

**Universität der Bundeswehr München**

Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik

Institut für Arbeitswissenschaft



Konzeption und Bewertung

eines fahrsituations- und fahrerleistungsadaptiven

Warn- und Informationsmanagers

M. Sc. Ramona Lermer

Vollständiger Abdruck der bei der

Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik

der Universität der Bundeswehr München

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

eingereichten Dissertation

Vorsitzender: Prof. Dr. Hans-Joachim Gudladt

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Berthold Färber

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Gerhard Rigoll

Diese Dissertation wurde am 01. September 2009 bei der Universität der Bundeswehr München, 85577 Neubiberg eingereicht und durch die Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik am 26. Februar 2010 abgenommen.

**Lermer, Ramona:**

Konzeption und Bewertung eines fahrsituations-  
und fahrerleistungsadaptiven Warn- und  
Informationsmanagers/ Ramona Lermer.

Als Ms. gedr.. – Berlin : dissertation.de – Verlag im Internet GmbH, 2010

Zugl.: München, Univ. d. Bundeswehr, Diss., 2010

ISBN 978-3-86624-489-4

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in  
der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische  
Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

**dissertation.de – Verlag im Internet GmbH 2010**

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der  
auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung  
in Datenverarbeitungsanlagen, auf Datenträgern oder im Internet  
und der Übersetzung, vorbehalten.

Es wird ausschließlich chlorfrei gebleichtes  
Papier (TCF) nach DIN-ISO 9706 verwendet.  
Printed in Germany.

dissertation.de - Verlag im Internet GmbH

URL: <http://www.dissertation.de>

*Wenn das Gehirn des Menschen  
so einfach wäre,  
dass wir es verstehen könnten,  
dann wären wir so dumm,  
dass wir es doch nicht verstehen  
würden.*

(Gaarder, 1991)



## **Vorwort**

Diese Arbeit entstand während meiner 3-jährigen Tätigkeit in der Abteilung „Ergonomie, Anzeige- und Bedienkonzepte“ bei der BMW Group in München. Dabei arbeitete ich eng mit Prof. Färber und Prof. Popp vom Institut für Arbeitswissenschaft an der Universität der Bundeswehr zusammen. An dieser Stelle möchte ich mich bei Prof. Färber und seinem Team für die fachkundige und flexible Unterstützung bedanken.

Ich möchte mich ganz herzlich bei allen Kollegen, insbesondere bei meinen Tischnachbarn, Diplomanden und Praktikanten bedanken, die die Durchführung, Auswertung und Datenaufbereitung meiner Untersuchungen mit viel Engagement unterstützt haben. Ferner gilt mein Dank den zahlreichen Versuchspersonen sowie dem Team der Fahrsimulation. Ganz besonders möchte ich an dieser Stelle Herrn Dr. Josef Schumann danken, der zu jeder Zeit der Dissertation eine effiziente und effektive Beratung sicherstellte. Nicht zuletzt möchte ich den Kollegen Bernhard Seidl und Olaf Jung danken, die unermüdlich in Wochenend- und Nachtschichten den Versuchsträger aufgebaut haben, sowie Irina Lade und Konstantin Schorp, die mich bei der Datenaufbereitung unterstützt haben. Ein großer Dank geht auch an Nadine Perera und Antje Neve, die meine Schreibphase mit zahlreichen kreativen Gesprächspausen bereicherten. Die Zusammenarbeit mit den oben genannten Personen hat maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ein besonderer Dank gilt den Korrekturlesern Stephan Müller, Michael Rath und Christian Lermer. Ferner möchte ich meinen Eltern danken, die mich zu jeder Zeit meines Ausbildungsweges unterstützt haben und mich in ihrer Vorstellung über Leistung grundlegend geprägt haben.



## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	9
Abkürzungsverzeichnis .....	11
Abbildungsverzeichnis .....	13
Tabellenverzeichnis .....	17
1 Einleitung .....	19
1.1 Motivation .....	20
1.2 Zielsetzung .....	24
1.3 Aufbau der Arbeit .....	25
2 Theoretische Grundlage .....	27
2.1 Die Fahraufgabe unter dem Aspekt der menschlichen Informationsverarbeitung .....	28
2.1.1 Informationsverarbeitung beim Menschen .....	28
2.1.1.1 Annahmen über die Funktionsweise des Informationsverarbeitungsprozesses .....	29
2.1.1.2 Annahmen über die Funktionsweise von Aufmerksamkeitsallokation .....	33
2.1.2 Informationsverarbeitung und Fahraufgabe .....	37
2.1.2.1 Mögliche Systemausgaben während der Fahraufgabe .....	38
2.1.2.2 Strukturierung der Fahraufgabe im Informationsverarbeitungskontext .....	42
2.2 Auswirkungen von Rückmeldemodalität und Timing auf Informationsaufnahme und -verarbeitung .....	43
2.2.1 Übersicht möglicher Rückmeldemodalitäten und Ausgabeorte für Systemausgaben .....	44
2.2.2 Einfluss von Modalität auf Fahrerreaktion .....	45
2.2.2.1 Unimodale Rückmeldungen .....	46
2.2.2.2 Multimodale Rückmeldungen .....	49

2.2.2.3	Zusammenfassung Auswirkungen von Modalitäten.....	51
2.2.3	Einfluss des Timings von Systemausgaben auf die Fahrerreaktion .....	51
2.2.4	Empfehlung für eine Systemklassifikation.....	52
2.3	Priorisierungsansätze .....	55
2.3.1	Statische Ansätze.....	55
2.3.1.1	Statische Priorisierungskonzepte mit Serienreife .....	55
2.3.1.2	Statische Priorisierungskonzepte in der Forschung .....	59
2.3.2	Dynamische Ansätze .....	60
2.3.2.1	Dynamische Priorisierungskonzepte mit Serienreife.....	60
2.3.2.2	Dynamische Priorisierungskonzepte in der Forschung .....	63
2.4	Zusammenfassung und Ableitung der Fragestellung.....	70
3	Experiment im statischen Fahrsimulator .....	72
3.1	Fragestellung und Ziel der Untersuchung.....	72
3.2	Methode .....	72
3.2.1	Hypothesen.....	72
3.2.2	Versuchsaufbau .....	74
3.2.3	Apparatus.....	77
3.2.4	Beschreibung der Stichprobe .....	79
3.2.5	Experimentelles Design und Versuchsablauf .....	79
3.2.6	Datenauswertung.....	81
3.3	Ergebnisse.....	84
3.3.1	Objektives Maß.....	84
3.3.1.1	Transitionszeit.....	84
3.3.2	Subjektives Maß .....	86
3.3.2.1	SA-Paradigma (N wahrgenommene Anzeigen) .....	86
3.3.2.2	RSME-Score.....	87



3.3.2.3	Befragung Rechtzeitigkeit Bedienrückmeldungen .....	88
3.4	Diskussion .....	89
3.5	Ausblick .....	92
4	Feldstudie .....	94
4.1	Einleitung.....	94
4.2	Allgemeine methodische Aspekte.....	95
4.2.1	Hypothesen.....	95
4.2.2	Testgelände.....	96
4.2.3	Versuchsaufbau .....	97
4.2.4	Versuchsträger.....	100
4.2.5	Stichprobe .....	102
4.2.6	Experimentelles Design und Ablauf .....	103
4.2.7	Datenaufzeichnung und Auswertung .....	104
4.3	Ergebnisse.....	107
4.3.1	Objektives Maß.....	107
4.3.1.1	Bremsreaktionszeit .....	107
4.3.2	Subjektives Maß .....	109
4.3.2.1	SA-Paradigma .....	109
4.3.2.2	RSME-Score.....	109
4.3.3	Diskussion.....	110
4.3.4	Ausblick.....	113
5	Konzeptentwicklung- und Bewertung.....	115
5.1	Anforderungen.....	115
5.2	Funktionsweise.....	117
5.2.1	Koordination zeitnaher Ausgaben: Priorisierungsmatrix.....	118
5.2.2	Kontextadaptive Warnschwellenmodifikation: Kontextmodule .	120
5.2.2.1	Fahrerleistungsschätzer (FLS).....	126

5.2.3 Kommunikation zwischen Kontextmodulen und Priorisierungsmatrix .....	134
5.3 Expertenevaluation des WIM-Algorithmus.....	135
6 Allgemeine Diskussion.....	138
6.1 Zusammenfassung .....	138
6.2 Herausforderungen bei der Umsetzung.....	140
6.3 Ausblick .....	141
Literaturverzeichnis.....	145
Anhang .....	159
Lebenslauf .....	187

## **Zusammenfassung**

Die Zahl neuer Fahrerassistenzsysteme (FAS) sowie die Erweiterung von Fahrerinformationssystemen (FIS) im PKW hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Damit verbunden ist ein Anstieg an Status- und Bedienrückmeldungen. Die Funktionsliste eines modernen Oberklassefahrzeugs umfasst somit mehrere Hundert Funktionen. In Abhängigkeit von der Fahrsituation ist es möglich, dass ohne ein entsprechendes Informationsmanagement Meldungen und Warnungen gleichzeitig ausgegeben werden. Das kann zur Folge haben, dass nicht alle Informationen korrekt wahrgenommen, verarbeitet und adäquat in die Fahraufgabe integriert werden. Ziel des Warn- und Informationsmanagements (WIM) ist es, diese Informationsflut in einer für den Fahrer zu bewältigenden Art und Weise aufzubereiten.

Um den Bedarf für das WIM zu ermitteln, wurden zuerst Grenzen der menschlichen Informationsverarbeitung in einem Experiment im statischen Fahrsimulator untersucht und anschließend in einem Feldversuch im Realfahrzeug validiert und erweitert. Darauf basierend wurde ein modulares Konzept entwickelt, das Rückmeldungen an den Fahrer situationsadaptiv steuert. Der Warn- und Informationsmanager berücksichtigt dabei die Fahrerleistungsfähigkeit (zur Bestimmung wird hier vorerst nur die Interaktion mit nicht fahrrelevanten Nebenaufgaben ausgewertet), den Fahrzeugzustand und die Fahrsituation. Der Funktionsnachweis des WIM wurde mittels einer Simulation prototypisch im Fahrzeug erbracht und zusätzlich mittels einer Expertenbewertung evaluiert.

Schlagwörter:

Informationsflut, Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Fahrerassistenzsysteme, Fahrerinformationssysteme, Mensch-Maschine-Interaktion



## **Abkürzungsverzeichnis**

ABS	Anti-Blockier-System
ACC	Active Cruise Control (adaptive Geschwindigkeitsregelung)
B	Baseline
BR	Bedienrückmeldung
CAN	Controller Area Network
CC	Check Control (Statusmeldung)
CID	Central Information Display
DSC	Dynamic Stability Control
FAS	Fahrerassistenzsystem
FIS	Fahrerinformationssystem
GUI	Graphical User Interface
HUD	Head Up Display
I-Kombi	Instrumenten Kombination
KL	Kammerleuchte
KW	Kollisionswarnung
LED	Light Emitting Diode
MFL	Multi-Funktions-Lenkrad
MMI	Mensch-Maschine-Interaktion
MW	Mittelwert
OEM	Original Equipment Manufacturer
RSME	Rating Scale for Mental Effort
RT	Reaktionszeit
S, L, AB	Stadt, Landstrasse, Autobahn

SD	Standardabweichung
SWW	Spurwechselwarnung
TLC	Time to Line Crossing (Spurverlassenswarnung)
TTC	Time To Collision
UDP	Unifying Data Protocol
V	Geschwindigkeit
VL	Versuchsleiter
VP	Versuchsperson
WIM	Warn- und Informationsmanagement
ZBE	Zentrales Bedienelement

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der vom Fahrer bedienbaren Funktionen in einer Premium Luxus-Limousine (angelehnt an Niedermaier, 2003) .....	21
Abbildung 2: Innenraum eines aktuellen 7er BMWs mit I-Drive (BMW Group) .....	23
Abbildung 3: Sechsstufiger Entwicklungsplan des WIM-Algorithmus .....	26
Abbildung 4: Darstellung des situativen Kontexts als Dreieck (Hoch, 2008)	27
Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Unfallursachen im Straßenverkehr (Knoll, 2006) .....	28
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Informationsverarbeitungsprozesses unterteilt in mentale Prozessstufen (Färber, 1987) .....	29
Abbildung 7: Modell zur menschlichen Informationsverarbeitung (Schumann, 2004).....	30
Abbildung 8: Ebenen-Modell zur menschlichen Informationsverarbeitung (angelehnt an Rasmussen, 1986) .....	32
Abbildung 9: Hierarchie der Aufmerksamkeitsfunktionen und Zuordnung nach Selektivität und Intensität (Posner & Petersen, 1990) .....	34
Abbildung 10: Struktur der menschlichen Informationsverarbeitung nach Wickens (1984).....	37
Abbildung 11: Übersicht aller durch WIM zu koordinierenden Systemausgaben (angelehnt an Eckstein, 2008).....	38
Abbildung 12: Zuordnung der 2006 verfügbaren FAS zu den 3 Ebenen der Fahraufgabe (Haller, 2001) .....	39
Abbildung 13: Haptische und optische Warnung des Spurwechselassistenten von BMW .....	41
Abbildung 14: Übersicht über mögliche Ausgabekanäle im Fahrzeug .....	45

Abbildung 15: Anzeigemodalitäten je nach Schadensausmaß und Zeitbudget (nach Müller & Lermer, 2008) .....	54
Abbildung 16: Dynamische Informationskoordination (Muigg, 2008) .....	62
Abbildung 17: Struktur des COMUNICAR Informationsmanagers (MMS: Mensch-Maschine-Schnittstelle, IuK: Information und Kommunikation) .....	65
Abbildung 18: 13 Bremssituationen auf einem S-L-AB Parcours (links, siehe Tabelle 9); Versuchsleiterraum (oben rechts), Sitzkiste und Bildschirmsimulation (unten rechts) .....	75
Abbildung 19: KW parallel zu einer SWW (links) bzw. einer TLC Ausgabe (rechts).....	77
Abbildung 20: Übersicht Aufbau der Fahrsimulation, Hardware und Software Interaktion .....	78
Abbildung 21: Fahrerfahrung der 52 Probanden in km pro Jahr .....	79
Abbildung 22: Reaktionszeitunterschiede zwischen der Kontroll- und der Experimentalbedingung gemittelt pro Zeitversatz zwischen Statusmeldung und KW .....	86
Abbildung 23: RSME Score für die 12 ausgewerteten Bremsreaktionen (blau: Kontrollbedingung, grün: Experimentalbedingung; Stadtevents: 1 und 2) .....	88
Abbildung 24: Satellitenbasierte Vogelperspektive der Teststrecke der Universität der Bundeswehr, Neubiberg.....	97
Abbildung 25: Schematische (links) und Realansicht (rechts) zweier Szenarien (oben: TLC und KW, unten: SWW und KW). .....	98
Abbildung 26: Ausgaben während des Versuchs (TLC + KW oben, SWW A + KW unten links, SWW B + KW unten rechts).....	99
Abbildung 27: FAS-Car mit Meßtechnik für die WIM-Versuchsreihe.....	101
Abbildung 28: Oberfläche (links) und Bildschirm (rechts) der Versuchsleiterschnittstelle im FAS-Car .....	101



Abbildung 29: Fahrerfahrung der 62 Probanden in km pro Jahr .....	103
Abbildung 30: VDA-Spurwechseltest (Internationale Norm ISO 3888-2, 1997) .....	104
Abbildung 31: Übersicht der durchschnittlichen Reaktionszeiten in den fünf Bremsereignissen .....	108
Abbildung 32: Übersicht der durchschnittlichen RSME Scores je nach Bremsereignis (MW und SD) .....	110
Abbildung 33: Schätzung der Fahrerleistung (FL) aufgrund der Interaktion mit Nebenaufgaben .....	131
Abbildung 34: Übersicht der statischen (= Priorisierungsmatrix) und dynamischen (= Kontextmodule) Meldungskoordination durch WIM .....	135
Abbildung 35: Bordnetzarchitektur des heutigen 7er BMWs (BMW, 2005); in rot: für WIM notwendige Steuergeräte .....	140
Abbildung 36: Informationsaustausch durch Car-to-Car Kommunikation (Kosch, 2008) .....	142
Abbildung 37: Fusionierte Informationsdarstellung im Konzeptfahrzeug SAAB X 9 (L'Auto-Journal, 2008).....	143



## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: „Criticality rating scale“ .....	57
Tabelle 2: „Urgency rating scale“ .....	57
Tabelle 3: Paarweise Priorisierung exemplarisch für Statusmeldungen und FIS .....	58
Tabelle 4: Übersicht der Priorisierungskriterien und deren Stufen .....	59
Tabelle 5: Ausprägungen der drei Hauptkriterien .....	59
Tabelle 6: Übersicht Benchmarkanalyse der Gestaltungskriterien für WIM (Ordinate: bisher vorliegende Ansätze, Abszisse: WIM-Gestaltungskriterien) .....	71
Tabelle 7: Übersicht der Hypothesen 1 und 2 .....	73
Tabelle 8: Charakteristik der Systemausgaben, technische Spezifikation....	74
Tabelle 9: Übersicht unabhängige Variablen: Arten der Rückmeldungen.....	81
Tabelle 10: Übersicht der durchschnittlichen Reaktionszeiten (RT) in den 13 kritischen Bremssituationen .....	85
Tabelle 11: Anzahl wahrgenommener KW-Symbole je nach Event.....	87
Tabelle 12: Übersicht der Hypothesen 1 und 2 (Anmerkung zum Zeitabstand: bei positiven Werten kommt die KW als zweite Ausgabe) .....	96
Tabelle 13: Übersicht der durchschnittlichen Reaktionszeiten (RT) und Standardabweichungen (SD) in den fünf kritischen Bremssituationen.....	108
Tabelle 14: Anzahl wahrgenommener KW-Anzeigen je nach Ereignis in Prozent .....	109
Tabelle 15: Parameter zur Definition der Kontextmodule .....	121



## 1 Einleitung

Seit der Einführung des Internets Mitte der 90er Jahre hält die Digitalisierung in allen Lebensbereichen Einzug. Nie waren Vielfalt und Komplexität technischer Einrichtungen, mit denen Menschen in den Industriegesellschaften konfrontiert werden, so groß wie heute (Mohs et al., 2007). Weitgehend unabhängig von Bildungs- und Altersschicht verändert sich das Konsumverhalten: Elektronische Gadgets, die uns den Alltag erleichtern sollen, wie z.B. Handy, PDA oder tragbare Navigationsgeräte, sind immer funktionsreicher ausgestattet. Der Mensch kann zu jedem Zeitpunkt, an fast allen Orten dieser Erde, jede beliebige Information konsumieren und transferieren. Schnell gewöhnt sich der Nutzer an diese neue Flexibilität und möchte somit nicht mehr darauf verzichten. Dabei kommt es nicht selten zu einer Art „Informationsverschmutzung“, denn unendlich viele Informationen können ungefiltert auf den Nutzer einprasseln.

Diese Veränderungen spiegeln sich auch in der Fahrzeugentwicklung wider. Zahlreiche neue Funktionen unterstützen den Fahrer bei immer komplexeren Vorgängen. Das High-Tech-Fahrzeug von heute „sieht“ und „denkt“. Ferner möchte der Fahrer auch während der Autofahrt auf nicht-fahraufgaben-, aber komfortbezogene Informationen zugreifen können. Somit können mehrere Anzeigen parallel und/oder in einer unpassenden, weil komplexen Fahrsituation erscheinen. Hierbei kann es zu einer Informationsüberflutung kommen, die im Kontext der Fahraufgabe umso kritischer zu bewerten ist. Eine mögliche Lösung wäre, die Anzahl an Rückmeldungen drastisch zu kürzen. Dies würde jedoch auch eine Reduktion von Funktionen und somit der Innovativität des Fahrzeuginnenraums mit sich bringen. Da sich die Automobilhersteller jedoch zunehmend über die Innenraumgestaltung und –funktionen differenzieren, wäre dies ein inakzeptabler Lösungsvorschlag. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dem Fahrer nur die Informationen zu geben, die für ihn in der jeweiligen Fahrsituation relevant sind. Somit soll eine Überlastung durch viele zeitnahe Ausgaben vermieden werden. Hierbei stellt sich jedoch die zentrale Frage, welche Information zu welchem Zeitpunkt vom Fahrer verarbeitet werden kann. Dabei kann die Modalität, also die Art der Darstellung (z. B. optisch oder akustisch), eine zentrale Rolle einnehmen. Ferner ist die Relevanz einer

Information von zentraler Bedeutung: Meldungen, auf die der Fahrer schnell reagieren sollte, um einen drohenden Schaden abzuwenden, sind sicherlich wichtiger als Informationen, die keine unmittelbare oder überhaupt keine Handlung erfordern. Außerdem kann der Mensch, je nach Fahrsituation und Tagesform, Informationen unterschiedlich gut verarbeiten. Es gilt also zu ermitteln, wie der Mensch, im Kontext der Fahraufgabe, Informationen aufnimmt und verarbeitet und welche Kriterien diesen Prozess erleichtern können. Basierend auf den Erkenntnissen aus diesen Untersuchungen werden Rückschlüsse gezogen, welche Information in welcher Situation für den Fahrer zumutbar ist, ohne Sicherheits- und Komforteinbußen zu verursachen.

Diese interdisziplinäre, jedoch schwerpunktmäßig ingenieurwissenschaftliche Arbeit ist in einer Abteilung der Serienentwicklung der BMW Group entstanden. Daher ist die Herangehensweise praxisorientiert und pragmatisch.

## **1.1 Motivation**

In den letzten Jahren stieg die Anzahl der Systeme, die dem Fahrer die Fahraufgabe erleichtern und angenehmer gestalten sollen, stark an. Auch weiterhin halten zahlreiche neue Fahrerassistenz- und -Informationssysteme Einzug in das Fahrzeug. In einem modernen Oberklassefahrzeug stehen dem Fahrer derzeit einige hundert Funktionen der unterschiedlichen Informationsklassen FAS, FIS und CC zur Verfügung (Entwicklung der Funktionsanzahl in Abbildung 1). Im Folgenden sind die drei Arten von Rückmeldungen kurz definiert.

Fahrerassistenzsysteme haben zum Ziel, die Fahrt komfortabler und sicherer zu machen, indem sie den Fahrer auf unterschiedlichen Ebenen der Fahraufgabe unterstützen (i.e. Stabilisierung, Führung und Navigation). Für eine Definition der drei Ebenen der Fahraufgabe siehe Kap. 2.1.2. Dabei erfordern die Rückmeldungen der meisten FAS eine unmittelbare Reaktion des Fahrers, um einen drohenden Schaden abzuwenden. Ferner gibt es autonom agierende FAS, die in kritischen Fahrsituationen schnell, zuverlässig und selbstständig agieren. Die Anzeige ist in diesen Fällen rein informativ und wird im Warn- und

Informationsmanagement (WIM) zur situationsadaptiven Priorisierung verwendet.

Eine weitere Informationsklasse stellen Fahrerinformationssysteme dar, welche es dem Fahrer erlauben, aktuelle Informationen abzurufen sowie Kommunikations- und Entertainmentfunktionen während der Fahrt zu nutzen. Da in den Bereichen mobiler Kommunikations- und Informationstechnologie starkes Wachstum zu verzeichnen ist, werden zukünftig auch im Fahrzeug vermehrt konfigurierbare Mobilfunkfunktionen integriert. Somit ist generell eine steigende Anzahl an FIS zu verzeichnen: Wichtige Meilensteine waren die jeweilige Integration von Telefon, Navigation im Jahr 1994 und umfangreicher Kommunikations- und Unterhaltungselektronik in den Jahren 2001 bzw. 2008.

