

# Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen im Straßenverkehr

00  
CW  
7000  
D131

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Mensch und Sicherheit Heft M 78

**bast**

# Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen im Straßenverkehr

von

Katharina Dahmen-Zimmer  
Alf Zimmer

unter Mitarbeit von

Hermann Körndle  
Klaus Bengler  
Martin Karsten  
Thomas Wagenpfeil  
Ingrid Gatt  
Stephanie Flessa  
Kilian Ehrl  
Walter Piechulla

Universität Regensburg  
Institut für Psychologie

UBR069024157032



**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Mensch und Sicherheit Heft M 78

**bast**

71126140

## Kurzfassung · Abstract · Résumé

### Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen im Straßenverkehr

Während allgemein Einigkeit herrscht im Bestreben, die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen und damit die Unfallzahlen zu senken, sind die Wege, wie dies zu erreichen ist, umstritten. Ziel des vorliegenden Projektes, das mit Unterstützung der BMW AG., München, durchgeführt wurde, war die Sammlung, Kategorisierung und Bewertung von Merkmalen situationsbezogenen Verhaltens aufgrund einer Literaturstudie. Besondere Berücksichtigung fanden dabei die Bereiche Geschwindigkeitswahl und Unfallgeschehen. Die Bedeutsamkeit straßenbaulicher Maßnahmen für fahrerische Sicherheitskenngrößen wurden beispielhaft an Gestaltungen von Radfahrerfurten an Kreuzungen und innerstädtischen Gebieten mit Tempo-30 Beschränkungen untersucht. Die gefundenen Merkmale wurden in Feld-, Labor- und Simulationsexperimenten validiert.

Die Bestimmung und Bewertung von Sicherheitskenngrößen allein aufgrund physikalischer Gegebenheiten (z.B. der ingenieurwissenschaftliche Vorgaben für die straßenbauliche Gestaltung) reicht nicht aus. Es ist zusätzlich erforderlich, psychologische Gesetzmäßigkeiten (z.B. die Grenzen der menschlichen Wahrnehmungsfähigkeit und Informationsverarbeitungskapazität) mit einzubeziehen, um dadurch Verkehrsteilnehmer in ihrer situativen Kompetenz zu unterstützen und Überforderungen zu vermeiden.

Situative Sicherheitskenngrößen werden danach kategorisiert und bewertet, in welcher Weise sie das Verhalten der Verkehrsteilnehmer beeinflussen und steuern. Zu den wirksamsten Sicherheitskenngrößen gehören beispielsweise solche straßenbaulichen Gestaltungsmaßnahmen, die das Verhalten der Verkehrsteilnehmer unmittelbar beeinflussen, also regelwidrige bzw. potentiell gefährliche Fahrmanöver gar nicht erst zulassen oder wenigstens stark reduzieren. Weniger wirksam sind dagegen Maßnahmen, die zu einer unbewußten Verhaltensänderung führen sollen, z.B. Veränderungen des Straßenraumes mittels sog. „optischer Bremsen“. Weniger wirksam ist auch das Aufstellen von Verkehrsschildern, wenn deren Häufung die Aufnahme- und Verarbeitungskapazität des Kraftfahrzeugführers überfordern können.

Das vorliegende Heft ist ein Auszug aus dem Gesamtbericht, der einschließlich des experimentellen Teils und der Validierungen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen eingesehen werden kann.

### Situational safety characteristics in road traffic

Whilst there is a general unity in the desire to increase road traffic safety and thus to lower the number of accidents, the ways and means to achieve this are controversial. The aim of this project - which was carried out with the support of BMW AG., Munich - was to collate, categorise and evaluate situational behaviour characteristics based on study of the relevant literature. The project focused in particular on the areas of speed selection and accident occurrence. The significance of road construction measures for driving safety characteristics was investigated, for example, by creating cycle routes at intersections and inner-city areas with a 30 km/h speed limit. The characteristics found were validated in field, laboratory and simulation experiments.

Ascertaining and evaluating safety characteristics based on physical conditions alone (e.g. the engineering specifications for the road construction measures) is not sufficient. Psychological laws must also be taken into account (e.g. the limits of human perception capabilities and capacity to process information) in order to support road users in their situational competence and to avoid excessive demands being placed on them.

Situational safety characteristics are subsequently categorised and evaluated according to the way in which they influence and affect the behaviour of the road users. The most effective safety characteristics include, for example, such road construction measures which directly influence the behaviour of the road users, ie by preventing illegal and/or potentially dangerous driving manoeuvres in the first place or at least considerably reducing their number. Less effective are measures which are supposed to lead to a sub-conscious change in behaviour, for example, alterations to the roadside environment by means of so-called „optical brakes“. Setting up traffic signs is also seen to be less effective if their increased frequency places excessive demands on the ability of the vehicle driver to perceive and process them.

This paper is an extract from the complete report, which can be read at the Federal Highway Research Institute along with the experimental part and validations.

#### **Caractéristiques de sécurité de circulation routière en situation**

Alors qu'il règne une unité générale en ce qui concerne la volonté de renforcer la sécurité routière et de faire baisser le nombre des accidents, il en est tout autrement au sujet des moyens à utiliser pour parvenir à ce résultat. Le but du présent projet, réalisé avec le soutien de la société BMW AG. à Munich, a été de rassembler, de classer et d'évaluer les caractéristiques de comportement en situation, sur la base de textes d'études existants. L'attention a été particulièrement portée sur les domaines du choix de la vitesse et des circonstances des accidents. On a voulu tester l'efficacité des mesures prises en matière de construction des routes, par rapport aux paramètres caractéristiques de sécurité de conduite, sur l'exemple des passages réservés aux cyclistes aux carrefours et celui des zones urbaines où la vitesse est limitée à 30 km/h. Ces paramètres caractéristiques ont été validés par des expériences sur le terrain, en laboratoire et par simulation.

La détermination et l'analyse, pures et simples, de données caractéristiques de sécurité établies sur la base de données physiques (par exemple : les directives pour la conception des routes et élaborées par les ingénieurs d'études) ne suffisent pas. Il est également indispensable de tenir compte des paramètres psychologiques (par exemple : les limites des facultés humaines d'attention et ses capacités d'assimilation des informations) afin de pouvoir aider, en situation, la compétence des conducteurs de véhicules et leur éviter d'avoir à faire face à des exigences trop importantes.

Les caractéristiques de situations sont ensuite classées en catégories et valorisées suivant leur influence et leur action sur le comportement du conducteur. Les caractéristiques de sécurité, comptant parmi les plus efficaces, sont par exemple des mesures de conception pour la construction des routes qui influencent directement le comportement du conducteur, c'est à dire qui empêchent ou réduisent de façon drastique les manoeuvres de conduite interdites ou à grand potentiel de danger. Moins efficaces par contre, sont les mesures qui préconisent une modification subconsciente du

comportement chez le conducteur comme par exemple la modification de la voie de roulage par l'intermédiaire d'un «freinage optique». D'une efficacité encore moindre on peut citer la pose de panneaux routiers d'avertissement qui lorsqu'elle se multiplie peut conduire à une saturation des capacités d'attention et d'assimilation du conducteur.

Ce dossier constitue un extrait du rapport complet qui comprend une section expérimentale et une section validations; le rapport peut être consulté dans son ensemble à l'Institut fédéral de recherches routières.

## Inhalt

<b>Teil I: Theoretische Grundlagen</b> . . . . .	7	3.5.3	Wahrnehmung von Bewegungen in Bezugssystemen . . . . .	24
<b>1 Einführung und Problemstellung</b> . . . . .	7	3.5.4	Die Bedeutung mentaler Repräsentationen für die Wahrnehmung und Verarbeitung von Ereignissen . . . . .	25
1.1 Allgemeine Probleme der Verkehrssicherheitsforschung . . . . .	7	3.6	Folgerungen aus den theoretischen Grundlagen für die Straßenverkehrssicherheit . . . . .	27
1.2 Ausgangslage . . . . .	7			
1.3 Untersuchungsansatz . . . . .	8			
<b>2 Zielsetzung und Begriffsbestimmung</b> . . . . .	9			
<b>3 Theoretische Grundlagen, Konzepte und Modelle zum Straßenverkehrsverhalten</b> . . . . .	10	<b>4 Die Entwicklung bzw. Ableitung von projektrelevanten Sicherheitskenngrößen</b> . . . . .	28	
3.1 Konzept des „Behavior-Setting“ . . . . .	10	4.1	Straßenbauliche Gestaltungsmerkmale . . . . .	28
3.2 Driver Behavior Models . . . . .	11	4.2	Diskrepanzen zwischen subjektiver und objektiver Sicherheit . . . . .	29
3.2.1 WILDEs Theorie der Risiko-Homöostase . . . . .	11	4.3	Anpassung des Fahrerhaltens an Maßnahmen zur Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit . . . . .	30
3.2.2 KLEBELSBERGs Modell der subjektiven und objektiven Sicherheit . . . . .	12	4.4	Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen . . . . .	30
3.2.3 NÄÄTÄNEN und SUMMALA's „Zero Risk Model“ . . . . .	12	4.4.1	Methodische Kriterien für eine Validierung . . . . .	30
3.2.4 van der MOLEN und BÖTTICHERs Hierarchisches Risiko-Modell . . . . .	12	4.4.2	Das Unfallkriterium . . . . .	30
3.2.5 FULLERs Modell der Risiko-vermeidung . . . . .	15	4.4.3	Sicherheitskriterien und Verhaltenskenngrößen . . . . .	31
3.2.6 Zusammenfassende Bewertung und Folgerungen für die Entwicklung von Ableitung von situativen Sicherheitskenngrößen . . . . .	16	4.4.4	Befragung und Interview . . . . .	31
3.3 Handlungs- und Fehlermodelle . . . . .	17	4.4.5	Gefährungsdiagnose von Situationen . . . . .	32
3.3.1 Überblick über „Framework Models Of Human Performance And Error“ . . . . .	17	4.4.6	Feldstudien . . . . .	33
3.3.2 Folgerungen für die Entwicklung und Ableitung situativer Sicherheitskenngrößen . . . . .	18	4.4.7	Laborexperimente . . . . .	34
3.3.2.1 Bauliche Maßnahmen zur direkten Steuerung des Fahrverhaltens über fahrtraumbeschreibende statische Größen . . . . .	18	4.4.8	Simulatorstudien . . . . .	34
3.3.2.2 Maßnahmen zur unbewußten Steuerung des Fahrverhaltens . . . . .	18	4.4.8.1	Die Fahraufgabe im realen Umfeld und im Fahrsimulator . . . . .	34
3.3.2.3 Maßnahmen zur bewußten Steuerung des Fahrverhaltens . . . . .	18	4.4.8.2	Informationsdarbietung im Fahrsimulator . . . . .	36
3.4 REASONS Modell zur Unfallentstehung . . . . .	19	4.4.8.3	Vor- und Nachteile der Fahrsimulation . . . . .	38
3.5 Wahrnehmungspsychologische Grundlagen . . . . .	21	4.4.8.4	Die Validität von Simulatordaten . . . . .	39
3.5.1 Wahrnehmung und Aufmerksamkeit . . . . .	21	4.5	Analyse von Unfalldaten im Raum Regensburg . . . . .	40
3.5.2 GIBSONs wahrnehmungspsychologischer Ansatz . . . . .	24	4.5.1	Übersicht über die polizeilich registrierten Verkehrsunfälle im Stadtgebiet Regensburg im Jahr 1992 . . . . .	40
		4.5.2	Unfallursachen . . . . .	40
		4.5.3	Beteiligung unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer . . . . .	41
		4.5.4	Unfallhäufungspunkte . . . . .	41
		4.6	Expertenwissen zu unfallbegünstigenden Faktoren von Straßenverkehrssituationen . . . . .	42

4.6.1	Vorschläge zur Verbesserung der Verkehrssicherheit an Stellen mit unfallbegünstigenden Faktoren (HUK-Verband) .....	42	3	<b>Sicherheitskenngrößen für das Fahrverhalten von jüngeren und älteren Kraftfahrzeugführern</b> .....	58
4.6.2	Unfallbegünstigende Faktoren im Straßenverkehrsraum Regensburg (Angaben von Fahrlehrern) .....	43	3.1	Experimentalsituation und Durchführung .....	58
4.7	Kategorisierung und Bewertung von situativen Sicherheitskenngrößen .....	46	3.2	Ergebnisse zum Fahrverhalten von Kraftfahrzeugführern .....	58
4.7.1	Kategorisierung von Sicherheitskenngrößen .....	46	3.3	Experimentelle Validierung des Fahrsimulators .....	59
4.7.2	Bewertung von Sicherheitskenngrößen .....	47		<b>Teil III: Diskussion der Projektergebnisse und Ausblick</b> .....	60
<b>5</b>	<b>Unterschiedliche Personengruppen von Verkehrsteilnehmern</b> .....	47	<b>1</b>	<b>Diskussion der Projektergebnisse</b> ..	60
5.1	Nicht motorisierte Verkehrsteilnehmer: Fußgänger und Fahrradfahrer .....	47	1.1	Sammlung, Kategorisierung und Bewertung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen .....	60
5.2	Ältere Autofahrer .....	48	1.2	Entwicklung und Prüfung einer Methode zur Bestimmung und Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen .....	62
5.3	Jüngere Autofahrer und Führerscheinneulinge .....	50	1.2.1	Experimental-Situation für Fußgänger .....	63
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Folgerungen für die Projektarbeit</b> .....	51	1.2.2	Experimental-Situation für Kraftfahrzeugführer .....	63
6.1	Die Auswahl von situativen Sicherheitskenngrößen für die Projektarbeit .....	52	1.2.3	Validierung der Experimental-situationen .....	63
6.2	Die Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen .....	53	1.3	Exemplarische experimentelle Bestimmung und Validierung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen ..	63
6.3	Folgerungen für die exemplarische experimentelle Prüfung von situativen Sicherheitskenngrößen .....	54	1.3.1	Bestimmung von Sicherheitskenngrößen für das Verhalten von Fußgängern beim Überqueren der Fahrbahn .....	64
	<b>Teil II: Experimentelle Untersuchungen (Zusammenfassung)</b> .....	55	1.3.2	Bestimmung von Sicherheitskenngrößen für die Radverkehrsführung .....	64
<b>1</b>	<b>Sicherheitskenngrößen für die Führung des Radverkehrs an Kreuzungen</b> .....	55	1.3.3	Bestimmung von Sicherheitskenngrößen für das Fahrverhalten von Kraftfahrzeugführern .....	65
1.1	Experimentalsituation und Durchführung .....	56	1.4	Folgerungen für die Bestimmung von situativen Sicherheitskenngrößen ..	65
1.2	Ergebnisse für unterschiedliche Radverkehrsführungen .....	56	1.4.1	Situative Sicherheitskenngrößen für Fußgänger beim Überqueren der Fahrbahn .....	66
<b>2</b>	<b>Bestimmung von Sicherheitskenngrößen für das Verhalten von Fußgängern beim Überqueren der Fahrbahn</b> .....	56	1.4.2	Situative Sicherheitskenngrößen für die Radverkehrsführung .....	67
2.1	Experimentalsituation und Durchführung .....	56	1.4.3	Situative Sicherheitskenngrößen für den Kraftfahrzeugverkehr .....	67
2.2	Ergebnisse zum Fußgängerverhalten .....	57	1.5	Der Einfluß situationsübergreifender Verkehrsräume .....	68
2.3	Validierung der Experimentalsituation für Fußgänger .....	57	<b>2</b>	<b>Ausblick</b> .....	68
			<b>Literatur</b> .....		69

## Teil I: Theoretische Grundlagen

### 1 Einführung und Problemstellung

#### 1.1 Allgemeine Probleme der Verkehrssicherheitsforschung

Während allgemein Einigkeit herrscht im Bestreben, die Unfallzahlen zu senken und die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen, sind die Wege zur Erreichung dieses Ziels umstritten. RISSER & HYDEN's (1993) ironische Beschreibung einer traditionellen Betrachtungsweise der Sicherheit im Straßenverkehr macht deutlich, daß für andere Verkehrsbereiche (z.B. Schienenverkehr, Luftverkehr) nie eine Vorgehensweise akzeptiert würde, wie sie bei der Untersuchung der Sicherheit im Straßenverkehr üblich ist, nämlich Unfälle als „eigenes Risiko des Verkehrsteilnehmers“ aufzufassen, die Unfalldaten zu sammeln und dann den Versuch zu unternehmen, Unfälle zu vermeiden:

- „Wir stellen fest, daß die prozentualen Unfallzahlen ... zuerst angestiegen und dann mehr oder weniger stabil geblieben sind, ohne daß es zu einer bedeutsamen Reduktion der Anzahl von im Straßenverkehr Verletzten und Getöteten ... gekommen wäre.
- Wir sammeln Unfalldaten in der Hoffnung, zu erfahren, was im Straßenverkehr falsch gelaufen ist und warum dort so viele Leute verletzt oder getötet worden sind.
- Bewußt oder unbewußt haben wir lange Zeit mit der Tatsache gelebt, daß Unfalldaten keine zufriedenstellende Information über Verhalten und Interaktion sowie ihre Beziehung zum Verkehr als sozialem System geben. ...
- Noch immer versuchen wir das Verkehrssystem und den Verkehrsteilnehmer auf der Grundlage von Unfalldaten zu korrigieren trotz der Tatsache, daß Unfalldaten nur eingeschränkt aussagefähig sind.
- Wir wissen, daß in anderen Bereichen des Verkehrs (Schienenverkehr, Luftverkehr oder öffentlicher Nahverkehr) ein System, wie wir es oben beschrieben haben, nämlich Unfalldaten zu sammeln und daraufhin Unfälle zu verhüten, niemals akzeptabel wäre.
- Wir erklären diesen Widerspruch dadurch, daß im privaten Straßenverkehr die Leute selbst als mündige Bürger einer Demokratie entscheiden, ohne dabei zu berücksichtigen, wieviele Men-

schen durch andere verletzt oder getötet werden, die keine Chance zur eigenen Entscheidung gehabt haben.

- Eine weitere Erklärung basiert auf der Annahme, daß im privaten Straßenverkehr die Konsequenzen vom verantwortlichen Verkehrsteilnehmer selbst getragen werden, was offenkundig nicht stimmt. Für den Umgang mit dem „Freiheits“-Aspekt im privaten Straßenverkehr fehlen uns noch die grundlegenden Vorstellungen und Modelle. „Freiheit“ im Straßenverkehr impliziert, daß die Menschen selbst entscheiden und wählen und sich der Staat in seinen Eingriffen zurückhalten sollte.
- Der augenblickliche Wissensstand reicht nicht aus, um diesem Aspekt der Freiheit gerecht zu werden, der sich im situationsspezifischen Verhalten von Fahrern zeigt, darin wie sie Instrumente benutzen, wie sie sich anderen Autofahrern gegenüber benehmen usw.; abschließend stellt sich die Frage, in welchem Umfang durch moderne Informationstechnologie dem Fahrer Entscheidungen abgenommen werden sollen und so das reduzieren, was wir die „Freiheit“ des Fahrers nennen.“ (RISSER & HYDEN, 1993; Übersetzung der Autoren)

Mit der hier vorliegenden Untersuchung von „situationbezogenen Sicherheitskenngrößen im Straßenverkehr“ soll ein Versuch unternommen werden, das Problem Sicherheit im Straßenverkehr umfassender anzugehen, als „nur“ zu versuchen, von Unfalldaten auszugehen. Als Ziel wird angestrebt, Erkenntnisse zu gewinnen, wie sich die Verkehrsumgebung und -situationen so gestalten lassen, daß „sicheres Verhalten“ statt „unfallträchtige Situationen“ resultiert. Bei einer solchen Umgestaltung würde sicher die „Freiheit“ des Autofahrers eingeschränkt werden - im besten Falle über eine unbewußte Verhaltenssteuerung, die vom Fahrer selber nicht als Einschränkung erlebt, und damit akzeptabel würde.

#### 1.2 Ausgangslage

Die vorliegende Untersuchung schließt an Überlegungen der Projektgruppe der BAST „Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr“ an. Die Themenstellung dieser Projektgruppe betraf die Untersuchung situationsspezifischer Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen Gefährdung und Schadenseintritt und damit die Entwicklung von - das Unfallkriterium ergänzenden - Kenn-

größen für die situationsbezogene Sicherheitsbeurteilung im Straßenverkehr. Die Projektgruppe faßt in ihrem Abschlußbericht zusammen, „daß jede einzelne Verkehrssituation durch eine große Zahl baulicher und betrieblicher Merkmale mit lokalbezogenem Charakter bestimmt wird.“ „Zusammen mit den prozeßbezogenen verkehrlichen sowie den verkehrsteilnehmer- und verkehrsmittelspezifischen Merkmalen bilden diese Größen in ihrer Gesamtheit das System Straßenverkehr.“ „Die mehr oder weniger zeitlich überdauernden physikalischen Bedingungen einer Situation werden dabei durch die verkehrsanlagenbezogenen Merkmale baulicher und teilweise auch betrieblicher Art abgesteckt. Mit den baulichen Kenngrößen werden die den einzelnen Straßennutzergruppen (z.B. Kraftfahrer, Fußgänger, Radfahrer, sich im Straßenraum aufhaltende Menschen) zugewiesenen Wege und Flächen sowie die vom Straßenumfeld in den Straßenraum hineinstrahlenden Wirkungen in ihren jeweiligen Ausprägungen charakterisiert. Zusammen mit den betrieblichen - die Steuerungsform und -mechanismen beschreibenden - Merkmalen kennzeichnen die baulichen Größen die Führungseigenschaften und die räumliche Leitwirkung einer Verkehrsanlage und hieraus abgeleitet die den einzelnen Verkehrsteilnehmergruppen zugewiesenen Aufgaben“ (ANGENENDT et al. 1987). Den Empfehlungen der Projektgruppe folgend, wird mit der vorliegenden Arbeit die Forschung zur Auswahl und Validierung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen weitergeführt.

Als situative Sicherheitskenngrößen werden im folgenden die verhaltenswirksamen Gestaltungsmerkmale von einzelnen Situationen verstanden. Diese Merkmale sollen gesammelt und gewichtet werden. Zur Validierung der Sicherheitskenngrößen sollen Merkmale der Bewegungen der Verkehrsteilnehmer herangezogen werden, für den Kraftfahrzeugverkehr insbesondere Kriterien für kontrolliertes Fahren (z.B. die gefahrenen Geschwindigkeiten, Spurtreue, Abstände).

### 1.3 Untersuchungsansatz

Bei Überlegungen zur Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr können grundsätzlich drei verschiedene Ansätze unterschieden werden, ein vorwiegend personenorientierter, ein vorwiegend umweltorientierter und ein auf technische Systeme (z.B. Fahrzeug) gerichteter Ansatz. Ein personenorientierter Ansatz geht von den Fähigkeiten bzw.

vorübergehenden oder andauernden Schwächen der am Straßenverkehr beteiligten Personen aus, und beschreibt Unfälle als durch Fehlverhalten der Beteiligten verursacht. Ein umweltorientierter Ansatz untersucht, auf welche Weise Straßenbau und Gestaltung der Fahr- bzw. Fußgängerumgebung unfallträchtig sein können, der dritte Ansatz betrachtet die Fehleranfälligkeit technischer Systeme. MITTENECKER betont schon 1966 die Bedeutung eines umweltorientierten Ansatzes, in dem er Untersuchungen zur „Unfallneigung der Straße“ anregt. „Dem Psychologen in der Praxis fällt auch die Aufgabe zu, optimale oder zumindest minimale Anforderungen an die Gestaltung von Situationen zu definieren, um den Menschen mit 'Normalausstattung' an Reaktionsmöglichkeiten und an Verhaltenseigentümlichkeiten vor Überforderung zu schützen“ (MITTENECKER, 1966).

Am Beispiel eines Kraftfahrzeuglenkers läßt sich sein Fahrverhalten als Resultat der Interaktion von 3 Faktoren beschreiben, von Fahrer, engerer physikalischer Umwelt (Fahrzeug) und weiterer physikalischer Umwelt (Straße, Umfeld, andere Verkehrsteilnehmer). Entsprechend des in Bild 1 dargestellten Modells von ZIMMER (1986) resultiert Fahrverhalten aus dem Zusammenwirken von Fahrer (z.B. überdauernde Fertigkeiten, aktuelle Zustände), engerer physikalischer Umwelt (z.B. mechanische Eigenschaften des Fahrzeuges) und weiterer physikalischer Umwelt (z.B. nicht direkt wahrnehmbare Eigenschaften von Straße und Landschaft).

Die Bestimmung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen entspricht einem umweltorientierten Ansatz und umfaßt ZIMMERs Schema für den Kraftfahrzeugverkehr folgend, die Analyse der weiteren physikalischen Umwelt auf Gefährdungs- bzw. Sicherheitskenngrößen in Interaktion mit der Person des Fahrzeuglenkers.

Besonders wichtig kann die Personenvariable „Alter“ in Interaktion mit Sicherheitskenngrößen werden. Daher erscheint es sinnvoll, unterschiedliche Altersgruppen, speziell Senioren, in die Untersuchung einzubeziehen. In absehbarer Zeit werden bis zu 50 % aller Verkehrsteilnehmer zu dieser Gruppe gehören.

Bei der Bestimmung von situativen Sicherheitskenngrößen kann man sich zum einen eher traditionell am Unfallkriterium (vgl. 1.1), oder direkt am Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer orientieren. In der vorliegenden Arbeit soll direkt auf Verhaltensdaten Bezug genommen werden. Damit

wird eine umfassende Behandlung des Themenbereiches möglich. Modelle menschlichen Verhaltens (z.B. Entscheidungsmodelle bei der Kraftfahrzeugführung) und Ergebnisse der Allgemeinen und Angewandten Psychologie (z.B. Fahrzeugsteuerung in Abhängigkeit von der Umgebungswahrnehmung) können sinnvoll integriert werden. Entsprechend der Bestimmung von Sicherheitskenngrößen auf der Grundlage von Verhaltensdaten basieren, sollte auch die Validierung der Kenngrößen auf Verhaltensebene erfolgen „... if use is to be made of explanations that involve behaviour, then they should be based on behavioural data; accident data alone are unsatisfactory.“ (OECD Report, 1989, S. 110). Gleichzeitig wird mit dieser Vorgehensweise eine Methode zur kurzfristigen Validierung von Sicherheitskenngrößen bereitgestellt.

## 2 Zielsetzung und Begriffsbestimmung

Zielsetzung des Projekts ist

- die Sammlung, systematische Ordnung und Bewertung von situativen Sicherheitskenngrößen;
- die Entwicklung und Prüfung einer Methode zur kurzfristigen Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen mit Hilfe von Verhaltensmerkmalen der Straßenverkehrsteilnehmer;
- die exemplarische experimentelle Prüfung ausgewählter situativer Sicherheitskenngrößen für Kraftfahrzeugführer und Fußgänger unterschiedlicher Altersgruppen.

Begriff: „Sicherheit“

Entsprechend der Überlegungen der Projektgruppe „Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr“ der BAST (ANGENENDT et al. 1987) wird der traditionelle Sicherheitsbegriff auf

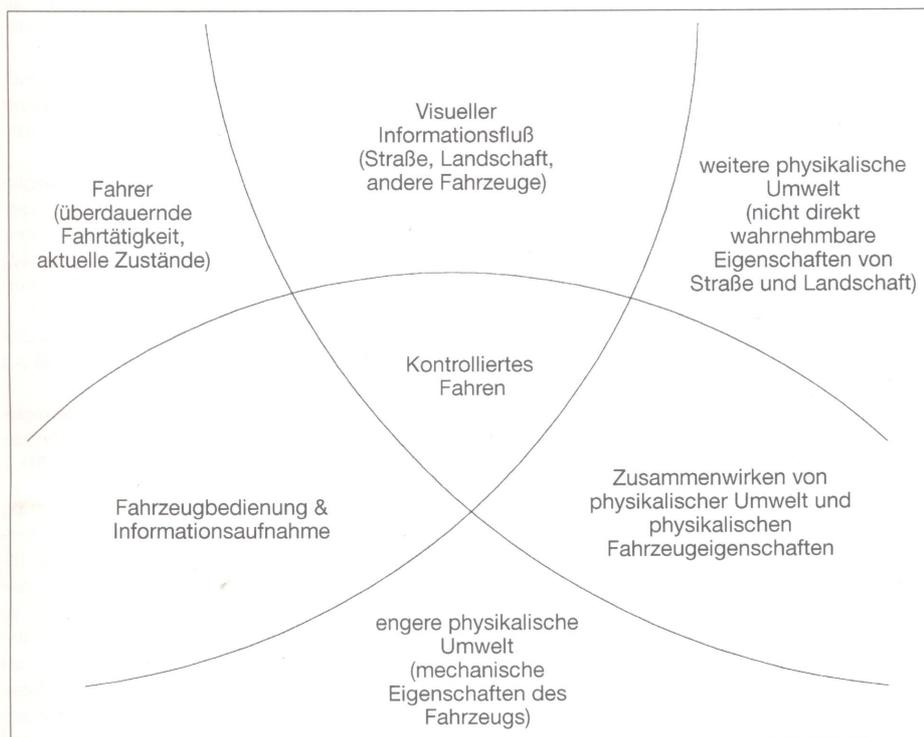


Bild 1: Interaktion von Fahrer, Fahrzeug und Umwelt. Nach ZIMMER (1986)

die allgemeinen Bedingungen für Sicherheit und Unsicherheit der Straßenverkehrsteilnehmer erweitert.

Begriff: „Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen“

Als Sicherheitskenngrößen werden im folgenden die verhaltenswirksamen Gestaltungsmerkmale von einzelnen Situationen verstanden. Zur Situation gehören dabei sowohl die baulichen Gestaltungsmerkmale (z.B. Straßenbreite, Radverkehrsführung) wie auch die Merkmale des Verkehrsgeschehens (andere Verkehrsteilnehmer), deren Einfluß auf Sicherheit vs. Unsicherheit über die Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer zu erfassen ist.

Begriff: „Verhaltenskriterien zur Beurteilung von Sicherheit vs. Unsicherheit“

Möglichkeiten der Beurteilung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen ergeben sich aus Merkmalen der Bewegungen der Verkehrsteilnehmer; für Kraftfahrzeugführer insbesondere Geschwindigkeiten, Spurtreue, Abstände und Fahrprobleme; für Fußgänger insbesondere Verhaltensmerkmale beim Überqueren der Fahrbahn wie Abstände vor herannahenden Fahrzeugen.

### 3 Theoretische Grundlagen, Konzepte und Modelle zum Straßenverkehrsverhalten

Im folgenden sollen vorliegende theoretische Ansätze daraufhin geprüft werden, ob und wie sie bei der Analyse der Interaktion von Fahrer und Umwelt und der Entwicklung von situativen Sicherheitskenngrößen hilfreich sein könnten. Ausgangspunkt für die Analyse der Interaktion von Fahrer und Umwelt können systemorientierte Ansätze, insbesondere das „Behavior-Setting“ sein. „Driver Behavior Models“ beziehen die subjektive Einschätzung der Verkehrssituation durch den Kraftfahrer mit ein. Ebenfalls von Bedeutung sind die Ergebnisse der Wahrnehmungspsychologie, die z.B. Voraussetzung für die Entwicklung von Feldmodellen sind. „Verkehrskonflikttechnik“ und „Accident Surrogates“ können einen Ansatz für eine Gefährungsdiagnose neben dem Unfallkriterium bieten. Fehleranalysen können, angewandt auf das Straßenverkehrssystem, zu einer Gefährungsdiagnose beitragen.

#### 3.1 Konzept des „Behavior-Setting“

„Das Behavior-Setting ist nach BARKER (1968) ein geregeltes System, in dem Gesetze verschiedenster Art zusammenwirken, um die Stabilität des Systems als Ganzes zu erhalten. Die Personen und die umgebenden physischen Bedingungen bilden die Komponenten dieses Systems.“ (ANGENENDT et al., 1987). Das Konzept des Behavior-Setting besagt, daß die äußeren Gestaltungsmerkmale einer Situation das Verhalten von Personen steuern, was sich in regelhaft wiederkehrenden Verhaltensmustern ausdrückt.

Einer Weiterentwicklung des Konzepts von FURER (1985) für das Verkehrsverhalten folgend, lassen sich die folgenden Merkmalsbereiche unterscheiden:

- Ein programmbezogener Merkmalsbereich, der die Regeln enthält, die die Verkehrsteilnehmer befolgen. Hierzu gehören Regeln der Verhaltenssteuerung, aber auch physikalische Gesetzmäßigkeiten, die z.B. das Fahrzeugverhalten bedingen. Aus den Regeln ergeben sich die Verhaltensmuster der beteiligten Verkehrsteilnehmer.
- Ein objektbezogener Merkmalsbereich betrifft die Verkehrsanlage und Verkehrszeichen in ihrer Bedeutung für die Handlungsregulation der Verkehrsteilnehmer.
- Ein architektonisch-topographischer Merkmalsbereich betrifft Richtungen und Geschwindigkeiten der Bewegungen der Verkehrsteilnehmer.
- Der Merkmalsbereich sozialer Konventionen, Werte und Normen umfaßt formelle Verkehrsvorschriften und informelle Verhaltensregeln.
- Der soziale Merkmalsbereich bezieht die sozialen Rollen der Verkehrsteilnehmer und die Art und Weise ihrer Kommunikation mit ein.
- Zum temporalen Merkmalsbereich gehören regelmäßig auftretende Veränderungen, (z.B. Stoßzeiten) (FULLER, 1984, nach ANGENENDT, 1987).

Das Konzept des Behavior-Settings bietet die theoretische Grundlage, das Verhalten von Verkehrsteilnehmern in systematischer Weise den räumlichen und zeitlichen Bedingungen der Verkehrssituation zuzuordnen, zu definieren und zu untersuchen. Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen können im Rahmen dieses Konzepts als verhaltenslenkende bauliche Maßnahmen in Interaktion mit dem Verkehrsgeschehen und Personenmerkmalen (z.B. individuelle Normen) bestimmt und untersucht werden.

### 3.2 Driver Behavior Models

In Ergänzung zum Konzept des „Behavior-Setting“, in dem die Fahrumgebung besondere Berücksichtigung findet, wird in „Driver Behavior Models“ schwerpunktmäßig die Person des Fahrers (z.B. motivationale Faktoren) behandelt. Entsprechend der Aufgabenstellung des Projekts sind hier nur solche Modelle von Interesse, in denen die Interaktion von Fahrer, Fahrzeug und Umwelt einbezogen wird (vgl. 1.3).

Für Verhaltensmodelle gilt allgemein, daß sie es bestenfalls ermöglichen sollten, Verhaltensweisen zu erklären und vorherzusagen. Auch wenn dieser ehrgeizige Anspruch von den vorliegenden Fahrer-Modellen nicht erfüllt werden kann, können sie Hilfen bei der Beschreibung und theoretischen Einordnung des Fahrverhaltens von Autofahrern in Abhängigkeit von der Fahrumgebung anbieten.

Den Modellen, die sich mit normalem Fahrverhalten unter normalen Fahrbedingungen beschäftigen, können solche Modelle gegenübergestellt werden, die den Themenbereich „Risiko“ bzw. riskantes Fahrverhalten umfassen. Speziell diese Modelle können für theoretische Überlegungen zur Verkehrssicherheit wichtig werden. In Anlehnung an MICHON (1985) lassen sie sich in „risk compensation“, „risk threshold“ und „risk avoidance“ Modelle einteilen.

#### 3.2.1 WILDEs Theorie der Risiko-Homöostase

Beispiel für ein Risiko-Kompensationsmodell ist WILDEs Theorie der Risikohomöostase (Risk Homeostasis Theory) (Bild 2).

In WILDEs Theorie der Risikohomöostase wird eine Risikokompensation durch den Fahrer postuliert. In dem Modell wird angenommen, daß der Grad des vom Fahrer akzeptierten subjektiven Risikos ein

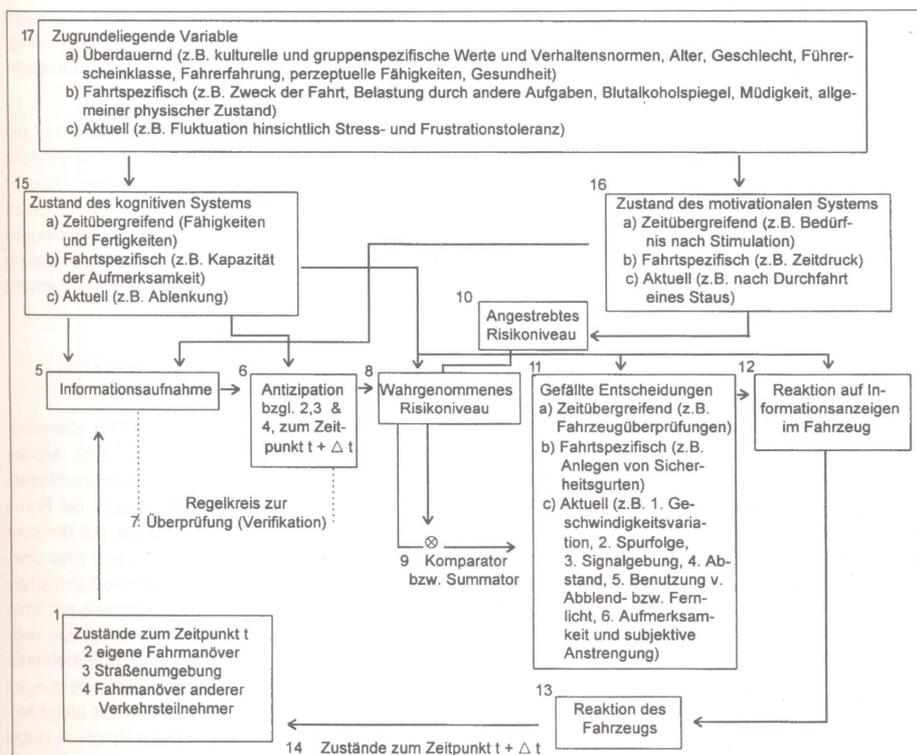


Bild 2: Flußdiagramm des „Individual Task Model of Risk Homeostasis Theory“ (nach WILDE, 1982)

weitgehend stabiles Persönlichkeitsmerkmal ist. Das vom ihm wahrgenommene objektive Risiko wird mit dem von ihm akzeptierten Risiko verglichen; es resultiert eine Fahrweise, die dem subjektiv akzeptierten Risiko des Fahrers entspricht. Daraus folgt, daß jede vom Fahrer wahrgenommene Verbesserung der Fahrsicherheit durch bessere Straßen und sichere Fahrzeuge durch schnelleres oder unvorsichtigeres Fahren kompensiert würde.

Gestützt wird WILDEs Modell z.B. durch die Beobachtung, daß der Sicherheitsgewinn durch ABS durch höhere Geschwindigkeiten kompensiert wird. Allerdings wurden in verschiedenen Studien empirische Daten gegen WILDEs Interpretationen gesammelt, z.B. SHANNON (1986), SMITH & LOVEGROVE (1982). Inhaltliche Kritik kommt z.B. von MCKENNA (1985) und MICHON (1985).

EVANS (1985) weist darauf hin, daß aus Kompensationsmechanismen nicht unbedingt die von WILDE postulierten negativen Effekte folgen müßten. Entsprechend EVANS resultiert eine vom Fahrer wahrgenommene Änderung des Systems (z.B. sicherere Straßen) in einer Verhaltensänderung. Statt „risk compensation“ findet „behavioural feedback“ statt; dieses feedback könnte entweder positive oder negative Folgen für die Sicherheit des Fahrers haben.

### 3.2.2 KLEBELSBERGs Modell der subjektiven und objektiven Sicherheit

KLEBELSBERGs Modell (1977) ist ein Beispiel für eine Risikoschwellentheorie.

