

# **Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr**

## **Literaturübersicht und empirische Felduntersuchung**

### **Inaugural-Dissertation**

zur

Erlangung des Doktorgrades  
der Philosophischen Fakultät  
der Universität zu Köln

vorgelegt von

**Klaus Hering**

Düsseldorf

1999

Dissertation,  
vorgelegt und  
angenommen von der  
Philosophischen Fakultät der  
Universität zu Köln

Erster Referent: Prof. Dr. E. Stephan  
Zweiter Referent: Prof. Dr. W. Hussy

*Meinem Vater*

## Vorwort und Dank

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen eines Forschungsprojekts am psychologischen Institut der Universität zu Köln unter Leitung von Prof. Dr. E. STEPHAN und Prof. Dr. W. HUSSY. Im Auftrag der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beschäftigte sich die K-*VEBIS*-Projektgruppe (Kölner Verfahren zur vergleichenden Erfassung der kognitiven Bbeanspruchung im Straßenverkehr) mit der Entwicklung eines psychologischen Instrumentariums, das eine Bewertung verschiedener Mensch-Maschine-Schnittstellen bei der Kfz-Handhabung ermöglicht.

Dieses *VEBIS*-Verfahren stellt einen komplexen Versuchsaufbau dar, der sich zusammensetzt aus einem Laborversuch, einem Feldversuch und einer Reihe von Fragebogen zur Erfassung biographischer und persönlichkeitsbezogener Eigenschaften. Die Dissertation beleuchtet einen Teilbereich der Forschungsergebnisse der *VEBIS*-Gruppe und konzentriert sich dabei auf die Ergebnisse des Feldexperiments. Einen umfassenden Überblick über den vollständigen Versuchsaufbau und eine Zusammenstellung der Forschungsergebnisse liefern die in Vorbereitung und im Druck befindlichen Publikationen der *VEBIS*-Gruppe (vgl. u.a. STEPHAN, HUSSY, FOLLMANN, HERING, KLAFFER, MUTZ & THIEL, 1999).

An dieser Stelle geht mein herzlicher Dank an alle, die das Entstehen dieser Arbeit unterstützt haben. In erster Linie danke ich dabei Professor Dr. E. Stephan und Professor Dr. W. Hussey für ihre sachliche und zugleich kreative sowie für die wohlwollende und stets zielführende Leitung der Projektgruppe. Gleichzeitig bedanke ich mich für die Zusammenarbeit mit den übrigen Gruppenmitgliedern: Bei Frau Dipl. Psych. Svenja Thiel für einen intensiven und ermunternden Gedankenaustausch und die gegenseitige Unterstützung; bei Herrn Dipl. Psych. Wilfried Follmann für ein sehr kollegiales Verhältnis und seine hilfreichen Anregungen und Kommentare; bei Herrn Dipl. Psych. Gerhard Mutz für eine ausgereifte technische Realisierung des Versuchsaufbaus und bei Frau Cand. Psych. Katrin Klaffer für ihre intelligenten Programmierarbeiten im Rahmen der Datenanalyse.

Außerdem danke ich meinem Vater für seine Änderungs- und Korrekturvorschläge und schließlich insgesamt für den „*social support*“ all derer, die mich während dieser Arbeit begleitet haben.

## Inhaltsübersicht

	Seite:
I Theoretischer Teil	1
1. Kapitel: Einleitung	1
2. Kapitel: Verkehrspsychologische Systemevaluation	12
3. Kapitel: Verkehrspsychologische Beanspruchungsforschung	41
4. Kapitel: Blickregistrierung und Sehfeldbestimmung	56
5. Kapitel: Das Doppelaufgabenparadigma	68
6. Kapitel: Klassifikation von Verkehrssituationen	85
II Empirischer Teil	97
7. Kapitel: Methode	97
8. Kapitel: Ergebnisse	120
9. Kapitel: Diskussion	143
10. Literatur	167
11. Anhang	182

## Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Theoretischer Teil</b>	<b>1</b>
1	Einleitung	1
1.1	Allgemeine Fragestellung	1
1.1.1	Psychologische Forschung zur Mensch-Maschine-Interaktion	2
1.1.2	Hintergrund der Arbeit	2
1.2	Terminologische Klärungen	3
1.2.1	Belastung und Beanspruchung	3
1.2.2	Verwandte Bereiche: Beanspruchung, Stress und Monotonie	4
1.2.3	Mensch-Maschine-Interaktion und Fahrzeug-Ergonomie	5
1.2.4	Verkehrssicherheit und mentale Beanspruchung im Straßenverkehr	6
1.3	Das Faktorenmodell des psycho-vegetativen Beanspruchungsgehalts der Fahraufgabe	7
1.4	Forschungsschwerpunkte der Ergonomie-Evaluation	10
<b>2</b>	<b>Verkehrspsychologische Systemevaluation</b>	<b>12</b>
2.1	Faktor: Fahrzeug-Ergonomie	12
2.1.1	Telematik und das Konzept der Fahrerassistenz	13
2.1.2	Großprojekte zur Telematik-Entwicklung: PROMETHEUS und DRIVE	14
2.2	Forschungsprojekte zur verkehrspsychologischen Systemevaluation	14
2.2.1	Navigationssysteme	15
2.2.1.1	Empirische Untersuchungen zu Navigationssystemen	16
2.2.1.1.1	Allgemeine Untersuchungen zu Navigationssystemen	16
2.2.1.1.2	Geronto-verkehrspsychologische Untersuchungen zu Navigationssystemen	19

---

2.2.2	Automatische Geschwindigkeits- und Distanzregelung	22
2.2.3	Sprachliche Informationssysteme	24
2.2.4	Head Up-Display-Technologie	27
2.2.5	Telefonieren am Steuer	29
2.2.6	Analoge versus digitale Tachometergestaltung, Multifunktionsdisplays	30
2.2.7	Autonome Fahrzeuge	32
2.2.8	Elektronisch kontrollierte Fahrdynamik	33
2.2.9	Kollisionsverhinderung und Einparkhilfen	34
2.2.10	Müdigkeitswarner und Verbesserung der Außensicht	34
2.3	Evaluationsinstrumente für Telematiksysteme	35
2.3.1	Checklisten zur Sicherheitsklassifikation	35
2.3.2	Normierungsbestrebungen im Zusammenhang mit der ISO- Norm TC22 SC13 WG8 – Code of Practice	38
2.3.3	Die Akzeptanz von Navigations- und Verkehrsführungssystemen	39
<b>3</b>	<b>Verkehrspsychologische Beanspruchungsforschung</b>	<b>41</b>
3.1	Faktor: Fahrerbeanspruchung	41
3.1.1	Frühe Ansätze der Beanspruchungsforschung	41
3.1.2	Das Belastungs- und Beanspruchungsforschungsprogramm der BASt	42
3.1.3	Folgeuntersuchungen der deutschen Belastungs- Beanspruchungs-forschung	44
3.2	Untersuchungsschwerpunkte und Ergebnisse der Beanspruchungs-messung	45
3.3	Wahl der Beanspruchungsparameter	47
3.3.1	Physiologische Beanspruchungsparameter	48
3.3.1.1	Herzfrequenz	48
3.3.1.2	Elektrodermale Aktivität	50

---

3.3.1.3	Weitere physiologische Maße	50
3.3.2	Objektive Maße: Fahrzeugdaten	51
3.3.3	Lenkradbewegungen als Beanspruchungsparameter	52
3.3.4	Subjektive Maße: Befindlichkeitsdaten	54
3.3.5	Persönlichkeitsdaten	54
<b>4</b>	<b>Blickregistrierung und Sehfeldbestimmung</b>	<b>56</b>
4.1	Verfahren zur Blickregistrierung	57
4.1.1	Methode und Ergebnisse der elektro-okulographischen Blickregistrierung	57
4.1.2	Methode und Ergebnisse der optischen Blickregistrierung	58
4.1.3	Entwicklungspsychologische Fragestellungen der Sehwahrnehmung	60
4.1.4	Physiologische Voraussetzungen und Pathologien der Sehwahrnehmung im Straßenverkehr	62
4.2	Zentrales Sehen und peripheres Gesichtsfeld	63
4.2.1	Die FAT-Untersuchung (1978)	64
4.2.2	Die Untersuchungen von COHEN (1984f.)	65
<b>5</b>	<b>Das Doppelaufgabenparadigma</b>	<b>68</b>
5.1	Allgemeinpsychologische Untersuchungen zu Doppelaufgaben	68
5.2	Anwendungsbeispiele für Nebenaufgabentätigkeiten im Rahmen der Verkehrspsychologie	70
5.3	Grundlagen und Voraussetzungen für den Einsatz von Doppelaufgabenparadigmata	75
5.4	Charakteristische Probleme bei der Anwendung des Doppelaufgabenparadigmas	76
5.4.1	Allgemeinpsychologische Kritik am Doppelaufgabenparadigma	76
5.4.2	Das Verhältnis von Haupt- und Nebenaufgabe: Die Interferenzpro-blematik	78
5.5	Das Informationsverarbeitungsmodell als Grundlage der Versuchsanordnung	79



---

5.5.1	Das MEKIV-Modell der Informationsverarbeitung nach HUSSY (1993)	80
5.5.2	Das Informationsverarbeitungsmodell des Versuchsaufbaus	81
<b>6</b>	<b>Klassifikation von Verkehrssituationen</b>	<b>85</b>
6.1	Das Konzept der Verkehrssituation	85
6.2	Kategoriesysteme für Straßenverkehrssituationen	86
6.2.1	Das Klassifikationschema der BAST	86
6.2.2	Das Klassifikationschema von FASTENMEIER	88
6.2.3	Das Klassifikationschema von Chaloupka, Risser, Antoniadis, Lehner & Praschl (1996, 1998)	91
6.3	Verkehrspsychologische Untersuchungsszenarien der empirischen Beanspruchungsforschung	92
6.3.2	Laborversuche: Computersimulation	94
6.3.3	Feldversuch: Testfahrten im realen Straßenverkehr	95
<b>II</b>	<b>Empirischer Teil</b>	<b>97</b>
<b>7</b>	<b>Methode</b>	<b>97</b>
7.1	Die Hauptaufgabe	97
7.2	Die Nebenaufgabe	98
7.3.	Das Versuchsfahrzeug	99
7.4	Die Versuchsstrecke	100
7.4.1	Die Versuchsstrecke in der Pilotphase	100
7.4.2	Die Versuchsstrecke in der Hauptuntersuchung	101
7.5	Die Situationstaxonomie	102
7.5.1	Situationsklassifikation in der Pilotphase	103
7.5.2	Die Situationsklassifikation in der Hauptuntersuchung	104
7.5.3	Die Differenzierung unterschiedlicher Verkehrsszenarien: Die Unterscheidung zwischen "einfach" und "komplex"	105
7.5.4	Die Unterscheidung von verschiedenen Geschwindigkeitsklassen	106
7.6	Die Versuchspersonen	106
7.7	Fragebogen zur Erfassung biographischer Daten	107

---

7.8	Allgemeiner Versuchsablauf	109
7.9	Das verwendete Meßinstrumentarium	110
7.9.1	Die zentrale Meßplattform: Der VITAPORT-Rekorder	110
7.9.2	Das Verfahren der Datenerfassung	111
7.9.3	Versuchs- und Auswertungssoftware: SPIL, <i>realtime</i> -SPIL und VITAGRAPH	112
7.10	Die Datenaufbereitung	113
7.10.1	Die Beschreibung der Untersuchungsparameter	114
7.10.2	Detailbeschreibung der Parameter innerhalb der einzelnen Meßebenen	115
7.10.2.1	Die Nebenaufgabenparameter	115
7.10.2.2	Die physiologischen Meßgrößen	116
7.10.2.3	Die Fahrzeugparameter	117
7.10.2.4	Die Parametrisierung der Lenkradbewegungen	118
<b>8</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>120</b>
8.1.	Die Faktorstruktur der Versuchsdaten	120
8.1.1	Faktorenanalytische Betrachtung der Untersuchungsparameter	120
8.1.2	Reliabilität	123
8.2	Die Aufteilung in Situationsklassen	125
8.2.1	Die Aufteilung in Situationsklassen: Nebenaufgabe und Herzrate	125
8.2.2	Falsche Antwortreaktionen in der Nebenaufgabe	126
8.2.3	Die Aufteilung in Situationsklassen: Lenkradbewegungen	127
8.3	Vergleich der Abbiegemanöver	128
8.4	Die Aufteilung in Geschwindigkeitsklassen	129
8.4.1	Der Stand-Fahrtvergleich	129
8.4.2	Vergleich der Geschwindigkeitsklassen: Herzrate und Nebenaufgabe	130
8.4.3	Vergleich der Geschwindigkeitsklassen: Lenkradbewegungen	131
8.5	Das Verhältnis der Beanspruchungsparameter zueinander	132
8.5.1	Die Kovariation der verschiedenen Parameterebenen	132
8.5.2	Das subjektive Erleben im Vergleich mit kognitiven und	133

---

	physiologischen Daten	
8.5.2.1	Aufbereitung der Feedbackfragebögen und Gruppenbildung	133
8.5.2.2	Extremgruppenvergleich nach subjektivem Erleben zwischen den Gruppen der hoch versus niedrig Belasteten	134
8.7	Die Evaluation des CARIN-Navigationsystem	137
8.7.1	Kurzbeschreibung des CARIN-Navigationssystems	137
8.7.2	Versuchsaufbau der Meßreihe zum CARIN-Navigationssystem	137
8.7.3	Allgemeine Erfahrungen mit dem Navigationssystem	138
8.7.4	Statistischer Vergleich der Beifahrer-/CARIN-Bedingungen	139
<b>9</b>	<b>Diskussion</b>	<b>143</b>
9.1	Zusammenfassende Betrachtung der Versuchsergebnisse	143
9.1.1	Die Verwendung des Nebenaufgabenparadigmas	144
9.1.1.1	Die Parametrisierung der Nebenaufgabe	144
9.1.1.2	Kritik an dem Nebenaufgabenparadigma	145
9.1.2	Die Herzrate und andere physiologische Meßgrößen	147
9.1.3	Aufzeichnung von Fahrzeugparametern	148
9.1.4	Die Situationstaxonomie und Geschwindigkeitsaufteilung	149
9.1.5	Die Bedeutung von Populationseffekten	150
9.1.6	Bewertung der CARIN-Studie	152
9.2	Zusammenfassende Diskussion der Möglichkeiten und Grenzen empirischer Verkehrspsychologie	153
9.2.1	Bewertung der verkehrspsychologischen Beanspruchungsforschung	153
9.2.1.1	Charakteristische Meßschwierigkeiten der angewandten Beanspruchungsforschung	153
9.2.1.2	Kritik am eindimensionalen Beanspruchungskonzept – Situationsabhängigkeit	155
9.2.1.3	Die Kovariation verschiedener Beanspruchungsindikatoren	156
9.2.2	Bewertung okulometrischer und optischer Verfahren zur Blickverlaufsmessung	158
9.2.2.1	Bewertung elektro-okulometrischer Verfahren	158
9.2.2.2	Bewertung der optischen Blickregistrierung	159

---

9.2.2.3	Bewertung des peripheren Sehfeldumfangs als Beanspruchungsparameter	159
9.2.2.4	Zusammenfassende Bewertung der Blickregistrierung für verkehrspsychologische Anwendungen	161
9.2.3	Risikokompensation	162
9.2.4	Gefahren und unerwünschte „Nebenwirkungen“ der Telematik-Technologie	163
9.2.5	Weitere Einschränkungen verkehrspsychologischer Forschung	164
9.3	Ausblick und Desiderate an weitere Studien	165
10	<b>Literatur</b>	<b>167</b>
11	<b>Anhang</b>	<b>182</b>
11.1	Biographischer Fragebogen	182
11.2	Feedback-Fragebogen	185

# I. Theoretischer Teil

## 1 Einleitung

### 1.1 Allgemeine Fragestellung

Seit den ersten Versuchen zur Entwicklung von selbstangetriebenen Kraftwagen mit Verbrennungsmotor, die in den Jahren 1885 bis 1886 mit C. BENZ und G. DAIMLER einsetzten, wurden Bestrebungen unternommen, das Fahrzeug durch Änderungen immer weiter zu verbessern. Dabei standen in erster Linie technische Modifikationen im Mittelpunkt, mit denen gesteigerte Parameter wie Leistung, höhere Geschwindigkeiten oder erweiterte Nutzungsmöglichkeiten erzielt wurden. Mittlerweile kann der technische Leistungsstandard des Massenprodukts „Kraftfahrzeug“ als Ergebnis dieser über 100-jährigen Entwicklungsgeschichte trotz der auch heute noch fortgesetzten Veränderungsbemühungen als weitgehend ausgereift angesehen werden.

Die ständigen Weiterentwicklungen der Automobiltechnik haben sich verändernde Verkehrsbedingungen zur Folge gehabt, wie beispielsweise eine größere Verkehrsdichte oder höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten. Daraus wiederum erwächst die Notwendigkeit, daß auch ein technisch perfektioniertes Fahrzeug in besonderer Weise auf den Fahrzeugführer angepaßt ist, um der Fahrumgebung angemessen Rechnung tragen zu können. Hierbei wurden jedoch in der Vergangenheit die Auswirkungen technischer Veränderungen auf den Menschen oftmals vernachlässigt und allein schon erweiterte technische Möglichkeiten als Fortschritt angesehen. Erst eine modernere Sichtweise bezog den Anwender in die Betrachtung mit ein und konzentrierte sich auf die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) als Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug. Mittlerweile

bezeichnet PETERS (1997) die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Fahrzeug als Schlüssel zum Erfolg moderner Technologie mit unmittelbaren Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit.

### **1.1.1 Psychologische Forschung zur Mensch-Maschine-Interaktion**

Die wissenschaftliche Beschäftigung mit der Mensch-Maschine-Interaktion stellt ein interdisziplinäres Forschungsfeld dar, bei dem weniger ingenieur-technische Möglichkeiten als vielmehr psychologische Sichtweisen im Mittelpunkt stehen und hierbei Erkenntnisgewinn in Aussicht stellen. In dieser auf den Menschen und seine Charakteristika konzentrierten Tradition soll in der vorliegenden Arbeit - aufgebaut auf bisherige Forschungsergebnisse - ein innovativer Ansatz beschrieben werden, mit dem ein psychologisches Verfahren zur Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeug entwickelt werden soll.

### **1.1.2 Gliederung der Arbeit**

Die hier vorgelegte Arbeit unterteilt sich in zwei zentrale Bereiche. Im ersten, dem theoretischen Teil werden aus einer wissenschaftlichen Sichtweise die verschiedenen Ansätze vorausgegangener Forschung vorgestellt, mit denen vergleichbare Fragestellungen untersucht wurden. Neben einer terminologischen Klärung der verwendeten Schlüsselbegriffe wird im Kapitel 1 mit dem „Faktorenmodell des psycho-vegetativen Beanspruchungsgehalts der Fahraufgabe“ zunächst ein Arbeitskonzept entworfen, dessen Bestandteile in den nachfolgenden Abschnitten im Hinblick auf bereits vorliegende empirische Untersuchungen diskutiert werden. So beschäftigt sich ein Teilbereich (Kap. 2) mit dem Forschungsstand der verkehrspsychologischen Systemevaluation. Im Mittelpunkt steht dabei die Ergonomie-Bewertung verschiedener Fahrzeugsysteme. Angeschlossen sind ein Überblick über die verkehrspsychologische Beanspruchungsforschung und die verschiedenen Verfahren zur Blickregistrierung und Sehfeldbestimmung (Kap. 3 und 4). Als theoretische Grundlagen für den angewendeten

Versuchsaufbau wird in Kapitel 5 das Doppelaufgabenparadigma aus mehreren Perspektiven beleuchtet, bevor im sechsten Abschnitt die Ansätze zur Klassifikation von Verkehrssituationen erläutert werden.

Der im ersten Teil skizzierten herkömmlichen Forschung wird mit der experimentellen Feldstudie ein innovativer Versuchsaufbau gegenübergestellt, dessen Methode und Ergebnisse den zweiten, empirischen, Teil der Arbeit ausmachen. Neben dem Versuchsaufbau, dem verwendeten Meßinstrumentarium und dem Vorgehen der Datenaufbereitung und -analyse unter Punkt 7 findet sich in Kapitel 8 eine detaillierte Beschreibung der Versuchsergebnisse. Abschließend (Kap. 9) werden die Befunde zusammenfassend diskutiert und in einen übergeordneten Zusammenhang mit der verkehrspsychologischen Forschung gebracht. Deren Möglichkeiten und Grenzen stehen am Ende der Betrachtung und sind verbunden mit einem Ausblick und Desiderate an weitere Studien.

## **1.2 Terminologische Klärungen**

Vor der Darstellung des grundlegenden Modellkonzepts und relevanter Forschungsergebnisse ist eine Klärung und Abgrenzung der zentralen Begriffe des hier behandelten Forschungsbereichs von Bedeutung.

### **1.2.1 Belastung und Beanspruchung**

Die Begriffe „Belastung“ und „Beanspruchung“ gehören zu den meist verwendeten Konstrukten innerhalb der Arbeitswissenschaft (GREIF, 1991). „Psychische Belastung“ werden dabei als die Gesamtheit der erfaßbaren Einflüsse definiert, die von außen auf den Menschen zukommen und auf ihn einwirken (GREIF, 1994). Die Folge sind zeitlich unmittelbare psychische Beanspruchungen.

Nach herkömmlichen Definitionen wird somit der Begriff der „psychischen Beanspruchung“ allgemein verstanden als eine individuelle, zeitlich unmittelbare und nicht langfristige Reaktion auf die psychische Belastung des Menschen, die in Abhängigkeit steht zu seinen individuellen Voraussetzungen und seinem momentanen Zustand (GREIF, 1994). Beanspruchung stellt demzufolge die

subjektive Auswirkung äußerer Einflüsse auf das Individuum dar. Aus biologischer Sicht ist mit der Beanspruchung als Folge anhaltender psychischer Aktivität ein Vorgang der Schwächung der psychophysiologischen Struktur des Individuums verbunden. Diese Schwächung drückt sich in Form verstärkter Anstrengung und/oder Verschlechterung bestimmter Leistungen aus.

Verkürzt kann dieser Zusammenhang auf die Formel reduziert werden: „Belastung ruft Beanspruchung hervor“. Trotz dieser definitorischen Differenzierung ist der Hinweis angebracht, daß beide Konzepte zueinander in wechselseitiger Beziehung stehen, so daß eine unzweideutige Unterscheidung nicht in allen Fällen durchgängig aufrechterhalten werden kann.

In der verkehrspsychologischen Forschung wurde die Beanspruchung durch die Fahraufgabe oftmals mit dem Beanspruchungsgehalt von Arbeitstätigkeiten verglichen. Dabei wurde zurückgegriffen auf eine Reihe spezialisierter und standardisierter Verfahren zur psychologischen Analyse von Arbeitstätigkeiten (TBA, VERA, RHIA, vgl. FRESE & ZAPF, 1994). Als Beispiele für die verwandten Ansätze der Arbeits- und Verkehrspsychologie kann das Großprojekt zur „Beanspruchung- und Belastung des Kraftfahrers“ im Auftrag der BAST (u.a. HOYOS & KASTNER, 1986) ebenso wie die Folgeuntersuchungen (u.a. FASTENMEIER, 1995a) herangezogen werden, wobei der ursprünglich aus der Arbeitswissenschaft stammende „Fragebogen zur Arbeitsanalyse“ (FAA) eingesetzt und auf die Fahraufgabe übertragen wurde.

### **1.2.2 Verwandte Bereiche: Beanspruchung, Stress und Monotonie**

Der Begriff „Stress“ stammt aus dem Englischen („stress“ = Druck, Zwang) und beinhaltet eine umfangreiche Forschungstradition. Von der von SELYE (1956) geprägten Unterscheidung zwischen *Eu*-Stress als vorteilhafter, aktivierender Beanspruchung und *Dys*-Stress als nachteilhafter bis hin zu schädigender Beanspruchung wurde in der Folge immer stärker abgewichen, so daß in der aktuellen psychologischen Diskussion Stress in der Regel als eine Folge extremer, aversiv erlebter Belastungen (*Dysstress sensu SELYE*) verstanden wird. Arbeitswissenschaftlich wird von „Stress“ als Folge verstärkter psychischer Belastung gesprochen, wenn eine subjektiv erlebte Beanspruchung als ein



unangenehmer Spannungszustand erlebt wird (GREIF, 1991). Im Sinne dieser Definition kann das Führen eines Kraftfahrzeugs für den Fahrer zu jedem Zeitpunkt als eine mentale Belastung verstanden werden, wohingegen das Empfinden von Stress beschränkt ist auf Belastungsspitzen in besonderen Verkehrssituationen oder auf anderen Stressoren, deren Wirkung sich durch Akkumulation noch steigern kann.

Die Beziehung der Konstrukte „Mentale Beanspruchung“, „Ermüdung“ und „Monotonie“ ist komplizierter als der Vergleich mit dem Stress-Begriff. Fest steht, daß keiner der Termini als Synonym des anderen gelten kann, wenngleich ihr Auftreten untereinander durchaus Wechselwirkungen aufweisen kann. Es kann als gesichert gelten, daß sowohl mentale Beanspruchung als auch Monotonie langfristig zu Ermüdungserscheinungen führen. Unklarer hingegen ist die Frage, in welcher Art und Weise sich das Auftreten von Monotonie als mentale Beanspruchung niederschlägt.

### **1.2.3 Mensch-Maschine-Interaktion und Fahrzeug-Ergonomie**

Der Begriff „Ergonomie“ stammt aus dem griechischen *εργον* (Leistung) und *νομος* (Gesetz). Im weiteren Sinne wird damit ein interdisziplinäres Fachgebiet bezeichnet, das sich mit dem Studium der menschlichen Arbeit und der Erforschung ihrer Gesetzmäßigkeiten beschäftigt (*International Ergonomics Association*). Nach dieser Gegenstandsdefinition behandelt die Wissenschaft der Ergonomie die technischen, physiologischen und psychologischen Aspekte der Wechselbeziehung zwischen Mensch und Arbeit(-smittel), unter Ausklammerung organisationaler und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen. Angestrebt wird dabei eine größtmögliche Systemleistung, Zuverlässigkeit und Sicherheit der Funktionseinheit Mensch-Maschine unter günstigen Arbeitsbedingungen (GREIF, 1994).

Im engeren Sinne soll hier unter dem Begriff der Ergonomie die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion unter dem Blickwinkel der Handhabbarkeit der Funktionseinheit durch den Benutzer verstanden werden. Übertragen auf den Ausschnitt der Kraftfahrzeug-Ergonomie stehen bei der Untersuchung also nicht

die Qualität technischer Möglichkeiten, sondern vielmehr die Wechselwirkung des betreffenden Systems mit dem Fahrer auf die erlebte Beanspruchung im Mittelpunkt. Aufgabe der Fahrzeugkonzeption und -konstruktion ist es, bei der Entwicklung neuer Technologien die Charakteristika des Anwenders, des Fahrers, oder verschiedener Fahrergruppen, wie zum Beispiel ältere Verkehrsteilnehmer, entsprechend zu berücksichtigen.

#### **1.2.4 Verkehrssicherheit und mentale Beanspruchung im Straßenverkehr**

Vor dem Hintergrund der alljährlich in Statistiken zusammengefaßten Unfallzahlen kann als zentrale Aufgabe der verkehrspsychologischen Forschung eine Erhöhung der aktiven und passiven Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer gelten, die sich ausdrückt in einer Reduzierung der Anzahl von Verkehrsunfällen und geringeren Unfallschäden. Auch die Fahrzeugkonstruktion sollte an diesem Ziel maßgeblich orientiert werden. Die Forschung der vergangenen Jahrzehnte hat aber überzeugende empirische Belege dafür erbracht, daß das Unfallkriterium nicht in ausreichendem Maße verallgemeinerbare Verkehrsgestaltungsmaßnahmen ermöglicht (HÄCKER, 1971). Ohne auf die u.a. bei HUGUENIN (1988) oder v. KLEBELSBERG (1982) kritisierte „Unfälletheorie“ nach MARBE (1923) im Detail einzugehen, die eine bestimmte Persönlichkeitsstruktur als Ursache gehäufte Unfallvorkommnisse postuliert, kann es als gesichert gelten, daß ausschließlich anhand von Unfalldaten, die im statistischen Sinne als sog. „seltene Ereignisse“ zu betrachten sind, nur wenig Erkenntnisgewinn für Interventionsmaßnahmen erzielt werden kann. Im gleichen Sinne weisen auch RISSER & CHALOUPKA (1990) auf die Unzulänglichkeit von Unfalldaten als Kriterium hin.

Als Alternative zu der Unfallanalyse etablierte sich die Forschungstradition der Beanspruchungsmessung, deren Aufgabe es war, Belastungsspitzen im Straßenverkehr zu erkennen, die zwar ein erhöhtes Unfallrisiko beinhalten, ohne aber unbedingt das Unfallkriterium zu erfüllen. Dementsprechend orientierte sich die Bewertung der Kfz-Ergonomie weniger an der unmittelbaren Unfallgefährdung durch technische Einrichtungen als vielmehr an der Belastungswirkung auf den Anwender, wobei neben der objektiven Verkehrsinteraktion auch der subjektiv

erlebte Komfort des Fahrers als Marktvorteil Beachtung fand. Die holländische Gruppe der kooperierenden Institute SWOV und TNO (HEIJER, BROOKHUIS, VAN WIMSUM, & DUYNSTEE, 1998) schlägt statt des Unfallkriteriums das Konzept der Informationsüberlastung vor, mit dem eine erhöhte Unfallwahrscheinlichkeit in Verbindung gebracht wird. Gleichzeitig wird aber auch die mentale Unterforderung des Fahrers als Zustand mit erhöhter Verkehrsgefährdung beschrieben, wobei eine eindeutige quantitative Unterscheidung noch nicht verfügbar sei. Den Zusammenhang von mentaler Beanspruchung und Risikoverhalten für das Verhalten im Straßenverkehr beschreibt HOYOS (1988).

Bei der Betrachtung der Möglichkeiten empirischer Fahrzeugergonomieforschung soll darauf hingewiesen werden, daß die statistischen Angaben zu den Unfallverursachern einwandfrei den Menschen als Hauptunfallursache im Straßenverkehr belegen. Ein Versagen der Kfz-Technik spielt als Unfallursache nur eine geringfügige Rolle. So weist eine zurückliegende Unfallstatistik der Bundesrepublik Deutschland vor der Wiedervereinigung als Anteil an den Unfallursachen dem Fahrzeug ca. 2 % zu, den Straßenverhältnissen und Witterungseinflüssen 8 %, dem Menschen dagegen 90 %. Damit sind die Möglichkeiten der Unfallverhütung durch technische Veränderungen *per se* stark eingeschränkt, meßbare Fortschritte sind daher stets engen Grenzen unterworfen. Vor dem Hintergrund solcher Grenzen, die insbesondere im letzten Abschnitt dieser Arbeit ausführlich diskutiert werden, erscheint die generelle Fragestellung dieser Arbeit besonders ambitioniert.

### **1.3 Das Faktorenmodell des psycho-vegetativen Beanspruchungsgehalts der Fahraufgabe**

Wenn als zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit eine psychologische Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Fahrzeug im Mittelpunkt steht, muß der Beanspruchungsgehalt der Fahraufgabe als Bewertungsmaßstab für die Qualität der MMI angesehen werden. Die Belastungswirkung der Fahrtätigkeit macht sich als Beanspruchung beim Fahrer gleichzeitig sowohl mental als auch körperlich in unterschiedlichem Maße bemerkbar. Das Faktorenmodell der

psycho-vegetativen Beanspruchungswirkung durch die Fahraufgabe stellt einen Versuch dar, die verschiedenen Einflußgrößen auf den Grad der Fahrerbeanspruchung gegenüberzustellen und zu klassifizieren.

Das Führen eines Kraftfahrzeugs stellt für den Fahrer<sup>1</sup> zu jedem Zeitpunkt eine Aufgabe dar, die mit einer bestimmten Belastung verbunden ist. Das Ausmaß des dadurch hervorgerufenen psycho-vegetativen Beanspruchungsgehalts als die zu bestimmende Größe wird bestimmt durch verschiedene Einflußgrößen, die sich in subjektive und objektive Unterschiede aufteilen lassen. Subjektiv variiert die Fahrerbeanspruchung zum einen durch interindividuelle Unterschiede. So werden beispielsweise von der gleichen Verkehrssituation erhebliche Unterschiede zwischen Fahranfängern und erfahrenen Kraftfahrern hinsichtlich des Beanspruchungsgehalts zu erwarten sein. Gleichzeitig bestehen auch intraindividuelle Unterschiede, die wiederum in kurz- und langfristige Veränderungen unterteilt werden. Kurzfristige intraindividuelle Veränderungen sind beispielsweise Ermüdungserscheinungen oder Monotonieeinflüsse bei langen Autofahrten. Langfristige individuelle Veränderungen beziehen sich auf die Fahrerbiographie und werden im wesentlichen durch den Verlauf vom Fahranfänger über den Routinier bis hin zum älteren Kraftfahrer bestimmt. Dabei ist der Hinweis angebracht, daß sowohl intra- als auch interindividuell erhebliche Unterschiede bei der subjektiv erlebten Beanspruchungswirkung einer Fahrsituation auftreten können, selbst wenn objektiv die gleichen Umstände gegeben sind. Beispiel hierfür wären nächtliche Autofahrten, die von Fahrern mit uneingeschränkter Sehfähigkeit eher als entspannend eingestuft werden, wohingegen Fahrer mit beinträchtigtem Visus eher eine deutliche Beanspruchung erleben.

Neben den genannten subjektiven, personenbezogenen Variationsquellen gibt es auch objektive Unterschiede, die maßgeblich durch die äußeren Umstände der Fahraufgabe beeinflußt werden. Eine wesentliche Determinante der Fahrerbeanspruchung stellen dabei Situationsbedingungen dar. So beinhalten beispielsweise Abbiegemanöver oder Spurwechselvorgänge im komplexen Stadtverkehr bei

---

<sup>1</sup> Im folgenden werden Begriffe wie „Fahrer“, „Teilnehmer“ etc. geschlechtsneutral verwendet und beziehen auch weibliche Personen ein.

Tage andere Anforderungen als eine nächtliche Autofahrt. Auch die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern ist Teil der situativen Verkehrsbedingungen als Einflußfaktor für den Belastungsgehalt der Fahraufgabe. Eine weitere Einflußgröße, der im Rahmen dieser Arbeit besondere Bedeutung beigemessen wird, stellt die Gestaltung des Fahrzeugs dar, wobei unter dem in Abb. 1.01 verwendeten Begriff der „Fahrzeug-Ergonomie“ die gesamte Interaktion des Fahrers mit seinem Fahrzeug verstanden wird. Die zentrale Forschungshypothese postuliert einen meßbaren Einfluß der Fahrzeuergonomie auf den Fahrer. Anders ausgedrückt, es wird davon ausgegangen, daß die Handhabbarkeit des Fahrzeugs den Beanspruchungsgehalt des Fahrers durch die Fahraufgabe beeinflusst.

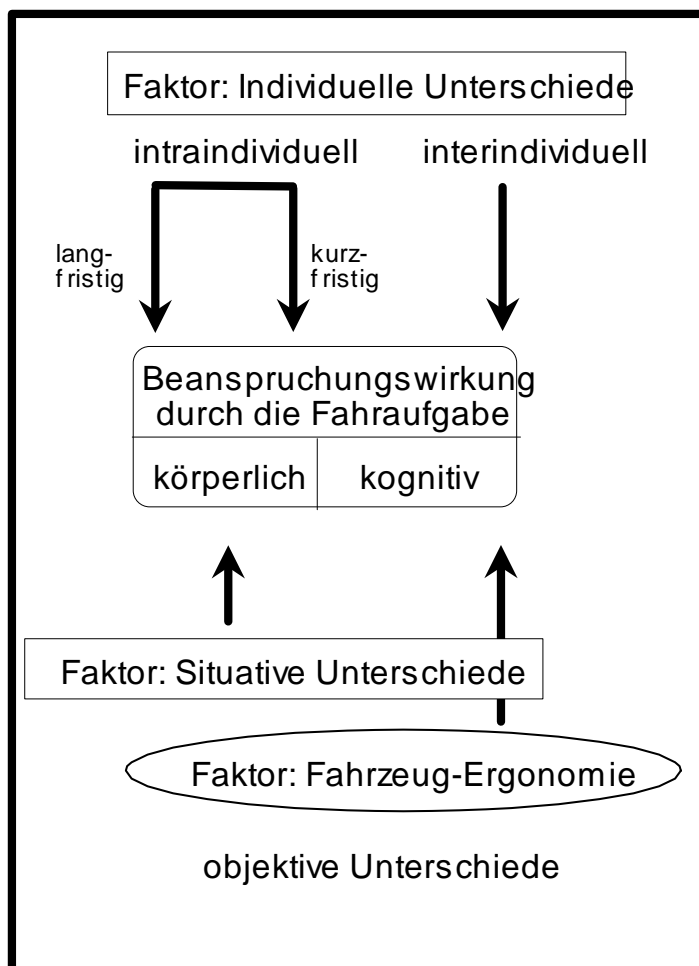


Abb. 1.01: Faktorenmodell für die psycho-vegetative Beanspruchungswirkung durch die Fahraufgabe

Aus der Summe der in Abb. 1.01 schematisierten Einflußgrößen auf die psycho-vegetative Beanspruchungswirkung durch die Fahraufgabe wird deutlich, daß es

sich dabei um ein hochkomplexes, polyfaktoriell determiniertes Konstrukt handelt, dessen empirische Überprüfbarkeit theoretische und praktische Hindernisse beinhaltet. Um die Bedeutung der Einflußgröße „Fahrzeuergonomie“ zu quantifizieren und um somit eine Ergonomie-Evaluation vorzunehmen muß diese Wirkgröße von den übrigen Varianzquellen isoliert werden. Insgesamt lassen sich innerhalb des vorgestellten Faktorenmodells vier Hauptbereiche unterscheiden, deren Inhalt jeweils im Mittelpunkt einzelner Abschnitte der Arbeit steht.

#### **1.4 Forschungsschwerpunkte der Ergonomie-Evaluation**

Im vorangestellten Modell wurde der Ergonomie-Begriff umfassend auf die gesamte Interaktion des Fahrers mit seinem Fahrzeug ausgedehnt. Vor dem Hintergrund weitgehend ausgereifter konventioneller Fahrzeuggestaltung ist der Forschungsbedarf für die Zukunft aber vor allem in Bezug auf moderne Zusatzrichtungen zu sehen, die allein oder in Kombination mit anderen einen merklichen Einfluß auf das Fahrerverhalten erwarten lassen. Dabei beschreibt PETERS (1997) die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle als den Schlüssel zum Erfolg von Informationssystemen im Fahrzeug mit entscheidender sicherheitsrelevanter Bedeutung. Solche neu entwickelten benutzerfreundlichen Systeme sollten sich nach PETERS möglichst selbst erklären und keine zusätzlichen Aufmerksamkeitsressourcen beanspruchen. Mögliche Untersuchungsschwerpunkte für ergonomische Fragestellungen sind demnach in erster Linie im Rahmen einer Bewertung sog. „*Intelligent Transport Systems*“ (ITS) zu sehen. Unter diesem Begriff werden neuartige technologische Systeme zusammengefaßt, welche heute kurz vor der Markteinführung stehen oder bereits - meist als Sonderausstattung - in bestimmten Fahrzeugmodellen erhältlich sind. Als Beispiele hierfür sind elektronische Navigationssysteme, *Head-Up-Displays* oder adaptive Geschwindigkeitsregler („*Adaptive (intelligent) cruise control*“, abk. „AICC“ oder „ACC“) zu nennen. Insgesamt lassen sich viele der genannten Fahrerunterstützungssysteme einordnen unter den weitergefaßten „Telematik“-Begriff, wobei unter diesem Terminus auch intelligente Verkehrsleitsysteme außerhalb des Fahrzeugs einbezogen werden.

---

Neben der technischen Realisierung moderner Fahrerunterstützungssysteme muß aber gleichzeitig auch die Auswirkung der Systeme auf den Anwender und Fahrzeugführer unter kontrollierten Bedingungen untersucht werden, wobei hier die psychologische Wirkung moderner Fahrzeugtechnologie im Mittelpunkt steht. An dieser Mensch-Maschine-Schnittstelle setzt das hier vorgestellte psychologische Ergonomie-Evaluationsinstrument zur Messung der mentalen Beanspruchung im Straßenverkehr ein.

# 2 Verkehrspsychologische Systemevaluation

## 2.1 Faktor: Fahrzeug-Ergonomie

In Anlehnung an das unter 1.3 beschriebene Faktorenmodell werden im ersten Kapitel eine Reihe von verkehrspsychologischen Untersuchungen behandelt, die sich konkret mit der Evaluation von elektronischen Systemen für den mobilen Einsatz im Kraftfahrzeug beschäftigen, für die in den letzten Jahren und Jahrzehnten die technischen Voraussetzungen geschaffen wurden. In welcher Aufbauphase sich derzeit die Entwicklung neuer elektronischer Technologien befindet, ist auch daran erkennen, daß sich bis heute keine einheitliche Terminologie durchsetzen konnte. Auch wenn sich die Abkürzung „ITS“ für „*Intelligent Traffic Systems*“ mittlerweile auf internationalen Kongreßveranstaltungen (bspw. in Berlin 1997, 1999 in Washington, D.C.) etabliert hat, finden sich in der Literatur auch weiterhin Bezeichnungen wie „Traffic Information Systems“ (TICS), „*Road Traffic Informatics*“ (RTI) oder „In-Vehicle-Information-Systems“ (IVIS). Auch die englischsprachige abgekürzte Bezeichnung sog. intelligenter Tempomatsysteme, dem „Adaptive (Intelligent) Cruise Control“, variiert zwischen „ACC“ und „AICC“ (vgl. 2.2.2). Erst mit Abschluß der Pionierphase der technischen Entwicklung solcher Systeme wird ein einheitlicher Sprachgebrauch zu erwarten sein. Ebenso kann der unten beschriebene „Telematik“-Begriff nur als Oberbegriff für eine Reihe differierender Systeme aufgefaßt werden.



### **2.1.1 Telematik und das Konzept der Fahrerassistenz**

Unter dem Begriff „Telematik“ wird die Entwicklung verschiedener Systeme zur verkehrsbezogenen Kommunikation, Leitung und Information zusammengefaßt. Der gesamte Bereich der Telematik hat in den letzten Jahren enorme technische Fortschritte gemacht und stellt heute einen festen Bestandteil bei der Gestaltung des Verkehrswesens dar. Zugleich beinhaltet diese Technologieentwicklung für die kommenden Jahre noch ein erhebliches Wachstumspotential. Eine Broschüre (1997, S. 1) zitiert den damaligen Bundesverkehrsminister Wissmann mit den Worten: „Telematik ist gewiß keine Zauberformel, mit der sich alle Verkehrsprobleme auf einen Schlag lösen lassen. Sie ist aber als Ergänzung infrastruktureller und ordnungspolitischer Maßnahmen ein erfolgversprechendes Instrument, um unser Verkehrssystem noch effizienter, sicherer und umweltverträglicher zu gestalten.“ Bei der Entwicklung sollen integrierte Telematiksysteme den Vorrang haben, die als Ziel nicht die isolierte Verbesserung des einzelnen Verkehrsträgers, sondern eine Optimierung des Gesamtssystems haben. Somit berge der gesamte Bereich der Telematik große Chancen für die deutsche Wirtschaft. Auch ein Artikel im Nachrichtenmagazin „SPIEGEL“ (24/1998) über den derzeitigen Entwicklungsstand und die Möglichkeiten von Telematiksystemen unterstreicht die Aktualität dieses Themenbereichs.

Im Zusammenhang mit der weitreichenden Entwicklung von Telematiksystemen stellen REICHARD & HALLER (1995) das Konzept der „Fahrerassistenz“ vor. Trotz Sicherheitsfortschritten insbesondere im Bereich der passiven Sicherheit verbleiben nach Ansicht der Autoren für die aktive Sicherheit, dem Vermeiden von Unfällen, erhebliche nutzbare Potentiale für fahrerunterstützende Systeme. Das zugrundeliegende Konzept will den Fahrer nach dessen Regeln und Erwartungen in der Erfüllung seiner Fahraufgaben unterstützen, ohne ihn zusätzlich zu belasten oder in seiner Entscheidungsfreiheit einzuschränken. Insbesondere durch eine Integration verschiedener Fahrerassistenzsysteme soll sich für den Fahrer eine insgesamt harmonische neue Fahrtätigkeit ergeben, die durch Belastungsreduzierung und Sicherheits- und Komfortgewinn gekennzeichnet ist.

### **2.1.2 Großprojekte zur Telematik-Entwicklung: PROMETHEUS und DRIVE**

1986 wurde als großangelegte Kooperation vieler europäischer Automobilhersteller mit finanzieller Unterstützung der Verkehrsministerien der beteiligten Staaten das Forschungsprogramm PROMETHEUS („*Programme for a European Traffic with highest Efficiency and Unprecedented Safety*“, übersetzt etwa: „Programm für ein europäisches Transportwesen mit höchster Effizienz und unerreichter Sicherheit“) ins Leben gerufen. Nach Angaben von DAIMLER-CRYSLER standen nach einer mehrjährigen Definitionsphase ab 1989 den rund 600 beteiligten Wissenschaftlern jährlich 90 Millionen ECU zur Verfügung. Zwei Drittel davon wurden finanziert durch die großen europäischen Automobilhersteller, ein Drittel aus den Etats der zuständigen Verkehrsminister. Als Forschungsziele wurden sicheres Fahren, Harmonisierung des Verkehrsflusses und ein intelligentes Verkehrs- und Transportmanagement definiert. Neben PROMETHEUS und dem DRIVE-Projekt (*Development of Road Informatics for Vehicle Safety in Europe*) fanden vergleichbare, groß angelegte Projekte auch in Japan und den USA statt.

### **2.2 Forschungsprojekte zur verkehrspsychologischen Systemevaluation**

RISSER (1993, 1995) wirft vor dem Hintergrund solcher o.g. großangelegten Forschungsprogramme die Frage auf, wie High-Tech im Straßenverkehr und Psychologie zusammenpassen und welche verkehrspsychologischen Perspektiven die Einführung neuer Technologien eröffnet. Schon kurz nach dem Start des PROMETHEUS-Programms wurde die PRO-GEN Sicherheitsgruppe gebildet, die sich insbesondere mit den psychologischen Aspekten solcher technischen Innovationen befaßte und Instrumente zur Systembewertung erarbeitete (vgl. 2.3.1). Dabei stand die Erfahrung im Mittelpunkt, daß neben der technischen Machbarkeit solcher intelligenten Systeme immer auch gleichzeitig die ingenieur-technisch nicht meßbare Seite der Handhabung solcher Instrumente durch den Benutzer zu beachten sein muß. Im gleichen Sinne betonen BRUCKMAYR & REKER (1994), daß technische Möglichkeiten nicht unmittelbar mit Sicherheitsfort-

schritten gleichzusetzen seien und daß technische Innovation stets von psychologischer Evaluation begleitet sein müsse. Die Autoren stellten bei der Betrachtung neuer Fahrzeugtechnologien die Notwendigkeit heraus, daß der Fahrer seine Aufmerksamkeit zwischen der Hauptaufgabe Fahren und den Sekundäraufgaben verteilen müsse und daß jede Ablenkung von der Hauptaufgabe prinzipiell sicherheitsgefährdend sei. Ungeachtet der Tatsache, daß eine möglichst umfassende Instrumentierung für viele Kunden einen Kaufanreiz darstelle, sollte aus Sicherheitserwägungen eine Erhöhung der derzeitigen Informationsbelastung des Fahrers durch zusätzliche Anzeigen trotz technischer Realisierbarkeit vermieden werden. Ansonsten seien trotz vorgeblich sicherheitssteigernder Wirkung der neuen Systeme paradoxe Wirkungen zu befürchten, weil die Leistungsfähigkeit der „Systemkomponente Mensch“ überfordert werde. Im folgenden Abschnitt wird ein Überblick über die Schwerpunktbereiche der verkehrspsychologischen Evaluation moderner Fahrzeugtechnologien gegeben.

### **2.2.1 Navigationssysteme**

Von verschiedenen Herstellern wurden seit einigen Jahren vielfältige Bemühungen zur Entwicklung von elektronischen Navigationssystemen unternommen. Den unterschiedlichen Systemen der „elektronischen Landkarten“ ist gemeinsam, daß sie den Fahrer an ein vom ihm vorgegebenes Ziel führen und ihm damit herkömmliche Orientierungsmöglichkeiten durch Beschilderung, Landkarte und Befragung Ortskundiger ersparen helfen. Mittlerweile basieren die meisten Navigationssysteme auf einer Kombination von satellitengestützten Koordinatengaben über GPS, Tachosignal und einer Datenbank im Fahrzeug, die das digitalisierte Streckennetz enthält. Ein Microprozessor berechnet aus diesen Datengrundlagen die Möglichkeit, den Fahrer auf dem möglichst kürzesten und/oder schnellsten Weg an sein Ziel zu führen. Die technische Entwicklung solcher Navigationssysteme wurde begleitet von einer Reihe Untersuchungen, von denen im Zusammenhang mit der allgemeinen Fragestellung dieser Arbeit insbesondere die Interaktion zwischen Fahrzeugsystem und Fahrer von Bedeutung ist.

### 2.2.1.1 Empirische Untersuchungen zu Navigationssystemen

#### 2.2.1.1.1 Allgemeine Untersuchungen zu Navigationssystemen

**VERWEY (1996):** In einer experimentellen Studie des holländischen TNO-Instituts ging VERWEY (1996) der Frage nach, in welchem Ausmaß die Verwendung von Navigationshilfen die Aufmerksamkeit des Fahrers beansprucht und inwieweit durch den Einsatz die Verkehrssicherheit erhöht oder möglicherweise auch beeinträchtigt wird. Konkret evaluiert wurde dabei das Informationssystem RDS-TMC, das aktualisierte Fahrempfehlungen an den Fahrer weitergibt. Für das Feldexperiment wurde eine Teststrecke in einer holländischen Stadt mit vier verschiedenen Fahrsituationen und festgelegten Szenarien zugrunde gelegt. Dabei sollten drei verschiedenen Arten von Navigationsaufgaben ausgeführt werden: eine „*map-condition*“, wo einer dargestellten Straßenkarte gefolgt werden sollte, eine „*speech condition*“ (digitalisierte wegweisende Stimme) und eine „*filter programming task*“, bei der eine Suchaufgabe zu erledigen war. Das Verhalten bei jeder der vier Verkehrssituationen wurde u.a. auf der Basis von Videoaufzeichnungen des Blickverhaltens und Expertenratings zwischen „befriedigend“ bis hin zu „unsicher“ eingestuft.

Die Ergebnisse zeigen über alle Situationen und Bewertungen eine signifikante Verschlechterung der Fahrsicherheit bei allen drei Navigationsaufgaben, wobei die Filter-Programmierung acht mal unsicherer war als die Kontroll-Bedingung ohne Hilfssystem. Trotz dieser sicherheitsrelevanten Hinweise geht VERWEY aber zusammenfassend davon aus, daß auf Grundlage des derzeitigen Entwicklungsstandes solche Systeme in ruhigen Verkehrssituationen gefahrlos anwendbar sind. Es stelle sich aber die Frage, ob bei dichtem Verkehr in komplexen Situationen Sicherheitsdefizite zu erwarten seien, weil unter solchen Umständen zu viel Aufmerksamkeitskapazität abgelenkt würde. Für die Folgeforschung werden anstelle von aufwendigen Felduntersuchungen vergleichsweise einfache Laborszenarien vorgeschlagen, wie programmierte *tracking*-Aufgaben zum Spurhalten bei gleichzeitigen Nebenaufgaben. Nach einem Abgleich der Laborwerte mit den Feldexperimenten könnten so in Zukunft für neuentwickelte Systeme etablierte Kriterien allein unter einfachen Laborbedingungen getestet werden.

**GSTALTER & FASTENMEIER (1995a/b), GSTALTER, FASTENMEIER & GALSTERER (1995):** Die Forschungsgruppe um FASTENMEIER, GSTALTER & GALSTERER vergleicht in verschiedenen Publikationen den Einsatz elektronischer Navigationssysteme mit herkömmlichen Orientierungshilfen wie dem Stadtplan oder einem ortskundigen Beifahrer. Dabei steht die Frage im Vordergrund, wie ein elektronisches Navigationssystem (hier von BMW) im Vergleich mit herkömmlichen Orientierungsmethoden abschneidet. Unterschieden wurden vier experimentelle Bedingungen: „Vollständiges System“, „Akustisches System“, „Stadtplan“ und „ortskundiger Beifahrer“. Insgesamt nahmen 16 ortsunkundige Teilnehmer an dem Versuch auf vier Teilstrecken im Großraum München teil. Als Ergebnis stellte sich heraus, daß die Orientierung mit Stadtplan den meisten Versuchspersonen besonders schwer fiel. Erwartungsgemäß schnitt die Beifahrerbedingung als vorteilhafteste Kondition ab und kann als obere Grenze für die elektronische Navigationsaufgabe angesehen werden. Das System stellte in beiden Varianten eine erhebliche Erleichterung bei Orientierungsschwierigkeiten dar. Für alle Versuchspersonen erwies sich die akustische Information als das primäre Informationssystem, die optische Anzeige höchstens als Beigabe. Die Zuverlässigkeit des Systems wird abschließend als zufriedenstellend bewertet, sie biete aber noch Raum für weitergehende Verbesserungen.

**POPP & FÄRBER (1997):** Einen ähnlichen Zugang wie die FASTENMEIER-Gruppe wählten POPP & FÄRBER (1997), wobei in dieser Untersuchung insbesondere der Vergleich des Navigationssystems mit externer Beschilderung im Mittelpunkt steht. Die Autoren weisen in diesem Zusammenhang auf eine Reihe von Unzulänglichkeiten sowohl der traditionellen wie der modernen elektronischen Orientierungshilfen in der Praxis hin. Diskutiert werden die verschiedenen Möglichkeiten der Orientierung in fremden Städten und deren vielfältige Defizite und Probleme. In der Vergangenheit habe sich die Erkenntnis durchgesetzt, daß das Suchverhalten ortsunkundiger Verkehrsteilnehmer oft ineffizient sei und zu einer erhöhten Verkehrsgefährdung führe. Das am häufigsten verwendete Hilfsmittel zur Orientierung sei die Ortsbeschilderung, wobei hier aber nicht selten erhebliche Defizite bis hin zu kaum lösbaren Dilemmata bei Art, Inhalt und

sinnvoller Informationsmenge der Schilder festzustellen seien. Gleichzeitig konnte beobachtet werden, daß die im Alltag verwendeten Landkarten oftmals veraltet und überholt sind. Insbesondere Stadtpläne sind nach POPP & FÄRBER nur sehr bedingt zur raschen Orientierung tauglich, wobei aber auch die Befragung von Passanten in der Regel nur höchst unzureichende Auskünfte ergab.

Als Alternative zu den genannten herkömmlichen Orientierungshilfen kommen elektronische Navigationssysteme in Betracht, die aber auch mit charakteristischen Problemen behaftet sind. Die Versuche zur Markteinführung rudimentärer Systeme müßten als gescheitert angesehen werden. Große Entwicklungsmöglichkeiten ergäben sich erst durch die Speicherung großer Datenmengen auf CD als digitalisierter Landkarte, verbunden mit Positionselektronik aus GPS und einer Fahrzeugsensorik. Dabei führe die Darstellung elektronischer Karten (auch mit Zoomfunktionen) auf dem kleinen, im Fahrzeug zur Verfügung stehendem Raum lediglich zu einer übermäßigen Ablenkung des Fahrers, ohne wirkliche Hilfestellungen zu bieten. Die optische Darbietung von Abbiegepfeilen mit akustischer Unterstützung wird aus Sicht der Ergonomie und Verkehrssicherheit als die einzig vernünftige und zukunftssträchtige Lösung angesehen. Dabei fordern POPP & FÄRBER eine verstärkte systemische Betrachtungsweise. So sollen einzelne Verkehrssysteme kombiniert werden, um eine durchgängige Zielführung des Benutzers von seiner Haustür bis zum Zielort zu ermöglichen unter Verwendung verschiedener Verkehrsmittel, z.B. von S- und U-Bahnen in Kombination mit dem eigenen PKW. Die bisherigen technischen Realisierungen im „Euroscout“-System übersteigen aber die Finanzierungsmöglichkeiten der öffentlichen Hand. Für die Zukunft wird eine allgemeine Funktionalität solcher Navigationssysteme in Verbindung mit einem Mobiltelefon in Aussicht gestellt, was eine wesentliche Voraussetzung für die wünschenswerte höhere Vernetzung der Verkehrssysteme darstellen würde.

**GSTALTER, GALSTERER & FASTENMEIER (1995):** Dokumentiert wird eine Untersuchungsreihe zum Verkehrsmanagementsystem „ALI-SCOUT/EURO-SCOUT“, das den Kern des Leit- und Informationssystems Berlin (LISB) bildete und das auch darüberhinaus noch als Basis verschiedener Verkehrsleitsysteme verwendet wurde. Im Gegensatz zu den meist auf das Fahrzeug beschränkten Navigations-

systemen werden für LISB auch Informationsbaken an ausgewählten Lichtsignalanlagen installiert, die Leitinformationen in Form von Routenempfehlungen per Infrarot an die entsprechend ausgerüsteten Fahrzeuge weitergeben. Für den Großversuch wurden etwa 700 Fahrzeuge mit den notwendigen technischen Geräten ausgerüstet. Zusammengefaßt wurden durch den Einsatz von LISB Veränderungen bei der allgemeinen Streckenwahl festgestellt. Es wurden im Vergleich mit der Bedingung ohne Navigationssystem mehr Hauptverbindungs-routen gefahren und weniger „Schleichwege“ benutzt, wobei sich zudem diese Verbindungen durch eine niedrigere Fahrerbelastung auszeichneten. Vorsichti-gere Fahrweisen und geringere Fahrfehlerhäufigkeiten konnten nur in der ersten Versuchsphase bei der Gewöhnung an das System beobachtet werden. Insge-samt wird das System für den Fahrer auf den kreuzungsfreien Streckenabschnit-ten als Entlastung bewertet. Innerhalb von Verkehrsknotenpunkten aber werde die Fahraufgabe nicht maßgeblich erleichtert, obwohl erforderliche Verhaltens-weisen wie rechtzeitige Spurwechsel vorbereitend unterstützt würden.