Die Zunahme an FAS und FIS bewirkt auch einen Anstieg an Status- (CC) und Bedienrückmeldungen (BR). Aber nicht nur die Anzahl an Assistenzfunktionen, die den Fahrer bei der Fahraufgabe unterstützen, sondern auch deren Komplexität haben in den letzten Jahren zugenommen. Teilweise müssen sogar Experten einige Zeit mit einem System interagieren, um die Funktionsweise nachvollziehen zu können.

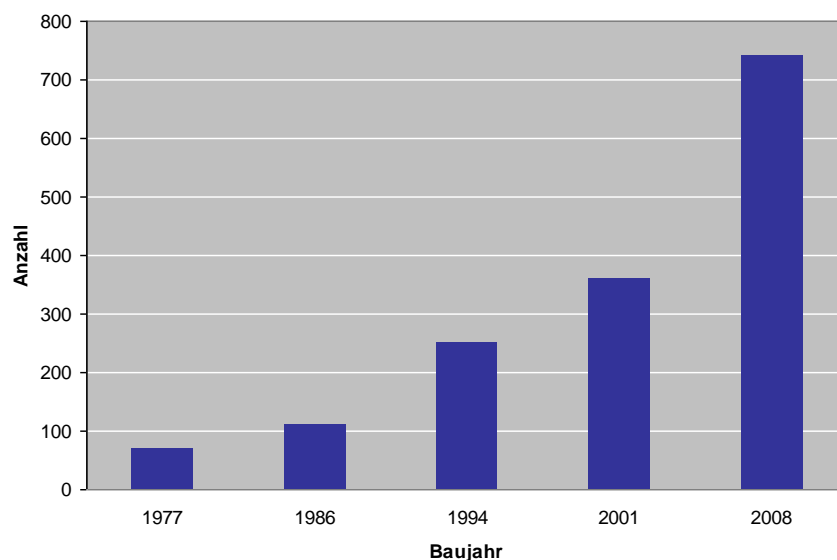


Abbildung 1: Entwicklung der vom Fahrer bedienbaren Funktionen in einer Premium Luxus-Limousine (angelehnt an Niedermaier, 2003)

Für eine effektive Aufmerksamkeitslenkung muss die Anzeige des jeweiligen Systems intuitiv gestaltet sein, sodass sie eindeutig zuzuordnen ist (Kap. 2.2.1):

Sie kann in verschiedenen Modalitäten, wie z.B. visuell, auditiv oder haptisch, oder einer Kombination aus diesen Modalitäten erfolgen. So sollte zum Beispiel eine Kollisionswarnung (KW), die vor einem drohenden Zusammenstoß mit dem vorausfahrenden Fahrzeug warnt, aus einer Kombination von Modalitäten ausgegeben werden. Im Serienfahrzeug ist diese Ausgabe derzeit über optische und akustische Ausgaben realisiert. Dagegen sollte eine rein informative und nicht warnende Statusmeldung, z.B. zum Reifendruck, rein optisch angezeigt werden. Derzeit ist diese Ausgabe jedoch optisch-akustisch realisiert. Zukünftig gilt es, Systemausgaben konsistent, also einheitlich für alle Anzeigen einer Informationsklasse, und transparent, d.h. eindeutig einer Informationsklasse zuordenbar, zu gestalten.

Im neuen BMW 7er (vorgestellt im Oktober 2008, siehe Abbildung 2) feierten diverse Fahrerassistenzsysteme Weltpremiere. Innovative Systeme wie das Nachtsichtsystem mit Fußgängerwarnung, die Verkehrszeichenerkennung oder die Spurwechselwarnung können, jedes für sich gesehen, zur Erhöhung der aktiven Sicherheit, also der Unfallvermeidung, beitragen. Allerdings sollte eine parallele Rückmeldung dieser Systeme und somit eine Informationsüberflutung des Fahrers vermieden werden.

Im ungünstigsten Fall könnten jedoch ein oder mehrere dieser Systeme zu einem für den Fahrer in der jeweiligen Fahrsituation unpassenden Zeitpunkt Informationen ausgeben. In der Presse wird ein vollausgestatteter Oberklassewagen bereits mit einer „Piepshow“ oder aber einer „Labertasche auf vier Rädern“ (Spiegel, 2008) umschrieben, da sehr viele Meldungen parallel angezeigt werden und zudem in kritischen Fahrsituationen. Demnach sehnt sich der durchschnittliche Fahrer nach einem Auto zurück, das einfach nur fährt, ohne ununterbrochen mit akustischen Ausgaben und blinkenden Anzeigen zu nerven. Idealerweise würde sich das Fahrzeug wie ein guter Beifahrer verhalten, also nicht ständig dazwischenrufen, sondern sich nur dann zu Wort melden, wenn der Fahrer aufnahmefähig ist und die Benachrichtigung nötig ist (Färber, 2006). So würde eine Kollisionswarnung nur dann angezeigt werden, wenn der Fahrer wegschaut oder aber gedanklich abwesend ist, nicht aber



wenn er die Gefahr bereits erkannt hat und dabei ist, seine Reaktion auszuführen.



Abbildung 2: Innenraum eines aktuellen 7er BMWs mit I-Drive (BMW Group)

Um also den Nutzen und die Akzeptanz für MM (Mensch-Maschine)-Ausgaben dennoch zu gewährleisten, ist es essentiell, die Darstellung und den Zeitpunkt der Systemanzeige optimal zu gestalten. Nur so kann eine Überlastung des Fahrers durch gleichzeitige Rückmeldungen oder Rückmeldungen zum falschen Zeitpunkt vermieden werden. Ferner sollten Anzeigen so gestaltet sein, dass die Dringlichkeit der erforderlichen Handlung klar vermittelt wird. Dies kann durch die Verwendung diverser Modalitäten realisiert werden, wobei die kontextsensitive Koordination dieser Anzeigen von zentraler Bedeutung ist: Unter Modalität ist der Sinneskanal zu verstehen, der durch die Ausgabe eines Systems an den Fahrer beansprucht wird. Informationen können z.B. haptisch, akustisch oder optisch ausgegeben werden (vgl. Kap. 2.2.1). Der Fahrer kann zu einem definierten Zeitpunkt nur eine gewisse Anzahl an Rückmeldungen verarbeiten, wobei die Art der Darstellung von zentraler Bedeutung ist. Ganz konkret wird also untersucht, inwieweit Menschen mit parallelen oder zeitnahen Anzeigen durch Fahrerassistenz- (FAS = Fahrerassistenzsystem),

Fahrerinformations- (FIS = Fahrerinformationssystem) und Fahrzeugstatusmeldungen (Check-Control, der Name des Borddiagnosesystems bei BMW) unterschiedlicher Modalitäten zurecht kommen.

## 1.2 Zielsetzung

Wie oben beschrieben, bringt die stetig steigende Anzahl an FAS und FIS eine Zunahme von Systemanzeigen mit sich. So nimmt, wie gesagt, nicht nur die Menge, sondern auch die Komplexität der einzelnen Systeme weiter zu: FAS sollen zunehmend mehr Teilgebiete der Fahraufgaben erleichtern. Somit wird es im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion eine immer größere Herausforderung, die unterschiedlichen Anzeigen für den Fahrer transparent und konsistent zu gestalten. Hierbei liegt der Fokus darauf, die technischen Möglichkeiten des Fahrzeugs intuitiv, also selbsterklärend darzustellen, da Selbsterklärungsfähigkeit positiv mit Produktakzeptanz korreliert (Becker, 2004).

Durch den signifikanten Anstieg der Anzahl verfügbarer Funktionen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Fahrer gleichzeitig mehrere Anzeigen erhält. Dies ist besonders problematisch, wenn es sich um Anzeigen von Fahrerassistenzsystemen handelt, die eine schnelle Reaktion des Fahrers erfordern. Da dem Menschen nur begrenzte Ressourcen zur Aufmerksamkeitssteuerung, Informationsaufnahme und -verarbeitung zur Verfügung stehen, kann seine Reaktion auf Warnungen durch gleichzeitige Ausgaben beeinträchtigt werden (siehe Kapitel 2). Daher ist es das Ziel des im Rahmen dieser Dissertation erarbeiteten Warn- und Informationsmanagements (WIM), die Vielzahl an Informationen in einer für den Fahrer verarbeitbaren Art und Weise anzuzeigen. Es wird ein Priorisierungsalgorithmus konzipiert, der wie ein Filter oder „perfekter Beifahrer“ agieren soll: Relevante Informationen sollen zum richtigen Zeitpunkt auf die effektivste Art und Weise bereitgestellt werden (Eckstein, 2008). Ferner wird ein Regelwerk abgeleitet, das es ermöglicht, bereits in der frühen Phase der Fahrzeugentwicklung ein neues System zu klassifizieren und somit die passende Rückmeldemodalität zu definieren.

Es ist dringend notwendig, alle Anzeigen situationsabhängig zu koordinieren um die Sicherheit und den Fahrkomfort zu steigern. Das Warn- und Informationsmanagement soll gleichzeitige Rückmeldungen vermeiden und die einzelnen Meldungen, auf Basis von unabhängigen Informationsmodulen zur Fahrerleistungsfähigkeit, zum Fahrzeugzustand und zur Fahrsituation, dynamisch und kontextadaptiv priorisieren.

Hierbei liegt der Schwerpunkt darauf, die Warnungen der Assistenzsysteme von Längs- und Querführung untereinander zu koordinieren, da es innerhalb dieser Gruppen bereits ein Prioritätenmanagement gibt: So ist für Anzeigen des adaptiven Geschwindigkeitsregelungssystems (ACC), des ACC Stop&Go und der Kollisionswarnung bereits eine Hierarchie festgelegt. Auch die Koordination zwischen den Anzeigen von Querführung – wie die Spurwechsel- (SWW) bzw. Spurverlassenswarnung (TLC) – ist bereits definiert. Zwischen FAS der Längsführung, wie ACC oder KW, und FAS der Querführung, wie TLC oder SWW, muss noch priorisiert werden (für eine Systemdefinition siehe Kapitel 2.1.2.1). Diese FAS könnten sonst parallel warnen und so zu einer Überlastung des Fahrers führen. Ferner sollen Anzeigen durch FIS, Status- und Bedienrückmeldungen situationsabhängig angezeigt werden. Ziel ist es, durch Koordination den Informationsfluss aus den unterschiedlichen Informationsinseln (für FAS oder FIS) zu optimieren. Das Konzept zum Warn- und Informationsmanagement berücksichtigt alle Informationsklassen und möglichen Anzeigeorte (vgl. Kapitel 2.2). Mit der Integration des WIM soll eine Überforderung des Fahrers ausgeschlossen und Sicherheit und Akzeptanz gleichermaßen sichergestellt werden.

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Nach eingehender Untersuchung und Synthese der in Kapitel 2 beschriebenen Modelle zur menschlichen Informationsverarbeitung werden in Kapitel 3 erste Hypothesen abgeleitet und in einem Experiment im statischen Fahrsimulator untersucht, um den Priorisierungsbedarf für das WIM zu ermitteln. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse werden in einem Experiment im Realfahrzeug validiert und somit die Grenzen der Informationsverarbeitung des Fahrers

aufgezeigt (Kapitel 4). Basierend auf diesen Ergebnissen wird in Kapitel 5 ein Konzept zur Informationspriorisierung entwickelt (Abbildung 3). Das WIM koordiniert Meldungen sowohl statisch über das Modul „Priorisierungsmatrix“ als auch dynamisch über die Kontextmodule „Fahrsituation“, „Fahrzeugzustand“ und „Fahrerleistung“. Letzteres wird in Kapitel 5 exemplarisch an dem Modul „Fahrerleistungsschätzer“ demonstriert: Sowohl die korrekte Funktion des Algorithmus als auch die Akzeptanz für eine situationsabhängige Warnschwellenanpassung wird in zwei Fahrversuchen (Vor- und Hauptversuch) überprüft. Das WIM-Konzept wird prototypisch in einem Versuchsfahrzeug implementiert, um die Realisierbarkeit zu demonstrieren und die Funktionsweise mit Hilfe von Experten zu bewerten. In Kapitel 6 werden die wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit zusammengefasst und weitere notwendige und sinnvolle Schritte, wie Umsetzungspläne und Konzepterweiterungen, diskutiert.



Abbildung 3: Sechsstufiger Entwicklungsplan des WIM-Algorithmus

In dieser Arbeit wird der komplette Prozess vollzogen, von der Anforderungsanalyse über die Modellbildung und Absicherung (Evaluation des Prototypen) bis hin zur Systemintegration (Feinspezifikation).

## 2 Theoretische Grundlage

Die Entwicklung des Warn- und Informationsmanagements erfordert eine starke Vernetzung unterschiedlichster Disziplinen wie Psychologie, Informatik, Elektrotechnik und Maschinenbau. Da seine Anwendung alle Bereiche des Fahrer-Fahrzeug-Umwelt Modells betrifft (Abbildung 4), wird im ersten Teil dieses Kapitels auf die Fahraufgabe unter dem Aspekt der menschlichen Informationsverarbeitung eingegangen. Neben der Zusammenfassung diverser kognitionspsychologischer Theorien werden alle vom WIM beeinflussbaren Systemanzeigen erklärt und in Bezug auf die Fahraufgabe klassifiziert. Im zweiten Teil des Kapitels wird der Einfluss diverser Faktoren wie Rückmeldemodalität und Timing von Systemausgaben auf die Informationsverarbeitung untersucht. Daraus wird ein ganzheitliches Regelwerk für die einheitliche Klassifikation und die systemergonomische Gestaltung von Anzeigen abgeleitet.



Abbildung 4: Darstellung des situativen Kontexts als Dreieck (Hoch, 2008)

Der dritte Teil des Kapitels gibt einen Überblick über bereits entwickelte Systeme verschiedener Hersteller und Forschungseinrichtungen zur Warn- und Informationskoordination. Dieser Vergleich zeigt Verbesserungspotentiale auf, die in der Eigenentwicklung eines Warn- und Informationsmanagers direkt umgesetzt werden können.

## 2.1 Die Fahraufgabe unter dem Aspekt der menschlichen Informationsverarbeitung

Die Fahraufgabe an sich ist eine der komplexesten und riskantesten Alltagsaufgaben (Bellet et al., 2007). Das scheint paradox, da quasi jeder Mensch zu jedem Zeitpunkt dazu befähigt wird. Das Autofahren verliert jedoch schnell an Banalität, wenn man die Anzahl der Verkehrsunfälle betrachtet, die jedes Jahr durch Fahrfehler verursacht werden (Abbildung 5). Die Anforderungen während des Autofahrens sind sehr komplex: Umwelt-, Strassen- und Verkehrsverhältnisse, diverse Nebenaufgaben sowie die Befindlichkeit des Fahrers können Auswirkungen auf den Schwierigkeitsgrad der Fahraufgabe haben. Ferner handelt es sich beim Autofahren um einen Prozess, bei dem der Zeitparameter von großer Bedeutung ist: Innerhalb kürzester Zeit müssen zahlreiche Informationen wahrgenommen, interpretiert und in eine Handlung integriert werden. Die zentrale Bedeutung wird daher dem Menschen zugesprochen: Es gilt zu verstehen, wie er - im Kontext der Fahraufgabe - Informationen aufnimmt und verarbeitet.

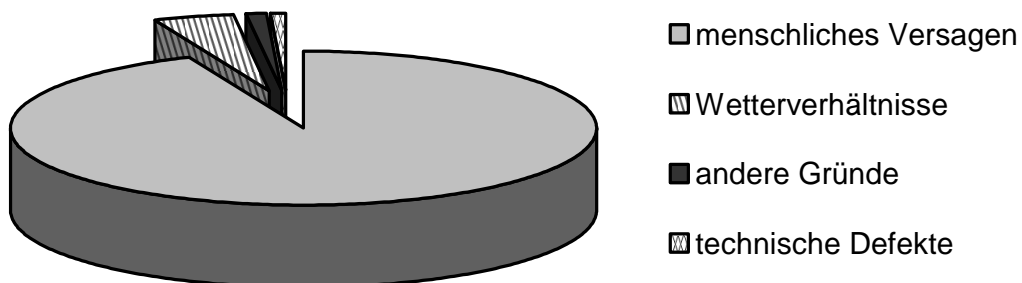


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Unfallursachen im Straßenverkehr (Knoll, 2006)

### 2.1.1 Informationsverarbeitung beim Menschen

Um im nächsten Schritt die möglichen Konflikte bei der Verarbeitung von gleichzeitig angezeigten Informationen abzuleiten, ist es wichtig zu verstehen, wie der Mensch generell Informationen verwertet. Im Folgenden wird beschrieben, welche Prozessstufen bei der Informationsverarbeitung durchlaufen werden und welche Engpässe dabei entstehen können. Hierbei

werden sowohl Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung als auch aus der angewandten Forschung der Psychologie berücksichtigt. Die Frage nach der Informationsüberlastung, also dem Umfang und der Verteilung von Aufmerksamkeit, entwickelte sich weit vor den 50er Jahren zu einem prominenten Forschungsthema (Färber, 1987). Allerdings ist es damals wie heute eine methodische Herausforderung - vor allem in dem komplexen Umfeld der Fahraufgabe -, die menschliche Informationsverarbeitungskapazität zu quantifizieren und somit Rückschlüsse auf die Funktionsweise des Informationsverarbeitungsprozesses zu ziehen.

#### 2.1.1.1 Annahmen über die Funktionsweise des Informationsverarbeitungsprozesses

Informationsverarbeitung ist der Prozess der Aufnahme und Interpretation von Umweltinformation, um daraus Verhalten zu steuern (schematische Darstellung des Prozesses in

Abbildung 6). Dabei helfen diverse kognitive (lat. *cognoscere*: „erkennen“) Funktionen, wie Aufmerksamkeit (geteilte vs. selektive) und Gedächtnis (implizites vs. explizites), die nötigen mentalen Prozessstufen zu durchlaufen.

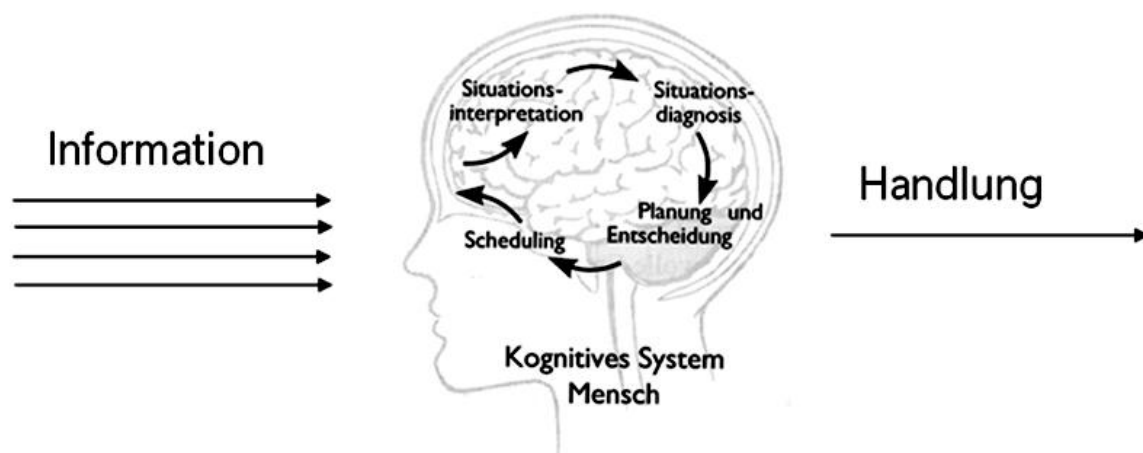


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Informationsverarbeitungsprozesses unterteilt in mentale Prozessstufen (Färber, 1987)

Ganz allgemein kann davon ausgegangen werden, dass das bei einem Rezeptor eintreffende Signal (= Sinnesreiz) in eine kognitive Repräsentation und danach in eine Reaktion transformiert werden muss (Wickens, 1992). Der

grundlegende Prozess hierbei ist die Informationsverarbeitung, die sich in die folgenden unterschiedlichen und seriellen Verarbeitungsstufen gliedern lässt (Abbildung 7): Zuerst muss ein Reiz wahrgenommen werden. Voraussetzung hierfür ist eine Sinneswahrnehmung, die zustande kommt, sobald eine gewisse Wahrnehmungsschwelle überschritten wird. Dies geschieht, wenn sich der Reiz vom allgemeinen Grundrauschen abhebt. Die Unterscheidung des Reizes vom Rauschen erfolgt entweder top-down (z.B. endogen motivierte Suche nach einer Information) oder bottom-up (z.B. Aufmerksamkeitssteigerung durch Warnton). Die Wahrnehmungsschwellen können je nach Situation und Individuum variieren. Anschließend gelangt der Reiz in das Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis. Hier wird er, unter Aufwendung von Aufmerksamkeitsressourcen, weiterverarbeitet. Dabei wird bei Bedarf relevantes Wissen aus dem Langzeitgedächtnis herangezogen. Nunmehr erfolgt die Auswahl, Vorbereitung und Ausführung der Reaktion. In der Regel ist der Informationsfluss wie auch beim Fahren kontinuierlich, da der Fahrer die Auswirkungen seiner Handlung auf das Systemverhalten direkt beobachten kann.

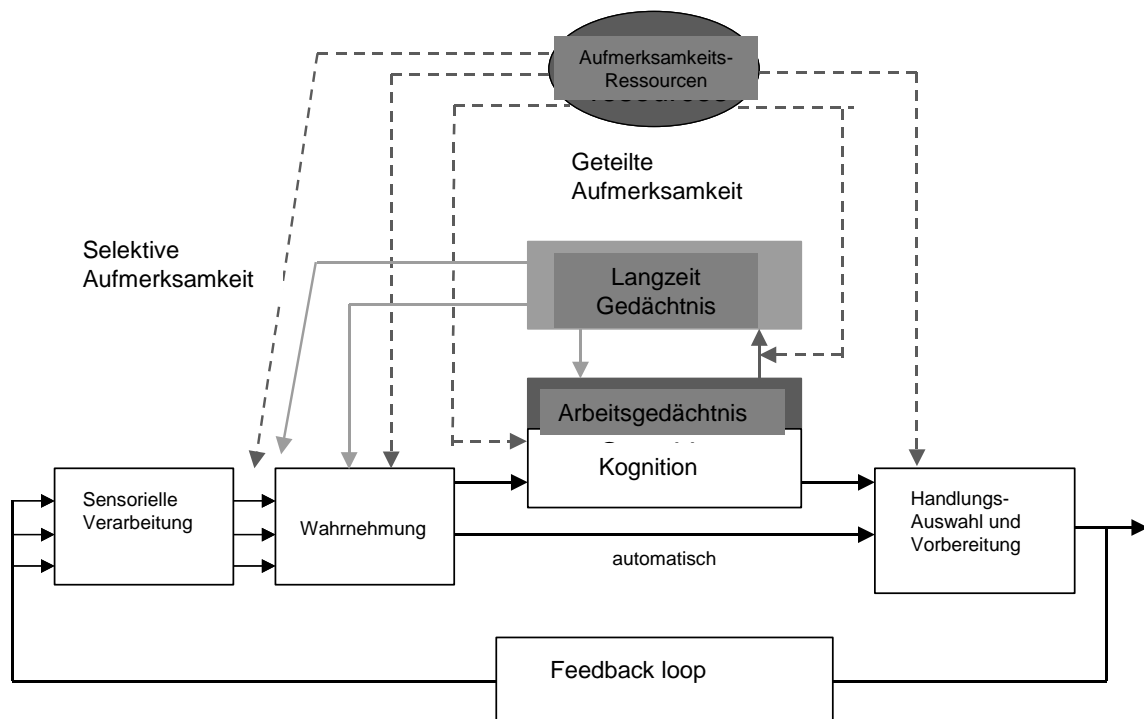


Abbildung 7: Modell zur menschlichen Informationsverarbeitung (Schumann, 2004)



Das Kurzzeitgedächtnis ist in Speicher und Kapazität beschränkt, wohingegen das Langzeitgedächtnis eine nahezu unbegrenzte Menge an Informationen (z.B. autobiografische Erinnerungen, erlerntes Wissen) dauerhaft abspeichern kann. Besonders bei der Prozessstufe der Wahrnehmung und der Verarbeitung einer Information im Kurzzeitgedächtnis ist ein wesentlicher Bestandteil die Allokation von begrenzter Aufmerksamkeit. Die Aufmerksamkeitsressourcen werden genutzt, um relevante Informationen auszuwählen und aufgrund dieser Informationen Kognition und Aktion zu kontrollieren. Allerdings sind diese kognitiven Ressourcen, aufgrund eines begrenzten Kurzzeitgedächtnisses, limitiert. Sie können entweder selektiv einer spezifischen Aufgabe oder mehreren Aufgaben gleichzeitig zugewandt werden (Färber, 1987) (siehe Kapitel 2.1.1.2).