Im Modell wird zwischen objektiver und subjektiver Sicherheit unterschieden, wobei die objektive Sicherheit durch die physikalischen Sicherheitsbedingungen gegeben ist, die subjektive Sicherheit durch die wahrgenommene, erfahrene Sicherheit. Dabei sollte die subjektive Sicherheit im günstigen Fall stets kleiner sein als die objektive, um z.B. Aufmerksamkeitsschwankungen zu kompensieren. Die Sicherheit für Kraftfahrerverhalten erhöht sich, wenn die objektive Sicherheit zunimmt, ohne daß die subjektive Sicherheit in gleichem Ausmaß wächst. Eine Situation wird besonders gefährlich, wenn die wahrgenommene, subjektive Sicherheit größer ist, als die tatsächliche, objektive Sicherheit der Situation. Z.B. wenn die Übersichtlichkeit einer Kreuzung, also die objektive Sicherheit, subjektiv eine hohe Sicherheit suggeriert, die zu überhöhten Geschwindigkeiten führt. KLEBELSBERG folgert, daß „die Sicherheit einer konkreten Verkehrssitua-

tion demnach weder durch das Sicherheitsgefühl noch durch die äußeren Sicherheitsbedingungen allein, sondern nur aufgrund des Verhältnisses dieser beiden Komponenten beurteilt werden kann.“

### 3.2.3 NÄÄTÄNEN und SUMMALAs „Zero Risk Model“

In Näätänen und SUMMALAs Modell (1976) wird ebenfalls eine Risikoschwelle angenommen. Das vom Fahrer wahrgenommene Risiko im Straßenverkehr hängt dabei sowohl von der subjektiven Wahrscheinlichkeit seines Unfalls ab, als auch von der subjektiv eingeschätzten Schwere der Folgen dieses Unfalls, sowie vom Produkt beider Einschätzungen. Im Gegensatz zu WILDEs Modell verhält sich ein Fahrer unter normalen Umständen so, als wäre mit der Teilnahme am Straßenverkehr fast gar kein Risiko gegeben, infolgedessen auch kein Risiko zu kompensieren (zero risk). Der „subjektive Risikomonitor“ wird entsprechend der Wahrnehmung und Einschätzung der Situation durch den Fahrer erst bei einem bestimmten Stellenwert aktiviert. Ein im Verhältnis zum objektiven zu geringes subjektives Risiko (z.B. weil der Fahrer seine Fähigkeiten überschätzt), kann situationsunangemessene, gefährliche Fahrmanöver bedingen.

NÄÄTÄNEN und SUMMALA nehmen an, daß die Risikowahrnehmung des Fahrers durch Appelle und Erziehungsmaßnahmen kaum zu beeinflussen ist, eine erhöhte Verkehrssicherheit wäre nur durch sichere Autos und verbesserte Straßenbedingungen zu erzielen, wenn sich damit nicht gleichzeitig die Risikowahrnehmung des Fahrers erhöht (Bild 3).

### 3.2.4 Van der MOLEN und BÖTTICHERs Hierarchisches Risiko-Modell

In van der MOLEN und BÖTTICHERs Hierarchischem Risiko Modell (Hierarchical Risk Model, 1988) wird zwischen drei Ebenen unterschieden, einer strategischen Ebene, auf der z.B. die Route geplant wird, einer taktischen Ebene, auf der konkrete Fahrmanöver geplant werden, und einer operationalen Ebene, auf der das normale Fahrverhalten, aber auch Notfallreaktionen angesiedelt sind. Auf der strategischen und taktischen Ebene nehmen Motivation, Erwartungen und Wahrnehmungen Einfluß auf die Beurteilungen, Entscheidungen und Planungen des Fahrers. Das Modell bietet keine Erklärungen an, wie und welche Prozesse dabei innerhalb der postulierten Strukturen wirksam wer-

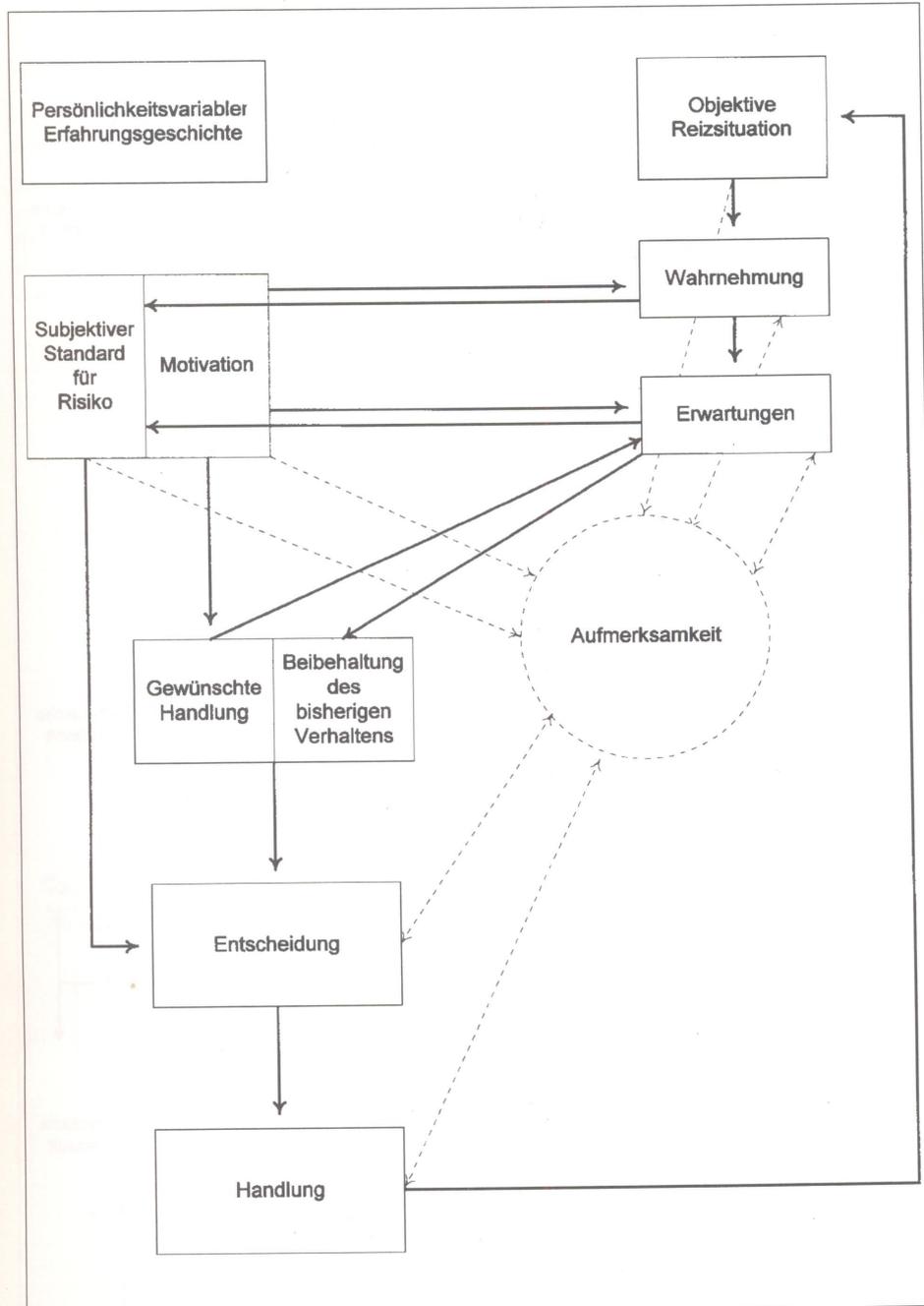


Bild 3: Flußdiagramm des „Model of the driver's decision making and behavior“. Nach NÄÄTÄNEN & SUMMALA (1976)

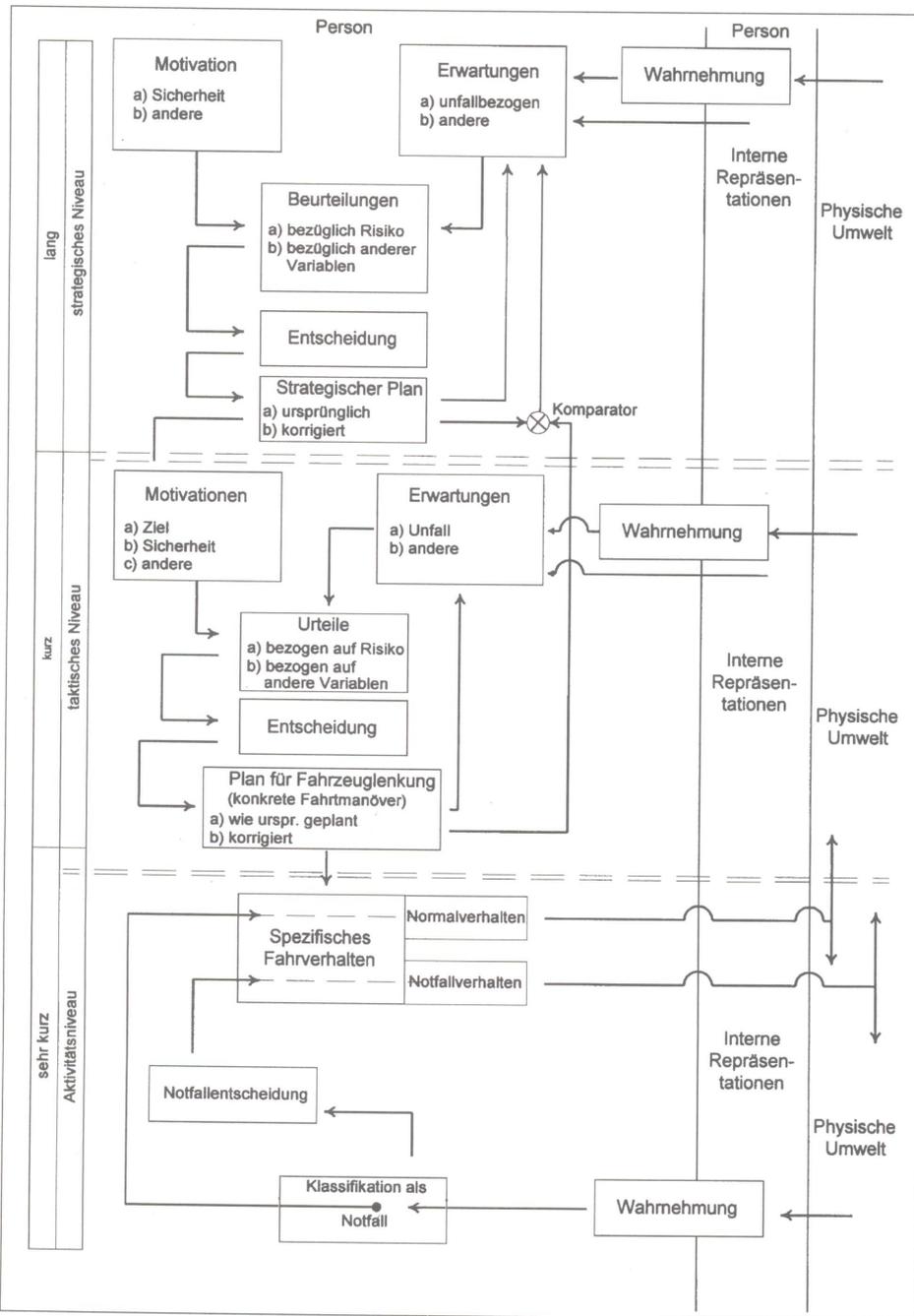


Bild 4: "A Hierarchical Risk Model For Traffic Participants": Nach van der MOLEN und BÖTTICHER (1988)

de  
ve  
W  
dr  
di  
(B  
3.  
FU  
(T  
le  
ch  
Bil



ple, neither forward observation of a sharp bend, nor the driver's momentary high speed, constitute the discriminative stimulus for, say, potentially crashing off the roadway. Rather it is the coincidence of these two features projected in the immediate future which together constitute the stimulus" (FULLER, 1984), und ob eine antizipatorische Vermeidungsreaktion folgt „Given that a discriminative stimulus arises the probability of an anticipatory avoidance or a non-avoidance response is partly determined by the driver's subjective probability of expected threat and partly by the rewards and punishments for the various response alternatives" (FULLER, 1984).

Dem lerntheoretischen Paradigma des Vermeidungslernens zufolge, wird eine verzögerte Vermeidungsreaktion (z.B. keine sofortige Anpassung der Geschwindigkeit an eine möglicherweise gefährliche Situation) gegenüber einer antizipatorischen Vermeidungsreaktion (sofortige Reduktion der Geschwindigkeit als Reaktion auf eine möglicherweise gefährliche Situation) bevorzugt, was risikoreicheres Verhalten zur Folge hat. Ob ein Fahrer auf einen diskriminativen Reiz für ein möglicherweise aversives Ereignis (Unfall) mit antizipatorischer Vermeidung reagiert oder nicht, hängt ab dabei von seinen Erwartungen bezüglich der positiven oder negativen Folgen des jeweiligen Verhaltens, seiner Motivation, seinem bevorzugten Aktivationsniveau „in response to expected or actual threat, increases in arousal are within limits adaptive, facilitating information processing and responding. Also within limits, increases in arousal may be intrinsically rewarding (BERLYNE, 1971), independently of any rewarding effects mediated through improvements in performance" (FULLER, 1984) und seinen Fähigkeiten (z.B. gefährliche Situationen zu erkennen). FULLER folgert aus seinem Modell, daß z.B. ein Fahrer durch Trainingsmaßnahmen lernen kann, statt mit einer verzögerten Vermeidung mit antizipatorischer Vermeidung zu reagieren.

### 3.2.6 Zusammenfassende Bewertung und Folgerungen für die Entwicklung von Ableitung von situativen Sicherheitskenngrößen

Ein wichtiges Kriterium für die Bewertung von Verhaltensmodellen ist ihr Erklärungswert bzw. ihre Vorhersagekraft. Bezogen auf die Fragestellung des Projekts heißt das: Liefern die Modelle Hinweise darauf, wie das Fahrverhalten von Kraftfahrzeugführern in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen moduliert wird, und bieten sie damit

eine Grundlage für die theoretische Entwicklung von situativen Sicherheitskenngrößen?

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß alle Modelle von einer Interaktion zwischen dem Fahrer und den Umgebungs- (Straßen-) Bedingungen ausgehen. Sie stimmen weitgehend darin überein, daß die Adaptation des Fahrers an (veränderte) Straßenbedingungen von seinen Fähigkeiten, seiner Einschätzung von Gefahren und Risiken, seiner Motivationslage und seiner Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern abhängt.

Dabei gilt, daß die Modelle in ihren Definitionen (wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß) eher unbestimmt und allgemein bleiben und nicht validierbar bzw. nicht falsifizierbar sind, was von wissenschaftlichen Theorien zu fordern wäre (POPPER, 1966). In Anlehnung an die im OECD Report zu „Behavioral Adaptations To Changes In The Road Transport System" (1989) formulierten Kritik an den „Driver Behavior Models“, kann man ihren Erkenntniswert maximal als ex-post erklärend, nicht aber als voraussagefähig bezeichnen, sie eignen sich also vor allem zur Rechtfertigung von Maßnahmen, nicht aber, oder nur in sehr eingeschränktem Maße zur Entwicklung neuer Maßnahmen.

Für die Entwicklung von situativen Sicherheitskenngrößen läßt sich folgern:

- Die objektive Sicherheit einer Straßenverkehrssituation sollte mindestens immer so groß wie die subjektive Sicherheit des Fahrers sein. Die objektiven Risiken einer Verkehrssituation sollten daher überstark vermittelt werden.
- Dabei muß berücksichtigt werden, daß die subjektive Risikobereitschaft des Autofahrers in besonders in vertrauten Situationen größer sein kann, als die objektiv gegebene Sicherheit, was zu riskanten Fahrmanövern führen kann.
- Dem Fahrer eines Kraftfahrzeugs muß früh eindeutige und leicht zu verarbeitende (d.h. nicht symbolische) Information über Gefährdungen gegeben werden, damit er rechtzeitig eine Entscheidung über die einzuschlagende Richtung und die angemessene Geschwindigkeit treffen kann.
- Alle Maßnahmen sollten so gestaltet sein, daß auch „Risikogruppen“ problemlos angesprochen werden (z.B. junge Fahranfänger, ältere Autofahrer bzw. Verkehrsteilnehmer, Kinder). Der Schutz der schwächsten Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, insbesondere Kinder und Radfahrer) sollte darüber hinaus besonders berücksichtigt werden.

## 3.3

### 3.3.1

Han  
auf T  
gniti  
cher  
sens  
SCH  
Aut  
BRC  
NOF  
Mod  
ledg  
ven  
hers  
Han  
tet  
kon  
Inte  
von  
steu  
unte  
aut  
sch  
Pro  
keit  
arb  
nur  
sich  
zen  
Sie  
eine  
Der  
und  
ohr  
nur  
wul  
dur  
der  
We  
ges  
spr  
sch  
sch  
ner  
sik  
nat  
Au  
sch  
ma

### 3.3 Handlungs- und Fehlermodelle

#### 3.3.1 Überblick über „Framework Models Of Human Performance And Error“

Handlungs- und Fehlermodelle beruhen vor allem auf Theorien und Experimenten im Bereich der kognitiven und angewandten Psychologie. Sie machen Aussagen zu Gedächtnisprozessen und Wissensrepräsentationen (vgl. z.B. SHIFFRIN und SCHNEIDERS „General Theory Of Controlled And Automatic Human Information Processing“, 1977; BROADBENT's „Maltese Cross Modell“, 1984). NORMAN und SHALLICES „Attention To Action Model“ (1986), RASMUSSENS „Skill-Rule-Knowledge Framework“ (1980) und gehen von kognitiven Fehlleistungen und systematischen und vorhersagbaren Fehlern aus.

Handlungs- und Fehlermodelle stimmen, ungeachtet theoretischer Differenzen, darin überein, daß konkrete Verhaltensweisen durch die komplexe Interaktion von kontrollierten/bewußten und/oder von automatischen/unbewußten Prozessen gesteuert werden (REASON, 1988). Zusammengefaßt unterscheiden sich Aufmerksamkeitsprozesse und automatische Prozesse durch folgende Eigenschaften:

Prozesse, die bewußt ablaufen, d.h. Aufmerksamkeit erfordern, laufen seriell ab, sind langsam und arbeitsaufwendig. Es besteht für diese Prozesse nur eine begrenzte Kapazität. Sie sind wichtig, um sich mit neuen Gegebenheiten auseinanderzusetzen, können aber nicht beliebig lange andauern. Sie können leicht geändert werden, Übung hat nur einen geringen Einfluß.

Demgegenüber gilt für Prozesse, die automatisch und unbewußt ablaufen, daß sie seriell, schnell und ohne Anstrengung ablaufen. Sie laufen intuitiv ab, nur die Ergebnisse des Prozesses sind dem Bewußtsein zugänglich. Automatische Prozesse sind durch Übung zu verbessern und schwer zu verändern (Tabelle 1 und Tabelle 2).

Wenn menschliches Verhalten und Handeln gezielt gesteuert und geregelt werden soll, kann dies entsprechend der vorgestellten Unterscheidung zwischen Aufmerksamkeitsprozessen und automatischen Prozessen schwerpunktmäßig auf drei Ebenen erfolgen, direkt durch die Gestaltung der physikalischen Umwelt, über unbewußt wirkende Maßnahmen und über bewußt wirkende Maßnahmen. Auf jeder der Ebenen, die sich nicht unbedingt ausschließen müssen, können unterschiedliche systematische und vorhersagbare Fehler auftreten.

Bewußte Kontrolle	Automatische Kontrolle
Seriell	Parallel
Langsam	Schnell
Mühevoll	Mühelos
Durch Ressourcen eingeschränkt	Ohne merkliche Einschränkungen
Analytisch	Intuitiv
Große kognitive Durchdringung	Funktion aufgrund einfacher Heuristiken
Prozesse sind bewußtseinsfähig	Prozesse liegen außerhalb der bewußten Aufmerksamkeit; nur die Ergebnisse sind bewußtseinsfähig
Unumgänglich notwendig, um mit neuen Situationen zurechtzukommen, aber nur für beschränkte Zeit einsetzbar	In der Lage, Routine- und Wiederholungstätigkeiten zu steuern; oft ineffektiv, wenn Änderungen erfolgen einsetzbar

Tab. 1: „Gegenüberstellung der Eigenschaften bewußter und automatischer Kontrolle“ (nach REASON, 1988)

Charakteristik	Kontrollierte Prozesse	Automatische Prozesse
Zentrale Verarbeitungskapazität	Erforderlich	Nicht erforderlich
Kontrolle	Vollständig	Nicht vollständig
Aufteilbarkeit in Subprozesse	Ja, fragmentiert	Nein, holistisch
Übung	Hat geringen Effekt	Führt zu allmählicher Verbesserung
Veränderbarkeit	Leicht	Schwierig
Seriell-parallele Abhängigkeit	Seriell abhängig	Parallel unabhängig
Speicherung im Langzeitgedächtnis	Sehr viel	Wenig oder nichts
Performanzniveau	Niedrig, außer wenn die Aufgabe einfach ist	Hoch
Einfachheit	Ohne Konsequenzen	Ohne Konsequenzen
Bewußtheit	Hoch	Niedrig
Aufmerksamkeit	Notwendig	Nicht notwendig, kann aber bei Bedarf zugeteilt werden
Anstrengung	Viel	Gering, wenn überhaupt

Tab. 2: „Charakteristika automatischer und kontrollierter Prozesse“ (nach SCHNEIDER, DUMAIS und SHIFFRIN, 1984)

### 3.3.2 Folgerungen für die Entwicklung und Ableitung von situativen Sicherheitskenngrößen

Eine Steuerung des Fahrerverhaltens durch Sicherheitskenngrößen kann entsprechend der vorgestellten Unterscheidung zwischen Aufmerksamkeitsprozessen und automatischen Prozessen schwerpunktmäßig auf drei Ebenen erfolgen, die sich aber wiederum nicht unbedingt ausschließen müssen:

- direkt durch bauliche Maßnahmen, „forcing functions“ (z.B. Schwellen, Kreisel statt Kreuzungen)
- vor allem unbewußt erfolgen (z.B. optische Bremse)
- vor allem bewußt erfolgen (z.B. Schilder).

#### 3.3.2.1 Bauliche Maßnahmen zur direkten Steuerung des Fahrverhaltens über fahraumbeschreibende statische Größen

Am wirksamsten sind in jedem Fall Sicherheitskennzeichen, die eine direkte und bestenfalls nicht vermeidbare Verhaltensänderung bewirken, das heißt „regelwidrige“ Fahrmanöver nicht zulassen oder reduzieren, wie zum Beispiel Fahrraumtrennungen.

Aber auch, wenn nicht automatisch nur „richtige“ Fahrmanöver zugelassen werden, werden für alle Autofahrer die annähernd gleichen, sicheren und (auch für andere Verkehrsteilnehmer) voraussagbaren Fahrmanöver induziert. Dies gilt sowohl für die unterschiedlichen Kraftfahrzeugarten, als auch für unterschiedliche Gruppen von Autofahrern (z. B. ältere Autofahrer und Führerscheinneulinge). Der Verkehrsfluß verläuft insgesamt homogener.

Weiterhin ist die zu verarbeitende Informationsmenge und damit der kognitive Aufwand geringer, als z. B. beim Lesen von Schildern und kann nicht „vergessen“ werden, während die Maßnahme noch wirksam sein sollte (wie dies z. B. bei einer durch Schilder vorgeschriebenen Geschwindigkeitsbeschränkung der Fall sein kann).

Ebenfalls im Gegensatz zu einer durch Verkehrsschilder vorgeschriebenen Fahrweise, ist eine durch bauliche Maßnahmen induzierte Fahrweise für den Autofahrer eher akzeptabel, als verordnete Maßnahmen, deren Sinn nicht immer einsichtig ist (z. B. Geschwindigkeitsbeschränkungen bei anscheinend für höhere Geschwindigkeiten angelegten Straßen).

Außerdem werden die Effekte entsprechender Maßnahmen am wenigsten durch Adaptation bzw. „Risikohomöostase“ vermindert werden können.

#### 3.3.2.2 Maßnahmen zur unbewußten Steuerung des Fahrverhaltens

Weniger wirksam als bauliche Maßnahmen, die direkt eine Verhaltensänderung bewirken, aber wirksamer als Maßnahmen, die bewußte Prozesse für eine Verhaltensänderung voraussetzen, sind solche Maßnahmen, die zu einer unbewußt erfolgenden Verhaltensänderung führen.

Hier ist ebenfalls der kognitive Aufwand geringer, als bei bewußt zu verarbeitenden Maßnahmen, „Vergessen“ sowie eine mögliche Adaptation bzw. „Risikohomöostase“ sind weniger zu befürchten, und die Akzeptanz ist größer.

Beabsichtigte Verstöße treten weit weniger gegen unbewußt wirkende Sicherheitsmaßnahmen als gegen bewußt wahrgenommene Maßnahmen auf. (Z. B. wird weniger schnell gefahren, wenn der optische Eindruck „Gefahr“ vermittelt, als wenn ein Schild auf die erlaubte Höchstgeschwindigkeit hinweist.)

#### 3.3.2.3 Maßnahmen zur bewußten Steuerung des Fahrverhaltens

Am wenigsten wirksam sind die Maßnahmen, die auf eine bewußte Verhaltensänderung abzielen, da die zu verarbeitende Informationsmenge und damit der kognitive Aufwand am größten sind, und in manchen Fällen die Aufnahme- bzw. Verarbeitungskapazität des Kraftfahrzeugführers überschritten werden kann (z. B. Darbietung von mehreren Schildern gleichzeitig oder kurz nacheinander).

Weiterhin kann Unaufmerksamkeit oder Ablenkung des Fahrers dazu führen, daß die Maßnahmen nicht wirksam werden; ebenso sind „Vergessen“ der für eine bestimmte Wegstrecke geltenden Regelung, sowie Adaptation und „Risikohomöostase“ möglich.

Die Maßnahmen werden nicht von allen Verkehrsteilnehmern im gleichem Maße beachtet, Homogenisierung und Voraussagbarkeit des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer ist nur in eingeschränktem Maß möglich. Außerdem sind die Maßnahmen nicht unbedingt einsichtig, und werden demzufolge nicht unbedingt befolgt.

Gegen  
muß,  
den, v  
(z. B.  
Regel  
liche f  
zeitlich  
  
Wenn  
eine t  
muß t  
leistu  
men  
sind t  
tung

### 3.4

Statis  
ziell i  
seher  
schaf  
„Unfa  
stisch  
1965  
spre  
ziger  
den  
Risik  
chen  
Häuf  
diese  
Rege  
als Z  
gen  
kann  
gung  
fäng  
für g  
Aufg  
eign  
über  
maß  
Mod  
ten  
ziert  
Vari  
tung  
wen  
son  
tion  
sie e

hender  
on bzw.  
nen.

ue-

die di-  
er wirk-  
sse für  
nd sol-  
folgen-

eringer,  
ahmen,  
n bzw.  
rchten,

gegen  
en als  
en auf.  
der op-  
nn ein  
eit hin-

ung

en, die  
len, da  
damit  
und in  
rabei-  
über-  
meh-  
einan-

ankung  
n nicht  
der für  
elung,  
mög-

kehrs-  
moge-  
ns der  
n Maß  
ht un-  
nicht

Gegen Regeln, die der Fahrer bewußt beachten muß, wird auch am ehesten bewußt verstoßen werden, wenn dies für den Fahrer einen Vorteil bringt (z. B. Zeitgewinn). Daher ist, um die Befolgung der Regeln sicherzustellen im allgemeinen eine zusätzliche Rückmeldung für den Fahrer notwendig (polizeiliche Überwachung).

Wenn Maßnahmen eingesetzt werden müssen, die eine bewußte Verhaltensänderung bewirken sollen, muß beachtet werden, daß diese auch von weniger leistungsfähigen Kraftfahrzeugführern wahrgenommen und verarbeitet werden können, einsichtig sind und akzeptiert werden, sowie daß die Einhaltung der Maßnahmen nötigenfalls überwacht wird.

### 3.4 REASONS Modell zur Unfallentstehung

Statistische Analysen des Unfallgeschehens, speziell im Straßenverkehr, zeigen, daß insgesamt gesehen Unfälle nicht primär auf persönliche Eigenschaften der jeweiligen Unfallverursacher, die sog. „Unfälle“, zurückgeführt werden können (für statistische Details und weitere Literatur s. DRÖSLER, 1965). Häufigkeitsverteilungen von Unfällen entsprechen meist der Poisson-Verteilung, deren einziger Parameter  $\lambda$  als inhärentes und für jeden Verkehrsteilnehmer als gleich anzusehendes Risiko zu interpretieren ist. Nur bei sehr umfangreichen Unfallerhebungen weichen die empirischen Häufigkeitsverteilungen vom Poisson-Modell ab; in diesen Fällen entspricht die Verteilung dann in der Regel der negativen Binomialverteilung, die man als Zusammensetzung mehrerer Poisson-Verteilungen mit unterschiedlichem  $\lambda$  interpretieren kann; dieses  $\lambda$  entspricht dann der Unfallneigung einer Gruppe (z.B. ältere Autofahrer, Fahrradfänger etc.) und stellt so eine rationale Begründung für gruppenbezogene Sicherheitsmaßnahmen dar. Aufgrund der statistischen Modelleigenschaften eignen sich also personenbezogene Unfalldaten überhaupt nicht für eine Validierung von Verkehrsmaßnahmen, da nur ein Parameter ( $\lambda$ ) das Modell charakterisiert, und gruppenbezogene Daten eignen sich wenig, da die Anzahl der identifizierbaren gruppenspezifischen  $\lambda$ s und ihre Variabilität gering ist. Diese statistischen Betrachtungen führen dann zu einem anderen Ergebnis, wenn als Merkmalsträger nicht mehr einzelne Personen genommen werden, sondern Standardsituationen, von denen angenommen werden kann, daß sie ein mehr oder minder stabiles Gefährdungspo-

tential haben und häufig genug realisiert werden, um dieses reliabel zu quantifizieren.

Die mangelnde Anschaulichkeit der eingangs erwähnten statistischen Modelle hat dazu geführt, daß die Annahme einer „Unfälle“-Persönlichkeit bzw. des direkten Bezuges zwischen sicherheitserhöhenden Maßnahmen und Unfallreduzierungen in subjektiven Theorien des Verkehrsgeschehens auch heute noch weiterbestehen, obwohl die einschlägigen statistischen Analysen schon auf die Zeit des 1. Weltkrieges zurückgehen. REASON (1990) hat nun ein Modell des Zustandekommens von Unfällen entwickelt, das die Unanschaulichkeit der statistischen Betrachtungsweise überwindet und gleichzeitig aufzeigt, wie und an welchen Stellen ein Fehlermanagement zur Unfallverhinderung eingreifen kann. In Bild 6 wird REASONS Modell eines funktionierenden Systems auf die Verkehrssituation angepaßt. Hier sieht man deutlich, wie verschiedene Maßnahmen und Maßnahmenebenen ineinandergreifen und in dem resultieren, was man als ein funktionierendes Verkehrssystem bezeichnen kann. Ein solches System setzt voraus, daß die

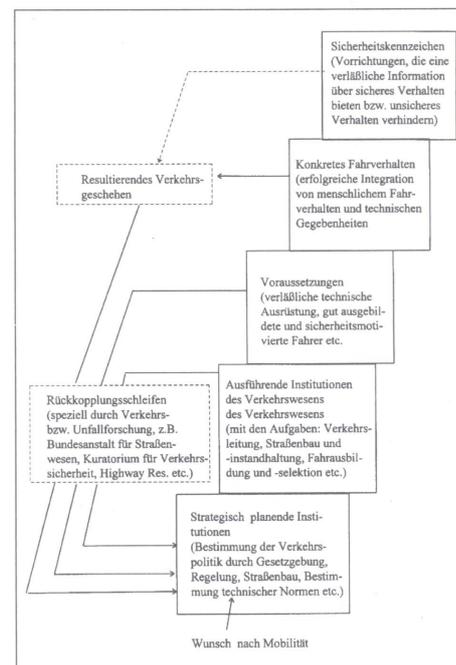


Bild 6: REASONS (1990) Modell eines funktionierenden Systems, angepaßt auf die Situation im Straßenverkehr

Maßnahmen auf den verschiedenen Ebenen aufeinander abgestellt sind und prinzipiell keine Effektivitätseinschränkung aufweisen; speziell die letztere Annahme erscheint wegen der Komplexität des Systems und seiner Teilnehmer unplausibel, sie kann aber approximativ durch hochgradige Redundanzen der Sicherheitsmaßnahmen erreichbar sein, wie es z.B. das angestrebte Ziel der Sicherheitsphilosophie ist, die deutschen Kernkraftanlagen zugrunde liegt.

Konkrete Systeme entsprechen jedoch praktisch nie vollständig der von REASON entwickelten Sicherheitsphilosophie. Wie er selbst mit einer Analyse des Tschernobyl-Vorfalles gezeigt hat, liegen einerseits im Systemdesign Möglichkeiten des Fehlverhaltens, die z.B. auf falsche, unvollständige oder widersprechende Regeln zurückgeführt werden können (sog. resident pathogens). Dazu kommen seitens der Akteure in diesen Systemen konkrete Fehlverhaltensweisen (sog. violations), die mutwillig sein können, aber genauso gut das Resultat von Überforderung oder generalisierter falscher Sicherheitseinstellung (man denke z.B. an jugendliche Mutproben etc.). Dieses Modell eines fehleranfälligen Systems ist in Bild 7 dargestellt.

In dieser Abbildung geben die Löcher jeweils sicherheitsrelevante Mängel auf den verschiedenen Maßnahmeebenen an. Es wird unmittelbar deutlich, daß selbst bei einer vergleichsweise großen Häufigkeit von systemimmanenten Fehlern aufgrund des hierarchisch geschichteten Systems nur selten eine Verbindung von Fehlermöglichkeiten derart entsteht, daß sie in einem aktuellen Unfall enden. Oder: Die verschiedenen Maßnahmeebenen mögen hinsichtlich ihrer Sicherheitsrelevanz lückig wie ein Schweizer Käse sein, aufgrund ihrer relativen Unabhängigkeit und hohen Redundanz bleibt dennoch eine gradlinige Verbindung, wie sie den Weg zu einem Unfall charakterisiert, ein äußerst seltenes Ereignis. Für die Sicherheitsforschung hat dieses Modell die unmittelbare Implikation, daß Regelungsebenen-spezifische Zwischenkriterien für die erreichten Sicherheitsstandards aufgestellt und überprüft werden müssen. Auf der Verhaltensebene können solche Zwischenkriterien z.B. die Geschwindigkeitswahl, die Spurtreue, die Blickfixationsdauer oder die Zeit der Informationsverarbeitung sein. Aber auch hier muß man aufgrund der o.a. statistischen Überlegungen davon ausgehen, daß die situationsbedingte Variabilität dieser Parameter stets sehr viel größer ist als die Variabilität, die auf situationsüberdauernde Per-

soneneigenschaften zurückgeht. Aus diesem Grunde wird man auch bei der Nutzung konkreter Verhaltensmerkmale diese sinnvollerweise mit physikalisch exakt beschreibbaren Situationsmerkmalen (Sicherheitskenngrößen) in Verbindung setzen. Eine solche Vorgehensweise erlaubt es darüber hinaus, simultan systembedingte Fehlermöglichkeiten und konkretes, individuelles Verhalten zu erfassen und somit zu einer Bewertung von Maßnahmen zu kommen, die ein höheres Sicherheitspotential implizieren.

Angesichts der dargestellten komplexen Verursachungslage bei Unfällen können Personparameter-

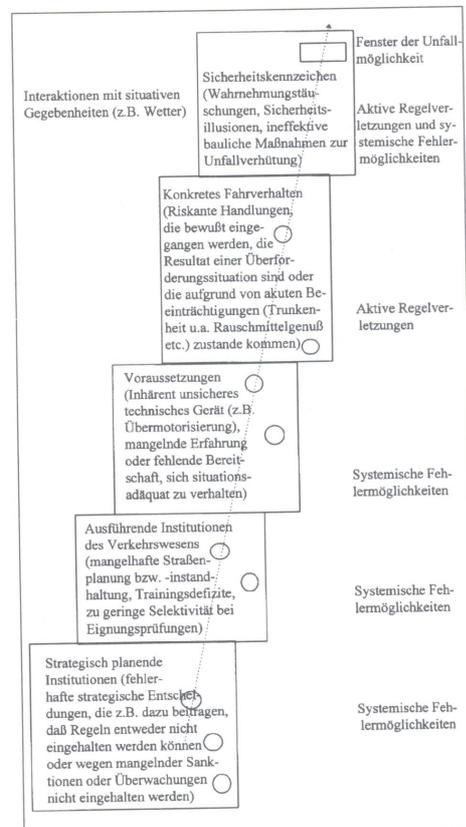


Bild 7: Schematische Darstellung, wie aktive Regelverletzungen zusammen mit systematischen Fehlermöglichkeiten zu Unfällen führen können. Die Löcher in den jeweiligen Rahmen symbolisieren die resultierenden Sicherheitsmängel. Nur wenn es eine Verbindung dieser Sicherheitsmängel mit dem „Fenster der Unfallmöglichkeit“ gibt, erfolgt tatsächlich ein Unfall.

bezogene Evaluationen stets nur zu einer vergleichsweise geringen Varianzaufklärung (entspricht einer geringen Korrelation) führen, und auch diese muß mit Vorsicht interpretiert werden, da komplexe Situationen bekanntlicherweise besonders gut memorierbar sind und daher personbezogene Korrelationen immer die Gefahr in sich bergen, aufgrund solcher Gedächtniseffekte „aufgebläht“ zu sein. Daß dennoch auf solche Untersuchungen nicht verzichtet werden kann, wenn auch ihre Ergebnisse mit Vorbehalt zu interpretieren sind, zeigt das eingangs erwähnt statistische Modell der negativen Binomialverteilung. Wenn Gruppen mit höherem Gefährdungspotential identifizierbar sind, dann kann sowohl durch Trainingsmaßnahmen, Gestaltung der Fahrzeuge, Bestimmung von Selektionskriterien bzw. Festlegung von Selektionswiederholungen als auch durch eine entsprechende Straßengestaltung dem Rechnung getragen werden und so das resultierende Unfallrisiko reduziert werden.

### 3.5 Wahrnehmungspsychologische Grundlagen

Die Einbeziehung wahrnehmungspsychologischer Grundlagen hat bei Untersuchungen zur Straßenverkehrssicherheit vor allem zum Konzept der „optischen Führung“ geführt.

Schon 1958 hat Undeutsch auf die Wichtigkeit einer optischen und straßenbautechnischen Gestaltung hingewiesen, die das richtige Verkehrsverhalten nahelegt. Es wäre ideal, „eine solche Straßengestaltung zu erreichen, daß das richtige Verhalten durch diese Bedingungen geradezu zwingend herbeigeführt wird. Die Parole muß also lauten: Unter Vermeidung von Verkehrsregelungen, die dem natürlichen Gefühl zuwiderlaufen und daher häufig verletzt werden, vielmehr die objektiven Verhältnisse so zu gestalten, daß sich das gewünschte richtige Verkehrsverhalten dem Fahrer mit der gleichen Unmittelbarkeit aufdrängt, mit der sich bei ihm bei widernatürlicher Verkehrsregelung ein vom geforderten Verhalten abweichendes mehr oder minder zwangsläufig durchsetzt.“ (S. 257).

Evaluationsstudien einer in die Straßengestaltung umgesetzten „optischen Führung“ finden sich hauptsächlich in Nordamerika. So erbrachten Studien zur Wirkung von Mittelmarkierungen auf Landstraßen positive wie negative Ergebnisse (YAGAR & VAN AERDE, 1983; zitiert nach PFAFFEROTT &

HUGUENIN, 1991), während sich Randmarkierungen trotz Geschwindigkeitserhöhungen positiv auswirken, da die Platzierung der Fahrzeuge im Fahrstreifen sicherer gelingt (JOHNSTON, 1983)

Bisherige Analysen der Sicherheitsaspekte im Straßenverkehr, und zwar sowohl die Verhaltensregulationsmodelle (WILDE, 1982; NÄÄTÄNEN & SUMMALA, 1976) wie auch die expliziten Untersuchungen von Wahrnehmungsbedingungen im Straßenverkehr (wie z.B. von GRIMM, 1988) vernachlässigen allerdings den Aspekt, daß Wahrnehmung ein aktiver Vorgang ist, der direkt auf das Handeln bezogen ist. NEISSER (1976) hat dazu das Modell des Wahrnehmungskreises aufgestellt, das deutlich zeigt, wie Handlungen, Erwartungen und Wahrnehmungen interagieren. Aus diesem Modell ergeben sich drei wichtige Aspekte für die Verschaltung von Wahrnehmung und kontrolliertem Fahrverhalten, die zudem eine solide Fundierung in moderner experimenteller Wahrnehmungsforschung und -theorie aufweisen.

Diese Aspekte betreffen:

Wahrnehmung und Aufmerksamkeit, GIBSONs wahrnehmungspsychologischen Ansatz, die Wahrnehmung von Bewegungen in Bezugssystemen und die Bedeutung mentaler Repräsentation für die Wahrnehmung und Verarbeitung von Ereignissen.

#### 3.5.1 Wahrnehmung und Aufmerksamkeit

Die Interaktion von Wahrnehmung und Aufmerksamkeit führt dazu, daß nur in einem sehr kleinen Konus im Wahrnehmungsfeld mit einer Öffnung von 3° Symbole und Schrift wahrgenommen werden können. Durch aufmerksamkeitsgesteuerte Blickbewegungen wird der in der Ergonomie üblicherweise als Bereich des optimalen Sehens beschriebene Konus mit 30°-Öffnung kontinuierlich abgetastet und aufgrund der Trägheit des Wahrnehmungsprozesses der Eindruck eines kontinuierlichen Bildes produziert (s. HOCHBERG, 1962; ZIMMER, 1994). Nur in Ausnahmefällen wird die Aufmerksamkeit durch Reize im peripheren Wahrnehmungsfeld 'eingefangen' und es resultiert eine entsprechende Blick- bzw. Kopfbewegung (Bild 8).

