R., VÁRHELYI, A.: *Master-Managing Speeds of Traffic on European Roads*. Final report, (RO-96-SC.202), Office for official publications of the European Communities, Brüssel 1999
- KAYSER, H.-J., STRUIF, R.: Maßnahmen zur Beeinflussung des Überholverhaltens. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 690, Bonn-Bad Godesberg 1993
- KENNY, P. J.: The interaction between driver impairment and road design in the causation of road crashes – three case studies. In: *Fatigue and Driving – Driver Impairment, Driver Fatigue and Driving Simulation*, Taylor Francis, London, 1995, pp. 87-96
- KLEBELSBERG, D.: *Verkehrspsychologie*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 1982
- KLEINSCHMIDT, P.: Entwurfs- und Verkehrssicherheitsanforderungen für den Um- und Ausbau vorhandener einbahniger Außerortsstraßen. In:

- Festschrift zum 65. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Weise. 2000, Fakultät für Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsanlagen, Lehrstuhl Planung und Entwurf von Straßenverkehrsanlagen und Anlagen des Luftverkehrs, Dresden, S. 149-162
- KÖLLE, M., SCHNÜLL, R.: Sicherheitseigenschaften außerörtlicher Knotenpunkte. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V67, Bergisch Gladbach 1999
- KÖPPEL, G., BOCK, H.: Kurvigkeit, Stetigkeit und Fahrgeschwindigkeit. In: Straße + Autobahn 21 (1970), Heft 8, S. 304-308
- KÖPPEL, G.: Entwicklung einer Bemessung von Kurvenradius, Kurvenquerneigung und Haltesichtweite in Abhängigkeit von der Fahrbahngeometrie. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 429, Bonn-Bad Godesberg 1984
- KÖPPEL, G., BOCK, H.: Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kurvigkeit. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 269, Bonn-Bad Godesberg 1979
- KREBS, H. G., DAMIANOFF, N.: Geschwindigkeitsverhalten bei Gefahrenzeichen in Kurven. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 380, Bonn-Bad Godesberg 1983
- KUPKE, P.: Simulatorexperimente zum trassenabhängigen Fahrverhalten und Überprüfen der Linienerführung. Veröffentlichungen des Institutes für Straßenbau und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe, Heft 16, Karlsruhe 1977
- LAMM, R.: Fahrdynamik und Streckencharakteristik – Ein Beitrag zum Entwurf von Straßen unter besonderer Berücksichtigung der Streckencharakteristik. Veröffentlichungen des Institutes für Straßenbau und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe des Instituts für Straßenbau und Eisenbahnwesen, Heft 11, Karlsruhe 1973
- LAND, M., HORWOOD, J.: Which parts of the road guide steering? In: Nature 377 (1995), No. 6547, pp. 339-40
- LAND, M. F., HORWOOD, J.: How speed affects the way visual information is used in steering. Paper presented at the Vision in Vehicles VI., Derby 1998
- LAND, M. F., LEE, D. N.: Where do we look when we steer? In: Nature 369 (1994), No. 6483, pp. 742-744
- LANDWEHR, K.: Optical guidance revisited. Paper presented at the Vision in Vehicles III., Aachen 1991
- LEE, J., MANNERING, F.: Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. In: Accident Analysis and Prevention 34 (2002), pp. 149-161
- LEINS, W.: Fahrbahn und Verkehrssicherheit. Vortrag im Haus der Technik in Essen, April 1969
- LEUTZBACH, W., PAPAVALIOU, V.: Wahrnehmungsbedingungen und sicheres Verhalten im Straßenverkehr. Wahrnehmung in konkreten Verkehrssituationen, Bremerhaven 1988
- LEUTZBACH, W., BRANNOLTE, U., SCHMIDT, M., BAUMANN, N.: Untersuchung des Verkehrsablaufs auf einbahnigen Straßen unter besonderer Berücksichtigung langsamer Fahrzeuge. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 551, Bonn-Bad Godesberg 1989
- LEVIN, C.: Differenzierte Kuppenbemessung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 600, Bonn-Bad Godesberg 1991
- LIPPARD, D., MEEWES, V.: Geschwindigkeiten in den neuen Bundesländern – Verhaltensänderungen 1991-1993 Neue Fahrbahnen, Ausstattung, Umfeld. In: Mitteilungen Nr. 35, HUK-Verband – Beratungsstelle für Schadensverhütung, Köln 1994
- LIPPOLD, C.: Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstraßen. Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen, Darmstadt 1997
- LIPPOLD, C., DIETZE, M., KRÜGER, H.-P., SCHEUCHENPFLUG, R., MARK, C.: Einfluss der Straßenbepflanzung und Straßenraumgestaltung auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer und auf die Sicherheit im Straßenverkehr an Außerortsstraßen. 2. Zwischenbericht. Fakultät für Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Dresden 2004
- LUOMA, J.: Drivers' eye fixations and perceptions. In: Vision in vehicles-II. (Vol. 2), pp. 231-237, Amsterdam 1988