**PARTMANN, REINIG & STRUCK (1996):** Im Zuge der Bewertung verschiedener auf dem Markt befindlicher Systeme zur Blickverlaufsmessung untersuchten PARTMANN und Mitarbeiter (1996) in einer prototypischen Anwendungsmessung die Blickzuwendung auf ein fest installiertes Navigationssystem im Fahrzeug. Die Ergebnisse des Feldversuchs in realem Verkehr belegen einen überwiegend reibungslosen Einsatz der Orientierungshilfe. Beim Vergleich verschiedener Experimentalbedingungen wurde aber eine deutliche Verringerung der Blick-zuwendungszeit ermittelt, wenn die Routenempfehlung als Sprachausgabe erfolgte.

#### **2.2.1.1.2 Geronto-verkehrspsychologische Untersuchungen zu Navigationssy-stemen**

Vor dem Hintergrund der sich verschiebenden Alterspyramide und dem stark zunehmenden Anteil älterer Verkehrsteilnehmer beschäftigt sich im Rahmen des mittlerweile recht umfangreichen geronto-verkehrspsychologischen Untersu-chungsprogramms eine Reihe von Untersuchungen mit der Wirkung von Naviga-

tionshilfen auf den älteren Verkehrsteilnehmer. GEISER (1997) zeigt dabei anhand von Beispielen aus der Praxis, warum trotz großer technologischer Fortschritte bei der Handhabung von Informationssystemen weiterhin große Unzulänglichkeiten bei der Interaktion zwischen System und Mensch insbesondere bei älteren Verkehrsteilnehmern bestehen, die teils allgemeine, teils spezifische Funktionsdefizite, beispielsweise bei der visuellen Wahrnehmung, aufweisen. Vor diesem Hintergrund werden für die Gestaltung von Verkehrsinformationssystemen Gestaltungsregeln und Bewertungsverfahren gefordert, die auch die alterstypischen Eigenschaften berücksichtigen.

**VAN WOLFFELAAR, BROUWER & ROTHENGATTER (1991):** Eine frühe gerontoverkehrspsychologische Evaluation eines Navigationssystems wurde von VAN WOLFFELAAR und Mitarbeitern (1991) in einem holländischen Forschungsteam der Universität in Groningen am '*Traffic Research Center*' durchgeführt. Die Autoren betonen die spezifischen Probleme und Beschränkungen älterer Fahrer im Straßenverkehr, insbesondere bei der Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit. Dabei sei diese Frage von besonderer Bedeutung für die Einführung von Verkehrsinformations- und Navigationssystemen. Solche Systeme könnten auf der einen Seite behilflich sein, altersbedingte Defizite zu kompensieren, auf der anderen Seite aber zusätzliche Probleme für ältere Benutzer darstellen. Zu dieser Fragestellung wurde unter kontrollierten Laborbedingungen ein Simulatorexperiment durchgeführt. Anhand einer kombinierten Fahrsimulation mit einer simulierten Handhabung von Navigationssystemen und zusätzlichen Nebenaufgaben (serielle Additionen) wurden altersspezifische Auswirkungen bei der Beanspruchung der Aufmerksamkeitskapazität des Fahrers gemessen. Dazu wurde den 48 jüngeren bzw. älteren Versuchspersonen eine Spurhalte-Aufgabe vorgegeben, verbunden mit peripherer visueller Information. Die Tracking-Aufgabe wurde durch individuell kalibrierbaren „Seitenwind-Einfluß“ erschwert, so daß sie für alle Versuchspersonen gleich schwer war. Die periphere Entdeckungsaufgabe bestand aus dem Erscheinen von Verkehrszeichen auf Videomonitoren, die im 30° Winkel zum zentralen Computerbildschirm angebracht waren und auf die spezifisch reagiert werden mußte. Als simulierte Navigationsaufgabe wurde u.a. ein kleines Display eingesetzt, auf dem verschiedene Punkte aufleuch-



teten, die gezählt werden sollten. Nach einer Instruktions- und Gewöhnungsphase wurde zunächst jede Bedingung einzeln erhoben, danach in Kombination mit anderen. Variiert wurde darüberhinaus der Einsatz des Navigationssystems in verschiedenen Modi, beispielsweise mit manueller oder sprachgesteuerter Beantwortung. Dabei zeigte sich bei den älteren Versuchspersonen ein aus Sicherheitsaspekten bedenklicher Anstieg ausgelassener peripherer Stimuli und merkliche Kursverfehlung beim Einsatz des Informationssystems. Insbesondere bei der wenig-selbsterklärenden Bedingung und manueller Bedienung traten diese negativen Effekte besonders zutage. Die Autoren leiten daraus die Notwendigkeit ab, bei der Einführung von Navigationssystemen die Möglichkeiten und Grenzen unterschiedlicher Benutzergruppen zu berücksichtigen.

**POHLMANN & TRÄNKLE (1994):** POHLMANN & TRÄNKLE (1994) versuchten, altersbedingte Unterschiede bei der Orientierung in unbekanntem Gelände mit Hilfe von Navigationssystemen bzw. mit herkömmlichen Landkarten zu ermitteln. Eingesetzt wurde dazu in einem VW Golf das TRAVELPILOT-System der Fa. BOSCH, bei dem über ein Display der derzeitige Landkartenausschnitt aus Sicht des Fahrers eingeblendet wurde, ohne aber konkrete Fahrhinweise zu geben. Als unabhängige Variablen wurden dabei das Navigationssystem versus Landkarte versus Versuchsleiteranweisungen als Kontrollbedingung verglichen. Unterschieden wurde zwischen den beiden Altersgruppen „mittel-alte“ versus „ältere“ Versuchspersonen. Als abhängige Variablen wurden Kriterien wie Fahrleistung, Akzeptanz und Effektivität der Navigationshilfen gemessen und zusätzlich wurde die subjektiv erlebte Beanspruchung retrospektiv erfragt. Die Ergebnisse belegen erhebliche Unzulänglichkeiten des TRAVELPILOT-Systems. Vergleichbar mit der bekanntermaßen verkehrsunsiheren Navigation nach Landkarte zeigten sich auch beim Einsatz der elektronischen Landkarte erhebliche Fahrauffälligkeiten wie Geschwindigkeitsverringerungen bis hin zu abruptem Stillstand. Durch die seitliche Versetzung des Monitors von der Fahrtrichtung ergaben sich z.T. gravierende Abweichungen von der Fahrspur, wobei Fahrer allgemein dazu neigen, in die Richtung zu steuern, in die auch der Blick gerichtet ist. Auch wenn zeitweise fast vollständig die gesamte Aufmerksamkeit auf das Display gelenkt worden war, wurde das System von den Benutzern trotz

der offensichtlichen Sicherheitsdefizite dennoch überwiegend akzeptiert und wohlwollend bewertet. POHLMANN & TRÄNKLE kommen zu dem Schluß, daß das System in der vorliegenden Form die Informationsüberlastung nur steigern und keinen Fortschritt gegenüber herkömmlichen Navigationsinstrumenten darstelle. Erforderlich wären vielmehr konkrete Fahrhinweise ohne überflüssige Information über nicht benutzte Straßen. Dafür seien auch Head-Up-Displays oder akustische Sprachausgabeunterstützung in Erwägung zu ziehen.

In Bezug auf das unterschiedliche Durchschnittsalter der Versuchspersonen ergaben sich keine universellen Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen; bei beiden traten die genannten Schwierigkeiten auf. Im Detail lassen sich aber die bekannten Defizite älterer Verkehrsteilnehmer wiederfinden, die Informationen langsamer verarbeiten und daher auch weniger effektiv navigieren.

### **2.2.2 Automatische Geschwindigkeits- und Distanzregelung**

Neben Navigationshilfen stellen moderne Fahrzeugtechnologien zur Geschwindigkeits- und Abstandsregulation (abk. „*Autonomous Intelligent Cruise Control*“ (AICC) oder meist „*Autonomous Cruise Control*“ (ACC)) einen weiteren wichtigen Entwicklungsbereich dar. Häufig werden Systeme zur automatischen Geschwindigkeitsregelung („Tempomaten“) um diese Funktion erweitert. Mit Hilfe des ACC-Systems wird dann eine Wunschgeschwindigkeit vorgegeben, die selbständig angesteuert bzw. gehalten wird. Bei Annäherung an ein langsamer fahrendes Fahrzeug bremst das System bei einem festgelegten Abstand selbständig ab. Vergrößert sich der Abstand, wird wieder beschleunigt. Nach FÄRBER & FÄRBER (1997) ist die Entwicklung der Distanzregelungssysteme sehr weit fortgeschritten. Als Hindernis für eine breite Markteinführung sei weniger die technische Realisierung als vielmehr die Haftungsfrage zu sehen: Auch wenn die Systeme stets vom Fahrer aktiviert bzw. deaktiviert werden müssen, stelle sich doch die Frage nach der (Teil-)Haftung des Herstellers bei systembedingten Unfällen durch die automatische Längsregelung. Trotz dieser Unklarheiten erwarten REICHARD & HALLER (1995) im Zuge der beschriebenen technischen Möglichkeiten in Zukunft eine Steigerung der aktiven Sicherheit im Straßenverkehr.

**NIRSCHL & KOPF (1997):** Untersucht wurde das Zusammenwirken in Grenzsituationen zwischen dem Autofahrer und dem *Adaptive Cruise Control*-System zur automatischen Geschwindigkeits- und Abstandsregelung im realen Verkehr. Grenzsituationen werden definiert durch Fehler im System, Fehler des Fahrers oder durch unvorhergesehene Situationsänderungen. Über mehrere Versuchsfahrten hinweg sollten die Auswirkungen unterschiedlicher Systemvarianten (hart, mittel, weich) auf das Fahr- bzw. Bremsverhalten, subjektive Beurteilung des Risikos sowie Beherrschbarkeit und Verständlichkeit des Systems bewertet werden. Beim Umgang mit dem System wurden während der Fahrt Meßdaten auf 20 Kanälen aufgezeichnet (Ist-/Soll-Geschwindigkeit, Bremskraft, *time-to-collision* etc.). Aufgezeichnete Videobilder wurden nach der Testfahrt klassifiziert und analysiert. Während und nach der Fahrt wurden die subjektiven Einschätzungen der erlebten ACC-Situationen erfragt. Zusätzlich wurden die Reaktionszeiten bei einer vorgegebenen Nebenaufgabe, einer optischen Signalerkennung als mentales Beanspruchungsmaß gemessen. Die Ergebnisse belegen, daß der Fahrer bereits nach kurzer Zeit ACC-Situationen einordnen konnte, die ohne bzw. mit eigenem Eingriff ins System zu bewältigen waren. Dabei ging die mentale Beanspruchung bei den meisten Versuchspersonen bei den Wiederholungsfahrten zurück. Ebenso wie beim Eingriffsverhalten waren bei der subjektiven Einschätzung der Vorhersagbarkeit, des Risikos und der Beherrschbarkeit bei ACC-Situationen individuell unterschiedliche Ausprägungen vorherrschend. Insgesamt wurde die ACC-Funktion eher als Komfort- und weniger als Sicherheitsausstattung bewertet.

**FASTENMEIER, STADLER, & LERNER (1995):** In Feldversuchen mit 24 Versuchspersonen wurden zwei ACC-Systeme mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad als experimentelle Bedingungen untersucht. Es zeigte sich, daß die Versuchspersonen - mit individueller Varianz - keine besonderen Schwierigkeiten mit Funktionsweise und Handhabung beider Systemvarianten hatten. Bereits innerhalb relativ kurzer Zeit wurde erlernt, wie sich die Systeme „verhalten“. Trotz Skepsis bei zu starker Automatisierung im Automatikmodus des Systems wird eine Markteinführung befürwortet, da das ACC allgemein als Entlastung, stärker aber

noch – in Übereinstimmung mit den Befunden von NIRSCHL & KOPF (1997) – als Komfortsteigerung erlebt wird.

**CHALOUPKA, RISSER, ANTONIADES, LEHNER, & PRASCHL (1998):** In dem zugrunde liegenden Projekt der BASt sollte die Verhaltensanpassung an moderne Telematiktechnologien am Beispiel eines ACC-Systems untersucht werden. Je nach Automatisierungsgrad des Systems wurden zwei Experimentalbedingungen unterschieden und verglichen. Dabei wurden verschiedene qualitative und quantitative Verfahren zur Systemevaluation eingesetzt: Die PRO-GEN Verkehrssicherheits-Checkliste (vgl. 2.3.1), die „Wiener Fahrprobe“, eine standardisierte Teststrecke mit zwei mitfahrenden Beobachtern („Codierer“ und „freier Beobachter“) und *Round-Table*-Diskussionen, moderierte Gruppendiskussionen und (teil-) standardisierte Interviews.

Die Ergebnisse belegen neben positiven Veränderungen durch das System (weitgehende Regulierung der Sicherheitsabstände, homogenere Geschwindigkeitsregelung) gleichzeitig auch Nachteile im Verkehrsgeschehen (größere Sicherheitsabstände provozieren andere Lenker, in die Spur hineinzufahren) und des subjektiven Erlebens (Verantwortungsdelegation an das System, erlebter Kontrollverlust).

### 2.2.3 Sprachliche Informationssysteme

Aufbauend aus wahrnehmungs-psychologischen Befunden der Sicherheitsforschung aus den siebziger Jahren (FAT-Bericht Nr. 12, 1979) wurde in der ersten Hälfte der achtziger Jahre im Auftrag der BASt ein umfangreiches Forschungsprogramm fortgesetzt, das sich mit der Frage beschäftigte, inwieweit eine zusätzliche akustische Informationsausgabe eine sinnvolle Ergänzung zum weitgehend ausgelasteten optischen Kanal der visuellen Informationsdarbietung darstellen kann.

**FÄRBER & FÄRBER (1982, 1984):** In einer nicht-experimentellen Vorstudie beschreiben FÄRBER & FÄRBER (1982) die spezifischen Problemfelder beim Einsatz akustischer Sprachausgabegeräte im Kfz, die einer möglichen Umsetzung

entgegen stehen können. Neben möglichen Akzeptanzproblemen der Sprachausgabe wird besonders hingewiesen auf bestimmte problematische Fahrergruppen, wie ältere Fahrzeugführer aufgrund des Absinkens der oberen Hörgrenze und fremdsprachige bzw. gehörlose/schwerhörige Verkehrsteilnehmer.

Die aufwendige Hauptuntersuchung beschäftigte sich zum einen mit der Gestaltung von akustischen Hinweisreizen sowie sprachlichen Handlungshilfen. Neben den Laboruntersuchungen wurden auch realitätsnahe Einsätze im Fahrstand, auf kontrollierten Übungsterrains und im realen Straßenverkehr durchgeführt. Ein Teil der Untersuchung beschäftigte sich mit der Notwendigkeit von Handlungshilfen bei kritischen Ereignissen. Dabei stellte sich heraus, daß in vielen Fällen der Kenntnisstand über Sachzusammenhänge beim Auto ungenügend ist. So wußten 88 % der Befragten nicht das richtige Verhalten nach der Meldung „Die Kühlwassertemperatur ist zu hoch“. Daher erschienen nach Ansicht der Autoren Handlungshilfen für viele Störungsmeldungen nützlich. Da aber Sprachausgaben nur unter der Voraussetzung sinnvoll sind, daß sie auf ein Informationsbedürfnis des Nutzers stoßen und nicht bevormunden oder störend wirken, wurde eine „Hilfe“-Taste vorgeschlagen, mit der der Fahrer auf Wunsch zusätzliche Information abrufen kann. Weiterhin wurden linguistische Kriterien für gute Verständlichkeit von Sprachmeldungen erarbeitet und experimentell erprobt, beispielsweise der Vergleich von Meldungen in der Statementform gegenüber ganzen Sätzen. In Bezug auf die Rezeption der Sprachmeldungen stellte sich heraus, daß keine Meldung überhört wurde. Da die Meldungen allgemein gut registriert wurden, wurde von einer permanenten Wiederholung bis zur Fehlerbehebung abgeraten.

Zusätzlich zu den Laborversuchen wurde im Fahrstand ein Experiment durchgeführt, das die Verarbeitungskapazität und die möglichen Informationsüberlastungen des Fahrers beim Einsatz von Sprachausgabesystemen unter belastenden und kritischen Verkehrssituationen prüfen sollte. Dabei wurden so hohe Anforderungen an die Versuchspersonen gestellt, wie sie im normalen Straßenverkehr kaum auftreten. Von besonderer Bedeutung war dabei die Frage, ob bei starker Belastung des optischen Kanals und zusätzlicher akustischer Information das visuelle Geschehen oder die akustische Information bevorzugt werden oder

ob es zu einer wechselseitigen Beeinträchtigung der mentalen Verarbeitungsgüte kommt.

Bei den Experimenten im Fahrstand wurde zu Testbeginn die Aufnahme optischer Information durch Sprachausgabe leicht beeinflusst, ein Effekt, der in den Feldexperimenten nicht bestätigt werden konnte. Auch im Fahrstand zeigte sich eine rasche Normalisierung der Reaktionszeit auf periphere optische Reize im weiteren Versuchsverlauf, so daß schnell eine Gewöhnung an die Sprachausgabe eintrat. Bei der Lenkregelung konnten keine Unterschiede zwischen Situationen mit und ohne Sprachausgaben festgestellt werden.

Die Laborbefunde wurden in kontrollierten Feldversuchen weitgehend bestätigt: Bei den objektiven Maßen wie Bremsreaktionen, Lenkabweichungen oder Pulsfrequenz ließ sich auch bei ungünstigen Verkehrssituationen keine belastende Wirkung von Sprachausgaben aufzeigen. Sprachausgaben brauchen keine extrem seltenen Ereignisse darzustellen, da sich im Versuch Vertrautheit und positive Einstellung dem System gegenüber vorteilhaft auf das Verhalten des Fahrers auswirkten. Eine letzte Versuchsserie im realen Straßenverkehr diente insbesondere der Validierung der Ergebnisse vorhergehender Untersuchungen. Dabei ergab die Analyse der objektiven, verkehrssicherheitsrelevanten Parameter wie Lenkung (Spurhalten) und Geschwindigkeitsanpassung keine signifikanten Unterschiede. Der Vergleich von herkömmlichen Anzeigen und Sprachausgaben zeigte deutlich die Überlegenheit des neuen Mediums zur optimierten Verhaltensregulation. Bei Störungen des Sprachsystems kam es überwiegend zu einer angemessenen Problemlösung: Kein Fahrer reagierte hektisch oder mit unsicherem Verhalten. Auch konnte beim Auftreten von Sprachausgaben keinerlei zusätzliche Beanspruchung auf einer der mentalen und physiologischen Parameterebenen festgestellt werden. Nur 6 % der Befragten fühlten sich subjektiv durch Sprachausgaben überfordert, 32 % empfanden eine Entlastung. Insgesamt kommen die Autoren zu einer klar befürwortenden Haltung für den Einsatz zusätzlicher akustischer und sprachlicher Information im Kraftfahrzeug. Auch in einer späteren Untersuchung finden FÄRBER & FÄRBER (1988) Hinweise für die Vorteile akustischer Warnhinweise gegenüber rein optischer Informationsdarbietung.

### 2.2.4 Head Up-Display-Technologie

Die Technologie des Head-Up-Displays (HUD) stammt aus der Flugzeug- bzw. Cockpitgestaltung. Sie ist dort mittlerweile technisch weitgehend ausgereift und hat sich insbesondere im militärischen Bereich erfolgreich durchsetzen können. Die HUD-Technik basiert in der Projektion relevanter Zustands- und Warninformationen als virtuelles Bild außerhalb des Fahrzeugs in das Sehfeld des Bedieners. Das Bild wird meist knapp oberhalb der Fronthaube dargestellt, so daß das virtuelle Bild im Abstand von einigen Metern erscheint. Der wesentliche Vorteil besteht darin, daß die Sehbedingungen bei der Außenbeobachtung zum erheblichen Teil identisch sind mit den Sehbedingungen beim Ablesen der HUD-Anzeige, d.h., es sind keine oder nur geringe Änderungen des Fixations-, Akkomodations- und Adaptationszustandes erforderlich. Dem steht der grundsätzliche Nachteil von HUDs gegenüber, daß die Außenbeobachtung visuell und kognitiv beeinträchtigt werden kann.

Der Markteinführung von HUD-Systemen stehen neben technischen Schwierigkeiten auch allgemeine inhaltliche Unklarheiten entgegen. Auch wenn die Automobilindustrie grundsätzlich daran interessiert ist, die ergonomischen Vorteile eines HUDs in der Kraftfahrzeugtechnik einzusetzen, darf nicht vernachlässigt werden, daß sich die Aufgaben des Kraftfahrers von denen des (Kampf-)Piloten erheblich unterscheiden. Außerdem ist die Frage, welche Informationen in welchem Umfang auf einem HUD dargestellt werden sollen, weiterhin umstritten. Von deutschen Herstellern wie VDO wird betont, daß die Geschwindigkeit nicht permanent dargestellt zu werden braucht. Auch eine redundante Darstellung von Information sowohl in Form eines HUD als auch als konventionelle Instrumententafel soll vermieden werden, um einer Informationsüberlastung entgegen zu wirken. Für die Zukunft wird nach MUTSCHLER (1995) der HUD-Technik besondere Bedeutung im Zusammenhang mit der Entwicklung von Fahrernavigationssystemen zukommen. Von ersten wissenschaftlichen Anwendungsexperimenten mit der HUD-Technik im Kraftfahrzeug berichtet RUTLEY (1975). Neuere, deutschsprachige Literatur liegt von MUTSCHLER (1995) und SPRENGER (1992) vor.

**MUTSCHLER (1995):** Im Auftrag der BAST liefert MUTSCHLER (1995) einen Überblick über den Entwicklungsstand von *Head-Up-Displays* im Vergleich verschiedener Anbieter. So lagen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung in den USA, Japan und Europa rund ein Dutzend Prototypen von HUD-Systemen für Kraftfahrzeuge vor, die aber noch in keinem Fahrzeug serienmäßig angeboten werden. Die im Bericht dokumentierten Experimente belegen, daß Informationen auf einem HUD im Kraftfahrzeug schneller und sicherer abgelesen werden als auf der konventionellen Instrumententafel. Insbesondere die physiologischen Anteile des Wahrnehmungsvorganges, d.h. die Augenbewegung, das Akkommodieren und das Adaptieren, erfolgen mit einem HUD schneller. Allerdings kann die Kombination der Verkehrsszene mit bordeigenen Informationen zu verändertem Fahrverhalten und zu anderen Beobachtungsstrategien der Kraftfahrer führen.

**SPRENGER (1992):** Als Fragestellung sollten die Auswirkungen einer konventionellen Instrumentierung mit einem in das frontale Sehfeld projizierte *Head-Up Display* auf den Fahrer am Beispiel der Geschwindkeitsanzeige verglichen werden. Versuchspersonen waren an den Testfahrzeugtyp gewöhnte Männer mit mindestens fünf Jahren Fahrpraxis und unbeinträchtigtem Visus. Neben physiologischen Maßen (EOG, EKG) und subjektiven Befindlichkeitsdaten wurde zur Blickregistrierung ein portables EOG eingesetzt, wozu vier Elektroden in Augennähe aufgeklebt wurden (vgl. 4.1.1). Gemessen wurden Sakkaden, Lidschläge und „Rauschen“ (unwillkürliches Augenzittern). Zusätzlich wurde eine Blickbeobachtung während der Fahrt durch den Versuchsleiter vorgenommen. Die Ergebnisse belegen eine hochsignifikant häufigere Ablesung des HUD-Anzeige gegenüber dem Tachometer, die Ablesedauer des HUDs ist hingegen eindeutig kürzer. Den subjektiven Bewertungen der Versuchspersonen zufolge wurde die HUD-Geschwindigkeitsanzeige als wenig störend empfunden, die nötige Eingewöhnungszeit wurde überwiegend mit weniger als 20 Minuten angegeben. Das Geschwindigkeitsverhalten bei der Benutzung des HUD-Fahrzeugs war zwar tendenziell etwas angepaßter, unterschied sich aber nicht signifikant vom konventionellen Tachometer. Zusammenfassend wird die HUD-Technologie von SPRENGER (1992) als zukunftssträftig bewertet.



### 2.2.5 Telefonieren am Steuer

Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Verbreitung von Mobiltelefonen in Kraftfahrzeugen gewinnt die Frage immer mehr an Bedeutung, inwieweit sich das Telefonieren beim Autofahren auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit auswirkt. Diese Problematik wird auch innerhalb der Bevölkerung kontrovers diskutiert (ADAC Motorwelt, 11/97). Die unveröffentlichte Datengrundlage dieses Artikels (UNGERER, 1997) wurde auf Bitte zugänglich gemacht.

**UNGERER (1997):** Eine *baseline*-Bedingung ohne Autotelefon wurde mit den beiden Versuchsbedingungen mit Handy jeweils mit bzw. ohne Freisprecheinrichtung verglichen. Die Meßgrößen des Feldversuchs auf einer Standardteststrecke umfaßten mentale und physiologische Daten sowie Beobachtungen des Fahrverhaltens durch Fahrlehrer und Videoaufzeichnungen. Dabei zeigte sich – variiert durch unterschiedliche Telefon-Vorerfahrung – eine Häufung von Regelungsfehlern wie fehlender Schulterblick oder falscher Gang während der Telefonnutzung, in besonders gravierendem Maße ohne Freisprecheinrichtung. Zum Beispiel wurde im Schnitt alle drei Minuten ein Stoppschild übersehen. Unbeeinflusst von den häufigen Fahrfehlern bei den beiden Telefonbedingungen zeigte sich die subjektive Sicherheitswahrnehmung: Die Testpersonen waren überzeugt, fehlerfrei gefahren zu sein und hatten auch fehlerhaft bearbeitete Rechenaufgaben nicht bemerkt.

UNGERER (1997) weist darauf hin, daß die kognitiven Leistungen nur geringfügige Differenzen bei dem Telefonieren mit Handy oder mit Freisprechanlage zeigen. Die Beanspruchung des Fahrers müsse für beide Bedingungen als etwa gleich hoch angesehen werden, weil das Telefonieren an sich mentale Kapazitätsressourcen von der Fahraufgabe ablenkt. Vor diesem Hintergrund beinhalte die Freisprechanlage keine besonderen Sicherheitsvorteile.

Auf Grundlage dieser Studie befürwortet WUTHE (1997) vom ADAC die verpflichtende Einführung von Freisprecheinrichtung, ein generelles Verbot der Telekommunikation am Steuer lehnt er aber ab. Neben ausgesprochen pragmatischen Ratschlägen wie „möglichst zum Telefonieren anhalten“ und „in brenzli-

gen Situationen das Telefon klingeln lassen“ (S.3) solle die Möglichkeit von Sicherheitstrainings mit Telefon-Schulung geprüft werden.

**BECKER, BROCKMANN, BRUCKMAYR, HOFMANN, KRAUSE, MERTENS, NIN & SONNTAG 1995):** Das Autorenteam dokumentiert im Auftrag der BASt eine Reihe von Fahrversuchen im realen Straßenverkehr mit einem speziell ausgestatteten Versuchsfahrzeug. Der Forschungsansatz sah eine Datenerhebung vor, bei der eine Vielzahl verschiedener Meßgrößen simultan aufgezeichnet wurde (Lenkwinkel, Gaspedalstellung, Herzfrequenz, Augenbewegungen, Längsgeschwindigkeit, Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, Abstand zum Seitenstreifen). Zusätzlich zu den objektiven Daten wurden subjektive Parameter anhand von Selbstbeurteilungen, Befragungen und Fremdbeurteilungen erhoben. Die Datenanalyse geschah mit Hilfe des sog. „Carview“-Systems, das eine zeitsynchrone Darstellung des im Fahrzeug gemischten Kamerasignals und den einzelnen Meßgrößen ermöglicht. Als Ergebnis wurde festgehalten, daß sich das Telefonieren mit dem Hörer in der Hand negativ auf die Aufmerksamkeit und Koordination beim Fahren und somit auf die Fahrzeugführung auswirkt. Außerdem erschwerte in komplexen Verkehrssituationen das Telefonieren die Informationsaufnahme und -verarbeitung. Als größeres Sicherheitsrisiko als das Sprechen wird jedoch der Wählvorgang angesehen. Die Studie kommt gleichwohl zu dem Schluß, daß sich aus den gewonnenen Ergebnissen kein pauschales Verbot von Autotelefonen ableiten läßt. Das Wählen mit dem Hörer in der Hand sollte beim Fahren unterbleiben, Freisprecheinrichtungen sollten generell vorgeschrieben werden.

### **2.2.6 Analoge versus digitale Tachometergestaltung, Multifunktionsdisplays**

Schon seit einigen Jahren wurden Versuche unternommen, die herkömmliche analoge Visualisierung zentraler Fahrtparameter wie der Fahrgeschwindigkeit und der Drehzahl durch digitale Tachometeranzeigen zu ersetzen. Dabei wurden auch rekonfigurierbare Multifunktionsdisplays getestet, wobei aus wahrnehmungspsychologischen Gesichtspunkten diese Modifikationen nach der experimentellen Erprobung überwiegend skeptisch beurteilt wurden (FÄRBER & FÄRBER, 1988).

**FÄRBER & FÄRBER (1987, 1988):** In zwei getrennten Veröffentlichungen im Auftrag der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) in Zusammenarbeit mit der BASt wird eine sicherheitsorientierte Bewertung von Anzeige- und Bedienelementen in Kraftfahrzeugen angestrebt. Der erste Band stellt eine Zusammenstellung grundlagenwissenschaftlicher Erkenntnisse psychologischer Forschung dar. Untersuchungsgegenstand ist die Relevanz dieser Grundlagenerkenntnisse für Kfz-Ergonomie. Im zweiten Band steht die tatsächliche Gestaltung von Kfz-Bedienelementen im Vordergrund. Grundlage ist dabei eine Positionsanalyse der Anzeigenanordnung in 48 Personenkraftwagen von 20 Herstellern und einem separaten Teil für Lastkraftwagen. Im Detail untersucht werden die Fahrzeug-Cockpits deutscher Hersteller. Dabei zeigt sich u.a., daß zwar der Tachometer einheitlich einen zentralen Platz in der Anzeigenanordnung der verschiedenen Fahrzeugtypen erhält, aber viele andere Bedienelemente wie z.B. die Warnblinktaste uneinheitlich und sehr verstreut angeordnet sind. Angeschlossen an den deskriptiven Teil der Cockpitgestaltung sind experimentelle Untersuchungen, wo z.B. die Fehlerhäufigkeit bei der Bedienung der Scheibenwaschanlage protokolliert wurde. Weiterer Untersuchungsgegenstände sind die insgesamt 107 ermittelten verschiedenen Piktogramme, wobei anhand einiger Beispiele auch empirisch untersucht wurde, inwieweit einzelne Schemadarstellungen den Probanden bekannt waren. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht der Vergleich verschiedener Tachometeranzeigen. Die Ergebnisse der kombinierten Feld- und Laborstudie belegen zweifelsfrei die wahrnehmungspsychologischen Vorteile der analogen Darstellungsform gegenüber digitalen Displays.

**WALTER (1989):** Die Untersuchung von WALTER (1989) ging der Frage nach, ob eine analoge oder eine digitale Kodierung von Geschwindigkeit im Kfz ergonomisch günstiger ist. Dabei dokumentiert er einen Feldversuch auf einer 67 km langen definierten Fahrstrecke, die aus verschiedenen Straßentypen mit und ohne Geschwindigkeitsbegrenzungen bestand. Jeweils einen Fahrzyklus absolvierten die Versuchspersonen mit analogem, einen weiteren mit digitalem Tachometer. Als Methode der Beanspruchungsmessung wurden aus meßtechnischen Erwägungen auf physiologische Parameter oder den Einsatz einer Neben-

aufgabe verzichtet und eine Beschränkung auf eine Erfassung des subjektiven Stresserlebens vorgenommen. Während der Fahrt wurde darüberhinaus das Geschwindigkeitsregulationsverhalten mit einem Fahrtenschreiber erfaßt und die Blickhäufigkeit in 5 Meßphasen gemessen. Zusammengefaßt beschreibt WALTER eine allgemein bessere Tauglichkeit des analogen Instruments für die Darstellung von Geschwindigkeit im Kfz in allen Variablenebenen.

### 2.2.7 Autonome Fahrzeuge

Die komplexeste Form telematischer Systeme im Kraftfahrzeug stellen autonome Fahrzeuge dar. Diese Systeme streben die vollautomatische Führung eines Fahrzeugs an. So wird dem Fahrer – in definierten Zeitabschnitten, beispielsweise auf der Autobahn – ermöglicht, sich von der Fahraufgabe zurückzuziehen und sich gleichzeitig anderen Tätigkeiten zuzuwenden. Ein Fahrzeug, das in der Lage ist, vollautomatisch zu fahren, beinhaltet als technische Plattform fast die gesamte Bandbreite möglicher Fahrerunterstützungssysteme wie Bremshilfen, Überholsteuerung, Spurführung in Kurven etc. Im DAIMLER-BENZ HighTechReport (1994) wurden als vorläufiges Resümee die Ergebnisse nach sechs Jahren Forschungsarbeit im PROMETHEUS-Projekt vorgestellt. Im Mittelpunkt der Sindelfinger Forschungsbemühungen stand dabei das sog. VITA-System (*Vision Technology Application*): Ein Autopilot, der bremsen, Gas geben und lenken kann. Alle Informationen, die nötig sind, um sich selbständig auf der Straße zu bewegen, extrahiert ein leistungsstarker Rechner aus den Bildern verschiedener Videokameras. Dabei erkennt er nicht nur den Straßenverlauf, sondern auch das umgebende Verkehrsgeschehen bis hin zur Verhinderung einer Kollision durch automatisches Ausweichen oder eigenständiges Überholen. Nach FÄRBER & FÄRBER (1997) beschäftigten sich ursprünglich im Rahmen des PROMETHEUS-Programms mehrere Hersteller mit autonomen Fahrzeugen. Im Anschluß an das Projekt beschränkte sich aber im europäischen Raum DAIMLER-BENZ auf dieses Forschungsgebiet. Dies kann als Anzeichen dafür verstanden werden, daß vollautonome Fahrzeuge für die Mehrzahl der Automobilhersteller im Verhältnis zum Forschungsaufwand keine ausreichenden Marktpotentiale beinhalten. Auch im HighTechReport (1994) werden die Markteinführungschancen für das „sehen-

de Auto“ auf absehbarer Zeit eher skeptisch bewertet. FÄRBER & FÄRBER (1997, S. 5) bemerken zusammenfassend: „Der gegenwärtige Stand der Forschung läßt die Einführung von autonomen Fahrzeugen in ausgewählten Bereichen des Straßenverkehrs in den nächsten 10 Jahren als wahrscheinlich erscheinen.“

### **2.2.8 Elektronisch kontrollierte Fahrdynamik**

Ein weiterer Bereich elektronischer Fahrerunterstützungssysteme stellen Technologien zur Verbesserung der Längs- und Querführung im Fahrverhalten dar. Diese Systeme greifen entweder automatisch durch Drosselung der Leistung bzw. Veränderung der Stoßdämpfer-Charakteristik ein oder warnen den Fahrer über haptisch-kinästhetische Signale am Gaspedal oder am Lenkrad. Weite Verbreitung auf dem Markt auch über den PKW-Bereich hinaus haben schon seit einigen Jahren die Antiblockiersysteme (ABS) gefunden, die mittlerweile durchweg bei höherwertigen Fahrzeugen zur Serienausstattung zählen. Neuere technische Entwicklungen sehen elektronische Systeme zur Stabilitäts- und Spurhalteunterstützung vor. Unfreiwillige Popularität und eine breite öffentliche Diskussion fand das Stabilitätsprogramm von DAIMLER-BENZ durch den problematischen „Elchtest“ bei der Einführung der A-Klasse. Alle Modelle der A-Klasse mußten mit elektronischen Stabilitätssystemen nachgerüstet werden.

Im Zusammenhang mit dem PROMETHEUS-Projekt wurde von PORSCHE (o.V., 1995) ein Verfahren zur Kraftschlußüberwachung erarbeitet, mit dem die Grenzbereiche der Reifenhaftung bei Querbeschleunigungen dem Fahrer signalisiert werden sollen. Da das Kraftschlußpotential bei feuchten Straßenbelägen erheblich abnimmt, werden in den Radhäusern Detektoren angebracht, die mit hoher Genauigkeit die Höhe des Wasserfilms bestimmen können. Eine Vereisung der Fahrbahn wird aus einer Veränderung des Schräglaukoeffizienten der Vorderreifen erkannt. Als Weiterentwicklung ist es in Zukunft technisch realisierbar, die Straßenzustandsdaten über Funk an ein Verkehrsinformationssystem weiterzuleiten, um auch die übrigen Verkehrsteilnehmer rechtzeitig vor Veränderungen des Fahrbahnzustandes zu warnen. Von der Arbeitsgruppe um ROHMERT (ROHMERT et al. 1994a, 1994b, vgl. auch HOYOS & FASTENMEIER, 1990) stammt ein arbeitswissenschaftlich orientierter Forschungsansatz, mit dem Ziel, die Wirkung

von Systemen zur Kraftschlußpotentialausnutzung auf den Kraftfahrer zu quantifizieren.

### **2.2.9 Kollisionsverhinderung und Einparkhilfen**

Kollisionswarn- und Verhinderungssysteme versuchen, den Abstand zum Vorfahrenden, teils auch nach allen Seiten, mit Kameras oder Radar zu erfassen, um Warnmeldungen bis hin zu automatischen Bremsmanövern zu veranlassen. FÄRBER & FÄRBER (1997) beschreiben diesbezüglich im Gegensatz zu den verstärkten japanischen Forschungsbemühungen eher zurückhaltende Anstrengungen von deutscher bzw. europäischer Seite. Nicht zuletzt als Erfahrung aus dem PROMETHEUS-Projekt habe sich gezeigt, daß um in allen denkbaren Situationen adäquat reagieren zu können, entweder extrem große Zeitlücken erforderlich seien oder gehäufte Fehlalarme hingenommen werden müßten. Amerikanische Forschungsprojekte u.a. unter Leitung von TIJERINA (TIJERINA, 1997) erproben Verfahren zur Unfallvermeidung bei Spurwechseln, die trotz der vergleichsweise geringen Unfallzahlen (ca. 4 Prozent aller Unfälle) beim Fahrbahnwechsel Kollisionen verhindern helfen sollen.

Eine technisch weniger anspruchsvolle Variante der Kollisionswarnung ist die elektronische Parkhilfe, die für statische Hindernisse und langsame Geschwindigkeiten konzipiert ist und dem Fahrer in erster Linie beim Einparken des Fahrzeugs behilflich sein soll. Solche Systeme arbeiten mit Kameras und/oder Ultraschallmeßgeräten und sind mittlerweile in Mittel- bis Oberklassefahrzeugen optionaler Ausstattungsbestandteil. Alternativ sind auch in Zukunft Anwendungsmöglichkeiten für Nutzfahrzeuge zu erwarten, beispielsweise um spielende Kinder oder Radfahrer besser wahrzunehmen.

### **2.2.10 Müdigkeitwarner und Verbesserung der Außensicht**

Versuche, den Wachheitszustand des Fahrers zu erkennen und bei Übermüdung Gegenmaßnahmen zu ergreifen, werden vor allem in Japan angestellt. Vorgeschlagen werden Maßnahmen wie das Ausströmen von Duft, *Stop-and-Go*-Betrieb der Radiomusik im 30-Sekunden Takt oder verschiedene Warnungen auf

sprachliche, allgemein akustische, optische oder haptische Art. Allerdings ist nach FÄRBER & FÄRBER (1997) keine wissenschaftlich begründbare valide Messung der Müdigkeit erkennbar.

Zur Verbesserung der Außensicht gibt es eine ganze Reihe von Ansätzen. Die Bandbreite, die auch maßgeblich von deutschen Herstellern bearbeitet wird, umfaßt Verfahren zur Verbesserung der Ausleuchtung des Straßenraums durch automatische Leuchtweitenregelung, zum automatischen Abblenden oder für die vorhersehende Berücksichtigung der Straßengeometrie auf Grundlage digitalisierter Landkarten. Vor allem japanische Hersteller verfolgen Strategien, mit denen Fußgänger nachts besser erkennbar werden und die das Problem des toten Winkels zu lösen versuchen. Ein weitergehender Ansatz von JAGUAR und TEXAS INSTRUMENTS strebt an, die Sicht bei Nacht mit Hilfe von Infrarot-Licht und einem Head-Up-Display zu verbessern. Nach einer Prognose von GRIMMER et al. (1995) sind serienreife Systeme zur Sichtverbesserung erst nach 1998 zu erwarten.

## **2.3 Evaluationsinstrumente für Telematiksysteme**

### **2.3.1 Checklisten zur Sicherheitsklassifikation**

Der Versuch der systematischen Sicherheitsklassifizierung von Kraftfahrzeugen hat eine lange Tradition. So berichten GRUNOW, HEUSER, KRÜGER & ZANGEMEISTER (1996) im internationalen Vergleich von elf bereits vorliegenden Verfahren. Ein aktuelleres Verfahren zur Bewertung der Informationsdarbietung und des Dialog-Managements zieht PETERS (1997) heran. Anhand einer internen Kriterienliste des TÜV-Bayern als pragmatischem Mindestanforderungskatalog soll mit einer fünfstufigen Bewertungsskala festgehalten werden, inwieweit die jeweilige Anforderung vom fraglichen Fahrerinformationssystem erfüllt wird.

**GRUNOW, HEUSER, KRÜGER & ZANGEMEISTER (1996):** Den bisherigen Checklisten zur Sicherheitsklassifikation wird von GRUNOW et al. (1996) ein Verfahren der BASt gegenübergestellt, das sich eine möglichst fundierte Bewertung des Sicher-

heitsniveaus eines Fahrzeugs und damit eine Vergleichbarkeit mit anderen Fahrzeugen zum Ziel gesetzt hat. So wurde eine Bewertungssystematik entwickelt, die es erlaubt, Daten aus Konstruktion und Fertigung, aus Versuchen und Unfallstatistiken zusammenzuführen und eine Aussage über das Sicherheitspotential des Fahrzeugs zu ermöglichen. Die Daten setzen sich zusammen aus Primärdaten (technische Informationen), Sekundärdaten (Test- bzw. Meßdaten) und Tertiärdaten (Informationen aus dem praktischen Fahrzeuggebrauch). Ein Teilbereich beschäftigt sich mit der Fahrzeug-Ergonomie im Sinne einer Bediensicherheit der verschiedenen Elemente. Im Detail erfaßt werden 44 verschiedene sicherheitsrelevante Bestandteile der Fahrzeugergonomie.

**Die PRO-GEN-Checkliste:** Eine Alternative zu dem Bewertungssystem von GRUNOW et al. (1996) stellt die PRO-GEN-Checkliste dar (CHALOUKKA, HYDÉN & RISSER, 1990, CHALOUKKA, RISSER, ANTONIADES, LEHNER & PRASCHL, 1996, 1998, vgl. auch RISSER, 1993, 1995). Die Forschungsgruppe um CHALOUKKA beschreibt als Mitarbeiter der „*Safety Group*“, einem maßgeblich vom Wiener Kuratorium für Verkehrssicherheit unterstützten PROMETHEUS-Arbeitskreis, die Entwicklung dieses Bewertungsinstruments. Dabei sollen mit Hilfe der Checkliste verstärkt psychologische Kriterien zur Sicherheitsbewertung neuer Technologien in den Mittelpunkt gerückt werden, um Ingenieuren dabei zu helfen, genauere Antworten auf wichtige Fragen bezüglich der Auswirkungen neuer Produkte auf die Sicherheit zu bekommen. Gleichzeitig sollen durch systematische Befragung die ergonomisch-sicherheitsrelevanten Veränderungen als Folge von technischen Innovationen meßbar gemacht werden. Allerdings werden vom Einsatz der Checkliste weniger technisch korrekte Lösungsmöglichkeiten in Aussicht gestellt als vielmehr ein besseres Problemverständnis. Der Vergleich mit den durchgeführten Feldexperimenten von CHALOUKKA et al. (1996) sollte dazu beitragen, die Checkliste soweit zu validieren, daß sie in Zukunft als „*stand-alone*“-Instrument zur Systembewertung von Ausrüstungskomponenten verwendet werden kann.



**Die Sicherheitscheckliste des SWOV-Instituts:** Als Ergebnis einer Reihe holländischer Untersuchungen der Institute SWOV und TNO (vgl. zusammenfassend HEIJER, BROOKHUIS, VAN WIMSUM & DUYNSTEE, 1998) wurde eine weitere Sicherheitscheckliste erarbeitet. Drei Arten von Aufgabenbelastung werden unterschieden: mentale, visuelle und physikalische, die jeweils Ausprägungen der Fahrerbeanspruchung zwischen Überforderung und Unterforderung annehmen können. In einem Entscheidungsbaum wird eine Bewertung vorgenommen, ob ein System vor dem Sicherheitshintergrund als akzeptabel gelten kann oder Vorsicht bei der Anwendung geboten scheint. Die Autoren weisen darauf hin, daß für die Anwendung trotz der Standardisierung des Vorgehens Expertenwissen unerlässlich bleibe. Im Anschluß an die Checklistenevaluation wird ein computergestützter Labortest vorgeschlagen, wobei dieses gestufte Vorgehen aus standardisierter Sicherheitsbewertung und Computersimulation letztlich aufwendige Felduntersuchungen verzichtbar machen soll.

**Cooper-Harper-Aircraft Handling Scale:** O'DONNELL & EGGEMEIER (1986) beschreiben als Verfahren zur subjektiven Bewertung von Arbeitsbelastungen die „Cooper-Harper Aircraft Handling Scale“. Diese Methode war für Testpiloten entwickelt worden und erlaubt anhand eines Entscheidungsbaums auf einer Skala von eins bis zehn die Bewertung der Flugzeughandhabung (S. 42-8, modifizierte Version: S. 42-10). Beschrieben werden verschiedene Anwendungsbeispiele und Validierungsansätze anhand von Nebenaufgabentätigkeiten.

**User-Needs-Analysis und Carview-Oberfläche:** Ein alternatives Evaluationsinstrument zur Bewertung der Frage, in welchem Ausmaß solche Systeme den Nutzerbedürfnissen entsprechen, stellt die von BECKER, BRAUSWETTER, BROCKMANN, HOFMANN, KRAUS, MIHM, NIU & SONNTAG (1997) konzipierte „User-Needs-Analysis“ dar. Das Konzept berücksichtigt die verschiedenen Bedürfnisse unterschiedlicher Benutzergruppen wie Hersteller, Konsument und Gesellschaft auf differenzierten Ebenen: Der kognitiven, der emotion-motivationalen, der psycho-motorischen und der Produkt-Nutzungsebene. In diesen mehrdimensionalen Quader wurden noch die externen Dimensionen Funktionalität, Situation und Zeit für Lernprozesse integriert. Innerhalb einzelner Felder der Matrix lassen

sich bestimmte Problemfelder als zu klärende situations- und funktionspezifische Nutzerbedürfnisse identifizieren.

**Die „Autoclinic“:** Bei der „Autoclinic“, vorgestellt von FINSEL & BACH (1993) handelt es sich um eine Dienstleistung der SAMPLE GmbH in Mölln, die es ermöglichen soll, zwei bis drei Jahre vor der Markteinführung eines neuen Automodells Produkttests durchzuführen. Unterschieden wird zwischen der „Hallenclinic“, d.h. der Positionierung der Fahrzeuge in einer Halle mit anschließender Fragebogenbeurteilung und der „Fahrclinic“, der Befahrung einer festgelegten Teststrecke. Auch eine Kombination beider Verfahren wird als sinnvoll erachtet.

### **2.3.2 Normierungsbestrebungen im Zusammenhang mit der ISO-Norm TC22 SC13 WG8 – Code of Practice**

In internationaler Zusammenarbeit beschäftigten sich vier Arbeitskreise zeitgleich damit, eine ISO Norm unter der offiziellen Bezeichnung „TC22 SC13 WG8“ zu erarbeiten, die maßgebliche Standards für die Gestaltung von Kfz-Displays und Fahrer-Informationssystemen beinhalten soll. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Arbeit lagen nur vorläufige Ergebnisberichte vor. Im Rahmen der untersuchten Fragestellung sind aber anstelle der ISO-Norm in ihrer Endvorlage vielmehr die eingesetzten Meßverfahren zur Evaluierung von Ergonomie-Standards von Bedeutung. Insbesondere das Instrumentarium zur visuellen Bewertung von Anzeigelementen schien relevant sein zu können. Unter diesem Gesichtspunkt ergaben die vorliegenden Forschungsberichte aber nur wenig konkrete Hinweise. Auch PETERS (1997) rechnet bei seiner skeptischen Beurteilung der zu erwartenden Ergebnisse aus den Normierungsarbeiten nicht mit einer baldigen Anwendbarkeit der Normen.

In seinen Diskussionspapieren referiert STEVENS (1996, 1997) die Ziele, Leitprinzipien und Arbeitsansätze der Arbeitsgruppe „*Safety Evaluation*“, bei der die Mensch-Maschine-Interaktion in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt wird. Von Bedeutung ist dabei die Differenzierung zwischen Sicherheit und Anwendbarkeit, verbunden mit dem Hinweis, daß sich die Anwendbarkeit („*usability*“)

von Systemen leichter quantifizieren läßt als die Sicherheitsrelevanz („*safety*“). STEVENS weist darauf hin, daß die Messung von Sicherheit bzw. Anwendbarkeit zwar nicht generell als parallele Skalen angesehen werden könne, aber aufgrund der nur schwer umsetzbaren Sicherheitsveränderungen stünde die *usability* im Zentrum des Interesses. So solle sich die anschließende Arbeit der ISO-Gruppe darauf konzentrieren, die Anwendbarkeit des TICS (*Transport Information and Control System*)-Designs meßbar zu machen und damit zu evaluieren.

Während der Normierungsbemühungen der ISO-Gruppe wurde im Auftrag der Europäischen Kommission von der international besetzten Arbeitsgruppe „*Task Force HMI*“ das „*European Statement of Principles on Human Machine Interface for In-Vehicle Information and Communications Systems*“ vorgestellt<sup>1</sup>. Mit Hilfe dieses Anforderungskatalogs soll Automobilherstellern und öffentlichen Begutachtungsinstitutionen eine unverbindliche Richtlinie bei der Entwicklung bzw. Bewertung der Funktionalität moderner Mensch-Maschine-Schnittstellen im Fahrzeug an die Hand gegeben werden. Im Mittelpunkt stehen dabei Fragestellungen, wie die Kommunikation mit solchen Fahrzeugsystemen gestaltet werden soll, ohne daß die Fahraufgabe zu stark beeinträchtigt wird. Weiterhin werden Vorgaben formuliert, in welcher Form Zusatzinformationen dargeboten werden können, ohne dabei die visuelle Konzentration des Fahrers übermäßig von der Fahrumgebung abzulenken. Der „*Code of Practice*“ setzt sich zusammen aus einer Reihe universeller Prinzipien, denen nach einem vorgegebenen Schema eine an Hand von Beispielen illustrierte Erweiterung angeschlossen ist.

### **2.3.3 Die Akzeptanz von Navigations- und Verkehrsführungssystemen**

Vor dem Hintergrund des Primats der technischen Realisierbarkeit wurden Fragen nach der Akzeptanz moderner Navigations- und Verkehrsleittechnologie meist vernachlässigt. Um diese Wissenslücke zu füllen, wurde von GRIMMER, ADELT & STEPHAN (1995) eine Studie durchgeführt, bei der einer repräsentativen

---

<sup>1</sup> Internet-download: <http://www.trentel.org> → Transport → Deployment Information → Taskforce HMI

Stichprobe verschiedene qualitative und quantitative Verfahren vorgelegt wurden. Die umfangreichen Analysen zur Akzeptanz der verschiedenen Verkehrssysteme belegen eine weitgehende Befürwortung von Navigations- und Verkehrsleitsystemen: Fast 90 Prozent halten sie für „eine gute Sache“, und drei Viertel würden sie nicht nur bei allen unbekanntem Strecken, sondern sogar ständig nutzen wollen (GRIMMER et al., 1995, S. 78). Kritischer werden – trotz allgemeiner Zustimmung – die computergestützten Fahrzeugführungs- und Sicherheitssysteme beurteilt, wobei insbesondere ein Verlust der Fahrautonomie und der Freude am Fahren bei der Mehrzahl der Befragten protokolliert wurde. Übereinstimmend wird die jederzeitige Abschaltbarkeit des Instruments gefordert (ebd., S. 78). Ähnliches gilt für die vollautomatische Verkehrsführung: Sie wird von ca. zwei Drittel der Autofahrer für prinzipiell gut befunden, jedoch befürchten viele einen Verlust der Fahrfreude (ca. 56 Prozent) und hegen starke Zweifel an der technischen Zuverlässigkeit (80 Prozent). Allerdings zeigen Detailanalysen die erhebliche Bedeutung psychologischer Merkmale auf die Akzeptanzbewertung, wie Fahrmotive, Fahrstile oder die allgemeine Einstellung gegenüber Technik. Von allgemein wohlwollenden Bewertungen moderner Fahrerunterstützungssysteme berichten auch FASTENMEIER, STADLER & LERNER (1995) und BECKER und Mitautoren (1997).

# 3

## Verkehrspsychologische Beanspruchungsforschung

### 3.1 Faktor: Fahrerbeanspruchung

Im Faktorenmodell (vgl. 1.3) wurde als zentrale zu bestimmende Größe der Belastungsgehalt der Fahraufgabe definiert. Im folgenden Kapitel soll eine Reihe empirischer Untersuchungen behandelt werden, bei denen Methoden und Ergebnissen der verkehrspsychologischen Beanspruchungsforschung im Mittelpunkt stehen.

#### 3.1.1 Frühe Ansätze der Beanspruchungsforschung

Der Versuch, die mentale und die körperliche Beanspruchung des Fahrers durch die Fahraufgabe zu messen, hat in der Verkehrspsychologie eine lange Tradition. Kennzeichnend insbesondere für die früheren Untersuchungen ist die Tatsache, daß hier die „Beanspruchung“ des Kraftfahrers als gemeinsames Konstrukt zugrunde gelegt wurde, dessen Operationalisierung aber von Studie zu Studie variierte. Anders ausgedrückt, auch bei einem gemeinsamen Untersuchungsgegenstand wie der Fahrerbeanspruchung wird das Ergebnis maßgeblich durch die Wahl der verwendeten Indikatoren mitbestimmt.

Bis in die sechziger Jahre zurück reicht der Versuch, die Beanspruchung des Fahrers durch die Erfassung physiologischer Kennwerte zu operationalisieren. Dahinter stand die Erwartung, einen oder mehrere physiologische Parameter empirisch zu ermitteln, der oder die als Maß für die objektive Beanspruchungsmenge in einer definierten Situation angesehen werden können. So gibt KÜTING (1976, 1977) eine Übersicht über den damaligen Forschungsstand zur Beanspru-

chungs- und Belastungsmessung auf der Grundlage einer Literatursichtung von damals schon 185 einschlägigen Publikationen. Neben einem Vergleich der verschiedenen in Frage kommenden physiologischen Parameter stehen die konzeptuellen und erhebungstechnischen Schwierigkeiten der Beanspruchungsforschung im Vordergrund. Auch LEUTZBACH (1977) referiert in einem Übersichtsartikel verkehrssicherheitsbezogene Forschungsprojekte, die sich gut in die von KÜTING (1976) beschriebene Forschungstradition einordnen lassen. REITER (1976) stellt in etwa zeitgleich ein Instrumentarium zur objektiven Quantifizierung der psychischen Fahrerbeanspruchung vor, ausgehend von der von BARTENWERFER (1963) vorgeschlagenen Differenzierung zwischen physischer und psychischer Beanspruchung. Er verwendet dabei einen mehrkanaligen Forschungsaufbau zur Messung der psychomentalen Beanspruchung des Kraftfahrers. Trotz zum Teil abweichender Indikatoren zeigen sich dabei Gemeinsamkeiten mit dem Versuchsaufbau eines Forschungsprojekts des Instituts für Landverkehrsmittel an der Technischen Universität Berlin (1978), mit welchem aus den verschiedenen Beobachtungsebenen ein Kennwert für nachlassende Fahrfähigkeit bestimmt werden sollte.