Die Bedingungen für das 'Einfangen' von Aufmerksamkeit, sowohl durch Blickbewegungen wie auch - seit W. WUNDT bekannt - durch selektive Aktivierung im 30° Kegel, sind ganz allgemein als Singularitäten zu beschreiben. Unter Singularität wird hier eine Reizkonfiguration verstanden, die sich

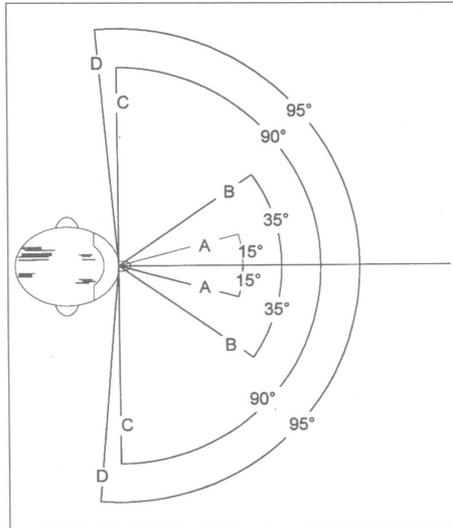


Bild 8: Regionen im Blickfeld

signifikant von einer Mittelung der sie umgebenden Reizintensitäten unterscheidet. Eine solche Singularität kann dynamisch, geometrisch, semiotisch oder symbolisch sein; dabei ist eine deutliche hierarchische Anordnung dieser Singularitäten hinsichtlich des Wahrnehmungsfeldes zu beobachten:

- dynamische Singularitäten (kohärente Bewegung vor einem Hintergrund, der sich gemäß der Bewegungsparallaxe verändert) wirken im gesamten Wahrnehmungsfeld auf die Allokation von Aufmerksamkeit,
- geometrische (Reizkonstellationen wie Y- oder Pfeilverbindungen bzw. systematische Brücken im Texturgradienten) oder semiotische Singularitäten (empfundene Krümmungsradien bzw. -richtungen) wirken in einem engeren Konus des Wahrnehmungsfeldes und sind im eher zentralen Bereich auch durch Farben und Objektkonturen beeinflussbar, und
- symbolische Singularitäten (Symbol- bzw. Textinformation, die sich nicht direkt aus dem Bedeutungskontext ergibt) wirken ausschließlich im engeren ( $< 30^\circ$ ) Wahrnehmungskonus (Bild 9).

Besonders wirksam hinsichtlich des 'Einfangens' der Aufmerksamkeit sind Kombinationen von Singularitätsqualitäten. Höchst wirksam ist z.B. die sich scheinbewegende, sich farblich und in der

Helligkeit vom Hintergrund abhebbende, pfeilförmige (symbolische) Lichtmarkierung auf Baustellenabsicherungsfahrzeugen auf Autobahnen - und zwar sowohl in der Entdeckbarkeit wie auch hinsichtlich der Verhaltensbeeinflussung.

Diese Methoden der vergleichsweise direkten externen Parametrisierung von Verhaltensmodellen haben noch den weiteren Vorteil, daß sie parallel zur optimalen Wahrnehmung ablaufen und zudem vielfach nicht bewußt werden und damit weniger stark der Risikoadaptation oder der von WILDE postulierten Risikohomeostase unterliegen. Andere Verkehrsregelungshinweise wie z.B. Verkehrsschilder, Signalanlagen und Straßenmarkierungen werden demgegenüber vom Fahrer vielfach gar nicht bemerkt. Z.B. richtete sich in einer Untersuchung von HUGHES & COLE nur 15-20 % der Aufmerksamkeit der Fahrer beim Durchfahren einer städtischen Umgebung auf die Verkehrshinweise, während etwa 30-50 % der Aufmerksamkeit auf Reklame gerichtet war (HUGHES & COLE, 1986)

Die Tatsache, daß Markierungen auf Straßenflächen nicht in gleicher Weise Aufmerksamkeit auf sich ziehen wie z.B. Werbeplakate entlang der Straße, spricht nicht gegen die sicherheitsrelevante Wirksamkeit von optischen Bremsen (Querstreifen mit oder/ohne logarithmischer Progression der Abstände bzw. Chevrons). Deren Wirksamkeit besteht ja darin, daß sie die Geschwindigkeitswahrnehmung im peripheren Sehfeld beeinflussen, in das ohne Blickbewegungen keine Aufmerksamkeit verlagert werden kann und in dem auch sogenannte „Pop-Up-Effekte“ nur ausnahmsweise eine Blickzuwendung auslösen. Allerdings spricht das Ergebnis gegen die Verwendung von kleinformatiger symbolischer Information auf der Fahrbahn wie z.B. Texte („Fahrradweg“, „30“) oder auch Piktogramme; nur wenn die Symbole auf Grund von Größe, perspektivischer Verzerrung und Helligkeitskontrast bereits aus 15 - 20 m wahrgenommen werden können, haben sie eine Chance, auf den Teil des Sehfeldes zu treffen, in dem die Aufmerksamkeitsverteilung der Verteilung von spontanen Sakkaden entspricht.

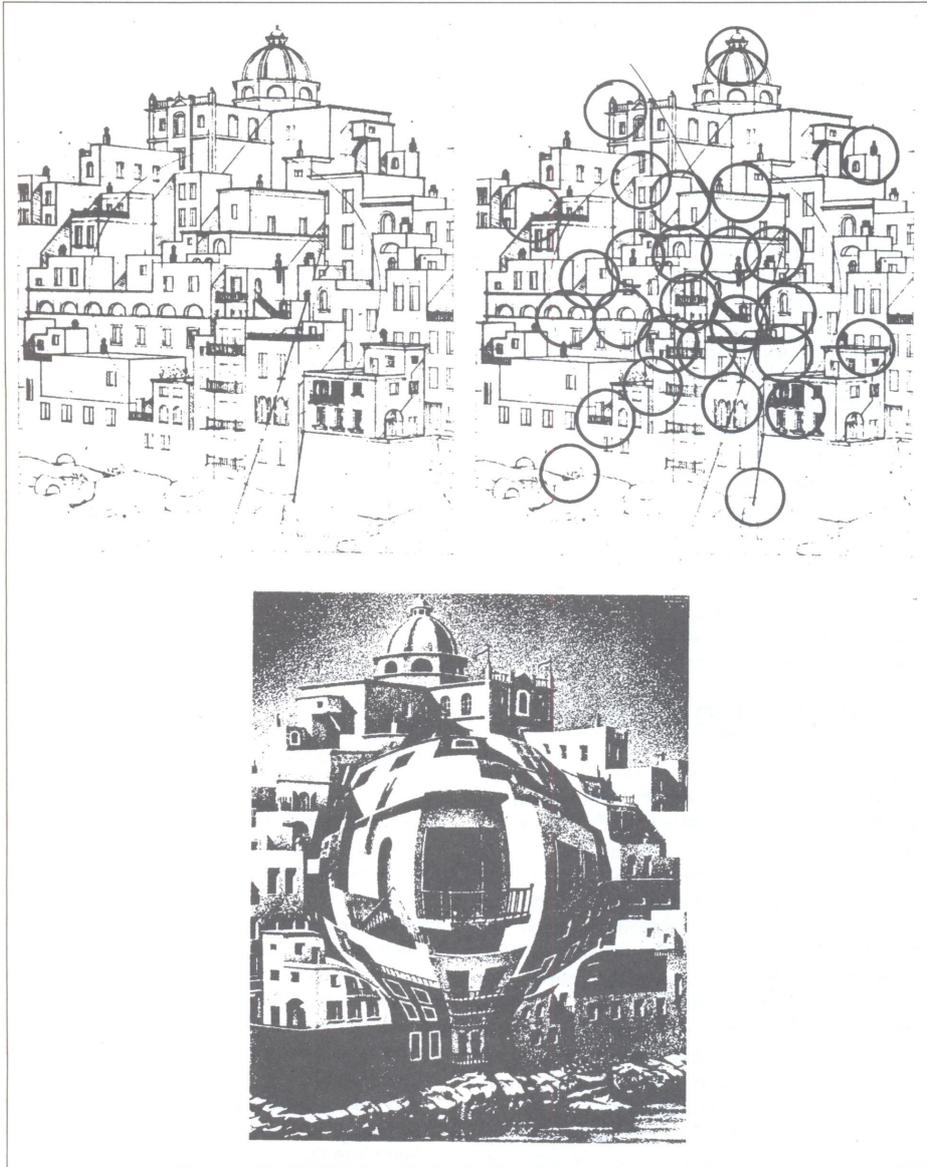


Bild 9: Durch Singularitäten gesteuerte Wahrnehmung im Bereich des „optimalen“ Sehens (zentraler 30°-Konus)

### 3.5.2 GIBSONs wahrnehmungspsychologischer Ansatz

Die Bedeutung des wahrnehmungspsychologischen Ansatzes von J.J. GIBSON für den Straßenverkehr ergibt sich nicht allein aus seinem richtungsweisenden Artikel von 1937, sondern möglicherweise noch stärker aus seinen späteren Schriften, auch wenn diese sich nicht primär verkehrspsychologischen Themen widmen. Wahrnehmung besteht nach Gibson nicht im Registrieren zweidimensionaler statischer Stimuli, aus denen durch Differenzbildung, (linkes/rechtes Sehfeld) Räumlichkeit und in der zeitlichen Achse Bewegung sekundär erschlossen werden, sondern aus bewegten Objekten im Raum, wahrgenommen von einem sich selbst bewegenden Organismus. Sie konstituieren das, was GIBSON als Ereignis (event) bezeichnet. Formal ausgedrückt sind also die Wahrnehmungsdinge durch ihre affinen Transformationen charakterisiert, der Wahrnehmungsapparat ist demnach einem fraktalen Computer vergleichbar, in dem das komplexe Wahrnehmungsereignis entsprechend den Invarianzen unter Klassen von affinen Transformationen segmentiert wird. Diese Invarianzen sind die Träger von Bedeutung (z.B. entgegenkommendes Auto auf Kollisionskurs).

### 3.5.3 Wahrnehmung von Bewegungen in Bezugssystemen

In GIBSONs Ansatz (auch in den Fortführungen von TURVEY (1977) oder in LEES Anwendung auf das Bremsverhalten bei Pkws, 1976) kommt zu kurz, daß zum einen die Wahrnehmung nicht gleichmäßig über das Sehfeld verteilt ist und somit z.B. die Skalierung im Wahrnehmungsfeld nicht konstant ist (s. Bild 7), und daß zum anderen, wie METZGER (1975) und vor allem JOHANSSON, v. HOFSTEN & JANSSON (1980) gezeigt haben, Bewegungen immer nur in Bezug auf die relevanten Bezugssysteme verarbeitet werden, wobei diese Bezugssysteme selbst wieder bewegt sein können. Diese Hierarchisierung von Bewegung kann gravierende „Täuschungen“ induzieren; so wird z.B. die Bewegung eines Punktes auf der Peripherie einer abrollenden Scheibe nicht als Cycloid, sondern als girdandenartig wahrgenommen, und zwei Punkte auf orthogonalen Kollisionskursen werden als frontal kollidierend bei gemeinsamer seitlicher Verschiebung registriert.

Der Aufbau des Wahrnehmungsfeldes als eines verschachtelten Systems von Bezugssystemen, führt dazu, daß z. B. ein Radfahrer, der sich auf ei-

nem Radweg hinter parkenden Fahrzeugen oder einer Straßenrandbeflanzung bewegt, - nicht als eigenständig bewegtes Objekt wahrgenommen wird, sondern als Teilbewegung innerhalb einer Textur, die nur im peripheren Blickfeld erfaßt wird. Dies führt dazu, daß der Radfahrer im Wahrnehmungsfeld als Objekt und damit als möglicher Attraktor für aufmerksamkeitsgesteuerte Blickverlagerungen nicht existent ist.

Aus diesen kurz skizzierten Ergebnissen der Bewegungswahrnehmung sind für die Fahrumweltgestaltung und Verkehrsregulation folgende Konsequenzen zu ziehen:

1. Für den sich bewegenden Verkehrsteilnehmer sind die stationäre Umwelt und die eigene Bewegung in ihr nur dann leicht und sicher wahrzunehmen, wenn die Gestaltung der Umwelt hinreichend stabil ist bzw. Veränderungen nicht einschleichend, sondern auffällig sind. So ist z.B. die konstante Flußgeschwindigkeit der Textur im peripheren Sehfeld eine bedeutsame Determinante für die subjektive Geschwindigkeit. Der relevantere Reiz ist dabei die Winkelgeschwindigkeit der Textur: Sind die texturbestimmenden Objekte nahe an der Fahrbahn, so ist die subjektive Geschwindigkeit hoch, sind diese Objekte weiter von der Fahrbahn entfernt, sinkt die subjektive Geschwindigkeit bei gleichbleibender objektiver Geschwindigkeit; dies wird besonders deutlich beim Ausfahren aus Alleen.
2. Die Bewegung anderer Verkehrsteilnehmer ist dann zuverlässig und leicht wahrzunehmen, wenn sie sich zum einen als Objekte klar von dem statisch (oder zumindest als zu einem anderen Bezugssystem gehörig) wahrgenommenen Hintergrund in Farbe und Form unterscheiden, wenn des weiteren die Trajektorien einfach sind - also plötzliche Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen unterbleiben -, und wenn darüber hinaus beim gleichzeitigen Auftreten vieler Fahrzeuge, wie im Stadtverkehr, wenige Klassen mit homogener Bewegung gebildet werden können (Verkehrsströme, die als kohärente komplexe Objekte wahrgenommen werden).
3. Aufgrund der Hierarchisierung der Bezugssysteme im Wahrnehmungsfeld kann es dazu kommen, daß Verkehrsteilnehmer zwar wahrnehmbar sind, aber trotzdem nicht als relevante Reize für das eigene Verhalten registriert werden. Z.B. weil sie nur als Bewegungen innerhalb des als statisch wahrgenommenen Hintergrund-

des gesehen werden und nicht auf das Bezugssystem 'Verkehrsfluß' bezogen werden. Dies trifft z.B. auf Radfahrer, oder Fußgänger zu, die sich hinter geparkten Fahrzeugen oder Seitenbepflanzungen bewegen, aber auch auf KFZ, die sich z.B. bei Autobahneinfahrten hinter Leitplanken bewegen.

Aus diesen Überlegungen sind sowohl Konsequenzen für die Verkehrsraumgestaltung wie für die Verkehrsregelung zu ziehen (siehe hierzu Punkt 4.1 für eine Übersicht über Sicherheitskenngrößen). Beispielfolgende sind hier bezüglich der Verkehrsumgebung folgende Punkte zu erwähnen:

1. Die Gliederung der baulichen Umwelt und ihre Nähe zur Fahrbahn sollte so sein, daß die angenehm wahrgenommene Winkelgeschwindigkeit der entstehenden Textur mit der erwünschten Fahrgeschwindigkeit übereinstimmt.
2. Rechtzeitig vor der Begegnung verschiedener Verkehrsströme oder Arten von Verkehrsteilnehmern sollten diese gleichzeitig im Wahrnehmungsfeld als abgehoben vom statischen Hintergrund präsent sein.

Dementsprechend ist bezüglich der Verkehrsregelung besonders wichtig, daß eine Klassifikation von einzelnen Verkehrsteilnehmern in Verkehrsströme, die als kollektive Objekte verarbeitet werden können und damit die Belastung der Informationsverarbeitung senken, dann möglich ist, wenn:

- Die Varianz der Geschwindigkeiten innerhalb der Verkehrsströme minimal ist,
- die Varianz der seitlichen Bewegungen minimal ist (optimale Spurtreue) und
- die Varianz der Abstände zwischen den Fahrzeugen gleicher Fahrtrichtung konstant und groß genug ist, um Verlangsamungen bzw. Beschleunigungen ohne singuläre Verhaltensweisen (scharfes Abbremsen oder signifikantes Beschleunigen) aufzufangen.

### 3.5.4 Die Bedeutung mentaler Repräsentationen für die Wahrnehmung und Verarbeitung von Ereignissen

Ein zentrales Problem für anwendungsbezogene psychologische Forschung ist die Frage nach dem Verhältnis zwischen physikalisch definierbaren (objektiven) Gegebenheiten der Umwelt und ihrer mentalen Repräsentation: Ganz bewußt wird hier nicht auf den Bereich der Wahrnehmung eingeschränkt, denn für die Ausführung von Handlungen

ist nicht nur das unmittelbar Wahrgenommene von Bedeutung, sondern auch, wie dieses mit überdauernden Gedächtnisinhalten in Verbindung gebracht wird. Aus beidem ergeben sich einerseits die globalen Situationsbeurteilungen (wie z.B. „gefährlich/ungefährlich“ oder „wünschenswert/zu vermeiden“), die modulierend auf die Auswahl und Ausführung von Tätigkeiten einwirken, und andererseits die Handlungsprogramme, die entweder direkt aus einem überdauernden Handlungswissen abgeleitet oder situativ neu generiert werden. Für den Bereich der Verkehrspsychologie wird die Bedeutung dieser Problematik unmittelbar sichtbar, wenn man z.B. daran denkt, wie die objektiven Parameter einer Kurve (Radius, Überhöhung, Fahrbahnbreite und Fahrbahnprofil) nicht nur den wahrgenommenen Fahrbahnverlauf bestimmen, sondern auch dessen Beurteilung als gefährlich bzw. ungefährlich und die Aktivierung entsprechender Verhaltensmuster („bremsen und lenken“, „nur lenken“, „Gas geben und lenken“ etc.). Während GIBSON (1979) noch davon ausgegangen ist, daß in „ökologisch reichen“ Situationen, wie sie im Straßenverkehr gegeben sind, Wahrnehmungstäuschungen praktisch nicht auftreten, konnten KALLINA und ZIMMER (1974) zeigen, daß z.B. Täuschungen über Kurvenrichtung bzw. Kurvenradius zumindest nachts nichts Ungewöhnliches sind und so eine erhebliche Gefahrenquelle darstellen können (vgl. 4.2).

Der Einfluß mentaler Modelle wird ebenfalls deutlich bei der Wahrnehmung eines „psychologischen Vorrangs“ von Verkehrsteilnehmern in Abhängigkeit von der Straßenverkehrsgestaltung. Ein psychologischer Vorrang eines Verkehrsteilnehmers liegt dann vor, wenn Merkmale der Verkehrssituation eine Vorrangstellung gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern suggerieren. Stimmen psychologische Vorrangstellung und rechtliche Regelung überein, besteht die geringste Wahrscheinlichkeit auf fehlerhaftes Verhalten der Verkehrsteilnehmer.

UNDEUTSCH (1958) leitet aus denen in der Tradition der Gestaltpsychologie (z.B. METZGER, 1953) erforschten Wahrnehmungsgesetzmäßigkeiten solche für den Straßenverkehr ab:

- a) Der wuchtigere (d.h. der größere, schwerere und schnellere) hat Vorfahrtsrecht gegenüber dem weniger wuchtigen (d.h. kleineren, leichteren und langsameren) Verkehrsteilnehmer.
- b) Es hat den Vorrang derjenige, für den das Warten die größere Mühe („Zumutung“) bedeuten würde.

- c) Der auf der (hinsichtlich Decke, Breite, Beleuchtung usw.) besser befahrbaren Straße verlaufende Verkehr nimmt den Vorrang für sich in Anspruch.
- d) Verkehrsreichere Straßen werden als vorfahrtsberechtigter angesehen.
- e) Solange kein anschaulicher Wechsel in der Rangordnung einer Straße eintritt, tritt auch kein Wechsel in der Vorfahrtsberechtigung ein.
- f) Geradeaus-Verkehr hat den Vorzug vor Abbiegungen und Einmündungen.“ (S. 251).

Von noch größerer Bedeutung für die Untersuchung des Verkehrsgeschehens ist die Bedeutung mentaler Repräsentationen für die Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung von Ereignissen, wenn man Verkehrssituationen untersucht, die nicht „direkt“ i.S. von GIBSON wahrgenommen werden können, sondern erst durch Markierungen bzw. Verkehrszeichen ihre Bedeutung erhalten. Diese Zeichensysteme kann man zum einen dahingehend klassifizieren, inwieweit sie piktographisch sind (d.h. in ihrer Bedeutung kultur- und lernunabhängig direkt zu erfassen), logographisch (d.h. symbolische Formen, deren Bedeutung erlernt werden muß, die aber nicht sprachgebunden sind) und endlich sprachlich gebunden sind, andererseits danach, inwieweit sie direkt das erwünschte oder vorgeschriebene Verhalten spezifizieren (so gibt z.B. das Schild „Achtung Kurve“ direkt an, ob nach rechts oder links gesteuert werden soll, spezifiziert also den Lenkeinschlag), einzelne Verhaltensweisen ausschließen (z.B. „rechts abbiegen verboten“, wodurch mehrere potentielle Verhaltensmöglichkeiten offenbleiben, die erst durch die spezifische Situation determiniert werden müssen) oder endlich verhaltensunspezifisch sind, und nur z.B. die Notwendigkeit erhöhter Aufmerksamkeit signalisieren. Die Situation wird dadurch noch schwieriger, daß die Komplexität der einzelnen Verkehrsschilder noch dadurch ansteigen kann, daß z.B. eine piktographische Information mit dem „Negation“ symbolisierenden Schrägstrich verbunden wird oder daß die Bedeutung eines Symbols durch Text eingeschränkt oder spezifiziert wird. Eine vollständige Analyse der Komplexität von Verhaltensanweisung von Verkehrsschildern hat für jedes einzelne Schild folgende Parameter zu berücksichtigen: (1) Anzahl der möglichen Entscheidungen (nach dem Hick'schen Gesetz (1952) bestimmen sie direkt die Reaktionszeit), (2) die Verlangsamung der Reaktionszeit durch Negationen und Verbote (s. CLARK & CLARK, 1977), (3) die Übereinstimmung/Nicht-Übereinstimmung von Repräsentationen und Handlung (s. PALMER, 1978) und (4) die Verwechslungswahrscheinlichkeiten mit anderen Schildern aufgrund von Ähnlichkeit; so aktiviert „Einfahrt verboten“ dieselbe Implikation wie „Fahrverbot“ und kann zu einer falschen Erwartung führen, daß an dieser Stelle keine Ausfahrt erfolgen wird. Details zu Geschichte, Gestaltung und Einsatz von Verkehrsschildern finden sich z.B. in folgenden Arbeiten: BMV (1989), ELLINGHAUS (1987), ERKE und GOTTLIEB (1981), KRAMPEN (1988), LANDWEHR (1993).

Für die Frage, inwieweit die Gestaltung der Verkehrsumwelt die Verhaltensweisen induziert, die den situativen Gegebenheiten optimal angepaßt sind, kann man die Problematik der Beziehung zwischen objektiven Gegebenheiten und ihren mentalen Repräsentationen folgendermaßen fassen: Abgesehen von dem einfachsten Fall einer direkten Übereinstimmung wie von Gibson angenommen, erzielen all jene Gestaltungsmerkmale den größten Effekt, sind also als Sicherheitskennzeichen effektiv, die in ihrer Bedeutung eindeutig und ihrer kognitiven Verarbeitung so einfach sind, daß sie nicht durch Bezugssysteme, Adaptation oder die Erinnerung konkreter Erfahrungen invalidiert oder zumindest in ihrer Bedeutung reduziert werden können. Insofern ist nicht die absolute Anzahl von Verkehrszeichen wie in den Untersuchungen von KLEBELSBERG und KALLINA (1960) oder UN-DEUTSCH (1979) ein direkter Parameter für die Informationsverarbeitungsbelastung des Kraftfahrers und damit ein indirekter Indikator für einen Mangel an Sicherheitskennzeichen, sondern die Gesamtbedeutung einer Verkehrssituation, in die bauliche Gestaltung, Verkehrszeichen und verkehrsrechtliche Regelungen eingehen (vgl. 3.1, das Konzept des „behavior setting“); diese Gesamtbedeutung ist dann besonders leicht zu erfassen, wenn sie in sich einfach ist und wenn alle Indikatoren konsistent und hinreichend redundant sind; hinreichende Redundanz ist dann gegeben, wenn einerseits Bedeutungsüberlappung bzw. -wiederholung so häufig auftritt, daß Aufmerksamkeitsschwankungen nicht dazu führen können, daß bedeutsame Informationen übersehen werden, und daß andererseits die mehrfache Wiedergabe der gleichen oder ähnlichen Information nicht dazu führt, daß diese vollständig ausgeblendet wird.

### 3.6 Folgerungen aus den theoretischen Grundlagen für die Straßenverkehrssicherheit

Bei der Einschätzung einer Situation verläßt sich der Fahrer vor allem auf seine eigene Wahrnehmung der Situationsgegebenheiten. Seine Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Orientierung in der Situation erfolgt dabei häufig unbewußt. Daher sollte durch die Straßengestaltung möglichst schon „automatisch“ sicheres Fahrverhalten induziert werden, ohne daß dazu bewußte Prozesse notwendig werden. Gefahrenhinweise (Schilder) und Appelle sind dagegen weniger wirksam, da sie zum einen erst in ihrer symbolischen Bedeutung dekodiert werden müssen und daher nur zeitverzögert das ansonsten durch direkte Wahrnehmung gesteuerte Fahrverhalten beeinflussen können und da sie zum zweiten auf höhere kortikale Funktionen zugreifen, die mit anderen Tätigkeiten beim Autofahren (Zielplanung, Kontrolle von Verkehrsnachrichten etc.) interferieren (vgl. 3.3.2). Im Sinne von „positive guidance“ (nach ALEXANDER und LUNENFELD, 1975) muß dem Fahrer so früh eindeutige unmißverständliche (d.h. nicht symbolische) Information über Gefährdungen gegeben werden, daß er rechtzeitig eine Entscheidung über die einzuschlagende Richtung und die angemessene Geschwindigkeit treffen kann, um dadurch einen möglichen Unfall zu vermeiden.

KÖPPEL (1988) argumentiert „aus der Sicht des Straßenbauers“:

„Der Verkehrsteilnehmer, insbesondere der Kraftfahrer, handelt und entscheidet im Straßenverkehr in aller Regel unterhalb der Bewußtseinschwelle. Routiniertes Fahren bedeutet letztlich nichts anderes, als die erworbenen Erfahrungen ohne langes Überlegen in jedem Augenblick der Teilnahme am Straßenverkehr „automatisch“ anzuwenden.“...

„Dem Verkehrsteilnehmer sollten Verkehrsanlagen angeboten werden, bei denen

- einmal die Notwendigkeit bewußten Handelns minimiert wird,
- zum anderen die im Unterbewußtsein zu treffenden Verhaltensentscheidungen routinemäßig richtig getroffen werden.“

„In Erkenntnis der Bedeutung des unterbewußten Verarbeitens von Informationen sind alle jene an den Verkehrsteilnehmer abzugebenden Informationen vorzuziehen, die ihn „unbewußt“ leiten oder führen gegenüber jenen, die „bewußt“ hemmen oder beachtet werden müssen. Das heißt letztend-

lich nichts anderes, als daß Verhaltensweisen in Geometrie, in technische Formen umzusetzen sind. Die verkehrsregelnde Beschilderung kann in diesem Sinne nur die zweitbeste Möglichkeit sein.“

Zusätzlich muß berücksichtigt werden, daß vielfach die subjektive Risikobereitschaft des Autofahrers größer sein kann, als die objektiv gegebene Sicherheit und damit die Gefährlichkeit von Situationen unterschätzt wird. Ziel einer Erhöhung der Sicherheit des Straßenverkehrs für alle Verkehrsteilnehmer kann also nicht nur sein, objektiv gefährliche Situationen zu entschärfen, sondern darüber hinaus muß dem Autofahrer möglichst viel und eindeutige Information geboten werden, um die Situation richtig einschätzen zu können, wie z.B. eine deutliche Kenntlichmachung von Veränderungen der Verkehrsräume bei Ortsdurchfahrten und verkehrsberuhigten Zonen, wenn nötig, eine deutliche Trennung der Verkehrsflächen für unterschiedliche Arten von Verkehrsteilnehmern, eindeutige Regelungen des Verkehrs durch die Signalanlagen und eine möglichst gute Rückmeldung über gefahrene Geschwindigkeiten. Des weiteren sollten die objektiven Risiken der Verkehrssituation überstark vermittelt werden. Die subjektive Risikobewertung des Fahrers soll damit höher oder mindestens gleich den objektiven Risiken angesiedelt werden. So kann die Risikoeinschätzung, die auf der Geschwindigkeitswahrnehmung basiert, dadurch z.B. direkt beeinflusst werden, daß durch Gestaltungen des Fahrfeldes (Bepflanzung am Fahrbahnrand, 'optische Bremse') die wahrgenommene Geschwindigkeit verändert (in diesem Fall erhöht) wird. Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und -schwere und gefahrenen Geschwindigkeiten belegen, daß eine allgemeine Herabsetzung der Geschwindigkeit zwar nicht unbedingt zu weniger Unfällen führt, aber überproportional weniger Unfallbeteiligte getötet oder verletzt werden (z.B. bei der Herabsetzung der erlaubten Höchstgeschwindigkeiten auf den italienischen Autobahnen im Sommer 1989), was aufgrund des quadratischen Zusammenhangs zwischen Geschwindigkeit und kinetischer Energie plausibel ist.

Beispiele für entsprechende Maßnahmen zur eindeutigen Information des Autofahrers und der Verdeutlichung von Risiken sind: Leitlinien und Trennung der Bereiche der Verkehrsteilnehmer (was allerdings gleichzeitig zu höheren Geschwindigkeiten führen kann); situationsspezifische Formen der Rückmeldung für Autofahrer, z.B. reaktive Ver-

kehrsanlagen; deutliche Kenntlichmachung von Ortsdurchfahrten und verkehrsberuhigten Zonen (durch Engstellen bei der Einfahrt, Querschraffierung der Fahrbahnoberfläche, unterschiedliche Straßenbeläge und in den Bereichen jeweils einheitliche farbliche Markierungen der Bordsteine).

Eine Reduktion der Geschwindigkeiten kann erreicht werden durch Vermeidung langer gerader Straßenzüge ohne Tempobremse. Als optische Bremse sollten z.B. breite Straßen tatsächlich oder optisch schmaler gemacht, der Mittelstreifen entfernt und versetzt angeordnete Parkplätze oder Grünflächen angelegt werden. Die Straßen sollten so breit sein, daß zwei Autos bei langsamer Fahrweise aneinander vorbeikommen, es sollten jedoch keine Engstellen mit nur einer Fahrbahn gewählt werden, da dies die Autofahrer zur Beschleunigung verführen könnte, um „der erste“ an der Engstelle zu sein. Als sowohl optische wie akustische und kinästhetische Bremse können unterschiedliche Straßenbeläge und Schwellen (s. Richtlinien zur Gestaltung von verkehrsberuhigten Zonen) wirken. Bei Ortsdurchfahrten und verkehrsberuhigten Zonen empfehlen sich möglichst einfache Verkehrsregelungen: z.B. als Vorfahrtsregelung (rechts vor links“, besser noch: „four way stop“. Dabei sollten dann die Straßen bei Einmündungen in die Kreuzung gleich groß erscheinen, was z.B. durch Grünflächen erreicht werden kann.

Für wirksame Maßnahmen und Regelungen gilt, daß sie zum einen leicht verständlich und einheitlich, zum zweiten für alle Verkehrsteilnehmer möglichst akzeptabel sein sollten. Die Akzeptanz von Maßnahmen kann durch frühe Hinweise und Erklärungen erhöht werden. Weiterhin sollten Autofahrer das Befahren einer Strecke nicht als „Hinderisrennen“ erleben, und Fußgänger und Radfahrer nicht zu umständlichen und unangenehmen Umwegen gezwungen werden (z.B. steile Treppen, dunkle Unterführungen).

## 4 Die Entwicklung bzw. Ableitung von projektrelevanten Sicherheitskenngrößen

### 4.1 Straßenbauliche Gestaltungsmerkmale

Vor allem aus den Vereinigten Staaten liegen umfassende Berichte über Untersuchungen zum Einfluß von straßenbaulichen Gestaltungsmerkmalen

auf die Straßenverkehrssicherheit vor. Der Research Report der Federal Highway Administration (1981) „Highway Geometric Design Consistency Related To Driver Expectancy“ (1981) betrifft z.B. die Straßenverkehrssicherheit in Abhängigkeit von folgenden straßenbaulichen Gestaltungsmerkmalen:

- Straßenquerschnitt und Ausrichtung (Roadway Cross Section and Alinement), z.B. Fahrbahnbreite (Lane Width), Randbreite (Shoulder Width), Straßenbreite (Roadway Width) und Kurven (Curves)
- Straßenbelag (Pavement Surface)
- Straßenbegrenzungen (Roadside Features)
- Ein- und Ausfahrten (Access Control)
- Kreuzungen (Intersections)
- (Interchanges)
- Einbahnstraßen (One-Way Streets and Reversible Lanes)
- Vorrang für Fahrzeuge mit mehreren Passagieren (Priority for High-Occupancy Vehicles)
- Parken auf der Straße (On-Street Parking)

Um den Rahmen des Projekts nicht zu sprengen, können im Folgenden nur ausgewählte Straßengestaltungsmerkmale für die Bestimmung situativer Sicherheitskenngrößen bearbeitet werden. Die Auswahl der Straßengestaltungsmerkmale für die Entwicklung von Sicherheitskenngrößen erfolgt dabei nach folgenden Kriterien:

- Die vorliegende Literatur bietet verlässliche Hinweise für den Einfluß der Straßengestaltungsmerkmale auf die Straßenverkehrssicherheit.
- Die Straßengestaltungsmerkmale üben nicht nur einen physikalisch meßbaren Einfluß aus, sondern, ihr Einfluß auf das Verhalten von Straßenverkehrsteilnehmern ist prinzipiell beobachtbar und meßbar, und damit auch experimentell prüfbar (vgl. auch OECD Report, 1989, S. 29).

Im Überblick betrachtet ist festzustellen, daß der Einfluß straßenbaulicher Gestaltungsmerkmale auf die Sicherheit des Straßenverkehrs vielfach belegt wurde. Einen Überblick über vorliegende Untersuchungen bieten z.B. die Research Reports der Federal Highway Administration (1981, 1982), OECD-Report (1989), KÖPPEL (1988). Auf die Sicherheit des Straßenverkehrs wird im allergrößten Teil der Untersuchungen von Unfalldaten her geschlossen.

Es gilt, daß „der Ausbau des Straßennetzes die positiven Auswirkungen entwurfstechnischer Größen wie z.B. Radiengrößen und -relationen, Steigun-

gen, Fahrbahnbreiten u.a. auf die Verkehrssicherheit bestätigt. Einen besonderen Sicherheitsgewinn stellt die Richtungstrennung dar, wobei der Flächenbedarf zweibahniger Straßen oft überschätzt wird. Auch bautechnische Aspekte wie Griffigkeit, Ebenflächigkeit, Entwässerung u.a. beeinflussen die Verkehrssicherheit.“ (KÖPPEL, 1988). Besonders gut nachgewiesen auf eine Reduktion der Unfallzahlen ist der Einfluß von Verkehrskreiseln, der Trennung beider Fahrrichtungen, breiteren Fahrbahnen, breiteren Randstreifen (ARMOUR und MCLEAN, 1983; PORTIGO, 1976), geringerer Kurvigkeit, größeren Kurvenradien, Relationstrassierung (in Abhängigkeit von der Größe des Radius der ersten Kurve darf sich der Radius der zweiten Kurve nur in einem vorgegebenen Maß ändern), geringeren Steigungen, größeren Sichtweiten insbesondere vor Kreuzungen (Fed. Highway Administration, 1982; OECD Report, 1989; KÖPPEL, 1988).

#### 4.2 Diskrepanzen zwischen subjektiver und objektiver Sicherheit

Die bauliche Gestaltung des Straßenverkehrsraumes anhand von entwurfstechnischen Größen führt aber nicht immer und automatisch zu größerer Straßenverkehrssicherheit.

Wahrnehmungstäuschungen über den Straßenverlauf (auch gut ausgebauter Straßen) können zu unfallträchtigem Fehlverhalten führen, obwohl der Straßenverlauf den ingenieurwissenschaftlichen sicherheitsrelevanten Vorgaben genügt (vgl. 3.5). So weisen speziell Untersuchungen zur Wahrnehmung von Kurvenverläufen nach, daß die Fahrer gefährlichen Täuschungen unterliegen können.

Entsprechend SHINARS Untersuchungen (1977) korreliert der visuelle Eindruck eines in die Kurve einfahrenden Fahrers oft wenig mit der Geometrie der vorausliegenden Kurve, das heißt, daß eine Kurve ihrer Anlage nach schärfer oder gefährlicher sein kann, als sie von dem sich nähernden Fahrer wahrgenommen wird. Kurven mit hohen Unfallzahlen werden als näher, breiter und sichtbarer, also insgesamt als weniger gefährlich wahrgenommen als Kurven mit niedrigen Unfallzahlen. Entsprechend SHINAR können in das Kurvenbild eingebettete visuelle Muster für die Unfallträchtigkeit von Kurven verantwortlich sein, diese Indikatoren sind keine psychophysischen Korrelate der physikalischen Maße für den Kurvenverlauf, sondern beeinflussen die Kurvenwahrnehmung des Fahrers. Entscheidend sind (1) die Länge der sichtbaren Kurve

am Beginn der Kurve, (2) der Perspektivenwinkel, der durch die Außenbegrenzung der Straße gebildet wird, und (3) der Perspektivenwinkel der Innenbegrenzung (vgl. Bild 10). Wie eine Befragung der Fahrer zeigt, wird die Wahrnehmungstäuschung, der sie unterliegen, bewußt nur schwer erkannt.

VANIOTUOs Untersuchungen (1991) weisen darauf hin, daß neben dem Kurvenverlauf auch die nähere (z.B. Höhe und Dichte der Randbepflanzung) und weitere (z.B. flach oder hügelig) Umgebung zu einer Wahrnehmungstäuschung des Fahrers beitragen können. Zu einem trügerischen Gefühl der Sicherheit trägt in hügeliger Umgebung z. B. ein starker Kontrast zwischen der als heller wahrgenommenen Straße und dunkler, dichter Bepflanzung am Straßenrand bei. Die Bepflanzung wird als im rechten Winkel zur Straße befindlich wahrgenommen. In flacher Umgebung führt z. B. niedrige und weiter entfernte Bepflanzung zu höheren Geschwindigkeiten. Zu hohe, bzw. situationsunangepaßte Geschwindigkeiten können ebenfalls durch die straßenbauliche und die Umgebungsgestaltung induziert werden. Die von VANIOTUO (1991) für Kurven festgestellte Erhöhung der Geschwindigkeit bei niedriger und fehlender Randbepflanzung bzw. Bebauung kann auch für gerade Strecken nachgewiesen werden (vgl. 3.5.3). Allgemein kann davon ausgegangen werden, daß die Wahl der gefahrenen Geschwindigkeit von Straßenmerkmalen wie der Kurvigkeit (horizontal curvature), dem Querschnitt (cross-sectional profile) und der Steigung (longitudinal grade) abhängt (BRENAC, 1990). Entscheidende weitere Faktoren für die Geschwindigkeitswahl sind die Umgebungs- bzw. Straßenrandgestaltung, sowie vorgeschriebene Geschwindigkeitsbeschränkungen (YAGAR und VAN AERDE, 1983).

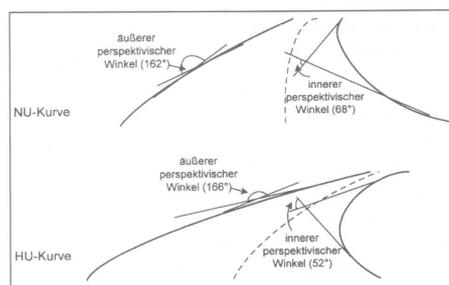


Bild 10: Randlinien einer Kurve mit geringer Unfallbelastung (LA) und einer Kurve mit hoher Unfallbelastung (HA). Je schärfer die Kurve, desto kleiner der Perspektivenwinkel (nach SHINAR, 1977).