- LUOMA, J., RÄMÄ, P., PENTTINEN, M., ANTTILA, V.: Effects of variable message signs for slippery road conditions on reported driver behaviour. In: *Transportation Research Part F* (2000), No. 3, pp. 75-84
- MacDONALD, W. A., HOFFMANN, E. R.: Drivers' awareness of traffic sign information. In: *Ergonomics* 34 (1991), No. 5, pp. 585-612
- MACKWORTH, N. H.: The breakdown of vigilance during prolonged visual search. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1 (1948), pp. 6-21
- MAIER, R., MEEWES, V.: Fahrbahnbreite und Geschwindigkeitsverhalten. In: *Straßenverkehrstechnik* 34 (1990), Nr. 2, S. 49-54
- MAIER, R., MEEWES, V., NEUMANN, V.: Baumspiegel und überwachtes Tempo 80 in Alleen. In: *Geschwindigkeiten – Überholen – Unfälle*, Institut für Straßenverkehr (ISK) des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV), Köln 1999
- MARTENS, M. H., COMTE, S., KAPTEIN, N. A.: The effects of road design on speed behaviour: A literature review. 1997
- MEEWES, V., GERZ, U.: Zur Beschreibung des Verkehrsablaufs auf Straßen mit und ohne Richtungstrennung. In: *Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen*, Nr. 2529, 1975
- MICHON, J. A.: A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In: *Human behavior and traffic safety*, L. EVANS & R. C. SCHWING (Eds.), Plenum Press. pp. 485-520, New York 1985
- MILLER, G. A.: The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. In: *Psychological Review* 63 (1956), pp. 81-97
- MILLER, T. R.: Benefit cost analysis of lane markings. In: *Public Roads* 56 (1993), No. 4, 1993
- MOURANT, R. R., ROCKWELL, T. H.: Strategies of visual search by novice and experienced drivers. In: *Human Factors* 14 (1972), No. 4, pp. 325-335
- NEDAS, N. D.: Combating drivers visual impairments through roadway engineering. In: *Vision in Vehicles I.*, Nottingham 1986
- ORON-GILAD, T., RONEN, A., SHINAR, D., CAS-SUTO, Y.: Roadway effects on fatigue coping strategies in simulated driving. *Negev* 2002
- OSAKA, N.: Effects of window size and excentricity upon eye fixation and reaction time in negotiation of curves. Paper presented at the *Vision in Vehicles III.*, Aachen 1991
- OTTE, D.: Charakteristika von Landstraßenunfällen. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 122*, Bergisch Gladbach 2000
- OTTEN, N., HABERMEHL, K.: Vergleich der Ergebnisse von Feld- und Simulatorexperimenten zum Überholverhalten von Kraftfahrern. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Heft U 196*, Bergisch Gladbach 1989
- OTTEN, N., HAHN, S.: Simulatorversuche zum Überholverhalten von Kraftfahrern auf einbahnigen Außerortsstraßen. *Mitteilungen des Lehrstuhls für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Nr. 20*, Aachen 1986
- OTTEN, N., HAHN, S.: Simulatorversuche zur Beeinflussung des Überholverhaltens auf einbahnigen Außerortsstraßen. *Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Nr. 20*, Aachen 1988
- OTTEN, N., SCHROIFF, H.-W.: Untersuchungen zu Determinanten der Geschwindigkeitswahl – Bericht 2 – Streckencharakteristik und Geschwindigkeitswahl. *Bericht zum Forschungsprojekt 8525/2, Heft U169*, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 1988
- PACK, A. I., PACK, A. M., RODGMAN, E., CUCCHIARA, A.: Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep. In: *Accident Analysis and Prevention* 27 (1995), No. 6, pp. 769-775
- PALM, I., SCHMIDT, G.: Querschnittsbreiten einbahniger Außerortsstraßen und Verkehrssicherheit. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 64*, Bergisch Gladbach 1999
- RASMUSSEN, J.: *Information processing and human-machine interaction*. Elsevier Science Publishing Co., Inc. Amsterdam 1986