### **3.1.2 Das Belastungs- und Beanspruchungsforschungsprogramm der BASt**

Bis zum Ende der siebziger Jahre lag ein breites Spektrum empirischer Untersuchungen zur Fahrerbeanspruchung vor, welches gleichzeitig auch durch recht heterogene Forschungsmethoden und Ergebnisse gekennzeichnet war. Seither wurde in einer Reihe von Untersuchungen, maßgeblich finanziert durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), dem Versuch einer möglichst einheitlichen Messung der Fahrerbeanspruchung im Straßenverkehr nachgegangen. Aus den Erfahrungen vorhergehender Untersuchungen wurde das Ziel abgeleitet, das Fahrerverhalten, die umgebende Verkehrssituation und den daraus resultierenden momentanen Beanspruchungsgehalt möglichst umfassend und breitbandig zu dokumentieren. Das zugrunde gelegte Beanspruchungsmodell sieht dabei weder Persönlichkeits- noch Situationsvariablen als ausschlaggebende Einflußgrößen an. Die Beanspruchung wird vielmehr in einer transaktionalen Sichtweise

als das Ergebnis der Interaktion zwischen Person und Situation verstanden. Viel Forschungsaufwand wurde in die Entwicklung eines Fahrerleistungsmeßfahrzeugs investiert, mit Hilfe dessen eine vielkanalige, zeitsynchrone Aufzeichnung der verschiedenen Parameterebenen ermöglicht wurde. Unter Betonung der transaktionalen Sichtweise weist KASTNER (1982) auf die Bedeutung der kognitiven Situationsbewertung hin. In der Tradition wechselseitiger Stressmodelle nach MCGRATH (1981) und arbeitspsychologischer Erkenntnisse nach HACKER (1986) und VOLPERT (1992) können nach der transaktionalen Sichtweise der objektive Belastungsgehalt der Verkehrssituation und die tatsächliche subjektive Beanspruchung z.T. erheblich differieren. In Abkehr von trait-orientierten Betrachtungsweisen wird ein interaktionistisches Beanspruchungsmodell vorgestellt, bei dem zwischen objektiver und subjektiv erlebter Beanspruchung unterschieden wird.

Erste Erfahrungen beim Einsatz des im Rahmen des Beanspruchungsprojekts entwickelten Testfahrzeugs, dem sog. „Fahrerleistungsmeßfahrzeug“, beschreibt ECHTERHOFF (1979). Die Veröffentlichung von GSTALTER (1985) basiert auf vorläufigen Teilergebnissen des Großprojekts. Ausführlich dokumentiert wird hier das multidimensionale Forschungsdesign: Allein 44 verschiedene Parameterebenen werden berücksichtigt. Als Folge der daraus resultierenden kaum überschaubaren Datenmengen schließen sich Datenreduktionsverfahren wie die Faktoren- und die Clusteranalyse an. Die im Zuge des 10-jährigen BAST-Projekts entstandenen Veröffentlichungen und Ergebnisse werden im Abschlußbericht von HOYOS & KASTNER (1986) zusammengefaßt. Die Autoren liefern hierin einen umfassenden Überblick über die Beanspruchungsmessung des Kraftfahrers auf der Grundlage eines weitreichenden Literaturstudiums, mehr aber noch basierend auf der eigenständigen Forschungstradition. Aufgrund dieser Erfahrungen wurde beim BAST-Projekt zwischen subjektiver und objektiver Beanspruchung unterschieden unter der Annahme, daß Unfallschwerpunkte nicht notwendigerweise dort liegen, wo die subjektive oder objektive Belastung am höchsten ist, sondern dort, wo die Differenz zwischen objektiven und subjektiven Gegebenheiten besonders groß ist. Als objektive Belastung wird hier die Quantität und Qualität der aufzunehmenden Information verstanden, als Kenngröße dienen die Anforderungsindi-

zes. Als quasi-objektive Belastung wurden alle ausgewählten Situationen anhand der Videoaufzeichnungen der Versuchsfahrten auf den drei Dimensionen Dauer, Intensität und Kontrollierbarkeit kodiert und skaliert. Zusätzlich wurde noch die Beanspruchungsreaktion des Organismus auf mehreren physiologischen Parameterebenen protokolliert. Von besonderer Bedeutung war dabei die Frage nach der Parallelität der einzelnen Meßbereiche innerhalb der verschiedenen Situationen bzw. der erheblichen Diskrepanzen in Einzelfällen.

### **3.1.3 Folgeuntersuchungen der deutschen Belastungs-Beanspruchungsforschung**

Auch nach formellem Abschluß des Belastungs-Beanspruchungs-Projekts im Auftrag der BAST wurde die dort beschriebene Forschungspraxis fortgeführt. Das „Fahrerleistungsmeßfahrzeug“ wurde mehrfach technisch auf den neusten Stand gebracht und fungiert bis heute als fester Bestandteil in einer Reihe verkehrspsychologischer Untersuchungen. Im Bereich der psycho-mentalenen Beanspruchungsforschung wurde auf den erhobenen Daten und abgeleiteten Konzepten aufgebaut, namentlich von „DIAGNOSE & TRANSFER“ in München. In zwei Veröffentlichungen, die auf einer gemeinsamen Datengrundlage beruhen, geht FASTENMEIER (1995b) einer differentialpsychologischen Fragestellung nach und vergleicht verschiedene Fahrerkollektive wie unerfahrene, erfahrene und ältere Verkehrsteilnehmer. Ziel und Ergebnis der Studie sind die typischen Schwierigkeiten und Verkehrsauffälligkeiten der einzelnen Personengruppen. HOYOS, FASTENMEIER & GSTALTER (1995) betonen in der Tradition des interaktiv-transaktionalen Untersuchungsansatzes die Bedeutung des Systemgedankens bei der Konzeptualisierung des Straßenverkehrs.

Neben den Arbeiten der Gruppe um FASTENMEIER wurde die Tradition des BAST-Ansatzes auch von ROHMERT und Mitarbeitern im Rahmen des internationalen PROMETHEUS-Projekts fortgeführt (vgl. 2.1.2), das die Realisierung eines konfliktarmen Straßenverkehrs der Zukunft durch Schaffung neuer Steuerungs- und Regelsysteme zum Ziel hatte. Ziel der Bemühungen der Gruppe um ROHMERT war eine Unterstützung des Fahrers bezüglich der Potentialausnutzung technischer Möglichkeiten in kritischen Situationen. Die erhöhte Sicherheit sollte dabei



weniger durch verbesserte Standards in der passiven Sicherheit, d.h. der Minderung der Unfallfolgen, als vielmehr durch aktive Sicherheit, dem Vermeiden von Unfällen, gewährleistet werden.

### **3.2 Untersuchungsschwerpunkte und Ergebnisse der Beanspruchungsmessung**

Ebenso heterogen wie die verwendeten Methoden innerhalb der verkehrspsychologischen Beanspruchungsforschung sind die Untersuchungsschwerpunkte der einzelnen Studien, die jeweils die unabhängige Variable im Untersuchungsdesign darstellen, deren Auswirkung auf die abhängige Variable, die Fahrerbeanspruchung, gemessen werden soll. HORNE & REYNER gingen in verschiedenen Untersuchungen (HORNE, & REYNER, 1995/1996, REYNER & HORNE, 1997) der Frage nach, in welcher Form der Ermüdung des Fahrers durch Monotonieeinflüsse entgegengewirkt werden kann. In experimentellen Doppelblindversuchen im Schlaflabor unter Anwendung eines Fahrsimulators konnten sie im Vergleich mit Placebo-Konditionen eine signifikante Reduktion der Müdigkeit durch „naps“ (Kurze Schlafpausen von weniger als fünfzehn Minuten) und Koffein belegen. Sowohl subjektive Befindensskalen als auch elektro-encephalographische Messungen zeigten eine auffallende Verringerung des „*mid-afternoon-peaks*“, der „Nachmittagsmüdigkeit“ durch kurze Entspannungspausen, Kaffeegenuß, insbesondere aber durch die Kombination verschiedener Entspannungsmöglichkeiten.

In einer weiteren auf praktische Fragestellungen ausgerichteten Untersuchung verglichen FELNÉMETI & BOON-HECKL (1985) die psychische Beanspruchung von Buslenkern auf unterschiedlichen Linien im Salzburger Stadtverkehr. Neben physiologischen Aufzeichnungen im Stadtverkehr wurden dabei auch Prä-Post-Messungen mit Bestandteilen der Testbatterie des Wiener Kuratoriums für Verkehrssicherheit eingesetzt.

KIEGELAND (1990) beschreibt in seiner Dissertation ein Feldexperiment mit langdauernden Versuchsdurchgängen (meist mehr als 8 Stunden), bei dem LKW-Fahrer in ihrem Arbeitsalltag begleitet wurden. Auf eine Nebenaufgabe wurde

aufgrund der langen Versuchsdauer und der zusätzlichen Sicherheitsgefährdung bei hohem Verkehrsaufkommen verzichtet. Die Ergebnisse der Untersuchung analysieren vielschichtig die Arbeitsbedingungen von Berufskraftfahrern. Dabei stellten sich als Hauptbelastungsquelle der LKW-Fahrer weniger körperliche als vielmehr emotionale Stressoren heraus.

Auch die Bedeutung äußerer Verkehrsgegebenheiten auf den Fahrzeugführer ist eine typische Fragestellung der verkehrspsychologischen Beanspruchungsforschung. Dabei fand LEUTZBACH (1977) erwartungsgemäß bei größeren Verkehrsdichten auch stärkere mentale Beanspruchungen des Fahrers. Anhand seiner Daten ließ sich die Beanspruchung des Fahrers durch seinen subjektiven Eindruck der Verkehrsdichte wesentlich besser charakterisieren als durch den gemessenen Wert der tatsächlich vorhandenen Dichte.

Ein Teilbereich der Beanspruchungsforschung – eng verbunden mit dem Aufmerksamkeitskonzept – ist die Frage nach dem Nachlassen der Aufmerksamkeit bei Dauerbelastung. So beschäftigt sich eine Reihe anwendungsorientierter Untersuchungen mit der Frage nach dem Nachlassen der Aufmerksamkeit, der sogenannten Vigilanzbeeinträchtigung, beispielsweise der Monotoniewirkung längerer Autofahrten.

So war der Gegenstand der Untersuchung von TRÄNKLE (1978) die Frage, ob Ermüdung, Monotonie und Vigilanzprobleme bei Langzeitfahrten auf Autobahnen unter Beibehaltung einer Geschwindigkeitsbegrenzung im Vergleich zu einer nicht verbindlichen Richtgeschwindigkeit verstärkt auftreten und gefährdungsrelevante Aspekte des Fahrverhaltens beinhalten. Ebenfalls im Zuge der verkehrspsychologischen Vigilanzforschung ging ANGERMANN (1987) der Frage nach Aufmerksamkeitsunterschieden bei Autofahrten tagsüber bzw. nachts nach. Als Ergebnis zeigten sich stark unterschiedliche Monotoniebelastungen, so daß die Tag- und Nachtfahrten kaum miteinander verglichen werden konnten. Die Leistungsdaten verliefen sehr uneinheitlich ohne statistisch bedeutsame Korrelationen. Gelegentliche Fahrfehler wie Spurverlassen oder auch Reizsuchen blieben in allen Versuchsgruppen seltene Ereignisse, konnten aber für selbstkritische Fahrer als erste Vorwarnungen von Müdigkeitserscheinungen dienen.

In anderen Untersuchungen stehen differentialpsychologische Fragestellungen im Vordergrund. Vergleichbar einer früheren Studie von HELANDER (1977), bei der zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrzeugführern unterschieden wurde, differenziert FASTENMEIER (1995b,c) zwischen drei Gruppen von Fahrerpopulationen, jungen, unerfahrenen Fahrern mit wenig Fahrpraxis, mittelalten, erfahrenen Fahrern und älteren Fahrern mit sehr viel Fahrpraxis. Seine Ergebnisse belegen fahrergruppenbezogene Unterschiede, die z.T. erhebliche spezifische Defizite einzelner Gruppen im Verkehrsgeschehen aufzeigen. So zeigt sich bei älteren Fahrern die mangelnde Fähigkeit, mit komplexen Verkehrssituationen zurechtzukommen. Trotz spezifischer Problemfelder überwiegen - insgesamt gesehen - die Gemeinsamkeiten zwischen älteren und unerfahrenen Fahrern: Für beide Gruppen genügen oft durchschnittliche Anforderungen, um in bestimmten Verkehrssituationen ein fehlerhaftes Verhalten hervorzurufen. Erfahrene Fahrer fielen hingegen durch die weitaus häufigsten Geschwindigkeitsverstöße auf.

BARTMANN (1995) unterscheidet bei einer ebenfalls differentialpsychologischen mindestens fünf Jahren aktiver Führerscheinpraxis bei mehr als 10.000 km im Jahr und den Anfängern, Fahrschülern oder Fahranfängern mit nicht mehr als zwei Monaten Fahrpraxis. Verglichen wurde das Verkehrsverhalten während einer Geradeausfahrt auf der Landstraße mit Linksabbiegemanövern an unregelmäßigen Knotenpunkten im Stadtgebiet.

### **3.3 Wahl der Beanspruchungsparameter**

Wie schon die vorangegangene terminologische Beschreibung andeutete, ist die empirische Untersuchung des Konstrukts „Beanspruchung des Kraftfahrers“ eng verbunden mit der Wahl geeigneter Beanspruchungsparameter, die in Form von physiologischen, subjektiven und objektiven Meßgrößen herangezogen werden können. Im folgenden werden die in der Vergangenheit verwendeten Beanspruchungsindikatoren auf den verschiedenen Meßebenen vorgestellt und diskutiert. Einen metaanalytischen Überblick über die Methoden zur Erfassung mentaler

und emotionaler Beanspruchung anhand von 169 Einzelstudien liefern KLIMMER & RUTENFRANZ (1989).

### 3.3.1 Physiologische Beanspruchungsparameter

#### 3.3.1.1 Herzfrequenz

Die Bestimmung der Herzfrequenz kann innerhalb der physiologischen Meßgrößen als der klassische Beanspruchungsparameter der Verkehrspsychologie angesehen werden. Unter den möglichen kardiologischen Parametern des Elektrokardiogramms (EKG) ist dabei die Bestimmung der Herzrate vorteilhaft und weit verbreitet. Als Maß wird in der Regel die Herzrate verwendet als Herzschläge pro Minute (*beats per minute, bpm*). Der Grund dafür ist zum einen in der Tatsache begründet, daß die Messung der Herzrate vergleichsweise unproblematisch und artefaktarm ist. Zum anderen lassen sich die Meßwerte unidimensional interpretieren nach der Regel: „Je höher die Herzrate, um so größer die momentane Beanspruchung“. Dementsprechend bewertet KÜTING (1976) in seiner Literatursichtung bei einem Vergleich der in Frage kommenden physiologischen Parameter die Herzfrequenz als den brauchbarsten Beanspruchungsindikator verkehrspsychologischer Untersuchungen.

Für Felduntersuchungen kommen verschiedene Verfahren zur Aufzeichnung der Herzrate in Betracht. Weitverbreitet ist die u.a. bei REITER (1976) beschriebene R-Zacken-Zählung des EKGs durch Brustwandableitung in definierten Zeitintervallen. Dazu werden auf der Brust (wahlweise auch an anderen Körperstellen mit jedoch schwächerem, d.h. artefaktreicherem Signal) an definierten Stellen (meist Einthoven-Ableitung I) Meßelektroden appliziert. Weitere EKG-Messungen werden von HELANDER (1977), KIEGELAND (1990) oder SPRENGER (1992) dokumentiert. Zusätzlich zur Herzrate wurde im Fahrerleistungsmeßfahrzeug der BAST (ECHTERHOFF, 1979) die Möglichkeit geschaffen, neben der Pulsfrequenz auch die Sinusarrhythmie im EKG zu analysieren. Im Gegensatz zu den beschriebenen EKG-Messungen verwenden FÄRBER & FÄRBER (1984) und FELNÉMETI & BOON-

HECKL (1985) einen Photoplethysmographen, der als Clip am Ohrläppchen angebracht wurde und über Lichtreflektion die periphere Pulswelle erfaßt.

Trotz der Eindimensionalität der Herzfrequenz dürfen bei der Verwendung dieses Beanspruchungsindikators charakteristische Meß- und Interpretationsschwierigkeiten nicht vernachlässigt werden. So werden in der einschlägigen Literatur erfolgreiche und weniger eindeutige Verwendungen der Herzrate als Beanspruchungsparameter beschrieben. KÜTING (1976) bemerkt, daß die durchschnittliche Herzfrequenz in der Regel allein schon durch die Experimentalsituation bedingt deutlich höher als in Ruhephasen liege. Bei einzelnen besonders komplexen Verkehrssituationen steige die Herzrate noch stärker an, reagiere jedoch auf solche kurzfristigen Belastungsspitzen eher träge und gehe nur langsam auf das Ausgangsniveau zurück. Höhere Fahrgeschwindigkeiten dagegen hätten nur mäßigen Einfluß auf den Herzschlag. ANGERMANN (1987) weist auf die eingeschränkte Interpretierbarkeit der Herzschlagvariabilität hin. Bei Monotoniestudien und dementsprechend längerdauernden Beobachtungszeiträumen würden Niveauveränderungen der Pulsfrequenz neben der Fahraufgabe auch durch die circadiane Rhythmik überlagert oder konfundiert. Für die Autoren des FAT-Projekts (1978) scheiden hingegen zur Messung kurzzeitiger Informationsbelastungen physiologische Indikatoren wie die Pulsfrequenz aus, da in begrenzten Beobachtungszeiträumen keine systematische Variation beobachtet werden könne. SPRENGER (1992) fand keine Unterschiede bei der Herzfrequenz als allgemeinem Beanspruchungsindikator im Vergleich eines konventionell instrumentierten Fahrzeugs mit einem *Head-Up-Display* zur Geschwindigkeitsanzeige. FÄRBER (1987) hingegen berichtet von einer deutlichen Übereinstimmung physiologischer Daten aufgrund der Herzrate und Expertenbewertungen: Die gemittelten Herzschläge in festgelegten Situationen wurden als Rangreihe mit dem Belastungsgehalt dieser Situationen aufgrund eines Expertenratings verglichen, wobei beide Rangreihen überwiegend übereinstimmen. In der Untersuchung von FELNÉMETI & BOON-HECKL (1985) berichten die Autoren von Datenausfällen beim Versuch der schnurlosen Messung der Pulsfrequenz.

### 3.3.1.2 Elektrodermale Aktivität

Neben der Herzrate ist als Biosignal die elektrodermale Aktivität (EDA), auch als galvanische Hautreaktion (*galvanic skin reaction*, GSR) bezeichnet, in Feld- und Laboruntersuchungen weitverbreitet (BOUCSEIN, 1992). Nach KÜTING (1976) hat für verkehrspsychologische Fragestellungen der elektrische Hautwiderstand den Vorteil, auf kurzfristige Belastungen schneller und deutlicher als Herzfrequenzveränderungen zu reagieren. Dabei unterscheidet man grundsätzlich zwischen exosomatischen und endosomatischen Messungen und tonischen und phasischen Parametern (SCHANDRY, 1989). In der Regel wird die EDA durch exosomatische Ableitung ermittelt und eine verstärkte elektrodermale Aktivität als Anzeichen einer erhöhten Beanspruchung des Körpers interpretiert. Im Rahmen seiner Ergonomieevaluation untersuchte REITER (1976) tonische Veränderungen des Hautleitfähigkeitsniveaus. Mit seiner Methode konnten erhebliche Unterschiede zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrzeugführern dokumentiert werden, wobei die galvanische Hautreaktion als aussagekräftigstes Anzeichen für geistige Anstrengung auftrat. ECHTERHOFF (1979) berichtet hingegen, daß sich in der Pilotphase des Fahrerleistungsmeßfahrzeugs die Messung der Hautleitfähigkeit als nicht praktikabel herausgestellt habe.

### 3.3.1.3 Weitere physiologische Maße

Neben Herzrate und Hautleitfähigkeit wurden in einzelnen Studien auch andere Biosignale als physiologisches Maß der Fahrerbeanspruchung herangezogen. Schon zu einem vergleichsweise frühen Zeitpunkt setzten ZEIER & BÄTTIG (1977) einen auch für spätere Maßstäbe als fortschrittlich geltenden Meßaufbau ein, der die portable Registrierung von Biodaten im Fahrzeug einschließlich der kortikalen Hirnströme im EEG der Versuchsperson ermöglichte. Auch ANGERMANN (1987) verwendete eine EEG-Messung zum Vergleich unterschiedlicher Monotoniebelastungen bei Tag- und Nachtfahrten. Die Ergebnisse unterliegen bei kleiner Stichprobengröße aber einer erheblichen interindividuellen Varianz und erlauben keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Bei den Experimenten an der TU Berlin (1978) und von FELNÉMETI & BOON-HECKL (1985) wurden neben herkömmlichen physiologischen Meßgrößen die Flimmererschmelzungsfrequenz ermittelt. KÜTING (1976) berichtet in seiner Literatursichtung vegetativer Beanspruchungsparameter von Ansätzen, in denen der Blutdruck über das Riva-Rocci-Verfahren oder Messungen der Atemtiefe protokolliert wurde. Im Fahrerleistungsmeßfahrzeug der BASt, im Testfahrzeug des TNO-Instituts (DE WAARD, JESSURUN, STEYVERS, RAGGATT, & BROOKHUIS, 1995) und im Rahmen des PROMETHEUS-Projekts wurde zusätzlich die Spannung innerer Muskeln im Elektromyogramm (EMG) aufgezeichnet. UNGERER (1997) verwendete neben Maßen zur kognitiven Informationsaufnahme und Beobachtungsdaten als physiologische Parameter die Herzfrequenz und die Cortisolmenge.

Als Biosignal im weiteren Sinne soll an dieser Stelle auch auf die seltene, von REITER (1976) eingesetzte Methode der mikromotorischen Tonusregistrierung hingewiesen werden. Darüberhinaus wurden verschiedene Reaktionsleistungen wie Wahlreaktions- und Einzelreaktionsaufgaben aufgezeichnet sowie eine *tapping*-Aufgabe zur Klopfdruckbestimmung vor und nach den Fahrtätigkeiten vorgenommen.

### **3.3.2 Objektive Maße: Fahrzeugdaten**

Für verkehrspsychologische Felduntersuchungen ist es naheliegend, als objektive Größen Fahrzeugparameter zu erfassen, was auch in den meisten Studien praktiziert wird. Als allgemeine Fahrzeugdaten werden meist Kanäle wie Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung, Lenkbewegungen oder Bremsvorgänge (Bremshäufigkeit und -intensität) gewählt (vgl. u.a. DUNCAN, WILLIAMS & BROWN (1991), HELANDER, 1977, FAT-Bericht, 1978, 1979). Bei ANGERMANN (1987) werden neben Lenkwinkel, Gaspedalstellung, und Geschwindigkeit auch Fahrfehler sowie die Verkehrszustandsdaten digital gespeichert.

Mit dem Fahrerleistungsmeßfahrzeug der BASt sollten neben physiologischen und psychologischen Meßgrößen auch möglichst alle relevanten externen

Fahrzeugparameter simultan erfaßbar gemacht werden. ECHTERHOFF (1979) führt dabei folgende objektive und situative Indikatoren an:

- die Stellung des Gaspedals und die vom Fahrer darauf aufgewendete Kraft,
- die aufgewendete Kraft auf das Bremspedal,
- die positive und negative Längsbeschleunigung des Fahrzeugs,
- die Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

Neben physikalischen Meßgrößen, die unmittelbar durch spezielle Sensoren am Fahrzeug erfaßt werden, dienten als feste Datenquelle des Fahrerleistungsmeßfahrzeugs der BAST Videoaufzeichnungen aus verschiedenen Blickwinkeln (bis zu acht Kameras synchron), die neben Situationsparametern auch das Fahrerverhalten einschließlich der momentanen Blickrichtung aufzuzeichnen erlauben. Die Analyse der Videodaten erfolgte in einem speziell ausgerüsteten Auswertungslabor in den Räumen der BAST. Videoaufzeichnungen des externen Geschehens und/oder des Fahrerverhaltens wurden auch bei BARTMANN (1995), BECKER et al. (1997) vorgenommen.

### **3.3.3 Lenkradbewegungen als Beanspruchungsparameter**

Neben den aufgeführten „klassischen“ Fahrzeugparametern wurden auch Lenkradbewegungen als objektiver Beanspruchungsparameter herangezogen. Als Meßgröße kommen dabei weniger starke Lenkradbewegungen für Fahrtrichtungsänderungen oder andere Manöver wie Einparkvorgänge in Betracht, sondern vielmehr die Menge an Lenkradausschlägen bei der Geradeausfahrt. Dabei hatte schon KÜTING (1976) darauf hingewiesen, daß die Anzahl der Lenkkorrekturen von vielen Faktoren gleichzeitig abhängig ist. Auch die Art der Lenkung (bspw. mit Servounterstützung) ist von Bedeutung.

MCLEAN & HOFFMANN (1975) berichten von verschiedenen Experimenten, in denen Lenkradausschläge – gemessen als die Anzahl von Richtungsänderungen des Lenkrads pro Zeiteinheit – als Indikator für die Aufgabenschwierigkeit mit anderen Maßen verglichen wurden. Die Ergebnisse belegen den linearen Zu-



sammenhang zwischen Lenkoszillationen und Aufgabenschwierigkeit, ohne allerdings Rückschlüsse auf die Ursache des geänderten Lenkverhaltens zu ermöglichen. In einer späteren Veröffentlichung wird von MACDONALD & HOFFMANN (1980) der generelle lineare Zusammenhang zwischen Lenkvarianz und Aufgabenschwierigkeit in Frage gestellt und ein komplexerer Zusammenhang erwartet, weil auch niedrigere Lenkradbewegungen bei gesteigerter Aufgabenschwierigkeit beobachtet wurden. Als moderierende Variable hatte sich dabei die Erfahrung des Fahrers herausgestellt. Schwächere Lenkradbewegungen bei hoher Aufgabenschwierigkeit wurden als Ausdruck der Überlastung, die Aufgabe zu bewältigen, interpretiert.

Die Lenkradbewegungen als Beanspruchungsparameter wurden in den holländischen Untersuchungen der Institute SWOV und TNO beibehalten. Dabei konnten DE WAARD & BROOKHUIS (1991) bzw. BROOKHUIS & DE WAARD (1993) unter geringer Alkoholwirkungen keine Erhöhung der Lenkradvarianz im Vergleich mit einer Kontrollbedingung belegen.

Im Fahrerleistungsmeßfahrzeug der BAST (ECHTERHOFF, 1979, HOYOS & KASTNER, 1986) wurden die Torsionskräfte der Lenksäule protokolliert und zusätzlich als Variablen die Lenkwinkelrichtungsänderungen und die Varianz des Lenksäulenmoments gemessen. Eine Faktorenanalyse für die untersuchten Verkehrssituation innerhalb der verschiedenen abhängigen Variablen ergab eine 6-Faktorenstruktur, wobei der Faktor 1 mit der höchsten Varianzaufklärung (31,4% Gesamtvarianz, 45,2% relative Varianz) durch die verschiedenen Lenkvariablen zusammengesetzt wird (HOYOS & KASTNER, 1986, S. 63f.).

TRÄNKLE (1978) vermutete bei den Geradeausanteilen der Versuchsstrecke ein Nachlassen der Frequenz feiner Lenkradbewegungen als Ermüdungswirkung, gleichzeitig aber einer Steigerung der Amplituden. Als statistisches Maß diente die Summe der quadrierten Abweichungen von den Nullstellung des Lenkrads. Die erhobenen Daten belegen aber keine fahrdauerbedingte Änderung der Streuungen bei der Lenkradbetätigung, auch beim Vergleich der Versuchsbedingungen Geschwindigkeitsbeschränkung und Richtgeschwindigkeit zeigten sich keine eindeutigen Mittelwertunterschiede.

### 3.3.4 Subjektive Maße: Befindlichkeitsdaten

Das Ziel, die Beanspruchung des Fahrers empirisch zu ermitteln, läßt sich in bestimmtem Umfang auch durch Befragung und Interview bezüglich der subjektiven Selbsteinschätzung realisieren, was in der Vergangenheit auch an verschiedenen Stellen dokumentiert wurde. Dabei verwenden verschiedene Autoren eigene, speziell konzipierte Fragebögen (REITER, 1976, FASTENMEIER 1995b), mit denen die subjektiv erfragte Belastungsempfindung skaliert werden soll. ROHMERT und Mitarbeiter vergleichen den Eigenzustand und die subjektiv erlebte Beanspruchung im Prä-Post-Vergleich. Alternativ dazu greifen andere Autoren auf bereits vorhandene Instrumente – z.T. in modifizierter Version – zurück. So wird bei KIEGELAND (1990) das subjektive Befinden anhand des „Ermüdung, Monotonie, Sättigung, Streß-Fragebogens“ (BMS) nach PLATH & RICHTER (1984) erfaßt. Darüberhinaus erfragte der „Erhebungsbogen zum körperlichen Befinden“ (EKB) subjektiv erlebte körperliche Beeinträchtigungen zum gegenwärtigen Zeitpunkt wie beispielsweise Nackenschmerzen.

### 3.3.5 Persönlichkeitsdaten

Fragebogenverfahren, die in verschiedenen empirischen Untersuchungen eingesetzt wurden, dienten der Messung verkehrsrelevanter Persönlichkeitsausprägungen und Einstellungen. Relevant bedeutet einerseits, daß Personen, die aufgrund bestimmter biographischer Merkmale oder unangemessener Einstellungen für die Versuchsdurchführung ungeeignet sind, identifiziert werden können. Darüber hinaus soll unabhängig davon kontrolliert werden, ob bestimmte Merkmale der untersuchten Personen die Leistung in experimentellen Untersuchungen systematisch beeinflussen.

Schon vergleichsweise früh wurde an der TU-Berlin (1978) das Freiburger Persönlichkeitsinventar (FPI) eingesetzt. Im BAST-Programm (GSTALTER, 1985) geschah die Erfassung der *trait*-Komponente des Fahrerverhaltens durch Persönlichkeitsvariablen durch eine umfangreiche Testbatterie, bestehend aus dem

Freiburger Persönlichkeitsinventar (FPI), der Skala zur Erfassung manifester Angst (MAS) und dem Konzentrations-Leistungstest D2. Auch in der Folgeforschung (ROHMERT, BREUER & BRUDER, 1994) wurden neben biographischen Angaben eine verkürzte Testbatterie angewendet, die sich hier aus dem Fragebogen zur Erfassung von Aggressivitätsfaktoren (FAF) und einer spezifischen Kurzform des 16-PF nach CATTELL et al. (1970) zusammensetzte.

FÄRBER & FÄRBER (1984) griffen auf den Fragebogen zur Unterscheidung von stresstoleranten („forschen“) und stressintoleranten („vorsichtigen, risikovermeidenden“) Verkehrsteilnehmern (STOL) nach KASTNER (1982) zurück, mit Hilfe dessen Extremgruppen unterschieden werden konnten. In den Versuchen zeigten sich aber außer bei der Gelassenheitsskala im FPI kaum bedeutsame Zusammenhänge zwischen Persönlichkeitsmerkmalen und Beanspruchungsindikatoren, was zu einem erheblichen Teil auf die starke Homogenisierung der Versuchspersonenstichprobe (45 junge männliche Studenten) zurückgeführt wird. Lediglich Extremgruppenvergleiche konnten bedeutsame Unterschiede bei Verhaltensdaten aufzeigen: Stärker Beanspruchte fahren langsamer. Resümiert wird, daß dort, wo starke Beanspruchungen des Organismus auftreten, diese dem Fahrer auch bewußt werden und daß z.B. durch Geschwindigkeitsreduktion darauf reagiert wird. Erhöhte Anforderungen werden durch entsprechendes Fahrverhalten kompensiert.

In der Untersuchung von FELNÉMETI & BOON-HECKL (1985) stellten sich Persönlichkeitsmerkmale wie der Faktor „Unfalldisposition“ als relevantes Korrelat zu dokumentierten Verkehrskonflikten heraus. Hingegen berichten DUNCAN, WILIAMS & BROWN (1991) beim Geschlechtsvergleich von nur minimal bedeutsamen Unterschieden in einer vergleichsweise großen Stichprobe von 90 Versuchspersonen. ANGERMANN (1987) fordert die Beachtung von Persönlichkeitsunterschieden bei der Zusammenstellung einer repräsentativen Versuchsstichprobe, wobei auch motivationale Aspekte zu berücksichtigen seien.

# 4 Blickregistrierung und Sehfeldbestimmung

Ebenso wie für die allgemeine Belastungsforschung, die im vorangegangenen Kapitel dargestellt wurde, findet sich eine umfangreiche Forschungstradition, die mit Hilfe der Blickregistrierung und Sehfeldbestimmung Aussagen über die psycho-vegetative Belastung des Kraftfahrers zu treffen versucht und damit für die ergonomische Bewertung von Fahrzeugsystemen von Bedeutung ist. Die visuelle Wahrnehmung wird allgemein als der dominierende Kanal im Straßenverkehr angesehen, dem auch eine besondere Rolle bei der Entstehung bzw. Vermeidung von Verkehrsunfällen zugeschrieben wird (WIERWILLE, 1992). Die Untersuchung von KAFKA-LÜTZOW (1994) versucht dabei das Verhältnis der visuellen zur nicht-visuellen Informationsaufnahme im Straßenverkehr exakter zu quantifizieren. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, wie hoch der Anteil der nicht-visuellen Sensorik bei der Verkehrsteilnahme beziffert werden muß. Auf der Grundlage einer Reihe grundlagenwissenschaftlicher Erkenntnisse der verschiedenen Sinnesmodalitäten, insbesondere des auditiven Systems wird die Bedeutung nicht-visueller Informationsverarbeitungssysteme diskutiert, wobei aber insgesamt die zentrale Rolle der visuellen Wahrnehmung für das Verhalten im Straßenverkehr als gesichert gelten kann. WIERWILLE (1992) baut auf einer Reihe empirischer Forschungsergebnisse zum Blickrichtungsverhalten auf und beschreibt ein deterministisches Modell zu der Frage: Wie erfassen Fahrer visuelle Informationen aus fahrzeugeigenen Anzeigen? Neben der Bedeutung für die Verkehrssicherheit wurde die optische Wahrnehmung in interdisziplinären Forschungsprojekten auch vielfach als Determinante der Kraftfahrerbelastung verwendet. Dabei stellt das Sehverhalten des Menschen im Straßenverkehr einen hochkomplexen Vorgang der Informationsverarbeitung dar, der mit spezifischen

Meß- und Interpretationsschwierigkeiten verbunden ist. So sollen im folgenden

zunächst die unterschiedlichen Verfahren der Blickregistrierung erläutert werden.

#### **4.1 Verfahren zur Blickregistrierung**

Für die zentrale Blickverlaufsmessung kommen grundsätzlich zwei zu unterscheidende Meßverfahren in Betracht: Die elektro-okulographische Registrierung der Aktivität der Augenmuskulatur (EOG) sowie optische Geräte, welche die tatsächliche Blickrichtung nach dem Prinzip der kornealen Reflexion unter Zuhilfenahme von Meßapparaturen und mathematischer Algorithmen bestimmen.

##### **4.1.1 Methode und Ergebnisse der elektro-okulographischen Blickregistrierung**

Grundlage elektro-okulographischer Meßmethoden zur Registrierung der Augenbewegungen ist die Potentialdifferenz zwischen der Korneaoberfläche und dem Augenhintergrund, wodurch der Augapfel einem elektrischen Dipol entspricht, dessen Spannungsfeld sich mit der Augenbewegung ändert. Mittels zweier Elektroden, die in der Nähe der Augen auf der Hautoberfläche angebracht werden, können die Spannungsänderungen abgegriffen werden, die in direkter Abhängigkeit zu der jeweiligen Augenstellung stehen. Voraussetzung elektro-okulographischer Messungen ist eine präzise Kalibrierung der Blickrichtung des Probanden, d.h., ein definierter Punkt muß als Referenzlokalisierung vom Probanden fokussiert werden.

In der angewandten verkehrspsychologischen Literatur werden recht widersprüchliche Erfahrungen beim Einsatz des EOG berichtet. GALLEY (1988) be-

trachtet die Langzeitregistrierung der Augenbewegungen einschließlich der Sakkadengeschwindigkeit im Feldversuch für geeignet, um kognitive Prozesse und Aktivierungsinformationen auch für angewandte verkehrspsychologische Fragestellungen abzubilden. In einer nachfolgenden Studie gingen GALLEY & ANDRÈS (1992) der Frage nach, inwieweit aus EOG-Daten Sakkaden und Lidschläge als Parameter für Ermüdung bei Autofahrern herangezogen werden können. Als Datengrundlage wurden zehn Langzeit-Autobahnfahrten ausgewertet, bei denen neben subjektiven Befindlichkeitsdaten auch ein vertikales und horizontales EOG registriert und daraus alle Sakkaden und Lidschläge identifiziert wurden. Dabei stellten sich die beobachteten Veränderungen der Lidschlag- und Sakkadenparameter unter Ermüdung als nicht sehr ausgeprägt heraus. Nur in der Tendenz, statistisch aber nicht signifikant, konnte als Ermüdungswirkung festgestellt werden, daß der Lidschlag etwas häufiger eintrat, etwas länger dauerte und eine geringere Lidschlußgeschwindigkeit aufwies. Auch das Sakkadenintervall dauerte im Mittel etwas länger. In einer praktischen Anwendungsuntersuchung als Feldexperiment zur Evaluation von *Head-up-Display*-Projektionen der Fahrgeschwindigkeit beschreibt SPRENGER (1992) eine nahezu reibungslose Verwendung eines portablen EOGs.

#### **4.1.2 Methode und Ergebnisse der optischen Blickregistrierung**

Als Alternative zur der elektro-okulometrischen Blickregistrierung werden als Methode der Blickregistrierung vermehrt auch optische Verfahren eingesetzt, die nach dem Prinzip der kornealen Reflexion die Bewegungen der Pupille verfolgen. Für wissenschaftliche Untersuchungen wurde dabei meist der NAC *Eye-Recorder* eingesetzt. Schon früh untersuchten COHEN & FISCHER (1977) mit dieser Spezialbrille den Einfluß des Scheibenwischers auf das Blickverhalten von Autofahrern anhand von sechs Versuchspersonen auf einer Teststrecke. Analysiert wurden verschiedene Blickvariablen wie Fixationsdauer oder Blickwinkeländerungen. Die Resultate zeigen, daß die Betätigung des Scheibenwischers lediglich das Verhältnis zwischen Blick- und Gesichtsfeld beeinflusst. Daraus läßt

sich auf unveränderte Suchaktivität der Augen nach verkehrsrelevanter Information schließen. Durch eine veränderte Kopfhaltung wird die Bewegungswahrnehmung des Scheibenwischers kompensiert. Einer anderen typischen Fragestellung der Blickverlaufsmessung ging COHEN (1994) nach, indem er die visuelle Aufmerksamkeitsbeanspruchung durch die Verkehrsbeschilderung untersuchte. Dabei können seine Ergebnisse als Beleg dafür interpretiert werden, daß der Autofahrer - zumindest in Städten mit einer großen Dichte an Verkehrszeichen - seiner vorschriftsmäßigen Verpflichtung, u.a. alle Verkehrszeichen zu beachten, d.h. zu fixieren/fokussieren, überhaupt nicht nachkommen kann, weil durch die Beschilderung allein etwa 30 Prozent seiner gesamten Aufmerksamkeitskapazität in Anspruch genommen würde. Somit verfüge der Automobilist in der Realität nur über eine partielle interne Repräsentation der Umweltverhältnisse. Dennoch überwiege der subjektive Eindruck, alles gesehen zu haben.

RIPPER (1993) ging der Frage nach, ob der zunehmenden Informationsüberlastung durch peripher erkennbare Sicherheitsreize entgegengewirkt werden könne. In den Mittelpunkt wurde dabei die Möglichkeit gestellt, auf dem Display Informationsinhalte, Hinweis- und Warnreize, so großformatig darzustellen, daß sie durch indirektes Sehen wahrgenommen werden können und der Blick nicht mehr von der Straße gerichtet zu werden braucht. Im Fahrstand mit künstlicher Außensicht der Universität Tübingen wurde dazu den 12 Versuchspersonen eine Tracking-Aufgabe vorgegeben. Gleichzeitig sollten sie auf verschieden große und an verschiedenen Stellen positionierte Hinweisreize reagieren. Gemessen wurden die Diskriminationszeiten und die Erkennungsfehler für die Symbole sowie die Güte der Trackingausführung. Dabei zeigte sich der eindeutige Effekt, daß auch nach Erscheinen eines großformatigen informativen Hinweisreizes der Blick ausnahmslos auf das Display gerichtet wurde, auch wenn der Reiz bereits durch indirektes Sehen zu erkennen gewesen wäre. Insgesamt konnte belegt werden, daß ein gut erkennbarer neutraler Hinweisreiz eine Unterstützung für ein rasches Ablesen des Displays an einer geeigneten Stelle sein kann. Die Blickabwendungsdauer von der Straße kann dadurch verringert werden. Bei den Diskriminationszeiten ergab sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen den

Reaktionszeiten und der Komplexität der Symbole. Die Fehlerhäufigkeiten lagen sehr niedrig ohne Unterschied der Versuchsbedingungen. Diese Ergebnisse können als Beleg für die intuitive Annahme verstanden werden, daß sich Autofahrer nicht allein auf peripher dargebotene Reize verlassen und unwillkürlich die Reizquelle fokussieren. Periphere Sichtinformation kommt nach RIPPERS Befunden für ergonomische Fragestellungen nicht in Betracht.

In weiteren Untersuchungen zu Blickverlaufsmessung versuchten SCHROIFF & MÖHLER (1986) in einer holländischen Untersuchung, die optischen Hinweisreize experimentell meßbar zu machen, auf die geschwindigkeitsregulierende Handlungen hin vorgenommen werden. Dazu wurde ein Laborversuch mit 50 Versuchspersonen durchgeführt, deren Augenbewegungen und simulierte Fahrgeschwindigkeiten bei der Einfahrt in projizierte Ortseingänge protokolliert wurden. LEUTZBACH & PAPAVALIOU (1988) stellten in einem Forschungsprojekt der BAST die Wahrnehmung in konkreten, definierten Verkehrssituationen in den Mittelpunkt. Untersucht wurden dabei Spurhalten, Kurvenfahren, Nachfahren, Überholen und Knotenpunkte im Verkehr. BRUCKMAYR & REKER (1994) diskutieren die Frage der maximal vertretbaren Blickabwendung („Wie lange ist zu lange?“) vom äußeren Verkehrsgeschehen, beispielweise für Kontrollblicke auf das Armaturenbrett. Sie kommen dabei zu dem Fazit, daß auch ohne eine noch ausstehende eindeutige wissenschaftliche Klärung dieser Frage sich ein Konsens in der Größenordnung von  $1 \pm 0,5$  Sekunden abzeichne, längere „Verkehrsblindheiten“ sollten unbedingt vermieden werden. GSTALTER & FASTENMEIER (1995b) weisen auf den von ROCKWELL (1988) eingeführten Begriff der „visuellen Kosten“ („*visual cost*“) hin und die verschiedenen Versuche, die Zeitdauer der Blickabwendungen mit Hilfe sog. visueller Matrizen zu quantifizieren.

#### **4.1.3 Entwicklungspsychologische Fragestellungen der Schwahrnehmung**

Eine Reihe von Studien beschäftigte sich mit Fragen nach der Entwicklung des Blickverhaltens vom Führerscheinerwerb über die Fahrerbiographie hinweg. So untersuchte COHEN (1985b) ebenfalls mit Hilfe optischer Verfahren das Blickverhalten von erfahrenen und weniger erfahrenen Lenkern im Vergleich von geraden



Fahrstrecken und Kurvenbereichen. Als bedeutsame Einflußgröße auf das Blickverhalten stellten sich dabei die Umweltbedingungen heraus, weil die Lenker je nach individuellen Merkmalen und Fähigkeiten versuchen, ihr Blickverhalten den Umweltverhältnissen anzupassen. Darüberhinaus zeigte sich aber auch wie erwartet ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Blickverhalten und dem Wahrnehmungslernen. Die Bedeutung der ungleichen Fahrpraxis der beiden Versuchsgruppen stand in eindeutigem Zusammenhang zur Komplexität der Fahraufgabe: Die verlängerte Fahrerfahrung kam auf der recht einfachen geraden und offenen Versuchsstrecke kaum zum Ausdruck. Unterschiede traten hingegen auf der zweiten Versuchsstrecke auf, wo die Straßenführung komplizierter war. Die erfahrenen Fahrer zeigten dabei in komplexeren Situationen verstärkt antizipatorisches Aufmerksamkeitsverhalten, mit dem bevorstehende Belastungssituationen wie enge Kurvendurchfahrten schon im Vorfeld rechtzeitig wahrgenommen wurden. Die Bedeutung der Fahrpraxis erwies sich somit als um so größer, je komplizierter die Umweltverhältnisse waren. Insgesamt interpretiert COHEN seine Ergebnisse dahingehend, daß auch eine Fahrpraxis von 3,5 bis 5 Jahren noch nicht ausreichend sein muß, um ein elaboriertes und robustes Blickverhalten zu entwickeln.

MOURANT & ROCKWELL (1972) verwendeten mit dem „*Television eye movement recording system*“ einen komplexen Versuchsaufbau bei der Untersuchung des Blickverhaltens von ungeübten gegenüber geübten Fahrern. Aufgezeichnet wurden dabei unter anderem Blickrichtung und Blickfeld im Verhältnis zu Fahrzeugparametern wie Gaspedal- und Bremsbetätigungen. Mit Hilfe eines Computerprogramms wurden die Kopfbewegungen von den Augenbewegungen extrahiert. MOURANT & ROCKWELL (1972) belegen anhand der Blickbewegungsmaße, daß die Wahrnehmungsprozesse von Fahranfängern im Vergleich mit erfahrenen Fahrern deutlich unsystematischer ausfallen und ihre visuelle Wahrnehmung schnell überfordert ist. Die Unfähigkeit, Umstände mit hohem Unfallpotential zu detektieren, wird mit der Forderung nach verstärkten Schulungsmaßnahmen für Fahranfänger verbunden.

Zu differenzierteren Ergebnissen kommt eine Studie von DUNCAN, WILIAMS & BROWN (1991). Sie untersuchten drei Gruppen: Fahranfänger, gewöhnliche und hoch-routinierte Fahrer. Entsprechend dem Titel der Untersuchung „*Experience does not mean expertise*“ interpretieren die Autoren die erhobenen Daten in Richtung zu der Aussage, daß für viele Bereiche der Fahrfähigkeiten Fahrrouline allein keine Garantie für verkehrssicheres Verhalten darstelle. Dies gelte insbesondere für sicherheitsrelevante Vorgänge wie Spiegelnutzung oder Fahrtrichtungsanzeigen.

#### **4.1.4 Physiologische Voraussetzungen und Pathologien der Schwärnehmung im Straßenverkehr**

Ein weiterer Schwerpunkt der Veröffentlichungen im Bereich der visuellen Wahrnehmung im Straßenverkehr beschäftigt sich mit den biologischen Voraussetzungen der Schwärnehmung und möglichen Beeinträchtigungen des Sehvermögens und den Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit.

So vergleicht COHEN (1986b) die unterschiedlichen Bedingungen für die visuelle Wahrnehmung bei Tag- und Nachtfahrten. Diskutiert werden die verkehrspsychologischen Auswirkungen aufgrund der biologisch bedingten begrenzten Fähigkeiten des menschlichen Auges zur Wahrnehmung bei geringer Beleuchtungsintensität und die daraus resultierenden Informationsdefizite, wie dies insbesondere bei Nachtfahrten durch den Scheinwerferkegel gegeben ist. Bei Tage stelle eine Verminderung der visuellen Informationüberlastung, etwa durch Reduktion der Anzahl an Verkehrszeichen, einen Schritt zu einer verbesserten Verkehrssicherheit dar. In einem ähnlichen Zusammenhang an anderer Stelle weist COHEN (1994) darauf hin, daß die verspätete oder gar fehlende Wahrnehmung einer Gefahrenquelle - weniger aufgrund von Unaufmerksamkeit, sondern eher wegen einer Überforderung - die Ursache der meisten Unfälle sei. Auf Grundlage von Unfallanalysen kommt er dabei zu dem Schluß, daß bei Tagfahrten der unfallbedingende biologische Engpaß anstelle der Schwärnehmung vielmehr das Gehirn ist. Hingegen sei bei Nachtfahrten der Informationsfluß

durch das Auge maßgeblich reduziert, so daß hier oftmals biologische Beschränkungen als Unfallursache mitberücksichtigt werden müssen.

Bei der Diskussion möglicher pathologischer Erscheinungsformen der visuellen Wahrnehmung weist LACHENMAYR (1987) darauf hin, daß für das Erkennen von Gefahren im Straßenverkehr das periphere Gesichtsfeld von besonderer Bedeutung ist (vgl. 4.2), weil Signale oder Gefahrobjekte nur in Ausnahmefällen von vornherein direkt in der Fovea centralis wahrgenommen werden. Neben den Gesetzmäßigkeiten der visuellen Informationsverarbeitung und der Verschaltung des Sakkadischen Systems im ZNS bei „gesundem“, unauffälligem Sehverhalten ist nach LACHENMAYR auch die Möglichkeit des Auftretens psychodelischer oder pathologischer Deviationen wie der glaukomischen Sehfeldverengung zu beachten.

Auch LÖVSUND, HEDIN & TÖRNOS (1991) betonen die maßgebliche Bedeutung von Defekten im visuellen System an der Entstehung von Verkehrsunfällen, die in einer Studie am Fahrsimulator mit Hilfe des NAC *Eye Recorders* untersucht wurden. In vielen Fällen stellte sich bei Probanden mit Gesichtsfeldausfällen eine verschlechterte Entdeckungskapazität von Reizen in dem betroffenen Sehfeld heraus. Die meisten Ausfälle können nach LÖVSUND und Mitarbeitern nicht adäquat kompensiert werden, so daß Sicherheitseinbußen für den Straßenverkehr die Folge sein müssen. Als Konsequenz regen die Autoren dabei eine Einführung international vereinheitlichter perimetrischer Untersuchungen an, trotz des damit verbundenen erheblichen Kostenaufwands.

#### **4.2 Zentrales Sehen und peripheres Gesichtsfeld**

Die visuelle Wahrnehmung des Menschen ist durch die Unterteilung in „zentrales“ und „peripheres“ Sehfeld gekennzeichnet. Neben der fokussierten Blickinformation in der Fovea centralis des Auges wird die visuelle Wahrnehmung durch die periphere Blickinformation ergänzt. Wahrnehmungspsychologisch hängt die Rezeption eines Signals im peripheren Sehbereich nicht nur von

biologischen Leistungsgrenzen der betreffenden Netzhautstelle und physikalischen Reizmerkmalen ab. Auch das jeweilige nutzbare Sehfeld (die ovale Netzhautregion um die Fovea centralis herum) wird von zentralen, nicht-retinalen Belastungsparametern beeinflusst. Schon MACKWORTH (1970) zeigte eine Einengung des nutzbaren Sehfeldumfangs bei steigender Belastung („Tunnelsehen“), auch wenn bei eingeeengtem Sehfeld die Aufnahme der fokussierten Information aufrechterhalten bleibt. Während sich die o.g. okulometrischen Ansätze zur Blickregistrierung im wesentlichen auf den Bereich des zentralen Sehens beschränken, wurde in der Vergangenheit in einzelnen Studien speziell das variierende Ausmaß des peripheren Sehfelds als Indikator der Fahrerbelastung herangezogen.

#### **4.2.1 Die FAT-Untersuchung (1978)**

Eine Untersuchung im Auftrag der FAT (1978) griff auf der Grundlage der wahrnehmungspsychologischen Erkenntnis, daß sich das nutzbare Sehfeld bei zunehmender Belastung verkleinert, die periphere Informationsaufnahme als Maß für die mentale Beanspruchung auf. So wurde als Belastungsparameter die Erkennung binärer Lichtreize im peripheren Sichtfeld gewählt, wofür eine Meßbrille entwickelt wurde, auf der im peripheren Bereich einzelne Lichtpunkte eingeblendet wurden. Die Einengung des nutzbaren Sehfeldes bei zunehmender Belastung läßt erwarten, daß auch die Detektionswahrscheinlichkeit peripherer dynamischer Reize bei steigender Belastung und bei wachsendem Darbietungswinkel immer geringer wird. Aus diesem Grund dienten die individuellen Detektionsraten als alternatives Beanspruchungsmaß gegenüber anderen Belastungsindikatoren. Die so ermittelten Meßwerte wurden intraindividuell durch Relativmessungen nach einer festgelegten Referenzsituation ausgewertet. Direkte Vergleiche zwischen den Versuchspersonen wurden durch dieses Vorgehen zwar nicht ermöglicht, aber bezogen auf das Versuchspersonenkollektiv waren Aussagen über den mittleren Einfluß verschiedener Belastungssitua-

tionen hingegen möglich. So konnte im Feldexperiment im realen Verkehr durch das beschriebene Meßverfahren beim Heranfahen an eine vorfahrtgeregelte Kreuzung eine statistisch signifikante Verringerung der Detektionsraten und damit eine Verengung des nutzbaren Sehfeldes dokumentiert werden. In der Fahrsituation wurden die mentale („Kopfrechnen“) und die sensorisch-motorische Zusatzbelastung („Konstanthalten einer vorgegebenen Geschwindigkeit“) des Fahrers getrennt untersucht, um komplexe Belastungsverläufe in Einzelsequenzen aufzuschlüsseln. Bei beiden Zusatzbelastungen wurde erwartungsgemäß eine deutliche Einbuße der peripheren Detektionsleistung registriert. Dem Feldexperiment gegenübergestellt wurde ein Laborszenario. Hier wurde eine Aufgabe manueller Mehrfachregelung nachgebildet, wobei bei maximaler Belastung vier unabhängige Regelstrecken zu bedienen waren. Als Ergebnis zeigte sich im Mittel ein Abfall der Detektionsraten peripher wahrgenommener Stimuli monoton und statistisch signifikant bei steigender Belastung. Der mittlere Regelfehler und insbesondere der Indikator „Verengung des nutzbaren Sehfeldes“ reagierten sensibel auf die variierten Belastungsbedingungen. Das Meßverfahren lieferte bei konstanten Randbedingungen gut reproduzierbare Meßwerte. Der Indikator „Verengung des nutzbaren Sehfeldes“ wird abschließend als erfolgversprechendes Instrument für die nachfolgende Forschung zur Beanspruchungsmessung im realen Verkehr vorgeschlagen.

#### **4.2.2 Die Untersuchungen von COHEN (1984f.)**

Im Anschluß an die beschriebene FAT-Untersuchung (1978) zum peripheren Sehen als Belastungsparameter beschäftigte sich vor allem Amos COHEN in einer Reihe von Veröffentlichungen mit den Einflußgrößen auf das nutzbare Sehfeld von Kraftfahrern und nahm dabei Bezug auf den Versuchsaufbau der FAT-Untersuchung. Nach einer umfassenden Beschreibung der physiologischen Grundlagen der visuellen Wahrnehmung und der verschiedenen grundlagenpsychologischen Befunde aus Laborexperimenten stellt COHEN (1984, 1985a/b) eine neuartige Methode zur Messung des Sehfeldumfangs vor. Er verwendete dabei

einen Versuchswagen, auf dessen Windschutzscheibe 32 nach Zufallsprinzip Computer-angesteuerte Leuchtdioden angebracht waren. Als Reaktion beim Aufleuchten mußte die Versuchspersonen eine Sensortaste am Lenkrad betätigen. Aufgezeichnet wurden die Reaktionszeiten und die Latenz auf die Signale. Als dynamisches Bezugssystem zwischen der Position des Signals und derjenigen des Auges wurde zur Registrierung der Blickbewegungen ein *NAC-Eye-Recorder* eingesetzt. Somit konnte vom Auswertungsschirm zeitsynchronisiert auf die retinale Projektionsstelle des Reizes geschlossen werden.

Als Versuchspersonen wurden zum einen äußerst erfahrene Streifenwagenfahrer und zum anderen Fahranfänger eingesetzt, die in Hinblick auf mögliche Einengungen des Sehfeldes untersucht wurden. Belegt werden konnte der erwartete Leistungsabfall der Sehfähigkeit mit zunehmender Reizexzentrizität. Dies zeigte sich einerseits an dem abnehmenden Anteil erkannter Signale und andererseits an den zunehmenden Reaktionszeiten. Das nutzbare Sehfeld variierte im Experiment mit unterschiedlicher Belastung. Die Unterteilung der Straßentypen erwies sich als als signifikante Einflußgröße des nutzbaren Sehfelds. Die höchste Leistungsfähigkeit der visuellen Sinnesmodalität war auf der Autobahn, die geringste im Stadtverkehr zu beobachten. Im Vergleich mit Fahranfängern war das Sehfeld bei erfahrenen Kfz-Führern deutlich vergrößert. Die Belastungsmessung anhand der Signalerkennung im Sehfeld kann allerdings konfundiert werden durch die erhebliche Streuung zwischen den Versuchspersonen. Solche interindividuelle Schwankungen stellten sich als zusätzliche hochrelevante Einflußgröße heraus. Im Gegensatz zu Laborerkenntnissen wurden im Feldversuch die Belastungsscores bei objektiv erschwerten Bedingungen der Signalerkennung durch erhöhte Geschwindigkeiten durch den Fahrer im Versuch kompensiert, zum Teil überkompensiert.

In einer großangelegten Nachfolgeuntersuchung (COHEN, 1987a, vgl. auch COHEN 1987b, 1988) sollte den Fragen nachgegangen werden, ob ein Zusammenhang zwischen Fahrgeschwindigkeit und Sehfeldumfang nachgewiesen werden kann und ob sich Geschwindigkeitsübertretungen als Belastungsfaktor in Form einer Einengung des Sehfeldumfangs bemerkbar machen. Die erzielten Ergebnisse

können jedoch keine Hinweise für die Versuchshypothese belegen, daß sich mit zunehmender Geschwindigkeit bei einer Variation zwischen 80 - 130 km/h das nutzbare Sehfeld einengt. Erklärt wird dies damit, daß erst wenn die Verarbeitungskapazität vollständig ausgeschöpft ist, der Fahrer überfordert wird und sein visuelles System darauf mit Einengung des Sehfeldes reagiert. Diese Stufe der Überbeanspruchung trat während der Autobahnfahrt aufgrund externer Informationsbelastung nicht ein: „Möglicherweise erhöhten die Lenker ihre Aufmerksamkeit mit steigender Geschwindigkeit und kompensierten dadurch die erhöhte Belastung, welche unterhalb der Kapazitätsgrenze lag und deshalb blieb der nutzbare Sehfeldumfang unverändert.“ (COHEN, 1987a, S. 32).