Grundsätzlich gilt: Je automatisierter eine Handlung ist, also je weniger mentale Ressourcen ihre Ausführung benötigt, desto besser lässt sie sich mit einer zweiten Handlung koordinieren und parallel verarbeiten. Dies stimmt mit Rasmussens Modell zur menschlichen Informationsverarbeitung (Rasmussen, 1986) überein. Auch hier wird angenommen, dass auf verschiedenen, nachfolgend beschriebenen Ebenen unterschiedliche kognitive Prozesse ablaufen und somit unterschiedlich viele Ressourcen zur Erfüllung entsprechender Aufgaben benötigt werden. Rasmussen unterscheidet die fertigkeitsbasierte, die regelbasierte und die wissensbasierte Ebene. Auf der fertigkeitsbasierten („skill-based“) Ebene wird, ohne zusätzliche Verarbeitungsstufen, auf eine Wahrnehmung direkt mit einer Handlung reagiert. Dieser kognitive Prozess läuft weitgehend automatisiert und sehr schnell ab. Die regelbasierte Ebene („rule-based“) ist charakterisiert durch das aktive Abrufen von Informationen im Arbeitsgedächtnis unter Aufwendung von Aufmerksamkeit. Dabei hängt der Umfang an aufzubringenden Aufmerksamkeitsressourcen davon ab, wie geübt oder erfahren eine Person mit der Bewältigung einer bestimmten Aufgabe ist: Je automatisierter die Handlung, desto weniger Aufmerksamkeitsressourcen werden benötigt. Wissensbasierte Verarbeitung („knowledge-based“) findet statt, wenn eine Reaktion nicht direkt erfolgen kann, sondern erst Wissen aus dem Langzeitgedächtnis mit der aktuellen Situation im Arbeitsgedächtnis in Zusammenhang gebracht und

anschließend interpretiert werden muss. Diese Verarbeitungsstufe benötigt ein hohes Maß an Aufmerksamkeitsressourcen und ist somit die langsamste aller Ebenen. Für eine Übersicht der Ebenen des Rasmussen Modells in Zusammenhang mit der Fahraufgabe siehe Abbildung 8.

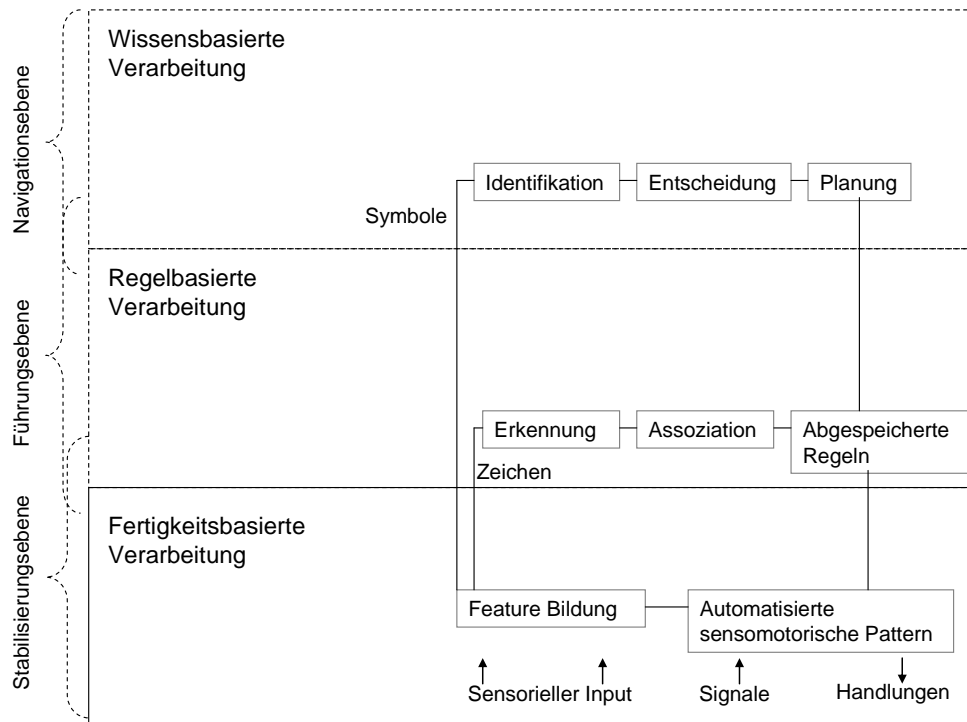


Abbildung 8: Ebenen-Modell zur menschlichen Informationsverarbeitung (angelehnt an Rasmussen, 1986)

So erfordert die Interaktion mit Gas bzw. Bremse zur Stabilisierung des Fahrzeugs auf der Fahrbahn (intuitive Handlungsvorgabe, Verarbeitung auf der fertigkeitsbasierten Ebene) sicherlich weniger mentale Ressourcen als zur Beachtung der Regel „rechts vor links“ (Abrufen der Regel und Anwendung auf die Reaktion: „Wenn sich ein Auto der nächsten Kreuzung nähert, muss ich anhalten, um ihm Vorfahrt zu gewähren“, Verarbeitung auf der regelbasierten Ebene). Umgekehrt ist die letztere Handlung komplexer und verursacht somit mehr mentale Beanspruchung oder „Workload“ als die erste. Hart und Wickens (1992) definieren den Begriff Workload (= (engl.) Workload) folgendermaßen:

“Workload is a general term used to describe the cost of accomplishing task requirements for the human element of man-machine systems. This ‘cost’ may be reflected in the depletion of attentional, cognitive, or response resources, inability to accomplish additional activities, emotional stress, fatigue, or performance decrements.”

Im Falle kognitiver Ablenkung, oder aber in kritischen Fahrsituationen, kann es passieren, dass Ressourcen an andere, eventuell nicht fahrrelevante Aufgaben gebunden sind. Dies kann dazu führen, dass Elemente einer Situation zu oberflächlich verarbeitet werden. Somit nimmt die mentale Beanspruchung zu. Auch hier gilt: Je intuitiver eine Wahrnehmung oder je automatisierter eine Handlung, desto weniger Workload wird verursacht. In diesem Fall sind Wahrnehmung und Handlung direkt miteinander verknüpft. Die Verarbeitung des Reizes muss nicht mehr alle Stufen des Informationsverarbeitungsprozesses, wie Interpretation (z.B. Abgleich mit abgespeichertem Wissen des Langzeitgedächtnisses) und Entscheidung, durchlaufen. Auch diese Theorie ist konform zu Rasmussens Modell: Prozesse auf der fertigkeitbasierten Ebene, im Gegensatz zu regelbasierten oder wissensbasierten Prozessen, erfolgen fast automatisch, ohne ein hohes Maß an Aufmerksamkeit zu binden. Regelbasiertes oder mehr noch wissensbasiertes Verhalten erfordert ein höheres Maß an kognitiven Ressourcen und verursacht somit ein höheres Level an Workload.

#### *2.1.1.2 Annahmen über die Funktionsweise von Aufmerksamkeitsallokation*

Im Allgemeinen steht Aufmerksamkeit für Selektion in der Wahrnehmung. Diese Definition beinhaltet eine breite Palette an kognitiven Phänomenen. Im Folgenden wird ein Überblick über die Funktionsweise von Aufmerksamkeitsprozessen gegeben.

#### *Neuropsychologische Modelle zu Aufmerksamkeit*

Pribram und McGuinness (1975) beschreiben in einem der ersten neuropsychologischen Modelle die Aufmerksamkeit als ein Konstrukt, das von drei Komponenten gesteuert wird: „Arousal“ für die sensorische Integration (= Wahrnehmung), „activation“ für die motorische Reaktionsfähigkeit und „effort“

für die Koordination der beiden Begriffe. Diese drei Komponenten von Aufmerksamkeit spielen auch in den von Wickens definierten Verarbeitungsstufen der Informationsselektion, -verarbeitung und Reaktion eine entscheidende Rolle: „Arousal“ wird zur Wahrnehmung, „Effort“ zur Verarbeitung einer Information, also dem Übergang von sensorischer Integration zur Handlung, und „Aktivation“ zur Reaktion benötigt.

Eine weitere Unterteilung des Begriffs Aufmerksamkeit sieht die Aspekte „Alertness“, „Vigilanz oder Daueraufmerksamkeit“, „selektive Aufmerksamkeit“ und „geteilte Aufmerksamkeit“ vor (Sturm et al., 1994). „Alertness“ steht dabei für eine Art „Grundaktivierung“ und „Vigilanz“ für „längerfristige Aufmerksamkeitszuwendung“ (Schmenk, 2003). Selektive Aufmerksamkeit ist gefordert, um alle Ressourcen auf bestimmte Merkmale zu fokussieren (und nichtrelevante Reize auszublenden), wohingegen geteilte Aufmerksamkeit bei Aufgaben nötig ist, bei denen mindestens zwei Reizquellen nach relevanten Kriterien abzu prüfen sind. Posner und Petersen (1990) ordnen in einem Modell die oben genannten Aufmerksamkeitsfunktionen nach Sturm et al. (1994) hierarchisch an (Abbildung 9). Zusammenfassend ist festzustellen, dass „Alertness“ und „Daueraufmerksamkeit“ den Intensitätsaspekt, also kurze vs. lange Aufmerksamkeitsspanne, repräsentieren. Da die Aufmerksamkeitskapazität limitiert ist, erfolgt die Informationsselektion entweder mithilfe „selektiver Aufmerksamkeit“ oder „geteilter Aufmerksamkeit“.

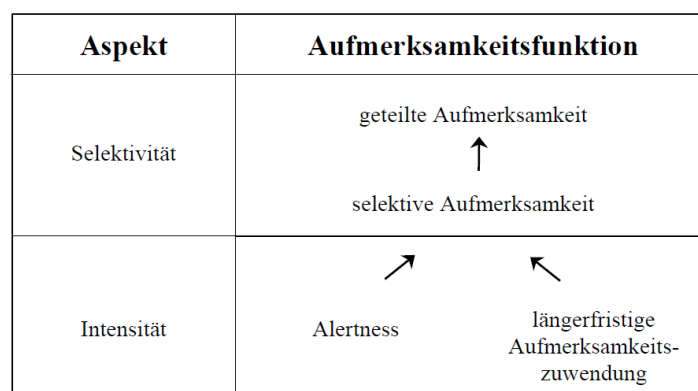


Abbildung 9: Hierarchie der Aufmerksamkeitsfunktionen und Zuordnung nach Selektivität und Intensität (Posner & Petersen, 1990)

Die Komplexität der Fahraufgabe erfordert meist eine parallele Reizverarbeitung zur Bewältigung diverser Informationen (Fahrzeugbedienung, Reaktion auf andere Verkehrsteilnehmer, Interaktion mit Nebenaufgaben und dem Beifahrer). In Extremsituationen, wie zum Beispiel einer drohenden Kollision mit dem Vordermann, ist jedoch auch eine Konzentration von Aufmerksamkeit auf die drohende Gefahr zu erwarten, d.h. selektive Aufmerksamkeit erhöhter Intensität auf den Zielreiz. Der Fahrer konzentriert sich in diesem Fall, sofern er die Bremslichter (= Zielreiz) des Vordermanns wahrnimmt, voll und ganz auf die schnelle Ausführung seiner Reaktion. Dazu müssen alle Prozessstufen durchlaufen werden und Entscheidungen getroffen werden. Dies kostet jedoch mehr kognitive Ressourcen und ist somit interferenzanfälliger mit anderen Tätigkeiten.

#### *Kognitionspsychologische Modelle zu Aufmerksamkeit*

In der Kognitionspsychologie entwickelten sich seit Mitte der 60er Jahre zahlreiche Theorien zur Funktionsweise von Aufmerksamkeit. Ähnlich wie in den oben diskutierten, neuropsychologischen Modellen wird dabei selektive und geteilte Aufmerksamkeit unterschieden. Ferner ist eine zentrale Frage der Zeitpunkt der Reizselektion: Findet die Begrenzung der Informationsverarbeitungskapazität bereits bei der Auswahl, Integration oder Reaktion statt?

Kapazitäts- oder Ressourcen-Modelle (Treisman, 1960; Broadbent, 1987) plädieren für eine Einschränkung zu einer sehr frühen Verarbeitungsphase, da der Kurzzeitspeicher des Menschen in seiner Kapazität begrenzt ist. Demnach ist das Konstrukt Aufmerksamkeit eine zentrale Ressource, deren Engpass bereits bei der Auswahl eines Reizes relevant wird. Allerdings zeigt das Cocktail-Party Phänomen, dass dieses Modell nicht immer zutreffend ist (Cherry, 1953): Wenn man auf einem Empfang in eine Konversation vertieft ist, dringen sehr markante Reize, wie der eigene Name, dennoch ins Bewusstsein.

Den Ressourcenmodellen gegenüber stehen Strukturmodelle (Deutsch & Deutsch, 1963; Allport et al., 1972). Es wird angenommen, dass die Selektion parallel und damit in einer weit späteren Phase des Informationsverarbeitungsprozesses stattfindet. Dabei werden alle auf den

Körper einströmenden Informationen vollständig, also auf der höchsten Verarbeitungsstufe analysiert. Die Zuweisung von Aufmerksamkeit ist mit der Auswahl einer Reaktion aus allen möglichen Optionen gleichzusetzen.

Hybride Modelle (Wickens, 1980; Kinsbourne & Hicks, 1978) entstanden als Erweiterung aus den Strukturmodellen: Hierbei werden wahrnehmende Sinneskanäle (z.B. visuell, auditiv) und kognitive Verarbeitungsstrukturen (z.B. semantisch, bildhaft oder räumlich) unterschieden. Die Informationsverarbeitung kann parallel erfolgen, sofern unterschiedliche Eingabekanäle und unterschiedliche Verarbeitungsstrukturen oder aber mehrere Kanäle und eine oder mehrere Strukturen betroffen sind (Färber, 1987). Ein Beispiel für den zuletzt beschriebenen Fall wäre die getrennte Darbietung verschiedener Worte über Auge und Ohr: Hierbei werden unterschiedliche Eingabekanäle, aber dieselbe Verarbeitungsstruktur beansprucht. Hybride Modelle sehen den Austausch von Ressourcen zwischen den Strukturen vor. Strukturen können stark automatisierte Verhaltensmuster oder aber durch Übung erworben sein. Ein besonders prominentes Hybrid-Modell ist das der „multiplen Ressourcen“ von Wickens (1984). Nach diesem Aufmerksamkeitsmodell sind parallel von einer Maschine angezeigte Meldungen besonders dann kritisch, wenn sie dieselbe Modalität (z.B. visuell, auditiv), dieselbe Verarbeitungsstufe (z.B. Informationsselektion, -verarbeitung und Reaktion) oder denselben Verarbeitungstyp (räumlich, sprachlich) benutzen (Abbildung 10). Erfolgen gleichzeitige Anzeigen an den Fahrer in der gleichen Modalität oder aber beanspruchen sie die gleichen motorischen Zentren zur Reaktion, kann es zu Konflikten und daher unadäquater bzw. verzögerter Informationsverarbeitung kommen. Dies kann zur Folge haben, dass nicht alle Informationen (Reize, Wahrnehmungen, Meldungen) richtig wahrgenommen, verarbeitet und korrekt in die Fahraufgabe integriert werden können. Nach diesem Modell kann also eine Wahrnehmung und eine Reaktion parallel ausgeführt werden, sofern unterschiedliche Modalitäten und Repräsentationsformate (räumlich, verbal) verwendet werden. Wie auch in Rasmussens Modell definiert, können nach Wickens Theorie automatisierte Aufgaben parallel ausgeführt werden.

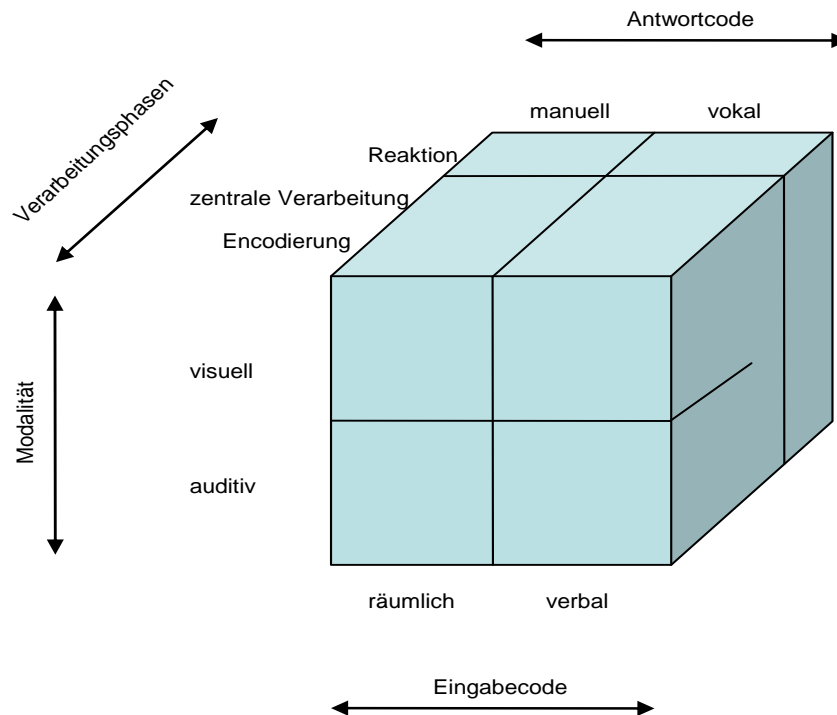


Abbildung 10: Struktur der menschlichen Informationsverarbeitung nach Wickens (1984)

Die oben beschriebenen Modelle haben jedoch gemeinsam, dass dem Menschen nur eine begrenzte Menge an Aufmerksamkeitsressourcen zur Verfügung steht. Diese Mechanismen gilt es miteinzubeziehen, um die Mensch-Maschine-Schnittstelle, also die Ausgaben/Anzeigen/Meldungen des Fahrzeugs an den Fahrer, optimal an die menschliche Informationsverarbeitungskapazität anzupassen.

### 2.1.2 Informationsverarbeitung und Fahraufgabe

Im Folgenden wird beschrieben, wie die Fahraufgabe an sich strukturiert werden kann. Damit ist es möglich, die einzelnen Prozessstufen der Informationsverarbeitung in Bezug auf den zu bewältigenden Teil der Fahraufgabe zu analysieren. Je nach Fahrsituation und Systemausgabe soll somit die Überlastung des Fahrers durch Engpässe in der Informationsaufnahme und -verarbeitung vermieden werden.

### 2.1.2.1 Mögliche Systemausgaben während der Fahraufgabe

Die in dieser Arbeit entwickelte Priorisierung sieht die Koordination aller Anzeigen im Fahrzeug vor, also aller fahr- und nichtfahrrelevanten Ausgaben an der MM-Schnittstelle (Abbildung 11). Dabei werden FAS, FIS und CC-Meldungen unterschieden.

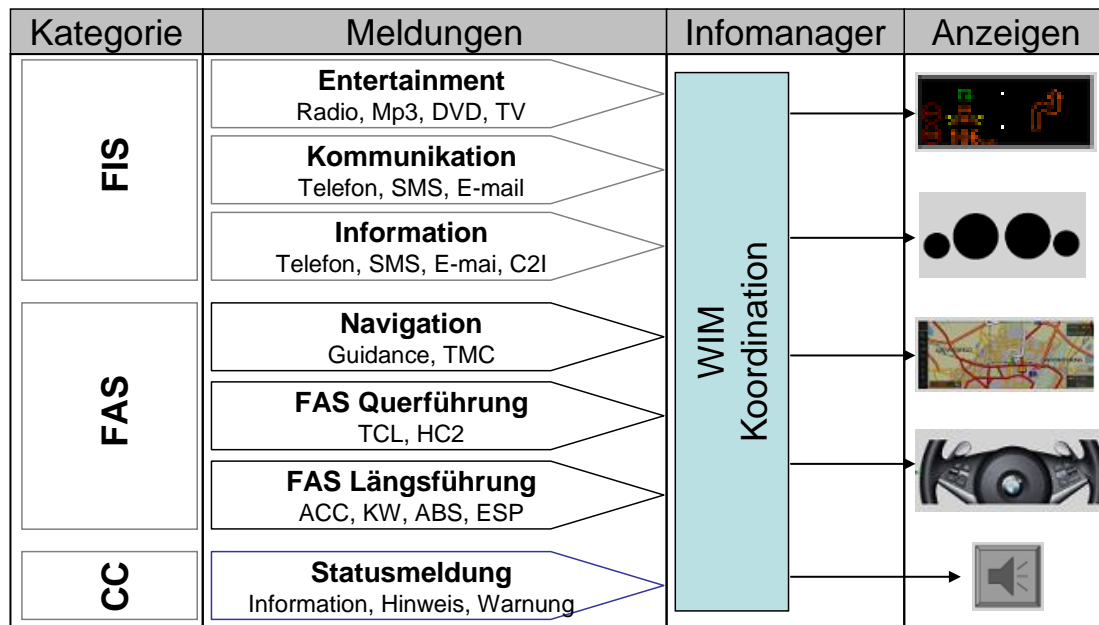


Abbildung 11: Übersicht aller durch WIM zu koordinierenden Systemausgaben (angelehnt an Eckstein, 2008)

Die Klassifikation der Systeme, also die systematische Einteilung von Begriffen oder Gegenständen anhand von definierten Kriterien (Helmer, 2007), ist für die Festlegung der Priorisierungslogik unumgänglich. Nur so kann eine konsistente Einordnung aller Systeme sichergestellt werden. Innerhalb dieser Systemklassen können weitere Unterscheidungen getroffen werden: Fahrerassistenzsysteme werden funktional zum Modell der hierarchischen Fahrzeugführung mit den drei Ebenen Navigation, Führung und Stabilisierung zugeordnet (siehe Kapitel 2.1.2.2 für eine genaue Erläuterung). Ferner können sie in Komfort- und Sicherheitssysteme oder aber in informierende, warnende und regelnde Systeme eingeteilt werden (Weller & Schlag, 2002). Allerdings stoßen viele dieser Klassifizierungen an ihre Grenzen: Nicht alle Systeme lassen sich eindeutig zuordnen. Jedoch lassen sich all diese Klassifizierungen



in genau zwei zentralen Achsen abbilden: Um die Hierarchie der einzelnen Systemausgaben festzulegen, wird daher im Weiteren das Kriterium der zeitlichen *Dringlichkeit* einer Ausgabe und des *Schadensausmaßes* bei Ausbleiben einer Handlung verwendet (siehe Kapitel 2.2.3).