- RAY, M. H.: Safety advisor: framework for performing roadside safety assessment. In: *Transportation Research Record* (1994), No. 1468, pp. 34-40
- RÄMÄ, P., KULMALA, R.: Effects of variable message signs for slippery road conditions on driving speed and headways. In: *Transportation Research Part F* (2000), No.3, pp. 85-94
- RICHTER, T.: Entwurfsstandards für Knotenpunkte an Ortsumgehungen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 653, Bonn-Bad Godesberg 1993
- RICHTER, T., HÜSKEN, B.: Einsatzkriterien für Kreisverkehrsplätze außerhalb bebauter Gebiete. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 757, Bonn-Bad Godesberg 1998
- RICHTER, P., WAGNER, T., HEGER, R., WEISE, G.: Psychophysiological analysis of mental load during driving on rural roads: A quasi-experimental field study. In: *Ergonomics* 41 (1998), No. 5, pp. 593-609
- Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Knotenpunkte, Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte (RAS-K-1), Ausgabe 1988. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln 1988
- Richtlinien für die Anlage von Landstraßen, Teil: Knotenpunkte (RAL-K), Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte (RAL-K-2), Ausgabe 1976, Berichtiger Nachdruck 1991, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln 1976
- Richtlinien für die Anlage von Landstraßen, Teil II: Linienführung, Abschnitt 1: Elemente der Linienführung (RAL-L-1), Ausgabe 1973, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln 1973
- Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung (RAS-L), Ausgabe 1984. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1984
- Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung (RAS-L), Ausgabe 1995. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln 1995
- Richtlinien für die Anlage von Landstraßen, Entwurfshinweise für planfreie Knotenpunkte an Straßen der Kategoriengruppe B (Ergänzung zu den RAL-K-2) (RAS-K-2-B), Ausgabe 1995. Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), Köln 1995
- Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q), Ausgabe 1982. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln 1982
- Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q), Ausgabe 1996. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln 1996
- RIEMERSMA, J. B. J.: An empirical study of subjective road categorization. In: *Ergonomics* 31 (1988), No. 4, pp. 612-630
- RIEMERSMA, J. B. J.: Perception of curve characteristics. Paper presented at the Vision in Vehicles III., Aachen 1991
- ROGÉ, J., PÉBAYLE, T., KIEHN, L., MUZET, A.: Alteration of the useful visual field as a function of state of vigilance in simulated car driving. In: *Transportation Research Part F* (2002), No. 5, pp. 189-200
- ROSCH, E.: Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology: General* 104 (1975), pp. 192-223
- RUDINGER, G., HOLTE, H.: Die subjektive Sicherheitsbewertung von Baumalleen mit Varianten der Straßenausstattung. In: *Straßenverkehrstechnik* 38 (1994), No. 5, pp. 291-294
- RUWENSTROTH, G., KULLER, E. C., RADDER, F.: Untersuchungen zu Determinanten der Geschwindigkeitwahl – Bericht 3 – Situationsangemessene Geschwindigkeitwahl auf Außerortsstraßen (ohne BAB). Bericht zum Forschungsprojekt 8525/1 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft U193, Bergisch Gladbach 1989
- SCHAGEN, I. V., JANSSEN, T.: Sustainable safety in the Netherlands. In: *IATSS Research* 24 (2000), No. 2, pp. 18-27
- SCHNULL, R., LANGE, J.: Speed reduction on through roads in Nordrhein-Westfalen. Special Issue: Speed management through traffic