Im Unterschied zur absoluten Geschwindigkeit stellte sich hingegen die Abweichung vom Soll-Wert als relevante Einflußgröße heraus. Unabhängig davon, ob die Versuchsperson zu schnell oder zu langsam fuhr, wirkten solche Geschwindigkeitsübertretungen bzw. -unterschreitungen anscheinend als psychische Belastung, was sich in Form einer Einengung des nutzbaren Sehfeldes bemerkbar machte. Die Sehfeldeinschränkung ist demnach eine Äußerung von ausgeschöpfter zentraler Kapazität bei Überbeanspruchung durch die Summe stattfindender Vorgänge ohne Berücksichtigung, ob diese Faktoren interner oder externer Natur sind. Anstelle der intervenierenden Variable der objektiven Fahrgeschwindigkeit müsse subjektiv erlebte jeweilige Informationsdichte als Haupteinflußgröße betrachtet werden.

Weiterhin wird von COHEN auf die Rolle von Persönlichkeitseigenschaften hingewiesen, die seiner Ansicht nach nur ungenügend berücksichtigt wurden: „Obwohl alle Vpn ein normales Sehvermögen in der ophtalmologischen Untersuchung aufweisen, bestand zwischen ihnen eine signifikante interindividuelle Variation. Verschiedene Vpn erkannten sowohl einen ungleichen Anteil der präsentierten Signale und beantworteten diese ungleich schnell. Offen bleibt die Frage, welche individuellen Merkmale des Lenkers seine visuelle Leistung beeinflussen.“ (COHEN, 1987a, S. 35).

# 5

## Das Doppelaufgabenparadigma

Vorausgegangene Forschung zur verkehrspsychologischen Messung der Beanspruchung durch die Fahraufgabe hatte übereinstimmend gezeigt, daß sich die Wirkung der Fahraufgabe und der umgebenden Bedingungen neben körperlichen Reaktionen insbesondere durch den Grad der mentalen Beanspruchung unterscheiden läßt. Diese Zweiteilung wurde auch im Faktorenmodell unter 1.3 berücksichtigt. Aus diesem Grund wurde ein psychologisches Paradigma gesucht, das in der Lage ist, Veränderungen der mentalen Beanspruchung abzubilden. Dabei fiel die Wahl auf das Doppelaufgabenparadigma, weil hiermit die gesamte Spanne mentaler Beanspruchbarkeit getestet und skaliert werden kann.

### 5.1 Allgemeinpsychologische Untersuchungen zu Doppelaufgaben

Eine umfangreiche grundlagenwissenschaftlich ausgerichtete Forschungstradition hat verschiedene Modelle des Aufmerksamkeitskonstrukts entwickelt und anhand empirischer Daten zu erhärten versucht. Vielzitierte Arbeiten innerhalb der kognitiven Psychologie stammen von BADDELEY und Mitarbeitern (vgl. u.a. BADDELEY 1986, BADDELEY & HITCH, 1974), bei denen zwischen dem „räumlichen“ und dem „verbalen“ Arbeitsgedächtnis („*working memory system*“) unterschieden wird. WICKENS (1980, WICKENS & LIU, 1988) baut mit einer langjährigen Untersuchungsreihe auf diesen und ähnlichen Befunden auf, die für die hier untersuchte Fragestellung durch die Anwendung eines Doppelaufgabenparadigmas von besonderer Bedeutung sind. In WICKENS & LIU (1988) wird auf ein



Laborszenario zurück gegriffen, mit dem verschiedene konkurrierende kognitive Modelle gegenübergestellt werden sollen. Die Ergebnisse basieren auf einer Versuchsanordnung, bei der auf einem Flugsimulator ein Kampfspiel inszeniert wurde. Für die verschiedenen Schwierigkeitsbedingungen wurden jeweils gewichtete Arbeitsbelastungsratings und Reaktionszeiten für die verbale Diskriminationsaufgabe gemessen. Gleichzeitig wurde die laterale Abweichung von einer Ideallinie („*tracking error*“) als Maß für die Bearbeitung der räumlichen Aufgabenstellung verwendet. Ihre Daten belegen die Bedeutung der Dichotomie zwischen verbalen und räumlichen Verarbeitungsmechanismen. WICKENS & LIU (1988) weisen auf die Bedeutung solcher grundlagenwissenschaftlich orientierter Befunde für ingenieur-technische Fragestellungen hin.

Die Quantifizierung möglicher Interferenzen im Rahmen des Doppelaufgabenparadigmas hängt dabei wesentlich davon ab, welche Aufgabe als primär und welche als sekundär instruiert bzw. internalisiert wird. WICKENS als Vertreter eines „*multiple resources model*“ (entspricht in etwa einer eher parallelen Informationsverarbeitung) prognostiziert: „*Interference will be greater when two tasks demand processing by a single resource rather than distributing their demands across resources*“ (WICKENS & LIU, 1988, S. 601). Neben WICKENS und Mitarbeitern stellt auch eine Reihe von Publikationen israelischer Autoren (vgl. u.a. NAVON & GOPHER, 1979, 1980, GOPHER, BRICKNER & NAVON 1982) experimentelle Belege für den „*multiple resource approach*“ zusammen. Vereinfacht wird nach diesem Ansatz das menschliche Informationsverarbeitungssystem als eine Zusammensetzung verschiedener Verarbeitungsmechanismen konzipiert, die ihrerseits jeweils über eine eigenständige Kapazität verfügen. Empirische Belege für diese Annahme im Gegensatz zu einkanaligen Ressourcenmodellen ergeben sich aus Doppelaufgaben-Situationen, wobei solche konkurrierend ausgeführten Aufgaben in verschiedenem Maße überlappende Anforderungsbereiche beanspruchen können.

NOBLE, SANDERS, & TRUMBO (1981) beschreiben Untersuchungen, bei denen unabhängig von der experimentellen Variation im Vergleich zu der Einfach-Reiz-Bedingung bei zwei aufeinander folgend präsentierten Reizen durchgängig eine Reaktionsverzögerung von etwa 20 –30 msec beobachtet wurde. Erklärt wird dieses Zeitintervall durch den schon von NAVON & GOPHER (1979) postulierten „*basic concurence cost*“, wonach die Leistung in einem Doppelaufgabenpara-

digma allein durch das Hinzufügen der zweiten Aufgabe stärker beeinträchtigt wird als sich aus der Summe der Bearbeitungszeiten für beiden Aufgaben getrennt ergeben würde. Als Erklärung wird ein generelles Hemmungsphänomen postuliert, welches beim Zusammentreffen von zwei zeitnahen Aufgaben zutage tritt. In die theoretische Richtung eines Konzept multipler Ressourcen für das Arbeitsgedächtnis deuten auch auch die Ergebnisse von KLAPP & NETICK (1988), wobei die Ressourcen-Zusammenstellung von internalen Mediatorvariablen abhängt.

MICHON (1965, 1966) dokumentiert eine Reihe von Experimenten, in denen das Verfahren der subjektiven Zeitschätzung zur Wahrnehmungsbelastungsmessung verwendet wurde. In MICHON (1965) sollten Zeitintervalle von zwei Sekunden geschätzt werden, wobei das Verfahren in MICHON (1966) weiter elaboriert wurde. Hier fand eine explizite Unterscheidung zwischen einer schwierigkeitsestuften Reaktionswahlaufgabe als Hauptaufgabe und der Regelmäßigkeit zusätzlicher Leistungen („*tapping regularity*“) als Nebenaufgabe statt.

## **5.2 Anwendungsbeispiele für Nebenaufgabentätigkeiten im Rahmen der Verkehrspsychologie**

Schon zu Beginn der 60er Jahre beschreiben BROWN & POULTON (1961) den ersten Versuch, die mentale Konzentration auf das Fahrverhalten mittels einer Zusatzaufgabe zu messen. Grundsätzliche Annahme der Untersuchung ist: „*If the demands of the subsidiary task remain constant, their errors must reflect fluctuations in the demands of the primary task, in this case the driving.*“ (S. 34). Verglichen wurden zwei Gruppen von Fahrern, durchschnittliche und fortgeschrittene, im letztgenannten Fall Streifenwagenfahrer der Polizei. Als Parameter der Hauptaufgabe wurden Durchschnittsfahrgeschwindigkeit und Kontrollbewegungen protokolliert. Als Nebenaufgabe wurde zum einen ein akustisches Signal zur Diskrimination vorgegeben, zum anderen Kopfrechenaufgaben. Trotz der kleinen Stichprobe (N = 7 bzw. 8 pro Gruppe) belegen die Ergebnisse innerhalb der Nebenaufgabe statistisch relevante Unterschiede der Fahrumgebung, die aus einer Einkaufsgegend oder einem Wohnviertel bestand. Gleichzeitig wurde

durch die Verwendung der Nebenaufgabe keine substantielle Veränderung der Fahraufgabe bemerkt.

Eine Nachfolgeuntersuchung von BROWN (1965) vergleicht zwei Nebenaufgabenparadigmata als Methode zur Müdigkeitsmessung bei Kraftfahrern. Aufgebaut wird dabei auf den Befunden von BROWN & POULTON (1961), wonach auditive Nebenaufgaben als reliables Instrument zur Messung der Wahrnehmungsauslastung innerhalb verschiedener Verkehrsbedingungen verwendet werden können. Bei dieser Untersuchung werden zwei verschiedene Zusatzaufgaben gegenübergestellt:

- Die Aufmerksamkeitsaufgabe: Die Versuchsperson hört kontinuierlich eine Reihe von Ziffern von 1 bis 9 in 1,25 Sekundenintervallen. Innerhalb der Zufallsreihe ohne sich wiederholende Ziffern sollten ungerade-gerade-ungerade-Kombinationen detektiert werden.
- Die Gedächtnisaufgabe: Es werden in 5-Sekundenabständen zehn Buchstaben vorgegeben, von denen neun unterschiedlich sind und nur einer zweimal enthalten war. Am Ende jeder Serie (ca. eine Minute) wurde der jeweilige Buchstabe erfragt. Als abhängige Variable wurde in beiden Fällen die mittlere Fehlerhäufigkeit gemessen.

Untersucht wurden acht männliche Autostreifen-Polizisten vor bzw. nach einer achtstündigen Arbeitsperiode. Als Ergebnis konnten bei der Fahraufgabe anhand von Fahrzeugparametern keine signifikanten Unterschiede vor bzw. nach der Schicht dokumentiert werden. In der Hauptaufgabe zeigte sich somit kein nachweisbarer Müdigkeitseinfluß. Entgegen der Erwartung wurde aber bei der Bearbeitung der Zusatzaufgabe nach der Schicht eine geringere Fehlerhäufigkeit als vor der Arbeit dokumentiert. Eine mögliche Erklärung für diesen Befund kann darin gesehen werden, daß die Versuchspersonen ihren Dienst ermüdeten angetreten haben als am Ende der Routinetätigkeiten. Beim methodologischen Vergleich der beiden Nebenaufgabenparadigmata wird die Aufmerksamkeitsaufgabe als vorteilhafter bewertet, weil hierbei durchweg eindeutige und besser interpretierbare Ergebnisse aufgezeichnet wurden. Auch wurden bei dieser Zusatzaufgabe geringere Auswirkungen auf das Fahrverhalten festgestellt: Sieben der acht Probanden reduzierten ihre Fahrgeschwindigkeit weniger als bei der Gedächtnisaufgabe.

Neben diesen frühen Untersuchungen aus dem englischen Raum werden erste Experimente mit Nebenaufgaben auch aus dem deutsch-österreichischen Sprachraum und aus Schweden dokumentiert. So hatten schon v. KLEBELSBERG & KALLINA (1960) mit Tachistoskopversuchen belegt, daß der Fahrer fast unabhängig von der Darbietungsdauer kaum mehr als zwei Verkehrszeichen gleichzeitig bewußt wahrnehmen kann. Später verwenden WIEGAND (1991) und HARMS (1991) ein Doppelaufgabenparadigma zur Bewertung der kognitiven Belastung des Verkehrsteilnehmers. Dabei stellt WIEGAND (1991) das Verfahren der aktiven Zeitschätzung vor, das darin besteht, den Probanden zunächst mit der Intervallschätzung von zwölf unmittelbar hintereinander folgenden Abschnitten von je 20 Sekunden vertraut zu machen, bis er dazu mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.5$  Sekunden in der Lage war. Als Hauptaufgabe waren danach im Labor verschiedene kognitive Tests zu bearbeiten. Im Feldversuch wurde eine Fahrt mit einem Militärlastwagen durchgeführt. Die Befunde zeigen eindeutig, daß die aktive Zeitschätzung vom Grad der psycho-mentalen Aktivität oder Informationsverarbeitung abhängt, die während eines gegebenen Zeitintervalls stattfindet. Zusammenfassend wird gefolgert, daß die Methode der Doppelarbeit geeignet ist, Grade psychischer Beanspruchung differenziert zu erfassen.

Aufbauend auf einer Voruntersuchung werden bei HARMS (1991) zwei Experimente beschrieben, die am *Swedish Road and Traffic Research Institute* (VTI) in Schweden durchgeführt wurden. Untersucht werden sollte der Einfluß der Verkehrsumgebung auf die kognitive Fahrerbeanspruchung. Hier wurde ein Doppelaufgabenparadigma zugrunde gelegt, bei dem neben der Fahraufgabe Kopfrechenaufgaben zu lösen waren. Über Kopfhörer wurden den 19 Versuchspersonen im ersten Versuchsdurchlauf (14 im zweiten Experiment) auf Tonband aufgezeichnete Zufallszahlenpaare vorgegeben, wobei die jeweils niedrigere von der höheren abgezogen werden mußte. Die Berechnungszeiten als Zeitintervall (*stimulus-off - response-on*) wurden dabei als Beanspruchungsparameter verwendet und in Beziehung zur Fahrgeschwindigkeit und den Situationsgegebenheiten gesetzt. Allgemein zeigte sich in dörflicher Umgebung eine höhere Beanspruchung als auf Autobahnabschnitten, auch wenn dort im Schnitt höhere Geschwindigkeiten gemessen wurden. Die Autorin kommt zu dem Schluß, daß sich auf Grundlage der Kopfrechenzeit als mentalem Parameter

die unterschiedliche Belastungswirkung verschiedener Verkehrsumgebungen abbilden lassen und daß diese Methode sensibel genug ist, um auch unter erweiterten Umständen eingesetzt zu werden.

BARTMANN (1995) beschreibt in ihrer Dissertation eine Feldstudie zur Erfassung von „Routine“ beim Führen von Kraftfahrzeugen. Zielsetzung ist dabei, ein Maß zu definieren und zu validieren, mit dem die Ausprägung von Fahroutine bei Fahranfängern im Vergleich mit erfahrenen Fahrern diagnostiziert werden kann. BARTMANN setzt als Methode der Wahl ein neuartiges Doppeltätigkeitsparadigma ein, bei dem über die Leistung in einer zusätzlich zur Fahrtätigkeit ausgeführten Aufgabe auf die Beanspruchung durch die Fahrtätigkeit geschlossen wird. Als Nebenaufgabe wurde eine standardisierte taktgebundene Sprechaufgabe verwendet, die den Zeitpunkt vorgibt, zu dem bestimmte Wörter vom Fahrer zu sprechen sind. Diese Sprechaufgabe wurde kontinuierlich durch ein zeitlich hochauflösendes Meß- und Aufzeichnungsgerät zur Sprachanalyse („Logoport“) registriert. Die Fahrer hatten die Aufgabe, während der Ausführung der Fahraufgaben gleichzeitig zum Taktschlag eines Metronoms vorgegebene Wörter zeitpräzise zu sprechen. Gewählt wurden ausschließlich künstliche Wörter aus Vokal-Konsonant-Vokal-Verbindungen wie „*aka, ake, aki, ako, aku*“.

Ihre Ergebnisse belegen wenig bedeutsame Unterschiede zwischen Fahranfängern und Fahrexperten im beobachteten Verhalten. Beim Belastungsparcour im Vergleich mit einer Kontrollstrecke zeigten sich nur tendenzielle Verhaltensunterschiede. Dabei ist die Methode nicht in der Lage, situationsbedingte Beanspruchungsvariationen in zufriedenstellendem Maß aufzuzeigen.

PFENDLER (1982) dokumentiert eine Untersuchung, mit der verschiedene Methoden der Beanspruchungsmessung bei einer Kfz-Lenkaufgabe verglichen werden sollen. Als Hauptaufgabe wurde eine durch böigen Seitenwind schwierigkeitsgestufte Regelaufgabe zum Fahrzeugtracking auf einer Fahrbahn am Bildschirm vorgegeben. Als Nebentätigkeit wurde eine Überwachungs- und Entscheidungsaufgabe verwendet, deren Anzeige im peripheren Blickbereich über der Hauptaufgabe angeordnet wurde, um eine gleichzeitige Bearbeitung der Hauptaufgabe zu erschweren. Ein quasistochastischer angesteuerter Zeiger der Nebenaufgabe bewegte sich auf einer Skala zwischen einem zentralen Normalbereich und den umgebenden „Warnzonen“. Die Versuchsperson hatte eine

Taste zu drücken, solange sich der Zeiger im Warnbereich befand. Protokolliert wurde die Dauer richtiger und falscher Bearbeitungen. Beim Vergleich der Übereinstimmung von Aufgabenschwierigkeit und mentaler Beanspruchung erwiesen sich die subjektiven Einschätzungen anhand einer graphischen Ratingskala als am differenziertesten. Die Reliabilität der Nebenaufgabe wurde als etwas schlechter, aber dennoch zufriedenstellend beschrieben. Die verschiedenen parametrisierten EKG-Maße wiesen zwar eine hohe Konsistenz über die Versuchsbedingungen auf, differenzierten aber überwiegend deutlich schlechter als die Nebenaufgabe.

Typische Anwendungsbeispiele für die Verwendung von Nebenaufgaben im Fahrzeug finden sich darüberhinaus bei FÄRBER & FÄRBER (1984), die ein rotes Lämpchen als Lichtsignal im Fahrzeugsarmaturenbrett integrierten, auf das mit Hupen reagiert werden sollte und wobei die dafür benötigte Reaktionszeit gemessen wurde. Auch NIRSCHL & KOPF (1997) verwendeten als objektives Maß für die mentale Beanspruchung bei der Evaluation von intelligenten Abstandregelungssystemen eine visuelle Detektionsaufgabe und die Reaktionszeiten als Belastungsparameter. ANGERMANN (1987) implementierte als Nebenaufgabe den auf Lokomotiven der Bundesbahn verwendeten Sicherheits-Fahrschalter „SIFA“, der allerdings abschließend als schlechter Vigilanzindikator bewertet wird. Neben solchen optischen Reaktionsaufgaben als Zusatzanforderung untersuchten ZEITLIN & FINKELMANN (1975) die zeitlich verzögerte Wiedergabe von Zufallszahlen.

Ein alternatives Verfahren zu den üblichen kognitiven Nebenaufgaben stellt das Fahrzeugfolgen-Paradigma dar, daß von BROOKHUIS, DE WAARD & MULDER (1994) vorgestellt wurde. Um den Einfluß behindernder Einflüsse – hier am Beispiel von Telekommunikation am Steuer oder der Wirkung von Alkohol und Drogen – auf die Fahrleistung zu messen, wurde im „*car-following test*“ als zentrale Meßgröße die Geschwindigkeitsdifferenz des Versuchsfahrers zu einem vorausfahrenden Fahrzeug herangezogen. Größere Geschwindigkeitsabweichungen wurden als beeinträchtigte Reaktionsfähigkeit und damit gesteigerte mentale Belastung interpretiert.

### 5.3 Grundlagen und Voraussetzungen für den Einsatz von Doppelaufgabenparadigmata

Die Verwendung von Doppelaufgabenparadigmata in der Belastungsforschung hat eine umfangreiche grundlagenwissenschaftliche Tradition. So beschreiben ODGEN, LEVINE & EISNER (1979) in einem auch bei mangelnder Aktualität weiterhin wichtigen, meta-analytisch konzipierten Übersichtsartikel die Ergebnisse einer Literaturstudie zu 146 experimentellen Untersuchungen mit Nebenaufgabenparadigma. Sie erläutern darin die prototypische Annahme für den Einsatz der Nebenaufgabentechnik<sup>1</sup> als Belastungsmaß: Eine bestimmte Tätigkeit, die ein bestimmtes Maß an Beanspruchung beinhaltet und gleichzeitig aber auch noch Verarbeitungsreserven übrig läßt, wird mit einer weiteren Aufgabe verbunden, die zusätzlich Bearbeitungskapazität erfordert. Diesem Vorgehen werden dann nach ODGEN et al. (1979) explizit folgende Voraussetzungen zugrunde gelegt (S. 530):

- Der Operator betätigt sich in einem einkanaligen System;
- Der Kanal verfügt über eine begrenzte Kapazität;
- Diese Kapazität kann mit einem eindimensionalen metrischen Maß anhand der Aufgabenbearbeitung ermittelt werden;
- Die verschiedenen Determinanten der Arbeitsbelastung verhalten sich additiv linear zueinander.

ODGEN und Mitarbeiter beschreiben im weiteren die Anforderungskriterien, die bei der Wahl einer Nebenaufgabe zugrundegelegt werden sollten. So sollte die Aufgabe eine bestimmte Augenscheinvalidität beinhalten und somit vom Bediener akzeptiert werden, ohne vernachlässigt oder ignoriert zu werden. Allgemein sollte die Nebenaufgabe Anforderungen wie Einfachheit, Selbststeuertheit, Kontinuität der Aufzeichnung und Kompatibilität mit der Hauptaufgabe erfüllen. Außerdem sollte die Nebenaufgabe in einem relevanten mentalen oder physikalischen Funktionsbereich des Operators stattfinden und kein

---

<sup>1</sup> ODGEN, LEVINE & EISNER (1979) weisen auf die theoretisch sinnvolle, in der Praxis aber kaum durchgängig zu berücksichtigende Unterscheidung zwischen der „secondary-task technique“ (auch als „subsidiary task“, „auxiliary task“ bezeichnet) und der „dual task-technique“ hin: Im Gegensatz zum Nebenaufgabenparadigma ist das Doppelaufgabenparadigma durch zwei diskrete und unabhängige Aufgaben gekennzeichnet, von denen keine der beiden konkurrierenden Aufgaben wichtiger ist oder besondere Aufmerksamkeit erfordert.

untypisches, unrealistisches oder uncharakteristisches Verhalten hervorrufen. Die Schwierigkeiten der Aufgabenstellungen im experimentellen Szenario sollen variierbar sein und eine umfassende Bandbreite verschiedener Belastungsmaße von schwach bis stark abbilden. Diese Anforderung beinhaltet auch die Tatsache, daß die Nebenaufgabe möglichst genau skalierbar gehalten sein soll.

FÄRBER (1987) gibt eine Übersicht über die in der verkehrspsychologischen Forschungstradition verwendeten Arten von Nebenaufgaben einschließlich einer Bewertung. Anschließend findet sich ein Katalog mit zehn Forderungen an geeignete Nebenaufgaben, wobei von Fall zu Fall entschieden werden muß, welche Aufgabenart die geeignetste ist.

O'DONNELL & EGGEMEIER (1986) liefern einen Überblick über die verschiedenen Techniken, die zur Bewertung der Arbeitsbelastung in Frage kommen. Als zu beachtende Gütekriterien für die Auswahl werden Sensitivität, Störungsfreiheit, technische Voraussetzungen und Akzeptanz hervorgehoben. Insbesondere im Hinblick auf ihre diagnostische Differenzierfähigkeit wird der Nebenaufgabentechnik – insbesondere im Vergleich mit eher globaleren physiologischen Maßen – eine besondere Bedeutung zugeschrieben (S. 42-4).

#### **5.4 Charakteristische Probleme bei der Anwendung des Doppelaufgabenparadigmas**

Im vorausgegangenen Abschnitt wurden überwiegend wohlwollende Beurteilungen der Einsatzmöglichkeiten von Doppelaufgabenparadigmata im Rahmen der empirischen Verkehrsforschung berichtet. Trotz dieser erfolgreichen Praxisanwendungen dürfen auch die Kritik an dem Vorgehen und die charakteristischen Schwierigkeiten dieses Forschungsdesigns nicht unerwähnt bleiben.



#### 5.4.1 Allgemeinpsychologische Kritik am Doppelaufgabenparadigma

Eine grundlagenwissenschaftlich orientierte Diskussion auf hohem Abstraktionsniveau ging den notwendigen Voraussetzungen für die Verwendung von Doppelaufgaben nach. So wurden in einer Reihe von Veröffentlichungen grundsätzliche Zweifel an den theoretischen Grundvoraussetzungen des Doppelaufgabenparadigmas formuliert. Als Vertreter dieses kritischen Standpunkts beschreibt NEUMANN (1987) die lange und seines Erachtens zu wenig überprüfte Forschungstradition, die ihre Wurzeln in der griechischen Philosophie hat und die von einer beschränkten Aufmerksamkeitskapazität als zentralem Bestandteil des Konzepts ausgeht. So wurde nachfolgend lediglich daraufhin untersucht, *wie* stark die Möglichkeiten beschränkt sind oder nachfolgend, *wo* diese Eingrenzungen im mentalen System vorgenommen werden. NEUMANN geht aber der fundamentaleren Fragestellung nach, *warum* Aufmerksamkeit überhaupt als beschränkt konzeptualisiert wird und meldet generelle Zweifel am Postulat der limitierten Verarbeitungskapazität als Bestandteil des Aufmerksamkeitskonstrukts an. Er kommt dabei zu dem Schluß, daß die Annahme einer begrenzten Kapazität die empirischen Befunde zu den Nebenaufgabenuntersuchungen nur unzureichend erklären könne. In NEUMANN (1992) wird auf Grundlage neuerer Befunde ein alternatives Modell der Aufmerksamkeit vorgestellt, bei dem die oftmals postulierte Trennung von Aufmerksamkeitsprozessen und übrigen Systemkomponenten in Frage gestellt wird. PRINZ (1983) betont die Selektivität von Aufmerksamkeitsprozessen (vgl. auch die verschiedenen Aufmerksamkeitsmodelle in SANDERS, 1983, S. 70f.). Im gleichen Sinne weist ALLPORT (1987) bei einer Überblickbetrachtung der Selektions- und Aufmerksamkeitstheorien auf diese Schwierigkeit hin: *„Unfortunately – and it is a major source of theoretical confusion - in this literature the notion of „attention“ itself is generally left undefined by reference to subjective experience.“* (S. 408). Solange fundamentale Verständnisfragen wie nach dem Voranschreiten der Informationsverarbeitungsprozesse (parallel oder seriell) nach wie vor als unbeantwortet angesehen werden müßten, könne auch die schon von NEUMANN (1987) im gleichen Buch angesprochene Diskussion eines *„limited capacity attentional system“* nur als

grobe Vereinfachung komplexer Zusammenhänge verstanden werden: „*Our understanding of this process is undoubtedly still very primitive*“ (S. 411).

In einer einschlägigen Literaturübersicht verkehrspsychologischer Anwendungen von Nebenaufgaben faßt GRIMM (1988) verschiedene Gründe gegen die Annahme einer begrenzten unspezifischen Kapazität in Form von drei formalen Postulaten zusammen, die hier kurz wiedergegeben werden sollen:

- Das Gehirn arbeitet hochgradig parallel und nicht seriell auf einer funktionalen Ebene.
- Auch nicht bewußte Reize können verhaltenswirksam werden.
- Die Anzahl der Ressourcen vermehrt sich in dem Maße, in dem neue Aufgaben untersucht werden.

In eine vergleichbare Richtung geht der von COHEN (1985b) geäußerte Hinweis auf die Konfundierungsproblematik der objektiven Belastungsmessung durch psychische Regulationsprozesse. Im Rahmen seiner Studien zum peripheren Sehfeldumfang als Belastungsparameter (vgl. 4.2.2) hatte sich gezeigt, daß nicht nur die externe Reizumgebung, sondern auch interne Bewertungsvorgänge in Form von Coping sich dann in Form einer Sehfeldverengung bemerkbar machen, wenn die Bewertung als manifester Stress erlebt wird. Da mit steigender Belastung durch visuelle Information vermehrt Aufmerksamkeit für eine detaillierte Blickanalyse eingesetzt und gleichzeitig die Belastung durch größere Aufmerksamkeit überkompensiert wird, können in objektiv stärker belastenden Situationen niedrigere Beanspruchungswerte gemessen werden.

#### **5.4.2 Das Verhältnis von Haupt- und Nebenaufgabe: Die Interferenzproblematik**

Neben den genannten allgemeinspsychologischen Einschränkungen bei der Anwendung von experimentellen Doppelaufgabenparadigmata soll im folgenden die Frage nach der Übertragbarkeit des Doppelaufgabenparadigmas auf die empirische Verkehrspsychologie im Mittelpunkt stehen. So weist FÄRBER (1987) auf einen zentralen Problembereich bei der Anwendung von Doppelaufgaben hin:

das Verhältnis von Haupt- zur Nebenaufgabe. Ein häufig für Nebenaufgaben gefordertes Kriterium mit großer Bedeutung für die Validität der Nebenaufgabentechnik ist die Vorgabe der Non-Interferenz. Das heißt, die Nebenaufgabenbearbeitung erfolgt über getrennte Input- oder Beantwortungskanäle und hat keinen Einfluß auf die Hauptaufgabenleistung. Eine Informationsverarbeitung ohne gegenseitige Beeinflussung ist nach FÄRBER (1987) aber grundsätzlich immer dann möglich, wenn die Analyse der Reize in getrennten, voneinander unabhängigen Strukturen erfolge unter der Annahme, daß automatisierte Vorgänge rein parallel verarbeitet würden, daher keine Verarbeitungskapazität beanspruchten und auch keine Leistungseinbußen für sonstige automatisierte und parallel verarbeitete Tätigkeiten darstellten. Tatsächlich könne von dieser Bedingungskonstellation aber nicht durchgängig ausgegangen werden, weil auch stark automatisierte Vorgänge einer willentlichen Kontrolle zurückgeführt werden könnten und damit die Unabhängigkeit der beiden Tätigkeiten voneinander in Frage gestellt sei. Auf vergleichbare Schwierigkeiten bei der Verwendung von Doppelaufgabenparadigmata weisen ODGEN et al. (1979) hin. Nach ihrer Literaturbewertung ergibt sich für FÄRBER ebenso wie für ODGEN et al. die Erkenntnis, daß Interaktionen, die durch gemeinsame Aufgabenbearbeitung zustande kommen und nicht Folge unabhängiger Aufgabenbearbeitungen sind, in der Praxis kaum vermieden werden können. Ein Ansatz zur Kontrolle der Interferenz besteht in der Aufzeichnung der Leistungsfähigkeit in den getrennten Kanälen und in dem anschließendem Vergleich der kovariierenden Leistungen. Auch GRIMM (1988) sieht deutliche empirische Belege für die Tatsache, daß bei Nebenaufgaben fast immer eine Veränderung der Hauptaufgabe, des Fahrerverhaltens, auffällig wird.

Eine Reihe empirischer Ergebnisse belegen die Tatsache, daß sich die Wirkrichtung der Nebenaufgabe komplizierter darstellt als theoretisch vermutet. So fand WICKENS (1980) bei einer *tracking*-Aufgabe eine geringere Beeinträchtigung der Leistung bei einer visuellen Nebenaufgabe als bei einer akustischen Nebenaufgabe, obwohl bei der ersten Bedingung der gemeinsame optische Kanal doppelt beansprucht und bei der zweiten Bedingung eine andere Sinnesmodalität angesprochen wurde. WIERWILLE und Mitarbeiter (1977, 1978) dokumentieren eine Verschlechterung der Nebenaufgabe nur bei einem niedrigen Belastungsniveau durch die Fahrsituation, nicht aber bei einem hohen Belastungsniveau.

Dieser kontraintuitive Befund und andere Experimente belegen die Bedeutung intermittierender Variablen wie der Motivation, insbesondere aber des physiologischen Aktivierungsniveaus des Fahrers.

## **5.5 Das Informationsverarbeitungsmodell als Grundlage der Versuchsanordnung**

Zusammengefaßt ergibt sich aus den grundlagenwissenschaftlichen Erkenntnissen zur menschlichen Informationsverarbeitung ein recht heterogener Forschungsstand. Dabei lassen die aufgeführten Anwendungsbeispiele von Doppelaufgabenparadigmata in verkehrspsychologischen Untersuchungen trotz der beschriebenen Einschränkungen einen erfolgversprechenden Einsatz zur Ergonomieevaluation erwarten. Im folgenden Abschnitt wird das kognitive Modell der menschlichen Informationsverarbeitungsprozesse des Versuchsaufbaus erläutert, für das das MEKIV-Modell nach HUSSY (1993) eine wichtige Grundlage darstellt.

### **5.5.1 Das MEKIV-Modell der Informationsverarbeitung nach HUSSY (1993)**

HUSSY (1993) liefert einen umfassenden Überblick über den Forschungsstand der kognitiven Psychologie. Darin enthalten ist das „Modell zur elementaren und komplexen menschlichen Informationsverarbeitung“ (MEKIV), das einen allgemeinen und modellhaften Rahmen zu bisherigen Konzepten der menschlichen Informationsverarbeitungsprozesse darstellt. Aufgebaut wird dabei auf der Filtertheorie von BROADBENT (1958), die gleichzeitig aber auch differenziert wird. Die menschliche Informationsverarbeitung wird als ein System verstanden, in dem die vielfältigen Informationen aus der Umwelt von physikalischen Reizen zu neuronalen Impulsen umgewandelt werden. Im sensorischen Register wird die Information in einer sinneskanalspezifischen Struktur für eine begrenzte Zeit gespeichert und mit den Inhalten aus dem Langzeitspeicher verglichen. Während die Information im sensorischen Register mit fortschreitender Zeit verloren

geht, werden Informationen, die ins Langzeitgedächtnis gelangen, dauerhaft gespeichert, wobei eine theoretisch unbegrenzte Speicherkapazität vermutet wird. Informationen, die aktiv im Gedächtnis repräsentiert sind, befinden sich im Arbeitsgedächtnis und im Kurzzeitspeicher. Hier kann nur ein beschränkter Umfang von Informationseinheiten mittelfristig repräsentiert sein. Aufgrund der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist ein Selektionsvorgang unumgänglich, der durch den Prozeß der Aufmerksamkeitszuwendung gesteuert wird. Erst wenn eine aktive Suche oder Aufnahme von Informationen stattfindet, kommt eine Informationsselektion durch Aufmerksamkeit zustande.

Bei der kontrollierten Informationsverarbeitung wird von einer sequentiellen Verarbeitung ausgegangen, die im Gegensatz zu einer automatisierten parallelen Verarbeitung zeitintensiver ist. Zwischen kontrollierten und automatisierten Verarbeitungsprozessen besteht ein reibungsloser simultaner Ablauf. Aufgrund von automatisierten Prozessen werden sensorische Umweltreize permanent verarbeitet und bereitgestellt. Aus diesem vielfältigen Angebot wird gezielt durch intentionale Kontroll- und Steuerungsprozesse die notwendige Information ausgewählt. Dies ist die Grundlage für schnelles Wechseln der Aufmerksamkeit zwischen unterschiedlichen Begebenheiten, wodurch Informationen interferenzfrei und parallel in beiden Verarbeitungsebenen behandelt werden können.

### **5.5.2 Das Informationsverarbeitungsmodell des Versuchsaufbaus**

Nach HARMS (1991) kann die Tätigkeit des Autofahrens verstanden werden als eine Informationsverarbeitungsaufgabe, die sich zusammensetzt aus automatisierten und kontrollierten Verarbeitungsvorgängen. Übertragen auf das MEKIV-Modell bedeutet dies, daß in neuronale Strukturen umgewandelte sensorische Information im Arbeitsgedächtnis und im Kurzzeitspeicher selektiert und verarbeitet wird, wobei die Selektion durch Aufmerksamkeitszuwendung gesteuert wird. Unter Aufmerksamkeit werden dabei „jene Steuerungs- und Kontrollprozesse verstanden (...), die die Art und das Ausmaß der Nutzung der verfügbaren Verarbeitungskapazität der mittelfristigen Speichermedien regeln.“ (HUSSY, 1993, S. 80). Die Verarbeitungsressourcen der mittelfristigen Speichermedien unterlie-

gen einer begrenzten Kapazität, so daß damit der gesamte Informationsverarbeitungsvorgang als limitiert angesehen werden kann.

Im Straßenverkehr bezieht der Fahrer seine Information aus verschiedenen Kanälen, wobei die optische Information eine zentrale Rolle einnimmt. Im Gegensatz zu der physischen Belastung, die in der Praxis vergleichsweise leicht zu messen ist (beispielsweise durch zu hebende Lasten, Taktzeiten des Arbeitstempos), konnte sich – wie die vorangegangene Literatursichtung zeigt – zur direkten Messung der psychischen Beanspruchung kein einheitlicher Indikator etablieren. Als Folge dessen wurde in der Vergangenheit der Versuch unternommen, mit einer indirekten Messung eine Quantifizierung der Fahrerbelastung zu erreichen (FÄRBER, 1987). Dabei wurde die Beanspruchungsmessung mit dem Paradigma der Nebenaufgabe verbunden mit Hilfe des grundlegenden Modells:

Gesamte Verarbeitungskapazität

- Kapazität der Nebenaufgabe

---

= Kapazität der Hauptaufgabe.

Wenn man das dort gezeichnete MEKIV-Modell auf die Fahrsituation überträgt, unterliegt die maximale Menge dieser Kapazität einer fahrerspezifischen, individuellen Beschränkung. Das Autofahren erfordert einen bestimmten Anteil dieser mentalen Aktivität. Je nach Verkehrssituation variiert die Menge beanspruchter Verarbeitungskapazität, aber in den alltäglichen Verkehrsgegebenheiten wird ein meßbarer Bereich von Restverarbeitungskapazität postuliert. Da die eigentliche Menge der für die Fahraufgabe benötigten Verarbeitungskapazität schwer zu messen ist, werden im Doppelaufgaben-Ansatz als experimentellem Paradigma zusätzliche Aufgaben an die Fahrtätigkeit angeschlossen. Der Fahrvorgang wird dabei als die Hauptaufgabe aufgefaßt mit einer bestimmten, zeitlich variierenden Menge an Verarbeitungskapazität. Die Antworten auf eine zusätzliche Nebenaufgabe werden als Ausdruck der mentalen Restkapazität interpretiert.

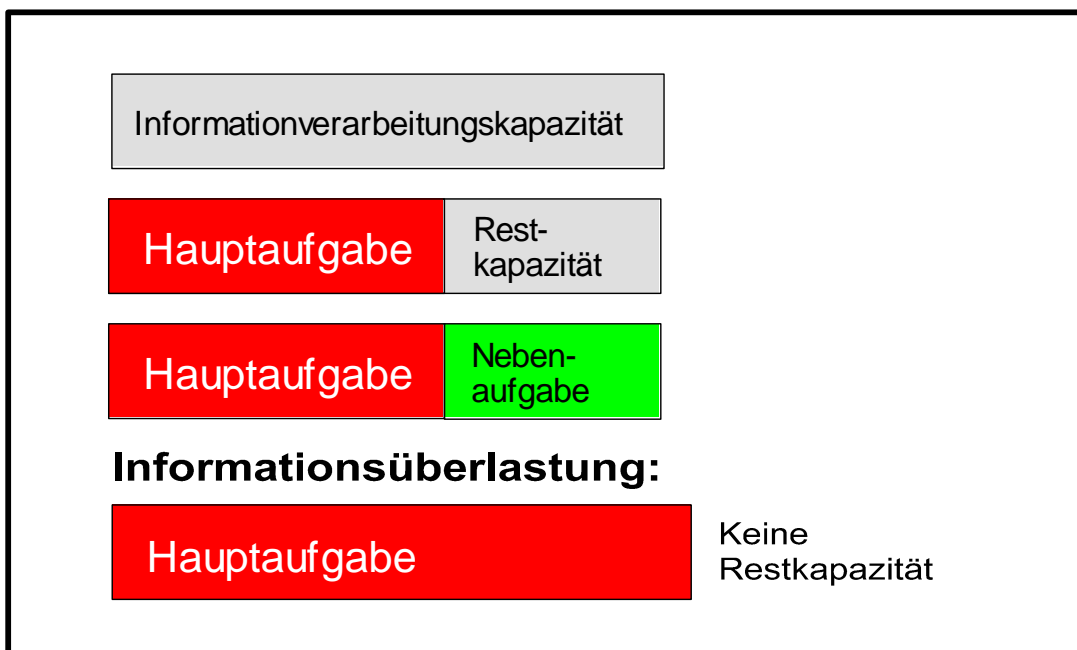


Abb. 5.01: Schematisierte Modellannahme des Informationsverarbeitungsansatzes

Auf Grundlage der von Autoren wie FÄRBER (1987) GRIMM (1988), ODGEN et al. (1979) und O'DONNELL & EGGEMEIER (1986) spezifizierten Anforderungen lassen sich die Voraussetzungen für den Einsatz von Nebenaufgabentätigkeiten beschreiben. Die Hauptaufgabe muß zu jedem Zeitpunkt einen nennenswerten Teil der Informationsverarbeitungsspanne ausfüllen. Vor dem Hintergrund der Interferenzproblematik wird deutlich, daß Haupt- und Nebenaufgabe einer klaren Trennung unterliegen müssen und daß die Hauptaufgabe zu jedem Zeitpunkt Priorität vor der Nebenaufgabe hat. Gleichzeitig ist zu verhindern, daß die Bearbeitungsleistung durch eine gesteigerte Aufmerksamkeit unter schwierigeren Bedingungen überkompensiert wird.

Vorausgegangene Forschung (vgl. u.a. HOYOS & KASTNER, 1986) hatte immer wieder gezeigt, daß im gewöhnlichen Stadtverkehr, selbst in einer verkehrsdichten Großstadt, eine vollständige Auslastung der Informationsverarbeitungskapazität nur sehr punktuell auftritt. Somit ist in den meisten Situationen unter realen Verkehrsbedingungen eine variierende Menge an meßbarer Restverarbeitungskapazität zu erwarten. Es ist für wissenschaftliche Fragestellungen aber von Bedeutung, möglichst die gesamte interindividuelle Spanne an Informationsverarbeitungskapazität zu erfassen. Für Feldversuche mit Doppelaufgabenparadigma unter realen Verkehrsbedingungen müssen Informationsüberlastungen, also solche Situationen mit vollständiger Kapazitätsauslastung, allein durch die

---

Fahraufgabe, selten und nur in kontrolliertem Rahmen erfolgen. Aus Gründen der Verkehrssicherheit muß daher die Voraussetzung gewahrt sein, daß die Versuchsperson zu jedem Zeitpunkt die Nebenaufgabe als der Fahraufgabe untergeordnet ansieht.



# 6

## Klassifikation von Verkehrssituationen

### 6.1 Das Konzept der Verkehrssituation

Eine Definition des Begriffs „Verkehrssituation“ und eingehende Diskussion findet sich bei FASTENMEIER (1995a, S. 27f.). Auch HOLTE (1994, S. 14f.) diskutiert ausführlich den Situationsbegriff und unterscheidet dabei zwischen objektiver und subjektiv repräsentierter Situation. ANGENENDT, ERKE, HOFFMANN, MARBURGER, MOLT & ZIMMERMANN (1987) betrachten den Verkehr unter einer systemischen Sichtweise und konzipieren dabei die Verkehrssituation als Systemausschnitt. Diese wird bestimmt über die Interaktion der Systemkomponenten in ihren spezifischen Ausprägungen und durch zeitliche Grenzen. Gleichzeitig wird die Verkehrssituation durch bestimmte äußere Eigenschaften der Verkehrsanlage und durch die Verkehrsregelungsprozesse abgegrenzt (S. 42). Auch Randbedingungen wie jahreszeitliche oder meteorologische Gegebenheiten sind bei der Situationsbeschreibung zu berücksichtigen. Kritische Systemzustände werden als unmittelbar oder mittelbar sicherheitsrelevant konzipiert.

NIRSCHL & KOPF (1997) beschreiben Verkehrssituationen als in Raum, Zeit und Verhalten abgrenzbare Einheiten und thematisieren dabei die Frage nach den Situationsgrenzen. Von besonderer Bedeutung ist in ihrem Konzept der Begriff der „Grenzsituation“, die durch eine Reihe von Ursachen wie Handlungsfehlern, nicht vorhersehbaren äußeren Ereignissen oder durch technische Ausfälle zustande kommen können. In der Studie zur Evaluation von ACC-Systemen (vgl. 2.2.2) werden konkret ausgewählte Kategorien von Situationen untersucht, die unter bestimmten Umständen zu Grenzsituationen führen können.

Besondere Bedeutung fand das Konzept der Verkehrssituation im Rahmen des „Beanspruchungs- und Belastungsprojekts“ der BAST. HOYOS & KASTNER (1986)

bemerken dabei zusammenfassend: „Der wohl wichtigste und erfolgreichste Schritt im Rahmen dieser Untersuchungen war, die Analyse des Fahrverhaltens auf die Ebene der Verkehrssituation und damit der einzelnen Fahraufgabe zu legen – im Gegensatz zu „ganzen Fahrten“. (...) So war es auf diese Weise möglich, Fahrer und Fahraufgabe getrennt zu untersuchen, Situationen zu generieren, Situationsklassen zu bilden und situationsspezifische Transaktionen zu definieren.“ (S. 96).

Die Erfahrungen der allgemeinen verkehrspsychologischen Beanspruchungsfor-schung oder auch die im folgenden beschriebenen Methoden der Fahreignungsdiagnostik können übereinstimmend als Beleg dafür angesehen werden, daß ein valides Urteil über die Fahrleistung einer Testperson kaum auf Grundlage einer vollständigen Versuchsfahrt als Ganzes gewonnen werden kann. Die Hauptursache ist dabei die Komplexität der umgebenden Verkehrsbedingungen, die eine unmittelbare Vergleichbarkeit verschiedener Versuchsfahrten erschwert oder verhindert. Als Reaktion auf diese Erkenntnis lassen sich Bestrebungen verschiedener Autoren erkennen, das Konzept der Verkehrssituation in den Mittelpunkt zu rücken und Versuchsfahrten in definierte Verkehrssituationen zu unterteilen. Ein analoges Vorgehen findet sich im Kölner Fahrverhaltenstest (K-F-V-T) (KROJ & PFEIFFER, 1973, vgl. 6.4.1).

## **6.2 Kategoriesysteme für Straßenverkehrssituationen**

### **6.2.1 Das Klassifikationschema der BASt**

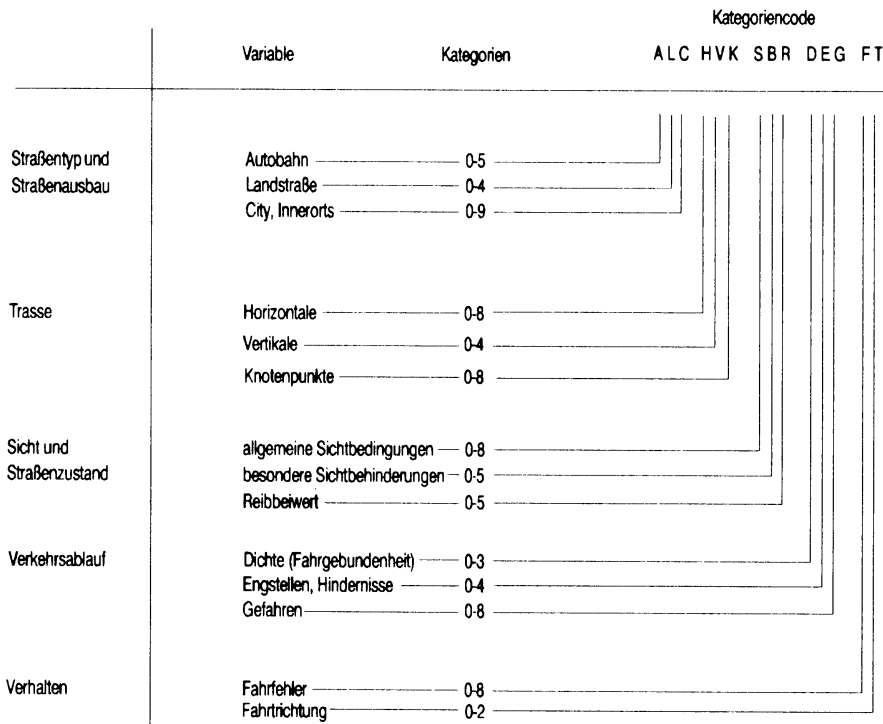
Im Zuge des BASt-Programms hat v. BENDA mit ihren Koautoren in verschiedenen Veröffentlichungen (v. BENDA, 1982, v. BENDA, HOYOS & SCHAIBLE-RAPP, 1983, v. BENDA, 1985) ein System zur systematisierten Klassifikation von Verkehrssituationen vorgestellt. Ausgangspunkt ihrer Überlegungen war die Frage, welche Variablen bei einer Situationseinschätzung vom Fahrer als wichtig für die Bewertung einer Gefahr erachtet werden und welche Merkmale und Signale dabei besonders hervorstechen. Auf der Suche nach solchen Kriterien wurde erstmalig die Methode der multidimensionalen Skalierung eingesetzt.

Neben dem empirisch ermittelten Gefährlichkeitsgrad von Verkehrssituationen wurden folgende Dimensionen entwickelt:

- Verkehrsweg
- Wegverlauf in der Horizontalebene: Kurvigkeit
- Wegverlauf in der Vertikalebene: Steigung, Gefälle
- Kreuzungen mit Straßen/Bahn
- Vorfahrtregelung
- (besondere) Sichtbedingungen
- Wetterbedingungen
- Straßenzustand, Fahrbahn
- Verkehrsdichte
- Engstellen, Hindernisse
- Fahrfehler oder Verhaltensfehler anderer Verkehrsteilnehmer
- Verkehrsschilder
- landschaftliche Umgebung

Die genannten Dimensionen wurden nach Gruppen geordnet, woraus letztlich das in Abb. 6.01 dargestellte Klassifikationssystem resultiert:

Abb. 6.01: Klassifikationsschema nach v. BENDA (1977, zit. aus FASTENMEIER, 1995a, S. 46)

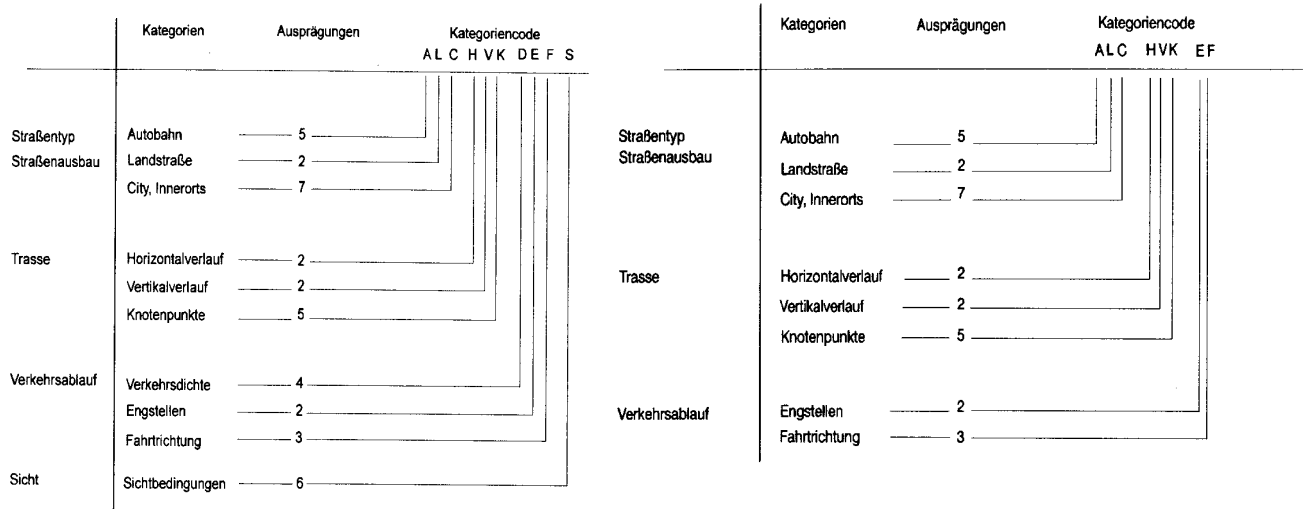


Die verschiedenen Kategorien stehen zueinander in multiplikativem Zusammenhang, woraus schließlich eine Datenmatrix resultiert, die über drei Millionen verschiedener Einzelsituationen umfaßt. Es liegt auf der Hand, daß dabei die Vergleichbarkeit und Generalisierbarkeit des Klassifikationsschemas erheblich beeinträchtigt wird.

### 6.2.2 Das Klassifikationschema von FASTENMEIER

Aufbauend auf dem Untersuchungsansatz des BAST-Projekts beschreibt FASTENMEIER (1995a) seine Bemühungen, das System von v. BENDA stärker auf eine Anwendbarkeit in der Praxis hin auszurichten. Im Mittelpunkt steht dabei die Absicht, eine Vereinfachung der Beobachtungskategorien und damit eine Reduzierung von Datenzellen zu erreichen. Im Mittelpunkt der Modifikationen stehen dabei zwei Auswahlsschritte zur Reduktion von Elementen und Kategorien, die in Abb. 6.02 wiedergegeben sind.

Abb. 6.02: Klassifikationsschema nach FASTENMEIER (1995a, S. 48f.)



Über die Einzelklassifikation hinaus wurde der unterschiedlichen Häufigkeit einzelner Situationsklassen besonderes Gewicht zugewiesen. Um dem Repräsentativitätskriterium bei der Auswahl einer Versuchsstrecke Rechnung zu tragen, mußten dabei nach FASTENMEIER (1995a) die unterschiedlichen Auftretenswahrscheinlichkeiten der Situationsbausteine der Teststrecke berücksichtigt werden. Diese Bedingung erforderte empirische Kenntnis darüber, wie oft welche der definierten Situationen bei bestimmten Fahrtzwecken vorkommen. Durch solche Expositionsdaten konnten den Verkehrssituationen konkrete Häufigkeitsangaben der Situationsparameter zugeordnet werden. Dazu wurden ausgewählte Abschnitte im Großraum München mit einem Versuchsfahrzeug abgefahren und videographiert. Die Videoaufzeichnungen der Fahrten wurden Situation für Situation definiert und kodiert. Ein nächster Arbeitsschritt bestand darin, die bekannten quantitativen Situationsverteilungen der repräsentativen Fahrttypen mit den ermittelten relativen Häufigkeiten der beschriebenen Situationselemente zusammenzuführen. Mit Hilfe dieser Daten war es nun möglich, die für eine repräsentative Versuchsstreckenkonstruktion notwendige Zuordnung und Verknüpfung der einzelnen Situationselemente untereinander vorzunehmen. Getrennt nach den oben beschriebenen vier Fahrttypen (Weg zur Arbeit, Erledigungsfahrt, Freizeitfahrt, Wochenendfahrt) und ihrem jeweiligen Anteil an dem Verkehrsgeschehen konnten dann anhand von tabellarischen Übersichten

Versuchsstrecken aus repräsentativen Verkehrssituationen zusammengestellt werden.

Nach der Klassifikation von Einzelsituationen und einer relativen Häufigkeitszuordnung der verschiedenen Situationsklassen bestand ein zusätzlicher Arbeitsschritt darin, den Beanspruchungsgehalt von Fahrsituationen zu quantifizieren. Dabei wurde die Fahraufgabe mit einer Arbeitstätigkeit verglichen, für die verschiedene standardisierte Analyseverfahren entwickelt wurden. Unter diesen psychologischen Arbeitsanalyseverfahren verfolgt insbesondere der Fragebogen zur Arbeitsanalyse (FAA, FRIELING & HOYOS, 1978) einen handlungsorientierten Ansatz und konzentriert sich dabei weniger auf die technischen Verrichtungen des Arbeitsablaufs. Vor diesem Hintergrund erwies sich dieses Verfahren in adaptierter und modifizierter Form als besonders geeignet zur Übertragung auf den Verkehrsbereich. Wie schon bei früheren Übertragungen bei HOYOS & KASTNER (1986) wird somit letztlich eine empirische Bewertung des Anforderungsgehalts verschiedener Verkehrssituationen vorgenommen. Die Verkehrssituationen lassen sich über Medianteilung in vier Gruppen unterscheiden als Situationen mit hohen/niedrigen Anforderungen an Informationsverarbeitung und hohen/niedrigen Anforderungen an die Fahrzeugbedienung. Wesentliche Bestimmungsmerkmale für die Aufgabenkomplexität von Verkehrssituationen sind Merkmale wie Kreuzungen, Knotenpunktregelung, Sicht- und Wetterbedingungen etc. Auch die Fahrbahnart (zwei- versus vierspurig) ist ebenso wie die Fahrbahnumgebung (Wohngebiet o.ä.) von Bedeutung. Ferner wird auch die zulässige Höchstgeschwindigkeit bei der Klassifikation mitberücksichtigt.

Aufgrund der dargestellten vielfältigen Situationscharakteristika wird eine Zusammenfassung von verschiedenen Situationsgruppen mit geringer, mittlerer und hoher Aufgabenkomplexität vorgenommen. Beispiele für geringe Komplexitätsgrade sind Autobahnen, Landstraßen sowie gerade und knotenfreie innerstädtische Situationen; Beispiele für hohe Ausprägungen sind Autobahnauffahrten oder innerstädtische Situationen mit beschilterter Kreuzung und Wartepflicht für den Fahrer.