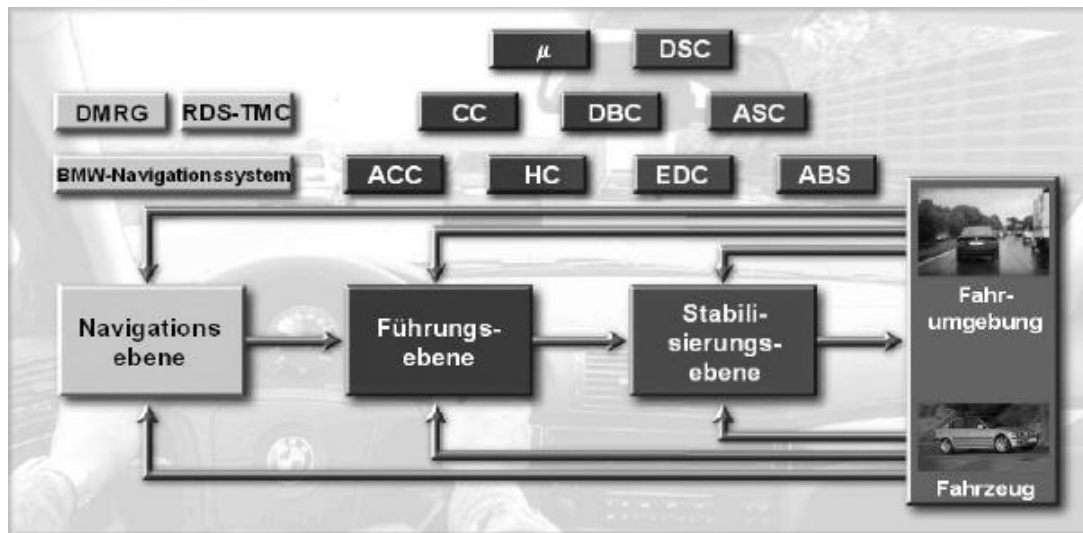


Abbildung 12: Zuordnung der 2006 verfügbaren FAS zu den 3 Ebenen der Fahraufgabe (Haller, 2001)

Fahrerinformationssysteme werden weiter in die Bereiche Kommunikation und Entertainment unterteilt. Die Ausgabe von FIS ist meist nicht zeitkritisch. Zudem entsteht, selbst bei dringenden Meldungen, wie z.B. einem Telefonanruf, bei Nichtbeachten der Ausgabe (= Ausbleiben einer Reaktion durch den Fahrer) kein Schaden oder höchstens eine Komforteinbuße. Das Check Control Modul koordiniert alle fahrzeugbezogenen Status- und Bedienrückmeldungen nach a priori definierten Kriterien: Dabei ist das Schadensausmaß, die zeitliche Dringlichkeit und die vom Fahrer gewünschte Handlung ausschlaggebend. Es kann zwischen Bedienrückmeldungen, also „Feedback“ des Fahrzeugs als Reaktion auf eine Eingabe des Fahrers, und Statusmeldungen, also vom Fahrzeug generierte Zustandsmeldungen, unterschieden werden. Aktiviert der Fahrer zum Beispiel das TLC (Time-to-Line-Crossing, Linienüberfahrungsanzeige) - unter 50 km/h - erscheint die Bedienrückmeldung „System erst ab 70 km/h aktivierbar“ in der Instrumentenkombination. Beispiele für informierende CC-Meldungen sind die 3°-Warnung oder die Information bei zu wenig Scheibenwischwasser. Ferner gibt es Meldungen wie „drastischer

Abfall des Reifendrucks“ oder „Überhitzung des Motorkühlwassers“, die - aufgrund ihrer Dringlichkeit - einen warnenden Charakter haben: Die Reaktion des Fahrers sollte schnell erfolgen, denn bei Nichtbeachtung der Warnung ist das Schadensausmaß hoch. In den BMW-Gestaltungsrichtlinien wurde im Zuge des Konzepts zum Warn- und Informationsmanagement die optimale Darstellung einer Information festgelegt. So soll mit der Semantik, der Farbe und der Blinkfrequenz des Symbols sowie der Amplitude des Warntons dem Fahrer die Zugehörigkeit einer CC-Meldung zu einer Informationsklasse klar vermittelt werden. Auch die anderen Meldungen sollen durch die passende Rückmeldemodalität intuitiv interpretierbar werden.

Folgende Systeme werden in dieser Arbeit bei der Aufstellung der Priorisierungslogik betrachtet:

- Dynamic Stability Control (DSC) oder Electronic Stability Program (ESP): Dieses System agiert autonom, wenn das Fahrzeug z.B. in einer Kurve auszubrechen droht. Durch gezielte Bremsung eines einzelnen Reifens wird das Über- bzw. Untersteuern verhindert und das Fahrzeug stabilisiert (Bosch, 2004). Der Eingriff wird dem Fahrer durch das Blinken einer Kontrollleuchte signalisiert.
- Anti Blockier System (ABS): Das ABS verhindert ein Blockieren der Räder beim Bremsen. Dabei wird der Bremsdruck an allen Rädern einzeln so geregelt, dass möglichst hohe Brems- und Seitenführungskräfte übertragen werden können, ohne dass das Rad zum Stillstand kommt. Dadurch bleibt das Fahrzeug auch bei Notbremsungen lenkbar. Kommt das ABS zum Einsatz, spürt der Fahrer dies durch ein leichtes Pulsieren des Bremspedals (BMW, 2008).
- Adaptive Geschwindigkeitsregelung (engl. Adaptive Cruise Control): Dieses System regelt die Geschwindigkeit und den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, wobei ACC sowohl selbstständig bremst als auch bis zur vorgewählten Geschwindigkeit wieder beschleunigt. Das System ist eine Erweiterung des Tempomaten, der die Fahrzeuggeschwindigkeit konstant hält. Kann das Fahrzeug den Bremsengriff nicht mehr selbst vollziehen (aus Sicherheitsgründen ist die

Bremsleistung des ACC begrenzt), da die Verzögerung des Vorderfahrzeugs zu groß ist, so erhält der Fahrer vom ACC eine Übernahmeaufforderung: In der Instrumenten-Kombination leuchtet ein Fahrzeugsymbol auf und es ertönt ein Warnton (Bosch, 2004).

- Kollisionswarnung: Aufgrund bestimmter Parameter (Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, Differenzgeschwindigkeit, Eigen- und Fremdverzögerung) errechnet dieses System die so genannte Bremszeitreserve, also die Zeit, die dem Fahrer für einen Bremsenriff bleibt, um eine drohende Kollision zu verhindern. Nähert sich die Bremszeitreserve einem kritischen Wert, d.h. erfordert die Situation eine schnelle Reaktion des Fahrers, erhält er eine Warnung in Form eines rot blinkenden Fahrzeugsymbols und eines Warntons.
- Spurverlassenswarnung (engl. Time to Line Crossing): Das System kontrolliert die Einhaltung der eigenen Fahrspur. Bei einer unerwünschten Überquerung der Fahrspurbegrenzung wird der Fahrer durch eine Vibration des Lenkrads gewarnt.
- Spurwechselwarnung (Heading Control oder Blind Spot Detection): Durch Bildverarbeitung wird der so genannte „tote Winkel“ des Außenspiegelsichtfelds überwacht. Beabsichtigt der Fahrer die Spur zu wechseln, obwohl sich ein Fahrzeug im toten Winkel befindet, wird der Fahrer optisch im Außenspiegel und haptisch am Lenkrad durch ein Gegenlenkmoment gewarnt (Abbildung 13).

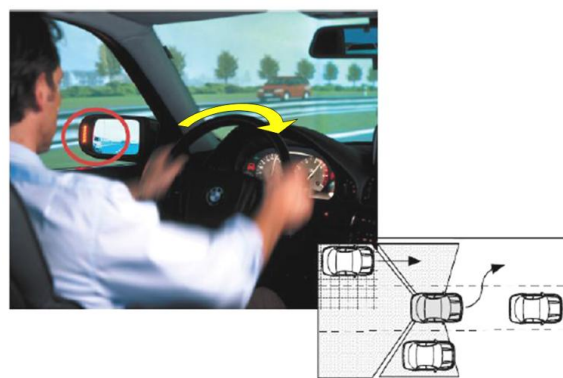


Abbildung 13: Haptische und optische Warnung des Spurwechselassistenten von BMW

- Navigationssystem: Dieses System übernimmt die Routenplanung. Die Navigationsaufgabe wird durch gezielte optische und/oder akustische Hinweise für den Fahrer auf die Führungsaufgabe reduziert.
- Verkehrsmeldungen (engl. Traffic-Message-Channel, TMC): Anzeigen sind an das Navigationssystem gekoppelt und erfolgen optisch und/oder akustisch.
- Kommunikation: Hierbei werden dem Fahrer Ausgaben durch Telefon oder Internet optisch und/oder akustisch angezeigt.
- Check Control: Hierbei handelt es sich um Statusmeldungen des Fahrzeugs bzw. Rückmeldungen nach einer Bedieneingabe seitens des Fahrers. Man unterscheidet Informationen, Hinweise und Warnungen, die sich in der jeweiligen optischen und akustischen Codierung widerspiegeln.

#### *2.1.2.2 Strukturierung der Fahraufgabe im Informationsverarbeitungskontext*

Nach Donges (1978) bieten Fahrerassistenzsysteme dem Fahrer bei der Stabilisierung, Führung und Navigation des Fahrzeugs eine wirksame Unterstützung. Ursprünglich definierte Allen die primäre Fahraufgabe in seinem hierarchischen Modell durch diese drei Ebenen (für Details siehe Allen et al., 1962). Assistenzsysteme erfordern, abhängig von der hierarchischen Ebene, auf der sie agieren, unterschiedlich schnelle Reaktionen. Systeme, die den Fahrer bei der Fahrzeugstabilisierung unterstützen, agieren in der Regel autonom, d.h. ohne den Fahrer vorher zu informieren (z.B. Dynamic Stability Control). Systeme auf der Führungsebene, die eine Reaktion des Fahrers erfordern, haben zum Ziel, in einer bedrohlichen Situation die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die relevante Information zu lenken. So weist z.B. eine Kollisionswarnung (KW) den Fahrer bei einer kurz bevorstehenden Frontalkollision mit einem hochfrequenten Warnton und einem blinkenden Symbol in der Instrumenten-Kombination auf die Notwendigkeit seiner Reaktion hin. Auf der Navigationsebene wird der Fahrer vom Navigationssystem, bei der Routenplanung und der Orientierung beim Fahren unterstützt. Diese Situation

erfordert lediglich mittelbare Reaktionen des Fahrers und ist somit wenig zeitkritisch. Zusammenfassend erfordern FAS der Stabilisierungsebene Reaktionen im Millisekunden-, FAS der Führungsebene Reaktionen im Sekunden- und FAS der Navigationsebene Reaktionen im Sekunden- bis Minutenbereich (siehe Abbildung 12).

Diese Schlussfolgerungen lassen sich in den in Kapitel 2.1.1.1 von Rasmussen definierten Informationsverarbeitungsprozessen abbilden: Reaktionen auf der Stabilisierungsebene erfolgen hauptsächlich nach abgespeicherten Mustern, also fertigkeitsbasiert, wohingegen auf der Führungsebene meist Regeln in Form von „wenn-dann“ zur Lösung von Problemen verwendet werden. Auf der Navigationsebene können Lösungen nur durch neu generierte Verhaltensweisen, basierend auf bewussten analytischen Prozessen, also wissensbasiert, entstehen. Somit erfordern Prozesse auf Navigationsebene mehr kognitive Ressourcen und damit mehr Zeit zur Bearbeitung, als Prozesse auf der Führungs- bzw. Stabilisierungsebene. Am wenigsten beanspruchend und daher am schnellsten ausführbar sind stark automatisierte, also fertigkeitsbasierte Handlungen.

## **2.2 Auswirkungen von Rückmeldemodalität und Timing auf Informationsaufnahme und -verarbeitung**

Wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben wird, kann der Informationsverarbeitungsprozess durch diverse Kriterien des Zielreizes beeinflusst werden: So spielen nicht nur inhaltliche und gestalterische, sondern auch zeitliche Aspekte eine Rolle, wenn es darum geht, Interferenz zu vermeiden. Die Rückmeldemodalitäten (= Arten von Systemrückmeldungen, z.B. optisch, akustisch, haptisch) unterscheiden sich in Informationsgehalt und ihrer Fähigkeit Aufmerksamkeit zu binden. Ein weiteres Kriterium für diese Interferenz ist der zeitliche Abstand bei zeitnahen Ausgaben, also bei Anzeigen, die von verschiedenen Systemen innerhalb eines kurzen Zeitraums von wenigen Sekunden ausgegeben werden. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über Gestaltungsmöglichkeiten von Systemrückmeldungen und deren Auswirkungen auf die Informationsverarbeitung. Daraus lässt sich konkret

ableiten, in welcher Form und mit welchem zeitlichen Abstand dem Fahrer Informationen präsentiert werden sollten.

### 2.2.1 Übersicht möglicher Rückmeldemodalitäten und Ausgabeorte für Systemausgaben

Der Mensch nimmt die Umwelt mit sechs Wahrnehmungskanälen wahr, nämlich dem visuellen, dem auditiven, dem kinästhetischen, dem gustatorischen, dem olfaktorischen und dem vestibulären Kanal. Grundsätzlich werden diese Adjektive für die Beschreibung von subjektiven Empfindungen, also Sinneswahrnehmungen, verwendet, wohingegen physische Signale als „optisch“, „akustisch“ bzw. „haptisch“ definiert werden.

Bisher werden im automobilen Bereich Informationen hauptsächlich optisch und akustisch und in geringem Maße haptisch ausgegeben: Kollisionswarnungen und Meldungen zum Fahrzeugzustand, wie z.B. 3°-Warnung, Tankreserve oder die Meldung „Wischwasser leer“, werden derzeit in Personenkraftwagen rein optisch und akustisch präsentiert. Lediglich im Bereich der Lastkraftwagen wird auch die Propriozeption (= Eigenwahrnehmung) beansprucht: Bei Nichtreaktion nach einer Kollisionswarnung bremsen LKWs selbstständig bis zum Stillstand, wobei der Fahrer die Verzögerung spürt. Allerdings handelt es sich hier um einen autonomen Eingriff, der nur indirekt als Aufforderung zur Reaktion verstanden werden kann. Auch im PKW-Segment wird das Potential von kinästhetischen bzw. haptischen Rückmeldungen zunehmend erkannt: ein Bremsruck (= das selbständige kurze Anbremsen des Fahrzeugs) oder das Anziehen des Gurtstraffers als Warnung bei einer drohenden Kollision mit dem Vordermann kann einen erheblichen Sicherheitsgewinn bringen. Diese Modalitäten gelten als sehr direkt und somit intuitiv beantwortbar, da keine explizite Interpretation des Reizes anhand von Regeln nötig ist (Wickens, 1984). Unter anderem daraus ergibt sich das Ziel, die mögliche Überlastung des visuellen Kanals zu vermeiden und Aufmerksamkeit vermehrt mit anderen Modalitäten zu lenken: Dabei können entweder einzelne Kanäle oder mehrere Kanäle parallel angesprochen werden.

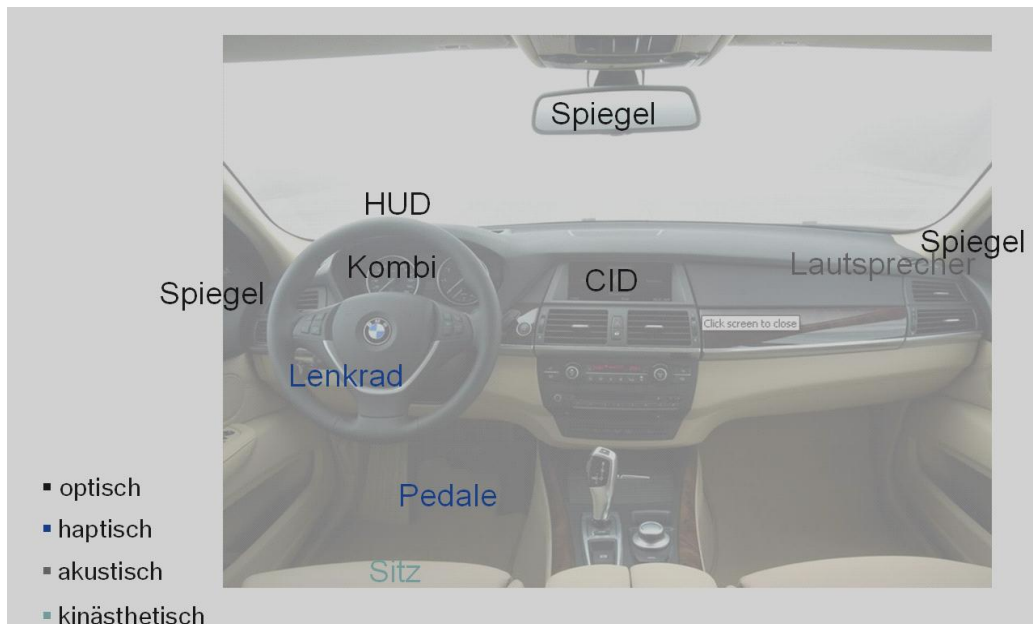


Abbildung 14: Übersicht über mögliche Ausgabekanäle im Fahrzeug

Wie in Abbildung 14 angedeutet, gibt es zahlreiche Möglichkeiten, Ausgaben über das zentrale Informationsdisplay (CID), die Instrumenten-Kombination, das Head Up Display (HUD) und die Spiegel optisch zu realisieren. So leuchten beispielsweise bei den Herstellern Audi und BMW im Falle einer Spurwechselwarnung bei drohender Kollision mit dem Fahrzeug in der Nebenspur Light Emitting Diodes (LED) im Außenspiegelgehäuse auf. Haptisch kann über das Lenkrad, wie bei der Spurverlassenswarnung von BMW, oder über die Pedale, wie bei ABS, rückgemeldet werden. Ferner gäbe es die Möglichkeit, kinästhetisch über Verzögern oder Beschleunigen des Fahrzeugs zu informieren. Diese Art der Systemrückmeldung wird derzeit bei BMW nicht angewendet. Da das WIM Konzept im Serienfahrzeug realisierbar sein sollte, beschränkt sich das folgende Kapitel auf die aktuell bei BMW angewendeten Gestaltungsmöglichkeiten.

### 2.2.2 Einfluss von Modalität auf Fahrerreaktion

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die uni- und multimodalen Systemrückmeldungen und den Einfluss der Modalitäten auf die Verarbeitung dieser Anzeigen. Hierbei werden Prämissen abgeleitet und im Rahmen der kontextsensitiven Priorisierung durch WIM angewendet.

### 2.2.2.1 Unimodale Rückmeldungen

#### *Optische Rückmeldungen*

Ein Großteil der Informationspräsentation im Fahrzeug erfolgt über den visuellen Kanal. Dabei gibt es Rückmeldungen, für die sich diese Modalität mehr oder weniger gut eignet: Grundsätzlich werden optische Ausgaben - in Form von Symbolen oder Text - verwendet, wenn vergleichsweise komplexer Inhalt vermittelt werden soll. Allerdings können rein optische Warnungen leicht übersehen werden, da die Fahraufgabe selbst zu einem Großteil visuelle Ressourcen erfordert (Rombaut & Le Fort Piat, 1997). In besonderen Fällen steuern jedoch auch optische Signale Aufmerksamkeit: Alternieren an einer Stelle in der Instrumenten-Kombination zwei optische Ausgaben mit einem relativ kurzen Zeitabstand, so kann der Fahrer dies, zusätzlich zu der hauptsächlich visuellen Fahraufgabe, dennoch wahrnehmen (Kiefer et al., 2006). Dabei definieren die Fläche und Geschwindigkeit der Leuchtdichteänderung den Grad der Aufmerksamkeitsbindung. Erfolgt dieser Wechsel jedoch zu schnell, stellt sich Veränderungsblindheit (engl. Change Blindness) ein. Dieses Phänomen beschreibt die Begrenzung des visuellen Kurzzeitgedächtnisses (Levin & Simons, 1997).

Im Allgemeinen erregen dynamische optische Darstellungen generell mehr Aufmerksamkeit als rein statische: Das periphere Sichtfeld reagiert sensibel gegenüber Helligkeitsveränderungen, und somit wird Aufmerksamkeit gelenkt (Geiser, 1990). Da aus anatomischen Gründen das Sichtfeld des Menschen begrenzt ist, spielt auch die Platzierung eines visuellen Reizes eine zentrale Rolle: Laut SAE-Norm 2003 sollte eine optische Warnung innerhalb von  $10^\circ$  des Hauptgesichtsfeldes platziert sein. Mazzae et al. (1999) plädieren dafür, den Reiz immer an der Stelle der zu erwartenden Gefahr auszugeben: Dies wurde bei der Gestaltung der SWW bereits beachtet. Hier erscheinen rote LEDs in dem Außenspiegelgehäuse, in dem die Gefahr droht. Generell kann festgehalten werden, dass optische Warnungen alleine nicht ausreichen, um schnell und zuverlässig Aufmerksamkeit in kritischen Situationen zu erregen. Bei zeitunkritischen Ausgaben mit hohem oder komplexem Informationsgehalt können sie jedoch sinnvoll verwendet werden (Roßmeier, 2007). Ferner können



simple visuelle Reize, wie z.B. eine rote Warnleuchte, in Kombination mit einem akustischen oder haptischen Signal durchaus als Warnung benutzt werden, da Akustik stark aufmerksamkeitsbindend und zudem nicht von der aktuellen Blickrichtung abhängig ist.

### *Akustische Rückmeldungen*

Mit akustischen Ausgaben kann Aufmerksamkeit sehr gut erregt und auch effektiv gelenkt werden. Dabei bieten sich Töne wie Audicons und Earcons an, um in zeitkritischen Situationen Informationen schnell und intuitiv zu transferieren. Wie Birger 2007 definierte, handelt es sich bei Audicons um intuitive, alltägliche Klänge, die technische bzw. informationstechnisch abstrakte Vorgänge symbolisieren (z.B. Fahrradklingeln als Warnung vor einem Radfahrer), wohingegen Earcons durch abstrakte, synthetische Klänge gekennzeichnet sind, die die Darstellung beliebiger Information ermöglichen, vorher jedoch erlernt werden müssen (z.B. CC-Gong als Hinweis auf einen Statusmeldung).