### 4.3 Anpassung des Fahrerhaltens an Maßnahmen zur Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit

Der positive Effekt, der durch bauliche Maßnahmen für die Sicherheit des Straßenverkehrs erreicht werden kann, könnte durch eine Verhaltensadaptation des Fahrers verringert, wenn nicht aufgehoben werden. Entsprechend der Modelle zum Risikoverhalten von Autofahrern (vgl. 3.2) könnte der durch die Gestaltung des Straßenraumes erzielte Sicherheitsgewinn z.B. durch eine risikoreichere Fahrweise kompensiert werden (WILDE, 1982). Die subjektive Sicherheit könnte gleichzeitig mit der objektiven Sicherheit wachsen, so daß „netto“ kein Gewinn an Sicherheit resultiert (KLEBELSBERG, 1977). Wenn auch die „Driver Behavior Models“ als experimentell nicht belegt und nur sehr eingeschränkt zur Vorhersage von Fahrerhalten angesehen werden können, läßt sich die von ihnen vorhergesagte positive oder negative Verhaltensadaptation des Fahrers an Sicherheitsmaßnahmen nicht ausschließen.

Die Untersuchung: „Behavioural Adaptations To Changes In The Road Transport System“ (OECD Report, 1989) kommt zu dem Ergebnis, daß bei mindestens drei Sicherheitsmaßnahmen der Einfluß von Verhaltensadaptation nachweisbar ist, nämlich bei Fahrbahnverbreiterungen, Straßenrandverbreiterungen und Straßenrandmarkierungen. Der Effekt der Verhaltensadaptation ist jeweils in Abhängigkeit von dem untersuchten Verhaltensparameter entweder positiv oder negativ (vgl. auch PFAFFEROTT & HUGUENIN, 1991).

### 4.4 Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen

#### 4.4.1 Methodische Kriterien für eine Validierung

Eine Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen sollte den Kriterien der Objektivität, Reliabilität, Repräsentativität und Spezifität möglichst gut genügen (ANGENENDT et al., 1987). Das heißt, die Messungen sollten objektiv sein und unabhängig vom Beobachter; die Meßbedingungen und die situativen Bedingungen sollten kontrollierbar sein; es sollte möglich sein, von den erhobenen Messungen (Stichproben) auf die Gesamtheit zu schließen; (zeitlich und örtlich) unterschiedliche Verkehrssituationen und unterschiedliche Personengruppen sollten spezifisch erfaßt werden können.

Denkbare Ansätze für eine Validierung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen sind die Erfassung und Analyse von Unfalldaten, die Gefährlichkeitsdiagnose von Situationen, sowie die Erfassung von Verhaltenskenngrößen in Feldbeobachtungen, Feldexperimenten und Simulatorstudien.

#### 4.4.2 Das Unfallkriterium

Die weitaus meisten Untersuchungen zur Straßenverkehrssicherheit gehen fast ausschließlich von Unfalldaten aus. Die Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen wird dabei nach dem Unfallgeschehen beurteilt. Der Erfolg einer Maßnahme zur Erhöhung der Sicherheit wird daran gemessen, ob die Unfallzahlen nach Einführung der Maßnahme abnehmen. Unfalldaten alleine sind aber als Kriterium für die Evaluation einer Maßnahme zur Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit nur bedingt geeignet. Unfalldaten genügen nicht den in 4.4.1 aufgeführten Ansprüchen an eine Validierung, sondern es gilt für Unfalldaten, daß

- Unfälle als im statistischen Sinne seltene Ereignisse keine reliablen und validen Schlüsse auf die Sicherheit einer Verkehrssituation zulassen,
- Unfalldaten gewöhnlich keinen situativen Bezug aufweisen,
- Unfalldaten überhaupt nur dann aufgenommen werden, wenn der Unfall der Polizei bekannt wird, ein Personenschaden eingetreten ist, oder eine bestimmte Schadenssumme überschritten wird,
- die Aussagen von Unfallbeteiligten als nur eingeschränkt objektiv angesehen werden dürfen (HAKKERT & HAUER, 1988),
- Unfälle normalerweise nicht monokausal verursacht sind, sondern aufgrund der Interaktion mehrerer (unmittelbarer und mittelbarer) Verursachungsfaktoren zustandekommen, insbesondere die mittelbaren Faktoren aber gewöhnlich nicht in den Unfalldaten festgehalten werden,
- Unfalldaten nur bedingt geeignet sind, den Effekt einer Maßnahme zur Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit festzustellen. Wenn die Unfallzahlen nach einer Maßnahme zur Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit unverändert bleiben, könnte dies zum einen darauf zurückgeführt werden, daß die Maßnahme nicht effektiv war; zum anderen könnten zwar sehr wohl die angestrebten Veränderungen im Fahrerhalten stattgefunden haben, der Effekt aber durch eine mögliche Adaptation an die Sicherheitsmaßnahme wieder aufgehoben worden sein (vgl. 4.3).

Unfälle können als Endpunkt eines Kontinuums angesehen werden, das sich vom Unfall über Beinahe-Unfälle, Verkehrskonflikte und Verkehrsverstöße bis zum anderen Ende, dem Normalverhalten, erstreckt (BIEHL, 1990; KLEBELSBERG, 1982). Sinnvoller als das seltene Ereignis Unfall als primäres Validierungskriterium zu wählen, erscheint eine Vorgehensweise, bei der von Untersuchungen zur Straßenverkehrssicherheit von Verkehrskonflikten, Verkehrsregelübertretungen und geringfügigen Abweichungen vom Normalverhalten des Kraftfahrzeugführers (z.B. Verlängerung von Reaktionszeiten) ausgegangen wird (vgl. 4.4.5 und 4.4.6).

#### 4.4.3 Sicherheitskriterien und Verhaltenskenngrößen

Für die Gewährleistung der Sicherheit einer Straßenverkehrssituation sind zwei Parameter von entscheidender Bedeutung:

- Die Homogenität der Verkehrsabläufe und
- geringe Kollisionsgeschwindigkeiten.

„Homogene Verhaltensbedingungen im Straßenverkehr erleichtern die Tätigkeit der Verkehrsteilnehmer auf drei psychologisch unterscheidbaren Funktionsebenen:

- Sensorische Funktionen: Wahrnehmungs- und Antizipationsbedingungen werden verbessert.
- Kognitive Funktionen: Handlungsalternativen werden verringert und Entscheidungsvorgänge erleichtert.
- Motivationale Faktoren: Das Konkurrenzprinzip 'Leistungsdruck' auf der Straße wird entschärft.“ (BIEHL, 1990, S. 22)

Die Beurteilung der Homogenität von Verkehrsabläufen und damit der Sicherheit von Verkehrssituationen ergibt sich aus den Verhaltenskenngrößen Geschwindigkeit und Bewegungslinien der Verkehrsteilnehmer, z.B. Spurtreue, sowie räumliche und zeitliche Abstände. Weitere Verhaltenskenngrößen sind Fahrprobleme, Verkehrsregelübertretungen und Verkehrskonflikte.

Als wichtigste Verhaltenskenngröße zur Beurteilung der Sicherheit einer Straßenverkehrssituation kann die Geschwindigkeit von Kraftfahrzeugen angesehen werden.

- Überhöhte bzw. situationsunangepasste Geschwindigkeiten sind für die Unfallhäufigkeit und die Unfallschwere von entscheidender Bedeutung (die kinetische Energie wächst quadratisch mit der Geschwindigkeit und damit der Bremsweg bzw. die Verformung bei Kollisionen).

- Eine überhöhte Kraftfahrzeuggeschwindigkeit verschärft die Probleme älterer Autofahrer z.B. bei der Geschwindigkeitswahrnehmung, der Informationsverarbeitung und der Aufmerksamkeit.
- Eine überhöhte und situationsunangepasste Geschwindigkeit trägt in besonderem Ausmaß zur Unfallgefährdung von jüngeren Autofahrern und Führerscheinneulingen bei.
- Die Variabilität der Kraftfahrzeuggeschwindigkeit wirkt gegen die Harmonisierung von Verkehrsabläufen, durch die sich die Durchlaßkapazität von Verkehrswegen bestimmt.
- Fußgänger, insbesondere Kinder, sind durch hohe Kraftfahrzeuggeschwindigkeiten in besonderem Maße gefährdet (vgl. Teil II).

Veränderungen der Geschwindigkeiten sind ein Hinweis darauf, daß der Kraftfahrzeugführer die Situation als sicherer bzw. unsicherer einstuft und sich risikoreicher oder weniger risikoreich verhält, daß also Sicherheitskenngrößen wirksam werden oder nicht.

Verhaltenskenngrößen zur Situationsbeurteilung werden erhoben in Feldbeobachtungen zur Gefährdungsdiagnose von Situationen, in Feldexperimenten, Laborexperimenten und Simulatorstudien (vgl. 4.4.6, 4.4.7, 4.4.8).

#### 4.4.4 Befragung und Interview

In einer großen Anzahl von Untersuchungen werden Verkehrsteilnehmer, meistens Autofahrer, mit Bildern, Dias oder Filmen von Straßenverkehrsszenen konfrontiert und nach ihrer Einschätzung bezüglich der Gefährlichkeit der gezeigten Situationen befragt (z.B. TRÄNKLE et al., 1988).

Während eine solche Befragung von Verkehrsteilnehmern als Ergänzung zu einer weitergehenden Untersuchung der Gefährlichkeit von Situationen sinnvoll erscheint, bleibt Befragung als alleinige Untersuchungsmethode aus folgenden Gründen unzureichend:

- Verbale Aussage über das eigene Verhalten und tatsächliche Handlungen müssen sich nicht unbedingt entsprechen (z.B. MUMMENDEY, 1988).
- Die Selbstwahrnehmung von Autofahrern entspricht nicht immer der Realität, zum Beispiel beschreiben sich der größte Teil der Autofahrer als bessere und weniger risikoreiche Fahrer als ein Durchschnittsfahrer (SVENSON, 1981). Dies gilt auch für Autofahrer, die Unfälle

mit schwerwiegenden Folgen verursacht haben (BREHMER, 1980).

- Es kann nicht davon ausgegangen werden, daß Untersuchungsteilnehmer immer wahrheitsgemäß antworten, es ist eher anzunehmen, daß im Sinne von „sozialer Erwünschtheit“ geantwortet wird, und damit nur sozial akzeptiertes Verhalten erfaßt werden kann. Darüber hinaus kann eine Einflußnahme des Interviewers (Rosenthaleffekt) auch unbewußt wirksam werden und Befragungsergebnisse verfälschen.
- Mit Hilfe einer Befragung kann nur bewußtes, verbal vermittelbares Verhalten erfaßt werden. Unbewußt und automatisch ablaufendes Fahrerverhalten entzieht sich damit einer Erfassung. Verbale Aussagen über das „was getan werden sollte“ führen nicht unbedingt dazu, daß richtige Reaktionen erfolgen; richtiges Handeln kann nicht immer auch verbalisiert werden (BROADBENT, 1990).
- Gefährliches Fehlverhalten, das auf Wahrnehmungstäuschungen beruht, kann nicht durch verbale Statements erfaßt werden (SHINAR, 1977).
- Gefahren, die entweder bewußt nicht erkannt werden, oder zwar wahrgenommen, nicht aber begründet werden können, werden nicht verbalisiert (BROADBENT, 1990).
- Bei der Prüfung der Wirkung von Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr könnten die Befragungsergebnisse und das tatsächliche Verhalten sogar zu genau entgegengesetzten Ergebnissen führen, wenn z. B. eine Straßenverkehrssituation nach der Durchführung einer Sicherheitsmaßnahme laut Befragung weniger gefährlich erscheint, aber gleichzeitig aufgrund eben dieser subjektiven Einschätzung risikoreichere und damit gefährlichere Fahrmanöver erfolgen (vgl. 4.3).

Es bleibt festzuhalten, daß Interviewdaten von Verkehrsteilnehmern zwar als hilfreich herangezogen werden können, für sich alleine jedoch als Grundlage für die Validierung situativer Sicherheitskenngrößen ungeeignet sind.

#### 4.4.5 Gefährungsdiagnose von Situationen

Ansätze zu situationsbezogenen Gefährungsdiagnose bieten die Verkehrskonflikttechnik, das Konzept „Accident Surrogates“, das Konzept „Positive Guidance“, und das Konzept des Behavior-Setting „Straße“ (ANGENENDT et al., 1987).

Bei der Verkehrskonflikttechnik handelt es sich um eine standardisierte Beobachtungstechnik zur Abschätzung der Sicherheit von Verkehrsanlagen. Mit dieser Methode steht ein standardisiertes Verfahren zur Beobachtung des Normalverhaltens von Verkehrsteilnehmern zur Verfügung, das meist anhand von Videoaufnahmen ausgewertet wird (ERKE & GSTALTER, 1985).

Entsprechend ANGENENDT et al. (1987) dient die Verkehrskonflikttechnik der Erfassung kritischer Ereignisse, insbesondere von Konflikten im Verkehrsablauf (vgl. auch ZIMOLONG, 1982).

Unter Verkehrskonflikten werden solche Verkehrssituationen verstanden, in denen Verkehrsteilnehmer sich „räumlich und zeitlich so annähern, daß die zunehmend wahrscheinlich werdende Kollision nur durch ein kritisches Manöver vermieden werden kann“ (ERKE & GSTALTER, 1985). Verkehrskonflikte werden in vier Schweregrade eingeteilt, wobei kontrolliertes Bremsen und Ausweichen als Schweregrad 1 verstanden wird. Ein Konflikt des Schweregrades 2 bedeutet starkes Bremsen und/oder abruptes Ausweichen oder starkes Beschleunigen und/oder abruptes Ausweichen, um eine Kollision zu verhindern. Das Manöver kann bei Schweregrad 2 nicht mehr kontrolliert ausgeführt werden. Demgegenüber stellen Schweregrad 3 eine „Notbremsung“ oder ein Beschleunigen oder Ausweichen „im letzten Augenblick“ dar. Eine Kollision wird als Schweregrad 4 bezeichnet.

Schwierigkeiten der Methode sind:

- Ob ein von Beobachtern als kritisches Manöver bewertetes Verhalten von Seiten eines Verkehrsteilnehmers selbst nicht ein geplantes und sicheres Manöver war, kann nicht eindeutig beantwortet werden. Der Konfliktschweregrad 1 läßt sich deswegen nicht eindeutig als ein Unsicherheitskriterium feststellen.
- Bei der Verkehrskonflikttechnik können einzelne, die Verkehrssicherheit beeinflussende Faktoren nicht systematisch variiert werden. Das beobachtete Verhalten resultiert aus den Einflüssen der Gesamtsituation und kann nur hypothetisch einzelnen Einflüssen zugeschrieben werden.
- Verkehrssituationen mit geringer Verkehrsteilnehmermenge lassen sich wegen der geringen Konfliktmenge nur unzureichend untersuchen.
- Vor allem bei komplexen Beobachtungssituationen wie lichtsignalgeregelten Knotenpunkten mit mehreren Fahrspuren und Radwegen ist das

Training der Beobachter mit dem Ziel hoher Beobachterübereinstimmung mit einem großen Aufwand verbunden.

Mittelbare Sicherheitskenngrößen (z.B. Umgebungsvariablen wie Kurven und Steigungen und Verhaltensvariablen wie Geschwindigkeiten und Konflikte) gehen in das Konzept der „Accident Surrogates“ ein (DATTA et al., 1983). Das Konzept ist für die Entwicklung und Bewertung von Sicherheitsmaßnahmen gedacht und ähnlich aufwendig wie die Verkehrskonflikttechnik.

Das Konzept der „Positive Guidance“ (POST, ALEXANDER und LUNENFELD, 1975) ermittelt ebenfalls Gefährdungen im Straßenverkehr, ausgehend von einer Analyse des Informations-, Zeit- und Raumbedarfs des Kraftfahrers und führt zu einer Verbesserung der informativen Bedingungen durch die Veränderung der Führungsqualität der Verkehrsanlage.

Das Konzept des Behavior-Setting „Straße“ untersucht das Verhalten der Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit von der Straßenraumgestaltung. „Gefährdungen ergeben sich aus der mangelhaften Passung zwischen Anlage und Verhaltenserwartung und aus Mängeln der Koordination des Verhaltens verschiedener Verkehrsteilnehmer.“ (ANGENENDT et al., 1987, ANGENENDT, 1989).

Alle diese Erhebungen sind relativ zeit- und personalaufwendig, können aber als Ausgangspunkte für eine situationsspezifische Sicherheitsbewertung dienen. Ein Nachteil von Methoden, die „nur“ von einer Beobachtung der Verkehrs(konflikt)situationen ausgehen ist, daß nicht erfaßt werden kann, ob ein starkes subjektives Unsicherheitsgefühl von Verkehrsteilnehmern, die sich gefährdet fühlen, zu einem Verzicht auf eine Beteiligung am Verkehr führt, für die eigentlich ein Bedarf besteht. In diesem Fall darf eine Verkehrssituation nicht einfach als „sicher“ klassifiziert werden

#### 4.4.6 Feldstudien

In Feldexperimenten zur Straßenverkehrssicherheit wird der Erfolg einer Maßnahme in der realen Straßenverkehrssituation anhand von Vorher-Nachher-Untersuchungen geprüft. In Laborexperimenten findet die Prüfung mithilfe von technischer Ausstattung in einer Laborumgebung statt, in Simulatorstudien wird versucht Autofahrerverhalten möglichst authentisch mit Hilfe eines Simulatorfahrzeugs zu erfassen.

Am aussagekräftigsten für die Validierung von situationsbezogenen Sicherheitskennzeichen sind mit Sicherheit die Ergebnisse von Feldexperimenten, da sich in Feldexperimenten die Vorteile einer Untersuchung in der realen Situation (ökologische Validität) mit den Vorteilen einer experimentellen Vorgehensweise (Objektivität) verbinden. Nachteilig bei Feldexperimenten sind der damit verbundene große Aufwand und Sicherheitsprobleme, wodurch die Bearbeitung von Fragestellungen im Bereich des Straßenverkehrs erschwert wird (vgl. dazu z.B. DIRNAGL-KALLINA & BURKHARDT, 1975). Beispielhaft seien zwei Feldstudien herausgegriffen:

KALLINA und ZIMMER (1974) prüften, wie sich die Leitfunktion von Rückstrahlern an Leitpfosten verbessern läßt. Sie verglichen die Wirksamkeit unterschiedlicher Rückstrahlerregelungen an Leitpfosten, weißer Balken/zwei weiße Punkte gegenüber roter Balken/zwei weiße Punkte. Im Feldexperiment konnte die deutliche Überlegenheit der weißrot-Regelung sowohl für die Anzahl von Fehlwahrnehmungen des Kurvenverlaufs, wie auch für die Entscheidungszeit des Fahrers nachgewiesen werden. Die nächtliche Leitfunktion der Rückstrahler für Kurven könnte durch die rot/weiß Regelung deutlich erhöht werden. Allerdings ließ sich diese Untersuchung aus Sicherheitsgründen nur bei Sperrung der Straße und stehendem Kfz durchführen.

SHINAR et al. (1980) verglichen vier Maßnahmen zur Entschärfung von unfallträchtigen Kurven mit trügerischem Kurvenverlauf, drei Formen von korrigierenden Markierungen und ein Warnschild mit Text.

- Zur Erhöhung der wahrgenommenen Krümmung einer Kurve wurde die innere Randmarkierung bis zum Scheitelpunkt der Kurve graduell verbreitert.
- Um die Straße als optisch schmaler darzustellen, wurde ein „herring bone“ Muster aufgezichnet. Bei dieser Maßnahme wird die WUNDT-Illusion ausgenutzt, daß zwei parallele Linien zueinander gekrümmt erscheinen, wenn sie entsprechend dem „herring bone“ Muster verbunden werden (s. Bild 11).

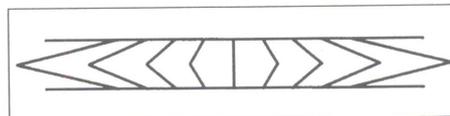


Bild 11: WUNDT-Illusion („herring bone“ Muster)

- Um überhöhte Geschwindigkeiten bei der Annäherung an die Kurve zu reduzieren, wurden Querstreifen auf die Straße gemalt, deren Abstand bis zum Beginn der Kurve immer mehr abnahm.
- Um auf die Gefährlichkeit der Kurve hinzuweisen, wurden vor Einfahrt in die Kurve Warnschilder angebracht mit dem Hinweis: „Deceptive curve“.

Die Ergebnisse zeigten, daß das Warnschild das Fahrverhalten nur gering beeinflusste, während die Markierungsmaßnahmen zu deutlichen Auswirkungen bezüglich der Geschwindigkeiten und der visuellen Suchmuster von Fahrern führten. Diese Veränderungen galten nur für die neugestalteten (nicht für die nachfolgenden) Kurven und nahmen mit der Zeit bei ortsansässigen Fahrern wieder ab. Damit wären entsprechende Markierungen besonders für die Steuerung des Fahrverhaltens von ortsunkundigen Fahrern geeignet, die den trügerischen Kurvenverlauf nicht kennen und dort am häufigsten verunglücken.

#### 4.4.7 Laborexperimente

Neben den Feldbeobachtungen (vgl. 4.4.5) und Feldexperimenten bieten Laborexperimente eine umfassende Möglichkeit zur Untersuchung der Sicherheit spezifischer Verkehrssituationen. Eine Untersuchung im Labor schließt anders als Feldexperimente potentielle Gefährdungen von Verkehrsteilnehmern auch in Grenzsituationen aus. Laborexperimente zur Straßenverkehrssicherheit sind insbesondere dann von Bedeutung, wenn nicht nur verbale Daten erhoben werden (vgl. 4.4.4), sondern auch für das Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer relevante Verhaltensparameter. Sie können am besten den methodischen Ansprüchen an eine Untersuchung (Objektivität, Reliabilität) genügen, die in einem realen Umfeld nicht immer (oder nur eingeschränkt) erfüllt werden können. Nur im Laborexperiment ist die Möglichkeit zu Bedingungsanalysen im strengen Sinne und zur exakten Wiederholbarkeit gegeben.

Weitere Vorteile einer Laboruntersuchung sind, daß Filmaufnahmen verschiedener Verkehrssituationen bei unterschiedlichen Bedingungen (z.B.: Witterung, Sicht, Verkehrsaufkommen) gemacht werden können, und dann zu jedem für die Versuchspersonen günstigem Zeitpunkt vorgeführt sowie zu einem späteren Zeitpunkt beliebig oft wiederholt werden können. Außerdem ist die Vergleichbarkeit

der Versuchspersonen gewährleistet, da jeder Versuchsperson genau das gleiche Material angeboten werden kann. Es ist möglich, unterschiedliche Versuchspersonengruppen (z.B. ältere Verkehrsteilnehmer, Kinder, Führerscheinneulinge, erfahrene Autofahrer) zu vergleichen, und den Einfluß physiologischer Variablen (z.B. Alkoholisierung, Ermüdung der Versuchspersonen) systematisch zu verändern und zu prüfen. Vorteilhaft ist ebenfalls, daß die Versuchspersonengruppen auch nach der ersten Datenauswertung noch vergrößert werden können, um statistische Effekte zu sichern.

Als nicht immer einfach stellt sich bei Laborexperimenten die Generalisierbarkeit der Ergebnisse auf die reale Verkehrssituation dar. Diese Generalisierbarkeit wird dadurch erhöht, daß die Laborsituation der realen Situation möglichst stark angenähert wird. Wünschenswert ist eine zusätzliche Validierung der Ergebnisse des Laborexperiments, z.B. durch den Vergleich mit den Ergebnissen eines Feldexperiments.

#### 4.4.8 Simulatorstudien

Simulatorstudien können als Sonderfall zu den Laborexperimenten gezählt werden. An die Entwicklung von Flugsimulatoren, die vor allem zur Ausbildung und zum Training von Piloten benutzt werden, schloß sich die Entwicklung von Fahrsimulatoren zur Untersuchung des Fahrverhaltens von Kraftfahrzeugführern an. In der Fahrsimulation soll der Fahrer die gleichen Reaktionen zeigen, wie bei der Teilnahme am Straßenverkehr in einem echten Kraftfahrzeug. Zur umfassenden, vollständigen Simulation des Fahrerhaltens gehört ein „Fahrer-Fahrzeug-Umgebungs-System“ in dem sich die Handlungen des Fahrers nicht von seinem normalen Fahrverhalten unterscheiden würden.

##### 4.4.8.1 Die Fahraufgabe im realen Umfeld und im Fahrsimulator

Der Fahrvorgang kann allgemein als ein komplexes System von Interaktionen zwischen Fahrzeug, Fahrzeugumgebung und dem Fahrer betrachtet werden, dabei stellt der Fahrer als informationsverarbeitendes Teilsystem dieser Konfiguration die zentrale Komponente dar.

Aufgabe des Fahrers ist es, bestimmte Größen, die den Bewegungszustand seines Fahrzeuges beschreiben, wie ein Regler innerhalb gewisser Bereiche zu halten. Diese Bereiche gibt er sich entweder selbst vor (z.B. Geschwindigkeit) oder sie

werden ihm durch die Eigenschaften seines Fahrzeuges bzw. durch die Beschaffenheit des ihn umgebenden Verkehrsraumes gesetzt.

Der Fahrer nimmt in Form von Sinneseindrücken (Reizen) Informationen über das Fahrzeugverhalten auf (Regelgröße, Ist-Wert), vergleicht diese mit dem vorgegebenen Fahrzeugauftrag (Führungsgröße, Soll-Wert) und leitet aus dem Vergleich Informationen über Eingriffe in das Fahrzeugverhalten ab, die er über Bedienvorgänge an den Stelleinrichtungen (Lenkrad, Gaspedal, Bremspedal, Gangschaltung) an das Fahrzeug ausgibt (Stellgröße). Das Kompensieren von Abweichungen wird vom Fahrer jedoch erst durchgeführt, wenn gewisse Schwellenwerte überschritten sind.

Die zahlreichen, in der Literatur dokumentierten, modifizierten Regelkreismodelle lassen sich in einem Schema von GÄRTNER und WERNICKE (1971; zit. n. KERRIOU, 1985) veranschaulichen, wonach der Fahrzeugführer als Teilsystem des MMS Fahrer-Fahrzeug dessen Operationen über die Stelleinrichtungen (Lenkrad, Gaspedal, Bremspedal, Gangschaltung) an das Fahrzeug weitergibt (Stellgröße). Das Kompensieren von Abweichungen wird vom Fahrer jedoch erst durchgeführt, wenn gewisse Schwellenwerte überschritten sind (s. Bild 11a).

Diese oben beschriebene Regeltätigkeit umfaßt nach BLUME (1992) fünf einander z.T. hierarchisch untergeordnete Fahraufgaben:

1. Querdynamik: Die seitliche Führung des Wagens auf der Straße, d.h. der Fahrer muß den Wagen auf der Straße halten.
2. Längsdynamik: Die Längskontrolle des Fahrzeuges in der Fahrtrichtung durch Beschleunigen und Verzögern.
3. Gangschaltung: Die Leistungsoptimierung durch die Wahl des richtigen Ganges bei Fahrzeugen

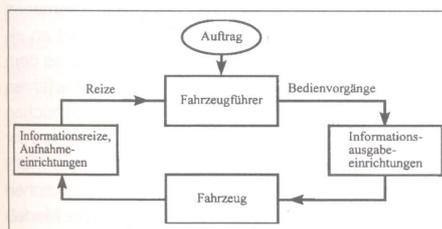


Bild 11a: Schematischer Wirkungsablauf eines Mensch-Fahrzeug-Systems (nach GÄRTNER und WERNICKE, 1971)

mit konventionellem Getriebe unter Berücksichtigung der Verkehrssituation und der gewünschten Fahrweise (entfällt bei Automatik-Getriebe).

4. Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern und der Umwelt durch Beachten und Geben von Signalen (z. B. Verkehrszeichen beachten, Vorfahrt beachten; Blinker setzen).
5. Navigation: Der Fahrer muß sich vergewissern, wo er sich gerade befindet, und davon abgeleitet, die Richtung auf das gewünschte Ziel einschlagen.

Ähnliche Gliederungen finden sich bei Gubser und SPÖRLI (1970), ALEXANDER und LUNENFELD (1975), JOHANNSEN (1976) sowie ARAND und KUPKE (1982). Zur Erfüllung dieser Aufgaben bedient sich der Fahrzeugführer neben dem fortwährenden Vergleich der Führungs- und Regelgrößen und der Kompensation eventueller Abweichungen auch seiner antizipatorischen Fähigkeiten, indem er bestimmte Aktionen phasenverschoben vorbereitet bzw. auf prospektive Ereignisse reagiert (z.B. vorausschauendes Verlangsamen). Darüber hinaus handelt er aus Erfahrung, indem er bestimmte vorprogrammierte, z.T. hochgradig automatisierte Verhaltensweisen abrufen.

Aus der vorangegangenen Analyse der Fahraufgabe und der Darstellung des Regelkreises Fahrer-Fahrzeug wird ersichtlich, daß das verkehrsgerechte Verhalten eines Kraftfahrers im wesentlichen von seiner Fähigkeit abhängt, die unterschiedlichen Umweltreize und -einflüsse wahrzunehmen und diese nach Filterung redundanter Informationsinhalte als Grundlage seiner Fahrhandlungen zu benutzen. Bei der Konzeption eines Fahrersimulators müssen entsprechend die Eigenschaften des Menschen bei der sinnesphysiologischen Aufnahme von Informationen, der psychischen und kognitiven Verarbeitung und der sensu-motorischen Bewältigung der genannten Aufgaben berücksichtigt werden.

Für die Informationsaufnahme im Straßenverkehr sind nach WEBER (1972) vor allem folgende fünf Wahrnehmungsquellen relevant:

- optische
- vestibuläre
- epikritische
- kinästhetische
- akustische

Nach HARTMANN (1970; zit. n. SHINAR, 1977) sind über 90% des relevanten Reizmaterials beim Autofahren visueller Natur, d.h., der Fahrer verwer-

tet an allererster Stelle optische Informationen; die Teilaufgaben „Lenken“ und „Navigation“ gehen fast ausschließlich von optischen Informationen aus (KERRIOU, 1985). Bei der Fortbewegung ist die visuelle Wahrnehmung zeitlich und räumlich vorausorientiert, der Fahrer zeigt das für die sichere Fahrzeugführung unverzichtbare antizipatorische Verhalten (ARAND und KUPKE, 1982). Grundlagen für die Raumwahrnehmung sind die monokularen und binokularen Kriterien des Raum- und Tiefensehens nach GIBSON (1950) (vgl. Teil I, 3.5).

Als die zentrale Qualität des Straßenverkehrs bezeichnet HERBERG (1983) die Geschwindigkeit. Unangepaßte Geschwindigkeiten tragen wesentlich zur Entstehung oder zur Schwere von Unfällen bei (vgl. Teil I, 4.7). Die genaueste Auskunft über die gefahrene Geschwindigkeit erhält der Fahrer zwar über das Tachometer; dieser wird aber, entgegen der Aussagen der Fahrer selbst, relativ selten beobachtet (DENTON, 1969). Vielmehr spielt das periphere Sehvermögen für die Wahrnehmung bzw. Schätzung der Geschwindigkeit eine wichtige Rolle (GORDON, 1966; SALVATORE, 1967), (vgl. Teil I, 3.5).

Die Vestibularorgane des Fahrers befähigen ihn, die Schwerkraft als Reiz wahrzunehmen. Die Informationen aus dem vestibulären Bereich orientieren ihn damit über die Lage seines Körpers im Raum bzw. über eine Lageänderung seiner Körperstellung im Fahrersitz. Das epikritische System beinhaltet die Druck-Rezeptoren der Gesäßregion und übermittelt dem Fahrer Informationen über den momentanen Bewegungszustand seines Fahrzeugs wie z.B. Beschleunigen oder Verzögern, oder über die Beschaffenheit der Straßenoberfläche (Vibrationen).

Das kinästhetische System dient beim Autofahren vor allem dazu, den Fahrer über die Stärke des Drehmomentes am Lenkrad zu informieren und ihm damit einen Rückschluß auf das Kräftespiel zwischen Fahrzeug und Fahrbahn zu ermöglichen. Die akustischen Signale, vor allem die Wind- und Motorengeräusche, geben schließlich dem Fahrer Aufschluß über den Betriebszustand und die Geschwindigkeit des Kraftfahrzeuges.

#### 4.4.8.2 Informationsdarbietung im Fahr-simulator

Die Vermittlung folgender Informationen ist potentiell in Fahrsimulatoren möglich:

visuell	akustisch
- Lage des Fahrzeugs relativ zur Umgebung - Aussehen der Umgebung im Bereich der Sichtweite	- Fahrgeräusche - Motorengeräusche - Reifenquietschen
vestibulär	haptisch/kinästhetisch
- Beschleunigungen des Fahrzeugs (nur eingeschränkt über Vibration und Neigung)	- Drehmoment am Lenkrad - Kraft am Gaspedal - Kraft am Bremspedal

Die visuelle Information des Fahrers hat dabei die bei weitem größte Bedeutung für den Fahrvorgang (vgl. 3.5). Deswegen ist die möglichst realitätsnahe Darbietung der Außensicht für die Simulation der Fahraufgabe von entscheidender Wichtigkeit.

Bei den Verfahren zur Sichtsimitation besteht grundsätzlich das Problem der Herstellung eines befriedigenden Kompromisses zwischen größtmöglicher Realitätsnähe und maximaler Flexibilität im Sinne eines hohen Grades an Interaktivität. Die folgende Übersicht über die verschiedenen Techniken der Außensichtsimitation orientiert sich im wesentlichen an ARAND und KUPKE (1982). Diese teilen die bisher bekannten Verfahren in die Kategorien Modell- und Filmverfahren und Verfahren mit synthetisch erzeugter Außensicht ein.

Grundlage der verschiedenen Modellverfahren ist eine Modelllandschaft, die gewöhnlich in einem Maßstab zwischen 1:25 bis 1:250 aufgebaut ist.

Beim Fahrzeugmodell-Verfahren bewegt die Ansteuerelektronik des Simulators eine Fernsehkamera mit einer weitwinkligen Spezialoptik durch die modellierte Landschaft; die aufgenommenen Bildsignale werden über ein flexibles Kabel an einen Projektor oder Monitor übertragen und so dem Fahrer dargeboten. Beim Modellteppich-Verfahren bewegt sich hingegen eine auf einem elastischen umlaufenden Band aufgebaute Landschaft an der Kamera vorbei. Beim Schattenprojektions-Verfahren schließlich wird eine z. B. auf einer durchscheinenden Platte oder einem Band montierte Modelllandschaft an einer punktförmigen Lichtquelle vorbeibewegt und der dabei entstehende Schatten auf eine Projektionswand geworfen.

Die Modellverfahren gestatten eine Außensichtsimulation mittlerer Bildtreue. Sieht man einmal von den Einschränkungen bezüglich der Richtungswahl beim Modellteppich-Verfahren ab, so kann die Flexibilität als hoch eingestuft werden, da die Fahrtrichtung und die Geschwindigkeit in der Regel frei gewählt werden kann. Kurzfristige Variationen der Streckenführung sowie des Straßenumfeldes sind jedoch nicht möglich.

Beim Filmverfahren wird die Außensicht durch die Projektion eines Filmes simuliert, der zuvor von einem fahrenden Wagen aus aufgenommen wurde. Dabei ist grundsätzlich zwischen Filmen zu unterscheiden, die bei wechselnder oder bei konstanter Geschwindigkeit des Aufnahmewagens aufgezeichnet wurden. Beide Verfahren haben den Vorteil optimaler Bildtreue und den Nachteil, daß der räumliche Fahrtablauf weitgehend vorprogrammiert ist: Der Fahrer kann die Fahrspur und -richtung nicht selbst bestimmen, eine echte interaktive Arbeitsweise hinsichtlich der Lenkbarkeit des Fahrzeuges ist also nicht möglich. Vorteil des Filmverfahrens ist, daß es fast unbegrenzte Möglichkeiten bei der Darstellung verschiedener Verkehrssituationen bietet.

Sofern der Film von einem am Verkehrsfluß teilnehmenden Auto aus aufgezeichnet wurde kann der Fahrer die (simulierte) Geschwindigkeit nur noch innerhalb sehr enger Grenzen wählen, da sich sonst die im Film festgehaltene Geschwindigkeit der übrigen Verkehrsteilnehmer (z.B. Fußgänger, Gegenverkehr) störend verändern würde. Wenn der Film jedoch bei konstanter Geschwindigkeit des Aufnahmewagens aufgezeichnet wird und keine anderen sich bewegenden Verkehrsteilnehmer auftreten, kann dem Fahrer die freie Wahl der Geschwindigkeit ermöglicht werden, indem man die Projektionsgeschwindigkeit des Films an die Betätigung des Gaspedals im Fahrstand koppelt. Dieses Verfahren bietet bei optimaler Bildtreue einen hohen Grad an Interaktivität hinsichtlich der Geschwindigkeitswahl und eignet sich deshalb sehr gut für alle Untersuchungen zum Einfluß von unbewegten Elementen des Straßenverkehrssystems auf die Geschwindigkeitsregulation.

Die Verfahren mit computergenerierten Displays benutzen Analog-, Digital- oder Hybridrechner zur Generierung von Bildfolgen. Die errechneten Bilder werden je nach Rechnerart auf einem Oszilloskopen oder anderen Sichtgeräten dargestellt, von einer Fernsehkamera übertragen und meist mit Fern-

sehprojektionssystemen auf eine Leinwand projiziert.

Frühere Generationen von Verfahren mit synthetischer Bilderzeugung konnten aus Gründen begrenzter Rechengeschwindigkeit und Speicherkapazität der Rechner das visuelle Umfeld nur stark stilisiert darstellen. Durch die rapiden Fortschritte in der Elektronik und der automatischen Datenverarbeitung (verwiesen sei hier auf die Entwicklung der Mikroprozessoren sowie die Größtintegration, die für die graphische Datenverarbeitung neue Möglichkeiten eröffnet haben) ist heute auch die on-line-Generierung farbiger, hochauflösender komplexer Bildinhalte prinzipiell möglich. Mit Ausnahme der optimalen Bildtreue der Filmverfahren übertreffen die Verfahren mit computergenerierten Displays in der Regel die Modell- und Filmverfahren hinsichtlich Variabilität, Flexibilität und Dynamik (ARAND und KUPKE, 1982).

Z.Zt. können eine realistische Szenerie und Kolonnenfahren durch spezialisierte Rechner (z.B. Silicon Graphics/IRIS) simuliert werden; die Grenzen dieser Technologie bestehen vor allem darin, daß nur eingeschränkt das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer simuliert werden kann, speziell was Interaktionen angeht. Prototypische moderne Verkehrssimulationssysteme sind z. B. der VTI Simulator, der Daimler Benz Simulator (Nilsson, 1993) der BMW Simulator und der VDO Simulator (BLUME, 1992).

Die im Inneren eines Fahrzeuges wahrnehmbaren Geräusche bestehen im wesentlichen aus einem drehzahlabhängigen Motorengeräusch, einem geschwindigkeitsabhängigen Fahrgeräusch sowie einem beschleunigungsabhängigen Reifenquietschen. Je nach Versuchsaufbau und Fragestellung können auch andere Geräusche, die zum Beispiel einen Unfall akustisch unterstreichen sollen, mittels elektronischer Schaltungen entsprechend ihrer spektralen Zusammensetzung und Lautstärke gemischt und über Lautsprecher in die Fahrerkabine übertragen werden.

Die während der Fahrt auf den Fahrer wirkenden physikalischen Kräfte sind im wesentlichen Folgen seiner Aktionen: sie entstehen durch Lenken, Gasgeben und Bremsen; zusätzliche Bewegungsinformationen sind z.B. Vibrationen, die die Beschaffenheit der Straßenoberfläche anzeigen. Diese über den vestibulären Kanal und andere Rezeptoren des Menschen aufgenommenen Bewegungsrückmeldungen stellen eine wichtige Informationsquel-

le für den aktuellen Fahrzustand dar. Die grundlegende Aufgabe der Bewegungssimulation ist deshalb die Vermittlung translatorischer und rotatorischer Beschleunigungsreize. Aus technischer und finanzieller Sicht ist die Simulation von Bewegungen ein großes Problem; gleichzeitig gilt, daß die Bewegungsinformation je nach Fahrsituation von unterschiedlicher Wichtigkeit ist: Kinästhetische Information ist vor allem für die Simulation extremer Fahrzustände (wie z.B. Totalbremsung, um einen Zusammenstoß zu vermeiden) von Bedeutung, nicht aber beim normalen Fahren („One implication, here, is that high-g car manoeuvring, such as in crash avoidance situations, may require motion cues for maximum validity, while motion cues are not as important for following visually displayed path curvature“ (ALLEN und JEX, 1981, S. 1772)). In vielen Simulatoren kann deshalb von vornherein auf die aufwendige Simulation von Bewegungen verzichtet werden, weil sie der Untersuchung der normalen Fahrsituationen dienen. Ein Mittelweg wird mit standortfesten Bewegungssimulatoren beschritten; mit solchen Hilfsmitteln wird eine realistische physikalische Nachbildung der kinästhetischen Information im Echtfahrzeug zumindest ansatzweise versucht.