**6.2.3 Das Klassifikationschema von CHALOUPKA, RISSER, ANTONIADES, LEHNER & PRASCHL (1996, 1998)**

Ein alternatives Klassifikationsschema verwendeten CHALOUPKA und Mitarbeiter (1996, 1998). Im Zuge erster Entwicklungsschritte wurde zunächst bei der freien Beobachtung zwischen acht Kategorien von Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Kind, Radfahrer, PKW, LKW, Moped/Motorrad, Tier, Proband) differenziert, die später auf drei Klassen (nicht-motorisierter, motorisierter Verkehrsteilnehmer, Proband) reduziert wurden. Abb. 6.03 gibt den Kodierbogen des „freien Beobachters“ in der ursprünglichen Form wieder.

Codierbögen des/der "freien Beobachter/in" und des/der "Codierer/in" in ursprünglicher und endgültiger Form  
 Streckenabschnitt V- VK Lösung

Code	BH+	BHO	BH-	UH+	UHO	UH-
fährt/geht						
fährt/geht nicht						
bremst						
bremst nicht						
beschleunigt						
beschl. nicht						
lenkt						
lenkt nicht						
blinkt						
blinkt nicht						
hupt						
hupt nicht						
winkt						
winkt nicht						
redet						
schimpft						
schaut						
schaut nicht						
Lichthupe						
Geste/Zeichen						
fährt knapp auf						
sonstige						

Abb. 6.03: Kodierbogen des „freien Beobachters“ in ursprünglicher Form aus CHALOUPKA et al., (1998, S. 132)

VT-Codes:

1 Fußg.	2 Kind	3 Radf.	4 PKW	5 LKW	6 Mop/MR	7 Tier	0 Proband
---------	--------	---------	-------	-------	----------	--------	-----------

Situationscodes	12 Verhalten als Bevorrangter
01 Überblicksgewinnung	13 Fußgänger/Radfahrer
02 Überholen	14 Beitrag zur Konfliktlösung
03 Spurwechsel wegen Geschwindigkeit	15 Seitenabstand
04 Einordnen	16 Blinkerbetätigung
05 Ausführung von Spurwechsel	17 Verlangsamung vor Kreuzungen od. Abbiegepunkten
06 Spurgenaugigkeit	18 Geschwindigkeitswahl
07 Sichern bei Kreuzungen, Bussen, ausparkenden Fahrzeugen, Fußgänger, Ausfahrten, etc.	19 Geschwindigkeitsschwankung
08 Verhalten als Benachrangter	20 Abstand zum Vordermann
09 Linksabbiegen bei Gegenverkehr	21 Abstand des Hintermannes
10 Nachrangsschild	22 Verhalten bei Verkehrsampeln
11 Verhalten bei Fahrzeug von rechts	23 Kurvenfahren

Aufgrund der überdimensionalen Datenmenge des beschriebenen Systems wurde letztlich ein reduzierter Codebogen verwendet und der Datensatz von 36.000.000 Daten auf 240 Variablen begrenzt. Die Reduktionsschritte bis hin zum endgültigen Beobachtungsbogen sind in Abb. 6.04 beschrieben.

CODEBOGEN		CODEBOGEN	
<b>1 Spurverhalten bei Hindernissen</b>	wechsell Spur sofort, wenn er Hindernis sieht fährt auf Hindernis zu, wechselt Spur erst im letzten Augenblick	<b>13 Geschwindigkeitswahl</b>	Führt situationsangepasst am od. unter erlaubt. Limit Führt situationsangepasst über erlaubt. Limit
<b>2 Überholen</b>	überholt korrekt überholt nicht korrekt bricht Überholvorgang ab überholt trotz Möglichkeit nicht überholt bei Überholverbot	<b>14 Abstand zum Vordermann</b>	Führt nicht situationsangepasst am od. unter erl. Limit Führt nicht situationsangepasst über erlaubtem Limit Geschwindigkeit schwankend Abstand zum Vordermann richtig Abstand zum Vordermann zu groß Abstand zum Vordermann zu klein
<b>3 Blinkerbefähigung</b>	blinkt rechtzeitig Nimmt mißverständlich blinkt zu spät bzw. nicht	<b>15 Seitenabstand</b>	Seitenabstand zu klein bezogen auf die eigene Fahrtrichtung Seitenabstand zu klein bezog. auf entgegen gesetzte Fahrtrichtung
<b>4 Spurgenaugigkeit</b>	Spurhalten ungenau Spurhalten ganz links Spurhalten ganz rechts	<b>16 Verhalten bei Verkehrsampeln</b>	Fahrzeug vor ihm bleibt stehen, fährt erst bei grün bleibt bei gelb stehen, fährt erst bei grün bleibt bei rot stehen fährt erst bei grün bleibt trotz grün stehen fährt bei gelb durch fährt bei rot durch fährt bei rot bzw. gelb los
<b>5 Spurwechsel wegen Vordermann</b>	wechsell Spur nach links am oder unter dem erlaubten Limit wechsell Spur nach links, über dem erlaubten Limit wechsell Spur nach rechts am oder unter dem erlaubten Limit wechsell Spur nach rechts, über dem erlaubten Limit	<b>17 Kurvenfahren</b>	schert aus schneidet Kurve fährt Kurve sauber
<b>6 Einordnen zur Weiterfahrt</b>	Einordnen zur Weiterfahrt vorausschauend, rechtzeitig Einordnen zur Weiterfahrt im letzten Augenblick falsche Spur zur Weiterfahrt	<b>18 Verlangsam. vor Kreuzg. bzw. Abbiegepunkten</b>	Verlangsamung vor Kreuzg. bzw. Abbiegepunkten rechtzeitig Verlangsamung vor Kreuzg. bzw. Abbiegepunkten sehr spät, abrupt Verlangsamung vor Kreuzungen bzw. Abbiegepunkten zu früh verlangsaamt abrupt (allgemein) verlangsaamt nicht trotz Notwendigkeit blockiert Kreuzung, Ausfahrt blockiert Kreuzung, Ausfahrt nicht
<b>7 Ausführung von Spurwechseln</b>	gefährdet andere Verkehrsteilnehmer beim Spurwechsel gefährdet andere Verkehrsteilnehmer nicht beim Spurwechsel kein anderer Verkehrsteilnehmer vorhanden wechsell Spur zögernd bleibt ohne ersichtlichen Grund auf der linken Spur	<b>19 Sichern bei Kreuzungen, Bussen, ausparkenden Fahrzeugen, Fußgängern, Ausfahrten etc.</b>	sichert ausreichend sichert übersichtlich sichert unzureichend bzw. nicht
<b>8 Verhalten als Benachrangter</b>	fährt als Benachrangter ungefährdet fährt als Benachrangter im falschen Augenblick	<b>20 Fußgänger und Radfahrer</b>	läßt Fußgänger unbehindert passieren veranlaßt Fußgänger zum Stehenbleiben hält richtigen Abstand zu Fußgänger bzw. Radfahrer fährt sehr knapp an Fußgängern oder Radfahrern vorbei
<b>9 Nachrangschild</b>	beachtet Nachrangschild mißachtet Nachrangschild	<b>21 Beitrag zur Konfliktlösung</b>	rasche Lenkbewegung zur Lösung eines verschuldeten Konfliktes rasche Lenkbewegung zur Lösung eines unverschuldeten Konfliktes bremst abrupt zur Lösung eines verschuldeten Konfliktes bremst abrupt zur Lösung eines unverschuldeten Konfliktes beschlüssigt abrupt zur Lösung eines verschuldeten Konfliktes beschlüssigt abrupt zur Lösung eines unverschuldeten Konfliktes kein Beitrag zur Konfliktlösung
<b>10 Verhalten bei Fahrzeug von rechts</b>	beachtet Rechtsvorrang mißachtet Rechtsvorrang	<b>11 Verhalten als Bevorrangter</b>	besteht als Bevorrangter auf seinem Vorrat besteht als Bevorrangter nicht auf seinem Vorrat
<b>11 Verhalten als Bevorrangter</b>	besteht als Bevorrangter auf seinem Vorrat besteht als Bevorrangter nicht auf seinem Vorrat	<b>12 Linksabbiegen bei Gegenverkehr</b>	fährt knapp vor entgegenkommendem Fahrzeug in linke Straßenseite wartet, wenn dieses zu knapp wird fährt in richtiger Entfernung vor entgegenkommendem Fahrzeug bzw. wartet, wenn dieses zu knapp wird
<b>12 Linksabbiegen bei Gegenverkehr</b>	fährt knapp vor entgegenkommendem Fahrzeug in linke Straßenseite wartet, wenn dieses zu knapp wird	<b>13 Geschwindigkeitswahl</b>	Führt situationsangepasst am od. unter erlaubt. Limit Führt situationsangepasst über erlaubt. Limit Führt nicht situationsangepasst am od. unter erl. Limit Führt nicht situationsangepasst über erlaubtem Limit Geschwindigkeit schwankend
<b>13 Geschwindigkeitswahl</b>	Führt situationsangepasst am od. unter erlaubt. Limit Führt situationsangepasst über erlaubt. Limit	<b>14 Abstand zum Vordermann</b>	Führt nicht situationsangepasst am od. unter erl. Limit Führt nicht situationsangepasst über erlaubtem Limit Geschwindigkeit schwankend
<b>14 Abstand zum Vordermann</b>	Führt nicht situationsangepasst am od. unter erl. Limit Führt nicht situationsangepasst über erlaubtem Limit Geschwindigkeit schwankend	<b>15 Seitenabstand</b>	Seitenabstand zu klein bezogen auf die eigene Fahrtrichtung Seitenabstand zu klein bezog. auf entgegen gesetzte Fahrtrichtung
<b>15 Seitenabstand</b>	Seitenabstand zu klein bezogen auf die eigene Fahrtrichtung Seitenabstand zu klein bezog. auf entgegen gesetzte Fahrtrichtung	<b>16 Verhalten bei Verkehrsampeln</b>	Fahrzeug vor ihm bleibt stehen, fährt erst bei grün bleibt bei gelb stehen, fährt erst bei grün bleibt bei rot stehen fährt erst bei grün bleibt trotz grün stehen fährt bei gelb durch fährt bei rot durch fährt bei rot bzw. gelb los
<b>16 Verhalten bei Verkehrsampeln</b>	Fahrzeug vor ihm bleibt stehen, fährt erst bei grün bleibt bei gelb stehen, fährt erst bei grün bleibt bei rot stehen fährt erst bei grün bleibt trotz grün stehen fährt bei gelb durch fährt bei rot durch fährt bei rot bzw. gelb los	<b>17 Kurvenfahren</b>	schert aus schneidet Kurve fährt Kurve sauber
<b>17 Kurvenfahren</b>	schert aus schneidet Kurve fährt Kurve sauber	<b>18 Verlangsam. vor Kreuzg. bzw. Abbiegepunkten</b>	Verlangsamung vor Kreuzung bzw. Abbiegepunkten rechtzeitig Verlangsamung vor Kreuzg. bzw. Abbiegepunkten sehr spät, abrupt Verlangsamung vor Kreuzungen bzw. Abbiegepunkten zu früh verlangsaamt abrupt (allgemein) verlangsaamt nicht trotz Notwendigkeit blockiert Kreuzung, Ausfahrt blockiert Kreuzung, Ausfahrt nicht
<b>18 Verlangsam. vor Kreuzg. bzw. Abbiegepunkten</b>	Verlangsamung vor Kreuzung bzw. Abbiegepunkten rechtzeitig Verlangsamung vor Kreuzg. bzw. Abbiegepunkten sehr spät, abrupt Verlangsamung vor Kreuzungen bzw. Abbiegepunkten zu früh verlangsaamt abrupt (allgemein) verlangsaamt nicht trotz Notwendigkeit blockiert Kreuzung, Ausfahrt blockiert Kreuzung, Ausfahrt nicht	<b>19 Sichern bei Kreuzungen, Bussen, ausparkenden Fahrzeugen, Fußgängern, Ausfahrten etc.</b>	sichert ausreichend sichert übersichtlich sichert unzureichend bzw. nicht
<b>19 Sichern bei Kreuzungen, Bussen, ausparkenden Fahrzeugen, Fußgängern, Ausfahrten etc.</b>	sichert ausreichend sichert übersichtlich sichert unzureichend bzw. nicht	<b>20 Fußgänger und Radfahrer</b>	läßt Fußgänger unbehindert passieren veranlaßt Fußgänger zum Stehenbleiben hält richtigen Abstand zu Fußgänger bzw. Radfahrer fährt sehr knapp an Fußgängern oder Radfahrern vorbei
<b>20 Fußgänger und Radfahrer</b>	läßt Fußgänger unbehindert passieren veranlaßt Fußgänger zum Stehenbleiben hält richtigen Abstand zu Fußgänger bzw. Radfahrer fährt sehr knapp an Fußgängern oder Radfahrern vorbei	<b>21 Beitrag zur Konfliktlösung</b>	rasche Lenkbewegung zur Lösung eines verschuldeten Konfliktes rasche Lenkbewegung zur Lösung eines unverschuldeten Konfliktes bremst abrupt zur Lösung eines verschuldeten Konfliktes bremst abrupt zur Lösung eines unverschuldeten Konfliktes beschlüssigt abrupt zur Lösung eines verschuldeten Konfliktes beschlüssigt abrupt zur Lösung eines unverschuldeten Konfliktes kein Beitrag zur Konfliktlösung
<b>21 Beitrag zur Konfliktlösung</b>	rasche Lenkbewegung zur Lösung eines verschuldeten Konfliktes rasche Lenkbewegung zur Lösung eines unverschuldeten Konfliktes bremst abrupt zur Lösung eines verschuldeten Konfliktes bremst abrupt zur Lösung eines unverschuldeten Konfliktes beschlüssigt abrupt zur Lösung eines verschuldeten Konfliktes beschlüssigt abrupt zur Lösung eines unverschuldeten Konfliktes kein Beitrag zur Konfliktlösung	<b>11 Verhalten als Bevorrangter</b>	besteht als Bevorrangter auf seinem Vorrat besteht als Bevorrangter nicht auf seinem Vorrat
<b>11 Verhalten als Bevorrangter</b>	besteht als Bevorrangter auf seinem Vorrat besteht als Bevorrangter nicht auf seinem Vorrat	<b>12 Linksabbiegen bei Gegenverkehr</b>	fährt knapp vor entgegenkommendem Fahrzeug in linke Straßenseite wartet, wenn dieses zu knapp wird fährt in richtiger Entfernung vor entgegenkommendem Fahrzeug bzw. wartet, wenn dieses zu knapp wird
<b>12 Linksabbiegen bei Gegenverkehr</b>	fährt knapp vor entgegenkommendem Fahrzeug in linke Straßenseite wartet, wenn dieses zu knapp wird	<b>13 Geschwindigkeitswahl</b>	Führt situationsangepasst am od. unter erlaubt. Limit Führt situationsangepasst über erlaubt. Limit Führt nicht situationsangepasst am od. unter erl. Limit Führt nicht situationsangepasst über erlaubtem Limit Geschwindigkeit schwankend

Abb. .6.04: Kodierbogen des „freien Beobachters“ in endgültiger Form nach CHALOUKPA et al., (1998, S. 134f.)

### 6.3 Verkehrspsychologische Untersuchungsszenarien der empirischen Beanspruchungsforschung

Experimentelle oder quasi-experimentelle verkehrspsychologische Untersuchungen lassen sich unterscheiden in Labor- und Feldversuche. Dabei wird eine zu testende unabhängige Variable verändert und der dadurch hervorgerufene Effekt auf eine oder mehrere abhängige Variablen beobachtet. Laborbedingungen unterscheiden sich von Feldbedingungen durch eine geringere Komplexität und



infolge dessen durch einen höheren Grad der Kontrolle von Störvariablen, weil Feldversuche unter den natürlichen Bedingungen des Straßenverkehrs durchgeführt werden und weil es hierbei schwieriger ist, konfundierende Variablen auszuschalten. Einen Überblick über die verschiedenen Forschungsbedingungen der empirischen Verkehrspsychologie liefert v. KLEBELSBERG (1982). Neben den typischen Untersuchungsplänen empirischer Untersuchungen soll an dieser Stelle ein Überblick über die verschiedenen Verfahren der Fahreignungsdiagnostik vorangestellt werden, die sich in diesen Forschungszusammenhang eingliedern lassen.

### **6.3.1 Methoden der Fahreignungsdiagnostik**

Insbesondere im Zusammenhang mit der Begutachtung von auffällig gewordenen Fahrzeugführern wurden verschiedene Verfahren zur Fahreignungsdiagnostik entwickelt. Mit solchen Verfahren werden Beobachtungs- und Bewertungsschemata in standardisierten Verkehrssituationen ermittelt. Für den mittlerweile als klassisch geltenden „Kölner-Fahr-Verhaltenstest“ (K-F-V-T, KROY & PFEIFFER, 1973) wurden Situationen anhand einer Kombination bestimmter Eigenschaften definiert, die gemeinsam auftreten müssen, damit das festgelegte Situationskriterium erfüllt wird. Diagnosegrundlage ist eine praktische Fahrprobe, die in ihrer Methodik den Ansprüchen eines psychologischen Testverfahrens entsprechen soll. Die Items dieses Tests im Sinne von Aufgaben werden durch an Straßenabschnitte gebundene Verkehrssituationen gebildet und zu elf Subtests als Merkmalgruppen zusammengefaßt wie: „Abstandhalten“, „Orientieren“ etc. Tritt eine Situation nicht in der definierten Form auf, fehlt z.B. beim Befahren einer Kreuzung der sonst fast immer vorhandene Querverkehr, gilt die Aufgabe als nicht gestellt. Die als Lösung eingestuften Verhaltensweisen sind genau definiert. Aus dem Prozentsatz der richtigen Lösungen im Verhältnis zur Gesamtzahl der gestellten Aufgaben läßt sich der Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe bestimmen. Gegenstand der Beobachtung sind dabei weniger gefährliche oder regelwidrige Handlungen, die bei einer Fahrprobe ohnehin bewußt unterlassen werden, sondern vor allem nicht bewußte, unreflektierte Fahrgewohnheiten. Über einen

längeren Testzeitraum wird eine vollständige Verstellung tatsächlicher Fahreigenschaften als wenig wahrscheinlich angesehen.

Während der K-F-V-T im wesentlichen auf einer praktischen Fahrprobe basiert, wurden am Verkehrspsychologischen Institut des Wiener Kuratoriums für Verkehrssicherheit alternative Verfahren der Fahreignungsdiagnostik entwickelt, die über eine standardisierte Fahrprobe hinaus auch verschiedene Laborverfahren umfassen (BUKASA & RISSER, 1985). Mit wahrnehmungspsychologischen Leistungstests wird die Sehwahrnehmung (Farbtüchtigkeit, periphere visuelle Wahrnehmung) diagnostiziert. Auch Persönlichkeitseigenschaften wie Stress-Toleranz oder Risikobereitschaft werden mit speziell konzipierten Verfahren gemessen. Aus dem umfangreicheren 16-PF-Persönlichkeitstest nach CATTELL et al. (1970) wurde eine Kurzform als 7 PF anhand von sieben verkehrspsychologisch relevanten Persönlichkeitseigenschaftsskalen extrahiert. Auch vom TÜV-Rheinland (1979) wurden verschiedene objektive Testverfahren zur Beurteilung des Fahrerverhaltens vorgestellt. Im weiteren Sinne sind auch die Publikationen von HOLTE (1994), BÖSSER (1987) und RISSER & CHALOUPKA (1990) für eignungsdiagnostische Fragestellungen relevant.

### **6.3.2 Laborversuche: Computersimulation**

Eine Vielzahl von experimentellen verkehrspsychologischen Untersuchungen erfolgte unter definierten Laborbedingungen. Insbesondere durch den Fortschritt in der Computertechnologie konnte der Versuchsperson eine zu bewältigende Fahraufgabe durch immer leistungsfähigere Simulationsprogramme an einzelnen Computern oder in kompletten Fahrständen bis hin zu virtuellen Welten vorgegeben werden. Die Vorteile dieses Vorgehens gegenüber Feldexperimenten liegen auf der Hand: Zum einen lassen sich unter realen Verkehrsbedingungen oft schon allein aus Sicherheitsgründen Belastungsspitzen nur eingeschränkt realisieren. Darüber hinaus wird die eingeschränkte Standardisierung wechselnder Versuchsbedingungen im Straßenverkehr als nachteilig bewertet.

In einigen Fällen wurden Laborbefunde durch Testfahrten im Straßenverkehr erweitert. Bei REITER (1976) und an der TU-Berlin (1978) wurden zusätzlich zum Laborszenario mit den selben Versuchspersonen auch Testfahrten im Straßen-

verkehr durchgeführt. Auch im FAT-Projekt „Der Mensch als Fahrzeugführer“ (1978, 1979) wurden die Ergebnisse aus den Laborexperimenten (Versuchsstand mit integriertem Fahrsimulator) durch Feldexperimente auf einem leerstehendem Parkplatz mit verschiedenen vorgegebenen Rundkursen ergänzt.

### **6.3.3 Feldversuch: Testfahrten im realen Straßenverkehr**

Anstelle von Laborexperimenten finden sich in den klassischen Ansätzen der empirischen Fahrerbeanspruchungsmessung oft auch Feldversuche im realen Straßenverkehr, denen oftmals definierte Teststrecken zugrunde gelegt wurden. Beispiele für solche Studien finden sich u.a bei REITER (1976), der als Teststrecke verschiedene Fahrabschnitte auf Bundesautobahn, Landstraße und im Stadtverkehr wählte. ROHMERT, BREUER & BRUDER (1994) legen ihrer Versuchsreihe eine 80 km lange Versuchsstrecke zugrunde, wobei der Proband mit seinem Versuchsfahrzeug dem Versuchsleiter folgte. Die Belastung durch die Fahrstrecke wurde anhand festgelegter Kriterien wie Straßenart, Reglementierung, Fahrbahnzustand und -verlauf und Unfallbelastung kategorisiert. Auch HELANDER (1977) dokumentiert einen für die Untersuchung definierten Testparcour. TRÄNKLE (1978) untersuchte Monotonieeinflüsse und Ermüdung des Fahrers auf zwei etwa 800 Kilometer langen ausgewählten Autobahnabschnitten. Bei BARTMANN (1995) bestand die experimentelle Variation der Versuchsbedingungen aus einer 15 Kilometer langen Teststrecke, die zusammengesetzt war aus einer kurvenarmen, geschwindigkeitsbegrenzten Kontrollstrecke über Landstraße und einer Belastungstrecke mit vier Linksabbiegemanövern im Aachener Stadtgebiet.

Großer Aufwand bei der Festlegung einer repräsentativen Teststrecke wurde im Zusammenhang mit dem Beanspruchung-Belastungsprogramm der BASt betrieben. So beschreibt GALSTERER (1979, 1982) eine Testrunde auf einem 250 km langen Kurs um München, bei dem 108 verschiedene Verkehrssituationen definiert wurden. Der Anforderungscharakter der jeweiligen Situation wurde mit Hilfe des „Fragebogens zur Arbeitsanalyse“ (FAA, deutsche Übersetzung des „Position Analysis Questionnaire“ (PAQ)) empirisch ermittelt. Bei dem verwendeten Fragebogen von FRIELING & HOYOS (1978) handelt es sich um ein standardi-

siertes Analyseverfahren, mit dem die einzelnen Aspekte des Arbeitsverhaltens nach einem genau festgelegten Schema qualitativ und/oder quantitativ erfaßt werden können. Das von GALSTERER (1982) vorgestellte Verfahren zur Erstellung einer repräsentativen Versuchsstrecke, die dem unterschiedlichen Belastungsgelalt definierter Situationen gerecht wird und zwischen verschiedenen Fahrtstrecken differenziert, wird auch von FASTENMEIER (1995a) fortgesetzt.

## II. Empirischer Teil

# 7

## Methode

Nach der Beschreibung relevanter verkehrspsychologischer Befunde zur Beanspruchungsforschung und dem Doppelaufgabenparadigma in dem ersten, theoretischen Teil wird in dem folgenden empirischen Teil das Versuchsinstrumentarium der experimentellen Feldstudie dokumentiert. An die differenzierte Beschreibung der Versuchsszenarien mit Haupt- und Nebenaufgabe schließt sich ein zusammenfassender Überblick über den Versuchsablauf sowie das Vorgehen der Datenerhebung und -auswertung an.

### 7.1 Die Hauptaufgabe

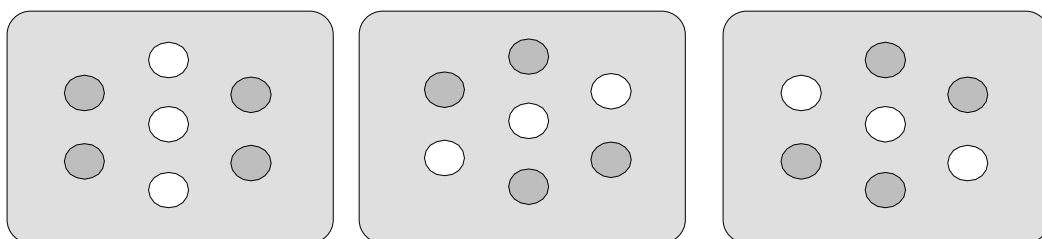
Die Fahraufgabe der empirischen Feldstudie bestand darin, eine festgelegte Teststrecke ohne zeitliche Vorgabe mit dem Untersuchungsfahrzeug zu befahren, wobei das Fahrverhalten dem in der Fahrschule vermittelten Verhalten entsprechen und Verkehrsgefährdungen unter allen Umständen vermieden werden sollten. In Abb. 7.01 findet sich eine Aufnahme aus dem Fahrzeuginnenraum, anhand derer sich der Versuchsaufbau erkennen läßt. Die einzelnen technischen Gerätschaften (Lenkradsensor, Reaktionstasten etc.) werden in den entsprechenden Unterabschnitten behandelt.



Abb. 7.01:  
Aufnahme des  
Fahrzeug-  
innerraums mit  
Versuchs-  
apparatur

## 7.2 Die Nebenaufgabe

Als Nebenaufgabe wurde eine optische Reizdiskriminationsaufgabe vorgegeben. Von sieben in einem Kästchen kreisförmig angeordneten Leuchtdioden leuchteten jeweils drei Dioden in unterschiedlichen Konstellationen auf, die dadurch ein bestimmtes Muster bildeten. Der Proband hatte je nach Anordnung der aufleuchtenden Dioden den rechten oder den linken Reaktionsknopf zu betätigen. Leuchtkonstellationen, die eine gerade Linie bildeten, galt es mit dem rechten Reakti-



onsknopf zu beantworten.

Abb. 7.02: Leuchtkombinationen für rechten Reaktionsknopf

Bei allen anderen Leuchtkombinationen war der linke Reaktionsknopf zu betätigen.

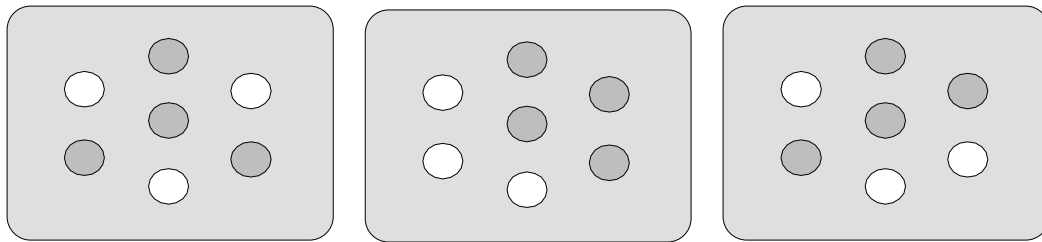


Abb. 7.03: Beispiel-Leuchtkombinationen für den linken Reaktionsknopf

Die Aufgaben wurden im *self-pacing*-Modus vorgegeben: Nach jeder erfolgten Antwort erschien das nächste Muster, d.h. das Bearbeitungstempo wurde von den Probanden individuell bestimmt. Dabei wurde ein Verzögerungsintervall von zwei Sekunden programmiert, mit dem das folgende Leuchtmuster vorgegeben wurde. Die zufallsgesteuerte Vorgabe der Nebenaufgabenmuster und die Registrierung der Antwortreaktionen erfolgte über das VITAPORT als zentrale Meßplattform.

Das Display der Nebenaufgabe mit den eingelassenen Leuchtdioden wurde im Versuchsfahrzeug mit Klettband rechts auf dem Armaturenbrett etwas außerhalb des zentralen Blickfelds angebracht. Als Reaktionsknöpfe wurden über den Elektronikfachhandel erwerbliche, nichtrastende Drucktaster verwendet und für die Versuchsanwendung modifiziert. Die Reaktionstasten konnten problemlos mit den Daumen bedient werden und stellten keine Behinderung der Lenkbewegungen dar.

### 7.3. Das Versuchsfahrzeug

Für die ersten Versuchsfahrten wurden Privatfahrzeuge eingesetzt, die keine besondere technische Grundvoraussetzungen hatten. Für die Durchführung der Pilot- und Hauptmeßreihe wurde von der Firma OPEL ein serienmäßiger, fabrikneuer OPEL VECTRA 2.0, 16 V (EZ 11/97) zur Verfügung gestellt, mit dem die gesamte Datenerhebung vorgenommen wurde. Das Fahrzeug hatte ein Schaltgetriebe, knapp 2000 ccm<sup>3</sup> und 100 kw Leistung und entsprach damit einem vergleichsweise repräsentativen Fahrzeug der Mittelklasse, das eine breite

Käuferschicht anspricht. Als einzigen nicht-serienmäßigen Bestandteil wurde das Versuchsfahrzeug von OPEL mit dem CARIN-Navigationssystem der Firma MANNESMANN VDO nachgerüstet. Da die Versuchsgерäte nicht oder nur bei genauerem Hinsehen von außen zu erkennen waren, konnte davon ausgegangen werden, daß sich das Fahrzeug mit seiner neutral-grünen Metallic-Lackierung während der Versuche unauffällig im Kölner Stadtverkehr bewegte.

## **7.4 Die Versuchsstrecke**

Vor dem Hintergrund der gewonnenen Erfahrungen aus der einschlägigen verkehrspsychologischen Literatur (FASTENMEIER, 1995a) wurde davon ausgegangen, daß von sehr punktuellen und kurzzeitigen Beanspruchungsspitzen abgesehen, wie zum Beispiel bei einer Auffahrt auf eine dicht befahrene Schnellstraße die komplexesten Fahrscenarien im Stadtverkehr zu erwarten waren. In dem hochkomplexen Kölner Stadtgebiet werden besonders hohe Anforderungen an den Fahrer gestellt. Daher wurde bereits bei der Auswahl der Versuchsstrecke eine Beschränkung auf den Innenstadtbereich vorgenommen.

### **7.4.1 Die Versuchsstrecke in der Pilotphase**

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen des am psychologischen Institut entwickelten Kölner Fahrverhaltens-Test (K-F-V-T) von KROY & PFEIFFER (1973) wurde für die ersten Messungen eine Versuchsstrecke durch das Kölner Stadtgebiet festgelegt, die 9,6 Kilometer umfaßte und je nach Verkehrsaufkommen etwa 30 min. reine Fahrzeit erforderte. Diese führte zunächst durch den Kölner Innenstadtbereich und dann in großem Bogen über den sog. "Gürtel" zurück auf den Universitätsparkplatz. Die Strecke beinhaltete mehrere Rechts- und Linksabbiegemanöver und verschiedene Spurwechsel. Erarbeitet wurde die Strecke insbesondere auch unter Berücksichtigung der Funktionen des Navigationssystems, welches naturgemäß mehr zur unmittelbaren Zielführung als für Rundkurse ausgelegt ist. So hatte der letztlich gewählte Rundkurs den Vorteil, daß nur



drei Zieleingaben im CARIN-System erforderlich waren, um die Strecke vom Navigationssystem vorgeben zu lassen.

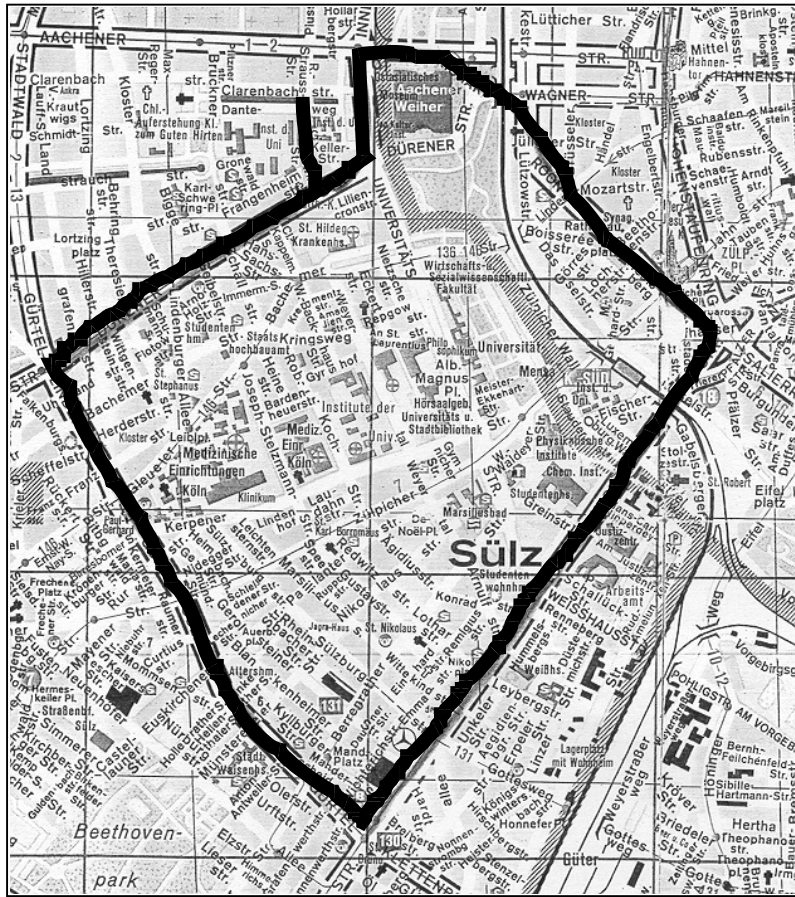


Abb. 7.04: Ausschnitt aus dem Kölner Stadtplan mit eingezeichneter Teststrecke der Pilotphase

#### 7.4.2 Die Versuchsstrecke in der Hauptuntersuchung

Aufgrund der Erfahrungen der Pilotmeßfahrten wurde die Versuchsstrecke dahingehend modifiziert, daß die Geradeausanteile deutlich reduziert und eine Reihe zusätzlicher Abbiegemanöver integriert wurde. In Abkehr von den gut befahrbaren Hauptverbindungsstrecken (die auch vom Navigationssystem prioritär angesteuert werden) wurde eine Schleife durch Wohngebiete mit zum Teil baulich und/oder verkehrsrechtlich vorgegebenen Geschwindigkeitsbegrenzungen einbezogen. Dabei wurde darauf geachtet, daß diese komplexere Streckenführung mit nur einer zusätzlichen Zieleingabe im CARIN-Navigationssystem vorgenommen werden konnte. Der Streckenverlauf der Hauptuntersuchung ist in Abbildung 7.05 dargestellt.

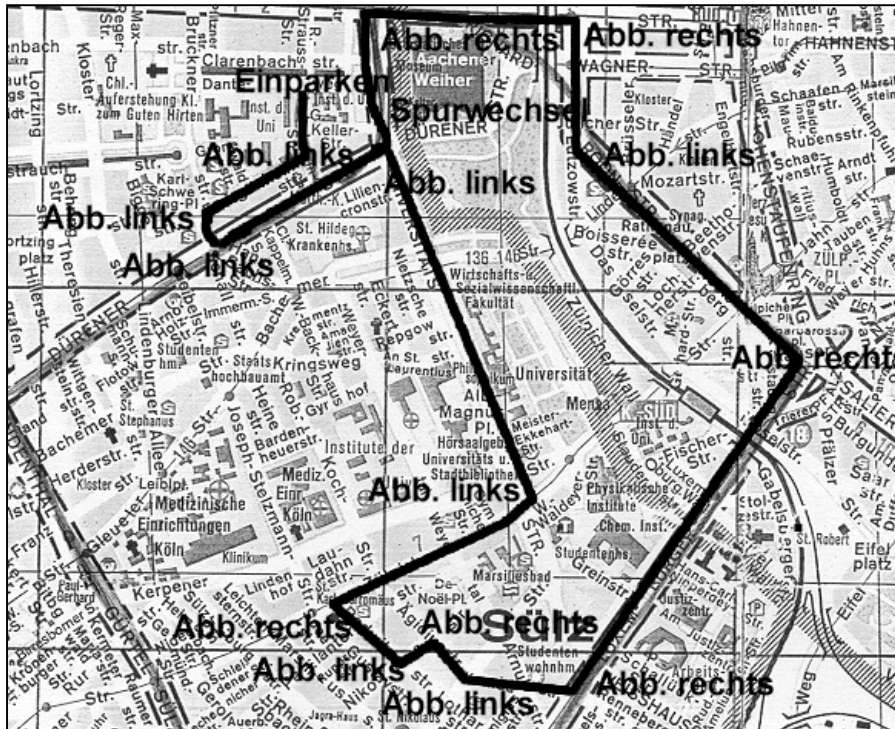


Abb. 7.05: Ausschnitt aus dem Kölner Stadtplan mit eingezeichneter Teststrecke der Hauptuntersuchung

## 7.5 Die Situationstaxonomie

Ziel des Projekts war die Erarbeitung einer Situationstaxonomie, die eine möglichst universelle Anwendbarkeit des Instruments ermöglicht. Anstelle einer definierten Untersuchungsstrecke sollten Verkehrssituationen identifiziert werden, anhand derer sich die unterschiedliche Belastungswirkung ausgewählter Verkehrsszenarien empirisch nachvollziehen läßt. Die Vorgabe isolierter Verkehrssituationen beinhaltet dabei auch die Möglichkeit, daß Abweichungen von der Teststrecke, wie sie insbesondere bei Mißverständnissen des Navigationssystems keine Seltenheit darstellten, nicht korrigiert werden mußten. Stattdessen wurde die veränderte Strecke nach den gewohnten Kriterien dokumentiert.

### 7.5.1 Situationsklassifikation in der Pilotphase

Unter Berücksichtigung der dokumentierten Situationsklassifikationsschemata (v. BENDA, 1985, FASTENMEIER, 1995a, CHALOUPIKA et al., 1998) wurde für die Pilotuntersuchung ein Katalog zusammengestellt, der acht zentrale Verkehrssituationen außerhalb von Autobahnen umfaßte:

- Stand (< 3 km/h)
- Normale Fahrt (geradeaus)
- Abbiegen rechts
- Abbiegen links
- Spurwechsel
- Einparken
- Vorfahrt gewähren
- Kritisches Ereignis.

Unter der Kategorie “Kritisches Ereignis” wurden alle unvorhergesehenen Vorgänge erfaßt, die vom Fahrer eine Reaktion oder zumindest in besonderer Weise seine Aufmerksamkeit erforderten. Beispiele für das Auftreten solcher “Kritischen Ereignisse” sind spielende Kinder am Fahrbahnrand oder plötzliche Einparkmanöver des Vorausfahrenden. Die Verkehrssituationen wurden über ein Eingabepanel mit definierten Tasten im Zusammenhang mit der übrigen Datenaufzeichnung protokolliert.

In den ersten Versuchen wurde explizit die Möglichkeit von Mehrfachbelegungen von Situationsereignissen berücksichtigt. Registriertechnisch ergaben sich keine Probleme, wenn verschiedene Klassifikationskriterien gleichzeitig erfüllt waren. Kombinationen verschiedener Ereignisse traten insbesondere in Verbindung mit den beiden Kategorien “Vorfahrt gewähren” und “Kritisches Ereignis” auf.

### 7.5.2 Die Situationsklassifikation in der Hauptuntersuchung

Vor dem Hintergrund der Erfahrungen aus der Pilotuntersuchung wurde die in der Pilotphase vorgenommene Unterteilung in die verschiedenen Klassen überarbeitet und erweitert. So hatte sich das sog. "Kritische Ereignis" im Zuge der Probeversuche als ausgesprochen singulär und kurzzeitig herausgestellt, innerhalb dieser Bewertungsklasse ließen sich kaum relevante und interpretierbare Datenzeiträume feststellen. Auch die Bedingung „Vorfahrt gewähren“ beinhaltete in der Realität einen übergroßen Interpretationsspielraum bei der Vielzahl von unterschiedlich berechtigten Verkehrsteilnehmern. Daher wurde auf diese beiden Klassen später verzichtet. Letztlich wurden sieben zentrale Situationsklassen kategorisiert:

- Stand (< 3 km/h)
- Normale Fahrt (geradeaus)
- Abbiegen rechts einfach
- Abbiegen rechts komplex
- Abbiegen links einfach
- Abbiegen links komplex
- Spurwechsel
- Einparken.

Weiterhin hatte sich gezeigt, daß die Möglichkeit der Mehrfachbelegung verschiedener Situationsklassen gleichzeitig registriertechnisch zwar möglich, auswertungstechnisch aber wenig vorteilhaft war. Aus der multiplikativen Verbindung der verschiedenen Situationen ergab sich eine Vielzahl möglicher Kombinationen, die sich bei der Auswertung der Datenmatrizen in einer Häufung leerer Meßzellen oder nur vereinzelter Meßzeitpunkte niederschlug. Daher wurde in der Hauptuntersuchung auf die Möglichkeit der Mehrfachbelegung verzichtet.

### **7.5.3 Die Differenzierung unterschiedlicher Verkehrsszenarien: Die Unterscheidung zwischen “einfach” und “komplex”**

In Übereinstimmung mit den Erfahrungen anderer Situationsklassifikationsansätze (HOYOS & KASTNER, 1986) hatten sich auch in der Pilotphase der durchgeführten Versuche die Abbiegevorgänge als die zentralen Belastungsmomente innerhalb der Versuchsfahrten im Stadtverkehr herausgestellt. Dabei erwies sich die Kategorisierung allein getrennt nach Fahrtrichtung als unzureichend, um Beanspruchungsgehalte differenzierter unterscheiden zu können. Als Konsequenz wurden in der Hauptuntersuchung die Abbiegevorgänge hinsichtlich ihrer Komplexität definiert und in “Abbiegen links/rechts einfach” und “Abbiegen links/rechts komplex” unterteilt. Das maßgebliche Kriterium zur Differenzierung zwischen “einfachen” versus “komplexen” Abbiegemanövern stellte dabei die Vorhersehbarkeit der Situation dar. Als “einfach” galten dabei alle Situationen, bei denen keine besonderen Vorkommnisse auftraten oder zu erwarten waren. Als ein typisches Beispiel für einen Vorgang “abbiegen links einfach” gelten Ampel-geregelte Abbiegemanöver, bei denen keine zusätzlichen Verkehrsspuren wie Radwege oder Fußgängerüberwege gekreuzt werden. Demgegenüber als “komplex” kategorisiert wurden alle Situationen, die neben dem Lenkungs- bzw. Spurhaltevorgang noch zusätzliche Aufmerksamkeit von seiten des Fahrers erforderten. Beispiel für ein typisches Manöver “Abbiegen rechts komplex” ist ein Vorgang, bei dem andere Verkehrsteilnehmer beteiligt sind, Vorfahrtregelungen zu beachten sind (unabhängig davon, ob dem Fahrer die Vorfahrt zusteht oder nicht) und ob verschiedene Fahrbahnen, Fußgängerüberwege und/oder Radwege gekreuzt werden. Für das Verständnis der Unterscheidung zwischen “einfachen” und “komplexen” Abbiegevorgängen ist dabei der Hinweis von Bedeutung, daß es beim wiederholten Befahren der gleichen Versuchsstrecke durchaus möglich und nicht selten tatsächlich der Fall war, daß ein Abbiegevorgang an der identischen Lokalität situationsabhängig je nach momentaner Lage einmal als “einfach” und ein anderes Mal als “komplex” eingestuft wurde.

#### 7.5.4 Die Unterscheidung von verschiedenen Geschwindigkeitsklassen

In der Pilotphase fand eine vergleichsweise grobe Unterscheidung zwischen Fahrt- und Standbedingung statt. Als weitere Differenzierung der Situationstaxonomie wurde dank der parallelen Registrierung der verschiedenen Datenkanäle einschließlich des *speed*-Kanals in der *offline*-Datenauswertung eine Unterscheidung in verschiedene Geschwindigkeitsklassen möglich. Hintergrund dieser Aufteilung war die Hypothese, daß sich im Vergleich der verschiedenen Geschwindigkeitsklassen bestimmte Bereiche definieren lassen, die sich jeweils durch ein besonderes Maß an Fahrerbelastung voneinander unterscheiden.

Aufgrund der im "*speed*"-Kanal protokollierten momentanen Geschwindigkeit des Versuchsfahrzeugs wurde eine Unterscheidung in 4 verschiedene Geschwindigkeitsbereiche vorgenommen:

- 0 bis 5 km/h
- 5 bis 20 km/h
- 20 bis 40 km/h
- > 40 km/h

#### 7.6 Die Versuchspersonen

Mit dem entwickelten Untersuchungsinstrument sollten Autofahrer von Mittelklasse-Fahrzeugen untersucht werden, die über ausreichende Fahrpraxis verfügten. Fahranfänger wurden daher von der Teilnahme ausgenommen. Aus verwaltungs- und kostenökonomischen Gründen beschränkte sich die Pilotmeßreihe auf eine studentische Versuchspersonenpopulation mit ausreichend Fahrerfahrung (keine Fahranfänger) (N = 7). Der Untersuchungsschwerpunkt der Pilotphase lag dabei stärker auf der Überprüfung der methodischen Untersuchungsmöglichkeiten als auf der Repräsentativität der Stichprobe.

Zur Rekrutierung der Untersuchungsteilnehmer für den Hauptversuch wurde im Kölner Stadtanzeiger ein redaktioneller Beitrag veröffentlicht, in dem die Untersu-

chung angekündigt und die Versuchsinhalte erläutert wurden. Gleichzeitig wurde auf die Möglichkeit der kostenlosen Versuchsteilnahme hingewiesen, wobei eine mehrjährige Fahrpraxis Voraussetzung für die Teilnahme war. Finanzielle Entschädigungen für die Versuchsbeteiligung wurden nicht gezahlt, allerdings erhielten die Teilnehmer im Anschluß an das Experiment eine Rückmeldung über die von ihnen erbrachte Leistung im Experiment.

Die angekündigte Untersuchung stieß auf großes Interesse in der Bevölkerung, es meldeten sich über 130 Personen für die Untersuchungsteilnahme, von denen schließlich 100 Probanden an der Untersuchung teilnahmen. Von den 100 Untersuchungsteilnehmern konnten die Datensätze von insgesamt 96 Personen ausgewertet werden, davon sind 65 männlich und 31 weiblich. Die Altersverteilung reicht von 21 bis zu 71 Jahren mit einem Mittelwert von 43,9.

Tab.7.01: Altersverteilung der Stichprobe

Altersgruppe	Männer	Frauen	gesamt
20-29	10	4	14
30-39	13	11	24
40-49	13	6	19
50-59	21	7	28
60 und älter	7	2	9
ohne Angabe	1	1	2
gesamt	65	31	96

## 7.7 Fragebogen zur Erfassung biographischer Daten

Im biographischen Fragebogen<sup>2</sup> wurden neben Angaben zu Alter und Geschlecht der Versuchsperson auch Fragen zu den erworbenen Führerscheinklassen, Dauer des Führerscheinbesitzes, insgesamt und jährlich zurückgelegte

---

Fahrtstrecke sowie Häufigkeit und Art der Fahrzeugnutzung gestellt. Weiterhin wurden die Versuchspersonen zu ihrem gewohnten Fahrzeugtyp mit entsprechenden Angaben zu Hubraum und PS-Stärke befragt. Interessant zur Erklärung möglicher unangemessener Verhaltensweisen im Versuch erschienen auch Angaben zu Anzahl und Art von Unfällen sowie zu eventuellen Eintragungen beim Kraftfahrtbundesamt. Schließlich wurden die Versuchspersonen gebeten, ihre Maximalgeschwindigkeit bei Autobahnfahrt anzugeben.

Die Auswertung der Fragebogenangaben ergab, daß es sich bei den Versuchspersonen durchweg um routinierte Autofahrer handelte. Rund 90 Prozent der Untersuchten gaben an, 10 Jahre und länger im Besitz der Fahrerlaubnis zu sein, mehr als die Hälfte nahm bereits länger als 20 Jahre am Straßenverkehr teil. Die durchschnittliche gesamte Fahrpraxis insgesamt lag bei mehr als 800.000 Kilometer, nur etwa 12 Prozent der Untersuchten hatten weniger als 100.000 Kilometer zurückgelegt. Die jährlich zurückgelegte Kilometerleistung lag im Schnitt bei ca. 23.000 Kilometer.

Ca. 80 Prozent der Versuchsteilnehmer führten aus, täglich ein Kraftfahrzeug zu benutzen. Rund 40 Prozent der Fahrten finden im Stadtverkehr statt, 38 Prozent auf der Autobahn und 22 Prozent auf Landstraßen. Über 20 Prozent der Befragten besitzen neben dem Führerschein der Klasse 3 auch den der Klasse 2 (Lkw), über 30 Prozent zusätzlich den der Klasse 1 (Motorrad). Die Fahrzeuge, die von den Versuchsteilnehmern benutzt werden, haben im Schnitt einen Hubraum von ca. 1800 ccm und ca. 100 PS. Die von den Befragten angegebene Höchstgeschwindigkeit für Autobahnfahrten reicht von 120 bis 250 km/h, mit einem Mittelwert von ca. 180 km/h. Die Mehrzahl der Untersuchten gab an, ihre Fahrerlaubnis noch nie verloren zu haben, ca. 7 Prozent räumten einen einmaligen Führerscheinentzug ein, bei ca. 2 Prozent war dies bereits zweimal vorgekommen. 12 Prozent führten aus, beim Kraftfahrtbundesamt registriert zu sein. Die Mehrzahl der Versuchspersonen (80 Prozent) gab an, bereits in einen oder mehrere Unfälle verwickelt gewesen zu sein. Dabei handelte es sich in 2/3 der Fälle lediglich um einen Unfall mit Sachschaden.

---

<sup>2</sup> Der Originalfragebogen ist im Anhang unter 10.1 aufgeführt.



## 7.8 Allgemeiner Versuchsablauf

Der Versuchsperson wurde eine schriftliche Instruktion vorgelegt, in der sie ausdrücklich darauf hingewiesen wurde, daß Verkehrsgefährdungen im Straßenverkehr aufgrund der Bearbeitung der Nebenaufgabe unbedingt zu vermeiden seien. Diese wurde von dem Teilnehmer unterschrieben und galt als Einverständniserklärung bezüglich der Untersuchungsbedingungen. Außerdem wurde eine Fotokopie des Führerscheins erstellt, um dokumentieren zu können, daß alle Probanden im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis waren.

Danach begab sich der Versuchsleiter gemeinsam mit der Versuchsperson zum Untersuchungsfahrzeug. Der Versuchsleiter nahm als Beifahrer auf der rechten Seite Platz. Im stehenden Fahrzeug wurde zunächst die Nebenaufgabe nochmals erläutert und kurz durchgeführt. Nachdem die Sitzposition eingestellt worden war und die Spiegel angepaßt waren, wurden dem Probanden die Bedienelemente des Fahrzeugs erklärt. Vor der eigentlichen Untersuchung fand eine Übungsfahrt ohne Nebenaufgabe statt. Hierbei hatten die Probanden Gelegenheit, sich mit dem Fahrzeug vertraut zu machen.

Vor dem Beginn der eigentlichen Untersuchungsfahrt wurde die Versuchsperson noch einmal eindringlich dahingehend instruiert, die Nebenaufgabe lediglich als Zusatzoption während der eigentlichen Hauptaufgabe, dem Fahren, zu verstehen und sich so angepaßt wie möglich im Verkehr zu verhalten. Nach der Proberunde und einem Instrumenten-Check-up (Kontrolle der VITAPORT-Funktionen) setzte die Versuchsfahrt ein. Mit einem Ausparkmanöver vom Parkplatz der Fakultät begann dann in Begleitung des Versuchsleiters die eigentliche Versuchsfahrt durch das Kölner Innenstadtgebiet. Die Versuchsperson steuerte das Versuchsfahrzeug vom Ausgangspunkt, dem Parkplatz der Fakultät, über eine kurze Runde mit mehreren Rechts- und Linksabbiegemanövern und Ein- und Ausparken bis hin zum Ausgangspunkt. Am Ende der Testfahrt wurde den Teilnehmern wiederum der identische Feedback-Fragebogen vorgelegt und eine mündliche Rückmeldung über den gesamten Untersuchungsablauf erbeten.

## **7.9 Das verwendete Meßinstrumentarium**

Nach der Beschreibung der Haupt- und Nebenaufgabe und des allgemeinen Versuchsaufbaus stehen in den folgenden Abschnitten das verwendete Meßinstrumentarium und das Vorgehen zur Datenanalyse im Mittelpunkt.

### **7.9.1 Die zentrale Meßplattform: Der VITAPORT-Rekorder**

Als zentrale Meß- und Steuerungsplattform wurde für die Versuchsdurchführung das Kölner VITAPORT System<sup>®</sup> eingesetzt. Die Steuerung der Datenerfassung, die Aufzeichnung der Fahrerreaktionszeiten, der Fahrzeugdaten und des EKGs des Fahrers sowie der Fahrsituationsangaben geschah mit Hilfe der Standardsoftware des VITAPORT-Rekorders. Bei dem VITAPORT-Rekorder handelt es sich um einen am Kölner Psychologischen Institut entwickelten Datenlogger zur Aufzeichnung von psychophysiologischen Daten in der experimentellen Psychologie und Medizin. Der Rekorder besteht aus einem eingebauten Microprozessor mit 1 MB RAM sowie einem Universalverstärkermodul für beliebige AC-oder DC-Signale bzw. direkte Verstärkung der Biosignale, wie z.B. EKG. Die erfaßten Daten wurden in den Versuchsreihen auf Memory-Karten mit 4 MB Speicherkapazität abgelegt. Die Stromversorgung erfolgte über 4 Mignon Akkus. Eine umfassende Beschreibung der technischen Leistungsdaten des VITAPORT-Systems findet sich bei JAIN et al. (1996). Neben einer Beschreibung des Aufbaus und der Anwendungsmöglichkeiten des Systems einschließlich der Analysesoftware findet sich hier auch eine Bibliographie zu Forschungsergebnissen auf Grundlage des VITAPORT-Systems. Auch in Ihrer Dissertation (JAIN, 1995) befaßt sich die Autorin detailliert mit den Möglichkeiten des VITAPORTS zur Erfassung der kardiovaskulären Reaktivität im Labor und im Feld.

### **7.9.2 Das Verfahren der Datenerfassung**

Vor Beginn der Testfahrt wurde die Datenaufzeichnung vom Versuchsleiter gestartet, der auch hier die ordnungsgemäße Datenaufzeichnung der verschiedenen Kanäle im Display kontrollierte. Zur Registrierung der verschiedenen Situationsklassen wurde ein Panel von 6 nichtrastenden Drucktasten (wahlweise in Verbindung mit einem Schiebepotentiometer) entwickelt. Über ein *high speed*-Interface wurden die Datenimpulse an den Markerkanal im VITAPORT weitergeleitet.

Um verschiedene zentrale Fahrzeugparameter (Geschwindigkeit, Motordrehzahl, An/Aus-Signal der Bremsbetätigung) erfassen zu können, wurde ein spezielles Interface entwickelt, welches die Fahrzeugschnittstelle mit der VITAPORT-Meßplattform verband. Mit Hilfe von drei Tachometer ICs des Interfaces wurden die frequenzkodierte Daten des Fahrzeugs dekodiert und in Analogsignale umgewandelt und die Signale den Verstärkereingängen des VITAPORT zugeführt. Nachdem das Kfz-Interface in der Prototypversion zunächst noch mit einer 9 V Blockbatterie betrieben wurde, liegt es mittlerweile als reproduzierbare Platine vor. Die Stromversorgung erfolgte intern mit Hilfe eines hochisolierten DC-DC-Wandlers aus dem 12 Volt Bordnetz des Kraftfahrzeugs.

Eine Besonderheit bei der Erhebung der Fahrzeugdaten stellte der telemetrische Lenkradsensor zur Erfassung der Lenkradbewegungen dar. Erste Versuche zur kabelgebundenen Erfassung der Lenkradstellung stellten sich als problematisch heraus, da sich die Kabel um die Lenkradachse wickelten und Lenkbewegungen behindern konnten. Um dieses Problem zu umgehen, wurde ein telemetrischer Lenkradsensor auf dem oberen Lenkradpralltopf reversibel mit Klettband befestigt. Der Lenkradsensor bestand dabei aus einem statischen Beschleunigungsaufnehmer, einem Spannungs-Frequenzkodierer und einer Sendeeinheit auf dem 433 Mhz-Band. Die Stromversorgung erfolgte über eine 9-Volt-Batterie. Der Lenkradsensor sendete frequenzkodierte Signale an einen UHF-FM-Empfänger im Aufzeichnungsinterface, die dort in Analogsignale dekodiert wurden. Kontrollmessungen hatten ergeben, daß die Aufzeichnung der Lenkradbewegungen

nur in geringem Maße von den Querschleunigungskräften, die auf das Fahrzeug wirken, konfundiert wurde.