Sprachausgaben hingegen sollten bei nicht dringenden und komplexen Inhalten verwendet werden. Aufgrund des höheren Informationsgehalts und insbesondere aufgrund ihrer Kodierung erfordern sie mehr mentale Ressourcen und werden daher langsamer verarbeitet als rein tonale Ausgaben. Ein Beispiel hierfür ist die akustische Navigationsansage (Lerner, 1991). Grundsätzlich ist das Spektrum im Fahrzeug dargebotener Töne relativ gering zu halten: Wegen begrenzter Gedächtniskapazität sollten nicht mehr als fünf unterschiedliche Töne verwendet werden (Wickens et al., 1998). Ferner ist darauf zu achten, dass diese leicht voneinander unterscheidbar sind (Edworthy, 1994). Parameter eines Tons, wie Frequenz und Amplitude, sind hierfür ausschlaggebend (ISO 15006, 2004). Wiese und Lee (2001) konnten nachweisen, dass Töne mit bestimmten Eigenschaften als dringend wahrgenommen werden und somit die Reaktionszeit (RZ) verkürzen. Sie binden mehr Ressourcen und werden daher schneller verarbeitet. Eben diese Ausgaben werden auch als „beanspruchender“ und „unangenehmer“ bewertet. Der Informationsgehalt kann zusätzlich erhöht werden, wenn akustische Ausgaben räumlich gerichtet sind (Wallace & Fisher, 1997). Ein Beispiel hierfür wäre ein Warnton, der von dem Lautsprecher vorne links im Fahrzeug ausgegeben wird, sobald an dieser Stelle

Kollisionsgefahr besteht. Die Aufmerksamkeit wird stärker gelenkt und die Gefahrenquelle leichter lokalisierbar (Müller, 2009). Die Dringlichkeit des Warntons sollte unbedingt der Kritikalität der jeweiligen Situation entsprechen und eindeutig wahrnehmbar und zuzuordnen sein (Belz et al., 1998). In Kombination mit optischen oder haptischen Rückmeldungen bieten sich Töne ideal für die Gestaltung von Warnungen an: sie lenken Aufmerksamkeit und werden durch optische bzw. haptische Anzeigen mit Semantik belegt. Da akustische Ausgaben jedoch leicht als aufdringlich wahrgenommen werden, sollten sie im Fahrzeug nur sehr sparsam, d.h. ausschließlich für Warnungen verwendet werden. Schließlich kann genau derselbe Effekt, der Aufmerksamkeit erregt und lenkt, eben auch nervig sein, wenn die Aufmerksamkeitssteigerung für den Fahrer unnötig ist.

#### *Propriozeptive taktile Rückmeldungen*

Propriozeptiv-taktile, also haptische Rückmeldungen gelten als intuitiv beantwortbar, da sie Informationen schnell und direkt übermitteln (Johnston, 1971). Idealerweise wird die Information an der Stelle präsentiert, an der im Anschluss auch die Handlung erforderlich wird. Somit ist kein Wechsel von der rezeptiven zur ausführenden Modalität nötig (De Jong, 2000). Rezeptoren dienen gleichzeitig als Aktuatoren. Das spart Zeit und Ressourcen: Im Falle von TLC erhält der Fahrer eine Vibration am Lenkrad und kann dort direkt gegensteuern, um ein drohendes Spurverlassen zu vermeiden. Haptische Warnungen sollten daher unbedingt mit der notwendigen Handlung konform sein, indem sie eine passende Handlung vorschlagen oder sogar einleiten: So sollte z.B. das Lenkrad verwendet werden, wenn Lenken erforderlich ist (Tijerina, 1998). Ferner ist die Kopplung der Rückmeldung an das jeweilige System eine weitere wichtige Prämisse. Besonders effektiv sind bei angemessener Ausprägung haptisch gerichtete Warnungen (Schumann, 1994): Bei der Spurwechselwarnung spürt der Fahrer ein vom Kollisionsobjekt weg gerichtetes Lenkmoment. Somit wird die Handlung bereits vorgeschlagen und es müssen keine zusätzlichen kognitiven Ressourcen für die Interpretation und Reaktion verwendet werden. Diese Effekte sind relativ robust, wobei es geringe Unterschiede in der Wahrnehmung zwischen Männern und Frauen und

unterschiedlichen Altersgruppen gibt (Sondermann-Wölke, 2008). Diese Tatsache spricht wiederum für eine individualisierte Auslegung des WIM. Ehrenpfort & Eggert (2008) konnten nachweisen, dass haptische Rückmeldungen, wenn adäquat appliziert, muskuläre Reflexe auslösen: Bei Spurverlassen erhielt der Fahrer einen kurzen, aber intensiven Lenkimpuls in eben diese Richtung, also zum Kollisionsobjekt hin. Somit konnte bei der Versuchsperson ein Gegenlenkreflex ausgelöst werden, welcher die richtige, erwünschte Lenkbewegung darstellte.

Eine Besonderheit der Haptik ist, dass haptische Zeichen auf Ebene des Rückenmarks verarbeitet werden können (Schmidt, 1979). Diese Art der Informationsverarbeitung benötigt kaum mentale Ressourcen, da Reflexe stark automatisiert nach bereits angelegten Mustern, also fertigkeitbasiert ablaufen (Rasmussen, 1986). Hierbei wird eine intensivere Informationsverarbeitung im Großhirn umgangen (Roßmeier, 2007). Idealerweise sollten alle zeitkritischen Systemrückmeldungen auf diese Weise, also implizit und ressourcensparend, ausgegeben werden. Ein weiterer Vorteil von haptischen Meldungen ist, unabhängig davon ob gerichtet oder ungerichtet, dass diese verglichen mit auditiven Rückmeldungen als weniger lästig empfunden werden (Lee et al., 2004). Generell verursachen gerichtete haptische Informationen die geringste Interferenz, vorausgesetzt sie werden eindeutig, der Situation zuweisbar, wahrgenommen (Schumann, 1994). Wenn es nicht möglich ist, Informationen in eindeutige haptische Signale zu codieren, sollte besser darauf verzichtet werden. In diesen Fällen genügt ein ungerichtetes Signal zur Aufmerksamkeitssteigerung. Obwohl haptische Ausgaben als sehr intuitiv gelten, sollte jedoch auf akustische und/oder optische Rückmeldungen nicht verzichtet werden, besonders wenn es darum geht, komplexe Inhalte schnell zu übermitteln (Johnston., 1971).

#### *2.2.2.2 Multimodale Rückmeldungen*

Multimodale Anzeigen vermitteln Informationen redundant über mehrere Sinneskanäle. Das entspricht der natürlichen Wahrnehmung: In der Regel wird ein Objekt der natürlichen Umgebung über mehrere Sinneskanäle wahrgenommen. Allerdings muss die gegenseitige Beeinflussung der unimodalen Ausgaben berücksichtigt werden, da Multimodalität nicht

zwangsläufig zu einer verbesserten Informationsverarbeitung führt (Roßmeier, 2007). In diesem Kapitel wird eruiert, welche kombinierten Ausgaben den Informationsverarbeitungsprozess erschweren bzw. erleichtern. Allerdings spielt auch der Zeitabstand zwischen den Ausgaben unterschiedlicher Sinnesmodalitäten eine erhebliche Rolle (siehe Kap. 2.2.3).

Parallele Ausgabe von Tönen und Symbolen kann, sofern der Ton nicht richtig zugeordnet wird, zu verlangsamten Reaktionszeiten führen: Sie bewirken in den meisten Fällen einen Blick in die Instrumenten-Kombination (Bouis et al., 1979). Stimmen jedoch die übermittelten Informationen der primären mit der sekundären Quelle überein, ist es von Vorteil, Meldungen kombiniert auszugeben (König & Mutschler, 2003). So konnten Kramer et al. (2007) zeigen, dass eine Kombination von akustischen und optischen Ausgaben die effektivste Rückmeldevariante für eine Kollisionswarnung ist und dieser Effekt über alle Altersstufen hinweg robust ist. Sklar und Sarter (1999) zeigten, dass Probanden signifikant mehr Stimuli, also zu identifizierende Objekte mit definierten Eigenschaften, in kürzerer Zeit detektierten, wenn die Informationen optisch und haptisch ausgegeben wurden, im Vergleich zu rein optischen Informationen. Allerdings gab es keine Leistungsunterschiede zwischen rein haptischen und haptisch-optischen Rückmeldungen. Beltz et al. (1999) konnten nachweisen, dass die Bremsreaktionszeit bei Kollisionswarnungen am kürzesten bei optisch-akustischer im Vergleich zu rein optischer oder akustischer Ausgabe waren. Ho & Spence (2005) fanden signifikant schnellere Bremsreaktionen bei audiotaktilen Kollisionswarnungen gegenüber unimodalen akustischen oder haptischen. Am schnellsten korrigierten Probanden die Position beim Spurverlassen, wenn die Rückmeldung audiohaptisch und nicht rein akustisch oder optisch war (Roßmeier, 2007). Bezüglich der idealen Modalitätenkombination gehen die Forschungsergebnisse jedoch auseinander (Doisl, 2004). Die jeweils optimale Gestaltung einer Systemausgabe hängt maßgeblich von dem Zeitbudget für die Reaktion des Fahrers und dem Schadensausmaß bei Ausbleiben der Reaktion ab (vgl. Kapitel 2.2.4).

### 2.2.2.3 Zusammenfassung Auswirkungen von Modalitäten

Zusammenfassend gilt: Haptische Anzeigen sollten hauptsächlich für Warnhinweise verwendet werden, da sie schnell und intuitiv interpretiert werden können (Geven et al., 2006). Akustische Anzeigen sind aufgrund ihres aufmerksamkeitslenkenden Charakters ebenfalls für Warnungen geeignet, die eine unmittelbare Reaktion des Fahrers erfordern. Sie sollten jedoch mit optischen oder haptischen Anzeigen ergänzt werden, um den Grund der Aufmerksamkeitsbindung klar zu vermitteln (Spence & Walton, 2005). Rein optische Anzeigen hingegen sollten für mittelbare Informationen verwendet werden, die einen hohen Informationsgehalt haben, jedoch keine dringende Reaktion des Fahrers benötigen.

### 2.2.3 Einfluss des Timings von Systemausgaben auf die Fahrerreaktion

In diesem Kapitel wird der Einfluss von Zeitabständen bei zeitnahen Ausgaben auf den Informationsverarbeitungsprozess diskutiert. Daraus lassen sich interferenzverursachende Zeitspannen ableiten, die es bei der WIM-Priorisierung zu berücksichtigen gilt. Der Ausgabezeitpunkt einer Meldung sollte genau passend, also weder zu früh noch zu spät sein, um Aufmerksamkeit in zeitkritischen Situationen zu steuern (Spence & Walton, 2005). Ferner ist es besonders bei multimodalen Ausgaben wichtig, dass die Informationen als zusammengehörig empfunden werden, um keine Interferenz zu verursachen (vgl. Kapitel 2.2.2.2).

Engpässe in der Informationsverarbeitung können durch zwei zeitkritische Ausgaben verursacht werden, die in unterschiedlichen Modalitäten mit einem Abstand von weniger als einer Sekunde ausgegeben werden (siehe Kapitel 4.3.3). Um unkritische Zeitabstände bei zeitnahen Ausgaben zu definieren, ist es wichtig, die Art einer Systemausgabe, also Dringlichkeit und Schadensausmaß einer Rückmeldung (vgl. 2.3.1), zu beachten. Allerdings sollte auch bei Einzelausgaben der richtige Zeitpunkt bestimmt werden, um den Fahrer maximal zu unterstützen: Scott & Gray (2008) zeigten, dass eine KW fünf Sekunden vor der Kollision signifikant längere Reaktionszeiten bewirkte als eine KW drei Sekunden vorher. Dies ist konsistent mit Muttarts (2005)

Ergebnissen: Wird die Warnung früher als fünf Sekunden vor einer drohenden Kollision ausgegeben, nimmt der Fahrer die Situation nicht als plötzlichen Notfall wahr, sondern lässt sich mit seiner Entscheidung zur Reaktion mehr Zeit. Der ideale Ausgabezeitpunkt einer Warnung hängt jedoch auch maßgeblich von dem Aufmerksamkeitsgrad des Fahrers ab: Lee et al. (2002) konnten einen Sicherheitsgewinn für abgelenkte Fahrer bei frühen Kollisionswarnungen, also ca. eine Sekunde vor TTC (Time To Collision), gegenüber späten Warnungen, ca. 500 ms vor TTC, nachweisen. Daher wird in Kapitel 5.2 die Notwendigkeit einer kontextsensitiven Systemgestaltung des WIM betont und ausgearbeitet: Dabei werden Ausgabezeitpunkte einzelner Meldungen situationsadaptiv gesteuert. Ferner haben Experimente aus der Grundlagenforschung gezeigt, dass es interindividuelle Unterschiede bei der Auswertung zeitnaher Informationen gibt: Bei dem Alertness-Test der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) empfanden nur ca. 45% aller Probanden die akustische Vorankündigung des visuellen Zielreizes (= zur Bearbeitung der Aufgabe notwendige Information) als hilfreich (Schmenk, 2003): In diesen Fällen verkürzte sich die Reaktionszeit signifikant, wohingegen die restlichen 55% langsamer reagierten, da der Ton sie ablenkte. Inwieweit dies in die individuelle Gestaltung eines WIM Einzug halten kann, soll noch diskutiert werden (vgl. Kapitel 6.1).

#### 2.2.4 Empfehlung für eine Systemklassifikation

Aus den obigen Studien lassen sich Regeln zur Gestaltung und Einteilung von Systemausgaben ableiten. Die hier vorgestellte Klassifikation dient als Grundlage für eine Informationspriorisierung. Ziel ist es, intuitive und eindeutige Anzeigemodalitäten einheitlich für mehrere Produkte zu gestalten und somit idealerweise eine Richtlinie für die gesamte Branche zu definieren. Dadurch wird gewährleistet, dass jeder Fahrer die Dringlichkeit und den Handlungsbedarf einer Meldung klar erfassen und folglich situationsadaptiv richtig darauf reagieren kann. Komforteinbußen, wie z.B. Betriebsstörungen des Fahrzeugs, und Kosten, wie beispielsweise Gewährleistungskosten bei unnötig ausgetauschten Teilen, weil der Kunde die Meldung falsch interpretiert, könnten somit vermieden werden. Ferner dient die nachfolgend beschriebene

Ausarbeitung innerhalb der BMW Group als gemeinsame und allgemeingültige Grundlage zur Gestaltung von Anzeigen. So werden Entwicklungs-Prozesse beschleunigt und Gestaltungs-Entscheidungen nachvollziehbar. Wie in Kapitel 2.2.2 erläutert, werden optische Ausgaben dazu verwendet, Informationen darzustellen, die keine schnelle Reaktion erfordern oder nur kontinuierlich (z.B. Tacho) oder sporadisch (z.B. Tankuhr) überwacht werden müssen. Akustische Ausgaben dienen genau wie haptische und kinästhetische Ausgaben der Aufmerksamkeitssteigerung, wobei der größte Effekt an Aufmerksamkeitssteigerung mit haptisch bzw. kinästhetisch gerichteten Informationen erzielt werden kann. Diese Kanäle der Informationsaufnahme gelten allgemein als intuitiv und direkt beantwortbar. In Fällen, in denen Anzeigen optimal gestaltet sind, ist dabei kein Wechsel von der „rezeptiven“ zur „ausführenden“ Modalität nötig: Die Informationsaufnahme, genau wie die Ausführung der Handlung, erfolgt über Rezeptoren bzw. Aktuatoren, die an ein und derselben Stelle im Körper platziert sind (im Falle einer Lenkradvibration: die Hand) (siehe Kap. 2.2.2). Auf diesen Erkenntnissen aufbauend wurde unter Einbeziehung von Experten (u.a. Stephan Müller, BMW-Group, Abt. Ergonomie und Anzeige- und Bediensysteme) ein allgemeines Regelwerk abgeleitet: In einer 2-dimensionalen Matrix (Abbildung 15) kann jede Anzeige, je nach Zeitbudget für die Reaktion des Fahrers zur Abwendung der Gefahr, und Schadensausmaß der Gefahr, vor der gewarnt wird, eingeordnet und somit die passende Rückmeldemodalität in der Matrix abgelesen werden. Dabei beansprucht das Konzept Vollständigkeit, da sowohl ereignisabhängige (z.B. Kollisionswarnung) als auch ereignisunabhängige Ausgaben (z.B. Tacho) bewertet werden können. In der Matrix werden alle tatsächlich relevanten Faktoren betrachtet: Auf der Abszisse ist der zeitliche Rahmen dargestellt, in dem der Fahrer nach Erscheinen der Anzeige reagieren muss, um die Gefahr abzuwenden. Diese Dringlichkeitsstufen lassen sich grob der primären, sekundären und tertiären Fahraufgabe zuordnen (für eine genauere Erläuterung siehe Bubb & Schmidke, 1981). Die primäre Fahraufgabe kann, wie in Kap. 2.1.2.2 erläutert, in Stabilisierung, Führung und Navigation unterteilt werden (Allen, 1962). Die zeitlichen Kategorien basieren auf der ISO Norm 16951 (2004). Auf der Ordinate ist das Schadensausmaß dargestellt (ISO TR 16352, 2005), d.h. der wahrscheinliche Schaden, der bei Extrapolation der aktuellen

Situation eintritt (Müller, 2008). Bei diesem Modell ist die Trennung des eigentlich zeitlosen Schadensausmaßes und der Zeit selbst gewährleistet. Somit besteht absolute Zuordnungsgenauigkeit und Differenzierbarkeit. Dadurch lassen sich Rückmeldungen intuitiv und konsistent gestalten und klassifizieren: Ausgaben, die eine sofortige Reaktion des Fahrers erfordern und die bei Ausbleiben der Reaktion mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem erheblichen Schaden führen (also Sach- und Personenschaden), sollten haptisch oder optisch-akustisch gestaltet werden (z.B. KW), wohingegen zeitlich unkritische Meldungen rein optisch erfolgen können (z.B. Navigation Vorhinweis).

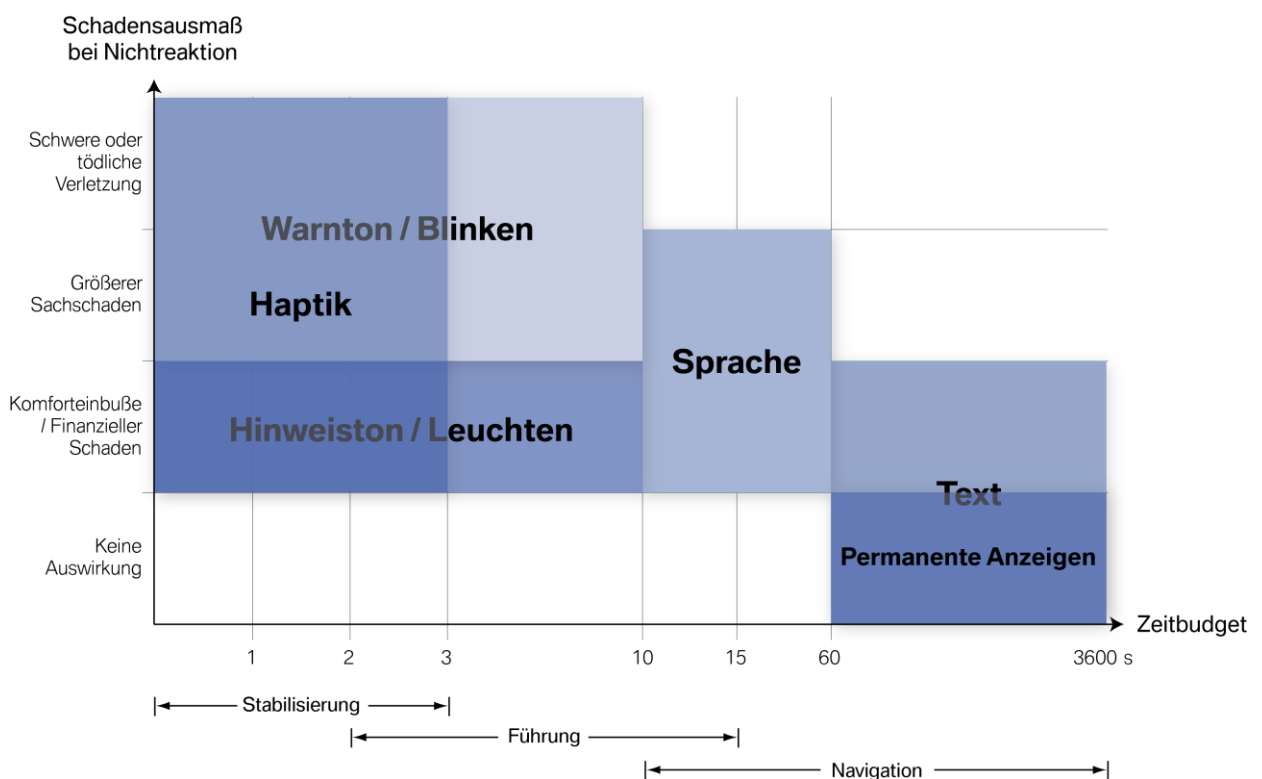


Abbildung 15: Anzeigemodalitäten je nach Schadensausmaß und Zeitbudget (Müller & Lermer, 2008)

Die in Kapitel 5.2 spezifizierte WIM-Priorisierung ist konsistent mit dem Inhalt der Müller-Lermer-Matrix (2008): Je weiter oben und je weiter links eine Anzeige eingeordnet wird, desto höher ist ihre Priorität bei der Ausgabe, ganz im Gegensatz zu Rückmeldungen, die in der untersten Zeile „keine Auswirkung“ bzw. unten rechts eingeordnet werden. Allerdings definiert das WIM zusätzlich



die Rangordnung von Ausgaben innerhalb einer Zelle, wenn diese Systeme gleichzeitig rückmelden wollen (vgl. Kapitel 5.2).

## 2.3 Priorisierungsansätze

Zahlreiche Automobilhersteller und Zulieferer haben erkannt, dass es unerlässlich ist, die Informationsflut durch Bündeln von Rückmeldungen zu reduzieren: So arbeiten unter anderem auch Bosch, Mercedes-Benz, Fiat, Renault und Volvo, oft in Kooperation mit Universitäts-Lehrstühlen und Forschungseinrichtungen, an je einem System zur Informationskoordination. Es existieren daher zahlreiche Synonyme für den Begriff des Warn- und Informationsmanagements: Es wird von Informationskoordinationssystemen (Färber & Färber, 2003), Workload-Managern (Totzke et al. 2004), Human-Machine-Interface-Managern oder auch künstlichen Beifahrern (ESG Magazin, 2006) gesprochen. Um eine Koordination von Warnungen und Informationen vornehmen zu können, ist es wichtig, die Prioritäten für die einzelnen Ausgaben festzulegen. Grundsätzlich gilt: Je mehr Informationen zu einer Situation verfügbar sind, desto genauer können diese kombiniert und die unterschiedlichen Rückmeldungen priorisiert werden. In den folgenden Abschnitten wird eine Übersicht über alle derzeit bekannten statischen und dynamischen Priorisierungsansätze gegeben, getrennt nach Serien- und Forschungsrelevanz.

### 2.3.1 Statische Ansätze

Im Folgenden werden statische Priorisierungsansätze für Systemrückmeldungen vorgestellt: Hierbei handelt es sich um eine situationsunabhängige Informationskoordination, die aufgrund von a priori definierten Kriterien erfolgt.

#### 2.3.1.1 Statische Priorisierungskonzepte mit Serienreife

##### *Sicherheits-MMI & Check Control Modul - BMW*

Innerhalb der BMW Group gibt es bereits eine Koordination der Meldungen, die im Check-Control-System zusammengefasst sind. Dabei werden alle Check-Control-Meldungen in Kategorien unterschiedlicher Priorität eingeteilt. Ferner

wird innerhalb einer Kategorie die Wichtigkeit einer Meldung mit einer Nummer eindeutig festgelegt. Somit wird sichergestellt, dass selbst bei gleichzeitigem Eintreffen von Meldungen einer Prioritätsklasse keine Konflikte bei der Anzeige entstehen. Diese Art der Informationskoordination ist ein Beispiel für eine a priori festgelegte, nicht kontextsensitive Priorisierung.