- engineering. In: Accident Analysis & Prevention 24 (1992), No. 1, 67-74
- SCHÖNBORN, H. D.: Markierungen und Verkehrssicherheit. In: Straßenverkehrstechnik 37 (1993), No. 6, S. 300-307
- SHINAR, D., McDOWELL, E. D., ROCKWELL, T. H.: Eye movements in curve negotiation. In: Human Factors 19 (1977), pp. 63-71
- SHINAR, D., ROCKWELL, T. H., MALECKI, J. A.: The effects of changes in driver perception on rural curve negotiation. In: Ergonomics 23 (1980), pp. 263-275
- SILCOCK, D., SMITH, K., KNOX, D., BEURET, K.: What limits speed? Factors that affect how fast we drive. AA Foundation for Road Safety Research, 2000
- SOSSOUMIHEN, A. J.: Entwicklung eines Rahmenkonzeptes zur Bewertung der Linienführung von Außerortsstraßen nach der Zielfunktion Fahrsicherheit. Fakultät für Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden, Dresden 2001
- SPACEK, P.: Spurverhalten und Unfallgeschehen in Kurven. In: Straßenverkehrstechnik 43 (1999), Nr. 2, S. 68-75
- STAPLIN, L., FISK, A. D.: A cognitive engineering approach to improving signalized left turn intersections. Special Issue: Safety and mobility of elderly drivers: Part I. In: Human Factors, 33 (1991), pp. 559-571
- STEINAUER, B., BAIER, M. M., KEMPER, D., BAUR, O., Frank, H.: Sicherheitswirkung von fluoreszierenden Materialien bei Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, 4. Entwurf Schlussbericht (unveröffentlicht), Aachen 2005
- STEYVERS, F. J. J. M.: The measurement of road environment appreciation with a multi-scale construct list. Paper presented at the Vision in Vehicles IV., Leiden 1993
- STEYVERS, F. J. J. M.: Categorization and appraisal of rural two-lane undivided 80-km/h roads. Paper presented at the Vision in Vehicles VI., Derby 1998
- STEYVERS, F. J. J. M.: Increasing safety by removing visual cues – a contradiction. Paper presented at the Vision in Vehicles VII., Marseilles 1999
- STEYVERS, F. J. J. M., de WAARD, D.: Road-edge delineation in rural areas: Effects on driving behaviour. In: Ergonomics 43 (2000), pp. 223-238
- STEYVERS, F. J. J. M., DEKKER, K., BROOKHUIS, K. A., JACKSON, A. E.: The experience of road environments under two lighting and traffic conditions: Application of a road environment construct list. In: Applied Cognitive Psychology 8 (1994), No. 5, pp. 497-511
- SUMMALA, H., HIETAMAKI, J.: Drivers' immediate responses to traffic signs. In: Ergonomics 27 (1984), No. 2, pp. 205-216
- SUMMALA, H., PASANEN, E., RÄSÄNEN, M., SIEVÄNEN, J.: Bicycle accidents and drivers visual search at left and right turns. In: Accident Analysis and Prevention, 28 (1996), No. 2, pp. 147-153
- TENKINK, E.: Lane Keeping and Speed Choice with restricted Sight Distances. In: Road User Behaviour: Theory and Research, pp. 169-177, Assen-Maastricht 1988
- THEEUWES, J., DIKS, G.: Subjective road categorization and speed choice. In: TNO Report TM 1995 B 16, Human Factors Research Institute, Soesterberg 1995
- THEEUWES, J.: Visual search at intersections: An eye-movement analysis. Paper presented at the Vision in Vehicles V., Glasgow 1996
- THEEUWES, J.: Self-explaining roads: Subjective categorization of road environments. Paper presented at the Vision in Vehicles VI., Derby 1998
- THEEUWES, J.: The effects of road design on driving. In: Traffic Psychology today, P. E. BARJONET (Ed.), Kluwer, pp. 241-263, Boston 2001
- TRAPP, K.-H.: Untersuchungen über den Verkehrsablauf auf Landstraßen. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 113, Bonn 1971
- TRAPP, K.-H., OELLERS, F.-W.: Streckencharakteristik und Fahrverhalten auf zweispurigen Landstraßen. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 176, Bonn 1974