### **7.9.3 Versuchs- und Auswertungssoftware: SPIL, *realtime*-SPIL und VITAGRAPH**

Zur Steuerung der Nebenaufgabe war ein Programm zur Generierung der LED-Matrizen erforderlich. Als VITAPORT-Entwicklungsumgebung konnte auf die am Kölner Institut entwickelte speziell objektorientierte Programmiersprache „*Realtime*-SPIL“ zurückgegriffen werden, mit deren Hilfe auch sehr komplexe Ablaufsteuerungen zu realisieren sind. Für die Reizvorgabe entstand das SPIL-Programm "Lampe", das die entsprechenden Reizmuster der Leuchtdioden zufällig in bestimmter Verteilung vorgibt und nach Reaktion des Fahrers zur nächsten Vorgabe weiterschaltet bzw. bei zu langem Ausbleiben einer Antwort einen Warnton ausgibt.

Die weitere Behandlung der aufgezeichneten Versuchsdatenfiles geschah mit Hilfe der „VITAGRAPH“-Oberfläche, die speziell für die Verwaltung von VITAPORT-Zeitreihen ausgelegt ist. So wurden nach dem Ende der Datenerfassung die Speicherkarten mit Hilfe dieses Programms ausgelesen, dekodiert und auf der Festplatte des Rechners gespeichert. In der Folge konnten sie auf dem Rechner visuell als Zeitreihe begutachtet und artefakt-behandelt werden.

Im Anschluß an die Datenerhebung wurden spezielle Auswertungsprogramme notwendig, um die aufgezeichneten VITAPORT-Zeitreihen für statistische Berechnungen vorzubereiten. Die Datenauswertung erforderte hierfür eine aufwendige Programmierung, die ebenfalls mit Hilfe der integrierten Programmiersprache SPIL realisiert wurde. Dabei handelte es sich um eine *offline*-Auswertung. Das bedeutet, die Algorithmen werden erst nach der Datenspeicherung ausgeführt, wobei die ursprünglich erfaßten Daten stets erhalten bleiben. Dementsprechend können auch nach der Versuchsdurchführung noch Modifikationen an den Auswertungsprogrammen vorgenommen oder die Daten bezüglich weiterer alternativer Fragestellungen untersucht werden.

## 7.10 Die Datenaufbereitung

Für jede Versuchsperson resultierte Versuch eine VITAPORT-Rohdatendatei (\*.vpd), die je nach Versuchsdauer zwischen 660 und 890 Kbyte Speicherkapazität beanspruchte. Jede einzelne Datei wurde in einem ersten Arbeitsschritt auf Vollständigkeit der Meßkanäle und Plausibilität der Kurvenverläufe hin untersucht. Datenausfälle bei gesamten Dateien oder einzelnen Kanälen wurden in einem Protokoll registriert. Alle Dateien wurde am Anfang und am Ende bis zu dem Zeitpunkt gekürzt, an dem die eigentliche Meßfahrt einsetzte.

Nach der zeitaufwendigen Bearbeitung der Rohdaten wurde für jede Datei das jeweilige in SPIL programmierte Auswertungsprogramm aufgerufen. Mit diesem SPIL-Programm wurden innerhalb der Zeitreihen die Auswertungsabschnitte definiert. Für die jeweiligen Zeitabschnitte und die verschiedenen Datenkanäle wurden jeweils Mittelwerte berechnet und in einer neu generierten Datei abgelegt. Letztlich resultierten aus diesem Vorgehen N \*.txt-files mit dem Code der jeweiligen Versuchsperson. Diese unter MS Word oder MS Excel aufrufbaren Dateien hatten folgende Struktur:

Tab. 7.02: Matrixstruktur der Daten einer Versuchsperson

	Parameter 1 bis K
Situation 1 bis L	Meßwerte

Für die N Versuchspersonen mußten diese Einzeltabellen in folgende Matrizenstruktur umgewandelt werden:

Tab. 7.03: Matrixstruktur der Daten aller Versuchspersonen

	Parameter 1 bis K für die Situation 1 bis L
Versuchspersonen 1 bis N	Meßwerte

Die Datenumstrukturierung geschah unter Zuhilfenahme eines Macros im Textverarbeitungsmodus, welches für alle Einzeldateien einen gemeinsamen *outputfile* „feld.txt“ generierte. So ergab sich eine zentrale Datenmatrix „data\_gesamt“, wobei im Statistikprogramm SPSS für Windows (Version 7.5) die einzelnen Parameterspalten editiert und mit Variablennamen versehen wurden. Im folgenden Datenschnitt wurde diese Datei anhand auffälliger Werte, die durch „*missing values*“ ersetzt wurden, erneut artefakt-kontrolliert. Letztlich wurden die Ergebnisse aus den schriftlichen Befragungen zu Fahrerbiographie und Versuchsrückmeldung angehängt, um eine simultane Vergleichbarkeit aller Meßgrößen zu ermöglichen.

#### **7.10.1 Die Beschreibung der Untersuchungsparameter**

Die SPIL-Auswertungsprozeduren generieren aus den Rohdatensätzen „\*.vpd“ für jede Zeitreihe einen Datensatz, in dem folgende Parameter als Mittelwerte und Standardabweichung erfaßt wurden:

Tab. 7.04: Übersicht über die Untersuchungsparameter pro Situationseinheit

Name des Parameters	Meßebeine	Funktion	Maßeinheit
Dauer	Deskriptiv	Zeitdauer der jeweiligen Situation	Sekunden
Anzahl	Deskriptiv	Häufigkeit der jeweiligen Situation	numerisch
Reaktionsknopf rechts	Deskriptiv	Vorgabe rechts und richtige Betätigung	numerisch
Reaktionsknopf links	Deskriptiv	Vorgabe links und richtige Betätigung	numerisch
Trefferzahl	Nebenaufgabe	Anzahl der richtig erfolgten Antwortreaktionen	numerisch
Prozent Fehler	Nebenaufgabe	Prozentualer Anteil falscher Reaktionen	numerisch
Entscheidungszeit bis richtig	Nebenaufgabe	Entscheidungszeit bis zu nächsten richtigen Antwort	Sekunden
Herzrate	Physiologisch	Herzrate pro Situation	<i>Beats per minute</i>
Drehzahl	Hauptaufgabe	Drehzahl des Fahrzeugs	U/min
Geschwindigkeit	Hauptaufgabe	Durchschnittsgeschwindigkeit des Fahrzeugs	km/h
Bremsdauer	Hauptaufgabe	Dauer des Bremskontakts	numerisch
Bremshäufigkeit	Hauptaufgabe	Häufigkeit des Bremskontakts	numerisch
Lenkung	Hauptaufgabe	Anzahl der Lenkbewegungen/ pro Zeit	numerisch

### 7.10.2 Detailbeschreibung der Parameter innerhalb der einzelnen Meßebenen

Nach dieser tabellarischen Gesamtübersicht schließt sich eine Beschreibung der verschiedenen Meßgrößen innerhalb der einzelnen Beobachtungsebenen an.

#### 7.10.2.1 Die Nebenaufgabenparameter

Als zentraler Parameter für die Bearbeitung der Nebenaufgabe wurde die Entscheidungszeit bis zur nächsten richtigen Antwort definiert. Dieser Parameter unterscheidet sich von dem zusätzlich berechneten Parameter „Reaktionszeit“ dadurch, daß in die Beantwortungszeit auch falsche Reaktionen mit aufgenom-

men wurden, so daß damit indirekt auch ein Maß für die Bearbeitungsgüte darin enthalten ist.

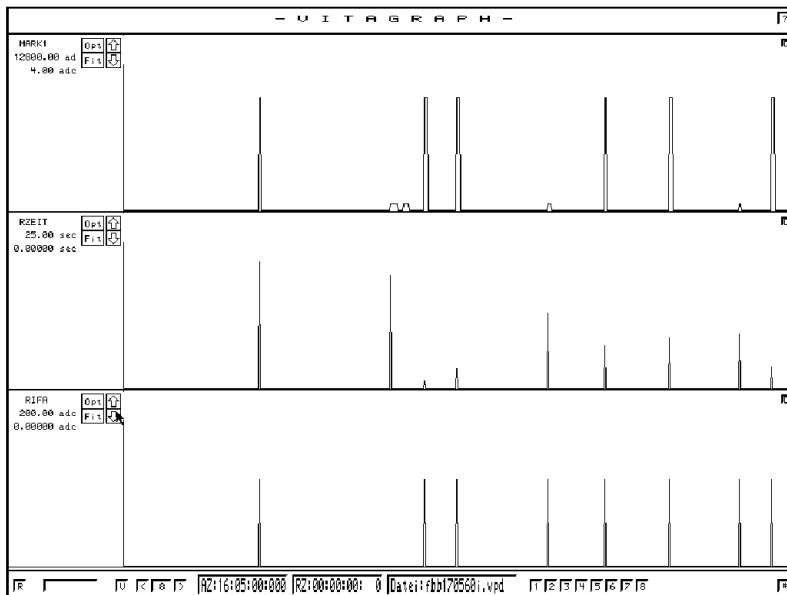


Abb. 7.06: Screenshot: Kanäle der Entscheidungszeit im VITAGRAPH

Der Screenshot in Abb. 7.06 zeigt die verschiedenen Kanäle zur Bestimmung der Entscheidungszeit RZEIT, wobei der RIFA-Kanal Auskunft darüber gibt, ob es sich bei der im Marker-Kanal MARK1 registrierten Antwort um eine richtige oder um eine falsche Reaktion gehandelt hat. Als getrennter Parameter wurde der relative Anteil falscher Antworten an den Gesamtreaktionen als Gütekriterium für die Nebenaufgabe in die Datenanalyse mit aufgenommen.

### 7.10.2.2 Die physiologischen Meßgrößen

Die Variation der Herzrate kann als klassischer Parameter der angewandten Verkehrspsychologie gelten. Eine höhere körperliche Beanspruchung macht sich linear als Steigerung der Herzrate bemerkbar. Somit wurde als physiologisches Maß der Beanspruchung das EKG der Versuchsperson mit drei Brustelektroden (Einthoven I Ableitung) erhoben. Die Meßwerte wurden vom VITAPORT-Rekorder sowohl als hochaufgelöstes Roh-EKG als auch als Herzrate (Schläge pro Minute) gespeichert. Als Meßgrößen für die Herzrate wurden jeweils Mittelwerte und Standardabweichung pro Zeitintervall protokolliert.



Wie bei allen physiologischen Parametern ist auch bei der Interpretation der Herzrate eine vorausgegangene Artefaktkontrolle unerlässlich. Neben elektronischen Filtertechniken (Hoch- und Tiefpaß) wurden sämtliche Meßzeitreihen einer optischen Kontrolle unterzogen. Dabei wurden bei verschiedenen Versuchspersonen in unterschiedlichem Ausmaß motorische Artefakte im EKG-Kanal und damit gleichzeitig auch im Herzratenkanal festgestellt. Diese Fehlerquellen wurden durch manuelle Interpolation beseitigt.

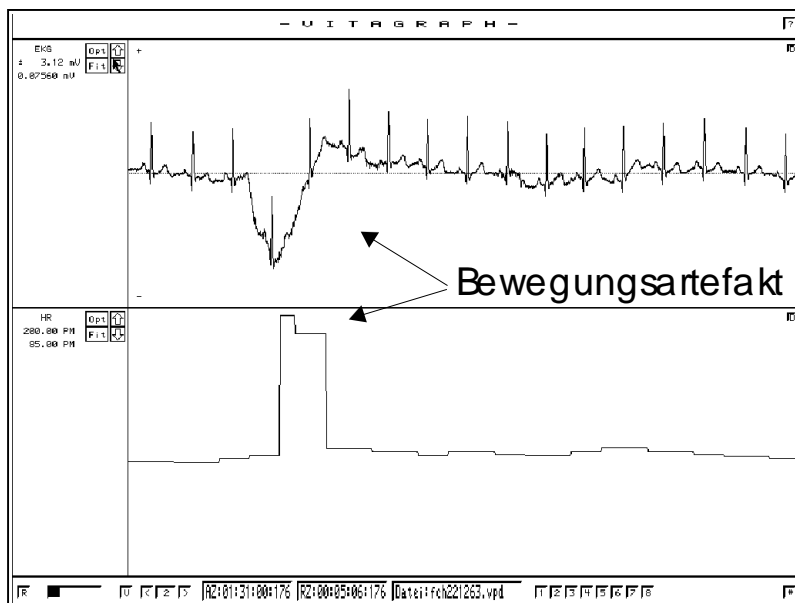


Abb. 7.07.: Screenshot von EKG-/Herzratenkanal im VITAGRAPH

### 7.10.2.3 Die Fahrzeugparameter

Vier Parameter gaben Auskunft über zentrale Fahrzeugdaten: Geschwindigkeit, Drehzahl, Bremsbetätigung und Lenkradbewegungen. Der Geschwindigkeit kam bei der Datenanalyse dabei eine doppelte Bedeutung zu: Zum einen fungierte sie als abhängige Variable, beispielsweise zur Klärung der Frage, ob unter bestimmten Versuchsbedingungen im Schnitt langsamer gefahren wird. Zum anderen ermöglichte dieser Kanal als unabhängige Variable die Unterscheidung zwischen Stand- und Fahrtbedingung bzw. die Aufteilung in die verschiedenen Geschwindigkeitsklassen. Anhand der Bremsensorik resultierte sowohl die Anzahl als auch die Häufigkeit von Bremsbetätigungen. Aus dem binären Bremssignal (Bremsen aus/an) ließen sich aber keine Rückschlüsse über die Intensität der Bremsung gewinnen. Ein Ausschnitt aus einer Zeitreihendatei einer Ver-

suchsperson mit dem typischen Verlauf der verschiedenen Fahrzeugparameter ist in Abb. 7.08 dargestellt.

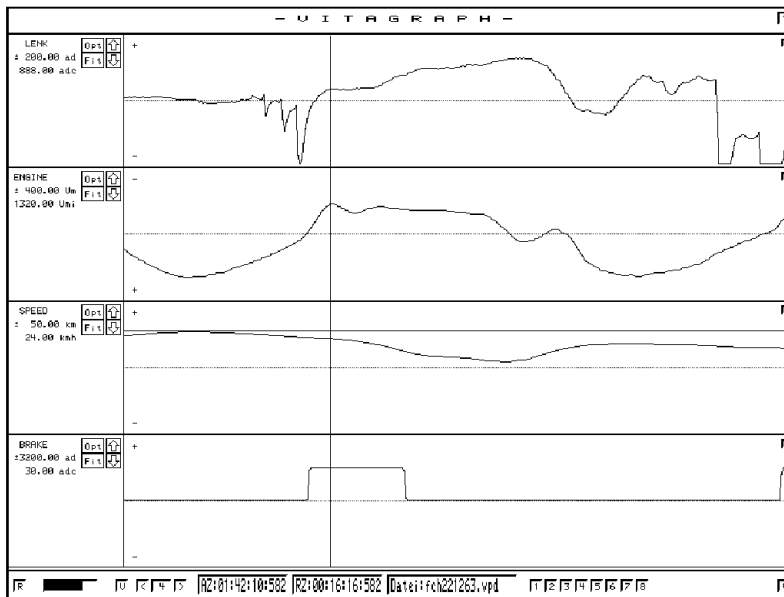


Abb. 7.08: Screenshot der Fahrzeugparameter im VITAGRAPH

Die Abbildung zeigt den typischen antagonistischen Verlauf von Geschwindigkeit (SPEED-Kanal) zu Bremse (BRAKE-Kanal) und Drehzahl (ENGINE-Kanal): Nach dem Bremsimpuls sinkt die gemessene Geschwindigkeit, auch die Drehzahl wird geringer. Vor dem Bremsen wurde ein Lenradausschlag registriert.

#### 7.10.2.4 Die Parametrisierung der Lenkradbewegungen

Für die Erfassung der Lenkradbewegungen wurde besonderer Aufwand betrieben. Zum einen wurde zur Datenaufzeichnung der unter 7.6.3 beschriebene telemetrische Lenkradsensor entwickelt, zum anderen wurde für die Datenauswertung ein bestimmter Algorithmus entworfen, um die Lenkbewegungen zu quantifizieren. Dabei wurde als Parameter ein Wert berechnet, der um so höher ausfällt, je schneller die Lenkradbewegungen sind. Die Berechnung der Lenkradbewegungen wird in Abb. 7.09 veranschaulicht:

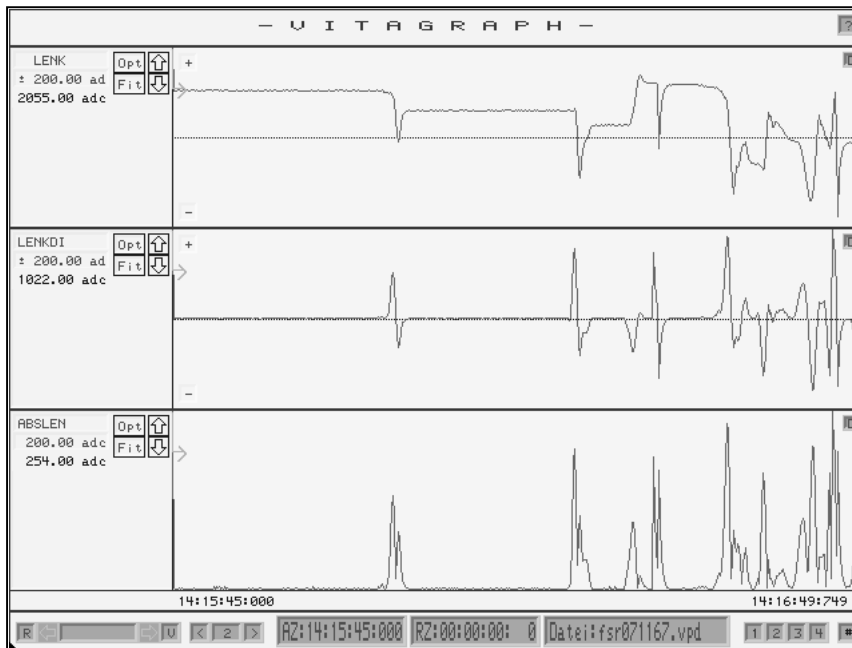


Abb. 7.09: Screenshot der verwendeten Kanäle zur Parametrisierung der Lenkradbewegungen

Im oberen Kanal „LENK“ ist exemplarisch für ein Zeitintervall der Verlauf der Rohdaten geplottet. Dabei handelt es sich um eine Wiedergabe der jeweiligen Lenkradstellung zum einzelnen Zeitpunkt. In der Mittelstellung und bei einer halben Umdrehung hat der Lenkradimpuls einen Nullpunkt und bei jeweils  $\frac{1}{4}$  Ausschlag seinen positiven bzw. negativen Vollausschlag. Somit ist zwar keine direkte Winkelmessung möglich, jedoch läßt sich die Häufigkeit und Stärke von Lenkausschlägen quantifizieren. Das Auswertungsprogramm bildet dabei zunächst für jeden Punkt der Kurve die Differenz zu dem eine halbe Sekunde vorher liegenden Punkt (visualisiert im mittleren Kanal LENKDI). Ergibt sich beispielsweise in diesem Zeitintervall keine Veränderung der Lenkradstellung, so resultiert bei LENKDI der Wert = 0, bei großen Veränderungen wird der Wert entsprechend größer. Da für die Quantifizierung der Lenkvarianz nur die betragsmäßigen Abweichungen von Interesse sind, wird im Kanal ABSLENK der absolute Werte als Betrag bestimmt, der letztlich Aussagen über die Stärke der Veränderungen in den Lenkradbewegungen ermöglicht. Die Datenauswertung erfolgte auf Grundlage von 90,7 Prozent der registrierten Lenkradbewegungs-Mittelwerte ( $N = 78$ ).

# 8

## Ergebnisse

### 8.1. Die Faktorstruktur der Versuchsdaten

Für einen ersten Eindruck von den Meßebenen der Versuchsdaten, bietet sich das statistische Verfahren der Faktorenanalyse an, mit Hilfe dessen die interkorrelative Struktur der Datenmatrizen analysiert werden kann. Ziel dieses Datenreduktionsverfahrens ist es, voneinander wechselseitig unabhängige Faktoren zu extrahieren, die den Zusammenhang zwischen den einzelnen Variablen der Untersuchung erklären.

#### 8.1.1 Faktorenanalytische Betrachtung der Untersuchungsparameter

Für die Berechnung des korrelativen Zusammenhangs der aus den Experimenten resultierenden Datenmatrix wurden die zentralen Leistungsvariablen faktorenanalytisch geordnet. Als Situationsklasse mit den häufigsten Meßzeitpunkten wurden dabei verschiedene Variablen für die Bedingung "Keine Situationsklassifikation - Fahrt" für die Parameter Entscheidungszeit bis zur richtigen Antwort, Herzrate, Geschwindigkeit und Lenkbewegungen herangezogen und zusätzlich noch Situationsmittelwerte aufgenommen. Als Standardverfahren zur Faktorextraktion wurde die Hauptkomponentenanalyse gewählt, als Rotationsverfahren die Varimax-Rotation mit Kaiser-Normalisierung.

Im ersten Schritt der Faktorenanalyse wurden die anfänglichen Eigenwerte der unrotierten Faktoren bestimmt. Die graphische Verteilung der Eigenwerte wird im Screeplot visualisiert. Der Screeplot ist eine Graphik, in der die Verteilung der

Eigenwerte dargestellt wird. Diejenigen Faktoren (Eigenwerte), die den Hang des Geröllberges (engl. *scree*) bilden, sind die wirklich wichtigen Faktoren und nicht das „Geröll“ am Fuße des Hanges. Übertragen auf die empirisch ermittelte Datenstruktur belegt die Hauptkomponentenanalyse zwei Hauptfaktoren, die insgesamt über 60 Prozent Varianzaufklärung leisten, und zwei weitere Faktoren, die zusätzlich das geforderte Kriterium „Eigenwert >1“ erfüllen, aber eine erheblich geringere Varianzzuordnung ermöglichen.

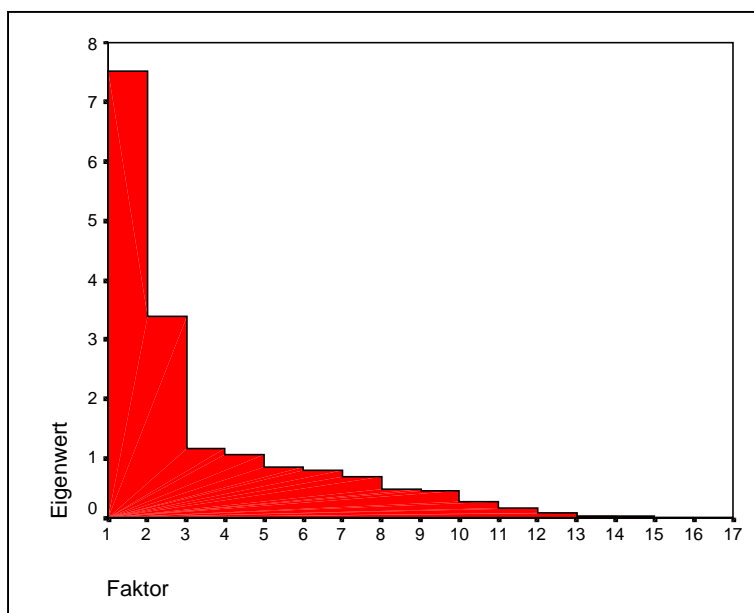


Abb. 8.01: Screeplot der Eigenwerte der unrotierten Faktoren

Nach insgesamt 7 Iterationen und der Extraktion von vier Faktorkomponenten bei Varimaxrotation resultiert folgende Komponentenmatrix:

Tab. 8.01: rotierte Faktorenmatrix

Variable	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
KEI_RZRI	,343	,690	,411	
ALE_RZRI		,700	,325	-,109
ALK_RZRI	-,166	,776		
ARE_RZRI	,159	,227	,718	
ARK_RZRI	,223	,838		
EP_RZRI	-,222	,118	,713	,102
SW_RZRI	,330	,755	,249	-,121
KEI_HRMW	,990			
ALE_HRMW	,978			
ALK_HRMW	,987			
ARE_HRMW	,966			
ARK_HRMW	,979	,105		
EP_HRMW	,950			
SW_HRMW	,982	,102		
KEI_GEMW		,141		,881
KEI_LEMW	,138	,450	-,313	-,437
KEI_PRFA		,546	-,114	,244

Legende: Kei = Keine Situationsklassifikation, AL = Abbiegen Links, AR = Abbiegen Rechts, E = Abbiegen Einfach, K = Abbiegen Komplex, EP = Einparken, SW = Spurwechsel, RZRI = Mittelwert Entscheidungszeit, HRMW = Mittelwert Herzrate, GEMW = Mittelwert Geschwindigkeit, LEMW = Mittelwert Lenkradbewegungen, PRFA = Prozentualer Anteil falscher Reaktionen

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung

(Aufgeführt sind Korrelationen von  $r > ,01$ , die Rotation ist in 7 Iterationen konvergiert)

Inhaltlich können die vier Faktoren folgendermaßen interpretiert werden: Der erste Faktor umfaßt alle Herzratenvariablen, die in stark korrelativem Zusammenhang zueinander stehen. Der zweite Faktor faßt die meisten Entscheidungszeitparameter zusammen, mit Ausnahme der Situationskategorien "Abbiegen rechts einfach" und "Einparken", die gemeinsam die dritte Faktorenkomponente darstellen. Als vierter Faktor lassen sich die drei übrigen Parameter "Geschwindigkeit", "Lenkradvarianz" und "Prozent falsche Antworten" identifizieren, jeweils für die Bedingung "Keine Situationsklassifikation". Die negative Korrelation zwischen Geschwindigkeit und Lenkradbewegungen kommt durch hohe Lenkradausschläge bei niedrigen Geschwindigkeiten (und umkehrt) zustande.

Tab.8.02 gibt Auskunft über die Varianzaufklärung der vier Faktoren (Summe der quadrierten Ladungen):

Tab. 8.02.: Varianzaufklärung durch die Faktoren

Faktor- nummer	Gesamt- varianz	Anteil der aufgeklär- ten Varianz (%)	Kumulierter Anteil der aufgeklärten Varianz (%)
1	7,07	41,63	41,63
2	3,48	20,50	62,13
3	1,48	8,75	70,88
4	1,09	6,44	77,32

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung

### 8.1.2 Reliabilität

Die Reliabilität eines Tests gibt an, wie genau ein Test das mißt, was er messen soll und bezeichnet damit den Grad der Meßfehlerfreiheit eines Tests. Eine statistische Auskunft über die Zuverlässigkeit der Versuchsmessungen liefert der Vergleich der ersten Messungen in der Pilotphase und der umfangreicher dimensionierten Hauptuntersuchung. Auch wenn in den beiden Meßreihen auf unterschiedliche Versuchsstichproben zurückgegriffen wurde, kann das Verhältnis der Mittelwerte zueinander in den verschiedenen Untersuchungsdimensionen im weiteren Sinne als wiederholte Messung zur Bestimmung der Retest-Reliabilität betrachtet werden. Neben Korrelationsmaßen wird auch als klassische Methode zur Reliabilitätsbestimmung das sog. „Cronbachs Alpha“ erhoben (BORTZ, 1993).

Die kleinere Stichprobe der Voruntersuchung macht sich in Abb. 8.02 in Form einer Niveaueverschiebung der Situationsmittelwerte bemerkbar. Die Variation der Mittelwerte über die verschiedenen Situationsklassifikationen (bei der Hauptuntersuchung gemittelt zusammengesetzt über differenzierte Klassen) zeigt aber bei beiden Beanspruchungsparametern mit  $r = ,878^*$ ,  $p < ,021$  eine eindeutige positive Korrelation, die sogar bei nur sieben Vergleichsmeßpunkten das Signifikanzkriterium überschreitet.

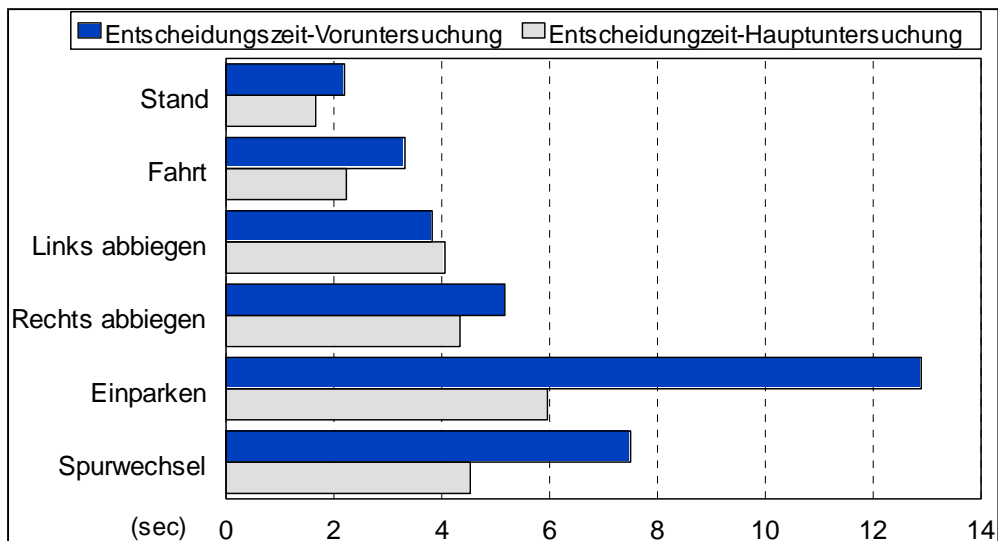


Abb. 8.02:  
Gegen-  
überstellung der Situa-  
tions-  
mittelwerte  
der Reaktions-  
zeiten in Pilot-  
und Haupt-  
messung

Vergleichbar der Gegenüberstellung der kognitiven Reaktionszeitmittelwerte zeigt sich auch beim Vergleich der Herzrattendurchschnittsmessungen (Abb. 8.03) eine durchgängig gemeinsame Kovariation.

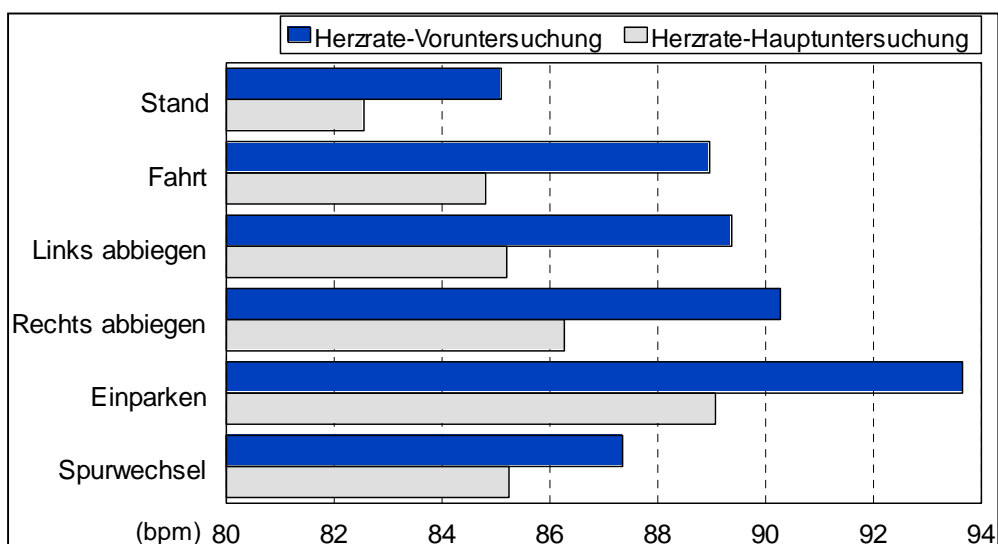


Abb. 8.03:  
Gegen-  
überstellung  
der Situa-  
tionsmittelwerte  
der Herzrate  
in Pilot- und  
Hauptmessung

Bei der Herzrate beträgt die Korrelation zwischen Vor- und Hauptuntersuchungsmittelwerten  $r = ,962^*$ ,  $p < ,002$ . Insgesamt wurden demnach deutliche Korrelationen für Pilot- und Hauptuntersuchung bei den kognitiven und den physiologischen Leistungsparametern beobachtet. Diese Zusammenhänge auf Mittelwertbasis erreichen trotz vergleichsweise geringer Meßzeitpunkte der verschiedenen Situationen und der hohen Anforderungen bei kleinen Stichproben das Signifikanzkriterium. Zusammengefaßt ergibt sich aus der Reliabilitätsanaly-



se der vergleichbaren Parameter aus Vor- und Hauptuntersuchung ein Wert für Cronbachs-Alpha von  $\alpha = ,85$ ; dies kann als Beleg für eine hohe Konsistenz der verschiedenen Parameterebenen in Vor- und Hauptuntersuchung angesehen werden.

## **8.2 Die Aufteilung in Situationsklassen**

Den Testfahrten im realen Straßenverkehr wurde ein Klassifikationsschema von Verkehrssituationen zugrunde gelegt in der Erwartung, unterschiedliche Beanspruchungsgehalte abbilden zu können.

### **8.2.1 Die Aufteilung in Situationsklassen: Nebenaufgabe und Herzrate**

Hinsichtlich des kognitiven Beanspruchungsparameters, der Entscheidungszeit, ist eine deutliche Stufung von einer niedrigen Beanspruchung während der normalen Fahrtbedingung (Geschwindigkeit  $>5$  km/h) ohne Situationsklassifikation über Abbiegemanöver und Spurwechsel bis hin zu Einparkvorgängen zu erkennen. Eine vergleichbare Tendenz ergibt sich auch bei dem reaktionsträgeren physiologischen Parameter: Die normale Fahrtbedingung weist die niedrigsten Mittelwerte auf, das Einparken die höchsten. Abbiegevorgänge zeichnen sich durch erhöhte Beanspruchungsscores aus, wenn auch weniger deutlich als bei den Reaktionszeiten. Die kurzzeitigen Spurwechselforgänge machen sich anhand der körperlichen Beanspruchung weniger stark bemerkbar. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Situationsklassen wurden mit einer Varianzanalyse auf statistische Bedeutsamkeit hin untersucht. Dabei erwiesen sich sowohl die jeweiligen Faktoren "Entscheidungszeit" sowie "Herzrate" als deutlich überzufällige Einflußgrößen ( $F = 26,39$ ,  $p < ,000^{**}$ ). Auch die Unterschiede der einzelnen Klassen können mit einer Ausnahme als statistisch bedeutsam angesehen werden.

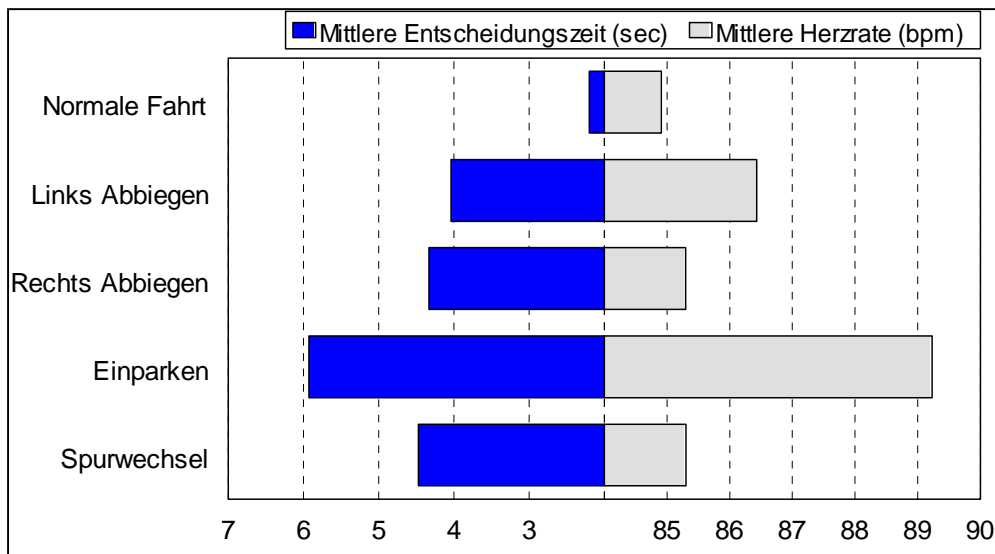


Abb. 8.04:  
Vergleich der  
Situations-  
klassen,  
Entschei-  
dungszeit und  
Herzrate

### 8.2.2 Falsche Antwortreaktionen in der Nebenaufgabe

Als zentraler kognitiver Parameter der Nebenaufgabe wurde die Entscheidungszeit bis zur nächsten richtigen Antwort verwendet. Als zusätzliche Informationsquelle wurde gleichzeitig aber auch die Anzahl falscher Antwortreaktionen protokolliert. Diese wurden dann in das Verhältnis zu den insgesamt gegebenen Reaktionen gesetzt und als prozentualer Anteil falscher Reaktionen umgerechnet. Die Datenauswertung belegt durchgängig, daß falsche Antwortreaktionen bei der vergleichsweise einfachen Signalerkennungsaufgabe eine Ausnahme darstellen. Im statistischen Sinne handelt es sich bei dieser Variable um ein sog. „seltenes Ereignis“, das nicht normalverteilt ist, sondern eine rechtsschiefe (linksgipflige) Verteilung aufweist. Daher dürfen die Häufigkeitsangaben innerhalb der verschiedenen Situationsklassen nur zurückhaltend interpretiert werden.

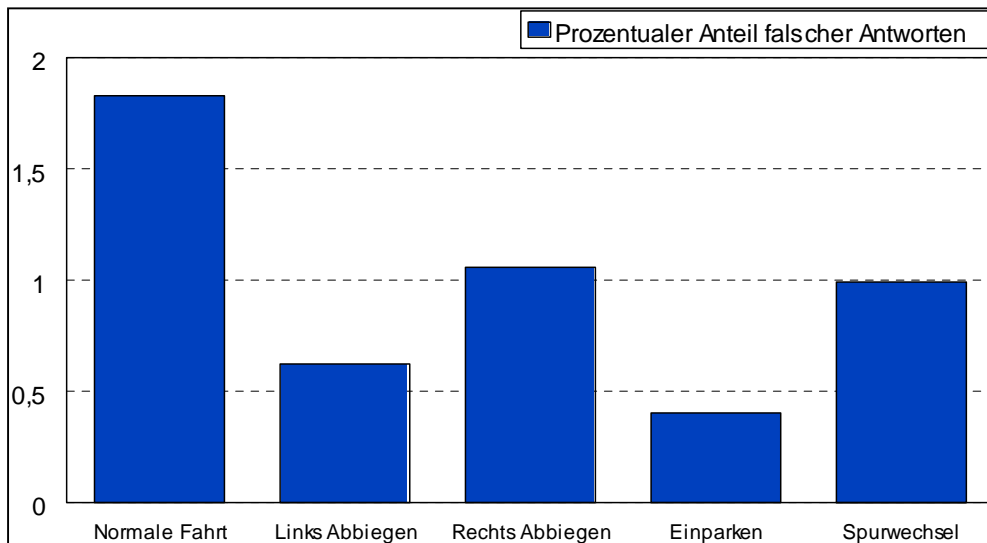


Abb. 8.05:  
Vergleich der  
Situations-  
klassen,  
prozentualer  
Fehleranteil

### 8.2.3 Die Aufteilung in Situationsklassen: Lenkradbewegungen

Mit der Erfassung der Lenkradbewegungen wurde die Erwartung verbunden, der Entscheidungszeit als mentalem und der Herzrate als physiologischem einen objektiven Parameter als Beanspruchungsmaß gegenüberstellen zu können. Beim Vergleich der Situationsklassen zeigt sich – vergleichbar den Ergebnissen der übrigen Beanspruchungsparameter – eine Stufung der Lenkradvarianz von der normalen Fahrtbedingung über Spurwechselforgänge und Abbiegemanöver bis hin zu der Kategorie „Einparken“.

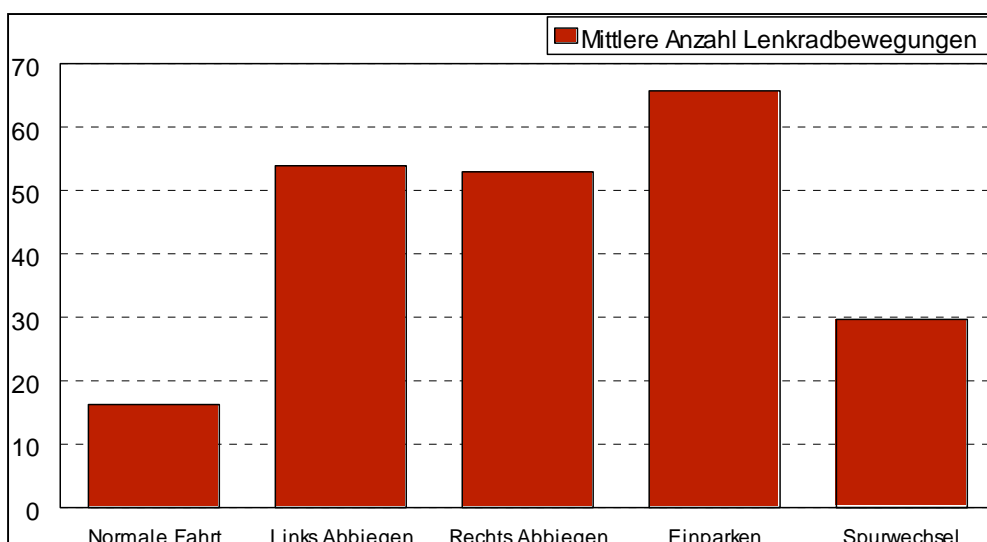


Abb.:8.06  
Vergleich der  
Situations-  
klassen,  
Lenkradbe-  
wegungen

Eine detaillierte Übersicht über den korrelativen Zusammenhang der verschiedenen Meßebenen findet sich unter 8.5.

### 8.3 Vergleich der Abbiegemanöver

Als Modifikation der Voruntersuchung wurde bei der Hauptuntersuchung eine Differenzierung zwischen einfachen und komplexen Abbiegevorgängen vorgenommen, in der Erwartung, daß sich die als komplex definierten Situationen auch anhand der gewählten Parameter als stärker belastend herausstellen werden.

Ein Häufigkeitsvergleich zwischen den beiden Klassen ergab, daß für beide Abbiegerichtungen der Anteil an komplexen Manövern deutlich überwiegt, und zwar sowohl in bezug auf die Dauer der Messung als auch in Bezug auf die Anzahl der Meßzeitpunkte.

Tab. 8.03: Prozentualer Anteil komplexer Abbiegevorgänge gegenüber einfachen Manövern

Kategorie	Anzahl (%)	Dauer (%)
links abbiegen	63,12	67,89
rechts abbiegen	60,68	68,49

Hinsichtlich der Entscheidungszeiten werden Unterschiede zwischen einfachen und komplexen Abbiegevorgängen deutlich. Weniger eindeutig sind die Unterschiede bezüglich der Herzrate, sie erlauben keine statistischen Aussagen.

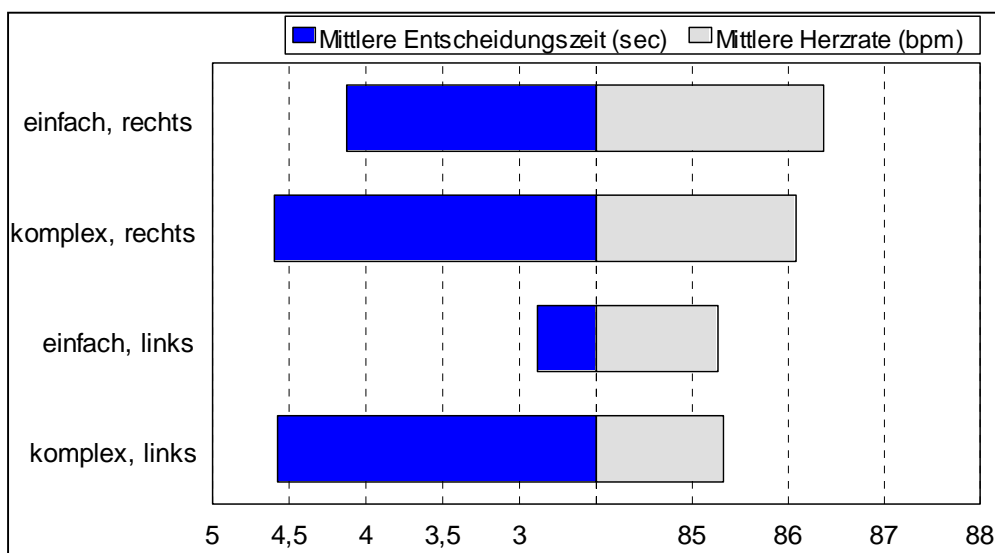


Abb. 8.07: Vergleich der Abbiegemanöver, Entscheidungszeit und Herzrate

Die in Abb. 8.07 dargestellten Unterschiede erreichen nur beim komplexen Linksabbiegen das Signifikanzkriterium (Tab. 8.04).

Tab. 8.04: Mittelwertvergleich der Reaktionszeiten und Herzraten im Vergleich Abbiegen rechts/links

Bedingung Abbiegen rechts/links	Richtung	Gruppe	Mittelwert	t-Wert	Signifikanz (2-seitig)
Herzrate	Rechts	Einfach	86,36	,606	,546
		Komplex	86,08		
Reaktionszeit	Rechts	Einfach	4,12	-,398	,372
		Komplex	4,59		
Herzrate	Links	Einfach	85,26	-,196	,845
		Komplex	85,32		
Reaktionszeit	Links	Einfach	2,88	-4,090	,000**
		Komplex	4,57		

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

## 8.4 Die Aufteilung in Geschwindigkeitsklassen

Die Auswertungsprozeduren in der Hauptuntersuchung ermöglichten als zusätzlichen Aspekt gegenüber der Pilotuntersuchung eine Unterscheidung zwischen einer Stand- und Fahrtbedingung und darüberhinaus die Unterteilung in verschiedene Geschwindigkeitsklassen.

### 8.4.1 Der Stand-Fahrtvergleich

Für die Messung im Straßenverkehr wurden bedeutsame Unterschiede zwischen der Stand- und Fahrtbedingung hinsichtlich der Beanspruchungswirkung auf den Fahrer erwartet. In die Standbedingung wurden dabei Schrittgeschwindigkeiten von 0 – 5 km/h eingeschlossen.

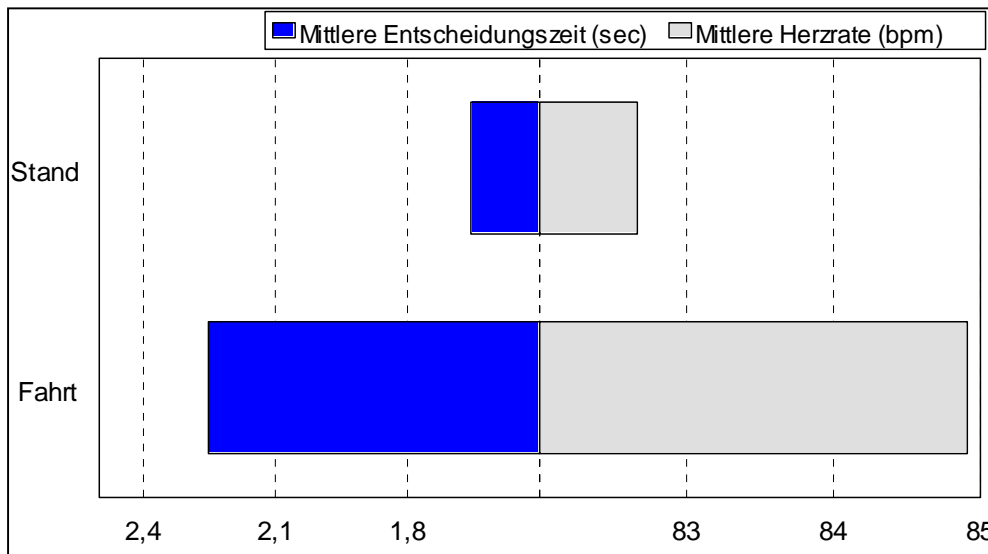


Abb. 8.08:  
Vergleich der  
Stand-  
Fahrtbe-  
dingung,  
Entscheid-  
ungszeit und  
Herzrate

Es zeigten sich deutliche Mittelwertunterschiede sowohl bei der Nebenaufgabenleistung als auch bei der Herzrate. Ein statistischer Mittelwertvergleich (t-Test, Tab. 8.05) zeigt, daß diese Unterschiede eindeutig als überzufällig angesehen werden können.

Tab. 8.05.: Mittelwertvergleich der Reaktionszeiten und Herzraten im Vergleich Stand-/Fahrtbedingung, keine Situationsklassifikation

Bedingung Keine Klassifikation	Gruppe	Mittelwert	t-Wert	Signifikanz (2-seitig)
Herzrate	Stand	82,67	-7,483	,000**
	Fahrt	85,08		
Reaktionszeit	Stand	1,67	-7,523	,000**
	Fahrt	2,25		

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

#### 8.4.2 Vergleich der Geschwindigkeitsklassen: Herzrate und Nebenaufgabe

Neben dem oben dokumentierten Unterschied zwischen der Standbedingung und dem Mittelwert für die gesamte Fahrtbedingung zeigen sich auch innerhalb der einzelnen Geschwindigkeitsklassen deutliche Niveauschwankungen. Bei beiden Meßgrößen stellte sich der Bereich zwischen 20 und 40 km/h als am stärksten belastend heraus.

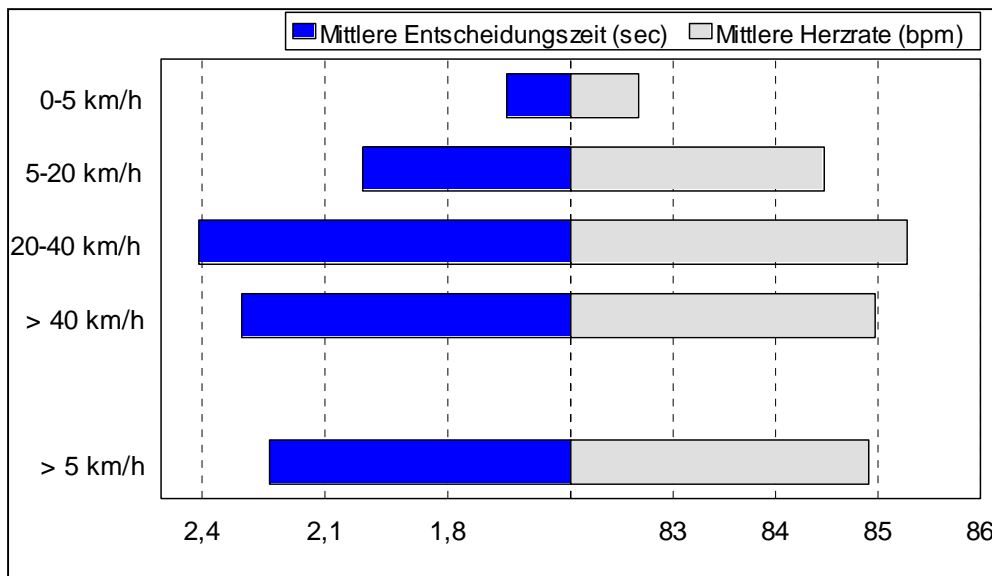


Abb. 8.09: Vergleich der Geschwindigkeitsklassen, ohne Situationsklassifikation, Entscheidungszeit und Herzrate

### 8.4.3 Vergleich der Geschwindigkeitsklassen: Lenkradbewegungen

Die geringste Lenkradvarianz wurde im Stadtverkehr bei hohen Geschwindigkeiten schneller als 40 km/h registriert, die häufigsten Lenkradbewegungen hingegen fanden bei Geschwindigkeiten zwischen 5 bis 20 km/h statt. Im Gegensatz zu den anderen Parametern konnte hier kein signifikanter Unterschied zwischen Fahrt- und Standbedingung beobachtet werden, auch bei geringfügigen Geschwindigkeiten bis hin zum Stillstand des Fahrzeugs wurden Lenkradbewegungen registriert. Zwischen den einfachen und den komplexen Abbiegemanövern bestehen keine statistisch nachweisbaren Mittelwertunterschiede, dies ergab ein hier nicht einzeln aufgeführter t-Test für gepaarte Stichproben.

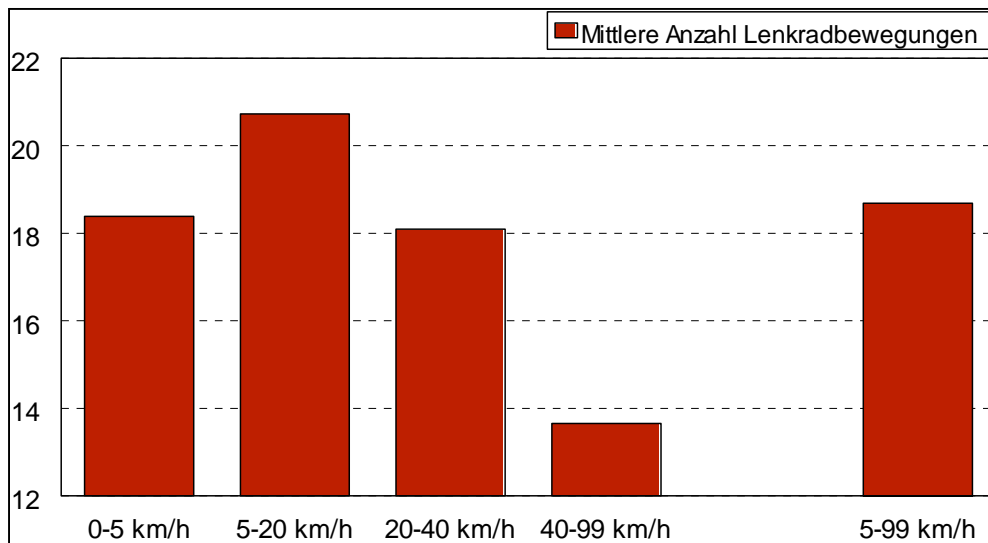


Abb. 8.10:  
Vergleich der  
Geschwindig-  
keitsklassen,  
ohne  
Situations-  
klassifikation,  
Lenkradbe-  
wegungen

## 8.5 Das Verhältnis der Beanspruchungsparameter zueinander

Neben der Beschreibung der Einzelparameter ist für das verwendete mehrkanalige Untersuchungsdesign auch die Frage nach dem Verhältnis der verschiedenen Parameter untereinander von Bedeutung. Dabei tauchen bei zeitreihenbasierten sequentiellen Interaktionsanalysen wie in der vorliegenden Untersuchung schnell meßmethodische Probleme auf, die u.a. auf zeitlich versetzten Verschiebungen der Wirksamkeit von Effekten beruhen können (vgl. FREY, BENTE & FRENZ, 1993). Aus diesem Grund wurden in die Korrelationsanalysen als Produkt-Moment-Korrelation nach PEARSON anstelle der Einzelwerte die Mittelwerte der einzelnen Untersuchungssituationen einbezogen. Dieses Vorgehen bringt deutlich weniger Einzelpaare mit sich, so daß weitaus höhere Zusammenhänge zum Erreichen des Signifikanzkriteriums erforderlich sind.

### 8.5.1 Die Kovariation der verschiedenen Parameterebenen

Aus den Korrelationsanalysen über die verschiedenen Situationsklassen geht hervor, daß der mentale Parameter „Entscheidungszeit“ in überzufälligen



Zusammenhang mit dem kardiovaskulären Indikator, der Herzrate, steht. Auch die Lenkradbewegungen als objektives Beanspruchungsmaß stehen in deutlichem Zusammenhang zu den beiden genannten Beanspruchungsgrößen. Ebenso eindimensional, aber zahlenmäßig weniger abgesichert ist die Relation der Beanspruchungsparameter zum Fehlerprozent, dem Anteil falscher Aufgabenbeantwortung. Allgemein ist der Anteil um so geringer, je höher die Beanspruchungsgrößen ausfallen.

Tab. 8.06: Korrelationen der Beanspruchungsparameter über die verschiedenen Situationsklassen (Mittelwerte)

Parameter	Herzrate	Lenkbewegungen	Prozentualer Anteil falscher Antworten
Entscheidungszeit	,762*	,670	-,356
Herzrate		,646	-,457
Lenkbewegungen			-,687

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

Vergleichbare Zusammenhänge ergeben sich aus einer korrelationsanalytischen Betrachtung der Mittelwertvariablen über die verschiedenen Geschwindigkeitsklassen.

Tab. 8.07: Korrelationen der Beanspruchungsparameter über die verschiedenen Geschwindigkeitsklassen (Mittelwerte)

Parameter	Herzrate	Lenkbewegungen	Prozentualer Anteil falscher Antworten
Entscheidungszeit	,972**	-,378	,592
Herzrate		-,230	,698
Lenkbewegungen			,335

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

## **8.5.2 Das subjektive Erleben im Vergleich mit kognitiven und physiologischen Daten**

### **8.5.2.1 Aufbereitung der Feedbackfragebögen und Gruppenbildung**

Bei der Verwendung des Feedback-Fragebogens fand eine Unterscheidung zwischen der Hauptaufgabe (Fahrtbedingung) und Nebenaufgabe (Beantwor-

tung der Lichtsignale) statt, wozu jeweils die gleichen Angaben auf einer vierstufigen LIKERT-Skala zur Beanspruchung erfragt wurden. Die Aussagen „Die (jeweilige) Aufgabe war anstrengend/nicht anstrengend“; „Ich konnte die (jeweilige) Aufgabe gut/schlecht bearbeiten“ und „Die (jeweilige) Aufgabe war für mich ermüdend/nicht ermüdend.“ der Items 1., 2. und 4. wurden zu einem mittleren Summenwert jeweils für Haupt- und Nebenaufgabe zusammengefaßt. Daraufhin wurden die Versuchsteilnehmer *post hoc* in drei Gruppen mit je stark, mittel und wenig belastender Selbsteinschätzung unterteilt. Numerisch entspricht eine niedrige Zahl in den einzelnen Variablen/Gruppenbezeichnungen einer hohen Beanspruchung (Items wie „stark anstrengend“).