Zudem werden FAS der Längsführung bzw. der Querführung untereinander koordiniert: So kann entweder das TLC, falls der Fahrer nicht blinkt, oder die SWW, falls der Fahrer blinkt, warnen. Aufbauend darauf wurde bei der BMW Group ein Konzept zur Ausgabenklassifikation im Rahmen des Projektes „Sicherheits-MMI“ erarbeitet: Dabei werden die Kategorien „Warnung“, „Hinweis“ und „Information“ unterschieden: Ein System fällt in die Klasse Warnung, wenn seine Ausgabe eine unmittelbare Reaktion des Fahrers erfordert, um einen Sach- oder Personenschaden abzuwenden. Im Bereich Hinweis findet man Ausgaben, auf die der Fahrer mittelbar reagieren sollte, um einen Fahrzeug-Schaden abzuwenden. Als Information bezeichnet man Ausgaben, die keine mittelbare oder gar keine Reaktion erfordern, da allenfalls Komforteinbußen zu verzeichnen wären. Diese Einteilung findet sich implizit in der Müller-Lermer-Matrix zur Anzeigengestaltung und -klassifikation wieder (vgl. Kap. 2.2.4). Diese Teilansätze zur Informationskoordination erfassen aber nicht alle im Fahrzeug vorhandenen Anzeigen. Daher soll das WIM Informationen ganzheitlich priorisieren und dabei die bisher bei BMW erstellten Priorisierungsmodule berücksichtigen.

#### *Verfahren zur Bestimmung der Priorität von Anzeigen - International Organisation for Standardisation (ISO)*

Verfahren zur Klassifizierung und Priorisierung, die die Dringlichkeit und die Wichtigkeit von Meldungen festlegen, können helfen, Warnungen zu managen. Die technische Spezifikation ISO 16951 (2004) definiert Kriterien, um Konfusion des Fahrers durch zeitnahe Ausgaben zu vermeiden. Die Priorisierung legt fest, wann etwas in welcher Form ausgegeben wird. Dabei wird ein Ranking, also die Wichtigkeit jeder Meldung, bestimmt. Die Norm stellt unterschiedliche Vorgehensweisen vor, um - im Falle eines Konflikts - die Priorität von Rückmeldungen zu bestimmen: Die Methode A sieht vor, einen Prioritätsindex

zu berechnen, wobei das Schadensausmaß („criticality rating scale“, Tabelle 1) und die Dringlichkeit der erforderlichen Reaktion („urgency rating scale“, Tabelle 2) gewichtet werden.

Tabelle 1: „Criticality rating scale“

Rating	Risiko für Fahrzeug, Insassen, Fußgänger
3	Ernste oder tödliche Verletzung
2	Verletzung oder mögliche Verletzung
1	Keine Verletzung (nur Fahrzeugschaden)
0	Keine Verletzung (kein Fahrzeugschaden)

Tabelle 2: „Urgency rating scale“

Rating	Beschreibung
3	Sofortige Reaktion erforderlich, 0 - 3 sec
2	Reaktion innerhalb ein paar Sekunden, 3 - 10 sec
1	Reaktionsvorbereitung, 10 sec - 2 min
0	Reine Information, keine Handlung oder Entscheidung erforderlich

Der Nachteil dieser Methode liegt darin, dass mindestens zehn Experten die einzelnen Rückmeldungen bewerten und nach Kritikalität und Dringlichkeit gewichten sollten. Dies stellt einen erheblichen Zeit- und Kostenaufwand dar. Ferner sind hohe Abweichungen zwischen den Wertungen nicht auszuschließen. Ein weiterer Nachteil ergibt sich aus der ordinalen Evaluationsskala: Durch Bildung von Kategorien kann die Einordnung nur bedingt genau erfolgen. Eine Intervall-Skala könnte die einzelnen Meldungen, auf einem Kontinuum angeordnet, präziser gewichten. Außerdem sind die beiden Rating-Skalen nicht gleichwertig, da sie einmal das Gefahrenmaß und einmal das Zeitmaß beschreiben. Besonders im Fall der Dringlichkeit scheinen

die drei Kategorien relativ willkürlich festgelegt. Empirische Untersuchungen, die diese Zeitabstufungen empfehlen, liegen nicht vor.

Die Methode B sieht einen paarweisen Vergleich vor, ähnlich dem am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München entwickelten Ansatz. Dabei werden alle zu koordinierenden Systeme auf einer X- und Y-Achse gegenübergestellt. Nacheinander wird dann für jedes Paar die jeweils höher priorisierte Rückmeldung definiert (Tabelle 3).

Tabelle 3: Paarweise Priorisierung exemplarisch für Statusmeldungen und FIS

	Gurt Warnung „bitte Anschnallen“	Statusmeldung „Tank auf Reserve“	Statusmeldung „Reifendruck nicht optimal“	Empfang einer SMS
Gurt Warnung „bitte Anschnallen“	x	+	+	0
Statusmeldung „Tank auf Reserve“		x	+	0
Statusmeldung „Reifendruck nicht optimal“			x	-
Empfang einer SMS				x
+ die Spalte hat eine höhere Priorität als die Zeile - die Spalte hat eine niedrigere Priorität als die Zeile 0 beide Nachrichten haben die gleiche Priorität				

Nachteilig an der Methode B ist, dass eine große Anzahl an Evaluationen nötig ist, um jedes mögliche Paar zu untersuchen. Ferner differenziert diese Methode zu schwach, da nur drei Abstufungen (+, -, 0) möglich sind. An beiden Methoden kann kritisiert werden, dass sie die Rückmeldungen lediglich statisch, nicht aber dynamisch und somit nicht situationsadaptiv kategorisieren.

#### *Priorisierungsindex - Society for Automotive Engineers (SAE)*

Die SAE Norm J 2395 sieht, ähnlich wie in der Methode A der ISO TS 16951, die Berechnung eines Prioritätsindex vor. Allerdings wird hier kein Summenscore für eine Systemausgabe errechnet, sondern alle Stufen der drei relevanten Kriterien „Sicherheitsrelevanz“, „Handlungsrelevanz“ und „Dringlichkeit“ untereinander kombiniert (Übersicht in Tabelle 4). Daraus ergeben sich 45 Prioritätsstufen, die den Systemausgaben direkt zugeordnet werden können. Allerdings kann auch hier die Priorisierung nur bedingt genau - da auf 45 Stufen begrenzt - und statisch erfolgen.

Tabelle 4: Übersicht der Priorisierungskriterien und deren Stufen

Sicherheitsrelevanz einer Ausgabe	Handlungsrelevanz einer Ausgabe	Zeitlicher Rahmen für die Reaktion
direkt	stark	0-3 s
indirekt	mittel	3-10 s
keine	schwach	10-20 s > 20 s

### 2.3.1.2 Statische Priorisierungskonzepte in der Forschung

#### Paarweiser Vergleich - Technische Universität München

Am Lehrstuhl für Ergonomie (Wolf et al., 2006) wurde der bisher bekannteste Ansatz zur statischen Priorisierung aufgestellt: Um den Fahrer mit der steigenden Anzahl an immer komplexeren Systemausgaben nicht zu überlasten, sollten Rückmeldungen situationsspezifisch ausgegeben werden. Zuerst wurden alle Systeme nach den Kriterien „Fahraufgabenniveau“, „Ausmaß der Folge bei Nichtbeachtung“ und „Schadeneintrittswahrscheinlichkeit“ kategorisiert und priorisiert.

Tabelle 5: Ausprägungen der drei Hauptkriterien

Niveau Fahraufgabe	Ausmaß bei Nichtbeachtung	Schadenseintrittswahrscheinlichkeit
primär	hoch	mittel - hoch
sekundär	gering - mittel	gering - mittel
tertiär	sehr gering - gering	sehr gering

Anschließend wurden alle Klassen und möglichen Ausgaben in einem paarweisen Vergleich gegenübergestellt. Diese Art der Meldungskategorisierung ist jedoch nicht situationsadaptiv und nur ungenau, da die einzelnen Stufen der oben genannten Hauptkriterien relativ willkürlich gewählt erscheinen (Tabelle 5).

### 2.3.2 Dynamische Ansätze

Aus den oben genannten Ansätzen kann abgeleitet werden, dass es schwierig ist, Informationen nach Kriterien wie Fahraufgabenebene, Schadensausmaß, Schadenseintrittswahrscheinlichkeit, Reaktions-Zeitfenster und Art der Reaktion zu ordnen. Ferner kann durch Bildung von Kategorien die Einordnung nur bedingt genau erfolgen. Da die Priorisierung von Informationen stark situationsabhängig ist, sollte eine dynamische Kategorisierung vorgenommen werden. Im Folgenden werden bestehende Ansätze zur dynamischen, also kontextsensitiven Informationskoordination kurz vorgestellt.

#### 2.3.2.1 Dynamische Priorisierungskonzepte mit Serienreife

##### *Driver Advocate - Motorola*

Auch der Mobiltelefonhersteller Motorola (2004) entwickelte einen „Driver Advocate“, der die Präsentation von Information an den Fahrer je nach Fahrerbeanspruchung und Fahrsituation koordinieren und anpassen soll. Dabei gilt der Leitsatz, die MMI (Mensch Maschine Interaktion) zu koordinieren und die „richtige Information zum richtigen Zeitpunkt auf die richtige Art und Weise“ auszugeben. Dadurch soll die Effektivität von FAS verbessert und die Nutzerakzeptanz erhöht werden. Ferner kann der Driver Advocate personalisiert und somit an Präferenzen und Bedürfnisse des Fahrers angepasst werden. Schließlich wurde im Motorola Lab, zusammen mit diversen OEMs aus dem Automobilbereich, ein Prototyp erstellt, der Fahrmanöver, basierend auf Daten zu Quer- und Längsbeschleunigung, identifiziert und klassifiziert. Somit können Telefon-, Navigations-, und Fahrzeugstatusausgaben dynamisch - also situationsabhängig - koordiniert werden. Motorola forscht derzeit an einer Erweiterung des Algorithmus: In Zukunft sollen Informationen zur Fahreraufmerksamkeit, zum Fahrzeugzustand und zu Umweltkonditionen miteinbezogen werden. In Bezug auf den Fahrer spielen physische und kognitive Faktoren, Erfahrung und die innere Einstellung eine wichtige Rolle. Motorola möchte den Ansatz erweitern und eine einfache, aber nicht vereinfachende Logik zur optimalen Informationskoordination schaffen.

*Informationskoordinator - Bosch*

Enders (2006) untersuchte im Rahmen seiner Promotion bei der Robert Bosch Stiftung einen Ansatz, um die Anzahl an Warnungen in Situationen zu reduzieren, in denen zwei oder mehr Ausgaben zur selben Zeit erscheinen. Dabei wurden 36 Testpersonen im Fahrsimulator mit zeitnahen Ausgaben mit bzw. ohne Informationskoordination konfrontiert. Im Falle der Informationskoordination wurden dem Fahrer in einer identischen Fahrsituation weniger Warnungen ausgegeben als ohne. Die Ergebnisse zeigen, dass die Koordination der Ausgaben die Anzahl an Kollisionen signifikant reduziert und zudem die Fahrerreaktionszeit im Durchschnitt um 114 ms verkürzt. Das wurde von den subjektiven Daten untermauert: Die Probanden bevorzugten die koordinierten gegenüber den unkoordinierten Ausgaben. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Entwicklung eines WIM dringend notwendig ist. Allerdings sollte der zu entwickelnde Ansatz durch Informationen zur Fahrerleistung und zum Fahrzeugzustand ergänzt werden, um eine dynamische Priorisierung zu ermöglichen.

*Intelligent Driver Information System (IDIS) - Volvo*

Volvo warb als erster OEM (Original Equipment Manufacturer) explizit mit seinem „Intelligent Driver Information System“ (IDIS, 2006): Dabei werden anhand von CAN-Bus (Controller Area Network) Daten wie Lenkradwinkel, Geschwindigkeit, Gas- und Bremspedalstellung, Beschleunigungs- und Neigungssensoren fünf kritische Fahrsituationen identifiziert: Überholen, Ausweichen, Abbiegen, Bremsen und Rangieren. Falls nun der Fahrer eines dieser als beanspruchend eingeschätzten Fahrmanöver ausführt, werden akustische und optische Signale bis zu fünf Sekunden zurückgestellt. So wird beispielsweise ein eingehender Telefonanruf unterdrückt, wenn der Fahrer gerade ein Überholmanöver ausführt. Zudem wertet IDIS das Fahrerverhalten, d.h. Betätigung von Blinker, Scheibenwischer, Klimaanlage, Telefon und Audiosystem sowie die Anzahl der dazu nötigen Bedienschritte aus, um die Komplexität einer Situation und somit die Fahrerbeanspruchung genau einschätzen zu können. Damit ist es Volvo gelungen, eine situationsabhängige Informationskoordination vorzunehmen. Der Ansatz ist vielversprechend, es fehlen aber noch wesentliche Module.

### *Dynamisches Informationsmanagement - Audi*

Muigg (2008) erarbeitete im Rahmen seiner Promotion eine Strategie zur Koordination von Anzeigen durch FIS und CC-Meldungen. Zuerst wurden negative Auswirkungen von situativ ungünstigen Ausgaben aufgezeigt und anschließend ein Algorithmus zur situationsabhängigen Priorisierung entwickelt. In einer Simulatorstudie konnte gezeigt werden, dass bei Meldungen mit zunehmender Prioritätsstufe (rote, gelbe bzw. graue CC) die Blickabwendungsdauer signifikant anstieg, also linear mit dem Darstellungsinhalt zusammenhing. Ferner gaben die Probanden an, die Fahrt mit Meldungen die in unkritischen Fahrsituationen erschienen, gegenüber der Fahrt mit Meldungen, die in schwierigen Fahrsituationen erschienen, als stressfreier und daher angenehmer zu empfinden (Muigg, 2008). Um zu entscheiden, ob eine Systemausgabe möglich ist, ohne den Fahrer zu überlasten, verwendet dieser Ansatz diverse Größen wie Pedalbetätigung und Nebentätigkeiten des Fahrers. So wird beispielsweise im Falle von gesetztem Blinker die anliegende Wischwassermeldung und Navigationsausgabe dynamisch koordiniert (Abbildung 16). Das führt dazu, dass die Meldung zum Waschwasserstand unterdrückt wird, bis der Navigationshinweis ausgegeben wurde und der Fahrer abgelenkt ist.

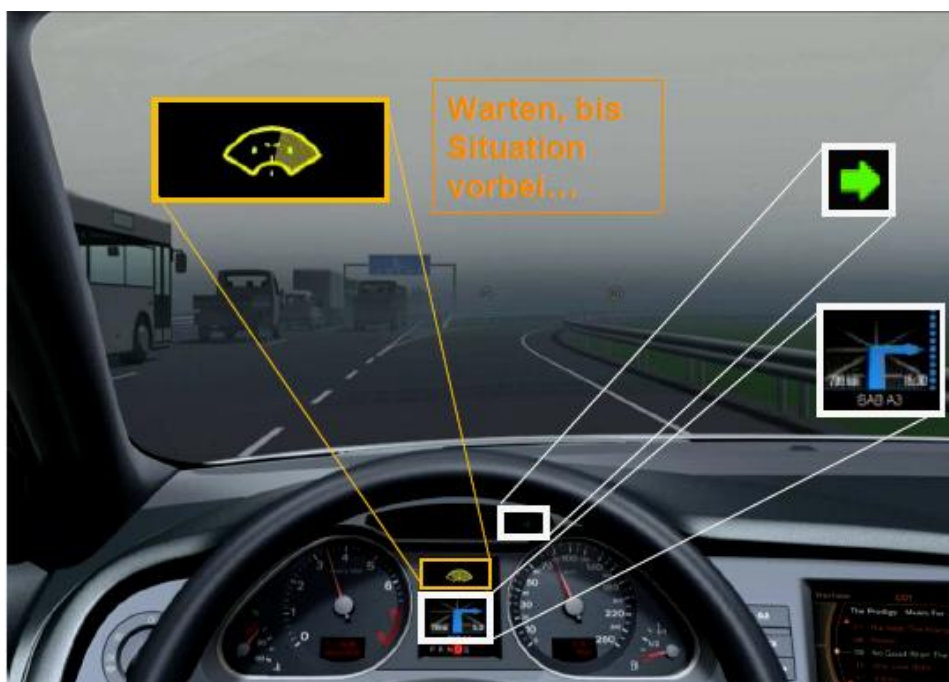


Abbildung 16: Dynamische Informationskoordination (Muigg, 2008)



Die hierbei erarbeitete Priorisierung beschränkt sich jedoch auf Fahrerinformationssysteme, also Kommunikation und Entertainmentfunktionen, und Check Control Meldungen. Ziel des WIM ist eine ganzheitliche Informationskoordination aller möglichen Systemausgaben.

### *2.3.2.2 Dynamische Priorisierungskonzepte in der Forschung*

*GIDS: Workload-Schätzer - Delft University of Technology, INRETS, Philips, SAAB, Renault, Universität der Bundeswehr, etc.*

In dem mehrjährigen Forschungsprojekt GIDS (Generic Intelligent Driver Support System) (1992) wurde ein Ansatz entwickelt, um eine Informationsüberlastung des Fahrers zu vermeiden und Rückmeldungen angepasst an seine Bedürfnisse auszugeben: Dabei berechnet der Workload-Estimator die Fahrerbeanspruchung online, auf Grund der aktuellen Verkehrssituation und des Fahrerzustands. Falls nötig, informiert er den „Scheduler“, Meldungen vorzuziehen, zu verzögern oder zu unterdrücken. Auch in diesem Konzept werden, ähnlich wie bei Volvo, komplexe Fahrsituationen als Eingangsgröße für die Beanspruchungsschätzung verwendet. Die Priorität einer Ausgabe wurde anhand einer sechsstufigen Skala zum Schadensausmaß festgelegt. Diese Art der kontextsensitiven Priorisierung wurde von Probanden als positiv bewertet (Hoedemaker et al., 1999): Probanden zeigten höhere Beanspruchungswerte ohne, im Vergleich mit Priorisierung. Dieser Ansatz hat jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Der Ansatz war einer der ersten Versuche für eine generische Informationskoordination. Allerdings ist er für die Umsetzung im Serienfahrzeug noch nicht ausgereift.

*CEMVOCAS: Adaptive Informationsmanagement – INRETS (French National Institute for Transport and Safety Research), Renault, Fiat, etc.*

Durch die Zunahme an akustischen Ausgaben im Fahrzeug kann es zu einem ungleichmäßigen Informationsfluss kommen: Potentielle Risiken sind dabei den Fahrer zu überfordern und ihn bei der Fahraufgabe zu stören. Ferner kann es zu Interferenz zwischen akustischen Ausgaben kommen. In dem Projekt CEMVOCAS (CEntralisedManagement of VOCalinterfaces aiming at a better Automotive Safety), das von 1997 bis 2000 durchgeführt wurde, galt es, einen „realistischen“ und „billigen“ Informationsmanager zu entwickeln. Dabei sollte

Sensorinformation ausgewertet werden, die ohnehin schon im Auto vorhanden ist, wie z.B. Eingaben des Fahrers und diverse Fahrzeugparameter. Auf komplexe Bildverarbeitungstechnologien und Radar wurde bewusst verzichtet. Dieser zentralisierte WL-Manager soll in der Lage sein, alle möglichen akustischen Ausgaben zu überwachen. Er agiert wie ein Filter und bestimmt die Priorität und somit den Zeitpunkt einer Ausgabe. Dabei ist ein wichtiger Aspekt die Adaptivität des Managers. Basierend auf der „Verfügbarkeit“, also dem Aufmerksamkeitsgrad des Fahrers, werden Meldungen koordiniert. Der Begriff „Verfügbarkeit“ enthält zwei Dimensionen: Der Fahrer muss in der Lage sein, akustische Informationen aufzunehmen und zu verarbeiten, ohne sich dabei in der Fahrleistung zu verschlechtern. CEMVOCAS besteht aus drei Hauptkomponenten: einer Fahrsituationserkennungseinheit, einem zentralisierten Informationsmanagement System und der Ausgabe-Einheit, den Lautsprechern. Final wurde der CEMVOCAS Prototyp evaluiert. Dabei wurden nur 5% der Ausgaben, die mit CEMVOCAS ausgegeben wurden, als störend empfunden. Ohne das Managementsystem stieg der Anteil der störenden Ausgaben auf über 50% (Bellet 2004). Der Prototyp hat die Realisierbarkeit des adaptiven Managementsystems aufgezeigt. Allerdings beschränkt sich dieser Ansatz auf rein akustische Ausgaben.

*SANTOS: situationsadaptive FAS – BMW, Bosch, WIVW, Universität München, Darmstadt, Dresden etc.*

Im Projekt SANTOS (SituationsAngepasste und NutzerTypzentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrunterstützung, Laufzeit 1998-2002) wurde die Anpassung von FAS an Kommunikation untersucht, d.h. wenn gleichzeitig bestimmte Formen der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion durchgeführt wurden (Piechulla et al., 2002). So wurde z.B. die Möglichkeit untersucht, eine schärfere Parametrisierung von FAS-Komponenten durchzuführen, sobald ein Telefonat geführt wird: In diesem Fall würde z.B. die Spurverlassenswarnschwelle und/oder Auffahrwarnschwelle vorgezogen werden, da beim Fahrer bei Ablenkung durch ein Telefonat eine höhere Reaktionszeit zu erwarten ist. Auf der anderen Seite kann ein intelligenter Telefonmanager aufgrund von Informationen über den Status von FAS

eingehende Telefonanrufe zurückhalten und zeitlich verzögert durchstellen: Regelt z.B. ein FAS, so werden Telefonanrufe auf die Mailbox umgeleitet. Dieses Konzept ist jedoch nicht vollständig, da z.B. Statusmeldungen nicht berücksichtigt werden.

*COMUNICAR: zentraler Informationsmanager – Fiat, Volvo, DaimlerChrysler, Bast, Universität von Genua und Siena, TNO, etc.*

In dem Projekt COMUNICAR (COmmunication MUltimedia UNit Inside CAR, 2000-2003) wurde ein zentraler Informationsmanager (IM) entwickelt, der die Informationspräsentation traditioneller Systeme (z.B. Tacho), innovativer FAS und FIS (z.B. Telematikdienste & Entertainmentsysteme) ganzheitlich organisiert. Dabei richtet sich der Informationsmanager sowohl nach der Priorität einer Ausgabe als auch nach dem Kontext, bestehend aus der jeweiligen Fahrerbelastung und Fahrsituation (Abbildung 17).