- TRIGGS, T. J., FILDES, B. N.: Roadway delineation at night. Paper presented at the Vision in Vehicles I., Nottingham 1986
- TSIMHONI, O., GREEN, P. A.: Visual demand of driving curves as determined by visual occlusion. Paper presented at the Vision in Vehicles VIII., 1999
- UNDERWOOD, G., CHAPMAN, P., CRUNDALL, D., COOPER, S., WALLEN, R.: The visual control of steering and driving: Where do we look when negotiating curves? Paper presented at the Vision in Vehicles VII., Marseilles 1999
- UNDERWOOD, G., CHAPMAN, P., BOWDEN, K., & CRUNDALL, D.: Visual search while driving: skill and awareness during inspection of the scene. *Transportation Research Part F*, 5 (2002), No. 2, pp. 87-97
- Van der HORST, R.: A time-based analysis of road user behavior in normal and critical encounters. Soesterberg 1990
- Van der HORST, R.: Speed-reducing measures for 80 km-h roads. In: ICTCT-Workshop, Zagreb 1996
- Van der HORST, R., Kaptein, N.: Self Explaining Roads. In: ICTCT-Workshop, Budapest 1998
- Van VIANEN, A. E. M.: Person-organisation fit: The match between theory and methodology – Introduction to the special issue. In: *Applied Psychology, International Review* 50 (2001), No. 1
- VDA Verband der Automobilindustrie (2005). Auto Jahresbericht 2005. Online: http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/files/VDA_2005.pdf
- VELICHKOVSKY, B. M., DORNHOEFER, S. M., KOPF, M., HELMERT, J., JOOS, M.: Change detection and occlusion modes in road-traffic scenarios. *Transportation Research Part F*, 5 (2002), No. 2, pp. 99-109
- VOGEL, K., KIRCHER, A., ALM, H., NILSSON, L.: Traffic sense – which factors influence the skill to predict the development of traffic scenes? In: *Accident Analysis and Prevention*, 35 (2003), No. 5, pp. 749-762
- VOLLPRACHT, H.-J., BIRTH, S.: Wiederentdeckte Aspekte bei der Gestaltung des Straßenraumes. In: *Straßenverkehrstechnik* 47 (2003), Heft 4, S. 194-200
- WAGNER, T., RICHTER, P., HEGER, J., WEISE, G.: Die psychophysiologische Aufwandsregulation des Kraftfahrers auf Außerortsstraßen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit des Streckensegments. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 51(1997), Nr. 2, S. 104-112
- WARREN, W. H., HANNON, D. J.: Direction of self-motion is perceived from optical flow. In: *Nature* 336 (1988), pp. 162-163
- WARREN, W. H., HANNON, D. J.: Eye movements and optical flow. In: *Journal of the Optical Society of America, A*, 7, pp. 160-169, 1990
- WARREN, W. H., MESTRE, D. R., BLACKWELL, A. W., MORRIS, M. W.: Perception of circular heading from optical flow. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 17 (1991), pp. 28-43
- WARREN, W. H., MORRIS, M. W., KALISH, M.: Perception of translational heading from optical flow. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 14 (1988), pp. 646-660
- WEISE, G., STEYER, R.: Gestaltungskriterien von Landstraßenkurven. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 63*, Bergisch Gladbach 1999
- WEISE, G., DIETZE, M., EBERSBACH, D., KUCZORA, V.: Entwicklung eines praktikablen Verfahrens zur Berücksichtigung der räumlichen Linienführung von Außerortsstraßen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 849*, Bonn-Bad Godesberg 2002
- WILDE, G. J. S.: Risk homeostasis theory and traffic accidents: propositions, deductions and discussion of dissension in recent reactions. In: *Ergonomics* 31 (1988), No. 4, pp. 441-468
- WINSUM, W. v., GODTHELP, H.: Speed Choice and Steering Behaviour in Curve Driving. In: *Human Factors* 38 (1996), No. 3, pp. 434-441
- WITT, H., HOYOS, C. G.: Advance information on the road: a simulator study of the effect of road markings. In: *Human Factors* 18 (1976), No. 6, pp. 521-532
- WRAMBORG, P.: On a Partially New Approach to Traffic Planning and Street Design in Sweden. *Proceedings of the Conference „Road Safety in Europe“*, Bergisch Gladbach 1998