Der Aufwand für die Simulation des Lenkmomentes und von Geräuschen ist gegenüber der Bewegungssimulation vergleichsweise gering. Die Rückstellkraft am Lenkrad liefert dem Fahrer die notwendigen mechanischen Informationen über den Fahrablauf. Meist wird das am Lenkrad spürbare Drehmoment mit einem einfachen Elektromotor erzeugt, der gemäß den Berechnungen eines zentralen Rechners gesteuert wird.

#### 4.4.8.3 Vor- und Nachteile der Fahrsimulation

Für die Fragestellung des Projekts ist von methodischer und theoretischer Wichtigkeit, daß mit Hilfe eines Fahrsimulators reale Handlungen, die in Abhängigkeit von der jeweiligen Verkehrssituation stehen, erhoben werden können. Für die Untersuchung von situativen Sicherheitskenngrößen gilt, wie bei der Untersuchung der Adaptation an Sicherheitsmaßnahmen:

„Um Verhaltensadaptation zu verstehen, muß man die Prozesse verstehen, die Verhaltensänderungen zugrundeliegen, dies ist in der Vergangenheit angesichts einer Überbetonung statistischer Analysen vernachlässigt worden. Ohne mehr verhaltensorientierte Forschung bestehen nur geringe Chancen, die Probleme zu lösen, die mit Adaptation zusam-

menhängen (OECD Report, 1985; Übersetzung der Autoren).

„Ein Vorteil von Simulationsuntersuchungen des Verhaltens besteht darin, daß Fahr- und Umweltbedingung konstant gehalten werden können. ... Es ist dagegen offensichtlich, daß in Feldversuchen das Fahrerverhalten von zuvielen und zuwenig voraussagbaren Faktoren beeinflusst wird, als daß es sich angemessen kontrollieren ließe. Darüber hinaus machen die Interaktionen zwischen den Faktoren die Interpretation der experimentellen Ergebnisse in Feldversuchen sehr problematisch. Aus diesem Grunde sind Fahrsimulatoren sehr gut geeignet für Vergleichsexperimente, wo nur eine Handvoll von Faktoren schrittweise systematisch variiert wird, während alle anderen Faktoren konstant gehalten werden.

Wegen dieser Möglichkeit, Umgebungs- und Fahrbedingungen im Simulator konstant zu halten, sind nur wenige Versuchspersonen im Vergleich zu Felduntersuchungen notwendig, um die gleiche Aussagekraft der Daten zu erhalten. Ein weiterer bedeutsamer Vorteil von Fahrsimulatoren besteht darin, daß unabhängig vom Beeinträchtigungsgrad der Fahrkompetenz durch kognitive Belastung, Ermüdung, Drogen, Alkohol etc. weder für den Fahrer noch andere Verkehrsteilnehmer Gefahren entstehen. Aus diesem Grunde kann Fahrverhalten in spezifischen Situationen und unter spezifischen Bedingungen untersucht werden, ohne daß es katastrophisch endet“ (NILSSON, 1993, S. 402-403; Übersetzung der Autoren).

Die Vorteile einer Simulatorstudie gegenüber einer Feldstudie lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Tatsächliche Schädigungen werden bei Fahrfehlern vermieden.
- Die Kosten für die jeweiligen Untersuchungen sind, wenn man von den Entwicklungskosten des Simulators absieht, meist geringer als bei der Untersuchung des gleichen Problems in der Feldsituation.
- Ganze Situationen oder einzelne Variablen lassen sich exakt kontrollieren, variieren und reproduzieren.
- Das Verhalten von Fahrer und Fahrzeug läßt sich wesentlich leichter und exakter beobachten und messen als in der echten Verkehrssituation (BIEHL, 1990, S. 39).

Neben den Vorteilen der Fahrsimulation sind auch ihre Grenzen und Mängel zu beachten. Typische Probleme, die nach dem Entwurf, der Entwicklung

und dem Aufbau eines Fahrsimulators auftreten können, beschreibt WIERWILLE: „Typisch sind Kommentare bezüglich des Mangels von Simulatoren in der Bildqualität, und daß sie nicht so reagieren wie erwartet“ (1975, S. 186; Übersetzung der Autoren).

Bei der optischen Darstellung des Verkehrsgeschehens in Simulatoren mit Displays mit computergenerierten Bildsequenzen (z.B. des BMW- und des Daimler Benz-Simulators) verwendet stehen dem Vorteil der verhaltensentsprechenden Anpassung des Bildes Nachteile gegenüber wie mangelnde Auflösung, Detailarmut, unrealistische Schattierungen etc., die den Realismus der optischen Informationsverarbeitung beeinträchtigen und damit die Generalisierbarkeit der Daten.

Mängel bei der Koordination der Außensicht- und der Bewegungssimulation vermitteln dem Fahrer den Eindruck, das Simulationsfahrzeug würde langsamer oder weniger reagieren als ein Echtfahrzeug. Dies ist immer dann der Fall, wenn die technisch vorgesehenen Bewegungs- und Geschwindigkeitsbandbreiten überschritten werden.

Ein weiterer Aspekt bei der Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen der Fahrsimulation ist in der Kosten-Nutzen-Relation zu sehen. Dabei ist, im Gegensatz zu den präzisen Kosten-Nutzen-Berechnungen beim Einsatz von Flugsimulatoren die Wirtschaftlichkeit von Fahrsimulatoren nur schwer zu ermitteln (MICHAUT, 1970; zit. n. KERRIOU, 1985). Steigende Anforderungen an die Simulation führen insbesondere für die elektronische Ausstattung zu einem überproportionalen Anstieg der Investitions- und Folgekosten. Eine rein ökonomisch orientierte Kosten-Nutzen-Analyse wird bei aufwendigen Simulationsvorhaben deshalb in den meisten Fällen negativ ausfallen, wenn sie nur den unmittelbaren Nutzen und nicht auch den mittelbaren Nutzen (z.B. langfristige Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit) in Rechnung stellt (ARAND und KUPKE, 1982).

Zusätzlich zu berücksichtigen ist das Problem der Übertragbarkeit der mit Hilfe von Fahrsimulatoren gewonnenen Ergebnisse auf reale Verkehrssituationen, das heißt, als wie valide und echt können die Daten angesehen werden. Als direkte Art einer Validitätsüberprüfung ist nach KLEBELSBERG (1982) die Korrelation zwischen Real- und Simulatorverhalten anzusehen.

Als „Echtheit“ einer Simulation wird die „Ähnlichkeit der Wahrnehmungsbedingungen in der Real-

und in der Simulationssituation“ verstanden (KLEBELSBERG, 1982). Entscheidend für die „Echtheit“ ist vor allem der visuelle Gesamteindruck, ebenfalls von Bedeutung sind die auditiven und kinästhetischen Wahrnehmungen.

Dabei ist es schwierig, für beide Situationen eine uneingeschränkte Vergleichbarkeit der Verhaltensformen herzustellen. Es muß prinzipiell in Frage gestellt werden, ob für eine Simulatorfahrt gleiche Motivationsbedingungen wie bei der Beteiligung am Straßenverkehr herstellbar sind.

#### 4.4.8.4 Die Validität von Simulatordaten

Bei der Beurteilung der Validität von Fahrsimulatoren steht die Frage nach der Übertragbarkeit der mit Hilfe des Fahrsimulators gewonnenen Ergebnisse auf die Realsituation im Vordergrund. Das Problem der Übertragbarkeit ergibt sich daraus, daß es (zumindest in absehbarer Zeit) unmöglich ist, die ungeheure Vielzahl der Einflüsse im realen Verkehrsgeschehen vollständig abzubilden: „Wegen der enormen Variabilität der Bedingungen des realen Verkehrs und der eingeschränkten Möglichkeit, diese auf dem Simulator zu realisieren, ist es unmöglich, vom Fahrverhalten im Simulator auf die Realsituation zu generalisieren und vice versa. Jede neue Situation muß validiert werden und es ist jeweils notwendig, die verwendeten Maße danach zu bewerten, inwieweit sie Fahrverhalten widerspiegeln, das für die Verkehrssicherheit relevant ist“ (NILSSON, 1993, S. 405; Übersetzung der Autoren).

Grundsätzlich stellt also die Simulation aller Einflüsse, denen ein Fahrer in einer Verkehrssituation unterliegt, ein schon wegen der überproportional ansteigenden Investitionskosten ein illusionäres Ziel dar. Deshalb erscheint es sinnvoll, nur die maßgeblichen Strukturen aus der intendierten Anwendungssituation in das Laboratorium übertragen und damit eine anforderungsstrukturelle Ähnlichkeit zwischen Real- und Simulationssituation herzustellen. Die Konzeption von und die Arbeit mit Fahrsimulatoren erscheint aus diesem Grunde desto vielversprechender, je klarer und spezifischer die Problemstellung umrissen wird, die mit dem Simulator bearbeitet werden soll, und daraus folgend, welche Teile der Fahraufgabe im Simulator untersucht werden sollen. Die so gewonnenen Fahrdaten können für die Bearbeitung der konkreten und klar definierten Problemstellung hoch valide sein, Gleichzeitig muß berücksichtigt werden,

daß durch den Versuch der „vollkommenen Simulation“ die Erfassung relevanter Variablen erschwert werden kann, da durch das Bemühen, die Realsituation in allen Einzelheiten möglichst „echt“ nachzubilden, gerade die methodologischen Schwierigkeiten in das Labor verlagert werden können, die sonst bei Feldexperimenten auftreten: Je komplexer die Versuchssituation, um so schwieriger wird es, alle relevanten Variablen zu kontrollieren (GAGNÉ, 1954).

Für den Fahrer eines Kraftfahrzeugs stellen die visuellen Sinneseindrücke die wichtigste Informationsquelle für die Orientierung im Raum und die Bewältigung der Fahraufgabe dar. Ungefähr 90 % der fahrrelevanten Informationen werden über das visuelle System aufgenommen (COHEN, 1987). Die für die Sicherheit des Verkehrsgeschehens entscheidende Variable der angemessenen Geschwindigkeitswahl wird ebenfalls zum größten Teil von der visuellen Wahrnehmung des Fahrers bestimmt, insbesondere von seinem peripheren Sehvermögen (vgl. 3.5). Außer der visuellen Wahrnehmung spielen auch andere Sinnesmodalitäten bei der Wahrnehmung der Eigengeschwindigkeit eine Rolle. COHEN (1986) faßt die Forschungsergebnisse zu dem Schluß zusammen, daß die auditive Sinnesmodalität ebenfalls einen großen Beitrag zur Geschwindigkeitswahrnehmung liefere. Nach BUBB (1977, zit. nach KLEBELSBERG, 1982) besteht dieser Beitrag vor allem in der Unterstützung beim Schätzen des Geschwindigkeitsniveaus, während die visuelle Informationsaufnahme vor allem für die Schätzung von Geschwindigkeitsdifferenzen bedeutsam ist. Haptische Empfindungen wie etwa Vibrationswahrnehmung haben BUBB zufolge keine wesentliche Bedeutung.

Der Fragestellung des Projekts entsprechend, ist für eine experimentelle Untersuchung der Fahraufgabe, die die Geschwindigkeitsdifferenzen in Abhängigkeit von Merkmalen des Fahrumfelds (situative Sicherheitskenngrößen) betrifft, die möglichst gute Präsentation des Fahrraumes entscheidend, während die Darbietung akustischer und haptischer Reize demgegenüber von geringerer Bedeutung ist. Mit entsprechender Methodik gewonnene Daten bieten eine gute Grundlage, das entsprechende Fahrverhalten im realen Fahrumfeld vorherzusagen. Ein Nachweis der Validität der Daten ist durch eine zusätzliche experimentelle Validierung des Fahrsimulators, in dem die Simulatordaten mit den in einer entsprechenden realen Fahrsituation gewonnenen Daten verglichen werden, möglich.

## 4.5 Analyse von Unfalldaten im Raum Regensburg

Für die Entwicklung von situativen Sicherheitskenngrößen bietet eine allgemeine Analyse von Unfalldaten wenig Anhaltspunkte. Wie in 4.4.2 ausgeführt, ist das Unfallkriterium alleine auch für die Validierung von Sicherheitskennzeichen nicht ausreichend. Unfalldaten können aber nützlich sein, um auf spezifische Gefährdungsbedingungen hinzuweisen, die die genaue Analyse des entsprechenden Unfallgeschehens bezogen auf Gestaltungsmerkmale des Straßenverkehrsraums und situativer Bedingungen des Straßenverkehrs erforderlich machen. Ein gutes Beispiel für eine solche Vorgehensweise bietet das „Gutachten zum Unfallgeschehen auf der L 381 im Bereich von km 7,8 bis km 11,4“ der BASt (BRÜHNING et al., 1971).

Für den Raum Regensburg wurde in ähnlicher Weise versucht, mit Hilfe von Unfalldaten Unfallhäufungspunkte festzustellen und die Straßengestaltungsmerkmale zu identifizieren, die in besonderem Maße für die Gefährlichkeit der entsprechenden Situationen verantwortlich sind.

### 4.5.1 Übersicht über die polizeilich registrierten Verkehrsunfälle im Stadtgebiet Regensburg im Jahr 1992

Die im folgenden verwendeten Daten wurden uns freundlicherweise von der Polizeiinspektion Regensburg 1 zur Verfügung gestellt.

Übersicht über die absoluten Unfallzahlen:

Unfälle insgesamt:	4562
Verletzte:	1088
davon Schwerverl.:	142
Tote:	13

### 4.5.2 Unfallursachen

Von der Gesamtzahl der Unfälle wurden jene Unfälle der höchsten Schadensklassen einer genaueren Analyse hinsichtlich mehrerer Variablen unterzogen.

Hierbei ergab sich folgende Differenzierung bezüglich der verschiedenen Unfallursachen (Angaben in Prozent):

a) Fehler beim Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Ausfahren:	21,6
b) Nichtbeachten der Vorfahrt und des Vorranges	19,9

c) Alkoholeinfluß:	11,7
d) Ungenügender Sicherheitsabstand	5,5
e) Überschreiten der Höchstgeschwindigkeit, nicht angepaßte Geschwindigkeit:	4,2
f) Fußgänger (sämtliche Ursachen):	2,6

#### 4.5.3 Beteiligung unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer

Die Gruppe der Radfahrer wurde in dieser Feinanalyse ausgespart. Ihre erhebliche Beteiligung an den registrierten Verkehrsunfällen kommt jedoch in einer Aufschlüsselung der Verkehrsarten zum Ausdruck:

Anteil der Verkehrsarten am Unfallgeschehen (Angaben in Prozent):

Pkw:	78,1
Lkw:	5,1
KOM:	1,3
landw. Zugmaschinen:	0,1
Krad:	2,9
Fahrräder:	7,4
Mofa:	1,0
sonst. Fahrzeuge:	0,7
Fußgänger:	3,5

Bemerkenswert ist ein Anstieg der Beteiligung von Fußgängern und Radfahrern gegenüber den Vorjahren. Insgesamt verunglückten darunter 29 Kinder im Alter unter 15 Jahren mit dem Fahrrad. Die Anzahl der Schulwegunfälle beträgt 11.

#### 4.5.4 Unfallhäufungspunkte

##### 1. Knotenpunkte

- (a) Frankenstraße / Drehergasse / Protzenweiherbrücke  
Hier ereigneten sich acht Verkehrsunfälle mit insgesamt sieben Verletzten. Der Knotenpunkt ist gekennzeichnet durch das Zusammentreffen jeweils vierspuriger Straßen, wobei die Achse Frankenstraße eine bedeutende Einfallstraße (Anbindung zur Autobahn) mit hohem Verkehrsaufkommen darstellt.  
Zwei Unfälle ereigneten sich durch Linksabbieger, die den Vorrang entgegenkommender geradeausfahrender Radfahrer mißachteten. Bemerkenswert ist an dieser Stelle die starke Verschwenkung des abgesetzten Radweges an diesem Knotenpunkt.
- (b) Weißenburgstraße / Adolf-Schmetzer-Straße  
Hier ereigneten sich zwölf Unfälle mit insgesamt elf Verletzten. Hier handelt es sich ebenfalls um

einen Kreuzungspunkt zweier vierspuriger Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen. Auffallend ist die hohe Zahl unfallverursachender Rotlichtverstöße (insgesamt sechs).

- (c) Stobäusplatz / Landshuter Straße / Greflingerstraße / Luitpoldstraße  
Hier ereigneten sich 13 Unfälle mit sieben Verletzten. Es handelt sich um eine äußerst komplexe Kreuzungssituation, gekennzeichnet insbesondere durch eine dreispurig linksabbiegende Ausfallstraße mit uneinsehbarer Lichtsignalanlage wenige Meter nach dem Scheitelpunkt der Kurve. Obwohl die Lichtsignalanlage durch gelbes Warnblinklicht bei der Einfahrt in die Kurve angezeigt wird, ereigneten sich hier vier Unfälle aufgrund von Mißachtung des Rotlichts. Eine Umgestaltung der gesamten Kreuzungssituation ist in Planung.
- (d) Nordgaustraße / Isarstraße / Brennesstraße  
Hier ereigneten sich neun Verkehrsunfälle mit vier Verletzten. Über die Kreuzung führen stark verschwenkte abgesetzte Radfahrwege; bei zwei Unfällen handelte es sich um durch Pkw (ein Rechtsabbieger, ein Linksabbieger) verursachte Unfälle mit Radfahrern.
- (e) Friedenstraße / Galgenbergstraße / Furtmayrstraße  
Hier ereigneten sich zehn Unfälle mit neun Verletzten. An dieser Kreuzung wurden die extrem verschwenkten Radfahrerfurten (stark frequentierte Radfahrerstrecke mit Quell-/Zielverkehr Universität) inzwischen beseitigt.
- (f) Nordgaustraße / Frankenstraße / Walhalla-Allee  
Hier ereigneten sich 14 Unfälle mit zwölf Verletzten. Ein weiterer Beleg für die Gefährdung von Radfahrern auf abgesetzten Radwegen mit starker Verschwenkung der Furt: drei Verkehrsunfälle mit Radfahrern durch rechtsabbiegende Pkw (davon allerdings ein Radfahrer in falscher Fahrtrichtung und mit Rotlicht)
- (g) Lechstraße / Isarstraße  
Hier ereigneten sich acht Unfälle mit neun Verletzten, davon drei Unfälle mit Radfahrern durch linksabbiegende Pkw. Auch von der Polizei wird in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, daß mutmaßlich die stark verschwenkten Radfahrerfurten hauptverantwortlich sind. Zudem sind die sehr weit abgesetzten Radwege bereits während der Anfahrt an die Kreuzung von Autofahrern zum Teil schwer einsehbar, da die da-

zwischenliegenden Grünstreifen mit Bäumen und Hecken bepflanzt sind.

(h) Nibelungenbrücke

Hier ereigneten sich 14 Verkehrsunfälle mit elf Verletzten. Die Verkehrssituation ist gekennzeichnet durch die extrem stark frequentierte vierspurige Brücke mit zwei Auffahrten in etwa Brückenmitte. Für die von diesen Auffahrten kommenden Fahrer ist der Querverkehr sehr schlecht einsehbar (wg. Steigung und extrem schmaler Fuß- und Radwegführung, die ein Vorfahren bis zur Überschneidung mit dem Querverkehr provoziert); zehn Unfälle ereigneten sich an den Einmündungen dieser Auffahrten.

(i) Maximilianstraße mit insgesamt sechs Einmündungen bzw. Kreuzungen

Hier ereigneten sich 19 Unfälle mit 15 Verletzten. Die Maximilianstraße ist die am stärksten frequentierte Straße im Kernbereich der Innenstadt. Im oberen Bereich besteht eine Kreuzungssituation mit etwa acht Bushaltestellen im unmittelbaren Kreuzungsbereich, eine extrem (mehr als fünf Meter) verschwenkte Fußgängerfurt; hier ereigneten sich sieben Unfälle.

Im Mittelabschnitt der sehr belebten Geschäftsstraße (hohes Fußgängeraufkommen, starker unregelmäßiger Fußgängerquerverkehr, Bushaltestellen ohne Einbuchtungen, keine Geschwindigkeitsbeschränkung) liegt ein durch eine Lichtsignalanlage geregelter Kreuzungspunkt mit der am stärksten frequentierten Fußgängerzone der Stadt: hier wurden keine Verkehrsunfälle verzeichnet, mutmaßlich treten jedoch sehr viele Verkehrskonflikte mit querenden Fußgängern auf.

Weitere Unfallhäufungspunkte finden sich insbesondere im Kreuzungsbereich stark frequentierter Aus- bzw. Einfallstraßen. Verkehrsunfälle ereigneten sich gehäuft durch Kollisionen linksabbiegender Fahrer mit entgegenkommendem Verkehr bzw. durch Rotlichtverstöße. Es wird auf die Problematik der auf diesen Strecken eingerichteten „grünen Welle“ hingewiesen (provoziert Rotlichtverstöße und überhöhte Geschwindigkeit insbesondere im Kreuzungsbereich).

2. Stark unfallbelastete Streckenabschnitte

Die Angaben in Unfallhäufigkeitszahlen entsprechen der Anzahl der Verkehrsunfälle auf 1000 m Streckenlänge.

Weißenburgstraße	40,0
Friedenstraße	40,0
Nibelungenbrücke	31,1
Landshuter Straße	30,0
Dr.-Martin-Luther-Str.	25,0
Frankenstraße	21,3
Prüfeninger Straße	19,1
Nordgaustraße	13,9
Augsburger Straße	13,1
Donaustauer Straße	11,6

#### 4.6 Expertenwissen zu unfallbegünstigenden Faktoren von Straßenverkehrssituationen

##### 4.6.1 Vorschläge zur Verbesserung der Verkehrssicherheit an Stellen mit unfallbegünstigenden Faktoren (HUK-Verband)

Die für die Entwicklung von situativen Sicherheitskenngrößen relevanten Vorschläge des HUK-Verbandes zur Verbesserung der Verkehrssicherheit an Stellen mit unfallbegünstigenden Faktoren betreffen an erster Stelle die Geschwindigkeiten von Kraftfahrzeugen, dann das Durchfahren von Kurven, Nachtfahrten, Straßenkreuzungen, Fußgängerunfälle und Unfälle mit Radfahrern (PFUNDT, 1991).

(1) Überprüfung der Geschwindigkeiten

Als ersten Schritt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit an Stellen mit unfallbegünstigenden Faktoren wird eine Überprüfung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten gefordert, mit dem Ziel, situationsunangepasste Geschwindigkeiten zu reduzieren.

(2) Kurven

Für Kurven sind die Sichtbedingungen für den Autofahrer zu prüfen. Ist die Kurve bei der Annäherung rechtzeitig zu erkennen?

Sind ihr Richtungssinn, ihr Radius, die Größe der Richtungsänderung und Änderungen des Radius innerhalb der Kurve rechtzeitig wahrnehmbar? (vgl. 4.2)

(3) Fahrten bei Nacht

Können Wahrnehmungstäuschungen, z. B. Irreführungen durch die Straßenbeleuchtung falsches Fahrverhalten induzieren? (vgl. 4.4.6)

(4) Kreuzungen

Entsprechend wie bei Kurven sind die Sichtbedingungen für die Autofahrer zu prüfen. Ist eine

Kreuzung/Einmündung rechtzeitig erkennbar? Bestehen Probleme beim Linksabbiegen? Hat der Wartepflichtige nicht nur die Kreuzung, sondern auch die geltende Vorfahrtsregelung wahrgenommen? Können die Geschwindigkeiten der bevorrechtigten Straße zuverlässig geschätzt werden?

(5) Fußgängerunfälle

Treten Fußgängerunfälle verteilt oder an einzelnen Punkten auf? Ist eine Lichtzeichenanlage, eine Reduzierung des Fahrbahnquerschnitts, oder eine flächendeckende Geschwindigkeitsreduktion mit flankierenden Maßnahmen zu empfehlen?

(6) Unfälle mit Radfahrern

Wo haben sich Unfälle mit Radfahrern ereignet? Können die Verkehrsräume für die Verkehrsteilnehmer getrennt werden? Ist die Erkennbarkeit von Radfahrern (insbesondere beim Rechtsabbiegen) gewährleistet? Ist die Vorfahrtsregelung (Vorfahrt für den Radfahrer oder für den Autofahrer) für alle Verkehrsteilnehmer erkennbar?

Zusammengefaßt betreffen die Vorschläge des HUK-Verbandes zur Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit die Sicherstellung situationsangepaßter (d.h. reduzierter) Geschwindigkeiten, die Sichtbedingungen, d.h. die rechtzeitige Wahrnehmbarkeit von Kurven, Kurvenverlauf und Kreuzungen, die umfassende und eindeutige Information von Verkehrsteilnehmern, z. B. über Vorfahrtsregelungen und Radverkehrsführungen, sowie auch über gefahrene Geschwindigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer.

#### 4.6.2 Unfallbegünstigende Faktoren im Straßenverkehrsraum Regensburg (Angaben von Fahrlehrern)

Als unfallbegünstigende Faktoren im Straßenverkehrsraum nennen die Fahrlehrer:

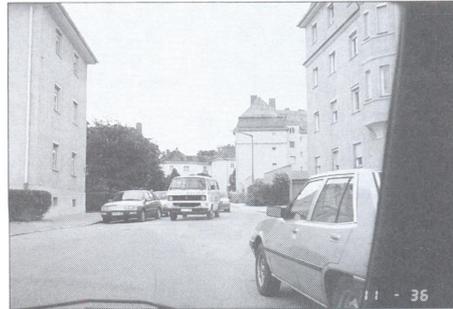
(1) Verdeckte Rechts-vor-Links-Kreuzungen in Wohngebieten, (2) nicht übersehbare bzw. zeitweise nicht im Sichtfeld des Autofahrers befindliche Radwege, (3) mangelhafte und irreführende Fahrbahnmarkierungen, (4) Anordnung einer Abfolge von Verkehrsschildern, die zum Übersehen und Überfahren von negativ vorfahrtsgeregelten Kreuzungen führt, (5) Kreuzungs"spinnen", die die Aufmerksamkeit des Autofahrers bei der Fahrspursuche überfordern, (6) falsche Interpretation von Verkehrszeichen.

Zu (1) Verdeckte Rechts-vor-Links-Kreuzungen in Wohngebieten

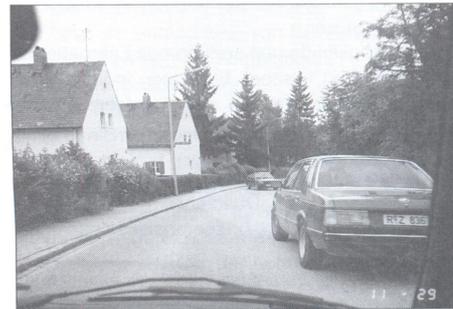
Kreuzungen bzw. Straßeneinmündungen von rechts werden so durch parkende Autos verdeckt, daß die Einmündungen nicht wahrgenommen und mit unveränderter Geschwindigkeit überfahren werden (vgl. Bild 12).

Zu (2) Nicht übersehbare bzw. zeitweise nicht im Sichtfeld des Autofahrers befindliche Radwege.

Der Radweg ist für den Autofahrer nicht übersehbar, bzw. ein Fahrradfahrer verschwindet aufgrund der Radwegführung zeitweise aus dem Blickfeld des Autofahrers, um dann, insbesondere beim Rechtsabbiegen, unerwartet wieder aufzutauchen (vgl. Bild 13).



1. Kreuzung Gutenbergsstraße / Fickentscherstraße aus Richtung Theresienkirche  
Die Einmündung ist regelmäßig durch parkende Fahrzeuge verdeckt und erst ca. 5 m vorher zu erkennen. Sie wird oft ohne jede Reaktion überfahren.



2. Kreuzung Roseggerstraße / v. Kobellstraße  
Die Einmündung ist durch parkende Fahrzeuge verdeckt und wird nicht wahrgenommen und mit unveränderter Geschwindigkeit überfahren.

**Bild 12:** Verdeckte Rechts-vor-Links-Kreuzungen in Wohngebieten



Blick vor dem Abbiegen



Blick während des Abbiegens

Kreuzung Friedenstraße/Galgenbergstraße  
Vom Stadtwesten her kommend geht der Radweg scheinbar rechts um die Ecke, um während des Abbiegens in einer Situation, in der die Aufmerksamkeit durch das Lenken beansprucht wird, wieder aufzutauchen.

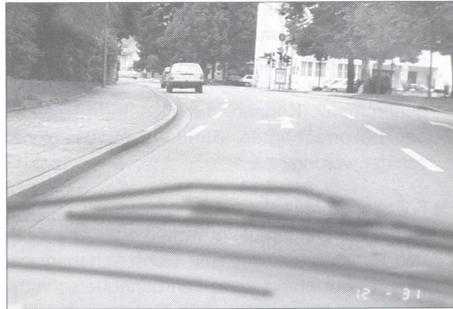
**Bild 13:** Vor dem Abbiegen nicht übersehbare bzw. sichtbare Radwege

Zu (3) Mangelhafte und irreführende Fahrbahnmarkierungen

Durch mangelhafte und irreführende Fahrbahnmarkierungen wird falsches Einordnen induziert, was dann zu Panikreaktionen des Autofahrers führen kann (vgl. Bild 14).

Zu (4) Anordnung einer Abfolge von Verkehrsschildern, die zum Übersehen und Überfahren von negativ vorfahrtsregelungen Kreuzungen führt.

Die Abfolge der Verkehrsschilder an einer Straße kann dazu führen, daß ein Schild übersehen wird. Beispielsweise führen ein für den Autofahrer zuerst sichtbares Schild „Vorfahrtsstraße“ und die in Entfernung schon sichtbare Wechsellichtzeichenanlage dazu, daß das dazwischenbefindliche Schild „Vorfahrt gewähren“ völlig übersehen wird, und die



Kreuzung Bischof-Wittmannstraße / Simmernstraße  
Aus nördlicher Richtung kommend lädt Bild 1 den Linksabbieger zum Einordnen auf die mittlere Fahrspur (= rechte Linksabbiegespur) ein. Bild 2 zeigt anschließend das falsche Einordnen und löst Panikreaktionen aus

**Bild 14:** Mangelhafte Fahrbahnmarkierungen als Einladung zum Falscheinordnen mit anschließenden Panikreaktionen

Kreuzung ohne Reaktion überfahren wird (vgl. Bild 15).

Zu (5) Kreuzungs"spinnen", die die Aufmerksamkeit des Autofahrers bei der Fahrspursuche überfordern

Die Fahrspursuche kann einen Autofahrer so überfordern, daß eine Rechts-vor-Links Vorfahrtsregelung bzw. Gegenverkehr nicht ausreichend beachtet werden. Dies ist zum Beispiel der Fall beim Linksabbiegen vor einer Insel bei gleichzeitiger Einmündung einer Straße von rechts und Gegenverkehr, der von der anderen Seite der Insel herkommt (vgl. Bild 16).

Zu (6) Falsche Interpretation von Verkehrszeichen

Das Verkehrszeichen „Verbot der Ein- oder Durchfahrt“ kann gleichzeitig interpretiert werden als: „Aus dieser Straße kann keiner kommen“ (vgl. Bild 17).



Einmündung Karthäuser Straße/Kumpfmühler Straße  
Bei der Annäherung an die Kreuzung wird durch das im Vordergrund sichtbare Schild „Vorfahrtstraße“ und die bereits im Hintergrund sichtbare Wechsellichtzeichenanlage das in der Mitte befindliche Schild „Vorfahrt gewähren“ völlig übersehen.

**Bild 15:** Nichtsehen und Überfahren negativ vorfahrtgeregelter Kreuzungen aufgrund optischen Durchschusses

Die von den Fahrlehrern aufgelisteten unfallbegünstigenden Faktoren betreffen schwerpunktmäßig zusammengefaßt:

- Die mangelnde bzw. irreführende Information des Autofahrers, durch unzureichende Sichtbedingungen, (vgl. 1), durch irreführende Fahrbahnmarkierungen (vgl. 3) und durch eine Radwegführung, aufgrund deren sich der Radfahrer aus dem Blickfeld des Autofahrers entfernt (vgl. 2);
- die durch den Aufbau von Erwartungen des Autofahrers aufgrund einer Abfolge von Verkehrsschildern induzierte Wahrnehmungstäuschung (vgl. 4) und
- die Überforderung der Aufmerksamkeit des Autofahrers durch eine komplexe Verkehrssituation (vgl. 5), bzw. die bewußte Wahrnehmung von Verkehrszeichen, die aber zu falschen Interpretationen führt (vgl. 6).



Kreuzung Guerickestraße/Safferlingstraße  
Der Linksabbieger, der bereits links vor der Insel abbiegen muß, übersieht aufgrund seiner Aufmerksamkeitsverlagerung auf die Fahrspur das vorherige Rechts-vor-Links oder den Gegenverkehr.

**Bild 16:** Wahl einer falschen Fahrlinie bei Kreuzungsspinnen



Kreuzung Wilhelm-Raabe-Straße/Theodor-Sturm-Straße  
Das Zeichen „Verbot der Ein- oder Durchfahrt“ wird interpretiert als „Aus dieser Straße kann niemand kommen“

**Bild 17:** Falsche Interpretation von Verkehrszeichen

Für die Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit bzw. die Entwicklung von Sicherheitskennzeichen ergeben sich die Folgerungen:

- Das Informationsangebot für den Autofahrer muß vollständig, ausreichend und eindeutig (d.h. nicht irreführend) sein.
- Mögliche Wahrnehmungstäuschungen bzw. der Aufbau von Erwartungen, der zu Wahrnehmungstäuschungen führen kann, müssen berücksichtigt, bzw. vermieden werden (vgl. 3.5).
- Die Überforderung der Aufmerksamkeit des Autofahrers durch komplexe Situationen und Verkehrszeichen sollte vermieden werden. Die Überforderung des Autofahrers beim bewußten Handeln kann durch direkte bauliche Maßnahmen, die keine Handlungsalternativen zulassen, oder durch eine unbewußte Verhaltenssteuerung vermieden werden (vgl. 3.3.2).

#### 4.7 Kategorisierung und Bewertung von situativen Sicherheitskenngrößen

Aufbauend auf theoretischem und empirischem Grundlagenwissen der Bereiche Psychologie und Straßenbau, sowie ausgewählten Ergebnissen der Unfallforschung (vgl. 3 und 4), lassen sich situative Sicherheitskenngrößen sinnvollerweise danach kategorisieren und bewerten, in welcher Weise sie das Verhalten der Verkehrsteilnehmer induzieren und steuern.

Maßnahmen zur Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit können das Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer durch direkte bauliche Maßnahmen so steuern, daß bestimmte gefährliche Fahrmanöver fast gänzlich verhindert werden (z.B. verhindert die Fahrraumtrennung auf Autobahnen Zusammenstöße mit dem Gegenverkehr, es sei denn mit „Geisterfahrern“). Des weiteren kann eine angestrebte Verhaltensänderung zur Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit über unbewußte oder bewußte Prozesse erfolgen. Über unbewußte Prozesse wirkt zum Beispiel die „optische Bremse“, bewußte Prozesse sind zum Beispiel für die Beachtung von Verkehrszeichen notwendig. Wirksamste, aber auch aufwendigste Sicherheitsmaßnahmen stellen direkte bauliche Maßnahmen dar, weniger wirksam sind Maßnahmen, die zu einer unbewußt erfolgenden Verhaltensänderung führen, am wenigsten wirksam und am fehleranfälligsten sind Maßnahmen, die bewußt wahrgenommen und beachtet werden müssen (vgl. 3.3.2).

Durch situative Sicherheitskenngrößen induziertes und gesteuertes Verhalten bzw. durch Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bewirkte Verhaltensänderungen lassen sich in ihrer Auswirkung auf die Homogenität der Verkehrsabläufe und die gefahrenen Geschwindigkeiten prüfen. Die wichtigsten Verhaltenskenngrößen zur Beurteilung der Sicherheit von Straßenverkehrssituationen sind: Geschwindigkeiten und Bewegungslinien der Verkehrsteilnehmer (z.B. Spurtreue, räumliche und zeitliche Abstände), sowie Fahrprobleme, Verkehrsregelübertretungen und Verkehrskonflikte. Als die wichtigste Verhaltenskenngröße zur Beurteilung der Sicherheit einer Straßenverkehrssituation muß die Geschwindigkeit von Kraftfahrzeugen angesehen werden (vgl. 4.4.3).

##### 4.7.1 Kategorisierung von Sicherheitskenngrößen

Den vorgestellten Überlegungen folgend, lassen sich Sicherheitskenngrößen entsprechend dem von ihnen erwarteten Effekt für die Straßenverkehrssicherheit in folgender Weise kategorisieren:

Erwarteter Effekt für Sicherheit:

- (1) Erhöhte Sicherheit durch Reduktion der Geschwindigkeit
  - Direkte bauliche Maßnahmen
    - Baubedingte Bremse +  
z.B. Schwellen; Verengung der Fahrbahn durch Parkplätze (parkende Fahrzeuge)
  - Unbewußte Verhaltensänderung
    - Optische Bremse +  
z.B. Querstreifen, „herring-bone“ Muster, Randbebauung bzw. Bepflanzung
  - Bewußte Verhaltensänderung
    - z.B. Verkehrsschilder O
- (2) Erhöhte Sicherheit durch Reduktion von Konfliktzonen
  - Direkte bauliche Maßnahmen
    - Entflechtung Mischverkehr + / -  
z.B. Fahrradwege, Bürgersteige
    - Fahrraumtrennungen +
    - Wenn keine Entflechtung möglich ist: Vorrang für den schwächsten Verkehrsteilnehmer, z.B. Fußgängerzone +
    - Kreisel statt Kreuzungen +
- (3) Erhöhte Sicherheit durch größere Fehlertoleranz für individuelle Fahrzeugführer
  - Direkte bauliche Maßnahmen
    - z.B. Fahrbahnverbreiterung + / (-)
- (4) Erhöhte Sicherheit durch bessere Information
  - Über den Fahrbahnverlauf z.B. Mittel-Randmarkierung + / -  
+
  - Über den Kurvenverlauf z.B. zur Verhinderung von Wahrnehmungstäuschungen, Markierungen +  
weiße und rote Rückstrahler an Leitpfosten +

- Bessere Sichtbedingungen  
z.B. Kreuzungen auf größere Distanz einsehbar +/-  
Verkehrsschilder rechtzeitig sichtbar +
- Über andere Verkehrsteilnehmer  
z.B. Radwegführung, Radfahrer vor der Kreuzung sichtbar +

#### 4.7.2 Bewertung von Sicherheitskenngrößen

Einen besonders wichtigen Faktor für die aktuelle und andauernde Wirksamkeit von Sicherheitskenngrößen stellt unumstritten die Kraftfahrzeuggeschwindigkeit dar. Daher sollten mit erster Priorität solche Sicherheitskenngrößen geprüft werden, die geeignet erscheinen, die eigene und fremde Fahrgeschwindigkeiten adäquat einschätzen zu können und die eigene Geschwindigkeit den äußeren Umständen optimal anzupassen (vgl. auch KLEBELSBERG, 1982, S. 94). Für die Erhöhung der Sicherheit ist es sinnvoll, die gefahrenen Geschwindigkeiten nicht nur kurzfristig zu senken, sondern möglichst andauernde Effekte zu erzielen. Geschwindigkeiten richtig einschätzen zu können, ist dabei nicht nur für den Kraftfahrzeugführer selber, sondern auch für alle anderen Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer) von großer Bedeutung (vgl. auch COHEN, 1986, S. 35).

Als weiterer wichtiger Faktor sollte die „Spurtreue“ beachtet werden, die insbesondere bei eventuellen Konflikten/Beinahe-Unfällen von Bedeutung ist.

Zum einen die städtebauliche Entwicklung und Verkehrsplanung (verkehrsberuhigte Zonen, Tempo-30-Zonen, Spielstraßen), zum anderen die hohen Unfallzahlen außerorts legen nahe, daß der Einsatz von Sicherheitsmaßnahmen (z. B. zur Reduktion von Geschwindigkeiten und Erhöhung der Spurtreue) besonders wichtig ist in Zonen mit Mischverkehr (z. B. Wohnverkehrsstraßen mit/ohne Bürgersteig, mit/ohne Fahrradweg; Fußgängerzonen mit Rad-/Anlieger-/Lieferverkehr) sowie auf Landstraßen.

## 5 Unterschiedliche Personengruppen von Verkehrsteilnehmern

Schwerpunktmäßig betrafen und betreffen die verkehrspsychologische Forschung wie auch ingenieurwissenschaftliche und straßenbauliche Untersuchungen hauptsächlich Bedürfnisse und Probleme

der motorisierten Verkehrsteilnehmer. Sowohl die vorgestellten Modelle und Konzepte (vgl. 3), wie auch die Untersuchungen zum Einfluß der straßenbaulichen Gestaltung auf die Straßenverkehrssicherheit (vgl. 4) berücksichtigen vor allem das Fahrverhalten von Kraftfahrzeugführern.