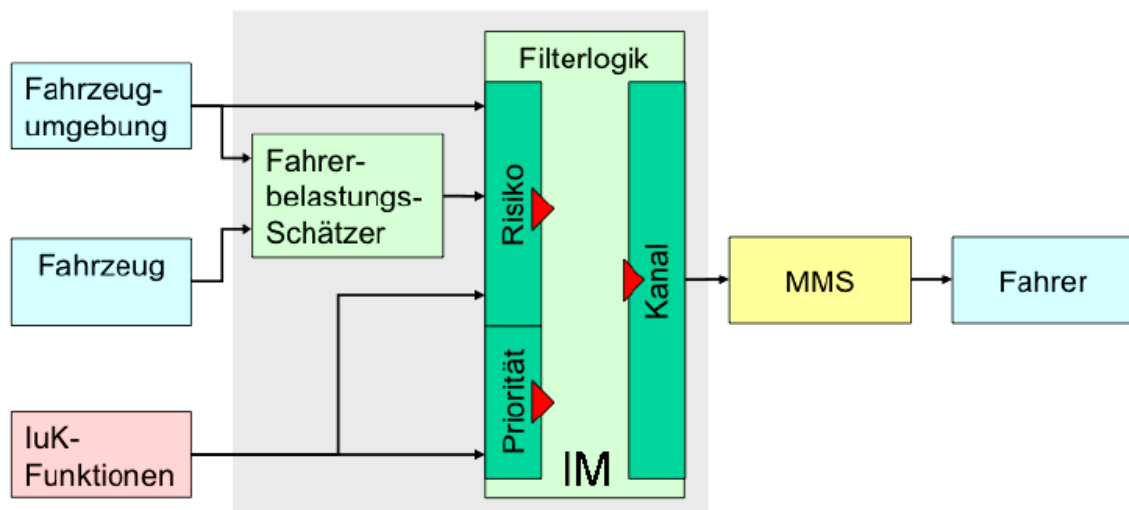


Abbildung 17: Struktur des COMUNICAR Informationsmanagers (MMS: Mensch-Maschine-Schnittstelle, luK: Information und Kommunikation)

Die Evaluierung des Systems in Simulator- und Realfahrten zeigte das Potential des Algorithmus zur Reduktion der mentalen Belastung der Testfahrer und zu einer damit einhergehenden Verbesserung der Fahrleistung. Allerdings sollte das Modul zur Kontexterfassung weiterhin verbessert und neue Möglichkeiten zur dynamischen Adaptation von Ausgaben erforscht werden (Hoch, 2008).

*INVENT: Informationskoordinator - Audi, BMW, Bosch, Siemens VDO, MAN, & Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Universität zu Köln, etc.*

In einem Gemeinschaftsprojekt diverser OEMs und Forschungseinrichtungen wurde in dem Teil-Projekt „Vorrausschauende Aktive Sicherheit“ des EU-Forschungsbereichs „INVENT – mobil mit 8 Sinnen“ (Projektlaufzeit 2001-2005) ein dynamisches Konzept für eine mögliche Informationspriorisierung erarbeitet: In Verbindung mit einem situationsangepassten Informationskoordinator soll der Fahrer nicht nur auf die anstehenden Fahraufgaben vorbereitet, sondern seine Aufmerksamkeit gezielt gelenkt werden. Das Warn- und Informationsmanagement priorisiert gleichzeitig vorliegende Meldungen und gibt diese entsprechend aus. Dabei wird die aktuelle Fahrsituation, die aus digitalen Straßenkarten und Fahrzeugdaten abgeleitet werden kann, berücksichtigt. Zusätzlich wird die geltende Vorfahrtsregelung in das Ausgabekonzept integriert. Die Fahrsituation wird dabei prinzipiell binär in anspruchsvoll / nicht anspruchsvoll klassifiziert und setzt sich aus der Klassifikation des Streckenabschnitts (z.B. Ortseinfahrten, Kreuzungen) und der Klassifikation des durchzuführenden Fahrmanövers (z.B. Beschleunigung, Lenkbewegungen) zusammen. Über optische und akustische Rückmeldungen werden die Fahrer so vor potenziell gefährlichen Situationen gewarnt. Bei dieser Koordination sind jedoch Informationen zu Fahrzeugzustand und Fahrerzustand noch nicht berücksichtigt.

*Informations-Manager - Universität der Bundeswehr*

Färber & Färber (2003) entwickelten einen „Informations-Manager“, um zu verhindern, dass mehrere zeitnahe oder parallele Rückmeldungen in einer ungünstigen Verkehrssituation auf den Fahrer einprasseln. In diesem Konzept zur Informationspriorisierung werden Meldungen in verschiedene Kategorien, wie z.B. „Fahrer- oder Fahrzeug-initiiert“, „sicherheitsrelevant“ oder „dringend bzw. aufschiebbar“, eingeteilt. Zusätzlich dazu wird die Ausgabelogik durch einen Belastungsprädiktor koordiniert. Dieser schätzt die Belastung des Fahrers aufgrund von Fahrzeugparametern, Fahrerreaktionen und Umweltbedingungen ein. Der Ansatz gewichtet die Relevanz einer Rückmeldung mit statischen und dynamischen Kriterien. Es bleibt noch ein Gesamtmodell der Fahrerbelastung

zu erstellen und empirisch zu validieren, das die zahlreichen einzelnen Parameter über Situation, Umweltbedingung, Fahrerabsichten und Fahrerhandlungen integriert.

*Workload-Manager - Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (IZVW)*

Am IZVW wurde ein Ansatz zur situationsadaptiven Priorisierung von Rückmeldungen entwickelt. Fokus hierbei ist es, gefährliche und/oder anspruchsvolle Fahrsituationen zu detektieren, um dann gezielt die Aufmerksamkeit des Fahrers auf relevante Informationen zu lenken. Die Bestimmung der momentanen Fahrerbeanspruchung basiert auf der Analyse von nicht fahrrelevanten Nebenaufgaben und diversen Parametern der Fahrzeugführung wie Brems- und Blinkerbetätigung. Ferner kann eine Prädiktion der Beanspruchung durch digitale Karten zu Straßenverlauf, Knotenpunkten und engen Kurven ermöglicht werden. Auch Fastenmeier (1995) verwendet für die Beanspruchungsprädiktion statische (z.B. Kurve) und dynamische (z.B. dichter Verkehr) Streckenmerkmale. Dabei gehen die höchsten Anforderungen von engen Kurven, Ortsdurchfahrten und Wohngebieten mit Rechts-vor-links-Regelung aus. Darauf aufbauend evaluierten Vollrath & Totzke (2003) in einem Versuch in der Fahrsimulation die beim Fahrer verursachte Beanspruchung: Dabei durchfuhr jede der 24 Versuchspersonen einen kurvigen Parcours und sollte dabei Nebenaufgaben mit einem Joystick durchführen. Ein Beanspruchungsmelder schaltete in den kritischen Situationen das CID, entweder mit Ankündigung durch einen Ton oder ohne Ankündigung, aus. In jedem Fall war die Übersteuerung, also das Wiederanschalten des CID, via Tastendruck möglich. Final wurde das System gut akzeptiert, wobei die Ausprägung mit Ankündigung als angenehmer empfunden wurde. Wurde das CID ohne akustische Ankündigung abgeschaltet, übersteuerten die Fahrer häufiger als mit tonaler Ankündigung. Generell kann das WL-Management, basierend auf den oben genannten Parametern, realisiert werden. Allerdings gibt es interindividuelle Unterschiede bei Kompensationsstrategien und somit der Fahrerbeanspruchung. Das WIM-Konzept sollte daher nicht nur situations-, sondern auch fahrerzustandsadaptiv agieren.

*SAVE-IT: adaptive Interaktion – NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)*

Auch die amerikanische Verkehrsbehörde NHTSA hat sich im Rahmen des Projektes SAVE-IT (Safety Vehicles Using Adaptive Interface Technologies) mit der Verwaltung bzw. dem Management des automotiven Interaktionskontextes beschäftigt (Lee et al., 2004). Der Fokus des Projektes lag auf der Entwicklung, Demonstration und Evaluierung potentieller Sicherheitsvorteile einer adaptiven Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug bei der Benutzung von FIS. Kernkomponente des Managementprozesses war auch hier eine zentrale Instanz, die die Kontextparameter aus den Bereichen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt verwaltet. Dabei bezieht der Algorithmus Informationen aus einer Kombination von a priori angereichertem Wissen und heuristischen, auf Maschinenlernverfahren basierenden Ansätzen. Das SAFE-IT Projekt sieht jedoch für zukünftige Arbeiten die Notwendigkeit der Verwendung von Fahrerbeobachtungsinformationen (Driver Monitoring) vor. Im WIM Projekt ist allerdings die Verwendung von aufwendigen, teuren Zusatzsystemen nicht vorgesehen, da sonst der Serieneinsatz nicht möglich wäre.

*AIDE: ICA (Interface Connector Assembly) - Volvo, BMW, DaimlerChrysler, Ford, Opel, Peugeot, Renault, Seat, Bosch, Siemens VDO, & European Comission Joint Research Centre, INRETS, TNO, BAST, Universität von Stuttgart und Leeds, etc.*

AIDE steht für "Adaptive Integrated Driver-vehicle InterfacE". Ziel des mehrjährigen EU-Projekts (Laufzeit 2004 bis 2008) war es, einen generischen Ansatz zu entwerfen und zu validieren, der den Nutzen von Fahrerassistenzsystemen maximiert und gleichzeitig eine komfortable Interaktion mit FIS und Nomadic Devices (= tragbares, schnurloses Gerät wie z.B. ein Personal Digital Computer) zulässt, ohne die Fahrsicherheit zu gefährden. Ein Arbeitspaket hatte zum Ziel, den so genannten „Multi-Task Workload Manger“ zu entwerfen. Dieser WL-Manager agiert kontextadaptiv, d.h. er bezieht Informationen zum Fahrerzustand und zur Fahrsituation mit ein. Allerdings soll der Fahrer informiert werden, wenn eine Priorisierung stattfindet, um Transparenz und Konsistenz im Systemverhalten zu gewährleisten. Vorerst

wurden die Systemausgaben in Klassen anhand definierter Parameter wie "Dauer der Ausgabe", "Initiator der Ausgabe", "Sicherheitsrelevanz der Ausgabe", und "Zeitkritikalität der Ausgabe" kategorisiert. Auch diese Stufen lassen sich in der in Kapitel 2.2.4 dargestellten Müller-Lermer-Matrix abbilden. Im zweiten Schritt wurde diese statische Priorisierung mit dem Fahrer-Fahrzeug-Umwelt Modell (Bubb, 2002) ergänzt: Dabei wurden zur dynamischen Priorisierung die Kriterien "Komplexität der Fahrsituation", "Ablenkung durch Nebenaufgaben", "Umweltfaktoren", "Fahrer Intention" und "Fahrerprofil" herangezogen. Die übergeordnete Funktion des Ausgabenkoordinators ist es somit, Handlungsbedarf bei Konflikten zu erkennen sowie die Abfolge der Ausgaben zu definieren und zu realisieren, also Meldungen zu verzögern oder zu unterdrücken. Anforderungen an das so genannte ICA-Modul (Interface Connector Assembly) waren ein modularer Aufbau, um Flexibilität sicherzustellen, sowie eine Kommunikation mit den Einzelfunktionen über ein generalisiertes Interface. Dabei sieht der Kommunikationsfluss folgendermaßen aus: Wenn z.B. eine Navigationsanwendung eine Guidance-Information ausgeben möchte, fragt es bei dem ICA-Modul an, ob das möglich ist. Bei dieser Anfrage informiert die Anwendung die ICA über die Art der Ausgabe und die benötigten Modalitäten. Daraus leitet die ICA den Prioritätsindex ab und entscheidet, basierend auf der aktuellen Fahrsituation und dem Fahrerzustand, ob und wenn ja in welcher Form die Navigationsinformation ausgegeben werden kann. Dafür werden kontinuierlich Informationen des DVE-Moduls (Driver Vehicle Environment) benötigt: Sensor Informationen helfen definierte Fahrerzustände, Fahrsituationen und Umweltbedingungen zu identifizieren. Ferner beinhaltet das DVE-Modul den „Profil Manager“, der Fahrerpräferenzen miteinbezieht. Das DVE Modul verwendet jedoch auch physiologische Daten wie Puls und Blickerfassung und ist daher intrusiv, da der Fahrer erst „angeschlossen“ bzw. „kalibriert“ werden muss. Das WIM Konzept soll ohne Aufrüstung des Fahrzeugs mit aufwendigen oder teuren Zusatzsystemen zur Erfassung von Parametern zum Fahrerzustand auskommen. Der Ansatz ist vielversprechend, jedoch in der momentanen Ausprägung nicht für den Einsatz in der Serie geeignet.

## **2.4 Zusammenfassung und Ableitung der Fragestellung**

Aufgrund obiger Prämissen zur Informationsverarbeitung des Fahrers besteht die Herausforderung darin, einen Warn- und Informationsmanager zu entwickeln, der im Fall von parallelen Ausgaben durch FAS, FIS, Status- und Bedienrückmeldungen diese ganzheitlich koordiniert und je nach Dringlichkeit und Relevanz gewichtet ausgibt. Ferner soll der WIM den Ausgabezeitpunkt der Systemausgaben kontextadaptiv optimieren: Hierzu werden Informationen zu Fahrzeugzustand, Fahrsituation und Fahrerleistung herangezogen und ausgewertet. Zudem ist es essentiell, das Konzept zur Informationskoordination modular erweiterbar zu gestalten, um die Integration neuer Informationsklassen zu ermöglichen (vgl. Tabelle 6). Die hier aufgeführten Anforderungen an das WIM sind in Kapitel 5.1 ausführlich definiert. Wie in Tabelle 6 dargestellt, erfüllt keiner der bislang entwickelten statischen und/oder dynamischen Informationsmanager alle Anforderungen, die in dieser Arbeit an ein WIM gestellt werden.

Vorerst gilt es herauszufinden, in welchen Fällen eine Informationspriorisierung überhaupt notwendig ist, also wie viele Informationen der Mensch aufnehmen, verarbeiten und zur Reaktion integrieren kann, ohne überfordert zu werden. Mit anderen Worten: Wie leistungsfähig ist der Mensch? Wieviele Informationen welcher Art können parallel von ihm verarbeitet werden? D.h. welche zeitnahen Rückmeldungen verursachen Interferenz bei der Informationsverarbeitung? Aus den oben erwähnten Modellen zur menschlichen Informationsverarbeitung leitet sich ab, dass der Fahrer zeitnah ausgegebene Meldungen dann parallel verarbeiten kann, wenn unterschiedliche Modalitäten, Verarbeitungsstufen oder Verarbeitungstypen betroffen sind (Wickens, 1980) oder die Verarbeitung auf der fertigkeitbasierten Ebene, also stark automatisiert, abläuft (Rasmussen, 1986). Es ist anzunehmen, dass es zu Interferenz bei der Informationsverarbeitung kommt, wenn der Fahrer mit zeitnahen Meldungen konfrontiert wird, die dieselbe Verarbeitungsmodalität betreffen. Diese Interferenz kann sich in längeren Reaktionszeiten (RZ) und eingeschränkter Wahrnehmung oder höherer mentaler Belastung manifestieren.



Tabelle 6: Übersicht Benchmarkanalyse der Gestaltungskriterien für WIM  
(Ordinate: bisher vorliegende Ansätze, Abszisse: WIM-Gestaltungskriterien)

<b>Legende:</b> Anforderungen werden <b>2 voll erfüllt</b> <b>1 teilweise erfüllt</b> <b>0 nicht erfüllt</b>	Anforderungen					
		Vollständigkeit	Konsistenz	Ressourcenadaptivität	Kontextadaptivität	Modularität
Ansätze						
SIMMI & CCM (BMW)	2	2	0	0	0	2
Definition Prioritäten (ISO)	0	2	0	0	0	2
Prioritätsindex (SAE)	2	1	0	0	0	2
Paarweiser Vergleich (TU Muc.)	1	2	0	0	0	2
Informationskoordination (Bosch)	1	1	1	0	0	2
IDIS (Volvo)	2	1	0	2	0	1
Driver Advocate (Motorola)	1	2	0	1	0	2
Dynamisches Informationsmanagement (Audi)	1	2	2	2	1	2
Informationsmanager (Uni BW)	2	2	0	2	2	0
ICA (AIDE)	1	2	0	2	1	2
WL-Schätzer (GIDS)	2	2	0	2	1	2
Informationskoordinator (INVENT)	2	2	0	2	0	2
WL-Manager (WIVZ)	1	2	0	2	0	2
Adaptives Infomanagement (CEMVOCAS)	0	2	0	2	0	1
Dynamisches IM (COMUNICAR)	2	2	0	2	0	1
Adaptive FAS (SANTOS)	0	2	0	1	0	2
adaptive Interaktion (SAFE-IT)	0	2	0	2	1	0

## **3 Experiment im statischen Fahrsimulator**

### **3.1 Fragestellung und Ziel der Untersuchung**

Als Grundlage für dieses Experiment im statischen Fahrsimulator dienen die in Kapitel 2.1.1 eingeführten Modelle zur menschlichen Informationsverarbeitung. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Mensch durchaus in der Lage ist, Informationen parallel zu verarbeiten, sofern die Ausgaben unterschiedliche Modalitäten, Verarbeitungsstufen oder Antwortarten betreffen (Wickens, 1984). Ferner gilt, je automatisierter eine Handlung, desto mehr Ressourcen bleiben dem Fahrer zur Bearbeitung einer zusätzlichen Information (Rasmussen, 1986).

Es wird grundlegend eruiert, wie viele Ressourcen der Mensch neben der Bearbeitung der Fahraufgabe für die Verarbeitung von singulären oder aber parallelen Rückmeldungen des Fahrzeugs noch zur Verfügung hat. Diese Fragestellungen wurden bewusst in der Fahrsimulation realisiert, da hier der Einfluss diverser Störgrößen minimiert werden kann: die Reaktion der Probanden auf unterschiedliche optische, akustische und haptische Ausgaben im Sinne der Informationsverarbeitung nach Wickens (siehe Kap. 2.1.1.2) wird hier isoliert betrachtet. Anliegen dieses Grundlagenexperiments ist es herauszufinden, wie leistungsfähig der Mensch in der parallelen Informationsverarbeitung in dem Anwendungskontext „Autofahren“ ist, d.h. wie viele zeitnahe Ausgaben unterschiedlicher Modalitäten er parallel wahrnehmen und auswerten kann. Ferner gilt es herauszustellen, wie Bedienrückmeldungen (BR) zu priorisieren sind.

### **3.2 Methode**

#### **3.2.1 Hypothesen**

Basierend auf Wickens Modell, nämlich dass Interferenz in der Informationsverarbeitung verursacht wird, sobald zeitnahe Ausgaben in

derselben Modalität bearbeitet werden müssen, leiten sich folgende Hypothesen ab (für eine Übersicht siehe Tabelle 7).

→ Hypothese H1: Zeitnahe optisch-akustische Ausgaben (durch Check-Control-Meldung und Kollisionswarnung) verursachen Interferenz in der Informationsverarbeitung.

→ Hypothese H1a: Diese Interferenz wird sowohl bei rein optischen als auch bei optisch-akustischen Check Control Meldungen hervorgerufen.



→ Hypothese H1b: Diese Interferenz wird sowohl bei zeitnahen (kurz vor einer KW) als auch bei parallelen Check Control Meldungen hervorgerufen.

→ Hypothese H2: Bei zeitnahen Ausgaben unterschiedlicher Modalitäten (hier haptisch und optisch-akustisch) kommt es zu keinen Engpässen in der Informationsverarbeitung.

→ Hypothese H2a: Diese Interferenz wird weder bei haptisch gerichteten noch bei haptisch ungerichteten Informationen ausgelöst.

→ Hypothese H2b: Keine Interferenz wird verursacht, unabhängig von dem zeitlichen Abstand der haptischen Ausgabe in Bezug auf die Kollisionswarnung (zeitnah oder parallel).

Tabelle 7: Übersicht der Hypothesen 1 und 2

Ausgaben	Zeitabstand [s]	Hypothese
 +  + 	1,5 / 0,5	
 + 	1,5 / 0,5 / 0	Interferenz (H1)
 + 	1,5 / 0	
 +  	1,5 / 0 / - 1	keine Interferenz (H2)

Anmerkung zum Zeitabstand: bei positiven Werten kommt die KW als zweite, bei negativen Werten als erste Ausgabe. Die Reihenfolge der bildlichen Darstellung spiegelt nicht die der zeitlichen Darstellung wider.

→ Hypothese H3: Die verzögerte Ausgabe von rein optischen Bedienrückmeldungen wird von den Probanden als zu spät empfunden.

### 3.2.2 Versuchsaufbau

Die Probanden führen einen einstündigen Stadt-Landstrasse-Autobahn-Parcours im statischen Fahrsimulator. Dabei sollten sie einem Vorderfahrzeug zügig, aber dennoch mit Sicherheitsabstand folgen. Der Versuchsleiter (VL) überwachte während des Versuchs den Abstand und gab der Versuchsperson (VP), falls nötig, Rückmeldung über ein Mikrofon den Abstand anzupassen (Abbildung 18, rechts). Während der Folgefahrt kam es an unterschiedlichen Stellen in der Simulation zu kritischen Bremsereignissen (Abbildung 18, links). Dabei bremste entweder das zu verfolgende Fahrzeug scharf oder ein fremdes Fahrzeug scherte knapp vor dem Ego Fahrzeug an einer unübersichtlichen Stelle ein. Drei dieser Events waren Baseline- oder Referenzmessungen (B). Hierbei wurde eine alleinige Kollisionswarnung ausgegeben. Die Rückmeldung erfolgte optisch und akustisch in Form eines hochfrequenten Warntons und einer rot aufblinkenden Kammerleuchte (KL).

Tabelle 8: Charakteristik der Systemausgaben, technische Spezifikation

<b>Systemausgabe</b>	<b>Charakteristik</b>	<b>Gesamtdauer</b>
Ton KW	Frequenz 2000 Hz, Doppelimpuls mit 0,117 s Pause	1,5 s
Ton CC	Frequenz 667 Hz	2,403 s
Lenkmoment SWW	Stärke 2,5 Nm	ca. 2 s
Vibration TLC	n.d.	2 s

In allen anderen Fällen kam zusätzlich zu der optisch-akustischen KW eine optisch-akustische oder rein optische Statusmeldung, eine haptisch gerichtete oder eine haptisch ungerichtete (TLC) Rückmeldung (vgl. Charakteristik der Ausgaben Tabelle 8). Haptisch gerichtet steht in diesem Fall für einen leichten Lenkimpuls, der den Fahrer zurück in seine Spur lenkt, um einen

Zusammenstoß mit dem Fahrzeug im toten Winkel zu vermeiden. Dabei warnt der SWW nur, wenn eine Überholabsicht erkennbar ist, also der Proband den Blinker setzte. Ferner gab es bei der SWW zu der haptisch gerichteten Ausgabe eine optische Ausgabe im Außenspiegel, um auf die drohende Kollision im toten Winkel hinzuweisen (LEDs in Form eines Dreiecks) (siehe Tabelle 9). Näherte sich die Versuchsperson in kritischer Weise dem Fahrbahnrand ohne zu blinken, wurde eine TLC-Warnung in Form einer Lenkradvibration, also haptisch ungerichtet, ausgegeben. Diese Warnausgabe kam an zwei a priori festgelegten Stellen vor, an denen die Fahrbahn durch eine Baustellenbegrenzung am Rand verengt war. Nur so konnte ein plausibles Spurverlassensszenario sichergestellt werden (Abbildung 19).