Tab. 8.08: Gruppen-Häufigkeitsverteilung der Versuchspersonenpopulation, unterteilt nach subjektivem Beanspruchungserleben

Gruppe	Beanspruchung	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozent
1	Hoch	27	28,1	30,3
2	Mittel	43	44,8	48,3
3	Niedrig	19	19,8	21,3
Gesamt		89	92,7	100,0

### **8.5.2.2 Extremgruppenvergleich nach subjektivem Erleben zwischen den Gruppen der hoch versus niedrig Belasteten**

Populationsunterschiede aufgrund unterschiedlich erlebter subjektiver Beanspruchung lassen sich anhand von Extremgruppenvergleichen aufzeigen. Hierbei wurden die Gruppe mit stark belastend erlebter Selbsteinschätzung der Gruppe mit schwacher Beanspruchung gegenübergestellt. Die Angaben zur subjektiven Beanspruchung durch die Hauptaufgabe korrelieren überzufällig mit denen zur Nebenaufgabe ( $r = ,497$ ,  $p < ,000^{**}$ ); das bedeutet, diejenigen, die die Hauptaufgabe als schwierig erlebten, fanden auch die Nebenaufgabe eher belastend. Die Signifikanztests konnten aber in den meisten Fällen als t-Test für unabhängige Stichproben auf Grundlage der gemittelten Feedback-Angaben keine statistisch bedeutsamen Mittelwertunterschiede zwischen den Extremgruppen aufzeigen. Beim Vergleich der verschiedenen Situationsklassen verfehlt bei der Klasse „Abbiegen links komplex“ aufgrund der Varianzinhomogenität (Levene-Test) der Mittelwertunterschied von 3,69 sec (Gruppe der subjektiv hoch Belasteten)

gegenüber 6,86 sec (Gruppe der niedrig Belasteten) knapp das Signifikanzkriterium mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < ,057$  ( $T = -2,03$ ).

### **Kovariation der objektiven und der subjektiven Beanspruchungsparametern**

In Form einer Korrelationsanalyse wurden als objektiver Beanspruchungsparameter die Entscheidungszeit und die Herzrate für die verschiedenen Situationsklassen mit dem nach dem unter 8.5.2.1 beschriebenen Verfahren gemittelten Beanspruchungswert für die subjektiv erlebte Beanspruchung in einen statistischen Zusammenhang gebracht.

Tab. 8.09: Korrelationen zwischen subjektiver Beanspruchung (gemittelter Gesamtwert) und kognitiven und physiologischen Parametern

Situation	Entscheidungszeit	Herzrate
Keine Klassifikation	,034	,063
Abbiegen links einfach	,090	,065
Abbiegen links komplex	,220 ( $p < ,051$ )	,044
Abbiegen rechts einfach	-,063	,013
Abbiegen rechts komplex	-,036	,065
Einparken	,137	-,022
Spurwechsel	,084	,072

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

Allgemein lassen sich nur schwache Zusammenhänge beobachten, nur in der Kategorie „Links Abbiegen komplex“ zeigt sich ein fast signifikanter Zusammenhang zwischen hoher Reaktionszeit und niedriger erlebter Beanspruchung.

### **8.6 Geschlechtsunterschiede**

In t-Tests für unabhängige Stichproben wurde der Frage nach überzufälligen Mittelwertunterschiede hinsichtlich der Geschlechtszugehörigkeit in den verschiedenen Bedingungen des Experiments nachgegangen. Zunächst wurden die Reaktionszeiten diesbezüglich untersucht:

Tab. 8.10: Mittelwertvergleich der Reaktionszeiten in den verschiedenen Situationen, getrennt nach Geschlecht

Reaktionszeiten	Geschlecht	Mittelwert	t-Wert	Signifikanz (2-seitig)
Keine Klassifikation	Weiblich	2,51	1,69	,094
	Männlich	2,03		
Abbiegen links einfach	Weiblich	2,92	,06	,947
	Männlich	2,89		
Abbiegen links komplex	Weiblich	6,77	2,23	,034*
	Männlich	3,95		
Abbiegen rechts einfach	Weiblich	4,96	1,17	,244
	Männlich	3,80		
Abbiegen rechts komplex	Weiblich	5,48	1,16	,112
	Männlich	3,85		
Einparken	Weiblich	5,38	-,10	,917
	Männlich	5,50		
Spurwechsel	Weiblich	5,87	2,10	,045*
	Männlich	3,63		

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

Allgemein weisen weibliche Versuchsteilnehmerinnen längere Entscheidungszeiten auf als männliche Probanden. In zwei Fällen („Abbiegen links komplex“ und „Spurwechsel“) erreichen diese Unterschiede das Signifikanzkriterium.

Der zweite Vergleich geht Geschlechtsunterschieden hinsichtlich der mittleren Geschwindigkeit nach.

Tab. 8.11: Mittelwertvergleich der Durchschnittsgeschwindigkeit in den verschiedenen Situationen, getrennt nach Geschlecht

Reaktionszeiten	Geschlecht	Mittelwert	t-Wert	Signifikanz (2-seitig)
Keine Klassifikation	Weiblich	29,50	-2,327	,022*
	Männlich	29,88		
Abbiegen links einfach	Weiblich	27,16	-,195	,846
	Männlich	27,40		
Abbiegen links komplex	Weiblich	19,07	-2,733	,008**
	Männlich	21,10		
Abbiegen rechts einfach	Weiblich	22,84	-2,772	,007**
	Männlich	25,50		
Abbiegen rechts komplex	Weiblich	25,25	-,365	,716
	Männlich	25,58		
Einparken	Weiblich	13,22	-2,330	,022*
	Männlich	15,68		
Spurwechsel	Weiblich	33,19	,477	,635
	Männlich	32,70		

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

Bis auf eine (nicht-signifikante) Kategorie (Spurwechsel) weisen männliche Versuchsteilnehmer im Schnitt durchweg höhere Geschwindigkeiten auf. Dieser Mittelwertunterschied erreicht dabei mehrmals das Signifikanzkriterium, dabei macht sich die Differenz als absoluter Betrag in km/h nicht sehr deutlich bemerkbar. Ein weiterer signifikanter Unterschied deutlich häufigerer Lenkradbewegungen zeigt sich bei den Frauen für die Klasse „Keine Klassifikation“ ( $p < ,007^{**}$ ), allerdings in keiner der übrigen Kategorien. Im Vergleich der Herzraten tauchen keine bedeutsamen Unterschiede auf.

## **8.7 Die Evaluation des CARIN-Navigationsystem**

Gesucht wurde ein Verfahren zur Bewertung unterschiedlicher Mensch-Maschine-Schnittstellen im Fahrzeug, wobei insbesondere moderne, computer-gestützte Fahrerunterstützungssysteme im Mittelpunkt stehen. Als prototypisches Beispiel für ein solches Telematik-Zusatzsystem wurde im Rahmen der experimentellen Datenerhebung eine Meßreihe zur Wirkung des Navigationssystem durchgeführt.

### **8.7.1 Kurzbeschreibung des CARIN-Navigationssystems**

Das CARIN-Navigationssystem der Firma MANNESMANN VDO ist zur Zeit als optionaler Ausstattungsbestandteil für Pkw auf dem Markt erhältlich. Die eingesetzte Version arbeitete auf Grundlage einer digitalisierten Deutschlandkarte, auf der auch der Kölner Innenstadtbereich erfaßt ist.

### **8.7.2 Versuchsaufbau der Meßreihe zum CARIN-Navigationssystem**

Experimentell wurden zwei Versuchsbedingungen gegenübergestellt. In der üblichen Bedingung „Ortskundiger Beifahrer“ gab der Versuchsleiter der steuernden Versuchsperson präzise Anweisungen zur Versuchsstrecke. Diese

Anweisungen hatten möglichst vorausschauend und unmißverständlich zu erfolgen und konnten interaktiv von der Versuchsperson nachgefragt und vom Versuchsleiter wiederholt werden. Demgegenüber übernahm in der „CARIN“-Bedingung das Navigationssystem die vom Versuchsleiter gesteuerte Routenvorgabe der identischen Versuchsstrecke. Die Weganweisung wurde durch eine Lautsprecherstimme akustisch dargeboten und gleichzeitig schematisch auf dem Monitor des Bordcomputers visualisiert.

Das CARIN-Navigationssystem dient in erster Linie dazu, den Fahrer auf dem schnellst und/oder bestmöglichen Wege vom Abfahrtsort zum Ziel zu führen. Im Gegensatz dazu sollte bei den Versuchsfahrten ein Rundkurs durch das Kölner Stadtgebiet gefahren werden. Somit mußte der Versuchsleiter während der Fahrt Änderungen der Zieleingabe so vornehmen, daß eine möglichst geringe Beeinträchtigung der Versuchsbedingungen für die Versuchsperson eintrat.

Als Zusatzfragestellung der Untersuchung wurde für den Vergleich der Beifahrer-Bedingungen gegenüber der CARIN-Bedingung eine kleinere Stichprobe vorgesehen. So wurden letztlich 20 Versuchspersonen mit dem Navigationssystem getestet, wobei sich im Zuge der Auswertung die Stichprobengröße aufgrund von Datenverlusten um eine Person auf  $N = 19$  reduzierte. Der CARIN-Stichprobe wurde eine nach Geschlecht und Fahrleistung parallelisierte Gruppe der übrigen Versuchspersonen ( $N = 20$ ) gegenübergestellt.

### **8.7.3 Allgemeine Erfahrungen mit dem Navigationssystem**

Alles in allem kann die Technologie des CARIN-Navigationssystems zum Untersuchungszeitpunkt als weitgehend ausgereift angesehen werden. Bei einer routinemäßigen Anwendung des Navigationssystem im Rahmen der Untersuchungsdurchführung fielen aber auch verschiedene verbesserungswürdige Details auf: In einer nicht unerheblichen Zahl von Versuchsfahrten (ca. 20 Prozent) schien die Kommunikation des Navigationssystems mit der Ortssensorik via Satellit und/oder den Radsensoren erheblich beeinträchtigt zu sein. Ergebnis waren zum Teil völlig ungeeignete Routenanweisungen, die in besonders auffälligen Fällen durch den Versuchsleiter korrigiert werden mußten, um einen

reibungslosen Ablauf der Versuchsserie sicherzustellen. Zusätzlich wurde beobachtet, daß die Ortsangaben des Systems die tatsächlichen Entfernungen oft überschätzen, Angaben wie "In 100 Metern rechts abbiegen" entsprachen oft tatsächlichen 70 bis 80 Metern. Noch folgenschwerer waren solche Meßungenauigkeiten im kleineren Bereich, wo die Anweisung "In 30 Metern abbiegen" einer tatsächlichen Entfernung von nur etwa 10 Metern entsprach, was zu einem Verlassen der vorgesehenen Strecke führte.

Insgesamt wurden im Schnitt pro Versuchsfahrt 1,8 Abweichungen von der vorgegebenen Standardmeßstrecke beobachtet. Sie wurden vom Versuchsleiter außer in Extremfällen nicht kommentiert oder korrigiert, da das Navigationssystem von sich aus eine neue Zielführung zum (Zwischen-) Zielort vornahm. Im Schnitt wurde die Versuchsstrecke bei Verwendung des CARIN-Systems um 2,3 km verlängert.

#### **8.7.4 Statistischer Vergleich der Beifahrer-/CARIN-Bedingungen**

Anhand der parallelisierten Stichprobe aus der Beifahrerbedingung ( $N = 20$ ) und der CARIN-Bedingung ( $N = 19$ ) wurden umfangreiche Mittelwertvergleiche durchgeführt. Untersuchte Parameter waren die mittleren Reaktionszeiten, die Herzrate und die durchschnittliche Geschwindigkeit. Dabei zeigten sich keine Hinweise auf relevante Gruppenunterschiede hinsichtlich der Beifahrer- versus Navigationssystem-Bedingung. Anzeichen auf eine gesteigerte Belastungswirkung durch das Navigationssystem ließen sich nicht erkennen. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit der Auswertung der Pilotmeßreihe.

Tab. 8.12: Vergleich Navigationssystem versus Beifahrerbedingung

Situation	Parameter	Bedingung	Mittelwert	t-Wert	Signifikanz (2-seitig)
Stand, Keine Klassifikation	Reaktionszeit	CARIN-Bedingung	1,66	-,615	,542
		Beifahrer-Bedingung	1,93		
Stand, Keine Klassifikation	Herzrate	CARIN-Bedingung	83,79	,166	,869
		Beifahrer-Bedingung	83,17		
Fahrt, Keine Klassifikation	Reaktionszeit	CARIN-Bedingung	2,47	-,052	,958
		Beifahrer-Bedingung	2,49		
Fahrt, Keine Klassifikation	Herzrate	CARIN-Bedingung	86,24	,222	,826
		Beifahrer-Bedingung	85,39		
Fahrt, Keine Klassifikation	Geschwindigkeit	CARIN-Bedingung	29,69	1,007	,321
		Beifahrer-Bedingung	29,54		
Fahrt, Abbiegen links	Reaktionszeit	CARIN-Bedingung	3,42	-1,966	,062
		Beifahrer-Bedingung	5,80		
Fahrt, Abbiegen links	Herzrate	CARIN-Bedingung	87,69	,191	,850
		Beifahrer-Bedingung	86,94		
Fahrt, Abbiegen links	Geschwindigkeit	CARIN-Bedingung	23,59	,226	,822
		Beifahrer-Bedingung	23,33		
Fahrt, Abbiegen rechts	Reaktionszeit	CARIN-Bedingung	5,07	,413	,682
		Beifahrer-Bedingung	4,65		
Fahrt, Abbiegen rechts	Herzrate	CARIN-Bedingung	86,62	,166	,869
		Beifahrer-Bedingung	85,98		
Fahrt, Abbiegen rechts	Geschwindigkeit	CARIN-Bedingung	23,51	-1,722	,094
		Beifahrer-Bedingung	24,95		
Fahrt, Einparken	Reaktionszeit	CARIN-Bedingung	4,76	-,631	,533
		Beifahrer-Bedingung	5,86		
Fahrt, Einparken	Herzrate	CARIN-Bedingung	90,53	,335	,740
		Beifahrer-Bedingung	89,27		
Fahrt, Einparken	Geschwindigkeit	CARIN-Bedingung	15,27	1,487	,147
		Beifahrer-Bedingung	13,33		
Fahrt, Spurwechsel	Reaktionszeit	CARIN-Bedingung	4,13	-1,303	,321
		Beifahrer-Bedingung	6,01		
Fahrt, Spurwechsel	Herzrate	CARIN-Bedingung	87,28	,233	,818
		Beifahrer-Bedingung	86,35		
Fahrt, Spurwechsel	Geschwindigkeit	CARIN-Bedingung	32,16	-1,240	,225
		Beifahrer-Bedingung	33,96		

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

Auch der Mittelwertvergleich der Lenkradbewegungen zeigt keine überzufälligen Ergebnisse auf.



Tab. 8.13: Mittelwertvergleich der Lenkradbewegungen, getrennt nach Versuchsbedingung

Bedingung	Gruppe	Mittelwert	t-Wert	Signifikanz (2-seitig)
Fahrt Keine Klassifikation	CARIN-Bedingung	16,59	-,881	,385
	Beifahrer-Bedingung	18,67		
Abbiegen Links einfach	CARIN-Bedingung	45,85	-1,478	,149
	Beifahrer-Bedingung	81,49		
Abbiegen Links komplex	CARIN-Bedingung	54,44	-1,367	,181
	Beifahrer-Bedingung	73,98		
Abbiegen Rechts einfach	CARIN-Bedingung	59,63	,012	,991
	Beifahrer-Bedingung	59,50		
Abbiegen Rechts komplex	CARIN-Bedingung	63,70	,239	,812
	Beifahrer-Bedingung	60,24		
Einparken	CARIN-Bedingung	31,07	,379	,707
	Beifahrer-Bedingung	27,79		
Spurwechsel	CARIN-Bedingung	76,61	1,033	,311
	Beifahrer-Bedingung	62,01		

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

Eine angeschlossene Detailanalyse hinsichtlich der Reaktionszeiten mit einer Trennung in einfache und komplexe Abbiegemanöver konnte zwar auch keine eindeutig signifikanten Unterschiede belegen, aber tendenziell deuten zwei von vier Mittelwertvergleichen darauf hin, daß zumindest im Rahmen der Abbiegemanöver meßbare Unterschiede hinsichtlich der Bedingung mit Navigationssystem gegenüber Beifahrer-Navigation zu verzeichnen sind.

Tab. 8.14: CARIN-Studie: Vergleich der Entscheidungszeit, getrennt nach Komplexität des Abbiegevorgangs

Situation	Bedingung	Mittelwert	t-Wert	Signifikanz (2-seitig)
Abbiegen Links einfach	CARIN-Bedingung	2,74	-,237	,814
	Beifahrer-Bedingung	2,89		
Abbiegen Links komplex	CARIN-Bedingung	4,14	-1,991	,060
	Beifahrer-Bedingung	7,38		
Abbiegen Rechts einfach	CARIN-Bedingung	6,32	1,969	,064
	Beifahrer-Bedingung	3,26		
Abbiegen Rechts komplex	CARIN-Bedingung	4,07	-1,366	,186
	Beifahrer-Bedingung	5,86		

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

Neben den objektiven Daten ist auch der Vergleich der beiden Versuchsbedingungen hinsichtlich der subjektiven Befindlichkeitsangaben von Bedeutung.

Tab. 8.15: CARIN-Studie: Mittelwertvergleich, getrennt nach subjektivem Erleben (Extremgruppen)

Item	Bewertung	Bedingung	Mittelwert	t-Wert	Signifikanz (2-seitig)
Anstrengend	Hauptaufgabe	CARIN-Bedingung	3,22	-,932	,358
		Beifahrer-Bedingung	3,53		
Überfordert	Hauptaufgabe	CARIN-Bedingung	2,82	-2,981	,005**
		Beifahrer-Bedingung	3,41		
Gut zu bearbeiten	Hauptaufgabe	CARIN-Bedingung	1,53	2,897	,009**
		Beifahrer-Bedingung	1,06		
Ermüdend	Hauptaufgabe	CARIN-Bedingung	3,56	,089	,929
		Beifahrer-Bedingung	3,53		
Zu Beginn leicht zu bearbeiten	Hauptaufgabe	CARIN-Bedingung	1,89	2,299	,028
		Beifahrer-Bedingung	1,29		
Am Ende leicht zu bearbeiten	Hauptaufgabe	CARIN-Bedingung	1,50	2,066	,050*
		Beifahrer-Bedingung	1,12		
Anstrengend	Hauptaufgabe	CARIN-Bedingung	3,11	-1,365	,182
		Beifahrer-Bedingung	3,47		
Überfordert	Nebenaufgabe	CARIN-Bedingung	2,89	-1,787	,008**
		Beifahrer-Bedingung	3,24		
Gut zu bearbeiten	Nebenaufgabe	CARIN-Bedingung	1,61	-,192	,849
		Beifahrer-Bedingung	1,65		
Ermüdend	Nebenaufgabe	CARIN-Bedingung	3,61	1,091	,283
		Beifahrer-Bedingung	3,35		
Zu Beginn leicht zu bearbeiten	Nebenaufgabe	CARIN-Bedingung	1,72	1,540	,133
		Beifahrer-Bedingung	1,41		
Am Ende leicht zu bearbeiten	Nebenaufgabe	CARIN-Bedingung	1,50	,152	,880
		Beifahrer-Bedingung	1,47		

\*\* Wert ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

\* Wert ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

Erwartungsgemäß zeigen sich bei der subjektiven Bewertung der Nebenaufgabe ("Die Bearbeitung der Lichtsignale während der Fahrt war ermüdend/anstrengend etc.") keine statistisch relevanten Unterschiede. Die Fahraufgabe hingegen, bei der sich die Veränderung der Versuchsbedingung am deutlichsten bemerkbar machte, zeigte in verschiedenen Fällen überzufällige Unterschiede.



# 9

## Diskussion

### 9.1 Zusammenfassende Betrachtung der Versuchsergebnisse

Gesucht wurde ein Verfahren, mit dem sich unter realen Verkehrsbedingungen mentale Beanspruchungsspitzen abbilden lassen. Die Betrachtung der einschlägigen verkehrspsychologischen Literatur hatte ergeben, daß für die Belastungswirkung der Fahraufgabe, der Fahrt unter realen Bedingungen, kein zufriedenstellendes Maß zur Leistungsbewertung der Fahrtätigkeit vorliegt. Aus diesem Grund wurde mit dem Doppelaufgabenparadigma ein alternativer Indikator konzipiert und eingesetzt. Experimentell wurde die gesamte Spanne der Informationsverarbeitungskapazität ausgefüllt. Die über eine permanente Nebentätigkeit mit Hilfe einer Reizdiskriminationsaufgabe erhobene kognitive Restverarbeitungskapazität erlaubt so indirekt Aussagen über die mentale Belastung der Hauptaufgabe in unterschiedlichen Untersuchungssituationen. Auf dieser theoretischen Grundlage wurde somit ein Meßinstrument entwickelt, mit dem unterschiedlich komplexe reale Verkehrssituationen hinsichtlich der benötigten Informationsverarbeitungskapazität differenziert werden können. Zusätzlich zur mentalen Beanspruchung wurde die Herzrate als physiologischer Beanspruchungsparameter dokumentiert.

Für eine allgemeine Test-Retest-Reliabilitätsbeurteilung wurden die zentralen Mittelwerte aus Pilot- und Hauptmeßreihe einander gegenübergestellt. Neben deutlichen Korrelationen der verschiedenen Parameterebenen belegen auch generalisierte Reliabilitätsmaße (Cronbachs-Alpha) den statistisch abgesicherten Zusammenhang beider Versuchsserien. Insgesamt kann von recht reliablen Messungen bei einer ausgeprägten Aufgabenhomogenität ausgegangen werden. Zur Sichtung der Versuchsdatenstruktur wurde eine Faktorenanalyse über die

verschiedenen zentralen Variablen der Untersuchung durchgeführt. Hieraus resultierten die vier zentrale Wirkgrößen. Die faktorenanalytisch getrennte Datenstruktur weist Parallelen zu den Befunden des BAST-Projekts (HOYOS & KASTNER, 1986, S. 64f.) auf, die ebenfalls einen vergleichsweise orthogonalen, d.h., unabhängigen Zusammenhang der verschiedenen Meßparameter untereinander dokumentierten. Auf die Notwendigkeit von Datenreduktionsverfahren wie der Faktorenanalyse zur Interpretation größerer Datenmengen aus verschiedenen Kanälen wurde schon im TU Bericht (1978) hingewiesen.

### **9.1.1 Die Verwendung des Nebenaufgabenparadigmas**

Insgesamt kann der Einsatz der Nebenaufgabe zusätzlich zur Hauptaufgabe im Hinblick auf die zugrundeliegende Fragestellung als erfolgreich angesehen werden. In der praktischen Anwendung im realen Straßenverkehr ergaben sich keine Hinweise, die auf eine übermäßige Ablenkungswirkung und damit auf eine unzulässige Verkehrsgefährdung durch den Einsatz der Nebenaufgabe hindeuten. Unfälle oder Beinahe-Unfälle im Rahmen der Versuchsdurchführung sind nicht eingetreten, auch subjektiv wurde die Verbindung von Fahrtätigkeit und Zusatzaufgabe, hier der Signalerkennung, nicht als übermäßige Beanspruchung erlebt.

#### **9.1.1.1 Die Parametrisierung der Nebenaufgabe**

Bei den verschiedenen untersuchten Parametern der Nebenaufgabe stellte sich als relevante Meßgröße die Entscheidungszeit bis zur nächsten richtigen Antwort heraus. Dieses Maß zeigte sowohl inter- als auch intraindividuell eine deutliche Varianz je nach Versuchsbedingung und ließ sich auch im statistischen Sinne als Verteilung mit Annäherung an die Normalverteilungsvorgabe interpretieren. Gleichzeitig beinhaltet dieser Parameter über die ebenfalls erhobene einfache Reaktionszeit hinaus eine Berücksichtigung der Bearbeitungsgüte, da falsche Antworten wie nicht beantwortete Signalkonstellationen behandelt werden können.

Im Zuge der Datenauswertung wurde festgestellt, daß falsche Beantwortungen der Nebenaufgabe eine Ausnahme darstellen und daß diese somit im statistischen Sinne statt einer normalverteilten Variable vielmehr als poisson-verteilte „seltene Ereignisse“ angesehen werden müssen und somit weniger Interpretationshilfen beinhalten. Von einem vergleichbaren Befund berichtet TRÄNKLE (1978), der ebenfalls nur geringfügige fehlerhafte Aufgabenbearbeitungen bei der Ermüdungsnebenaufgabe protokollierte. Übereinstimmend lag bei RIPPER (1993) die Fehlerhäufigkeit von falschen Aufgabenbearbeitungen mit durchschnittlich 0,78 Prozent insgesamt sehr niedrig. Auch BARTMANN (1995) beschreibt die Fehlerhäufigkeit aufgrund ihrer Seltenheit als ein untaugliches Beanspruchungsmaß.

#### **9.1.1.2 Kritik an dem Nebenaufgabenparadigma**

Mit der anhand des Faktorenmodells schematisiert dargestellten Konzentration auf die kognitiven Anteile der Beanspruchung und mit dem gewählten Doppelaufgabenparadigma wurde ein alternativer Zugang gewählt. Dieser Versuchsaufbau stammt aus der Wahrnehmungspsychologie und hat sich im Rahmen angewandter verkehrspsychologischer Forschung unter bestimmten Voraussetzungen bewährt, wird allerdings auch von einigen Autoren kritisch beurteilt (vgl. 5.4.1). Trotz der dokumentierten vielversprechenden Anwendungsbeispiele (u.a. BROWN, 1965, HARMS, 1991, BARTMANN, 1995) wird der Einsatz von Nebentätigkeiten zusätzlich zur Fahraufgabe in aktuellen Veröffentlichungen auch kritisch bewertet. KIEGELAND (1990) hält den Einsatz von Nebentätigkeiten für Langzeitfeldexperimente mit Berufskraftfahrern in realen Arbeitssituationen für zu risikoreich. Unter Bezug auf das Verhältnis von Doppeltätigkeiten zueinander weisen HEIJER, BROOKHUIS, WINSUM & DUYNSTEE (1998) darauf hin, daß die Fahraufgabe in jedem Fall von der Nebenaufgabe beeinflusst wird und sicherheitsrelevante Auswirkungen von Telematiksystemen durch diese Methode nicht unmittelbar quantifiziert werden können. In eine ähnliche Richtung deutet der Kommentar von NILLSON (1997) zu Untersuchungen der Wirkung des Telefonierens am Steuer. Sie wies auf Belege dafür hin, daß in schwierigen Verkehrssituationen die eigentliche Nebenaufgabe, das Telefonieren, rasch zur

Hauptaufgabe werden kann und die Fahraufgabe gleichzeitig übermäßig vernachlässigt wird. Auch UNGERER (1997) betont, daß das Telefonieren am Steuer in sicherheitsrelevantem Ausmaß kognitive Ressourcen von der Fahraufgabe abzieht, unabhängig von einer möglichen Freisprechanlage und dadurch reduzierter motorischer Ablenkung. Von entscheidender Bedeutung sei vielmehr die mentale Verarbeitung des Gesprächsinhalts.

Die Erfahrungen bei der Durchführung und Auswertung der hier beschriebenen Versuchsreihe können die Möglichkeit des Auftretens von Interferenzen zwischen Haupt- und Nebenaufgabe unter Testbedingungen im realen Straßenverkehr weder bestätigen noch widerlegen. Die für die erweitererte Fragestellung der Versuche erforderliche große Stichprobe erlaubte keine Kontrollgruppe für Testfahrten ohne Nebenaufgabe, wobei allein die subjektiv empfundene Beanspruchung mit der Experimentalbedingung hätte verglichen werden können. Aber auch wenn die Frage nach möglichen Interferenzen im Zusammenspiel zwischen Fahr- und Nebentätigkeit durch den Versuchsaufbau nicht abschließend geklärt werden konnte, sind relevante interindividuelle Unterschiede bei der Bearbeitung der Doppelaufgabentätigkeit insgesamt als wenig wahrscheinlich anzusehen. Wenn Interferenzen aufgetreten sind, ist zu erwarten, daß diese durchgängig bei allen Versuchspersonen wirksam wurden. Die weitreichende Standardisierung der Versuchsbedingungen legt dabei nahe, daß sich die gegenseitige Beeinflussung von Haupt- und Nebenaufgabe innerhalb der verschiedenen Leistungsparameter bemerkbar macht und so letztlich in die Messung mit einbezogen mit.

Ein weiterer Kritikpunkt bei der Anwendung von Doppelaufgabentätigkeiten geht davon aus, daß die Annahme eines festgelegten und meßbaren Ausmaßes an Informationsverarbeitungskapazität der Realität nur eingeschränkt gerecht wird. Untersuchungen von COHEN (1987b) oder GALLEY (1998) können als Hinweis darauf verstanden werden, daß größere Informationsbelastungsquantitäten durch vermehrte Konzentration oder geistige Anstrengung (teil-)kompensiert werden. Weiterhin werde die Messung auch erheblich durch zentrale psychische Verarbeitungsvorgänge beeinflußt. COHENS Daten belegen, daß nicht nur die externe Reizumgebung, sondern auch interne Bewertungsvorgänge in Form von Coping sich dann in Form einer Sehfeldverengung bemerkbar machen, wenn die

Bewertung als manifester Stress erlebt wurde. Mit steigender Belastung durch visuelle Information wird vermehrt Aufmerksamkeit für eine detaillierte Blickanalyse eingesetzt. Dies hat zur Folge, daß in größeren Belastungsumgebungen verstärkt oder effektivere Informationsverarbeitungsprozesse ablaufen, so daß vermeindlich niedrigere Verarbeitungsscores protokolliert werden. Auch VERWEY (1996) widerspricht der impliziten Annahme, daß eine Verringerung der mentalen Belastung automatisch zu einer Verbesserung der Leistung führt, da der Mensch bis zu einem gewissen Grade größere Aufmerksamkeitsreserven mobilisieren könne. Vormals (COHEN, 1984) war auch die Bedeutung motivationaler Faktoren angesprochen worden, die die Sehleistung beeinflussen können. So zeigten auch Alltagsbeobachtungen, daß der Lenker eine zu niedrige Belastung, die im Laufe der Zeit zu Monotonie führt, durch nicht-aufgabenbezogene Belastungen wie Gespräche oder Radiohören zu erhöhen sucht. Bei großer Belastung würde allerdings von solchen Nebentätigkeiten Abstand genommen. Solche Kompensationsmechanismen und intrapsychischen Regulationsvorgänge lassen sich experimentell nur schwer kontrollieren, was auch für die durchgeführte Versuchsreihe zutrifft.

### **9.1.2 Die Herzrate und andere physiologische Meßgrößen**

Zusätzlich zu den kognitiven Maßen der Nebenaufgabenbearbeitung wurde auch die körperliche Beanspruchung anhand der Herzrate gemessen. Hier zeigten sich weitgehend Parallelen zur mentalen Beanspruchung, was sich auf Mittelwertbasis durch überzufällige Korrelationen bemerkbar machte. In belastenden Situationen sind Herzrate und Entscheidungszeiten gleichermaßen stärker ausgeprägt als unter weniger belastenden Verkehrsbedingungen. Insgesamt kann damit von einer erfolgreichen Anwendung der Herzrate als dem weitverbreitetsten physiologischen Parameter der empirischen Verkehrsforschung ausgegangen werden. Gleichzeitig deutet die Parallelität kognitiver und physiologischer Meßgrößen auf eine gewisse Redundanz der Information hin, was die Herzrate für künftige, praxisorientierte Anwendungsvorhaben ersetzbar macht.



### 9.1.3 Aufzeichnung von Fahrzeugparametern

Im Rahmen von verkehrspsychologischen Feldexperimenten liegt es nahe, verschiedene Fahrzeugparameter zu erfassen. So wurden auch im hier beschriebenen Experiment mehrere zentrale Fahrzeugvariablen synchron mit den anderen Zeitreihenparametern aufgezeichnet. Für die untersuchte Fragestellung stand dabei die Fahrgeschwindigkeit im Mittelpunkt des Interesses. Anhand der simultan erhobenen Zeitreihen läßt sich zum einen die Unterscheidung zwischen Stand- und Fahrbedingung vornehmen, die erwartungsgemäß einen eindeutigen Einfluß auf die Beanspruchungswirkung aufwies. Gleichzeitig lassen sich innerhalb der verschiedenen Geschwindigkeitsklassen einzelne Beanspruchungsspitzen isolieren. Von einer alternativen Verwendung des Geschwindigkeitparameters berichtet WALTER (1989), der anhand von Fahrtenschreiberdaten die im Vergleich von analogen mit digitalen Tachometern eine häufigere Geschwindigkeitsvariation der unergonomischeren Digitalanzeige ermittelte.

Mit dem telemetrischen Lenkradsensor wurde eine zusätzliche objektive Meßgröße in das Versuchsinstrumentarium eingefügt. Dabei darf dieser Beanspruchungsparameter nicht als Maß für die Qualität der Fahraufgabe generalisiert werden. Das Meßinstrumentarium erlaubte keine Kontrolle der Geradeausanteile der Fahrstrecke, so daß die Aufzeichnung der Lenkbewegungen eine Mischung aus belastungsabhängigen Lenkradoszillationen und richtungsverändernden Lenkmanövern darstellt. Aus diesem Grund kann diese Variable nicht unmittelbar übertragen werden auf mögliche Abweichungen von einer vorgegebenen Ideallinie, wie dies oftmals in Laborszenarien der Fall ist und dort als Maß für die Bearbeitungsgüte dient.

Dennoch stellt die Erfassung der Lenkradbewegungen einen zusätzlichen Beanspruchungsindikator dar, der mit anderen Maßen in sinnvollem Zusammenhang steht und nach Belastungsgehalt unidimensional mit den beiden Parametern „Entscheidungszeit“ und „Herzrate“ kovariiert. Die Ergebnisse der mentalen und physiologischen Indikatoren lassen sich demnach weitgehend in Beziehung setzen zu dem objektiven Maß der Lenkradbewegung. Dieser Befund deckt sich weitgehend mit der von HOYOS & KASTNER (1986, S. 63) beschriebenen signifikanten Kovariation der Fahrzeugbedientätigkeiten. Für feinere Beanspruchungsmessungen scheint die Lenkradvarianz weniger geeignet zu sein. TRÄNKLE (1978, S.

152) konnte im Rahmen seiner Langzeitversuche keine fahrdauerbedingte Änderung der Korrekturbewegungen feststellen.

Zusätzlich zu den genannten Fahrzeugparametern wurden in den Versuchen Drehzahl und Bremshäufigkeit und -dauer protokolliert. Diese Meßgrößen bieten sich in besonderer Weise für weiterführende Fragestellungen an, bei denen ein direkter Vergleich verschiedener unabhängiger Variablen vorgenommen wird. Da dies in den hier geschilderten Versuchen mit Ausnahme der CARIN-Studie nicht der Fall war, ergaben sich für die allgemeine Fragestellung aus diesen Fahrzeuggrößen keine unmittelbaren Interpretationshilfen.

#### **9.1.4 Die Situationstaxonomie und Geschwindigkeitsaufteilung**

Aufbauend auf einer umfangreichen verkehrspsychologischen Forschungstradition wurde den Testfahrten im realen Straßenverkehr ein Situationsklassifikationsschema zugrunde gelegt, innerhalb dessen Unterschiede der Beanspruchungswirkung durch die Fahraufgabe identifiziert werden sollten. Die zeitreihenbasierten Beanspruchungsparameter Reaktionszeit und Herzrate erlaubten hierfür erwartungsgemäß eine eindeutige Differenzierung zwischen den verschiedenen definierten Verkehrssituationen. So konnte eine Stufung von verschiedenen Belastungssituationen von der Standbedingung über die einfache Fahrt geradeaus bis hin zu verschiedenen Abbiegemanövern und dem Einparken aufgezeigt werden. Insgesamt muß auch für den hier beschriebenen Versuchsaufbau der Bemerkung von ANGENENDT et al. (1987) zugestimmt werden, daß trotz aller Standardisierungsbemühungen die Abgrenzung von Situationen relativ willkürlich bleibt. Trotz dieser Einschränkung erscheint der Versuch als geglückt, ein praxisgerechtes Schema zu erarbeiten, bei dem die zentralen Erkenntnisse vorausgegangener Ansätze mitberücksichtigt wurden.

Die theoretisch definierte Unterteilung zwischen „einfachen“ und „komplexen“ Abbiegevorgängen ließ sich hingegen nur teilweise empirisch bestätigen. Im komplexen Stadtverkehr der gewählten Versuchsstrecke resultierten überwiegend anhand festgelegter Kriterien definierte komplexe Abbiegevorgänge, die sich als belastender als einfache Manöver herausstellen, wobei diese Unterscheidung aber nicht durchgängig das Signifikanzkriterium

erreichte. Die intuitive Erwartung, daß sich das Linksabbiegen als belastender als das Rechtsabbiegen herausstellen würde, fand keine empirische Bestätigung. Ein Grund für diese Tatsache kann darin liegen, daß in der Regel bei Rechtsabbiegevorgängen ebenso wie bei Linksabbiegemanövern mehrere Spuren (Fußgänger, Radfahrer) zu kreuzen waren, was besondere Aufmerksamkeit erforderte. Dieses Ergebnis deckt sich – ebenso wie die empirisch ermittelte Aufteilung besonders belastender Verkehrssituationen – mit den Befunden von HOYOS & KASTNER (1986, S. 68), die keine signifikanten Unterschiede zwischen der Abbiegerichtung belegen konnten.

Die Spezifizierung der Zeitreihendaten und die *post hoc*-Aufteilung in verschiedene Geschwindigkeitsklassen stellt einen weiteren Schritt zu einer Identifikation besonders belastender Verkehrssituationen dar. Neben der Unterscheidung zwischen Stand- und Fahrtbedingung stellte sich auch die Unterteilung in verschiedene Geschwindigkeitsklassen während der Fahrt als bedeutsam heraus. Hierbei zeigte sich, daß weniger die schnelle Fahrt mit mehr als 40 km/h, die auch die meisten Geradeausanteile beinhaltete, sondern vielmehr der Bereich zwischen 20 und 40 km/h für den Fahrer als besonders beanspruchend angesehen werden muß. Verallgemeinert unterstreicht dieses Ergebnis die von FASTENMEIER (1995a, S. 75) dokumentierte Tatsache, daß die schwierigsten Verkehrssituationen meist kurzzeitig im Innenstadtverkehr auftreten, oftmals an einer beschilderten Kreuzung mit Wartepflicht für den Fahrer. Damit scheidet eine hohe Geschwindigkeit als alleinverursachende Beanspruchungswirkung aus, was auch schon in Versuchen zu Geschwindigkeitsbegrenzungen auf Autobahnen belegt wurde (TRÄNKLE, 1978, COHEN, 1987a). Ein linearer Zusammenhang zwischen Fahrgeschwindigkeit und Fahrerbeanspruchung kann somit als nicht gegeben angesehen werden.

### **9.1.5 Die Bedeutung von Populationseffekten**

Empirische verkehrspsychologische Erkenntnisse werden oft auf Grundlage kleiner Versuchspersonenstichproben gewonnen, insbesondere bei vergleichsweise aufwendigen Felduntersuchungen. Diese Populationen mit oftmals  $N < 20$ , in vielen Fällen sogar nur sechs bis acht Probanden, können dabei nicht als

normalverteilt angesehen werden. Dabei besteht dann rasch die Gefahr, daß im statistischen Vergleich das Auftreten überzufälliger Effekte unterdrückt wird. Mit einer Stichprobe von  $N = 100$  basiert die hier dokumentierte Versuchsreihe auf einer für angewandte verkehrspsychologische Fragestellungen außergewöhnlich umfangreichen Stichprobe. Dieser große Stichprobenumfang macht sich zum einen in Form von ausgeprägten Stabilitätsmaßen bemerkbar, so daß insgesamt von einer hohen Reliabilität des Verfahrens ausgegangen werden kann, die sich wiederum vorteilhaft auf die Meßgenauigkeit auswirkt.

Darüberhinaus wurde durch die Versuchspersonenwahl die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Populationseffekten erheblich reduziert. In der Vergangenheit wurde in einigen Studien die Wirkung solcher Stichprobenverzerrungen (überdurchschnittlich gute Fahrer bei FELNÉMETI & BOON-HECKL (1985)) oder Persönlichkeitseigenschaften (KASTNER, 1982) beobachtet. LÖVSUND et al. (1991) verweisen auf die Bedeutung der Sehfähigkeit der Probanden für die Untersuchungsergebnisse. ROHMERT und Mitarbeiter (1994) betonen - vergleichbar mit HÄCKER (1982) - den erheblichen Einfluß der Teilnehmermotivation der Versuchspersonen, der vor allem bei längeren Versuchsdurchführungen größeren Schwankungen unterliegt.

Gleichzeitig kann der Versuch als gelungen angesehen werden, eine möglichst repräsentative Stichprobe prototypischer Verkehrsteilnehmer zusammenzustellen. Bei den Testpersonen handelte es sich um durchweg erfahrene „Durchschnittsfahrer“, für die auch mit dem OPEL VECTRA ein typisches Mittelklassefahrzeug zur Verfügung stand. Durch die Versuchspersonenwahl konnte auf die Verwendung studentischer Populationen mit schwer zu erfassenden Stichprobeneffekten wie mangelnde Fahrpraxis oder überwiegend leistungsschwachen Fahrzeuge verzichtet werden. Die Altersverteilung der Versuchsstichprobe erlaubt eine Spezifizierung von Alterseinflüssen, wie sie umfassend im Rahmen der Projektdokumentation beschrieben ist.

Im Gegensatz zu POHLMANN & TRÄNKLE (1994) stellte es bei der Versuchspersonenrekrutierung kein besonderes Problem dar, auch Fahrer im Alter von über 70 Jahren zu gewinnen. Die Erfahrungen aus speziell geronto-verkehrspsychologischen Experimenten, beispielsweise bei der Handhabung von Navigationssystemen (POHLMANN & TRÄNKLE, 1994, VAN WOLFFELAAR et al., 1991),

haben dabei überzeugend belegt, daß vor dem Hintergrund der sich verschiebenden Alterspyramide in der Bevölkerung die gesonderte Betrachtung älterer Kraftfahrer im Umgang mit moderner Fahrzeugtechnologie in Zukunft einen besonderen Stellenwert einnehmen wird. Die Tatsache, daß die Versuchsteilnahme freiwillig erfolgte, legt eine große Bereitschaft zu einer Teilnahme an dem Experiment nahe, die ihrerseits auch realitätsnahes Verhalten zur Folge gehabt haben wird.

### **9.1.6 Bewertung der CARIN-Studie**

Eine prototypische Erprobung des erarbeiteten Ergonomie-Evaluationsinstruments sah einen Vergleich zwischen einer Beifahrerbedingung und dem Versuchsleiter-gesteuerten Einsatz des CARIN-Navigationssystems vor. Allgemein erwies sich das hier erprobte Navigationssystem als weitgehend ausgereift, jedoch auch nicht unanfällig für technische Störungen der Ortslokalisierung und damit der Routenvorgabe. Auch die Meßgenauigkeit für die Entfernung ist auf dem geprüften Standard nicht optimal, was in der Praxis Mißverständnisse und Routenverfehlungen zur Folge haben kann. Bei der Analyse der Zeitreihendaten zeigten sich in der Regel zwischen den beiden Versuchsbedingungen kaum statistisch relevante Unterschiede auf den objektiven Meßebenen. Dies kann als Beleg dafür interpretiert werden, daß zum einen die Variation der beiden Versuchsbedingungen keinen eindeutigen Haupteffekt zur Folge hatte, was dadurch begründet sein kann, daß die Routenvorgabe durch den Versuchsleiter oder alternativ durch das Navigationssystem für die Versuchsperson keine wesentliche Veränderung der Fahraufgabe beinhaltete. Somit deutet dieser Befund darauf hin, daß allgemein die Anwendung des Leitsystems im Vergleich mit einem ortskundigen Beifahrer keine nachteiligen Einflüsse auf die Handhabung des Fahrzeugs und damit letztlich auf die Verkehrssicherheit mit sich bringt. Auf der anderen Seite wurden in der Detailanalyse bei den Beanspruchungsspitzen, wenn nicht signifikant, so doch tendenziell Mittelwertunterschiede bei den Beanspruchungsparametern protokolliert. Subjektiv wird das Fahren mit der CARIN-Bedingung als eindeutig beanspruchender erlebt.

Die beschriebenen Mittelwertunterschiede bei den Beanspruchungsspitzen können, wie die überzufälligen Unterschiede innerhalb der subjektiven Bewer-

tung der Fahrsituation, als Hinweis darauf interpretiert werden, daß die umgebenden Bedingungen innerhalb des Fahrzeugs, die Ergonomie der Mensch-Maschine-Schnittstelle, für die mentale Beanspruchung des Fahrers von Bedeutung sind und sich diese Unterschiede auch mit dem entsprechenden Meßinstrumentarium abbilden lassen.

## **9.2 Zusammenfassende Diskussion der Möglichkeiten und Grenzen empirischer Verkehrspsychologie**

Im anschließenden Abschnitt sollen vor dem Hintergrund der geschilderten Ergebnisse der durchgeführten Feldstudie in einer erweiterten Sichtweise die Möglichkeiten und Grenzen der empirischen Verkehrspsychologie diskutiert werden, die sich aus der im ersten Teil dieser Arbeit geschilderten theoretischen Beschäftigung mit vorliegenden Ergebnissen und den eigenen Befunden aus dem zweiten, empirischen Teil ergeben.

### **9.2.1 Bewertung der verkehrspsychologischen Beanspruchungsforschung**

Innerhalb der Forschungstradition der zurückliegenden Jahrzehnte wurden die Methoden der verkehrspsychologischen Beanspruchungsforschung immer mehr erweitert und verfeinert. Dennoch lassen sich in der einschlägigen Literatur bei vergleichbaren Fragestellungen oftmals charakteristische Hindernisse und Grenzen dieser Forschungsrichtung finden, die im folgenden anhand exemplarisch herausgegriffener Studien illustriert werden sollen.

#### **9.2.1.1 Charakteristische Meßschwierigkeiten der angewandten Beanspruchungsforschung**

In der Regel sind die Versuche zur Beanspruchungsmessung des Kraftfahrers mit erheblichem technischen Forschungsaufwand verbunden. Aufgrund der hohen apparativen Anforderungen wurden oft nur kleine Versuchsstichproben von

Fahrern untersucht. Diese Tatsache und eine ganze Reihe anderer Gründe können als Erklärung dafür dienen, daß oftmals statistisch belegbare Auswirkungen der Versuchsbedingungen nicht nachgewiesen werden konnten. Somit wurde oftmals das Ziel einer validen Beanspruchungsmessung des Fahrers nicht zufriedenstellend erreicht.

In TRÄNKLES (1978) Langzeitversuchen zur Frage von Ermüdungs- und Monotonieeinflüssen bei stundenlangen Autobahnfahrten konnten auf den verschiedenen Parameterebenen zwar deutliche Einflüsse der Fahrtdauer aufgezeigt werden. Diese Befunde konnten aber in keinem Fall auf den experimentellen Faktor „Geschwindigkeit“ zurückgeführt werden. Auch FELNÉMETI & BOON-HECKL (1985) konnten innerhalb der Prä-Post-Messung der Belastungswirkung unterschiedlicher Buslinien im Straßenverkehr kaum statistisch relevante Leistungsabfälle nach der Lenkzeit belegen. Vergleichbares gilt für die Flimmerverschmelzungsfrequenz und das Reaktionsverhalten. Nur bei der Pulsfrequenz als Beanspruchungsindikator zeigten sich Unterschiede je nach untersuchter Buslinie. Eine nachweisbare Trennung zwischen Stadtverkehr und Vorortverkehr konnte hinsichtlich der Beanspruchungsmessung nicht aufrecht erhalten werden. LEUTZBACH (1977) weist auf die Möglichkeit unerwünschter Konfundierungseffekte durch die Reihenfolge der Fahrten, die Größe des Testfahrzeugs oder der Beanspruchungsfähigkeit der Testfahrer hin, so daß in verschiedenen Untersuchungen der TH Karlsruhe statistisch signifikante Ergebnisse nicht nachgewiesen werden konnten.

Bei REITER (1976) stellte sich die planmäßige Variation unterschiedlicher Sitzkonstruktionen bei keinem Indikator der Fahrerbeanspruchung im verwendeten mehrkanaligen Untersuchungsdesign als statistisch bedeutsam heraus. Nur bei der Wahl der Fahrgeschwindigkeit zeigte sich ein Zusammenhang mit der Art der Sitzkonstruktion. Im Bereich der technischen Konstruktionsmerkmale konnten in der Untersuchung beim Vergleich der Servolenkung mit nicht-unterstützten Lenksystemen Unterschiede bei der mikromotorischen Tonusregistrierung festgestellt werden, die aber – im Sinne eines Artefakts – stärker durch unterschiedliche Muskelspannung (physische Beanspruchung) statt durch die zu ermittelnde psychische Beanspruchung bestimmt sein dürften. Statistisch bedeutsame Differenzen der Hautwiderstandswerte als Folge unterschiedlicher

Lenkbedingungen wurden nicht ermittelt. Vergleichbare, nur in Teilbereichen signifikante, Unterschiede zeigten sich bei der Pulsfrequenz. Auch SCHROIFF & MÖHLER (1986) konnten nicht die gesuchten optischen Hinweisreize auf geschwindigkeitsregulierende Handlungen bestimmen: „*Looking at aggregated group data we could not identify road-scene elements that clearly mediate speed regulation.*“ (S. 343), ebenso wie RIPPER (1993) keinerlei praktikable Anwendungsmöglichkeiten für indirekt sehbare Informationsinhalte aufzeigen konnte.

Als ein besonders prägnantes Beispiel für die Tatsache, daß sich offensichtliche Verhaltensweisen, wie aggressives Verhalten im Straßenverkehr, einer quantitativen Messung mit herkömmlichen psychologischen Mitteln entziehen, kann die Untersuchung von BÖSSER (1987) dienen. So kommt hier der Autor selbst zu dem Schluß, daß die Versuchssituation das Auftreten realitätsnaher Verhaltensweisen unterdrückt hat, so daß zur dieser Fragestellung statistische Aussagen über aggressives Verhalten nicht möglich wurden.

### **9.2.1.2 Kritik am eindimensionalen Beanspruchungskonzept - Situationsabhängigkeit**

Schon frühe Untersuchungen belegen (KÜTING, 1976, 1977, REITER, 1976), daß das Konzept einer einheitlichen, gleichgerichteten Beanspruchung des Gesamtorganismus durch die Fahraufgabe und die Verkehrssituation nicht aufrecht erhalten werden kann. Auch v. KLEBELSBERG (1982) und HÄCKER (1971) weisen übereinstimmend darauf hin, daß einkanälige Meßansätze gescheitert seien, da sich in der Vielzahl einschlägiger Untersuchungen kein einheitlicher Beanspruchungsparameter etablieren konnte. KÜTING (1977) betont dabei, daß die Konfiguration der Meßwerte mehrerer gleichzeitig registrierter Indikatoren stets als situationstypisch und situationspezifisch angesehen werden muß. Auch REITER (1976) stellt fest, daß die Effektivität der Fahrversuche von der Voraussetzung abhängig sei, daß die Messung fahrbedingter Beanspruchung des Kraftfahrers in die untersuchte Situation integriert wird.

Im FAT-Bericht Nr. 8 (o.V., 1978) resümieren die Autoren bei der Bewertung der verschiedenen psychologischen Verfahren zur Beanspruchungsmessung im



Verkehr wie Leistungsparameter, physiologische Indikatoren, Nebenaufgaben und Skalierungsmethoden: „Eine Kombination mehrerer Beanspruchungsindikatoren führt beim gegenwärtigen Stand des Wissens nicht sehr weit: Die Meßwerte eines Indikators entstehen stets als Relativwerte bezüglich einer Referenzsituation auf einer für diesen Indikator gültigen Skala, so daß die Skalen der verschiedenen Indikatoren nicht direkt miteinander verglichen werden können; die Art einer Kombination ist daher nicht absolut festlegbar und weitgehend willkürlich. (...) Zusammenfassend ergibt sich, daß die aus der Literatur bekannten Verfahren sich als nicht geeignet erweisen, den zeitlichen Verlauf der Beanspruchung z.B. während des Durchfahrens einer Kreuzung zu messen.“ (S. 95f.).

Auch HOYOS & KASTNER (1986) kritisieren das herkömmliche Vorgehen zur Messung psychischer Beanspruchung, bei dem man sich auf die Erfassung wechselnder, in ihrer Validität meist umstrittener Indikatoren aus dem neurophysiologischen Bereich beschränkte und diese in Beziehung zu situativen und fahrdynamischen Größen setzte. Daraus abgeleitet wird die Forderung nach einem mehrdimensionalen Beanspruchungskonzept.

### **9.2.1.3 Die Kovariation verschiedener Beanspruchungsindikatoren**

Ein einheitliches, situationsübergreifendes und generalisierbares Beanspruchungskonzept bringt die Notwendigkeit der Kovariation der einzelnen Beanspruchungsparameter mit sich. Am Beispiel verdeutlicht heißt dies, eine besondere Belastungssituation des Kraftfahrers, etwa beim Befahren einer Autobahnauffahrt, sollte sich sowohl anhand der verschiedenen körperlichen Indikatoren als auch innerhalb des subjektiven Befindens oder objektiver Meßgrößen bemerkbar machen. Diese Forderung kann in der Realität aber nur selten erfüllt werden. So wurde an der TU Berlin versucht, durch die mathematische Verbindung der verschiedenen Parameterebenen einen Aufmerksamkeitsindex zu berechnen, wobei aber dazu konstatiert werden mußte (1978): „Ein physiologischer Kennwert, der über die Variationsbreite aller Versuchsbedingungen, über die Spannweite der interindividuellen und intraindividuellen Streuungen durchgängig eine

deutliche Korrelation mit einem vom System Fahrer-Fahrzeug abgegebenen mechanischem Signal besitzt, trat nicht in Erscheinung. (...) Faßt man das Untersuchungsziel so auf, daß ein herausragender Kennwert gesucht wurde, der sicher und unter verschiedensten Randbedingungen im Sinne der Aufgabenstellung nachlassende Fahrfähigkeit anzeigt, muß festgestellt werden, daß ein solcher nicht gefunden wurde.“ (S. 96f.). Auch KÜTING (1976) fand auf Grundlage einer umfangreichen Literatursichtung nur geringe interindividuelle Kovariationen verschiedener physiologischer Parameter.

Charakteristische Schwierigkeiten der Beanspruchungsforschung werden auch von HOYOS & KASTNER (1986) im Abschlußbericht des BAST-Projekts beschrieben. Sowohl einzeln als auch in Kombination stellten sich sämtliche Verfahren zur Messung der psychophysischen Beanspruchung als mit spezifischen Nachteilen behaftet heraus, so daß es nicht gelang, einen guten Streßindikator zu finden, anhand dessen Beanspruchung zweifelsfrei zu diagnostizieren wäre. Die simultane Datenerhebung auf 20 Kanälen zu fünf verschiedenen Meßebenen mit Hilfe des Fahrerleistungsmeßfahrzeuges brachte kaum überschaubare Datenmengen mit sich. HOYOS & KASTNER führen dazu aus, daß: „(...) eine Abbildung von Situationen auf einer irgendwie gearteten, eindimensionalen Skala der Beanspruchung, die person-unabhängig ist, zu statisch wäre und dem sehr dynamischen Beanspruchungsprozeß der Interaktion zwischen Fahrer und Verkehrssituation nicht gerecht würde. Zum anderen haben unsere eigenen Erfahrungen während der 3. Phase des Vorprojektes gezeigt, daß es unmöglich ist, Meßdaten aus einer Versuchsfahrt von vier bis fünf Stunden Dauer vernünftig auszuwerten und zu interpretieren. Eine kontinuierliche Datenerfassung und Beantwortung der Frage „Nach welcher Fahrzeit und in welchen Situationen treten Belastungsspitzen auf, die eine Gefährdung der Verkehrssicherheit mit sich bringen?“ ist aus theoretischen, aber auch aus ganz pragmatischen Erwägungen heraus wohl unmöglich.“ (S. 225).

## **9.2.2 Bewertung okulometrischer und optischer Verfahren zur Blickverlaufsmessung**

Auch wenn sich aus der Bestimmung der momentanen Blickrichtung eine Reihe wichtiger Implikationen ergeben können, ist eine zweifelsfreie Messung mit einer Reihe gravierender Probleme verbunden, die in der Vergangenheit trotz verstärkter Bemühungen und eines erheblichen Forschungsaufwands nicht zufriedenstellend gelöst werden konnten. Eine der zahlreichen Ursachen dafür liegt darin, daß Kopf- und Augenbewegungen dissoziiert verlaufen können und getrennt kontrolliert werden müssen. In Feldexperimenten im tatsächlichen Straßenverkehr kann aber aus Gründen der Verkehrssicherheit die Beweglichkeit des Kopfes nicht eingeschränkt werden. Im folgenden werden getrennt die verschiedenen Verfahren der Blickregistrierung hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für die psychologische Beanspruchungsforschung diskutiert.