YERKES, R. M., DODSON, J. D.: The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. In: *Journal of Comparative and Neurological Psychology* 18 (1908), pp. 459-482

ZAKOWSKA, L.: The effect of environmental and design parameters on subjective road safety – a case study in Poland. In: *Safety Science* 19 (1995), pp. 227-234

ZWIELICH, F., REKER, K., FLACH, J.: Fahrerverhaltensbeobachtungen auf Landstraßen am Beispiel von Baumalleen. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 124, Bergisch Gladbach 2001*

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2001

V 79: Bedarf für Fahrradabstellplätze bei unterschiedlichen Grundstücksnutzungen

Alrutz, Bohle, Borstelmann, Krawczyk, Mader, Müller, Vohl € 15,50

V 80: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 1998

Lensing € 13,50

V 81: Emissionen beim Erhitzen von Fahrbahnmarkierungsmaterialien

Michalski, Spyra € 11,50

V 82: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1999 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen

Laffont, Nierhoff, Schmidt € 19,50

V 83: Verkehrssicherheit in Einbahnstraßen mit gegengerichtetem Radverkehr

Alrutz, Gündel, Stellmacher-Hein, Lerner, Mättig, Meyhöfer, Angenendt, Draeger, Falkenberg, Klöckner, Abu-Salah, Blase, Rühle, Wilken € 17,00

V 84: Vereinfachtes Hochrechnungsverfahren für Außerorts-Straßenverkehrszählungen

Lensing, Mavridis, Täubner € 16,00

V 85: Erstellung einer einheitlichen Logik für die Zielführung (Wegweisung) in Städten

Siegener, Träger € 14,50

V 86: Neue Gütekriterien für die Beleuchtung von Straßen mit gemischtem Verkehr und hohem Fußgängeranteil

Carraro, Eckert, Jordanova, Kschischenk € 13,00

V 87: Verkehrssicherheit von Steigungsstrecken – Kriterien für Zusatzfahrstreifen

Brilon, Breßler € 18,50

2002

V 88: Tägliches Fernpendeln und sekundär induzierter Verkehr

Vogt, Lenz, Kalter, Dobeschinsky, Breuer € 17,50

V 89: Verkehrsqualität auf Busspuren bei Mitnutzung durch andere Verkehre

Baier, Kathmann, Schuckließ, Trapp, Baier, Schäfer € 13,50

V 90: Anprallversuche mit Motorrädern an passiven Schutzeinrichtungen

Bürkle, Berg € 16,50

V 91: Auswirkungen der Umnutzung von BAB-Standstreifen

Mattheis € 15,50

V 92: Nahverkehrsbevorrechtigung an Lichtsignalanlagen unter besonderer Berücksichtigung des nichtmotorisierten Verkehrs

Friedrich, Fischer € 14,00

V 93: Nothaltemöglichkeiten an stark belasteten Bundesfernstraßen

Brilon, Bäumer € 17,00

V 94: Freigabe von Seitenstreifen an Bundesautobahnen

Lemke, Moritz € 17,00

V 95: Führung des ÖPNV in kleinen Kreisverkehren

Topp, Lagemann, Derstroff, Klink, Lentze, Lübke, Ohlschmid, Pires-Pinto, Thömmes € 14,00

V 96: Mittellage-Haltestellen mit Fahrbahnanhebung

Angenendt, Bräuer, Klöckner, Cossé, Roeterink, Sprung, Wilken € 16,00

V 97: Linksparken in städtischen Straßen

Topp, Riel, Albert, Bugiel, Elgun, Roßmark, Stahl € 13,50

V 98: Sicherheitsaudit für Straßen (SAS) in Deutschland

Baier, Bark, Brühning, Krumm, Meewes, Nikolaus, Räder-Großmann, Rohloff, Schweinhuber € 15,00

V 99: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2000 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen

Laffont, Nierhoff, Schmidt € 21,00

2003

V 100: Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage

Brilon, Miltner € 17,00

V 101: Straßenverkehrszählung 2000 – Ergebnisse

Lensing € 13,50

V 102: Vernetzung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen

Kniß € 12,50

V 103: Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten

Falkenberg, Blase, Bonfranchi, Cossé, Draeger, Kautzsch, Stapf, Zimmermann € 11,00

V 104: Standortentwicklung an Verkehrsknotenpunkten – Randbedingungen und Wirkungen

Beckmann, Wulfhorst, Eckers, Klönne, Wehmeier, Baier, Peter, Warnecke € 17,00

V 105: Sicherheitsaudits für Straßen international

Brühning, Löhe € 12,00

V 106: Eignung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 1317

Ellmers, Balzer-Hebborn, Fleisch, Friedrich, Keppler, Lukas, Schulte, Seliger € 15,50

V 107: Auswirkungen von Standstreifenumnutzungen auf den Straßenbetriebsdienst

Moritz, Wirtz € 12,50

V 108: Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen

Baier, Kathmann, Baier, Schäfer € 14,00

V 109: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken mit allgemeinem Verkehr

Weber, Löhe € 13,00

2004

V 110: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2001 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen

Laffont, Nierhoff, Schmidt, Kathmann € 22,00

V 112: Einsatzkriterien für Betonschutzwände

Steinauer, Kathmann, Mayer, Becher vergriffen

V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden

Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Hacken € 15,00

V 114: Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing

Loose, Mohr, Nobis, Holm, Bake € 20,00

V 115: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen

Kathmann, Laffont, Nierhoff € 24,50

- V 116: Standardisierung der Schnittstellen von Lichtsignalanlagen – Zentralrechner/Knotenpunktgerät und Zentralrechner/Ingenieurarbeitsplatz
Kroen, Klod, Sorgenfrei € 15,00
- V 117: Standorte für Grünbrücken – Ermittlung konfliktreicher Streckenabschnitte gegenüber großräumigen Wanderungen jagdbarer Säugetiere
Surkus, Tegethof € 13,50
- V 118: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer
Steinauer, Maier, Kemper, Baur, Meyer € 14,50

2005

- V 111: Autobahnverzeichnis 2004
Kühnen € 21,50
- V 119: Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren
Boltze, Schäfer, Wohlfarth € 17,00
- V 120: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung
Hautzinger, Stock, Mayer, Schmidt, Heidemann € 17,50
- V 121: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko
Hautzinger, Stock, Schmidt € 12,50
- V 122: Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum
Beer, Herpetz, Moritz, Peters, Saltzmann-Koschke, Tegethof, Wirtz € 18,50
- V 123: Straßenverkehrszählung 2000: Methodik
Lensing € 15,50
- V 124: Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten
Angenendt, Blase, Klöckner, Bonfranchi-Simović, Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50
- V 125: PM₁₀-Emissionen an Außererststraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM₁₀-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen
Düring, Bössinger, Lohmeyer € 17,00
- V 126: Anwendung von Sicherheitsaudits an Stadtstraßen
Baier, Heidemann, Klemps, Schäfer, Schuckließ € 16,50
- V 127: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2003
Fitschen, Koßmann € 24,50
- V 128: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation
Boltze, Reusswig € 17,00
- V 129: Modell zur Glättewarnung im Straßenwinterdienst
Badelt, Breitenstein € 13,50
- V 130: Fortschreibung der Emissionsdatenmatrix des MLuS 02
Steven € 12,00
- V 131: Ausbaustandard und Überholverhalten auf 2+1-Strecken
Friedrich, Dammann, Irzik € 14,50
- V 132: Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme
Boltze, Breser € 15,50
- V 133: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen
Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00
- V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00
- V 137: PM_x-Belastungen an BAB
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO_x)- und Ozon (O₃)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50
- V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003
Lensing € 15,00
- V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen
Fischer, Brannolte € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland
Baier, Klemps, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glätteldealanlagen
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –
Becher, Baier, Steinauer, Schuechenpflug, Krüger € 16,50

2006

- V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Hübelt, Schmid € 17,50
- V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen
Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.