### 5.1 Nicht motorisierte Verkehrsteilnehmer: Fußgänger und Fahrradfahrer

Insbesondere aber die große Zahl der nicht-motorisierten Verkehrsoffer führte inzwischen dazu, das Verhalten von Fußgängern (z.B. beim Überqueren der Fahrbahn) und straßenbauliche Merkmale, wie zum Beispiel die Radwegegestaltung gezielt zu untersuchen. In der BRD verunglücken jährlich ca. 45.000 Fußgänger im Straßenverkehr (davon ca. 15.000 Kinder), getötet werden ca. 2.000 Fußgänger, (davon ca. 300 Kinder. Fußgänger verunglücken am häufigsten innerorts; innerorts ist jeder zweite Verkehrstote ein Fußgänger (EHRMANN, 1989). Für Kinder bis zu 15 Jahren stellt ein Verkehrsunfall die häufigste Todesursache dar (59 %), die Hälfte der Verkehrsunfälle, an denen Kinder beteiligt sind, betrifft Kinder als Fußgänger. Die Häufigkeit der Fußgängerunfälle zeigt für Kinder im Alter von 6 - 8 Jahren international eine markante Spitze, was mit der Zeit der Einschulung zusammenfällt (FISCHER und COHEN, 1978; BRÜHNING und VÖLKER, 1980). Der Anteil der Jungen dieser Altersstufe beträgt annähernd 65 %, d.h. daß Jungen zwischen 6 - 8 Jahren teilweise bis zu doppelt so häufig verunglücken wie gleichaltrige Mädchen.

Ebenfalls als Fußgänger besonders gefährdet sind ältere Verkehrsteilnehmer. Ob durch die jeweiligen Straßenverkehrssituationen eher sicheres oder eher gefährliches Fußgängerverhalten induziert wird, hängt stark von der Wahrnehmung der Fahrzeuggeschwindigkeiten ab. Für die Fußgänger-Aufgabe „Fahrbahnüberquerung“ ist die Geschwindigkeitswahrnehmung von zentraler Bedeutung. Es ist evident, daß bei der Entscheidung eines Fußgängers, zu einem bestimmten Zeitpunkt vor einem herannahenden Fahrzeug die Straße zu überqueren, die subjektiv wahrgenommene Geschwindigkeit des Fahrzeugs eine primäre Informationsquelle ist, aufgrund derer die Entscheidung getroffen wird. Dies ist unabhängig davon, ob eine explizite Annahme über die Geschwindigkeit (z.B. in km/h) vorliegt oder nicht.

„Der Fußgänger muß sich vor der Straßenüberquerung jeweils entscheiden, ob er im selben Moment den gleichen Raum wie ein herannahendes Fahrzeug beanspruchen wird. ... In dieser antizipatorischen Entscheidungsgrundlage spielt die Wahrnehmung des verfügbaren Raumes und diejenige der Geschwindigkeit und ihrer Variation eine entscheidende Rolle“ (COHEN, 1986, S. 35).

Zu den in starkem Ausmaß gefährdeten Verkehrsteilnehmern gehören auch die Fahrradfahrer. Im Gegensatz zur Entwicklung bei den anderen Straßenverkehrsteilnehmern nimmt die Zahl der jährlich verunglückten Radfahrer nach wie vor zu. 1975 verunglückten insgesamt 472.667 Menschen im bundesdeutschen Straßenverkehr, darunter befanden sich 35.841 Radfahrer. Das entspricht einem Anteil von 8,9 % an der Gesamtverunglücktenzahl. Dieser Anteil ist 1989 auf 14,7 % angewachsen (STAT. BUNDESAMT, 1990).

Diese Entwicklung zeigt sich noch deutlicher bei einer ausschließlichen Betrachtung der Innerortsunfälle. Hier stieg der Anteil getöteter und verletzter Radfahrer an der Gesamtmenge der verunglückten Straßenverkehrsteilnehmer im gleichen Zeitraum von 12 % auf 21,5 %. Unter den innerorts schwerverletzten Personen - also den Personen, die als direkte Unfallfolge mindestens 24 Stunden im Krankenhaus behandelt wurden - war 1989 sogar jeder 4. ein Radfahrer (STAT. BUNDESAMT, 1990).

Neben der unterschiedlichen Weise, am Straßenverkehr teilzunehmen (als Fußgänger, Fahrradfahrer oder Führer eines Kraftfahrzeugs), kann nach Altersgruppen der Straßenverkehrsteilnehmer differenziert werden, zwischen Kindern, jungen Erwachsenen, Erwachsenen mittleren Alters und Senioren. Jede Altersgruppe weist bestimmte typische Verhaltensweisen und auch typisches Fehlverhalten im Verkehr auf.

## 5.2 Ältere Autofahrer

Am besten untersucht für verschiedene Altersgruppen ist wiederum das Fahrverhalten von Kraftfahrzeugführern, insbesondere das Fahrverhalten und die Unfallbeteiligung von jungen Autofahrern bzw. Führerscheinneulingen und von älteren Autofahrern im Vergleich zu der Gruppe der Erwachsenen mittleren Alters. Es ist absehbar, daß der Anteil der älteren Autofahrer prozentual erheblich zunehmen wird. Bereits heute beträgt der Anteil aktiver Fahrer

über 70 Jahre 18 %. Im Jahr 2000 werden mindestens 9 Millionen Führerscheinbesitzer in Deutschland älter als 60 Jahre sein, eine Hochrechnung, die sich auf Gesamteuropa übertragen läßt (DINGEL, 1991). Diese Entwicklung ist einerseits Ausdruck des gesteigerten Mobilitätsbedürfnisses in unserer Gesellschaft, andererseits des Wohlstands der westlichen Industrienationen und auch des zunehmenden Zwangs zur Mobilität, den die moderne dezentralisierte Stadtbauweise impliziert. Aus der Altersgruppe der 40-54jährigen verfügen heute 77 % über die Fahrerlaubnis, wobei der Frauenanteil stetig steigt.

Vor allem jüngere (Führerscheinneulinge) und ältere Kraftfahrzeugführer haben ein höheres Unfallrisiko als Autofahrer insgesamt. Z.B. wurde für Autofahrer ab 65 Jahre ein doppelt so hohes Unfallrisiko wie für die Altersklasse ab 35 Jahre ermittelt (KNOPFLACHER, 1974). Der Anteil der „Unfallursacher“ liegt bei älteren Kraftfahrzeugführern höher als bei mittleren Jahrgängen (BRÜHNING & HARMS, 1983). Der höheren Unfallgefährdung älterer Autofahrer können unterschiedliche altersbedingte Defizite, bzw. deren Kombination zugrunde liegen. Sowohl im physiologischen als auch im kognitiven Bereich lassen sich altersspezifische Veränderungen der fahrrelevanten Fähigkeiten feststellen. Diese setzen zwischen dem 45. und dem 55. Lebensjahr ein (WALLTER zit. nach IRWIN, 1989).

Die Reaktionszeit bei Mehrfachwahlreaktionen steigt im Alter an und das Zeitschätzvermögen läßt nach. Für die Sehleistungen älterer Kraftfahrer gilt, daß ab einem Lebensalter von ca. 40 Jahren die Kontrastempfindlichkeit des Auges abnimmt. Dies kann zum Übersehen von wichtigen Informationen vor einem ähnlich gefärbten oder strukturierten Hintergrund führen. Das visuelle Feld verkleinert sich, was bedeutet, daß Objekte in der Peripherie, z. B. Personen am Fahrbahnrand, später sichtbar werden. Allgemein vergrößern sich die Unterschiedsschwellen für Kontraste. Die Blendungsempfindlichkeit nimmt zu und die Erholungsphase nach vorausgegangener Blendung verlängert sich. Es besteht eine Verlangsamung der Adaptation, eine Verlängerung der Akkomodationszeit sowie eine Verengung des Blickfeldes („senile Blickstarre“, verstärkt durch Einschränkungen der Halswirbelsäulenbeweglichkeit) (GRAMBERG-DANIELSEN, 1967). Zwar ergibt sich mit zunehmender Fahrerfahrung eine entscheidende Veränderung des antizipatorischen Blickverhaltens bei

Autofahrern - ihr Blickverhalten ist eher in die Ferne und auf dynamische Gegebenheiten hin orientiert, was ihnen mehr Zeit zur Informationsverarbeitung und zum Reagieren läßt -, jedoch wird dieser Vorteil des verbesserten Blickverhaltens im Alter durch die oft unvollständige oder nicht rechtzeitige Wahrnehmung relevanter Information wieder kompensiert (COHEN, 1986).

Bei der für alle Kraftfahrer schwierigen Aufgabe der Geschwindigkeitsschätzung zeigen sich insbesondere bei älteren Kraftfahrern Defizite, was zum Verschätzen von Zeitlücken und Kollisionszeitpunkten führen kann. Ebenso treten Fehler bei der Orientierung auf. Diese Fehler könnten eine Hauptursache für die Häufung von Verstößen gegen Vorfahrtsregelungen sein (HOYOS, 1965). Fehler bei der Geschwindigkeitseinschätzung treten auch bei älteren Fußgängern auf, die die Geschwindigkeit herannahender Fahrzeuge unterschätzen (HÜRLIMANN & HEBENSTREIT, 1987). Die Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit verringert sich mit zunehmendem Alter beispielsweise bei der Suche nach einem bestimmten Ziel in einer fremden Stadt und gleichzeitiger Beachtung der jeweiligen Verkehrssituation.

Ebenso können bei Aufgaben, die komplexe Bewegungsabläufe erfordern (z.B. Linksabbiegen), mit höherem Alter zunehmend Unfälle auftreten (KLEBELSBERG, 1982). Die Ergebnisse einer Studie (KROJ, 1988) zeigen, daß Unfälle älterer Autofahrer vor allem bei Kreuzungs-, Ein- und Abbiegemanövern auftreten.

Diesen spezifischen Verarbeitungsproblemen älterer Kraftfahrer entsprechen altersspezifisch empfindliche Verkehrssituationen: Kreuzungen, Einmündungen, Abbiegemanöver, Spurwechsel, Einfädeln in fließenden Verkehr, Anwesenheit von Fußgängern und Vorfahrtsregelungen (TRÄNKLE, 1994; WITTENBERG, 1993). Dies sind durchgängig Situationen hoher Komplexität, die sicheres, schnelles Entscheiden und Handeln erfordern.

Die auftretenden Defizite älterer Autofahrer werden aber vielfach durch eine vorsichtige Fahrweise mindestens teilweise kompensiert oder umgangen. Beispielsweise durch Vermeidung längerer Fahrten, Fahrten zu Stoßzeiten, bei widrigen Witterungsbedingungen oder bei Dunkelheit. Auch der verringerten Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit wirken sie entgegen. So hat sich gezeigt, daß ältere Fahrer im Vergleich zu jüngeren weniger oft Musik im Auto hören oder während des Fahrens essen (BROUWER, 1994). Eine Untersuchung von IRWIN (1989) zur Selbstwahrnehmung der fahrrele-

vanten Fähigkeiten älterer Fahrer, ihren kognitiven Leistungen und ihrer Performanz beim Autofahren hat gezeigt, daß sich die Einschätzung ihrer kognitiven Fähigkeiten nicht signifikant von ihren klinisch getesteten kognitiven Fähigkeiten unterscheidet und daß diese sich wiederum nicht signifikant von ihren tatsächlichen Fahrleistungen unterscheiden. Zwar zeichnet sich eine leichte, nicht signifikante Tendenz zur Überschätzung der kognitiven Fähigkeiten ab, jedoch verfügen sie über eine ziemlich realistische Selbstwahrnehmung ihrer Leistungsfähigkeit im Verkehr und richten auch ihr Verhalten danach aus (HOLLAND & RABBITT, 1994). CHALOUPEK (1994) stellte darüber hinaus fest, daß ältere Fahrer wesentlich selbstkritischer in der Wahrnehmung ihrer Leistungsdefizite sind, als junge Fahrer. Die beschriebenen und empirisch belegbaren Kompensationsleistungen von altersbedingten Defiziten sind aber unter erschwerten Bedingungen nicht mehr möglich: Hierzu gehören die Wahrnehmung relativer Geschwindigkeiten, Entfernungsschätzungen und die Orientierung in unvertrauter Umgebung, vor allem aber auch eingeschränkte Sichtbedingungen wie Nacht- und Nebelfahrten.

PFAFFEROTT (1994) führt als Erklärungsmodell für die spezifischen Unfälle älterer Fahrer trotz Kompensationsmechanismen die Unterteilung der Fahraufgabe in drei hierarchisch strukturierte Unteraufgaben, entsprechend MICHON (1985) an. Die operationale Ebene, sie betrifft die unmittelbarsten Fahraufgaben der Fahrzeugstabilisierung; die taktische Ebene, auf welcher die Fahrweise an Straßenverlauf und Verkehr anzupassen ist und die strategische Ebene, wo es um Routenplanung und Fahrtzeitpunkte geht. Die Kompensationsmechanismen älterer Autofahrer finden hauptsächlich auf der taktischen und strategischen Ebene der Fahraufgabe statt. Die meisten Fehler der Älteren ereignen sich auf operationalem Niveau, wo schnelle Reaktionen in Abhängigkeit von der Wahrnehmung der Verkehrssituation gefordert sind. Dabei ist eine hohe interindividuelle Verhaltensvariabilität zu berücksichtigen. Die Leistungsfähigkeit im Straßenverkehr ist eher am funktionalen als am kalendrischen Alter festzumachen (TRÄNKLE, 1994). Aus dem zunehmenden Mobilitätsbedürfnis der älteren Generation, der absehbaren demografischen Entwicklung des Führerscheinbesitzes ergibt sich die Forderung, die Gestaltung von Straßen und Fahrbahnumfeld entsprechend der Leistungsmöglichkeiten aller Verkehrsteilnehmer vorzunehmen. Die große interindividuelle Variabilität fahrbezog-

ner Leistungen zeigt deutlich, daß restriktive Maßnahmen wie Führerscheinentzug bei einer bestimmten Altersgrenze der Realität nicht gerecht werden.

Bei den spezifischen Unfallschwerpunkten älterer Kraftfahrer handelt es sich vor allem um komplexe Begegnungssituationen, in denen unter hohem Zeitdruck entschieden und reagiert werden muß. Diese Situationen sollten sowohl bezüglich ihrer Komplexität als auch bezüglich des Zeit- und Entscheidungsdrucks entschärft werden. Möglichkeiten sind z.B. das Umbauen von Kreuzungen in Kreisverkehr, so daß dem Fahrer die Möglichkeit bleibt, sich zunächst zu orientieren und dann die richtige Abzweigung ohne Zeitdruck zu wählen. Bei konventionellen Kreuzungen entsteht oft das Gefühl des „Gejagt-Seins“ durch ungeduldige Zeichen des nachfolgenden Verkehrs (CHALOUPEK, 1994). Dem nach Orientierung suchenden Fahrer wird das Gefühl vermittelt, ein Hindernis zu sein, und so kann es zu übereilten Abbiegevorgängen kommen, bei denen Querverkehr nicht ausreichend beachtet wird. Rechtzeitige, eindeutige Ankündigung von Abzweigungen mit unterstützender eindeutiger Markierung der Fahrspuren erleichtert ortsfremden Fahrern die Orientierung. Es bleibt mehr Aufmerksamkeit zur Beachtung des Verkehrsgeschehens, und die Abbiegesituation wird von Entscheidungsdruck befreit. Die Kanalisierung von Fahrspuren durch Inseln verhindert Umentscheidungen innerhalb einer Situation. Entscheidend ist die optimale Darbietung der relevanten Verkehrsinformationen auf sämtlichen Ebenen der Straßen- und Straßenraumgestaltung. MacFARLAND et al. fassen dies sehr prägnant zusammen: „Kompetentes Fahrverhalten hängt nicht so sehr von der Handlungsgeschwindigkeit ab als von der Geschwindigkeit und Genauigkeit in Wahrnehmung und Situationsbeurteilung, was die Voraussetzung dafür ist, situationsadäquates Verhalten zu identifizieren“ (1964, S. 163; Übersetzung der Autoren).

Noch nicht geklärt ist, ob es sich bei den mit zunehmendem Alter auftretenden Defiziten um eine spezifische Verschlechterung handelt, oder ob sie ein Resultat der langsameren Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit oder von Schwierigkeiten bei der motorischen Integration mehrerer Subaufgaben sind. SOMBERG und SALTHOUSE (1982) stellten die sog. Komplexitätshypothese auf, die besagt, daß wegen der generellen Verlangsamung der Verarbeitungsgeschwindigkeit im Alter die

Höhe der Leistung proportional zur Komplexität der Aufgabe ist. Jedoch zeigten ältere Fahrer verglichen mit jüngeren einen Abfall in der Leistung bei Zweitaufgaben, obwohl die Einzelaufgabenleistung individuell festgestellt wurde (BROUWER et al., 1991). KORTELING (1991) zeigte in einem Versuch, daß nur jüngere Menschen von einer Vergrößerung der Aufgabenkohärenz der Subaufgaben bei Mehrfachaufgaben durch ihre Fähigkeit zur Integration bestimmter Fertigkeiten profitierten. WICKENS (1989) weist auf die Bedeutung der Fertigungsintegration bei der Erfüllung von Mehrfachaufgaben hin, wie sie im Verkehr auftreten. Dies und die o.g. Ergebnisse deuten darauf hin, daß die Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit im Alter abnimmt. Einerseits verringert sie sich wegen der verlangsamten Informationsverarbeitung, andererseits auch wegen der Schwierigkeiten älterer Menschen bei der Integration von Subaufgaben in motorische Aktivität. WELFORD (1989) stellte fest, daß ältere Menschen perceptuo-motorische Aufgaben bewußt kontrollieren. Diese verstärkte Überwachung elementarer Skills bindet sonst freie kognitive Ressourcen, die zur Teilung der Aufmerksamkeit dann nicht mehr zur Verfügung stehen. Anscheinend haben ältere Menschen Schwierigkeiten mit der beidhändigen Koordination. Dies könnte eine mögliche Ursache für die ineffektive Skill-Integration sein.

### 5.3 Jüngere Autofahrer und Führerscheineulinge

Fahranfänger bis 25 Jahre fallen durch ihr hohes Unfallrisiko auf. Sie sind statistisch signifikant häufiger bei Unfällen mit Personenschäden beteiligt und verursachen besonders oft Unfälle in kleineren Ortschaften. Dabei ist das Unfallrisiko weiblicher Fahranfängerinnen wesentlich geringer als das ihrer männlichen Altersgenossen (COHEN, 1986; BIEHL & Aufsattler, 1994).

Eine der für junge Fahrer spezifischen Hauptunfallursachen ist unangepaßte Geschwindigkeit (HAAS & REKER, 1976; HERBERG, 1983). Auf Landstraßen werden Kurven zu schnell durchfahren und/oder geschnitten. Eine Analyse der Unfalldaten von Nordrhein-Westfalen für das Jahr 1983 ergab, daß junge Autofahrer (18 bis 24 Jahre) überzufällig häufig aufgrund unangepaßter Geschwindigkeit die Kontrolle über ihr Fahrzeug verloren (28,5 %), gegenüber 16,9 % der Fahrer mittleren Alters und 7,7 % der älteren Fahrer (ELLINGHAUS und SCHLAG, 1984; zitiert nach TRÄNKLE et al.,

1990). Als Gründe werden angeführt: Austesten der eigenen Grenzen, Imponierverhalten in Kombination mit übertriebener Technikfaszination und -gläubigkeit, Überschätzung der eigenen Fähigkeiten auf der einen Seite, aber auch das Fehlen eines sich erst mit zunehmender Fahrpraxis entwickelnden antizipatorischen Blickverhaltens. COHEN (1987) beschreibt das Blickverhalten von unerfahrenen Autofahrern als in erster Linie auf Informationen für die Fahrzeugstabilisierung ausgerichtet, der auch die meiste Aufmerksamkeit gilt. Damit richten Sie ihre Aufmerksamkeit verstärkt auf statische Elemente in der unmittelbaren Fahrzeugnähe. Die vermehrte Aufmerksamkeitszuwendung auf weiter entfernte dynamische Elemente der Verkehrssituation entwickelt sich erst mit zunehmender Fahrpraxis, ebenso die Fähigkeit zur Selektion fahrtrelevanter Informationen.

Der Zeitpunkt des Führerscheinerwerbs stellt erst den Beginn einer langen Lerngeschichte auf sämtlichen Ebenen der Fahraufgabe dar. Dieser Gesichtspunkt wird von männlichen jugendlichen Fahranfängern anscheinend nicht ausreichend berücksichtigt und es ist fraglich, ob eine Betonung dieses Aspekts in der Fahrerausbildung alleine zu einer Verhaltensänderung führen würde. Da bei Verkehrsdelikten von Fahrern unter 50 Jahren in vielen Fällen Vorsatz vorliegt, beispielsweise bei Überschreitung der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit (BIEHL & AUFSATTLER, 1994), und bei männlichen, jugendlichen Fahrern unter 25 Jahren eine eher spielerische, von riskanten Verhaltensweisen geprägte Fahrweise hinzukommt, spielt für diese spezifische Problemgruppe die Gestaltung der Straße eine herausragende Rolle für die Verkehrssicherheit. Besonders wichtig erscheint die Rückmeldung über die gefahrenen Geschwindigkeiten, bzw. „optische Bremsen“ und eine Gestaltung des Straßenraumes, die eine angepaßte Geschwindigkeit induziert.

Im Rahmen einer Studie (DAHMEN et al. 1989) wurden 1987 die Unfalldaten der Polizei von 1983 bis 1986 für die BAB A9, km 510 bis 525 in Fahrtrichtung München ausgewertet. Zusätzlich wurde eine Stichprobe der Unfallbeteiligten mit Hilfe eines ausführlichen Fragebogens befragt. Bei der Art der aufgetretenen Unfälle wurde zwischen Stau- und allen sonstigen Unfällen unterschieden, die Daten der Unfallbeteiligten wurden für die verschiedenen Altersgruppen und für Personen „mit Anzeige“ und „ohne Anzeige“ getrennt ausgewertet. Es ergaben sich folgende Ergebnisse: Die älteren Autofahrer

sind im Gegensatz zu den jüngeren Fahrern stärker bei den Stauunfällen als bei allen sonstigen Unfällen repräsentiert, die 50 bis 59jährigen mit 15,96% (sonstige Unfälle: 9,09%), die 60 bis 69jährigen mit 8,01% (sonstige Unfälle: 1,97%) und die über 70jährigen mit 3,86 % (sonstige Unfälle: 0,78%). Das Durchschnittsalter der an Stauunfällen beteiligten Autofahrer lag signifikant um ca. 2 bis 4 Jahre über dem der in sonstige Unfälle verwickelten Fahrer. Die 20-29jährigen Fahrer sind dagegen häufiger in andere Unfälle verwickelt. Beim Vergleich des Lebensalters von Personen „mit Anzeige“ und Personen „ohne Anzeige“ zeigt sich, daß vor allem die sehr jungen Autofahrer (die 18 bis 19jährigen Führerscheinneulinge) sowie die älteren Autofahrer (über 50 Jahre), juristisch betrachtet, signifikant häufiger die Schuld an Stauunfällen tragen, als es nach der Verkehrsbeteiligung zu erwarten wäre. Für alle sonstigen Unfälle ist dieser Zusammenhang nicht nachweisbar.

Bezogen auf die Fragestellung des Projekts muß die Forderung erhoben werden, situative Sicherheitskenngrößen so zu entwickeln, daß das Fahrverhalten bzw. das Verhalten im Straßenverkehr als Fußgänger oder Fahrradfahrer der unterschiedlichen Personengruppen berücksichtigt wird, insbesondere Fehlverhalten und Defizite. Als Problemgruppen sind vor allem Kinder und ältere Straßenverkehrsteilnehmer miteinzubeziehen; Kinder als die schwächsten Verkehrsteilnehmer und häufige Verkehrstopfer; ältere Verkehrsteilnehmer auch unter dem Gesichtspunkt, daß ihr Bevölkerungsanteil aufgrund der demographischen Entwicklung entscheidend zunehmen wird. Dabei ist zu beachten, daß die vorliegenden Daten selbstverständlich nur zu allgemeinen Aussagen über das Verhalten von Altersgruppen berechtigen, auf das Verhalten einer individuellen Person kann nicht geschlossen werden, ebenso wie sich die Vorstellung von einer „Unfallerpersönlichkeit“ als Artefakt erwiesen hat (vgl. 3.4).

## 6 Zusammenfassung und Folgerungen für die Projektarbeit

Die vorliegenden Studien belegen eindeutig den Einfluß straßenbaulicher Gestaltungsmerkmale auf die Straßenverkehrssicherheit, allerdings ist dieser Einfluß nicht in allen Fällen positiv und vielfach bleibt die Wirkung gering. Straßenbauliche Gestal-

tungsmerkmale, die das Verhalten der Verkehrsteilnehmer durch direkte bauliche Maßnahmen so beeinflussen, daß gefährliche Manöver (fast) ganz unmöglich werden (forcing functions), bedeuten einen unumstrittenen Sicherheitsgewinn, zum Beispiel verhindern Fahrraumtrennungen ein Zusammenstoßen mit dem Gegenverkehr und Verkehrskreisel sind bewiesenermaßen weniger unfallträchtig als Kreuzungen. Weniger wirksam als bauliche Maßnahmen zur direkten (und bestenfalls nicht zu umgehenden) Steuerung des Fahrverhaltens sind Maßnahmen, die zu einer unbewußt erfolgenden Verhaltensänderung führen. Dies kann zum Beispiel durch eine „optische Bremse“ oder die „optische Verengung“ einer Straße realisiert werden. Am wenigsten Wirkung zeigen Maßnahmen, die auf eine bewußte Verhaltensänderung abzielen, zum Beispiel Verkehrsschilder. Bei den meisten straßenbaulichen Gestaltungsmerkmalen ist nicht ausreichend untersucht, wie die physikalischen (baulichen) Gestaltungsmerkmale vom Straßenverkehrsteilnehmer tatsächlich wahrgenommen werden (können); und wie und welche Verhaltensweisen der Straßenverkehrsteilnehmer durch die Maßnahmen induziert bzw. beeinflußt werden.

Situative Sicherheitskenngrößen müssen sich dadurch auszeichnen, daß nicht nur objektiv gefährliche Situationen entschärft bzw. verhindert werden, sondern daß auch die objektiv sichere Situation beim Autofahrer nicht zu einer subjektiven Erhöhung der Risikobereitschaft führt.

Der Sicherheitsgewinn, der zum Beispiel durch bessere Sichtbedingungen erzielt wird, kann durch höhere gefahrene Geschwindigkeiten wieder kompensiert werden (Verhaltensadaptation), die Schwere möglicher Unfälle könnte auf Grund der höheren Geschwindigkeiten sogar noch zunehmen.

Wichtige Faktoren für die Bewertung der Sicherheit einer Straßenverkehrssituation und der Wirksamkeit von Sicherheitskenngrößen stellen die Verhaltenskenngrößen, die Kraftfahrzeuggeschwindigkeit sowie Bewegungslinien der Verkehrsteilnehmer dar (Spurtreue, räumliche und zeitliche Abstände). Die Kraftfahrzeuggeschwindigkeit spielt dabei einerseits bei der Sicherstellung der Homogenität von Verkehrsabläufen (durch die sich die Durchlaufkapazität von Verkehrswegen bestimmt) eine entscheidende Rolle, ist aber auch von entscheidender Bedeutung für die Unfallhäufigkeit und die Unfallschwere (der Bremsweg und die bei Zusam-

menstößen beteiligte kinetische Energie wachsen quadratisch mit der Geschwindigkeit).

Fahrverhalten und Geschwindigkeitswahl des Autofahrers hängen zusätzlich von der Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer ab. Darum ist wichtig, daß diese nicht aus seinem Blickfeld verschwinden und, zum Beispiel beim Abbiegen, plötzlich wieder auftauchen. Verschwenkte abgesetzte Radfahrwege und Fußgängerfurten tragen zur Gefährdung von Radfahrern und Fußgängern beim Überqueren einer Kreuzung bei.

### 6.1 Die Auswahl von situativen Sicherheitskenngrößen für die Projektarbeit

Für die Bestimmung situationsbezogener Sicherheitskenngrößen läßt sich auf der Grundlage des theoretischen Überblicks folgern:

1. Wirksame Sicherheitskenngrößen steuern das Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer durch direkte bauliche Maßnahmen (forcing functions); weniger wirksam aber effektiv sind unbewußt wirkende Maßnahmen; im Vergleich zu den anderen Maßnahmen läßt eine bewußte Verhaltenssteuerung relativ wenig Effekte für die Verkehrssicherheit erwarten. Eine unbewußt wirksame Verhaltenssteuerung entzieht sich einer Erfassung mit Hilfe einer Befragung der Verkehrsteilnehmer und ist nur über die Untersuchung von Verhaltensparametern festzustellen.
2. Situative Sicherheitskenngrößen können nicht (alleine) aufgrund physikalischer Merkmale bestimmt werden, sondern sind am Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer zu validieren, das heißt wiederum, daß im Rahmen der Projektarbeit vorrangig das Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer in Abhängigkeit von den situativen Gegebenheiten untersucht werden muß.
3. Die Kraftfahrzeuggeschwindigkeit ist ein entscheidender Faktor für die Beurteilung der Straßenverkehrssicherheit. Mit der Reduktion der Kraftfahrzeuggeschwindigkeiten erhöht sich die Straßenverkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmer. Ein wichtiger Untersuchungsgegenstand der Projektarbeit muß demnach die Steuerung der Kraftfahrzeuggeschwindigkeit in Abhängigkeit von Umgebungsparametern darstellen. Verkehrspsychologische Forschung und ingenieurwissenschaftliche und straßenbauliche Untersuchungen behandeln bisher hauptsächlich

lich Probleme der motorisierten Verkehrsteilnehmer. Die Themenstellung: „Bestimmung von situativen Sicherheitskenngrößen“ schließt auch das Straßenverkehrsverhalten der nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmer mit ein. Das Verhalten von Fußgängern und insbesondere von Kindern, als den schwächsten Verkehrsteilnehmern, soll neben dem Autofahrerverhalten ebenfalls Untersuchungsgegenstand der Projektarbeit sein. Die Wahrnehmung der Kraftfahrzeuggeschwindigkeit ist eine Variable, die ebenfalls das Fußgängerverhalten steuert.

4. Abgesetzte und verschwenkte Fahrradwege und Fußgängerfurten erhöhen die Gefährdung für Radfahrer und Fußgänger. Die Projektarbeit sollte ebenfalls eine Untersuchung der Radverkehrsführung bzw. der Fußgängerverkehrsführung mit einbeziehen.

## 6.2 Die Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen

Für die Entwicklung einer Methode zur kurzfristigen Validierung von Sicherheitskenngrößen ergibt sich an Folgerungen:

Die Hauptaufgabe der vorliegenden Projekts liegt in der Entwicklung einer Methode zur kurzzeitigen Validierung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen im Straßenverkehr, da ohne eine Validierungsmöglichkeit alle Überlegungen zur Bestimmung von Sicherheitskenngrößen spekulativer Natur bleiben müssen.

Das Unfallkriterium allein erscheint hierfür nicht geeignet. Unfälle sind nicht monokausal. Bei ihrer Entstehung ist eine Interaktion von unterschiedlichen (aktuellen und überdauernden Situations- und Personen-)Variablen beteiligt, die in besonderen, statistisch seltenen Fällen, Unfälle zur Folge haben. Infolgedessen sind zur Beurteilung von Gefährdungs- bzw. Sicherheitskennzeichen gerade die extremen, nicht „normalen“ Bedingungen oder individuellen Reaktionsfolgen von besonderem Interesse (Verkehrsregelübertretungen, Verkehrskonflikte), in denen die Interaktionen dieser vielfältigen Variablen zu Unfällen führen können. Zur experimentellen Manipulation insbesondere dieser, für die Entstehung von Unfällen entscheidenden extremen Bedingungen erscheinen Fahr- bzw. Straßenverkehrssimulationen besonders geeignet. Die Befragung von Verkehrsteilnehmern, zum Beispiel nach ihrer Einschätzung der Gefährlichkeit ei-

ner im Bild, bzw. Film dargebotenen Situation kann zwar hilfreich sein, erscheint als alleinige Methode zur Validierung von Sicherheitskenngrößen jedoch ungeeignet, da so nur die Erfassung von bewußten, verbal vermittelbaren und (gewöhnlich auch nur) von „erlaubten“, sozial akzeptierten Verhaltensweisen möglich ist.

Methoden, die von einer Beobachtung von Verkehrs(konflikt)situationen ausgehen (die Konzepte „Accident Surrogates“, „Positive Guidance“ und Behavior-Setting „Straße“) können zwar als Ausgangspunkte für eine situationspezifische Sicherheitsbewertung dienen, sind aber sehr zeit-, mittel- und personalaufwendig und in ihrer Interpretierbarkeit eingeschränkt.

Feldexperimente sind aussagefähige Verfahren für die Validierung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen. Sie verbinden ökologische Validität mit der Objektivität einer experimentellen Vorgehensweise haben aber den Nachteil, sehr aufwendig und nicht für gefährliche Situationen geeignet zu sein.

Laborexperimente schließen anders als Feldexperimente potentielle Gefährdungen von Verkehrsteilnehmern auch in solchen Grenzsituationen aus, denen für die Untersuchung von Sicherheitskriterien besondere Bedeutung zukommt. Sie genügen den methodischen Ansprüchen der Objektivität, Reliabilität und exakten Wiederholbarkeit und ermöglichen einen Vergleich unterschiedlicher (Alters)gruppen. Ein Nachteil von Laborexperimenten ist, daß die Generalisierbarkeit der Daten auf reale Situationen nicht ohne weiteres gegeben ist und einer besonderen Prüfung bedarf.

Simulatorstudien bieten alle Vorteile eines Laborexperiments und erlauben die Untersuchung auch von gefährlichen Grenzsituationen, ohne daß Sicherheitsprobleme auftreten. Sie erfordern eine genaue Prüfung, inwieweit sich die mit Hilfe des Simulators gewonnenen Daten auf die reale Fahr-situation übertragen lassen. Dies erfolgt in zusätzlichen Evaluationsstudien.

### Zur Methodik von Evaluationsstudien

Die im Rahmen des Projekts entwickelten Anlagen für die laborexperimentelle Untersuchung von Sicherheitskennzeichen bedürfen insofern einer Evaluation, als festgestellt werden muß, wie stark die verwendete Methode (Fahrstands-simulation) das Verhalten der Versuchspersonen determiniert. Eine

solche Evaluation setzt den Vergleich des Verhaltens von Versuchspersonen in der Simulation mit einem entsprechenden Verhalten in realen Verkehrssituationen voraus.

Im Gegensatz zur Evaluation von klassischen Testverfahren, die ja durchaus als Sonderfall labor-experimenteller Forschung anzusehen sind, ergibt sich für die Evaluation des Fahrstandes eine grundsätzliche methodische Schwierigkeit, weil Fahrverhalten ein dynamisches Geschehen ist, das als Sequenz von Ereignissen erinnert wird und damit prinzipiell zu einer Inflation des Korrelationskoeffizienten oder aber zu einem Deckeneffekt führen muß. Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, bietet sich für die vorliegende Fragestellung eine varianzanalytische Untersuchung an, in der die folgenden einfachen Faktoren sowie ihre Wechselwirkungen untersucht werden: Versuchspersonen, Versuchssituationen und Methoden (Feldexperiment vs. Laborexperiment). Das varianzanalytische Verfahren hat gegenüber dem korrelationsstatistischen den Vorteil, daß einerseits alle Faktoren und Wechselwirkungen einzeln untersucht werden können und andererseits der Methodeneffekt, d.h. die Beeinträchtigung der Aussagefähigkeit des Laborexperiments durch die Überprüfung der aufgeklärten Varianz folgendermaßen bestimmt werden kann:

$$1 - \text{Methodenvarianz} \\ (\text{Gesamtvarianz} - \text{Fehlervarianz})$$

Man kann diese Bestimmung des Methodeneffekts noch weiter verfeinern, wenn Wechselwirkungen mit dem Faktor „Methoden“ auftreten. Der Methodeneffekt entspricht dem Verlust an Validität beim Übergang vom Feldversuch zum Laborexperiment.

Die verwendete Versuchsmethodik erlaubt allerdings auch darüber hinaus die Bestimmung der Regression der Ergebnisse des Feldversuchs auf die Ergebnisse der Laboruntersuchung, da identifizierbare Situationen als Merkmalsträger in beiden Versuchen eindeutig zugeordnet werden können. Entsprechend den vorliegenden Untersuchungen zur Reliabilität der individuen-bezogenen Variablen im Straßenverkehr eignen sich die Versuchspersonen hier nicht als Merkmalsträger, sondern wie in der Arbeitspsychologie allgemein üblich die identifizierbaren Arbeitssituationen, die hier den Situationen im Feld- bzw. Laborversuch entsprechen.

### 6.3 Folgerungen für die exemplarische experimentelle Prüfung von situativen Sicherheitskenngrößen

Für die exemplarische experimentelle Prüfung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen wird die methodisch anspruchsvolle experimentelle Vorgehensweise gewählt.

Die Bestimmung bzw. Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen wird mit Hilfe der Fahrsimulation in einem Fahrstand bzw. der Straßenverkehrssimulation für Fußgänger beim Überqueren der Fahrbahn untersucht. Damit wird das tatsächliche Verhalten der Verkehrsteilnehmer in realitätsnahen Situationen erfaßt, es werden also auch nicht bewußt erfolgte und verbal nicht vermittelbare Reaktionen berücksichtigt. Auch risikoreiche, potentiell gefährliche Situationen können gefahrlos untersucht und unterschiedliche (Alters-) Gruppen von Verkehrsteilnehmern in die Untersuchungen mit einbezogen werden.

Verhaltenskenngrößen der Verkehrsteilnehmer (z.B. das Geschwindigkeitsverhalten der Kraftfahrzeugführer und das Querungsverhalten der Fußgänger) können dann als Indikatoren dafür dienen, ob und wie bauliche Gestaltungsmerkmale und situative Bedingungen Verhaltensweisen der Straßenverkehrsteilnehmer induzieren oder modifizieren.

Die vorgestellte experimentelle Vorgehensweise erfordert für die Untersuchung des Fußgängerverhaltens den Aufbau einer realitätsnahen Fußgängersituation, für die Untersuchung des Fahrverhaltens von Kraftfahrzeugführern die Installation eines Fahrsimulators.

Die jeweiligen Experimentalsituationen sollen den realen Verkehrssituationen möglichst stark angenähert werden. Um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu prüfen, sollen die Experimentalsituationen durch einen Vergleich mit den entsprechenden realen Verkehrssituationen validiert werden.

Die experimentelle Prüfung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen kann im Rahmen des Projekts nur an ausgewählten Beispielen erfolgen. Die geleistete Vorarbeit beim Aufbau der Laborsituationen erlaubt dann aber auch eine weitere Bearbeitung der Themenstellung mit einem verhältnismäßig geringem Aufwand.

Als entscheidende situative Sicherheitskenngrößen sind die baulichen Gestaltungsmerkmale und aktu-

ellen Straßenverkehrsbedingungen anzusehen, die die in der Situation gefahrenen Kraftfahrzeuggeschwindigkeiten das Brems- bzw. Beschleunigungsverhalten direkt induzieren oder in Richtung auf die gewünschte Geschwindigkeit modifizieren. Schwerpunkt der experimentellen Prüfung sollen demzufolge Gestaltungsmerkmale sein, die Änderungen der gefahrenen Geschwindigkeiten induzieren. Die von Experten und Unfallstatistiken her als unfallträchtig ausgewiesenen Radverkehrsführungen sollen in die Untersuchung einbezogen werden. Die Fahrergruppen der jungen Erwachsenen (Führerscheinneulinge) und der Senioren sollten insbesondere an der Untersuchung teilnehmen, da sich das Fahrverhalten dieser Personengruppen von Fahrverhalten der Erwachsenen mittleren Alters in Bezug auf zum Beispiel Risikoverhalten oder Fahrdefizite unterscheiden kann.

Mit ansteigenden Kraftfahrzeuggeschwindigkeiten wächst die Gefährdung der Fußgänger; einmal aufgrund der physikalischen Gegebenheiten (Bremsweg und Kollisionsenergie steigen quadratisch an), aber auch weil höhere und heterogene Geschwindigkeiten die Einschätzung der Schnelligkeit erschwert, mit der sich ein Fahrzeug nähert. In einer experimentellen Untersuchung soll das Verhalten von Fußgängern beim Überqueren der Fahrbahn in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit sich nähernder Fahrzeuge untersucht werden. Es erscheint sinnvoll, nicht nur „normale“ Erwachsene, sondern insbesondere auch die am meisten gefährdeten Verkehrsteilnehmer, nämlich Kinder, in eine solche Untersuchung mit einzubeziehen.