### **9.2.2.1 Bewertung elektro-okulometrischer Verfahren**

Obwohl SPRENGER (1992) von einem recht problemlosen Einsatz des EOGs berichtet, überwiegen in der einschlägigen Literatur eher skeptische Bewertungen über die Aussagekraft dieses Verfahrens. Nach den Erfahrungen von PARTMANN und Mitarbeitern (1996) macht die zu häufige Nachkalibrierung durch einen angeordneten Blick auf einen Referenzpunkt das Verfahren für den Einsatz im Feldversuch unbrauchbar. Auch GALLEYS Forschungsbemühungen deuten auf charakteristische Probleme beim Einsatz elektro-physiologischer Verfahren hin. Obwohl in einer früheren Veröffentlichung (GALLEY, 1988) vielversprechendere Ergebnisse in Aussicht gestellt wurden, waren GALLEY & ANDRÈS (1992) anhand einer kleinen Versuchsstichprobe nicht in der Lage, die Ermüdungseffekte auf den Fahrer abzubilden. Trotz der erheblichen experimentellen Variation einer insgesamt siebenstündigen Testfahrt konnten die zu erwartenden Beanspruchungsunterschiede und Ermüdungswirkungen im EOG nicht aufgezeigt werden. Eine nachfolgende Veröffentlichung von GALLEY (1998) ohne verkehrpsychologischen Anwendungsbezug macht deutlich, daß das Verhältnis von Sakkadengeschwindigkeit als Indikator für das Aktivationskonstrukt komplexer ist als

oftmals angenommen wurde. Ein eindimensionaler Zusammenhang könne vor dem Hintergrund neuerer Forschungsergebnisse nicht mehr aufrecht erhalten werden.

#### **9.2.2.2 Bewertung der optischen Blickregistrierung**

Als Alternative zur elektro-okulometrischen Blickregistrierung sind mittlerweile auf dem Markt eine Reihe optischer Blickbewegungsmeßsysteme erhältlich, die in der Studie von PARTMANN, REINIG, & STRUCK (1996) vergleichend bewertet wurden. Dabei kommen die Autoren zu dem Ergebnis, daß die auf dem heutigen Stand der Technik erzielten Meßgenauigkeiten solcher Systeme zwar mittlerweile als zufriedenstellend angesehen werden können, bei weitem aber nicht an die Trennschärfe des menschlichen Auges heranreichen. Ein universell einsetzbares Blickbewegungsmeßsystem für Untersuchungen im Kraftfahrzeug trotz der fünf- bis sechsstelligen Anschaffungskosten liege nicht vor, Vorteile einzelner Systeme würden durch gleichzeitige Nachteile, beispielsweise in der Handhabung, teilkompensiert. Unbefriedigend bleibe vor allem der hohe Aufwand und die dennoch verbleibenden Interpretationsschwierigkeiten für die Auswertung der „Blickfilme“. Zusammengefaßt machen PARTMANN et al. (1996) deutlich, daß die optische Blickbewegungsmessung trotz technischer Fortschritte weiterhin mit enormen Schwierigkeiten und erheblichem materiellem und finanziellem Aufwand verbunden ist. Auch der Versuch von SCHROIFF & MÖHLER (1986), die optischen Hinweisreize für die Geschwindigkeitswahl zu erfassen, ergab über Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen hinaus wenig konkrete Ergebnisse: *„On the other hand we did not find any interpretable relationships between driving speed and more global parameters of eye-movement activity.“* (S. 349).

#### **9.2.2.3 Bewertung des peripheren Sehfeldumfangs als Beanspruchungsparameter**

Die in der FAT-Untersuchung (1978) insgesamt sehr zuversichtlich beschriebene Verwendung des peripheren Sehfeldumfangs stellte einen neuentwickelten aussagefähigen Beanspruchungsindikator in Aussicht. Diese Perspektive konnte

in der Folgeforschung aber nur unzureichend realisiert werden. Auch wenn die Einengung des peripheren Blickfeldes grundsätzlich als Indikator für psychovegetative Beanspruchung in Frage kommt, ist dieser Parameter für Felduntersuchungen gleichwohl mit besonderen Schwierigkeiten behaftet. Zum einen besteht in der einschlägigen Forschung weiterhin Unsicherheit bei der Wahl der geeigneten Methode zur Bestimmung des peripheren Sehfeldumfangs. So nimmt COHEN (1987b) ausdrücklich Bezug auf den verwendeten Versuchsaufbau zur Sehfeldbestimmung im FAT-Bericht (1978), den er als ungenügend klassifiziert. Gemessen wurde nur die Position des präsentierten Signals im Verhältnis zum Schädel, aber nicht die Blickrichtung der Versuchsperson: „(Die dort verwendeten Methoden zur Messung des Sehfeldumfangs, Anm. des Verf.) ... sind deshalb nicht anzuwenden, weil dort nur die Relation zwischen dem Signal und dem Schädel der Vp gemessen wurde, im Unterschied zur retinalen Projektionsstelle. Die Konzipierung einer neuen Versuchsmethode soll die Annahme, daß die Vp ständig, oder zumindest durchschnittlich gradeaus schaut, durch direkte Messung der Blickrichtung im Verhältnis zum Signal ersetzen.“ (S. 20).

Bedeutsamer aber noch als die Diskussion der geeigneten Meßmethode zur Bestimmung des peripheren Sehfelds ist die unklare Bedeutung psychischer Vorgänge auf die gemessene Leistung. Die FAT-Studie (1978) dokumentierte bei akustischen Zusatzbelastungen zusätzlich zur einfachen Fahraufgabe eine Interferenz, die bewirkte, daß der Abfall der Detektionsraten teilweise überkompensiert wurde. Vermutet wurde, daß bei geringer Grundbelastung durch Zusatzbelastung zusätzliche Verarbeitungskapazität freigesetzt werde, wobei sich im Langzeitversuch dieser Effekt nur als kurzfristig herausstellte. Auch COHEN (1985) hatte nachdrücklich auf die Problematik der Konfundierung der objektiven Beanspruchungsmessung durch interne, psychische Regulationsmechanismen hingewiesen. So können in objektiv belastenderen Situationen niedrigere Beanspruchungsscores erzielt werden, da die Beanspruchung durch größere Aufmerksamkeit überkompensiert werden kann. Darüberhinaus weist COHEN (1987b) an anderer Stelle darauf hin, daß dieser Beanspruchungsindikator - abgesehen von dem erheblichen Meßaufwand der Blickregistrierung - nur unter der Voraussetzung „messe“, wenn die Versuchsperson einer erheblichen Informationsüberlastung ausgesetzt sei. Bei gewöhnlichen Verkehrssituationen wie

dem Autobahnfahren sei dies aber auch bei höheren Geschwindigkeiten nicht notwendigerweise der Fall.

#### **9.2.2.4 Zusammenfassende Bewertung der Blickregistrierung für verkehrspsychologische Anwendungen**

Die visuelle Wahrnehmung ist für das Verkehrsverhalten von entscheidender Bedeutung. Insbesondere vor dem Hintergrund immer komplexer werdender Verkehrssysteme (größere Verkehrsdichte, höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten auf Schnellstraßen, „Schilderwald“) ergeben sich aus der Analyse der Blickbewegungen wertvolle Hinweise für gestalterische Interventionen im Fahrzeug und in der Fahrumgebung. PARTMANN et al. (1996) beschreiben den derzeitigen Stand der technischen Möglichkeiten der Blickregistrierung für den Bereich der Fahrzeug-Evaluation. Elektro-okulometrische Verfahren (GALLEY & ANDRÈS, 1992) scheinen für verkehrspsychologische Fragestellungen als vergleichsweise einfach zu variierender Ermüdungsindikator nicht die erforderliche Auflösung zu haben. Als Alternative kommen optische Blickbewegungsmeßsysteme in Betracht, die aber mit Kosten von mehreren 100.000 DM verbunden sind. Abgesehen von dem erheblichen Meßaufwand verbleiben zusätzlich gravierende Interpretationsschwierigkeiten bei der Auswertung der Blickbewegungen, so daß verallgemeinerbare Ergebnisse kaum zu erwarten sein werden. Auch die im FAT-Bericht (1978) beschriebenen zuversichtlichen Ergebnisse mit der Messung des peripheren Sehfelds als Beanspruchungsindikator konnten in der Folgeforschung nicht bestätigt werden. COHEN (1987b) bewertet das beschriebene Vorgehen als unzureichend, kommt aber mit seiner verfeinerten Meßapparatur zu keinen klaren Ergebnissen. Ein einheitliches, allgemein anerkanntes Verfahren zur Beanspruchungsmessung auf Grundlage der peripheren Gesichtsfeldverengung liegt bis heute nicht vor. Grundsätzliche Probleme bestehen dabei weiterhin zum einen in dem Ausmaß der Informationsüberlastung und der erheblichen interindividuellen Schwankungsbreite.

### 9.2.3 Risikokompensation

Ungeachtet der oben dargestellten Schwierigkeiten bei der Messung von Belastungswirkungen durch die Fahraufgabe müssen die Bemühungen um eine Verbesserung der Fahrzeuergonomie die verschiedenen psychologischen Mechanismen berücksichtigen, die sich in der Vergangenheit nachteilhaft auf eine allgemeine Steigerung der Verkehrssicherheit ausgewirkt haben. Ein wichtiger Befund dazu kann unter dem Oberbegriff „Risikokompensation“ zusammengefaßt werden, jener Tendenz, weniger umsichtig zu sein, wenn man die physische und soziale Sicherheit der Umgebung höher einschätzt. Als prominentestes Beispiel für die schwer meßbare sicherheitsfördernde Wirkung durch Konstruktionsänderungsmaßnahmen am Fahrzeug kann die Diskussion um das Anti-Blockier-System (ABS) gelten. PFAFFEROTH & HUGUENIN (1991) stellen dazu fest, daß auch wenn die „ABS-Fahrer“ seltener am Unfall schuld waren und es eine Verschiebung zu leichteren Unfällen hin gegeben hat, die Gesamtbilanz trotz Verbesserungen in Teilbereichen eher auf nivellierende Adaptationseffekte hindeutet. Einfacher ausgedrückt bedeutet dies: Die Sicherheitswirkung der Bremsunterstützung wird durch ein verändertes Fahrverhalten ausgeglichen. Auch CHALOUPIKA et al. (1990) unterstreichen die fehlenden Belege für den tatsächlichen Sicherheitsgewinn durch das Anti-Blockiersystem. Gleichzeitig weisen sie auf die in der Vergangenheit gemachte Erfahrung hin, daß sich oftmals die Unfallkosten an nach neuesten Erkenntnissen veränderten Kreuzungen weniger stark verringert hatten als an vergleichbaren, aber unverändert gelassenen Kreuzungen. In einigen Fällen im Stadtgebiet hatten solche Sanierungsmaßnahmen sogar eine Erhöhung der Unfallkosten zur Folge (Schweden; VTI 1986).

Die Beobachtungen zur Risikokompensation wurden in verschiedenen verkehrspsychologischen Modellvorstellungen berücksichtigt. So gehen die nach HUGUENIN (1988) oder auch KLEBELSBERG (1982) als „Risikokompensationstheorien“ zusammengefaßten Modelle wie die Risiko-Homöostase-Theorie nach WILDE (1974), KLEBELSBERGS Modell der subjektiven und objektiven Sicherheit (1971) oder NÄÄTÄNENS & SUMMALAS Theorie des Risikoverhaltens (1974) explizit davon aus, daß Sicherheitsgewinne durch

risikanteres Verhalten kompensiert und egalisiert werden können. Auch PFAFFEROTH & HUGUENIN (1991) stellen die verschiedenen theoretischen Ansätze zur Erklärung des Risikoverhaltens gegenüber, plädieren aber anstelle der vielfach diskutierten Konstrukte der „Risikokompensation“ bzw. „Risikohomöostase“ für eine zukünftige Verwendung des neutraleren Adaptationsbegriffs, mit dem die Verhaltensanpassung von Verkehrsteilnehmern an Sicherheitsmaßnahmen beschrieben werden soll.

#### **9.2.4 Gefahren und unerwünschte „Nebenwirkungen“ der Telematik-Technologie**

Bei der Untersuchung der Kfz-Ergonomie handelt es sich um eine Schnittstelle der Mensch-Maschine-Interaktion und damit um den Bereich, in dem Verbesserungen in der Kfz-Handhabung Sicherheitsgewinne bedeuten können. Gleichzeitig ist aber der Hinweis angebracht, daß solche technischen Verbesserungen der Fahrzeugkonstruktion nicht zwangsläufig einen Sicherheitszuwachs im Verkehrsgeschehen darstellen müssen. Auch wenn verallgemeinert bei den verschiedenen Telematik-Technologien von einem mittlerweile realisierten hohen technischen Standard und weitgehender Produktakzeptanz ausgegangen werden kann, wurde in der einschlägigen Literatur bei der Entwicklung und Bewertung solcher neuartigen, „intelligenten“ Systeme auf die „unerwünschten Nebenwirkungen“ hingewiesen. FÄRBER & FÄRBER (1997, S. 5) bemerken dazu: „Jedoch gehen mit der Verbreitung umfassender Unterstützungssysteme wie Bremshilfen, Warnung beim Überholen, Spurführung in Kurven etc. die bekannten Probleme der Dequalifizierung und der Risikokompensation (WILDE, 1978) einher.“ Auch REICHARD & HALLER (1995) weisen beim Konzept der Fahrerassistenz ausdrücklich auf die Gefahr unerwünschter nachteiliger Nebenwirkungen hin, die bei den Bestrebungen zur weiterreichenden Automatisierung des Autofahrens zu beachten sind.

Die Beispiele solcher Nebenwirkungen sind vielfältig: Eine weitreichende Automatisierung des Fahrbetriebs, insbesondere auf Autobahnen, kann zu einem überstarkem Absinken der Aufmerksamkeit beim Fahrer führen. In fahrkritischen Situationen, wo ein rasches Reagieren gefragt wäre, kann das Eingreifen „ins



System“ zu spät erfolgen. Auch besteht die Gefahr, daß der Fahrer die eigenständige Gefahrbeurteilung verlernt und zu sehr den Anweisungen des Systems Folge leistet (CHALOUKKA et al., 1996). So weisen GSTALTER & FASTENMEIER (1995b) bei einer empirischen Untersuchung zu Navigationssystemen im Fahrzeug auf die Gefahr der visuellen Ablenkung durch optische Navigationsanzeigen im Kraftfahrzeug sowie durch ein übertriebenes Vertrauen in die Technik als „Kommandoeffekt“ hin. Als weiteres Sicherheitsproblem kann der Fahrer dazu verleitet werden, die technischen Möglichkeiten des Fahrzeugs, beispielsweise der Bodenhaftung, über Gebühr auszutesten und in Extremsituationen leichter die Kontrolle über das Fahrzeug verlieren.

Eine anderer Effekt ist das mögliche Empfinden einer Bevormundung durch das System. Eine Vielzahl von Erfahrungen aus der Sicherheitstechnik belegt, daß in einem solchen Fall sehr rasch Anstrengungen unternommen werden, das System „zu überlisten“ und Sicherheitsvorkehrungen, beispielweise wie automatische Abstandswarner, zu umgehen (CHALOUKKA und Mitarbeiter, 1996). Im gleichen Sinne hatten schon früher FÄRBER & FÄRBER (1984) bei der Bewertung sprachlicher Informationssysteme im Fahrzeug als Kritikpunkte den subjektiv empfundenen Kontrollverlust vorgebracht.

### **9.2.5 Weitere Einschränkungen verkehrspsychologischer Forschung**

Über die ausführlicher diskutierten Problemgebiete und Einschränkungen der empirischen Beanspruchungsforschung hinaus sollen abschließend noch einige Punkte angesprochen werden, die in empirischen Forschungsvorhaben zu berücksichtigen sind.

Psychologische Messung kann - unabhängig von der Wahl der verwendeten Untersuchungsparameter - nie die Präzision physikalischer Messung erreichen (GRUNOW et al., 1996). Für die Evaluation von Kfz-Ergonomie ist ein „Handhabungsindex“ für ein bestimmtes Fahrzeug zwar wünschenswert, ein solcher Wert kann aber nicht eine vergleichbaren Aussagekraft wie etwa der Luftwiderstandwert des Fahrzeugs gewinnen.

Weiterhin sind bei der Fahrzeugkonstruktion in den letzten Jahren schon sehr hohe ergonomische Standards erreicht worden. So werden sich Handhabungsun-

terschiede beispielsweise beim Vergleich der Oberklassemodelle von BMW und DAIMLER-CRYSLER kaum anhand von kleinen Stichproben und generalisierten Merkmalen eindeutig zahlenmäßig absichern lassen. Die von FÄRBER & FÄRBER (1988) kritisierte uneinheitliche Gestaltung von Bedienelementen im Fahrzeug ist mittlerweile überwiegend einer internationalen Standardisierung gewichen.

Durch die derzeit schon hohen Standards der Fahrzeugkonstruktion bedingt ist durch die Einführung neuartiger Technologien nur ein begrenzter Sicherheits- und Fahrkomfortfortschritt zu erwarten (BRUCKMAYR & REKER, 1994). Dies zeigt sich am Beispiel der Entwicklung der mit viel psychologischer Evaluation verbundenen elektronischen Navigationssysteme (vgl. neben den Ergebnissen der hier durchgeführten CARIN-Studie auch VERWEY, 1996, GSTALTER & FASTENMEIER, 1995a/b, POPP & FÄRBER, 1997). Auch wenn die technische Entwicklung solcher Systeme derzeit bis hin zur Serientauglichkeit fortgeschritten ist, bleibt dennoch zu beachten, daß der Anteil ortsunkundiger Fahrer am Verkehrsgeschehen stets bestimmten Grenzen unterworfen sein wird, so daß sich auch die zu erwartende Erleichterung der Fahrerbeanspruchung innerhalb dieser Grenzen bewegen wird.

Verkehrspsychologischer Erkenntnisgewinn ist immer - allerdings mit nicht unerheblichen Bandbreiten - eine Funktion des investierten Forschungsaufwands. So erstreckte sich in der Vergangenheit das „Beanspruchungs-/ Belastungsprojekt“ der BAST über einen Zeitraum von über zehn Jahren intensiver Forschungstätigkeit verschiedener beteiligter Arbeitskreise (HOYOS & KASTNER, 1986). Für die großangelegte internationale Kooperation im PROMETHEUS-Projekt standen den rund 600 beteiligten Wissenschaftlern als Forschungsmittel jährlich 90 Millionen ECU zur Verfügung, auch hier war ein mehrjähriger Untersuchungszeitraum zugrunde gelegt worden. Im Vergleich dazu basiert die hier durchgeführte Versuchsreihe auf einem deutlich geringerem Forschungsbudget und reduzierten Zeitrahmen.

### **9.3 Ausblick und Desiderate an weitere Studien**

Mit der hier dokumentierten Feldstudie wurden ein neuartiger Versuchsaufbau und eine Reihe praxisrelevanter Ergebnisse der angewandten verkehrspsycholo-

gischen Forschung beschrieben. Auch wenn sich anhand der CARIN-Studie im Vergleich zum ortskundigen Beifahrer keine geringere Unterstützung des Fahrers durch die elektronischen Navigationsanweisungen mit statistischer Sicherheit belegen ließ, erscheint das verwendete Meßverfahren sensibel genug, Beanspruchungsunterschiede durch Fahrzeugsysteme aufzuzeigen. Vor dem Hintergrund der dokumentierten Ergebnisse ist das Instrument vorbereitet auf einen Einsatz unter variierten Bedingungen. Dabei bietet der innovative Bereich bei der Entwicklung moderner Telematiksysteme in besonderer Weise Raum für anschließende Forschungsaufgaben.

In der Vergangenheit findet sich eine Vielzahl von Studien zu einzelnen Fahrerunterstützungssystemen. Bei der Vielfalt der bereits auf dem Markt erhältlichen oder noch in der Entwicklung befindlichen Fahrzeugsysteme wird dabei in Zukunft nicht allein die Frage nach der Wirkung eines einzelnen Instruments zu beachten sein. Vielmehr muß auch das Zusammenwirken verschiedener Systeme in Hinblick auf die Konsequenzen für die Verkehrssicherheit einer empirischen Überprüfung zugeführt werden, beispielsweise ein Zusammentreffen von Routenvorgaben durch das Navigationssystem, von automatisierten Überholmanövern des ACC und von einem gleichzeitigen Kontaktwunsch durch moderne Telekommunikation im Fahrzeug. Dabei gewinnt eine objektive und zuverlässige Messung solcher Systeminteraktionen mit psychologischen Mitteln zunehmend an Bedeutung vor dem Hintergrund der Frage, ob technischer Fortschritt und Verkehrssicherheit Hand in Hand gehen oder ob nicht technische Möglichkeiten unter bestimmten Bedingungen auch nachteilhafte Effekte zur Folge haben können. Für solche und ähnliche Fragestellungen werden in Zukunft Evaluationsinstrumente erforderlich sein, die zum einen auf eine flexible Anwendung zur Überprüfung verschiedener Fahrzeugsysteme hin konzipiert sind und die zum anderen auch eine gleichzeitige Bewertung mehrerer Systeme ermöglichen. Mit dem im Rahmen dieser Arbeit beschriebenen Verfahren ist dabei ein wichtiger Schritt in die Richtung hin zu einem verallgemeinerbaren Verfahren getan worden.

# 10

## Literatur

- Allport, A. (1987). Selection for action: Some behavioral and neurophysiological considerations of attention and action. In: H. Heuer & A. Sanders (Hg.): Perspectives on perception and action. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 395-419.
- Angenendt, W. Erke, H., Hoffmann, G., Marbuger, E. Molt, W. & Zimmermann, G. (1987). Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Angermann, K. (1987). Vigilanzindikatoren bei Dauerbeobachtungsaufgaben, untersucht am Beispiel nächtlicher Autobahnfahrten. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 41/4, 239-242.
- Baddeley, A. & Hitch, G. (1974). Working memory. In: G. Bower (Hg.): Recent advances in learning and motivation (Vol. 8). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. (1986). Working memory. Oxford: Clarendon Press.
- Bartenwerfer, H. (1963). Über die Art und Bedeutung der Beziehung zwischen Pulsfrequenz und skaliertes psychischer Anspannung. Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, 10, 455-470.
- Bartmann, A. (1995). Zur Erfassung von kognitiver Beanspruchung beim Führen von Kraftfahrzeugen. Eine Feldstudie. Aachen: Shaker.
- Becker, S., Brauswetter, C., Brockmann, M., Hofmann, O., Kraus, R., Mihm, J., Niu, R. & Sonntag, J. (1997). Experimentelle Analyse von Anwenderbedürfnissen innerhalb der Entwicklung von Fahrerunterstützungssystemen. VDI-Berichte Nr. 1317, 105-117.
- Becker, S., Brockmann, M., Bruckmayr, E., Hofmann, O., Krause, R., Mertens, A., Niu, R. & Sonntag, J. (1995). Telefonieren am Steuer. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 45.

- Benda, H. v. (1982). Multidimensionale Skalierung der Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen. In: W. Winkler (Hg.): Verkehrspsychologische Beiträge I. Braunschweig: Rot-Gelb-Grün, 213-220.
- Benda, H. v., Hoyos, Graf C. & Schaible-Rapp, A. (1983). Klassifikation und Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Benda, H. v. (1985). Die Häufigkeit von Verkehrssituationen. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Bortz, J. (1993): Statistik. Berlin: Springer.
- Bösser, T. (1987). Gefährliche und aggressive Verhaltensweisen des Fahrers bei der Regelung des Abstandes auf der Autobahn. Köln: TÜV Rheinland.
- Boucsein, W. (1992). Electrodermal Activity. New York: Plenum Press.
- Broadbent, D. (1958). Perception and communication. London: Pergamon Press.
- Brookhuis, K. & de Waard, D. (1993). The use of psychophysiology to assess driver status. *Ergonomics*, 36/9, 109-1110.
- Brookhuis, K., de Waard, D. & Mulder, B. (1994). Measuring driving performance by car-following in traffic. *Ergonomics*, 37, 3, 427-434.
- Brosius, G. & Brosius, F. (1995). SPSS - Base System und Professional Statistics. Bonn: International Thomson Publishing.
- Brown, I. & Poulton, E. (1961). Measuring the spare 'mental capacity' of drivers by a subsidiary task. *Ergonomics*, 5, 35-40.
- Brown, I. (1965). A comparison of two subsidiary tasks to measure fatigue in car drivers. *Ergonomics*, 8, 467-473.
- Bruckmayr, E. & Reker, K. (1994). Neue Informationstechniken im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 40/1, 12-21.
- Bukasa, B. & Risser, R. (1985). Die verkehrspsychologischen Verfahren im Rahmen der Fahreignungsdiagnostik. Wien: Literas.
- Cattell, R., Eber, H. & Tasouka, M. (1970). Handbook for the sixteen personality factors questionnaire (16 PF). Champaign: IPAT.
- Chaloupka, C., Hyden, C. & Risser, R. (1990). Die PRO-GEN Verkehrssicherheits-Checkliste. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 36/1, 28-35.

- Chaloupka, C., Risser, R., Antoniadou, A., Lehner, U., & Praschl, M. (1996). Abschätzung von reaktiver Anpassung an fahrzeugtechnische Veränderungen. Unveröfflicher Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Chaloupka, Chr., Risser, R., Antoniadou, A., Lehner, U. & Praschl, M. (1998). Auswirkungen neuer Technologien im Fahrzeug auf das Fahrverhalten. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Cohen, A. & Fischer, H. (1977). Der Einfluss des Scheibenwischers auf das Blickverhalten des Autofahrers. Schweizerische Zeitschrift für Psychologie und ihre Anwendungen, 36/1, 43-53.
- Cohen, A. (1984). Einflußgrößen auf das nutzbare Sehfeld. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Cohen, A. (1985a). Das nutzbare Sehfeld erfahrener Automobilisten. In: H. Häcker (Hg.): Fortschritte der Verkehrspsychologie (1). Köln: TÜV-Rheinland, 33-59.
- Cohen, A. (1985b). Visuelle Informationsaufnahme während der Fahrzeugsteuerung in Abhängigkeit der Umweltmerkmale und der Fahrpraxis. Schweizerische Zeitschrift für Psychologie, 44/4, 249-288.
- Cohen, A. (1986a). Möglichkeiten und Grenzen visueller Wahrnehmung im Straßenverkehr. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Cohen, A. (1986b). Blickverhalten des Fahrzeuglenkers als Komponente des Verkehrssicherheitsverhaltens. In: H. Häcker (Hg.): Fortschritte der Verkehrspsychologie. Köln: TÜV Rheinland, 112-125.
- Cohen, A. (1987a). Blickverhalten und Informationsaufnahme von Kraftfahrern. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Cohen, A. (1987b). Nutzbarer Sehfeldumfang und seine Variation in Feldsituation. Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, 34/1, 17-37.
- Cohen, A. (1988). Grundlagenforschung im Laboratorium und Verkehrspsychologie. In: M. Kastner (Hg.): Fortschritte der Verkehrspsychologie '87. Köln: TÜV Rheinland, 123-135.
- Cohen, A. (1994). Visuelle Informationsaufnahme des motorisierten Verkehrsteilnehmers. In: Informationsaufnahme des Verkehrsteilnehmers, 3. Tagung Verkehrssicherheit. Wien: Interdisziplinäre Unfallforschung, 17-34.

- Committee Draft (1996): ISO TC22/SC13/WG8 „TICS M.M.I“: Road Vehicles - Traffic Information and Control Systems - Ergonomics aspects of in-vehicle visual presentation of information. Unveröffentlichter Forschungsbericht.
- De Waard, D. & Brookhuis, K. (1991). Assessing driver status: A demonstration experiment on the road. *Accident Analysis and Prevention*, 23/4, 297-307.
- De Waard, D., Jessurun, M., Steyvers, F., Raggatt, P. & Brookhuis, K. (1995). Effect of road layout and road environment on driving performance, drivers' physiology and road apperception. *Ergonomics*, 38/7, 1395-1407.
- Duncan, J., Williams, P. & Brown, I. (1991). Components of driving skill: Experience does not mean expertise. *Ergonomics*, 34/7, 919-937.
- Echterhoff, W. (1979). Psychologische Erprobungsstudie mit dem Fahrerleistungsmeßfahrzeug. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Färber, B. (1987). Geteilte Aufmerksamkeit: Grundlagen und Anwendung im motorisierten Straßenverkehr. Köln: TÜV-Rheinland.
- Färber, B. & Färber, B. (1982). Grundlagen und Möglichkeiten der Nutzung sprachlicher Informationssysteme im Kraftfahrzeug - Vorstudie. FAT-Schriftenreihe Nr. 23.
- Färber, B. & Färber, B. (1984). Grundlagen und Möglichkeiten der Nutzung sprachlicher Informationssysteme im Kraftfahrzeug - Hauptstudie. FAT-Schriftenreihe, Nr. 39.
- Färber, B. und Färber, B. (1987). Sicherheitsorientierte Bewertung von Anzeige- und Bedienelementen in Kraftfahrzeugen - Grundlagen. FAT-Schriftenreihe Nr. 64.
- Färber, B. und Färber, B. (1988). Sicherheitsorientierte Bewertung von Anzeige- und Bedienelementen in Kraftfahrzeugen - Empirische Ergebnisse. FAT-Schriftenreihe Nr. 74.
- Färber, B. und Färber, B. (1997). Expertenbefragung zu Telematik-Systemen. Fragebogen mit Erläuterung. Projekt FP 2.9304 der Bundesanstalt für Straßenwesen.

- Fastenmeier, W. (1995a). Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem. In: W. Fastenmeier (Hg.): Autofahrer und Verkehrssituation. Köln: TÜV-Rheinland, 27-78.
- Fastenmeier, W. (1995b). Situationsspezifisches Fahrverhalten und Informationsbedarf verschiedener Fahrergruppen. In: W. Fastenmeier (Hg.): Autofahrer und Verkehrssituation. Köln: TÜV-Rheinland, 141-180.
- Fastenmeier, W. (1995c). Fahrergruppenzentrierte Gestaltung von Informationssystemen im Fahrzeug. In: R. Risser (Hg.): 35. BDP-Kongreß für Verkehrspsychologie. Bonn: Deutscher Psychologen Verlag, 203-212.
- Fastenmeier, W., Stadler, P. & Lerner, G. (1995). Situationsbezogene Fahrerunterstützung durch AICC. In: W. Fastenmeier (Hg.): Autofahrer und Verkehrssituation. Köln: TÜV-Rheinland, 181-199.
- Felnémeti, A. & Boon-Heckl, U. (1985). Belastungsuntersuchung an Salzburger Busfahrern. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 31/1, 16-21.
- Finsel, E. & Bach, C. (1993). Autoclinic - Entscheidungshilfe im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses in der Automobilindustrie? Planung und Analyse, 4/93, 54-57.
- Frese, M. & Zapf, D. (1994). Action as the Core of Work Psychology: A German Approach. In: H. Triandis, M. Dunette & L. Hough (Hg.): Handbook of industrial and organisational psychology, Vol 4, Consulting Psychologists Press, 271-340.
- Frey, S., Bente, G. & Frenz, H. (1993). Analyse von Interaktionen. In: H. Schuler (Hg.): Organisationspsychologie Bern: Huber, 353-376.
- Frieling, E. & Hoyos, C. Graf (1978). Fragebogen zur Arbeitsanalyse (FAA). Bern: Huber.
- Galley, N. (1988). Erfassung von Blickbewegungen. In: H. Kunert (Hg.): Die Orientierung im Strassenverkehr bei Nachtfahrten. Köln: TÜV-Rheinland, 115-131.
- Galley, N. (1998). An enquiry into the relationship between activation and performance using saccadic eye movement parameters. Ergonomics, 40, 698-720.
- Galley, N. & Andrès, G. (1992). Sakkaden und Lidschläge als Parameter für Ermüdung beim Autofahren. In: K.W. Reinschild (Hg.): Bewertung von



- Windschutzscheiben, Anzeige- und Blickregistrierungstechniken. Köln: TÜV Rheinland, 19-27.
- Galsterer, H. (1979). Belastung und Beanspruchung von Kraftfahrern - Die Analyse verschiedener Verkehrssituationen als Basis zur Beanspruchungsmessung. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Galsterer, H. (1982). Belastungs-Analyse verschiedener Verkehrssituationen und inhaltliche Vorbereitung der Felduntersuchung mit dem Meßfahrzeug. In: W. Winkler (Hg.): Verkehrspsychologische Beiträge I. Braunschweig: Rot-Gelb-Grün, 222-228.
- Geiser, G. (1997). Ältere Benutzer und neuere Informationssysteme im Personenverkehr. VDI-Berichte Nr. 1317, 245-259.
- Gopher, D. & Navon, D. (1980). How is performance limited: Testing the notion of central capacity. *Acta psychologica*, 46, 161-180.
- Gopher, D. Brickner, M. & Navon, D. (1982). Different difficulty manipulations interact differently with task emphasis: Evidence for multiple resources. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 8/1, 146-157.
- Greif, S. (1991). Streß in der Arbeit-Einführung und Grundbegriffe. In: S. Greif, E. Bamberg & N. Semmer (Hg.): *Psychischer Streß am Arbeitsplatz*. Göttingen: Hogrefe (1-28).
- Greif, S. (1994). Div. Stichwörter. In: H. Häcker & K. Stapf (Hg.): *Dorsch - Psychologisches Wörterbuch*. Bern: Huber.
- Grimm, H. (1988). Wahrnehmungsbedingungen und sicheres Verhalten im Straßenverkehr: Situationsübergreifende Aspekte. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Grimmer, W., Adelt, P., Stephan, E. (1995). Die Akzeptanz von Navigations- und Verkehrsführungssystemen der Zukunft: Eine AXA-Direkt-Verkehrsstudie. Bonn: Deutscher Psychologen Verlag.
- Grunow, D., Heuser, G., Krüger, H.J. & Zangemeister, C. (1996). Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen - Problemanalyse und Verfahrenskonzept. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Heft F 17*.
- Gstalter, H. (1985). Informationsgehalt von Verkehrsabläufen und Belastungsfolgen beim Kraftfahrer. In: H. Häcker (Hg.): *Fortschritte der Verkehrspsychologie (1)*. Köln: TÜV-Rheinland, 60-82.

- Gstalter, H. & Fastenmeier, W. (1995a). Nützlichkeit und Sicherheit neuer Navigationsgeräte im Kraftfahrzeug. In: R. Risser (Hg.): 35. BDP-Kongreß für Verkehrspsychologie. Bonn: Deutscher Psychologen Verlag, 213-225.
- Gstalter, H. & Fastenmeier, W. (1995b). Auswirkungen von Navigationsinformationen im Kraftfahrzeug: Mögliche Sicherheitseffekte, wichtiger Fahrervariablen und Folgerungen für empirische Untersuchungen. In: W. Fastenmeier (Hg.): Autofahrer und Verkehrssituation. Köln: TÜV-Rheinland, 79-96.
- Gstalter, H., Fastenmeier, W. & Galsterer, H. (1995). Ein elektronisches Leitsystem im Vergleich mit anderen Formen der Navigation im Fahrzeug. In: W. Fastenmeier (Hg.): Autofahrer und Verkehrssituation. Köln: TÜV-Rheinland, 123-136.
- Gstalter, H., Galsterer, H. & Fastenmeier, W. (1995). Sicherheitsauswirkungen des Leit- und Informationssystems Berlin (LISB). In: W. Fastenmeier (Hg.): Autofahrer und Verkehrssituation. Köln: TÜV-Rheinland, 97-122.
- Hacker, W. (1986). Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Bern: Huber.
- Häcker, H. (1971). Experimentelle Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Fahrverhalten. Meisenheim: Anton Hain.
- Häcker, H. (1982). Differentialpsychologische Bedingungen der Beanspruchung. In: W. Winkler (Hg.): Verkehrspsychologische Beiträge I. Braunschweig: Rot-Gelb-Grün, 246-252.
- Harms, L. (1991). Variation in driver's cognitive load. Effects of driving through village areas and rural junctions. *Ergonomics*, 34/2, 151-160.
- Heijer, T., Brookhuis, K. W., W. van & Duynstee, L. (1998). Automation of the driving task. SWOV Institute for Road safety Research, Netherlands.
- Helander, M. (1977). Vehicle control and driving experience: A psychophysiological approach. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 23/1, 6-10.
- Holte, H. (1994). Kenngrößen subjektiver Sicherheitsbewertung. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Heft M 33*.
- Horne, J. & Reyner, L. (1995). Sleep related vehicle accidents. *British Medical Journal*, 310, 565-567.

- Horne, J. & Reyner, L. (1996). Counteracting driver sleepiness: Effects of napping, caffeine and placebo. *Psychophysiology*, 33, 306-309.
- Hoyos, C. Graf & Kastner, M. (1986). Belastung und Beanspruchung von Kraftfahrern. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Hoyos, C. Graf (1988). Mental load and risk in traffic behaviour. *Ergonomics* 31/4, 571-584.
- Hoyos, Graf C. & Fastenmeier, W. (1990). Verkehrspsychologische Aufgaben im Auftrag von PROMETHEUS. In: W.-R. Nickel (Hg.): Fahrverhalten und Verkehrsumwelt: Psychologische Analysen im interdisziplinären Feld; Festschrift für Werner Winkler. Köln: TÜV-Rheinland.
- Hoyos, Graf C., Fastenmeier, W. & Gstalter, H. (1995). Forderungen an eine verhaltensorientierte Verkehrssicherheitsarbeit. In: W. Fastenmeier (Hg.): Autofahrer und Verkehrssituation. Köln: TÜV-Rheinland, 11-26.
- Huguenin, R.D. (1988). Fahrerverhalten im Straßenverkehr - Ein Beitrag zur Theorienbildung in der Verkehrspsychologie. Braunschweig: Rot-Gelb-Grün.
- Hussy, W. (1993). Denken und Problemlösen. Stuttgart: Kohlhammer.
- Jain, A. (1995). Kardiovaskuläre Reaktivität im Labor und im Feld – Eine komparative Studie zur Aussagekraft kardiovaskulärer Reaktivitätsparameter unter Feldbedingungen. Münster: Waxmann.
- Jain, A., Martens, W., Mutz, G., Weiß, R. & Stephan, E. (1996). Towards a comprehensive technology for recording and analysis of multiple physiological parameters within their behavioral and environmental context. In: J. Fahrenberg & M. Myrtek (Hg.): Ambulatory Assessment. Computer-assisted psychological and physiological methods in monitoring and field studies. Seattle: Hogrefe & Huber, Publisher.
- Kafka-Lützwow, A. (1994). Möglichkeiten nicht-visueller Informationsaufnahme im Straßenverkehr. In: Informationsaufnahme des Verkehrsteilnehmers, 3. Tagung Verkehrssicherheit. Wien: Interdisziplinäre Unfallforschung, 113-120.
- Kastner, M. (1982). Kognitiv-emotionale Variablen der Beanspruchung beim Kraftfahrer In: W. Winkler (Hg.): Verkehrspsychologische Beiträge I. Braunschweig: Rot-Gelb-Grün, 229-238.

- Kiegeland, P. (1990). Anforderung, Beanspruchung und verkehrsrelevante Einstellungen von Berufskraftfahrern: Eine arbeitswissenschaftlich-verkehrspsychologische Felduntersuchung. Köln: TÜV-Rheinland.
- Klapp, S. & Netick, A. (1988). Multiple resources for processing and storage in short-term working memory. *Human factors*, 30/5, 617-632.
- Klebensberg, D. v. (1982). Verkehrspsychologie. Berlin: Springer.
- Klebensberg, D. v. & Kallina (1960). Wieviele Verkehrszeichen können gleichzeitig wahrgenommen werden? *Kriminalistik*, 14, 353.
- Klimmer, F. & Rutenfranz, J. (1989). Methoden zur Erfassung mentaler und emotionaler Belastung und Beanspruchung. In: G. Schwabenberg, H. Pessenhofer & T. Venner (Hg.): Aktuelle Probleme der Angewandten und Experimentellen Streßforschung. Frankfurt: Peter Lang, 13-43.
- Kroj, G. & Pfeiffer, G. (1973). Der Kölner Fahrverhaltens-Test (K-F-V-T). Frankfurt: Tetzlaff.
- Küting, H. (1976). Belastung und Beanspruchung des Kraftfahrers - Literaturübersicht. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Küting, H. (1977). Belastung und Beanspruchung des Kraftfahrers - Literaturübersicht zum Stand der Forschung. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 23/1, 28-30.
- Lachenmayr, B. (1987). Peripheres Sehen und Reaktionszeit im Straßenverkehr. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 33/4, 151-156.
- Leutzbach, W. (1977). Institut für Verkehrswesen, Universität (TH) Karlsruhe. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 23/1, 3-6.
- Leutzbach, W. & Papavasiliou, V. (1988). Wahrnehmungsbedingungen und sicheres Verhalten im Straßenverkehr: Wahrnehmung in konkreten Situationen. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung.
- Lövsund, P., Hedin, A. & Törnös, J. (1991). Effects on driving performance of visual field defects: A driving simulator study. *Accident, Analysis & Prevention*, 23/4, 331-342.

- Macdonald, W. & Hoffmann, E. (1980). Review of relationships between steering wheel reversal rate and driving task demand. *Human factors*, 22/6, 733-739.
- Mackworth, J. (1970). *Vigilance and attention*. Hamondsworth: Penguin Books.
- Marbe, K. (1923). Über Unfallversicherung und Psychotechnik. *Praktische Psychologie* 4, 257-263.
- McGrath, J. (1981). Streß und Verhalten in Organisationen. In: J.R. Nitsch (Hg.): *Stress*. Bern: Huber, 441-499.
- McLean, J. & Hoffmann, E. (1975). Steering reversals as a measure of driver performance and steering task difficulty. *Human factors*, 17/3, 248-256.
- Michon, J. (1965). Studies on subjective duration: Subjective time measurement during tasks with different information content. *Acta psychologica*, 24, 205-219.
- Michon, J. (1966). Tapping regularity as a measure of perceptual motor load. *Ergonomics*, 9/5, 401-412.
- Mourant, R. & Rockwell, T. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human factor*, 14/4, 325-335.
- Mutschler, H. (1995). Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft F11.
- Näätänen, R. & Summala, H. (1974). A model of motivational factors in drivers "Decision Making". *Accident Analysis and Prevention*, 6, 243-261.
- Navon, D. & Gopher, D. (1979). On the economy of the human processing system. *Psychological Review*. 86, 214-253.
- Navon, D. & Gopher, D. (1980). Task difficulty, resources and dual task performance. In: R.S. Nickerson (Hg.): *Attention and performance VIII*. Hillsdale: Erlbaum.
- Neumann, O. (1987). Beyond capacity: A functional view of attention. In: H. Heuer & A. Sanders (Hg.): *Perspectives on perception and action*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 363-394.
- Neumann, O. (1992). Theorien der Aufmerksamkeit: Von Metaphern zu Mechanismen. *Psychologische Rundschau*, 43, 83-101.
- Nilsson, L. (1997). The role of simulation in prospective evaluation of ITS: Can simulation techniques be used to determine if an application is safe or

- unsafe? Unveröff. Vortrag auf dem IHRS-ITS-Workshop am 24.10.1997 in Berlin.
- Nirschl, G. & Kopf, M. (1997). Untersuchung des Zusammenwirkens zwischen dem Fahrer und einem ACC-System in Grenzsituationen. In: VDI-Berichte Nr. 1317, 119-148.
- Noble, M., Sanders, A. & Trumbo, D. (1981). Concurrence costs in double stimulation tasks. *Acta psychologica*, 49, 141-158.
- o.V. (1978). Der Mensch als Fahrzeugführer - Informationsaufnahme und verarbeitung durch den Menschen. FAT-Schriftenreihe, Nr. 8.
- o.V. (1978). Fahrzeugbezogene Bewertungskriterien für die Fähigkeit von Kraftfahrern, Kraftfahrzeuge zu führen. Forschungsbericht des Instituts für Landverkehrsmittel an der Technischen Universität Berlin, Bericht Nr. 239
- o.V. (1979). Der Mensch als Fahrzeugführer: Bewertungskriterien der Informationsbelastung - Visuelle und auditive Informationsübertragung im Vergleich. FAT-Schriftenreihe Nr. 12.
- o.V. (1979). Entwicklungsstand der objektiven Testverfahren für das Fahrverhalten. Köln: TÜV- Rheinland.
- o.V. (1994). Das Auto lernt denken. Daimler-Benz HighTechReport, 4/1994, 7-17.
- o.V. (1995). Kraftschlußüberwachung und Abstandsregelung. *Automobiltechnische Zeitschrift* 97/1, 22-23.
- o.V. (1997). Telematik im Verkehr – Integrierte Transport-Systeme für Mobilität und Umwelt. Broschüre des Bundesministeriums für Verkehr
- Odgen, G., Levine, J. & Eisner, E. (1979). Measurement of workload by secondary tasks. *Human factors*, 21/5, 529-548.
- O'Donnell, R. & Eggemeier, T. (1986). Workload assessment methodology. In: K. Boff, L. Kaufmann & J. Thomas (Hg.): *Handbook of Perception and Human Performance*, Vol. II. New York: John Wiley.
- Partmann, Th., Reinig, H.J. & Struck, G. (1996). Blickbewegungsmessung als Werkzeug für die Gestaltung und Bewertung von bord- und straßenseitigen Informationssystemen für den Kraftfahrer. FAT-Schriftenreihe, Nr. 127.

- Peters, H. (1997). Die nutzergerechte Gestaltung von Informationssystemen im Fahrzeug - Anforderungen für Design und Prüfung. VDI-Berichte Nr. 1317, 93-103.
- Pfafferoth, I. & Huguenin, R. (1991). Adaptation nach Einführung von Sicherheitsmaßnahmen. Ergebnisse und Schlußfolgerungen aus einer OECD-Studie.
- Pfendler, C. (1982). Bewertung der Brauchbarkeit von Methoden zur Messung der mentalen Beanspruchung bei Kfz-Lenkaufgaben. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 36, 3, 170-174.
- Plath, H.E. & Richter, P. (1984). Ermüdung, Monotonie, Sättigung, Streß (BMS). Göttingen: Hogrefe.
- Pohlmann, S. & Tränkle, U. (1994). Orientation in road traffic: Age-related differences using an in-vehicle navigation system and a conventional map. Accident, Analysis & Prevention, 26/6, 689-702.
- Popp, M.M. & Färber, B. (1997). Defizite und Probleme bei Orientierung und Navigation: Fahrtvorbereitung und Orientierungsverhalten von Kraftfahrern in fremden Städten. VDI-Berichte Nr. 1317, 63-74.
- Prinz, W. (1983). Wahrnehmung und Tätigkeitssteuerung. Berlin: Springer.
- Reichard, G. & Haller, R. (1995). Mehr aktive Sicherheit durch neue Systeme für Fahrzeug und Straßenverkehr. In: W. Fastenmeier (Hg.): Autofahrer und Verkehrssituation. Köln: TÜV-Rheinland, 199-216.
- Reiter, K. (1976). Die Beanspruchung des Kraftfahreres - Zum Problem ihres experimentellen Nachweises. Dissertation: UB Trier.
- Reyner, L. & Horne, J. (1997). Supression of sleepiness in drivers: Combination of caffeine with a short nap. Psychophysiology, 34, 721-725.
- Ripper, J. (1993). Informationsablesung im Kraftfahrzeug - Kann die Informationsaufnahme durch indirektes Sehen unterstützt werden? In: G. Kroj, H. Utzelmann & W. Winkler (Hg.): Psychologische Interventionen für die Verkehrssicherheit. Bonn: Deutscher Psychologen Verlag (64-72).
- Risser, R. & Brandstätter, Ch. (1987). Wiener Fahrprobe nach dem Prinzip der Fehlerzählung Verkehrssicherheit. In: H. Häcker (Hg.) Fortschritte der Verkehrspsychologie (2). Köln: TÜV-Rheinland.

- Risser, R. & Chaloupka, Chr. (1990). Zur Entwicklung eines Instrumentariums zur Identifizierung gefährlicher Verhaltensweisen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 36/3, 117-123.
- Risser, R. (1993). Wie passen High-Tech im Straßenverkehr und Psychologie zusammen? In: G. Kroj, H. Utzelmann & W. Winkler (Hg.): *Psychologische Innovationen für die Verkehrssicherheit*. 1. Deutscher Psychologentag. Bonn: Deutscher Psychologen Verlag, 6-12.
- Risser, R. (1995). Kriterien für einen guten Verkehr. In: R. Risser (Hg.): 35. BDP-Kongreß für Verkehrspsychologie. Bonn: Deutscher Psychologen Verlag, 405-417.
- Rockwell, T. (1988). Spare visual capacity in driving-revisited. In: A.G. Gale (Hg.): *Vision in Vehicles*, 317-324.
- Rohmert, W., Breuer, J. & Bruder, R. (1994). Arbeitswissenschaftliche Analyse des Verhaltens von Fahrern beim Führen eines Automobils. In: F. Burkardt & C. Winklmeier (Hg.): *Psychologie der Arbeitssicherheit - 7. Workshop 1993* Heidelberg: Asanger, 479-493.
- Rohmert, W., Kaiser, R., Breuer, J. & Heising, U. (1994). Aufbau und Anwendung einer Fahrsimulation für arbeitswissenschaftliche Laborversuche. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 48/2, 75-82.
- Rutley, K. (1975). Control of drivers's speed by means other than enforcement. *Ergonomics*, 18, 89-100.
- Sanders, A. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta psychologica*, 53, 61-97.
- Schroiff, H.-W. & Möhler, W. (1986). Visual information pick-up in a simulated driving situation. In: G. Debus and H.-W. Schroiff (Hg.): *The Psychology of work and organisation*. North Holland: Elsevier Science Publishers, 343-350.
- Selye, H. (1956). *Stress of life*. New York: McGraw-Hill.
- Sprenger, A. (1992). Bewertung von Anzeigetechnologien im Kraftfahrzeug am Beispiel der Geschwindigkeitsanzeige im Head-Up Display. In: K.W. Reinschild (Hg.): *Bewertung von Windschutzscheiben, Anzeige- und Blickregistrierungstechniken*. Köln: TÜV Rheinland, 65-80.
- Stephan, E., Hussy, W., Follmann, W., Hering, K. & Thiel, S. (1999). Das Kölner Verfahren zur vergleichenden Erfassung der kognitiven Belastung im Straßenverkehr. Unveröff. Projektbericht.



- Stevens, A. (1996). Draft Working Paper on Human Machine Interface.  
Unveröffentlicher Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Stevens, A. (1997). TC22 SC13 WG8 Preliminary Work Item on EVALUATION.  
Unveröffentlicher Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Tijerina, L. (1997). An approach to comprehensive evaluation of lane change crash avoidance systems. Unveröff. Vortrag auf dem IHRS-ITS-Workshop am 24.10.1997 in Berlin.
- Tränkle, U. (1978). Geschwindigkeitsbeschränkung und Fahrverhalten - Eine Analyse von Langzeitfahrten auf Autobahnen. Darmstadt: Tetzlaff.
- Ungerer, D. (1997). Zur Risikosituation während des Telefonierens im Fahrzeug. Unveröffentl. Argumentationspapier des ADAC.
- Van Wolffelaar, P. C., W. H. Brouwer & J.A. Rothengatter (1991). Older drivers handling road traffic informatics: Divided attention in a dynamic driving simulator. VTI rapport, 372A, 174-183.
- Verwey, W.B. (1996). Evaluating safety effects of in-vehicle information systems (IVIS). TNO-report TM-96-C068.
- Volpert, W. (1992). Wie wir handeln - was wir können. Ein Disput als Einführung in die Handlungspsychologie. Heidelberg: Asanger.
- Walter, W. (1989). Informationsergonomische Bewertung analoger und digitaler Codierung der Fahrgeschwindigkeit im Kfz - Ein Feldexperiment. Köln: TÜV Rheinland.
- Wickens, C. & Liu, Y. (1988). Codes and modalities in multiple resources: A success and a qualification. *Human factors*, 30/5, 599-616.
- Wickens, C. (1980). The structure of attentional resources. In: R.S. Nickerson (Hg.): *Attention and performance VIII*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 239-257.
- Wiegand, D. (1991). Die quantitative Bestimmung der psychischen Beanspruchung während aufgabenbezogener Tätigkeiten einschließlich Fahrzeugführung durch konkurrierende Zeitintervallschätzungen. In: A. Cohen & R. Hirsig (Hg.): *Fortschritte der Verkehrspsychologie '90*, 30. bdp-

Kongreß für Verkehrspsychologie und Fortbildungsveranstaltung. Köln: TÜV-Rheinland.

Wierwille, W. & Guttman J. (1978). Comparison of primary and secondary task measures as a function of simulated vehicle dynamics and driving conditions. *Human factors*, 20, 233-244.

Wierwille, W. (1992). Ein erstes Modell zur Frage: Wie erfassen Fahrer visuelle Informationen? In: K.W. Reinschild (Hg.): Bewertung von Windschutzscheiben, Anzeige- und Blickregistrierungstechniken. Köln: TÜV Rheinland, 81-96.

Wierwille, W., Guttman J., Hicks, T. & Muto, W. (1977). Secondary task measurement of workload as a function of simulated vehicle dynamics and driving conditions. *Human factors*, 19, 557-565.

Wilde, G. (1978). Theorie der Risikokompensation der Unfallverursachung und praktische Folgerungen für die Unfallverhütung. *Hefte zur Unfallheilkunde*, 130, 134-156.

Wilde, G. (1982). Critical Issues in Risk Homeostasis Theory. *Risk Analysis*, 2, 249-258.

Wuthe, W. (1997). Unveröff. Pressenotiz des ADAC zum Thema „Telefonieren am Steuer“.

Zeier, H. & Bättig, K. (1977). Psychovegetative Belastung und Aufmerksamkeitsspannung von Fahrzeuglenkern auf Autobahnabschnitten mit und ohne Geschwindigkeitsbegrenzung. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 23/1, 11-15.

Zeitlin, L. & Finkelmann, J. (1975). Subsidiary task techniques of digit generation and digit recall as indirect measures of operator loading. *Human factors*, 17, 218-220.

## 11 Anhang

### 11.1 Biographischer Fragebogen

Code: \_\_\_\_\_

Alter: \_\_\_\_\_

Beruf: \_\_\_\_\_

Geschlecht:  männlich  weiblich

Haben Sie einen Führerschein für die folgenden Kraftfahrzeugklassen?

- Klasse III / PKW
- Klasse I / Motorrad
- Klasse II /LKW

Den Führerschein der Klasse III besitzen Sie seit \_\_\_\_\_ Jahren.

Sie fahren durchschnittlich \_\_\_\_\_ Kilometer im Jahr.

Davon \_\_\_\_\_ % auf Autobahnen \_\_\_\_\_ % auf Bundes- und Landstraßen und \_\_\_\_\_ % im Stadtgebiet.

Wenn Sie fahren, fahren Sie \_\_\_\_\_ % als Berufspendler und \_\_\_\_\_ % privat.

Seit dem Erwerb Ihres Führscheins haben Sie bisher ca. \_\_\_\_\_ Kilometer zurückgelegt.

Bei freier Autobahn fahren Sie maximal bis zu \_\_\_\_\_ Stundenkilometern schnell.

Wie regelmäßig benutzen Sie einen PKW?

- täglich
- wöchentlich
- monatlich
- seltener

Ist Ihnen die Fahrerlaubnis zeitweilig entzogen worden?

- noch nie
- einmal
- zweimal
- mehr als zweimal

Waren Sie schon in Verkehrsunfälle verwickelt?

- Ja
- Nein

Davon waren \_\_\_\_\_ selbstverschuldet und \_\_\_\_\_ fremdverschuldet Unfälle.

Es handelte sich dabei um leichtere Unfälle (Unfälle mit Sachschaden)   
schwerere Unfälle (mit Personenschaden)

Ihr zuletzt gefahrener Fahrzeugtyp war ein \_\_\_\_\_  
mit \_\_\_\_\_ Hubraum und \_\_\_\_\_ PS.

Sind Sie derzeit beim Kraftfahrtbundesamt registriert?

- Nein
- Ja, einmal
- Ja, mehr als einmal

## 11.2 Feedback-Fragebogen

Name / Code: \_\_\_\_\_

Die Fahraufgabe der Untersuchung fand ich anstrengend  nicht anstrengend.

Ich fühlte mich dabei überfordert  unterfordert.

Ich konnte die Fahraufgabe gut bearbeiten  schlecht bearbeiten.

Die Fahraufgabe war für mich ermüdend  nicht ermüdend.

Die Fahraufgabe war **zu Beginn** der Untersuchung leicht  schwer zu bearbeiten.

**Am Ende** der Untersuchung war die Fahraufgabe leicht  schwer zu bearbeiten.

Die Beantwortung der Lichtsignale der Untersuchung fand ich anstrengend  nicht anstrengend.

Ich fühlte mich dabei überfordert  unterfordert.

Ich konnte die Lichtsignale während der ganzen Zeit gut bearbeiten  schlecht bearbeiten.

Das Beantworten der Lichtsignale war für mich ermüdend  nicht ermüdend.

Das Beantworten der Lichtsignal war **zu Beginn** der Untersuchung leicht  schwer.

**Am Ende** der Untersuchung fiel mir das Beantworten der Lichtsignale leicht  schwer.

### 11.3 Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere,

- daß ich die von mir vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unzulässige Hilfe angefertigt, die benutzten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben und die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten, und Abbildungen –, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem Einzelfall als Entlehnung kenntlich gemacht habe;
- daß diese Dissertation noch keiner anderen Fakultät zur Prüfung vorgelegen hat;
- daß sie, ggf. abgesehen von einer durch die Dekanin bzw. den Dekan nach Rücksprache mit der betreuenden Hochschullehrerin/dem betreuenden Hochschullehrer vorab genehmigten Teilpublikationen, noch nicht veröffentlicht worden ist; sowie
- daß ich eine solche Veröffentlichung vor Abschluß des Promotionsverfahrens nicht vornehmen werde.

Die Bestimmungen von §§ 15 und 16 der Promotionsordnung sind mir bekannt.

Die von mir vorgelegte Dissertation ist von Prof. Dr. E. Stephan und Prof. Dr. W. Hussy (erster Referent/zweiter Referent) betreut worden.

Düsseldorf, den 29.12.99

.....

(Klaus Hering)