Die Validität der im Rahmen des Projekts entwickelten Anlage für die laborexperimentelle Untersuchung von Sicherheitskennzeichen wird in einer zusätzlichen Evaluationsstudie geprüft.

## Teil II: Experimentelle Untersuchungen (Zusammenfassung)

### 1 Sicherheitskenngrößen für die Führung des Radverkehrs an Kreuzungen

Mit dem Experiment werden straßenbauliche Gestaltungsmerkmale von Radverkehrsführungen in ihrer Auswirkung auf das Fahrverhalten von Kraftfahrzeugführern und damit auf die Sicherheit von Radfahrern untersucht. Verglichen werden dabei Anfahrt und Rechtsabbiegen an drei Kreuzungen mit unterschiedlich gestalteten Radverkehrsführungen.

- Variante A:  
Die Anfahrt an eine Kreuzung mit Lichtsignalanlage mit nicht abgesetztem, rot eingefärbtem Radfahrstreifen mit Blockmarkierung im Kreuzungsbereich und unterbrochener Schmalstrichmarkierung ab ca. 100 m vor der Kreuzung.
- Variante B:  
Die Anfahrt an eine Kreuzung mit Lichtsignalanlage mit nicht abgesetzter, nicht eingefärbter Radfahrertfur bei Schmalstrichmarkierung.
- Variante C:  
Die Anfahrt auf einer freien Rechtsabbiegerfahrbahn mit vorfahrtsberechtigter, abgesetzter und rot eingefärbter Radfahrertfur mit Blockmarkierung (vgl. Bild 18)

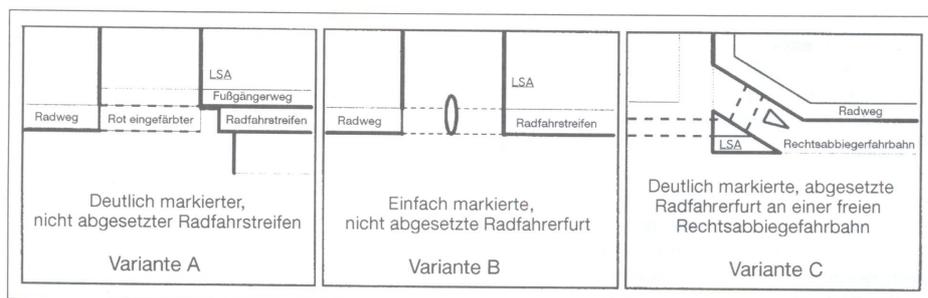


Bild 18: Die verglichenen Radverkehrsanlagen



## 2.2 Ergebnisse zum Fußgängerverhalten

Die Ergebnisse zeigen für alle Experimente (Labor- und Realsituation, 2-D- und 3-D-Videopräsentation, Kinder und Erwachsene) den gleichen Zusammenhang zwischen den im Experiment kontrollierten Variablen „Fahrzeugart“ und „Geschwindigkeit“ und den gewählten Zeitlücken. Die Zeitlücken werden mit zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit kleiner, die Zeitlücken sind jeweils für die Fahrzeugart „Auto“ am größten, für die Fahrzeugart „Fahrrad“ am kleinsten. Das heißt, die Gefährdung der Fußgänger beim Überqueren der Fahrbahn erhöht sich mit der Geschwindigkeit des Straßenverkehrs. Dies gilt nicht nur aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten, sondern, wie die experimentellen Ergebnisse zeigen, auch aufgrund der Grenzen der menschlichen Wahrnehmung: Ab etwa 30 km/h können Fahrzeuggeschwindigkeiten nicht mehr adäquat eingeschätzt werden, sondern werden immer stärker unterschätzt.

Zwischen der 3-D- und der 2-D-Videodarbietung des Experiments sind keine signifikanten Unterschiede in den Ergebnissen feststellbar. Wie der Vergleich der Mittelwerte der Zeitlücken aber zeigt, liegen die Ergebnisse der 3-D-Variante der Tendenz nach, wenn auch nicht statistisch signifikant, noch etwas näher an den Ergebnissen der Realsituation als die Ergebnisse der 2-D-Variante.

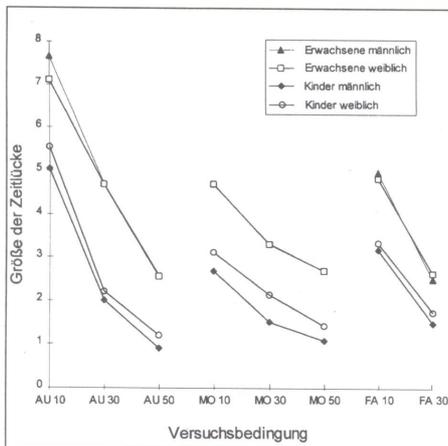


Bild 20: Graphische Darstellung der Mittelwerte der Zeitlücken (Straße kann nicht mehr sicher überquert werden) pro Bedingung (AU: Auto, MO: Motorrad, FA: Fahrrad)

Wie oben ausgeführt reagieren Kinder und Erwachsene tendenziell in gleicher Weise, jedoch zeigen varianzanalytische Berechnungen bedeutsame Unterschiede zwischen den Größen der Zeitlücken für beide Versuchspersonengruppen: In allen Versuchsbedingungen treten bei den Kindern deutlich kleinere Zeitlücken auf als bei den Erwachsenen. Dieses Ergebnis weist darauf hin, daß Kinder noch weniger als Erwachsene in der Lage sind, die Geschwindigkeit von Fahrzeugen adäquat einzuschätzen. Da die Sicherheit beim Überqueren der Fahrbahn aber von der adäquaten Einschätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt, sind Kinder als Fußgänger besonders gefährdet (vgl. Bild 20).

## 2.3 Validierung der Experimentalsituation für Fußgänger

Zur Validierung der Laborsituation wurde ein experimenteller Vergleich des Fußgängerverhaltens in der Laborsituation mit der entsprechenden Realsituation vorgenommen. In der Realsituation stand die Versuchsperson am Straßenrand und beobachtete die drei vorbeifahrenden Versuchsfahrzeuge, dabei blieb die Instruktion dieselbe wie in der Laborsituation.

Eine Gegenüberstellung der Daten aus beiden Versuchssituationen - Real- und Laborsituation - zeigt, daß sich die Struktur der Daten in hohem Maße ähnelt: Die Rangordnung der einzelnen Zeitlückenmittelwerte für verschiedene Geschwindigkeiten und Fahrzeugarten ist in beiden Fällen fast identisch. Die durchgeführten varianzanalytischen Verfahren erbringen den Nachweis, daß das Verhalten der Versuchspersonen in beiden Situationen der Tendenz nach in gleicher Weise von der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Fahrzeugart abhängig ist, denn sowohl an der Straße wie auch im Labor nimmt die Größe der Zeitlücken mit steigender Fahrzeuggeschwindigkeit ab, dabei sind für die Fahrzeugart Auto die Zeitlücken bei jeder Geschwindigkeitsstufe jeweils am größten. Der Mittelwert aller Zeitlücken ist in beiden Versuchssituationen identisch, die Spannweiten sehr ähnlich (vgl. Bild 21).

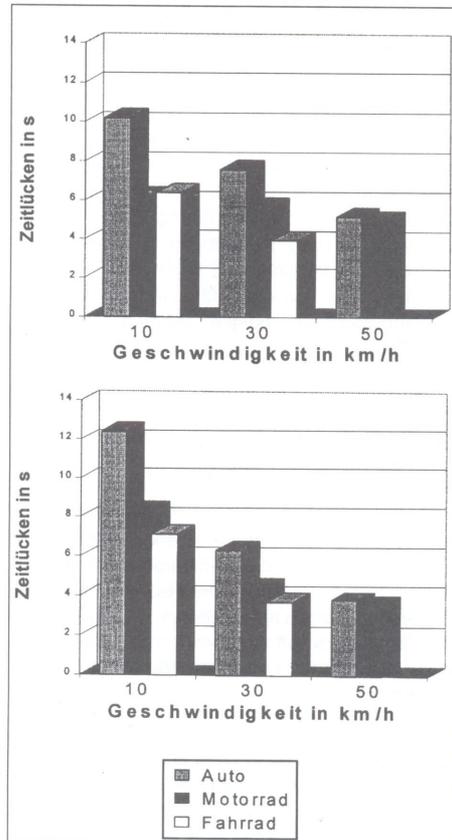


Bild 21: Graphische Darstellung der Mittelwerte der Zeitlücken (Straße kann gerade noch sicher überquert werden) aus beiden Versuchssituationen (oben: Realsituation, unten Laborsituation)

### 3 Sicherheitskenngrößen für das Fahrverhalten von jüngeren und älteren Kraftfahrzeugführern

Dieses Experiment dient der Untersuchung des Fahrverhaltens von Kraftfahrzeugführern in Abhängigkeit von Gestaltungsmerkmalen der jeweiligen Straßenverkehrssituation. Schwerpunktmäßig wird der Einfluß von Gestaltungsmerkmalen, insbesondere auch von Maßnahmen zur Geschwindigkeitsreduktion, auf die Fahrgeschwindigkeiten und das Bremsverhalten festgestellt.

Vorliegende Befunde weisen darauf hin, daß sich die Gruppen der jüngeren und älteren Autofahrer durch unterschiedliche Fahrstile und Fahrfehler charakterisieren lassen. Daher wurde im Experiment das Fahrverhalten von drei unterschiedlichen Altersgruppen verglichen (jüngere Autofahrer und Führerscheinneulinge (18-29 Jahre), Autofahrer mittleren Alters (30-54 Jahre) und ältere Autofahrer (55-78 Jahre)).

#### 3.1 Experimentalsituation und Durchführung

Die 66 Versuchspersonen „durchfahren“ im Simulator eine Fahrstrecke mit verschiedenen Verkehrssituationen, die mit Hilfe einer Großbildvideoprojektion dargeboten werden. Die Unterschiede in den Situationen bestanden zum einen in der straßenbaulichen Gestaltung: Straßenbreite, Fahrbahnversatz, Fahrbahnteiler, Grüninseln, Aufpflasterung, Schwellen, Markierungen, Beschilderung, unterschiedliche Randbebauung, der Wechsel von freiem Feld zu Bebauung oder Bepflanzung) und zum anderen in situativen statischen (Beparkung, Baustelle) und dynamischen (Gegen- und Querverkehr, Radfahrer, Fußgänger) Kennzeichen der Verkehrsszenen.

Die Versuchspersonen konnten mit der Bedienung des Gas- und Bremspedals die Abspielgeschwindigkeit des Videofilms und damit die wahrgenommene „Fahrgeschwindigkeit“ regulieren. Die Versuchspersonen wurden instruiert, so zu fahren, wie sie dies in den entsprechenden Realsituationen auch tun würden. Anhand einer Zeitkodierung des Videos lassen sich die Verhaltensdaten der Versuchspersonen genau den entsprechenden Straßenverkehrsszenen zuordnen (vgl. Bild 22).

#### 3.2 Ergebnisse zum Fahrverhalten von Kraftfahrzeugführern

Es wird ein deutlicher Einfluß der Gestaltungsmerkmale der durchfahrenen Straßenverkehrssituationen auf die gewählten Fahrgeschwindigkeiten sichtbar. Geschwindigkeitsreduzierend wirken statische Gestaltungsmerkmale wie Fahrbahnverengungen und Versätze, aber auch rein optische Verengungen der Fahrbahn. Ebenfalls zeigen Kraftfahrer sowohl bei der Feld- wie auch bei der Simulatorfahrt eine deutliche Bremsbereitschaft vor Bodenschwellen, deren Nichtbeachtung sie vor allem



Bild 22: Fahrstand

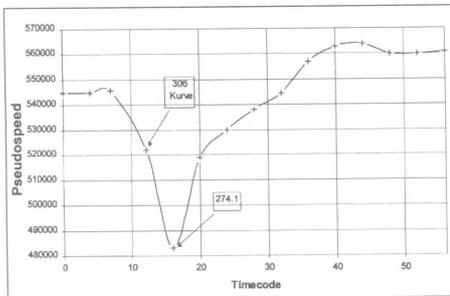


Bild 23: Durchschnittliche Pseudo-(Simulator)Geschwindigkeit von Situation 6

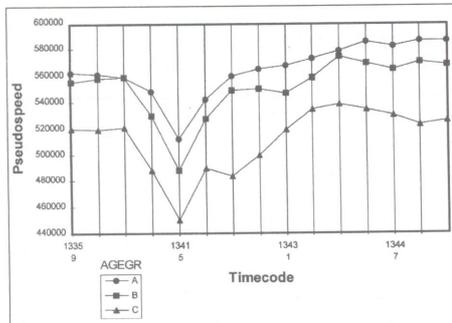


Bild 24: Durchschnittliche Pseudo-(Simulator)Geschwindigkeit von Situation 6 (A: 18-29 Jahre, B: 30-54 Jahre, C: 55-78 Jahre)

selbst schädigen würde. Dagegen werden regulative Maßnahmen (Beschilderung) nur sehr kurzzeitig wirksam, nach einer vorübergehenden Verlangsamung vor dem Passieren des Verkehrszeichens wird anschließend sogar tendenziell schneller gefahren als vor der Maßnahme. Darüber hinaus wer-

den Angaben von Höchstgeschwindigkeiten anscheinend von vielen Autofahrern als Sollvorgaben für die Mindestgeschwindigkeiten interpretiert, dementsprechend werden sie häufig überschritten. Dynamische Merkmale der Straßenverkehrssituation (z.B. das Auftreten von Fahrradfahrern) üben einen unmittelbaren Einfluß auf das Fahrverhalten aus (vgl. Bild 23).

Die Fahrgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Altersgruppen weisen deutliche Unterschiede auf. Die älteren Autofahrer „fahren“ im Durchschnitt in allen Situationen langsamer als jüngere Autofahrer und Autofahrer mittleren Alters, die jüngeren Autofahrer „durchfahren“ alle Situationen mit höherer Geschwindigkeit als die Fahrer der anderen Altersgruppen. Besonders einige der jüngeren Autofahrer fallen durch extrem hohe Geschwindigkeiten auf (vgl. Bild 24).

### 3.3 Experimentelle Validierung des Fahrsimulators

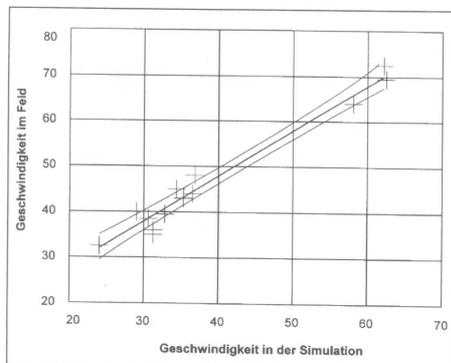
In einem weiteren Experiment wurde untersucht, ob das Fahrverhalten im Fahrsimulator dem Fahrverhalten in der Realsituation vergleichbar ist. Dabei haben 52 Versuchspersonen eine reale Verkehrsstrecke in einem Versuchsfahrzeug und dieselbe Route im Fahrsimulator durchfahren. Die Hälfte der Teilnehmer hatte die zusätzliche Fahraufgabe, einzelne Streckenbereiche mit konstanter Geschwindigkeit zu durchfahren. Gemessen werden die Betätigung von Gas- und Bremspedal sowie die positive und negative Beschleunigung in Abhängigkeit von der jeweiligen Straßenverkehrssituation (Merkmale der Straße, Bebauung, Beschilderung etc.).

Hauptergebnis des Experiments ist, daß die positiven und negativen Beschleunigungswerte für die Feld- und die Simulatorfahrt nahezu perfekt übereinstimmen. Die Fahraufgabe, mit konstanter Geschwindigkeit zu fahren, führt in der Feld- wie auch in der Simulatorfahrt gleichermaßen zu einer langsameren und konstanteren Fahrweise. Die Geschwindigkeitsmittelwerte aller Versuchspersonen in den jeweiligen Verkehrssituationen korrelieren für die Feld- und die Simulatorfahrt mit  $r = .98$ .

Die Abbildung der Mittelwerte der Feld- und der Simulatorgeschwindigkeit zeigt, wie gut das durch die 13 Situationen der Validierungsstudie induzierte Fahrverhalten in Feld- und Fahrstandsituation übereinstimmt. Besonders wichtig ist, daß die Da-

ten keinerlei Hinweis auf Abweichung von der Linearität der Regression liefern, dies zusammen mit der Steigung von 1 zeigt, daß die Geschwindigkeitsregulation in der Laborsituation verglichen werden kann; der „Tunneleffekt“ der Laborsituation bedingt lediglich die additive Konstante von ca. 6 km/h (vgl. Bild 25).

Der bestehende Unterschied in der absoluten Höhe der jeweiligen Geschwindigkeitsniveaus kann für weitere Experimente durch entsprechende Justierung des Fahrsimulators behoben werden. Die Befragung der Versuchspersonen ergab darüber hinaus, daß die Simulatorfahrt als realitätsnah erlebt wurde.



**Bild 25:** Situations-Mittelwerte der Fahrgeschwindigkeiten über alle 51 Versuchspersonen  
(Feldgeschw. =  $6.4796 + 1.0231 \cdot \text{Simulatorgeschw.}$   
PEARSONs Correlation:  $R = .98180$ )

### Teil III: Diskussion der Projektergebnisse und Ausblick

#### 1 Diskussion der Projektergebnisse

##### 1.1 Sammlung, Kategorisierung und Bewertung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen

Die Bearbeitung der Themenstellung des Projekts orientierte sich an drei Arbeitsschwerpunkten:

- Der Sammlung, Kategorisierung und Bewertung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen unter Einbeziehung unterschiedlicher Personengruppen von Verkehrsteilnehmern;
- der Entwicklung und Prüfung einer Methode zur schnellen Bestimmung und Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen;
- der exemplarischen experimentellen Prüfung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen an ausgewählten Beispielen.

Unter „situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen“ werden im Rahmen der Fragestellung des Projekts Gegebenheiten verstanden, die in Ergänzung zum Unfallkriterium auch kurzfristige situationsspezifische Sicherheitsbeurteilungen für konkrete Straßenverkehrssituationen erlauben. Zur Situation gehören dabei sowohl bauliche Gestaltungsmerkmale (z.B. Randbebauung, Straßenbreite und Radverkehrsführung), als auch Merkmale des Verkehrsgeschehens (z.B. die von anderen Kraftfahrzeugen gefahrenen Geschwindigkeiten). Untersuchungsgegenstand ist die Analyse der Interaktion des jeweiligen Verkehrsteilnehmers (Kraftfahrzeugführer oder Fußgänger) mit seiner Umwelt und das resultierende Verhalten in der konkreten Straßenverkehrssituation.

Für die Sammlung, Kategorisierung und Bewertung von situativen Sicherheitskenngrößen kann ausgegangen werden von Konzepten und Modellen zum Straßenverkehrsverhalten, Handlungs- und Fehlermodellen, wahrnehmungspsychologischen Ergebnissen, Untersuchungen zur Auswirkung straßenbaulicher Gestaltungsmerkmale auf die objektive und subjektive Verkehrssicherheit, der Analyse von Unfalldaten und der Ergebnisse von Expertenbefragungen.

Insgesamt lassen sich situative Sicherheitskenngrößen sinnvollerweise danach kategorisieren und bewerten, in welcher Weise sie das Verhalten der Verkehrsteilnehmer induzieren und steuern. Sie können nicht (ausschließlich) aufgrund physikalischer Merkmale bestimmt werden, da die bauliche Gestaltung des Straßenverkehrsraumes anhand von entwurfstechnischen Größen nicht immer und automatisch zu größerer Straßenverkehrssicherheit führt. Am stärksten verhaltenswirksame Sicherheitskenngrößen sind solche straßenbauliche Gestaltungsmerkmale, die das Verhalten der Verkehrsteilnehmer durch direkte bauliche Maßnahmen (forcing functions) beeinflussen, so daß regelwidrige bzw. potentiell gefährliche Fahrmanöver gar nicht erst zugelassen oder zumindest stark reduziert werden. Zum Beispiel verhindern Fahrraumtrennungen ein Zusammenstoßen mit dem Gegenverkehr und Verkehrskreisel sind bewiesenermaßen weniger unfallträchtig als Kreuzungen. Auch wenn nicht automatisch nur „richtige“ Fahrmanöver zugelassen werden, werden für alle Autofahrer die annähernd gleichen, sicheren und (auch für andere Verkehrsteilnehmer) voraussagbaren Fahrmanöver induziert.

Weniger wirksam als bauliche Maßnahmen zur direkten (und bestenfalls nicht zu umgehenden) Steuerung des Fahrverhaltens sind Maßnahmen, die zu einer unbewußt erfolgenden Verhaltensänderung führen. Dies kann zum Beispiel durch eine „optische Bremse“, die „optische Verengung“ einer Straße oder die Gestaltung der Fahrbahnränder zur Veränderung der wahrgenommenen Winkelgeschwindigkeiten realisiert werden. Wie bei den „forcing functions“ ist der kognitive Verarbeitungsaufwand für den Fahrer geringer als bei bewußt zu verarbeitenden Maßnahmen, es tritt weniger „Vergessen“, „Adaptation“ bzw. „Risikohomöostase“ auf, die Akzeptanz durch die Verkehrsteilnehmer ist größer.

Am wenigsten wirksam sind die Maßnahmen, die durch symbolische, bewußt zu verarbeitende Information Verhaltensänderungen erreichen sollen, z.B. Verkehrsschilder oder abstrakte Regeln wie StVO §1, da hier die zu verarbeitende Informationsmenge und damit der kognitive Aufwand am größten sind und in manchen Fällen die Aufnahme- bzw. Verarbeitungskapazität des Kraftfahrzeugführers überschritten werden kann (z.B. bei Darbietung von mehreren Schildern gleichzeitig oder kurz nacheinander). Unaufmerksamkeit oder Ablenkung des Fahrers kann dazu führen, daß die Maßnahmen

nicht wirksam werden; ebenso sind „Vergessen“ der für eine bestimmte Wegstrecke geltenden Regelung, sowie „Adaptation“ und „Risikohomöostase“ möglich. Die Maßnahmen werden zudem nicht von allen Verkehrsteilnehmern im gleichen Maße beachtet, eine Homogenisierung und Voraussagbarkeit des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer ist daher nur in eingeschränktem Maß möglich. Außerdem sind die Maßnahmen nicht immer unbedingt einsichtig und werden demzufolge auch nicht durchgängig befolgt. Gegen Regeln, die der Fahrer bewußt beachten muß, wird auch am ehesten bewußt verstoßen werden, wenn dies für den Fahrer einen Vorteil bringt (z.B. Zeitgewinn). Daher muß derart beeinflusstes Fahrverhalten in der Regel überwacht werden, um einen allgemeinen Grad der Beachtung zu erreichen.

Neben den dargestellten unterschiedlichen Modi für die Gestaltung verhaltensbestimmender Information ist für Fahrverhalten und Geschwindigkeitswahl bedeutsam, daß andere Verkehrsteilnehmer nicht aus dem Blickfeld des Autofahrers verschwinden und dann zum Beispiel beim Abbiegen plötzlich wieder auftauchen. Verschwente und abgesetzte Radfahrwege und Fußgängerfurten tragen zur Gefährdung von Radfahrern und Fußgängern beim Überqueren einer Kreuzung bei.

Durch situative Sicherheitskenngrößen induziertes und gesteuertes Verhalten, bzw. durch Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bewirkte Verhaltensänderungen lassen sich in ihrer Auswirkung auf die Homogenität der Verkehrsabläufe und die gefahrenen Geschwindigkeiten prüfen. Wichtigster Parameter zur Bestimmung der Straßenverkehrssicherheit ist die Fahrgeschwindigkeit. Daher sollten bei der Bestimmung von Sicherheitskenngrößen solche Merkmale der baulichen Gestaltung bzw. des Verkehrsgeschehens mit erster Priorität geprüft werden, die geeignet erscheinen, die eigene und fremde Fahrgeschwindigkeiten adäquat einschätzen zu können und die eigene Geschwindigkeit den äußeren Umständen optimal anzupassen. Für die Erhöhung der Sicherheit ist es sinnvoll, die gefahrenen Geschwindigkeiten nicht nur punktuell zu senken, sondern möglichst andauernde Effekte zu erzielen. Geschwindigkeiten richtig einschätzen zu können, ist dabei nicht nur für die Sicherheit des Kraftfahrzeugführers selber, sondern auch für alle anderen Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer) von entscheidender Bedeutung.

## 1.2 Entwicklung und Prüfung einer Methode zur Bestimmung und Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen

Die Aufgabenstellung des Projekts beinhaltet neben der theoretischen Kategorisierung und Bewertung die Entwicklung einer Methode zur objektiven und reliablen Bestimmung und Validierung von Sicherheitskenngrößen. Vorliegende Ansätze zur Validierung der Sicherheit bzw. Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen orientieren sich hauptsächlich am Unfallkriterium, daneben an Verhaltenskennzeichen, die zur Gefährungsdiagnose von Situationen herangezogen werden, sowie an Befragungsdaten oder an experimentellen Ergebnissen.

Die kritische Prüfung dieser Ansätze läßt sich dahingehend zusammenfassen, daß Unfalldaten für sich genommen (auf denen die meisten Untersuchungen zur Straßenverkehrssicherheit beruhen) nur bedingt geeignet sind, um Aussagen über die Sicherheit bzw. Gefährlichkeit einer Straßenverkehrssituation zu machen, da Unfälle nur den einen Endpunkt eines Kontinuums darstellen, das sich vom Unfall über Beinahe-Unfälle, Verkehrskonflikte und Verkehrsverstöße bis zum anderen Ende, dem Normalverhalten erstreckt. Zur Validierung von Sicherheitskenngrößen erscheint es daher sinnvoll, sichere bzw. gefährliche Fahrmanöver zu erfassen und in die Untersuchung einzubeziehen.

Derartige Verhaltenskennzeichen stellen wichtige Parameter für die Beurteilung der Sicherheit von Straßenverkehrssituationen dar. Sichere Situationen sind konkret vor allem durch die Homogenität der Verkehrsabläufe und geringe Kollisionsgeschwindigkeiten für den Fall eines Unfalls charakterisiert.

Situationsbezogene Gefährungsdiagnosen können mithilfe der Verkehrskonflikttechnik, sowie von Konzepten wie z.B. „Accident Surrogates“, „Positive Guidance“ oder „Behavior-Setting Straße“ vorgenommen werden. Während die entsprechenden Erhebungen als sinnvoller Ausgangspunkt einer situationsspezifischen Sicherheitsbewertung angesehen werden können, liegt ihr Nachteil vor allem im großen Untersuchungsaufwand.

Die mit vergleichsweise geringem Aufwand erhebbaren Befragungs- und Interviewdaten sind zwar hilfreich für die Erfassung des subjektiven Sicherheitsgefühls der Verkehrsteilnehmer, als alleinige

Methode zur Prüfung der Sicherheit einer Straßenverkehrssituation aber nicht geeignet, da die subjektive Sicherheit in vielen Fällen nicht der objektiven Sicherheit entspricht. Außerdem können nur Reaktionen erfaßt werden, die in Worte gefaßt werden können, was nicht unbedingt dem tatsächlichen Verhalten im Straßenverkehr entspricht, sondern nur dem, was bewußt konstruiert werden kann.

Eine experimentelle, verhaltensbezogene Validierung der Straßenverkehrssicherheit kann in Feld- oder Laborexperimenten vorgenommen werden, wobei die experimentelle Untersuchung in der realen Situation den Vorteil ökologischer Validität mit dem Vorteil der Objektivität verbindet. Nachteilig sind der große Aufwand und mögliche Sicherheitsprobleme. Laborexperimente schließen dagegen eine Gefährdung der Teilnehmer aus und genügen in hohem Ausmaß den methodischen Ansprüchen an Objektivität und Reliabilität, während die ökologische Validität, d.h. die Generalisierbarkeit der Ergebnisse auf reale Verkehrssituationen nicht automatisch gegeben ist, sondern zusätzlich nachgewiesen werden muß.

Ausgehend von der theoretischen Prüfung der vorliegenden Ansätze kann für die Themenstellung des Projekts gefolgert werden, daß Laborexperimente als Methode zur Bestimmung und Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen besonders geeignet sind, da sie zum einen den Kriterien wissenschaftlichen Experimentierens, nämlich Objektivität, Reliabilität und exakter Wiederholbarkeit genügen, darüber hinaus den Vergleich unterschiedlicher (Alters)gruppen ermöglichen sowie endlich auch die Einbeziehung potentiell gefährlicher Situationen ohne die reale Gefährdung von Versuchsteilnehmern erlauben. Zeit-, Mittel- und Personalaufwand sind geringer als bei Methoden, die von einer Beobachtung von Verkehrs(konflikt)situationen ausgehen. Eine laborexperimentelle Vorgehensweise macht es aber zusätzlich erforderlich, daß die Generalisierbarkeit der experimentellen Daten in zusätzlichen Evaluationsstudien nachgewiesen werden muß. Zudem ist eine zusätzliche Befragung der Versuchsteilnehmer empfehlenswert, um herauszufinden, ob sie versuchsspezifische und damit nicht verallgemeinerbare Bewältigungsstrategien entwickelt haben.

Als Methode für die Bestimmung und Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen wird daher eine experimentelle Vorgehensweise verbunden

mit einer zusätzlichen Befragung der Versuchsteilnehmer gewählt. Einbezogen in die Experimente werden Kraftfahrer und Fußgänger verschiedener Altersstufen: Das Fahrverhalten wird für drei Altersstufen (18-29, 30-54 und ab 55 Jahre) erfaßt, das Fußgängerverhalten für Kinder und Erwachsene.

#### 1.2.1 Experimental-Situation für Fußgänger

Wie das in der Literatur vorliegende Datenmaterial zeigt, sind Fußgänger beim Überqueren der Fahrbahn besonders gefährdet. Als Grundlage für die Bestimmung von situativen Sicherheitskenngrößen für Fußgänger empfiehlt sich daher schwerpunktmäßig von einer Untersuchung des Querungsverhaltens auszugehen.

Um das Verhalten beim Überqueren der Fahrbahn in Abhängigkeit vom Kraftfahrzeugverkehr erfassen zu können, ist eine realitätsnahe Fußgängersituation aufgebaut worden. Die Versuchsperson sieht dabei auf einem Bildschirm mehrere aus der Position eines am Fahrbahnrand stehenden Fußgängers gefilmte Fahrzeuge, die sich wiederholt nacheinander mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten nähern. Durch einen Schritt nach vorne bzw. nach hinten soll angegeben werden, zu welchem Zeitpunkt man die Fahrbahn gerade noch vor dem sich nähernden Fahrzeug überqueren bzw. nicht mehr überqueren könnte. Diese Versuchsanordnung erlaubt es, das Querungsverhalten der Fußgänger in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit sich nähernder Fahrzeuge zu erfassen.

#### 1.2.2 Experimental-Situation für Kraftfahrzeugführer

Wie ausgeführt, sind als situative Sicherheitskenngrößen für Kraftfahrzeugführer solche Gestaltungsmerkmale von primärer Bedeutung, die das Geschwindigkeitsverhalten induzieren und modifizieren.

Für die Untersuchung des Fahrverhaltens von Kraftfahrzeugführern ist daher insbesondere die Erfassung der Geschwindigkeitsregulation in Abhängigkeit von der Verkehrssituation von Bedeutung. Demgemäß ist der Fahrstand vor allem für die Erfassung des Geschwindigkeitsverhaltens (Längsstabilität) konzipiert worden, die für die Erfassung der Querstabilität wichtigen Lenkbewegungen bzw. das Spurverhalten werden z.Z. aus technischen Gründen noch nicht registriert, sollten aber für Nachfolgeexperimente einbezogen werden. Für die experimentelle Bestimmung von Sicherheitskenn-

größen für die Radverkehrsführung ist ein Teilsimulator der Fahraufgabe, für die folgenden Experimente ein umfassend ergänzter Fahrsimulator installiert worden.

#### 1.2.3 Validierung der Experimental-Situationen

Die jeweiligen Experimentalsituationen sind den realen Verkehrssituationen möglichst stark angenähert. Um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu prüfen, bzw. die Experimentalsituationen zu validieren, sind zusätzliche Experimente in den entsprechenden realen Verkehrssituationen (Feldexperimente) durchgeführt worden; dabei sind Generalisierbarkeit bzw. Validität dann gegeben, wenn analoge Situationen bzw. Bedingungen im Feld und im Labor analoges Verhalten induzieren. Zur Validierung der Experimental-Situation für Fußgänger ist das gleiche Verhalten im realen Verkehrsumfeld erhoben worden. Der Vergleich der Ergebnisse von Labor- und Feldexperiment zeigt, daß sich die Struktur der Daten in hohem Maße ähnelt und die Zeitlückenmittelwerte für die verschiedenen Geschwindigkeiten und Fahrzeugarten fast identisch sind. Die Laborsituation zur Untersuchung des Querungsverhaltens kann somit als hinreichend validiert angesehen werden.

Der im Rahmen einer Validierungsstudie durchgeführte Vergleich von Fahrverhalten in Feld- und Simulatorexperiment zeigt, daß die Geschwindigkeitsregulation in der realen Verkehrssituation der Geschwindigkeitsregulation im Fahrsimulator 1:1 entspricht. Lediglich eine additive Konstante muß für weitere Experimente durch die entsprechende Justierung des Fahrsimulators ausgeglichen werden. Das heißt, der im Rahmen des Projekts entwickelte Fahrsimulator kann zur Bestimmung und Validierung von situativen Sicherheitskenngrößen eingesetzt werden, weil die mit Hilfe des Fahrsimulators gewonnenen Daten denen des realen Geschwindigkeitsverhaltens weitestgehend entsprechen.

### 1.3 Exemplarische experimentelle Bestimmung und Validierung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen

Die experimentelle Prüfung von situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen kann im Rahmen des Projekts nur an ausgewählten Beispielen erfolgen.

Entsprechend der theoretischen Bewertung von Sicherheitskenngrößen sind solche Gestaltungsmerkmale und aktuellen Straßenverkehrsbedingungen für die Sicherheit einer Situation besonders bedeutsam, die die in der Situation gefahrenen Kraftfahrzeuggeschwindigkeiten induzieren oder modifizieren. Mit erster Priorität sind daher die Gestaltungsmerkmale untersucht worden, von denen die gefahrenen Geschwindigkeiten bzw. das Brems- und Beschleunigungsverhalten beeinflusst werden. Darüber hinaus sind die von Experten und Unfallstatistiken her als potentiell unfallträchtig ausgewiesenen Radverkehrsführungen sowie Gestaltungsmerkmale verkehrsberuhigter bzw. „Tempo 30 Zonen“ in die Untersuchung einbezogen worden.

In der Gruppe der Kraftfahrer können die Altersgruppen der jungen und der älteren Fahrer jeweils durch bestimmtes Fahrverhalten und durch spezifische Fahrfehler charakterisiert werden. Daher erscheint es sinnvoll, bei der experimentellen Bestimmung und Validierung von Sicherheitskenngrößen die unterschiedlichen Altersgruppen (junge Kraftfahrer, Kraftfahrer mittleren Alters und ältere Kraftfahrer) gesondert zu untersuchen. Da Kinder als Fußgänger besonders häufig Opfer von Unfällen werden, haben an der Untersuchung des Fußgängerverhaltens Kinder und Erwachsene teilgenommen.

### 1.3.1 Bestimmung von Sicherheitskenngrößen für das Verhalten von Fußgängern beim Überqueren der Fahrbahn

In mehreren Experimenten wird das Verhalten von Kindern (im Alter von 6 - 8 Jahren) und von Erwachsenen beim Überqueren der Fahrbahn in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit sich nähernder Fahrzeuge untersucht. Die Experimente haben in einer Laborsituation stattgefunden und sind durch den Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen der entsprechenden Realsituation validiert worden. In der Laborsituation ist zusätzlich ein Vergleich einer 2-D- mit einer 3-D-Videodarbietung vorgenommen worden.

Die Ergebnisse zeigen für alle Experimente (Labor- und Realsituation, 2-D- und 3-D-Videopräsentation, Kinder und Erwachsene) den gleichen Zusammenhang zwischen den im Experiment kontrollierten Variablen „Fahrzeugart“ und „Geschwindigkeit“ und den gewählten Zeitlücken: Die Zeitlücken werden mit zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit

kleiner, sie sind für die Fahrzeugart „Auto“ am größten und für die Fahrzeugart „Fahrrad“ am kleinsten. Das heißt, höhere Fahrzeuggeschwindigkeiten werden eher unterschätzt, die Gefährdung der Fußgänger beim Überqueren der Fahrbahn erhöht sich mit der Geschwindigkeit des Straßenverkehrs. Dazu kommt noch die Fehleinschätzung der Geschwindigkeiten von Zweiradfahrzeugen, die bei gleicher Geschwindigkeit schlechter ausweichen können als Vierradfahrzeuge, wegen der geringeren beschleunigten Masse aber kürzere Bremswege haben.

Zwischen der 3-D- und der 2-D-Videodarbietung des Experiments sind keine signifikanten Unterschiede in den Ergebnissen feststellbar. Wie der Vergleich der Mittelwerte der Zeitlücken aber zeigt, liegen die Ergebnisse der 3-D-Variante der Tendenz nach, wenn auch nicht statistisch signifikant, noch etwas näher an den Ergebnissen der Realsituation als die Ergebnisse der 2-D-Variante.

Kinder und Erwachsene reagieren tendenziell in gleicher Weise, jedoch zeigen varianzanalytische Berechnungen bedeutsame Unterschiede zwischen den Größen der Zeitlücken für beide Versuchspersonengruppen: In allen Versuchsbedingungen treten bei den Kindern deutlich kleinere Zeitlücken auf als bei den Erwachsenen. Dieses Ergebnis weist darauf hin, daß Kinder noch weniger als Erwachsene in der Lage sind, die Geschwindigkeit von Fahrzeugen adäquat einzuschätzen.

Eine Gegenüberstellung der Daten aus beiden Versuchssituationen (Real- und Laborsituation) zeigt, daß sich die Struktur der Daten in hohem Maße ähnelt. Die Rangordnung der einzelnen Zeitlückenmittelwerte für verschiedene Geschwindigkeiten und Fahrzeugarten ist in beiden Fällen praktisch identisch.

### 1.3.2 Bestimmung von Sicherheitskenngrößen für die Radverkehrsführung

Mit dem Experiment werden straßenbauliche Gestaltungsmerkmale von Radverkehrsführungen in ihrer Auswirkung auf das Fahrverhalten von Kraftfahrzeugführern und damit auf die Sicherheit von Radfahrern untersucht. Verglichen werden dabei Anfahrt und Rechtsabbiegen an drei Kreuzungen mit unterschiedlich gestalteten Radverkehrsführungen.

Das Experiment ist mit Hilfe eines Simulators in Form einer vergleichsweise einfachen Sitzkiste

durchgeführt worden. Die Versuchsperson „durchfährt“ dabei verschiedene Straßenverkehrssituationen, die aus der Sicht eines Pkw-Fahrers auf einem Bildschirm dargestellt werden. Als abhängige Verhaltensparameter werden Brems- und Beschleunigungsvorgänge in Abhängigkeit von der jeweiligen Straßenverkehrssituation registriert.

Bei der Anfahrt an Kreuzungen mit unterschiedlichen Radverkehrsführungen zeigen sich signifikante Unterschiede im Brems- und Beschleunigungsverhalten von rechtsabbiegenden Autofahrern. Bei der Anfahrt an einen deutlich markierten Radstreifen wird länger gebremst als bei der Anfahrt an eine einfach markierte, nicht abgesetzte Radfahrerfurt. Ebenfalls wird bei einer deutlich markierten, abgesetzten Radfahrerfurt an einer freien Rechtsabbiegerfahrbahn länger gebremst, als bei einer einfach markierten, nicht abgesetzten Radfahrerfurt. Diese Ergebnisse weisen auf einen bedeutsamen Einfluß der Markierung auf das Bremsverhalten hin. Als besonders problematisch erweisen sich Kreuzungen mit einer freien Rechtsabbiegerfahrbahn: Selbst eine deutliche Markierung der Radfahrerfurt induziert kein sicherheitsbewußtes Fahren, denn es wird signifikant länger beschleunigt als bei anderen Gestaltungen und häufig wird sogar nicht abgebremst.

### 1.3.3 Bestimmung von Sicherheitskenngrößen für das Fahrverhalten von Kraftfahrzeugführern

Dieses Experiment dient der Untersuchung des Fahrverhaltens von Kraftfahrzeugführern in Abhängigkeit von Gestaltungsmerkmalen der jeweiligen Straßenverkehrssituation. Schwerpunktmäßig wird der Einfluß von Gestaltungsmerkmalen, insbesondere auch von Maßnahmen zur Geschwindigkeitsreduktion, auf die Fahrgeschwindigkeiten festgestellt.

Die Versuchspersonen „durchfahren“ im Simulatorfahrzeug eine Wegstrecke mit verschiedenen Verkehrssituationen, die mit Hilfe einer Großbildvideoprojektion dargeboten werden. Die Unterschiede in den Situationen bestehen zum einen in der straßenbaulichen Gestaltung, zum anderen in situativen statischen und dynamischen Kennzeichen der Verkehrsszenen.

Die Versuchspersonen können mit der Bedienung des Gas- und Bremspedals die Abspielgeschwindigkeit des Videofilms und damit die wahrgenommene „Fahrgeschwindigkeit“ regulieren.

Es wird ein deutlicher Einfluß der Gestaltungsmerkmale der durchfahrenen Straßenverkehrssituationen auf die gewählten Fahrgeschwindigkeiten sichtbar. Geschwindigkeitsreduzierend wirken statische Gestaltungsmerkmale wie Fahrbahnverengungen und -versätze, aber auch rein optische Verengungen der Fahrbahn. Ebenfalls zeigen Kraftfahrer sowohl bei der Feld- wie auch bei der Simulatorfahrt eine deutliche Bremsbereitschaft vor Bodenschwellen, deren Nichtbeachtung sie vor allem selbst schädigen würde. Dagegen werden regulative Maßnahmen (Beschilderung) nur sehr kurzzeitig wirksam, nach einer vorübergehenden Verlangsamung vor dem Passieren des Verkehrszeichens wird anschließend sogar tendenziell schneller gefahren als vor der Maßnahme. Darüber hinaus werden Angaben von Höchstgeschwindigkeiten vielfach als Sollvorgaben für die Mindestgeschwindigkeiten interpretiert, dementsprechend werden sie häufig überschritten.

Dynamische Merkmale der Straßenverkehrssituation (z.B. das Auftreten von Fahrradfahrern) üben einen unmittelbaren, d.h. verlangsamenen Einfluß auf das Fahrverhalten aus.

Die Fahrgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Altersgruppen weisen deutliche Unterschiede auf: Die älteren Autofahrer „fahren“ im Durchschnitt in allen Situationen langsamer als jüngere Autofahrer und Autofahrer mittleren Alters, die jüngeren Autofahrer „durchfahren“ alle Situationen mit höherer Geschwindigkeit als die Fahrer der anderen Altersgruppen. Besonders einige der jüngeren Autofahrer fallen durch extrem hohe Geschwindigkeiten auf.

Zur experimentellen Validierung des Fahrsimulators haben die Fahrer eine reale Verkehrsstrecke in einem Versuchsfahrzeug und dieselbe Route im Fahrsimulator durchfahren. Hauptergebnis des Experiments ist, daß die positiven und negativen Beschleunigungswerte für die Feld- und die Simulatorfahrt nahezu perfekt übereinstimmen.

Die Befragung der Versuchspersonen ergibt darüber hinaus, daß die Simulatorfahrt als realitätsnah erlebt wird.

### 1.4 Folgerungen für die Bestimmung von situativen Sicherheitskenngrößen

Insgesamt ist es gelungen, im Rahmen der Projektarbeit anhand vorliegender Theorien, Modelle, empirischer und experimenteller Studien situationsbe-

zogene Sicherheitskenngrößen zu sammeln, zu kategorisieren und zu bewerten. Mit der Entwicklung und Validierung von Laborsituationen für die Untersuchung des Fahrverhaltens von Kraftfahrzeugführern und des Querungsverhaltens von Fußgängern ist die zusätzliche experimentelle Prüfung von exemplarischen situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen möglich geworden.

Die Ergebnisse zeigen übereinstimmend, daß die Bestimmung von Sicherheitskenngrößen allein aufgrund der Bewertung der physikalischen Gegebenheiten (z.B. der ingenieurwissenschaftlichen Vorgaben für die straßenbauliche Gestaltung) nicht ausreicht. Es ist zusätzlich erforderlich, psychologische Gesetzmäßigkeiten (z.B. die Grenzen der menschlichen Wahrnehmungsfähigkeit und Informationsverarbeitungskapazität) mit einzubeziehen. Situative Sicherheitskenngrößen können dazu beitragen, die Verkehrsteilnehmer in ihrer situativen Kompetenz zu unterstützen und Überforderungen zu vermeiden; Risiken müssen richtig eingeschätzt, vor allem nicht unterschätzt werden, damit mögliches Fehlverhalten minimiert wird. Da überhöhte bzw. unangepaßte Geschwindigkeiten entscheidend zur Gefährdung der Verkehrsteilnehmer beitragen, stellen Situationsmerkmale, die angemessene Fahrgeschwindigkeiten induzieren, bedeutsame Sicherheitskenngrößen dar.

Bei der Bestimmung von Sicherheitskenngrößen sollten physiologische und psychologische Verhaltensmerkmale der schwächsten Verkehrsteilnehmer (Kinder) sowie typische Verhaltensfehler (charakteristische Fahrfehler jüngerer und älterer Autofahrer) mit berücksichtigt werden. Die unter dieser Voraussetzung bewerteten Sicherheitskenngrößen betreffen in allerdings unterschiedlichem Ausmaß alle Teilnehmer der Straßenverkehrssituation, werden aus Gründen der Übersichtlichkeit im folgenden aber jeweils für die Gruppe der Verkehrsteilnehmer dargestellt, deren Charakteristiken hauptsächlich untersucht wurden.

#### **1.4.1 Situative Sicherheitskenngrößen für Fußgänger beim Überqueren der Fahrbahn**

Durch eine umfassende Trennung der Verkehrsräume für die unterschiedlichen Straßenverkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, Kraftfahrer) könnte die Verkehrssicherheit vor allem für Fußgänger und Radfahrer stark erhöht werden. Entsprechende bauliche Maßnahmen lassen sich aber zum einen

nur in Einzelfällen realisieren, allerdings sind Fußgänger und Radfahrer dann beim (Wieder-)Auftreten zum Beispiel an einer Kreuzung besonders gefährdet.

Zur Erhöhung der Sicherheit für Fußgänger sollten die Fahrzeuggeschwindigkeiten in Bereichen mit hohem Fußgängeraufkommen, in denen dementsprechend die Straße häufig überquert wird (z.B. Mischverkehrszonen, Spielstraßen, Wohnverkehrsstraßen, an Zebrastreifen, an Haltestellen) erstens niedrig (bis maximal 30 km/h) und zweitens homogen sein. Auf abgesetzte und verschwenkte Fußgängerfurten sollte verzichtet werden. Fußgänger, insbesondere Kinder, sind hier vor allem durch den abbiegenden Kraftfahrzeugverkehr - hier insbesondere auf freien Rechtsabbiegsuren - gefährdet, weil diesem die Illusion einer freien Durchfahrt vermittelt wird und daher querende Fußgänger überraschend auftreten und als „in das Revier des Kraftfahrers“ eindringend erlebt werden. Die subjektive Vorfahrt des Kraftfahrers unterdrückt bei diesem die Tendenz, auf Fußgänger Rücksicht zu nehmen.

An stark von Fußgängern frequentierten Kreuzungen mit Lichtanlagen ist gleichzeitiges Rot-Schalten aller Lichtanlagen für den gesamten Kraftfahrzeugverkehr zu empfehlen, um speziell die Gefährdung der Fußgänger durch abbiegenden Kraftfahrzeugverkehr zu verringern.

Alternativ bzw. zusätzlich zu Geschwindigkeitsregulierungen an den aufgeführten kritischen Stellen, empfiehlt sich eine Höchstgeschwindigkeit von Tempo 30 km/h in Städten. Eine Höchstgeschwindigkeit von Tempo 30 km/h würde die Geschwindigkeitswahrnehmung von Erwachsenen und insbesondere von Kindern nicht in dem Maße überfordern, wie dies bei höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten der Fall ist. Bei Tempo „50“ sind Erwachsene und besonders Kinder nicht in der Lage, die Straße noch sicher vor herannahenden Fahrzeugen zu überqueren, weil der Geschwindigkeitszuwachs linear wahrgenommen wird und nicht quadratisch, wie es der Bremswegverlängerung entspräche (Anstieg der kinetischen Energie um 278 %). Zusätzlich würde diese Geschwindigkeitsbegrenzung durch den kürzeren Bremsweg der Fahrzeuge auch Unfälle zwischen Kraftfahrzeugen verhindern oder trotzdem stattfindende Unfälle dank der geringeren Kollisionsgeschwindigkeit glimpflicher ablaufen lassen.

Bei flächendeckender Einführung von „Tempo 30“ in Städten und Gemeinden würde sich für den Au-

tofahrer ein allgemeiner und stabiler Bezugsrahmen herausbilden, der die Informationsverarbeitungsbelastung des Autofahrers reduziert, weil er in seiner Geschwindigkeit nicht zwischen Tempo „30“ Zonen und „normalem Verkehr“ unterscheiden müßte (Reduktion einer Informationsüberflutung, weniger Notwendigkeiten zur bewußten Verhaltensänderung). Wenn sich damit die Notwendigkeit ergeben sollte, für wenige Durchgangsstraßen Tempo „50“ zu gestatten, so ist der Schaden, der beim Übersehen eines „Tempo 50“-Schildes durch den Autofahrer entstehen kann, geringer als der mögliche Schaden beim Übersehen eines „Tempo 30“-Schildes. Zudem wären die Gestaltungskosten insgesamt geringer als eine ansonsten notwendige adäquate bauliche Gestaltung der „Tempo 30 Zonen“ und eine zusätzliche Beschilderung; die seitens des ADAC berechneten Zusatzkosten von DM 164 Mio. beruhen auf der Annahme, daß überall dort, wo bislang keine Tempo-30-Regelung gegeben ist, Tempo 50 erlaubt sein sollte; wird dies jedoch auf baulich geeignete Durchgangs- und Fernverkehrsstrecken beschränkt, also als erkennbare Ausnahmeregelung ausgelegt, sind - wie gesagt - Kosteneinsparungen zu erwarten.

#### 1.4.2 Situative Sicherheitskenngrößen für die Radverkehrsführung

Die Gestaltung der Radverkehrsführungen an Kreuzungen hat einen deutlichen Effekt auf das Brems- und Beschleunigungsverhalten von Autofahrern, die sich der Kreuzung nähern, und damit auf die Sicherheit der Fahrradfahrer. Deutlich markierte, nicht abgesetzte Radfahrstreifen haben vor allem hinsichtlich der Konflikte mit rechtsabbiegenden Kraftfahrzeugen eine wesentlich bessere Sicherheitswirkung als einfach markierte Radfahrstreifen. An einer freien Rechtsabbiegefahrbahn sind Radfahrer durch abbiegende Autofahrer stärker gefährdet als an einer vierarmigen Kreuzung. Das heißt, Radverkehrsfurten sollten möglichst deutlich markiert werden, abgesetzte und verschwenkte Radverkehrsfurten an Kreuzungen vermieden werden.

#### 1.4.3 Situative Sicherheitskenngrößen für den Kraftfahrzeugverkehr

Eine Erhöhung der Sicherheit ist durch eine räumliche Trennung der Fahrrichtungen und durch Verkehrskreisel statt Kreuzungen zu erzielen. Entsprechende bauliche Maßnahmen werden aber nur in wenigen Fällen möglich sein.

Für junge wie ältere Autofahrer ist entscheidend, daß Gefahren rechtzeitig erkennbar sind, und daß das Ausmaß der Gefährlichkeit einer Verkehrssituation dem Fahrer realistisch vermittelt wird. Die Sicherheit der Autofahrer aber auch der Fußgänger und Radfahrer hängt entscheidend von situationsangemessenen Fahrgeschwindigkeiten ab. Vor allem jüngere Autofahrer tendieren dazu, unangemessen hohe Fahrgeschwindigkeiten zu wählen. Die Gestaltung der Straßenverkehrssituation übt einen deutlichen Einfluß auf das Fahrverhalten der Kraftfahrzeugführer aus. Fahrbahnbreite und Übersichtlichkeit der Strecke sind relevante Variablen für die Wahl der Geschwindigkeit.

Geschwindigkeitsreduzierend wirken bauliche Maßnahmen wie Schwellen, Fahrbahnverengungen und -versätze sowie eine Verengung durch Beparkung, besonders wenn diese alternativ versetzt ist. Von den genannten Maßnahmen zeichnen sich Bodenschwellen durch die größte Verhaltenswirksamkeit aus. Bautechnische Maßnahmen wie Versätze müssen in relativ kurzen Abständen wiederholt werden, um eine überdauernde Geschwindigkeitsreduktion zu gewährleisten. Ein Effekt tritt nicht auf, wenn die Verengung relativ gering ist und durch die Randgestaltung bzw. Beparkung der Eindruck einer „Führungslinie“ entstehen kann. Darüber hinaus wirken „lauter“ Straßenbelag oder Pflasterung geschwindigkeitsreduzierend, allerdings mit dem Nachteil einer gerade für Wohngebiete nicht wünschenswerten erhöhten Lärmemission.

Optische Bremsen können durch eine Strukturierung des Fahrbahnrandes durch Bepflanzung oder Bepflanzung sowie durch Quermarkierungen auf der Fahrbahn erzielt werden und bewirken ebenfalls eine Reduktion der Fahrgeschwindigkeit. Fahrbahnmarkierungen können darüber hinaus die Wahl der angemessenen Geschwindigkeit beim Durchfahren unfallträchtiger Kurven erleichtern.

Im Gegensatz dazu sind regulative Maßnahmen (Beschilderung) nur eingeschränkt wirksam. Eine Angabe der erlaubten Höchstgeschwindigkeit wird offensichtlich vom Autofahrer vielfach eher als Richtgeschwindigkeit wahrgenommen, an der sich der Fahrer orientiert. Für viele Fahrer bildet die zulässige Höchstgeschwindigkeit sogar eine „untere Grenze“ des für die Geschwindigkeitsregulation bestimmenden Bezugssystems, d.h., in der Regel fährt niemand langsamer als die Höchstgeschwindigkeit. Dieser Befund bedeutet, daß im Bezugssystem des Autofahrers für mögliche Fahrgeschwindigkeiten die jeweilig erlaubte Höchstge-

schwindigkeit den „Nullpunkt“ bildet, der möglichst nicht unterschritten wird, und nicht, wie umgekehrt von der Straßenverkehrsordnung vorgegeben wird, die Höchstgrenze, über die nicht hinausgegangen werden darf. Gravierende Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sind bei einer Reihe von Fahrern festzustellen. Die Beschilderung „Tempo 30“-Zone wird vielfach höchstens kurzzeitig beachtet, oft gefolgt von einer erneuten starken Beschleunigung.

### 1.5 Der Einfluß situationsübergreifender Verkehrsräume

Die vorgestellten Ergebnisse zur Bestimmung und Bewertung von Sicherheitskenngößen beziehen sich auf die Induktion und Steuerung bzw. Veränderung von Verhalten in Abhängigkeit von den Gestaltungsmerkmalen der jeweiligen Straßenverkehrssituation. Neben Gestaltungsmerkmalen der aktuellen Straßenverkehrssituation können aber auch zeitlich und örtlich vorangegangene Verkehrssituationen das jeweilige Verhalten der Verkehrsteilnehmer mitbestimmen. Beispielsweise adaptiert sich ein Autofahrer beim längeren Fahren mit hoher Geschwindigkeit (Autobahn) an das Geschwindigkeitsniveau und nimmt eine Geschwindigkeitsreduktion als sehr viel stärker wahr, als dies tatsächlich der Fall ist. Dieser Adaptationsprozeß an die Fahrgeschwindigkeit ist für überhöhte Geschwindigkeiten an Autobahnausfahrten und Autobahnbaustellen mitverantwortlich, da der vorher stabil induzierte „Bezugsrahmen“ des Fahrers sein Fahrverhalten unabhängig von den Gestaltungsmerkmalen der aktuellen Situation mitbeeinflusst.

Eine Fehleinschätzung des Autofahrers kann ebenfalls auftreten, wenn dieser glaubt, seine Geschwindigkeit besonders stark zu verlangsamen (z.B. bei der Einfahrt in eine „Tempo 30“-Zone). Dieser erlebte „Verhaltenskontrast“ des Autofahrers kann mitverantwortlich dafür sein, daß er dann stark beschleunigt, nachdem der entsprechende Hinweis (z.B. Gebotsschild) nicht mehr im Bewußtsein präsent ist. In jedem der Fälle ist es wichtig, aktuelle und wiederholte Hilfen zur Einschätzung der eigenen Fahrgeschwindigkeit vorzugeben.

Für die Bestimmung und Bewertung von situativen Sicherheitskenngößen ergibt sich damit als Konsequenz, daß neben den Gestaltungsmerkmalen der aktuellen Situation zusätzlich auch Merkmale der weiteren Umgebung, die Einfluß auf das Ver-

halten der Straßenverkehrsteilnehmer nehmen können, berücksichtigt werden müssen. Punktuelle Messungen des Verhaltens (z.B. Geschwindigkeit) sind dann nicht ausreichend, um diese dynamischen Verhaltensprozesse zu erfassen.

## 2 Ausblick

Ausgehend von den Ergebnissen des Projektes zur Bestimmung von situativen Sicherheitskenngößen lassen sich konkrete Folgerungen für die Gestaltung des Straßenverkehrsraumes herleiten, die bei anstehenden straßenbaulichen Maßnahmen direkt umgesetzt werden können. Aufgrund der theoretischen und experimentellen Analysen menschlicher Wahrnehmungs- und Handlungsfähigkeiten, Informationsverarbeitungskapazitäten und -grenzen, Fehlercharakteristika und Schwachpunkte lassen sich bestimmte sicherheitsfördernde bzw. unfallträchtige straßenbauliche Gestaltungsmerkmale schon vor dem Auftreten eines Unfalls identifizieren. Dabei können Verhaltens- und Fehlercharakteristika unterschiedlicher Personengruppen von Verkehrsteilnehmern berücksichtigt werden. Die Entwicklung und Prüfung eines experimentellen Settings zur schnellen Bestimmung und Validierung von Sicherheitskenngößen erlaubt weitere Forschungsarbeiten zur Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit in potentiell gefährlichen Straßenverkehrsräumen. Die Validität dieser Laborsituationen (Fußgängersituation, Fahrsimulator) für die beschriebenen Verhaltensweisen ist empirisch gesichert.

Die experimentellen Arbeiten zur Prüfung von situationsbezogenen Sicherheitskenngößen sind wegen des damit verbundenen Aufwands nur an ausgewählten Beispielen und kleinen Stichproben von Teilnehmern durchgeführt worden. Ergänzende und weiterführende Experimente sind jetzt aufgrund der geleisteten Vorarbeiten speziell auch auf dem Feld der Methodenentwicklung mit weitaus geringerem Aufwand möglich.

Weitere Verbesserungen der Laborsituationen sind denkbar. Der Realitätsgrad der Fahrsituation im Fahrsimulator kann dadurch noch erhöht werden, daß die bisher zum Teil stufenweisen Veränderungen der „Fahrgeschwindigkeit“ durch eine analoge Bandsteuerung ersetzt werden. Zwischenzeitlich ist eine entsprechende Anlage angeschafft worden. Darüber hinaus ist die Erfassung der Spurtreue mit Hilfe eines lenkungsabhängig dargebotenen Bildes

der Straßenverkehrssituation in Arbeit. Die Untersuchung des Fußgängerverhaltens könnte durch den wirklichkeitsgetreueren Nachbau einer Straße im Labor mit genauer Abstimmung auf die Filmaufnahmen, sowie durch eine Großbildvideoprojektion noch realitätsnäher gestaltet werden. Für alle Situationen sollte die Einbeziehung akustischer Informationen untersucht werden. Die erwähnten Verbesserungsvorschläge bewegen sich in einem finanziell überschaubaren Rahmen. Von ihnen ist zu erwarten, daß sie die Güte der Ergebnisse weiter erhöhen, ohne den entscheidenden Vorteil des Laborexperiments aufzuheben: nämlich hohe Sicherheit, Bedingungskontrolle und Ökonomie.

## Literatur

- ALEXANDER, G. J. & LUNENFELD, H. (1975): Positive guidance in traffic control. Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
- ALLEN, R.W., JEX, H.R. (1981): Driving simulation - requirements, mechanization and application. In: Society of Automotive Engineers Transactions, 89, 1769-1780.
- ANGENENDT, W., ERKE, H., HOFFMANN, G., MARBURGER, E. A. MOLT, W. & ZIMMERMANN, G. (1987): Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- ANGENENDT, W. (1989): Sichere Gestaltung markierter Wege für Radfahrer. Heft 202 der Schriftenreihe Unfallforschung. Bundesanstalt für Straßenwesen: Bergisch-Gladbach.
- ARAND, W. & KUPKE, P. (1982): Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 375: Anforderungen an Fahrsimulatoren zur Untersuchung des Fahrer-Fahrzeug-Verhaltens sowie der verkehrstechnisch relevanten Eigenschaften von Straßenentwürfen. Bonn-Bad Godesberg: Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau.
- ARMOUR, M., McLEAN, J.R. (1983): The effect of shoulder width and type on rural traffic safety and operations. Australian Road Research, 13, 259-270.
- BARKER, R. G. (1968): Ecological psychology. Stanford: Stanford University Press.
- BERLYNE, D.E. (1971): Aesthetics and psychobiology. New York: Appleton-Century-Crofts.
- BIEHL, B. (1990): Neue, technische Maßnahmen im Straßenverkehr unter einem verhaltensorientierten Aspekt von Verkehrssicherheit. In: H. HACKER (Hrsg.) Fahrverhalten und Verkehrsumwelt. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- BIEHL, B. & AUFSATTLER, W. (1994): Alter und Fahrerfahrung als Determinanten des Verkehrsverhaltens. In: Tränkle, U. (Band-Hrsg.), Autofahren im Alter. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 37-59. Bonn: Dt. Psychologen Verlag.
- BLUME, W. (1992): Optimale Fahrerinformation: Bewertung analoger und digitaler Tachometer auf einer Bildschirmanzeige. Dissertation, Frankfurt am Main.
- BMV (Der Bundesminister für Verkehr), Abt. Straßenverkehr (Hg.) (1989): Weniger Verkehrszeichen - Bessere Beschilderung. Leitfaden des Bundesministers für Verkehr. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Selbstverlag).
- BREHMER, B. (1980): In one word: not from experience. Acta Psychologica, 45, 223-241.
- BRENAC, T. (1990): Speed, safety and highway design. In: rts (Recherche - Transports - Sécurité), revue de l'inrets; English Issue No. 5.
- BROADBENT, D. E. (1984): The maltese cross: A new simplistic model for memory. In: The Behavioral and Brain Sciences, 7, 55-94.
- BROADBENT, D. E. (1990): Effective decisions and their verbal justification. In: Broadbent, D. E., Reason, J. & Baddeley, A. (Eds.) Human Factors in Hazardous Situations, Oxford: Clarendon Press.
- BROUWER, W. (1994): Ältere Autofahrer und Anforderungen an die Aufmerksamkeit. In: Tränkle, U. (Band-Hrsg.), Autofahren im Alter. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 121-138. Bonn: Dt. Psychologen Verlag.
- BROUWER, W., WATERINK, W., VAN WOLFFELAAR, P. & ROTHENGATTER, T. (1991): Divided attention in experienced young and older drivers: Lane tracking and visual analysis in a dynamic driving simulator. Human Factors, 33, 573-582.
- BRÜHNING, E., PFAFFEROTT, I., HIPPCHEM (1971): Gutachten zum Unfallgeschehen auf der

- L 381 im Bereich von km 7,8 bis km 11,4. Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- BRÜHNING, E. & HARMS, L. (1983): Unfallbeteiligung und Sehfähigkeitsminderung älterer Pkw-Fahrer. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 29, 19-28.
- BRÜHNING, E. & VÖLKER, R. (1980): Unterschiede in der Unfallbeteiligung von Jungen und Mädchen als Fußgänger und Radfahrer. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 26, 4-12.
- BUBB, H. (1977): Analyse der Geschwindigkeitswahrnehmung im Kraftfahrzeug. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 31, 103-111.
- CHALOUPKA, C. (1994): Was hat es mit der Veränderung der Leistungsfähigkeit älterer Verkehrsteilnehmer wirklich auf sich? In: Tränkle, U. (Band-Hrsg.), Autofahren im Alter. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 321-334. Bonn: Dt. Psychologen Verlag.
- CLARK, H.H. & CLARK, E. V. (1977): Psychology and language: An introduction to psycholinguistics. New York: Harcourt, Brace Jovanovich.
- COHEN, A. S. (1986): Möglichkeiten und Grenzen visueller Wahrnehmung im Straßenverkehr. Heft 57 der Schriftenreihe Unfall und Sicherheitsforschung im Straßenverkehr. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- COHEN, A. (1987): Blickverhalten und Informationsaufnahme von Kraftfahrern. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Band 168. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- DAHMEN, K. et al. (1989): Was macht die BAB Ailershausen-München so gefährlich? Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 69-75.
- DATTA, T. K., PERKINS, D. D., TYLOR, J. I. & THOMPSON, H. T. (1983): Accident surrogates for use in analyzing highway safety hazards. (Reports No. FHWA-RD-82-103 to 105) Washington D.C., U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Office of Research.
- DINGEL, W. (1991): Beratung älterer Kraftfahrer(innen) - individuelle und gesellschaftliche Aspekte. In: Cohen, A. & Hirsig, R. (Hrsg.): Fortschritte der Verkehrspsychologie '90. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 455-459; Bonn: Dt. Psychologen Verlag.
- DIRNAGL-KALLINA, B. & BURKHARDT, F. (1975): Wahrnehmung und Schätzung von Geschwindigkeiten. Schlußbericht zum Forschungsprojekt 7522 der Bundesanstalt für Straßenwesen. Frankfurt am Main: Johann-Wolfgang Goethe Universität, Institut für Psychologie.
- DRÖSLER, J. (1965): Die Methodik der Verkehrspsychologie. In: Graf Hoyos, C. (Ed.) Psychologie des Straßenverkehrs (Psychologisches Colloquium Bd. 1). 245-290. Bern und Stuttgart: Huber.
- EHRMANN, V. (1989): Gefahrenrisiko und Unfallgefährdung von Fußgängern im Straßenverkehr. Ein Simulationsexperiment zum Überqueren von Fahrbahnen. In G. Kroj & K.M. Porschen (Hrsg.) Fortschritte der Verkehrspsychologie '88. Köln: TÜV Rheinland, 293-304.
- ELLINGHAUS, D. (1987): Verloren im Schilderwald. Eine Untersuchung über das Zustandekommen und die Auswirkungen der Beschilderung im Straßenverkehr. Köln: IFAPLAN. Aachen: Uniroyal-Englebert Reifen GmbH (Selbstverlag).
- ERKE, H. & GOTTLIEB, W. (1981): Psychologische Untersuchungen zur Wegweisung. Köln: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- ERKE, H. & GSTALTER, H. (1985): Verkehrskonflikttechnik: Handbuch für die Durchführung und Auswertung von Erhebungen. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 52. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- EVANS, L. (1985): Human behavior feedback and traffic safety. Human Factors, 27, 555-576.
- FISCHER, H. & COHEN, A.S. (1978): Leistungsmöglichkeiten von Kindern im Straßenverkehr. Entwicklung der Wahrnehmung bei Kindern in ihrer Relevanz zum Verkehrsverhalten. Bericht zum Forschungsprojekt 7509 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. Köln: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- FULLER, R. (1984): A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. Ergonomics, 11, 1139-1155.
- FULLER, R. (1984): On learning to make risky decisions. Ergonomics, 31, 519-526.
- FURER, U. (1985): Konzeptualisierung von Umwelt und ihre Operationalisierung im Rahmen des Basler Behavior-Setting-Projekts. Vortrag gehalten auf dem Kolloquium ökologische Psychologie, Heidelberg.

- GAGNÉ, M. R. (1954): Training devices and simulators: Some research issues. *American Psychologist*, 9, 95-107.
- GIBSON, J. J. (1950): *The Perception of the Visual World*. Houghton Mifflin Co., Boston.
- GORDON, D. A. (1966): Perceptual basis of vehicular guidance. *Public Roads*, 34, 53-68.
- GRIMM, H. G. (1980): Die Simulation der Nachfahraufgabe mit einem Fahrsimulator mit synthetisch erzeugter Außensicht. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 26, 106-112.
- GRAMBERG-DANIELSEN, B. (1967): *Sehen und Verkehr*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- GUBSER, F. & SPÖRLI, S. (1970): Teilsimulation in der verkehrspsychologischen Diagnostik. *Neue Zürcher Zeitung, Fernausgabe*, 208 (31. Juli), 39.
- HAAS, I. & REKER, K. (1976): Einfluß von Lebensalter und Fahrerfahrung auf die Unfallbelastung und sicherheitsrelevante Einstellungen. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 22, 119-130.
- HAKKERT & HAUER (1988): The extent and implications of incomplete and inaccurate road accident reporting in Rothengatter & de Bruin (Eds.) *Road user behavior: Theory and research*. Assen/Maastricht: Van Corcum.
- HARTMANN, E. (1970): Driver vision requirements. *International Automobile Safety Conference*. New York. Society of Automotive Engineers.
- HERBERG, K.-W. (1983): Geschwindigkeit - eine verkehrspsychologische Betrachtung. *Zeitschrift für Verkehrspsychologie* 29, 154-161.
- HOCHBERG, J. (1962): The psychophysics of pictorial perception. *Audio-visual Communications Review*, 10, 22-54.
- HOLLAND, C. & RABBITT, P. (1994): The problems of being an older driver: comparing the perceptions of an expert group and older drivers. *Applied Ergonomics*, 25, 17-27.
- HOYOS, C. Graf von (1965): *Psychologie des Straßenverkehrs*. Bern, Stuttgart: Huber.
- HÜRLIMANN, F.W., HEBENSTREIT, B. von (1987): *Verkehrssicherheit in der Praxis*. Bern, Stuttgart: Huber.
- HUGHES, P.K. & COLE, B.L. (1986) What attracts attention when driving? *Ergonomics*, 29, 377-391.
- IRWIN, L. (1989): Elderly drivers' perceptions of their driving abilities compared to their cognitive skills and driving performance. In: *Physical and occupational therapy in geriatrics*, 7, 83-100.
- JOHANNSEN, G. (1976): Preview of man-vehicle control session. *International Symposium: Monitory behavior and supervisory control*, Berchtesgaden, March 8-12.
- JOHANSSON G., V. HOFSTEN, C., JANSSON, G. (1980): Event perception. *Ann. Rev. of Psychology*, 31, 27-63.
- JOHNSTON, J.B. (1983): The effects of roadway delineation on curve negotiation by both sober and drinking drivers. *Research Report ARR 128*, Australian Road Research Board: Nunawading, Victoria.
- KALLINA, H. & ZIMMER, A. (1974): Vergleich der Wirksamkeit unterschiedlicher Rückstrahlerregelungen an Leitposten. In: *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, Band XXI, Heft 4, 564-574.
- KLEBELSBERG, D. (1977): Das Modell der subjektiven und objektiven Sicherheit. *Schweiz. Z. Psychologie*, 4, 285-294.
- KLEBELSBERG, D. (1982): *Verkehrspsychologie*. Berlin: Springer.
- KLEBELSBERG, D. & KALLINA H. (1960): Wieviele Verkehrszeichen können gleichzeitig wahrgenommen werden? *Kriminalistik*, 14, 353 bzw. *Zentralblatt für Verkehrsmedizin, Verkehrspsychologie und angrenzende Gebiete*, 1961, 1, 20-22.
- KNOPFLACHER, H. (1974): Unfallrisiko für PKW und einspurige Fahrzeuge. *Straßenverkehrstechnik*, 6, 196-201.
- KÖPPEL, G. (1988): Mehr Sicherheit auf den Straßen - aus der Sicht des Straßenbauers. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 34, 166-177.
- KORTELING, J. (1991): Effects of skill integration and perceptual competition on age-related differences in dual-task performance. *Human Factors*, 33, 35-44.
- KRAMPEN, M. (1988): *Geschichte der Straßenverkehrszeichen. Diachronische Analyse eines Zeichensystems*. Tübingen: Stauffenburg.
- KROJ, G. (1988): Die Sicherheit älterer Menschen im Straßenverkehr - Ergebnisse einer OECD/

- WHO-Expertengruppe. In M. Kastner (Hrsg.) Fortschritte der Verkehrspsychologie 1987. Köln: Verlag TÜV Rheinland, Bonn: Deutscher Psychologen-Verlag.
- LANDWEHR, K. (1993): Straßenverkehrszeichen: Zeichen, Bilder und Gegenstandstextur. In: H. Häcker u. R. Wieland-Eckelmann (Hrsg.) Wuppertaler Psychologische Berichte, 4.
- LEE, D.N. (1976): A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437-459.
- McKENNA, F. P. (1985): Do safety measures really work? An examination of risk homeostasis theory. In: *Ergonomics*, 2, 489-498.
- METZGER, W. (1975, 3. Aufl.): Gesetze des Sehens. Frankfurt: W. Kramer
- MICHAUT, G. (1970): Les simulateurs de conduite automobile - Revue bibliographique critique-. *Le travail humain*, 33, 353-378.
- MICHON, J. A. (1985): A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In: L. Evans & R.C. Schwing (Eds.) *Human behavior and traffic safety*. New York, London: Plenum Press.
- MITTENECKER, E. (1966): Wie groß ist die „Unfallneigung“ der Straße? *Psychologische Beiträge*, 9, 288-293.
- MUMMENDEY, H. D. (1988): Die Beziehung zwischen Verhalten und Einstellung. In: Mummendey, H. D. (Hrsg.) *Verhalten und Einstellung*. Berlin: Springer.
- NÄÄTHÄNEN, R. & SUMMALA, H. (1976): Road user behavior and traffic accidents. Amsterdam: North-Holland Pub. Comp.
- NEISSER, U. (1976): *Cognition and reality*. San Francisco: W.H. Freeman and Comp.
- NILSSON, L. (1993): Contributions and limitations of simulator studies to driver behaviour research. In A.M. Parkes & S. Franzen (Eds.) *Driving future vehicles*. London: Taylor & Francis, 401-407.
- NORMAN, D. A. & SHALLICE, T. (1986): Attention to action: Willed and automated control of behavior. In: R.J. Davidson, G.E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.) *Advances in research: Vol. 4. Consciousness and self regulation*. New York: Plenum Press.
- Organisation For Economic Co-Operation And Development (OECD) (1989): *Behavioural adaptations to changes in the road transport system, „Road User Capacities and Behavioural Adaptations in Adjusting to Changing Traffic Tasks and Accident Risks“*.
- PALMER, S.E. (1978): Fundamental aspects of cognitive representation. In: E. Rosch & B.B. Lloyd (Eds.) *Cognition and categorization*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Ass.
- PFAFFEROTT, I. (1994): Mobilitätsbedürfnisse und Unfälle älterer Autofahrer/innen. In: Tränkle, U. (Band-Hrsg.), *Autofahren im Alter*. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 19-36. Bonn: Dt. Psychologen Verlag.
- PFAFFEROTT, I. & HUGUENIN, R.D. (1991): Adaptation nach Einführung von Sicherheitsmaßnahmen. Ergebnisse und Schlußfolgerungen aus einer OECD-Studie. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 37, 71-83.
- PFUNDT, K. (1991): *Handbuch der verkehrssicheren Straßengestaltung*. Verkehrsblatt-Verlag. Herausgegeben von der Beratungsstelle für Schadenverhütung des HUK-Verbandes in Zusammenarbeit mit der Polizei-Führungsakademie und dem Bundesminister für Verkehr.
- POPPER, K.R. (1966): *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr.
- PORTIGO, J.M. (1976): State-of-the-Art Review of Paved Shoulders. *Transportation Research Record* 594.
- RASMUSSEN, J. (1980): What can be learned from human error reports? In: Duncan, M. Gruneberg & D. Wallis (Eds.) *Changes in working life*. London: Wiley.
- RASMUSSEN, J. (1980): The human as a system component. In: H. Smith and T. Green (Eds.) *Human interaction with computers* London: Academic Press.
- REASON, J. (1988): Framework models of human performance and error: a consumers guide. In: L.P. Goodstein, H. Andersen & S.E. Olsen (Eds.) *Tasks, errors and mental models*. London: Taylor & Francis.
- REASON, J. (1990): *Human error*. New York: University of Cambridge.

- RISSE, R. & HYDÉN, C. (1993): Behavioural studies of accident causation. In: A.M. Parkes, S. Franzén (Eds.) *Driving future vehicles*. London, Washington: Taylor & Francis.
- SHANNON, H. S. (1986): Road-accident data: interpreting the British experience with particular reference to the risk homeostasis theory. *Ergonomics*, Vol. 29, 1005-1015.
- SHIFFRIN, R.M. & SCHNEIDER, W. (1977): Controlled and automatic human information processing. II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84, 155-171.
- SHINAR, D. (1977): Curve perception and accidents on curves: An illusive curve phenomenon? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 23, 1.
- SHINAR, D., ROCKWELL, T. H. & MALECKI, J. A. (1980): The effects of changes in driver perception on rural curve negotiation. *Ergonomics*, 23, 263-275.
- SMITH, R. G. & LOVEGROVE, A. (1983): Danger compensation effects of stop signs at intersections. *Accid. Anal & Prev.*, 15, 95-104.
- SOMBERG, B. & SALTHOUSE, T. (1982): Divided attention abilities in young and old adults. In: *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 8, 651-663.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1990): *Straßenverkehrsunfälle*, Fachserie 8, Reihe 3.3., Wiesbaden.
- SVENSON, O. (1981): Are we all less risky and more skillful than our fellow drivers? *Acta Psychologica*, 47, 143-148.
- TRÄNKLE, U., GELAU, C. & METKER, T. (1988): Situationsbezogene Risikoeinschätzung junger Fahrer. Forschungsprojekt 8307/3 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach. Universität Münster.
- TRÄNKLE, U., GELAU, C. & METKER, T. (1990): Risk perception and age-specific accidents of young drivers. *Accid. Anal. & Prev.*, 22, 119-125.
- TRÄNKLE, U. (1994): Autofahren im Alter - ein Problem? In: Tränkle, U. (Band-Hrsg.), *Autofahren im Alter*. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 11-18. Bonn: Dt. Psychologen Verlag.
- TRÄNKLE, U. (1994): Autofahren im Alter: Antworten und offene Fragen. In: Tränkle, U. (Band-Hrsg.), *Autofahren im Alter*. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 361-375. Bonn: Dt. Psychologen Verlag.
- TURVEY, M.T. (1977): Preliminaries to a theory of action with reference to vision. In: R. Shaw, G. Bransford (Eds.) *Perceiving, acting, and knowing: Toward an ecological psychology*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum. 211-265.
- UNDEUTSCH, U. (1958): Psychologisch richtige Verkehrsführung. In: *Arbeits- und Forschungsgemeinschaft für Stadtverkehr und Verkehrssicherheit* (Hrsg.): *Die Sicherung des modernen Straßenverkehrs* Köln. 239-263.
- VAN DER MOLEN, H. H. & BÖTTICHER, A.M.T. (1988): A hierarchical risk-model for traffic participants. *Ergonomics*, 31, 537-555.
- WELFORD, A.T. (1989): Effects of concentration in relation to sex and age. *Developmental Neuropsychology*, 5, 261-265.
- WICKENS, C. D. (1984): *Engineering psychology and human performance*. Columbus Ohio: C. E. Merrill Pub. Comp.
- WIERWILLE, Walter W. (1975): Driving simulator design for realistic handling. In: *Proceedings of the Third International Conference on Vehicle Systems Dynamics*. Amsterdam: Swets and Zeitlinger, 186-199.
- WILDE, G. J. S. (1982): The theory of risk homeostasis: implications for safety and health. *Risk Analysis*, 2, 209-225.
- WITTENBERG, R. (1993): Bestandsaufnahme und Entwicklung aus der Sicht der empirischen Sozialforschung. In: Lang, E. & Arnold, K. (Hrsg.): *Der Mensch im Straßenverkehr*. Stuttgart: Enke, 44-60.
- YAGAR, S. & van AERDE, M. (1983): Geometric and environmental effects on two-lane highways. *Transportation Research*, Vol. 17 A, 315-325.
- ZIMMER, A. (1986): Unfälle auf ostbayrischen Straßen. Symposium, Theuern.
- ZIMMER, A. (1994): Multistability - More than a freak phenomenon. In: P. Kruse & M. Stadler (Eds.) *Ambiguities in mind and nature - Multistability in cognition*. Berlin: Springer, 99-138.
- ZIMOLONG, B. (1982): *Verkehrskonflikttechnik - Grundlagen und Anwendungsbeispiele*. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 35. Köln: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.