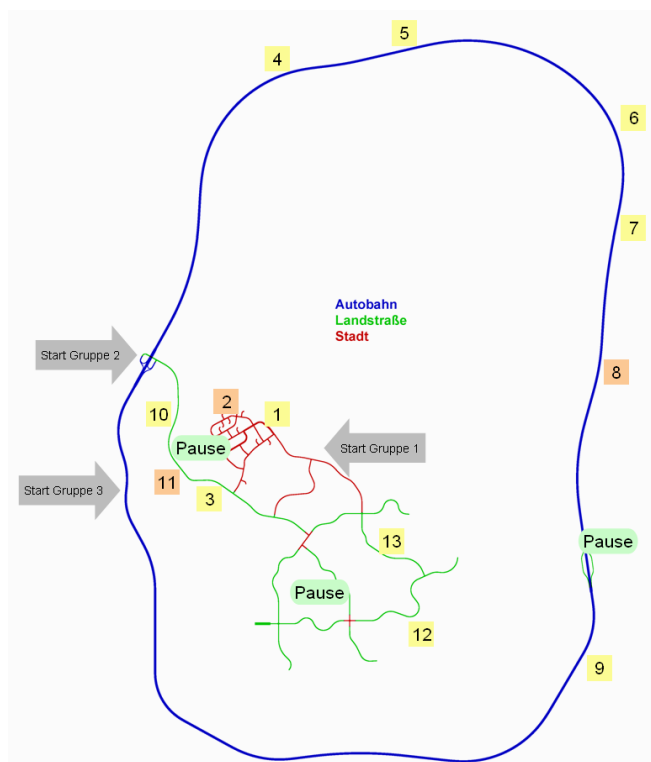


Abbildung 18: 13 Bremssituationen auf einem S-L-AB Parcours (links, siehe Tabelle 9); Versuchsleiterraum (oben rechts), Sitzkiste und Bildschirmsimulation (unten rechts)

Um eine realistische SWW auszugeben, wurden die VPn an einer gewissen Stelle im Versuch gebeten, den Vordermann zu überholen. Dabei fuhr ein „unsichtbares“ Fahrzeug im toten Winkel nebenher. Dieses wurde erst mit dem

Beginn des Spurwechsels sichtbar geschaltet, also in dem Moment, in dem die VP den Blinker setzte, um die Überholabsicht anzukündigen. Da nach der Ausgabe einer KW, die in der Regel 1,5 s dauert, die Ausgabe von Statusmeldungen grundsätzlich nicht möglich ist, beschränkt sich unser Experiment darauf, den Einfluss von CC-Meldungen kurz vor und parallel zu einer KW zu untersuchen. Im Fall von zeitnahen optisch-akustischen Ausgaben blieb der optische Part der CC in der Instrumenten-Kombination mindestens bis zum Erscheinen der KW, aber höchstens bis zum Erfolgen der Bremsreaktion nach der Warnung. Im Anschluss an den Bremsvorgang wurde der Proband gefragt, ob ihm im Bereich der Anzeigen etwas aufgefallen sei und wenn ja, das Wahrgenommene zu beschreiben. Damit waren sowohl optische, akustische als auch haptische Ausgaben gemeint. Die Befragung diente dazu, die Wahrnehmung und somit die Funktionsweise der Informationsverarbeitung in bestimmten Situationen zu erfassen. Es wird angenommen, dass sich diese in der bewussten Verarbeitung von Reizen widerspiegelt. Ferner sollten die Versuchspersonen auf einer logarithmischen Skala zur Erfassung der mentalen Beanspruchung angeben, wie die jeweilige Situation erlebt wurde (Zijlstra & Van Doorn, 1985).

Auf den Streckenabschnitten zwischen den Bremsereignissen wurden die Probanden an fünf Stellen gebeten, Bedieneingaben auszuführen und anschließend die Rückmeldung in der Instrumenten-Kombination zu überprüfen. Dabei wurde die BR entweder direkt oder verzögert nach einer CC ausgegeben. Anschließend sollten die VPn angeben, ob die Bedienrückmeldung in Bezug auf die Handlung zu früh, rechtzeitig oder zu spät ausgegeben wurde. So wurden die Probanden beispielsweise in der Stadt gebeten, den Spurverlassenswarner zu aktivieren und anschließend die Bedienrückmeldung in der Instrumenten-Kombination „System erst ab 70 km/h verfügbar“ abzulesen. In drei dieser Fälle wurde die Ausgabe der BR mit einer CC überblendet.

Die Bremsereignisse ereigneten sich an einer a priori festgelegten Stelle im Parcours und waren somit nicht vom Ego-Fahrzeug beeinflussbar. Es handelt sich hierbei um ein Wizard-of-Oz Experiment (Kelley, 1985).

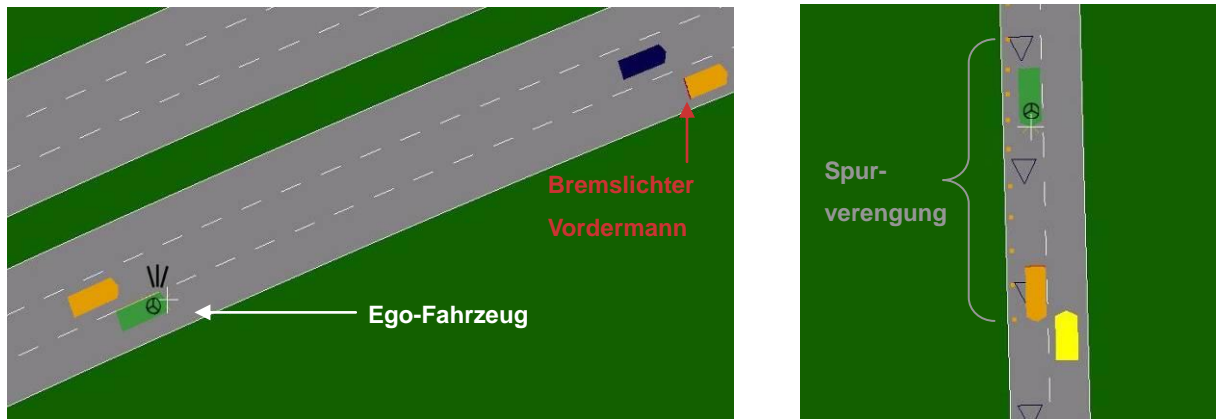


Abbildung 19: KW parallel zu einer SWW (links) bzw. einer TLC Ausgabe (rechts)

### 3.2.3 Apparatus

Das Experiment wurde im statischen Fahrsimulator der BMW Tochtergesellschaft Forschung und Technik in München durchgeführt. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Simulators ist die Sitzkiste „Stella“ mit regulärem Lenkrad und Pedalen. Im Kombiinstrument gab es Kammerleuchten für damals noch nicht auf dem Markt erhältliche FAS (KW, TLC). Ferner waren in den Außenspiegeln lichtemittierende Dioden (LEDs) in Form eines Dreiecks für die optische Ausgabe der SWW angebracht. Die Ausgabe des Gegenlenkmoments erfolgte mit Hilfe eines Mantelmotors an der Lenksäule, der auch zur Simulation des Rückstellmoments der Lenkung während der Fahrt genutzt wurde. Die Vibration hingegen wurde mit einem zusätzlichen Unwuchtmotor im Lenkrad erzeugt (Serien-TLC-Motor des 5er BMW, Hersteller Autoliv), der im unter Teil des Lenkrads angebracht ist. Der Innenraum und das Fahrverhalten der Sitzkiste glichen denen eines 5er BMWs mit Automatikgetriebe.

Die perspektivische Strassenansicht wurde elektronisch mit Hilfe des Spider Grafikrechnerverbunds (acht Workstations, Linux Version 2.4.24, Dual-Xeon Prozessor bis 3,6 GHz, 2-4 GB Arbeitsspeicher, Grafikprozessor NVidia Quadro FX 4400/4500) generiert und vor die Sitzkiste projiziert. Die Projektionswinkel betragen Horizontal  $225^\circ$  und Vertikal  $36,5^\circ$ . Nach vorne projizierten fünf Projektoren mit einer Auflösung von  $1280 \times 1024$  bis  $6400 \times 1024$  Pixel. Ferner gab es Rückspiegel- und Seitenspiegel-Projektionen, die durch drei Plasma-

Bildschirme hinter der Sitzkiste erzeugt wurden. Im Versuchsleiterraum konnten auf den fünf Linux-Rechnern die Fahrdynamik, der Fremdverkehr sowie Birdview-Ansicht und Protokollierung überwacht werden. Die CAN-Bus Ansteuerung sowie die zusätzlich eingebundene Matlab / Simulink-Cosimulation liefen unter einem Windows Betriebssystem (Windows PC P4 2,4 GHz, 512 MB Arbeitsspeicher). Hierüber wurden optische Ausgaben im Kombiinstrument, akustische Ausgaben über die Lautsprecher und haptische Ausgaben über das Lenkrad gesteuert. Um die Fahrsimulation so realistisch wie möglich zu gestalten, generieren zwei Soundrechner situations- und geschwindigkeitsabhängig Geräusche des Eigen-Fahrzeugs und der anderen Verkehrsteilnehmer. Ferner waren diverse Kameras zur Überwachung des Fahrerzustands installiert, deren Videodaten jedoch nicht in die Auswertung einbezogen wurden.

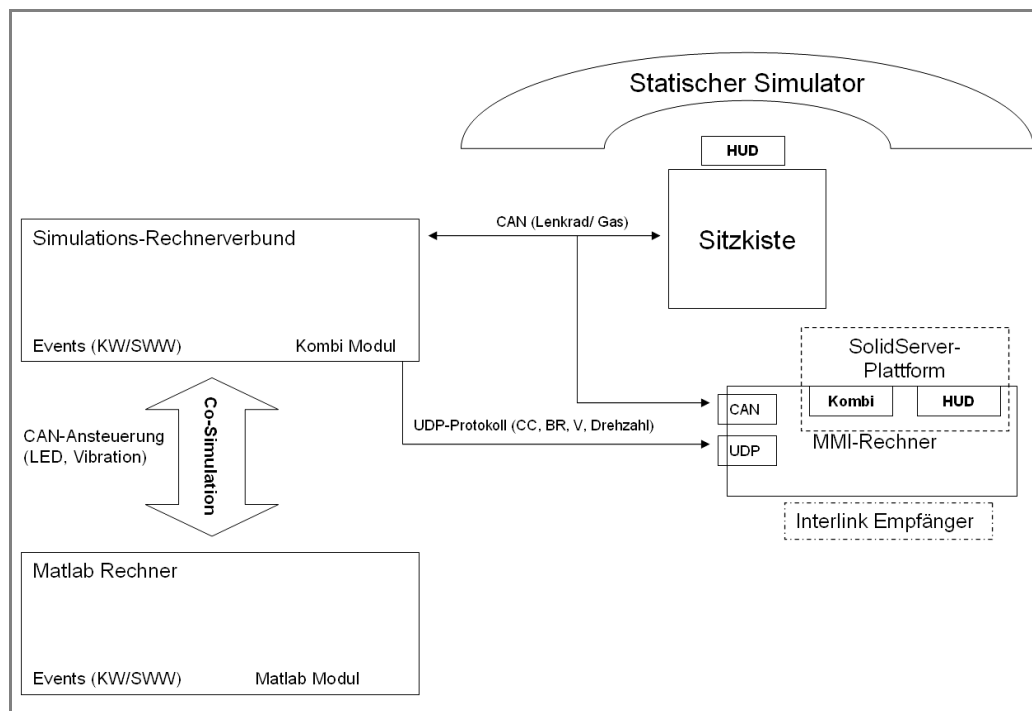


Abbildung 20: Übersicht Aufbau der Fahrsimulation, Hardware und Software Interaktion

Das Boris-Modul der Spider-Fahrsimulation verschickt über ein UDP-Protokoll (Unifying Data Protokoll) Daten wie Geschwindigkeit (V) und Drehzahl zum MMI-Rechner, der dieses in der Instrumenten-Kombination darstellt. Die LEDs im Außenspiegel, das Gegenmoment und die Lenkradvibration werden



hingegen von Matlab generiert und mithilfe des CAN-Busses an die entsprechenden Motor-Steuergeräte übertragen (Abbildung 20).

### 3.2.4 Beschreibung der Stichprobe

Insgesamt nahmen 70 Versuchspersonen an dem Experiment teil. Alle Probanden waren zu dem Zeitpunkt des Versuchs bei der BMW Group beschäftigt. Die Teilnahme erfolgte freiwillig und wurde nicht entlohnt. Insgesamt wurden 52 der 70 Probanden in die Auswertung miteinbezogen (für eine Begründung siehe Kap. 3.2.5). Sechs der 52 Probanden waren weiblich. Die Teilnehmer kamen aus allen Bereichen der BMW Group (Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Marketing) und waren im Durchschnitt 28 Jahre alt (5,8 SD), wobei das Alter zwischen 17-49 Jahren variierte. Zwei Drittel der VPn fuhren mehr als 10000 km pro Jahr (Abbildung 21).

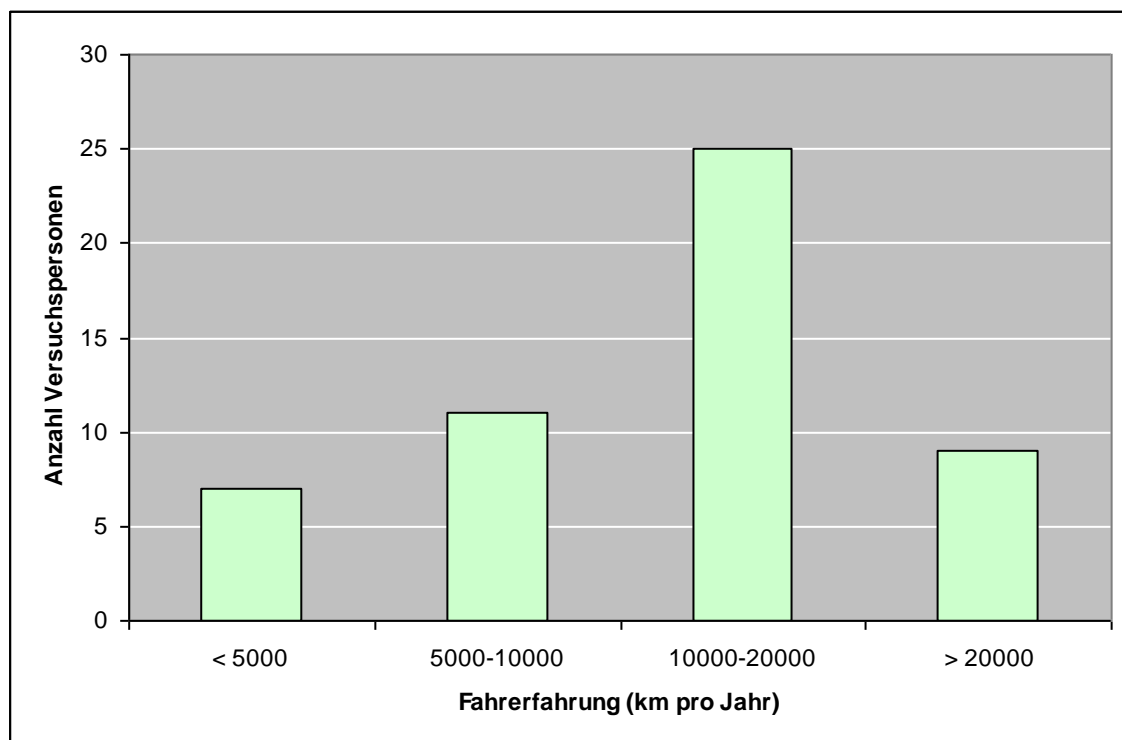


Abbildung 21: Fahrerfahrung der 52 Probanden in km pro Jahr

### 3.2.5 Experimentelles Design und Versuchsablauf

Das Versuchsdesign wurde mit abhängigen Stichproben geplant. D.h. jede Versuchsperson wurde mit jedem Event konfrontiert, um anschließend einen Vergleich der Situationen über alle Probanden hinweg zu ermöglichen. Um

Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, gab es drei Experimentalgruppen, wobei lediglich der Startpunkt und die Pausenstellen in der Simulation variierten (Abbildung 18: links). Die erste Gruppe startete in der Stadt, die zweite auf der Autobahn und die dritte auf der Landstrasse.

Zu Beginn des Versuchs erhielt jede Versuchsperson eine mündliche Einführung in der Sitzkiste. Dabei wurden zuerst die möglichen Systemausgaben erklärt und demonstriert und dann der gesamte Ablauf des Experiments erläutert (Anhang A). Anschließend konnte sich die VP in einer 10-minütigen Testfahrt mit dem Fahrzeugverhalten in der Simulation vertraut machen. Hierbei hatte sie die Möglichkeit, Sitz und Lenkrad nach Ihren Bedürfnissen einzustellen. Ferner konnte sich hier der Proband auf den richtigen Abstand zum Vordermann einstellen. Am Ende der Testsession wurde der demographische Fragebogen ausgefüllt (Anhang A). Versuchspersonen, die nach der Einführungsfahrt erste Anzeichen von Simulatorkrankheit (z.B. Schwindel, Übelkeit) zeigten, wurden von der Teilnahme ausgeschlossen.

In der Experimentalsession wurde jede VP mit den 13 Bremsereignissen und den fünf Bedieneingaben konfrontiert (siehe Tabelle 9). An drei Stellen in der Fahrsimulation gab es die Möglichkeit zu pausieren. Der Parcours wurde von jedem Probanden genau einmal abgefahren, wobei Geschwindigkeitsbegrenzungen von 30 bzw. 50 km/h innerorts, 80 bzw. 100 km/h auf der Landstrasse und 120 km/h auf der Autobahn einzuhalten waren. Ungefähr nach der Hälfte der jeweiligen Strecke (Stadt, Landstrasse, Autobahn) erfolgte eine Baseline-Messung (B in Tabelle 9), sodass für jeden Fahrer insgesamt drei Referenzmessungen erhoben wurden. Somit wurde sichergestellt, dass Bremsereignisse mit ähnlicher Dynamik verglichen wurden: die Experimentalevents in der Stadt mit der Referenzmessung in der Stadt, die auf der Landstrasse bzw. Autobahn mit der Baseline-Messung auf der Landstrasse bzw. Autobahn.



a	Beschleunigung/Verzögerung der KFZs [m/s]
d	Abstand zum Vordermann [dm]
S_GP	Stellung Gaspedal Fahrer [N]
D_B	Bremsdruck Fahrer [Bar]

Als abgeleitete Größen wurden folgende abhängige Variablen berechnet:

R_B	Reaktionszeit bis Betätigung des Bremspedals vom Startzeitpunkt der KW
Tr_GB_B	Transitionszeit zwischen Gas- und Bremsbetätigung als Reaktion auf eine KW

Um von echten Bremsreaktionen ausgehen zu können, wurden nur VPn in die Auswertung miteinbezogen, die zum Zeitpunkt der KW ausschließlich das Gaspedal betätigten und als Reaktion auf eine KW das Bremspedal innerhalb von drei Sekunden mit einem Wert von über 0,2 Bar betätigten. Somit wurden Fehl- (Ausbleiben einer Reaktion) und Falschreaktionen (versehentliches Berühren des Pedals) ausgeschlossen. Nach der Vorverarbeitung der Daten (Filtern und Konvertieren) wurden diese in Matlab Simulink eingelesen und die relevanten Zeiten in einer Excel-Datei zusammengetragen.

Da das Experiment mit 13 Bremsereignissen und zahlreichen Kurven, bedingt durch die Transitionen im S-L-AB Parcours, relativ dynamisch war, kam es in einigen Fällen zu Simulatorkrankheit: zehn (14%) der 70 Versuchspersonen mussten das Experiment wegen Schwindel und Übelkeit frühzeitig beenden. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch die Informationsverarbeitung von diesem suboptimalen Zustand beeinflusst wird. Somit konnten diese ohnehin unvollständigen Datensätze nicht in die Auswertung miteinbezogen werden. Acht weitere Datensätze konnten wegen technischer Probleme in der Fahrsimulation, nicht komplett erhoben werden (11%).

Für die auswertbaren Datensätze der 52 Probanden wurden einzelne Events in die Analyse miteinbezogen. Es gab jedoch keinen Probanden, bei dem alle 13

Bremsevents ausgewertet werden konnten. Dies war bedingt durch das Nichteinhalten der Instruktion (Abstand bzw. Geschwindigkeit nicht korrekt angepasst) bzw. das Kriterium „zum Zeitpunkt der KW darf ausschließlich das Gaspedal betätigt werden“: In zahlreichen Events betätigten die VPn zum Zeitpunkt der Ausgabe nicht mehr das Gaspedal oder sogar schon das Bremspedal. Somit konnte nicht von einer echten Bremsreaktion ausgegangen werden.

Bedingt durch die Nichteinhaltung der Instruktion und die hohe Abbruchrate musste auf einen Vergleich mit abhängigen Stichproben verzichtet werden. Stattdessen wurde eine Auswertung mit unabhängigen Stichproben durchgeführt, d.h. der Datensatz einer Versuchsperson darf entweder in der Experimentalbedingung oder der Referenzmessung ausgewertet werden. Somit verringern sich die Stichprobengrößen auf ca. 10 pro Event. Da bei kleinen Stichproben nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann, verwenden wir einen nicht-parametrischen Test für unabhängige Stichproben (Mann-Withney U Test, Bortz & Döring, 2002).

Eine einfaktorielle ANOVA (für einen Vergleich aller Bremsevents wie im Realfahrzeug) war hier nicht möglich, da sich die 13 Bremssituationen in ihrer Dynamik sehr unterschieden (S-L-AB). Events inner- bzw. außerorts wurden nur mit der jeweiligen Baseline (Stadt bzw. Autobahn) verglichen. Im Realfahrzeug hingegen wurden alle fünf kritischen Bremsevents mit 80 km/h erhoben.

Ferner wurden diverse subjektive Maße erhoben, um folgende abhängige Variablen darzustellen:

RSME-Score	subjektives Maß für mentale Beanspruchung
Wahrnehmung bei Anzeigen	Maß für Informationsverarbeitung
Zeitpunkt BR	Maß für Rechtzeitigkeit einer BR

Subjektive numerische Daten wurden mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) und subjektive nominale Daten mit einem Pearson Chi<sup>2</sup>-Test ausgewertet.

### 3.3 Ergebnisse

Um eine Aussage über die Interferenz, also die Auswirkung der Rückmeldungen auf die Brems-Reaktionszeit machen zu können, wurden kritische Ereignisse in der Stadt mit der Baseline-Messung in der Stadt (Event 2) und kritische Ereignisse auf Landstrasse bzw. Autobahn mit der Baseline-Messung auf der Autobahn (Event 8) verglichen. Die Baseline-Messung auf der Landstrasse (Event 11) wurde aufgrund mangelnder Datensätze nicht in die Auswertung miteinbezogen.

#### 3.3.1 Objektives Maß

Als objektives oder Leistungsmaß wurde die Transitionszeit zwischen dem Gas- und dem Bremspedal als Reaktion auf eine KW ausgewertet: d.h. die Zeit, die der Fahrer nach Erscheinen der Ausgaben benötigt, um den Fuß vom Gaspedal zu nehmen und auf das Bremspedal zu setzen. Dieser Wert wird auch zur Aktivierung des Bremsassistenten verwendet, da die Umsetzzeit einen guten Prädiktor für die Art des Fahrerwunsches (schnelle oder komfortable Bremsung) darstellt.

##### 3.3.1.1 Transitionszeit

Bei zeitnaher oder paralleler Ausgabe einer Kollisionswarnung und einer Statusmeldung bremsten die Versuchspersonen signifikant langsamer als bei der alleinigen Ausgabe einer Kollisionswarnung. Dieser Effekt ist unabhängig davon, ob die Statusmeldung mit einem Ton angekündigt wurde oder nicht. Ferner tritt diese Interferenz in demselben Maße bei zeitnahen (CC 1,5 s oder 0,5 s vor der KW) und parallelen Ausgaben auf (für eine Übersicht des Signifikanzniveaus siehe Tabelle 10).

Dies zeigt, dass zeitnahe und parallele Ausgaben in derselben Modalität Interferenz verursachen. Allerdings ist eine Tendenz zu größeren Reaktionszeitunterschieden bei einem zeitlichen Versatz von 500 ms festzustellen (Abbildung 22). Hierbei wurden alle Experimentalevents mit identischen Zeitabständen zur KW gemittelt.

Tabelle 10: Übersicht der durchschnittlichen Reaktionszeiten (RT) in den 13 kritischen Bremssituationen

Bremssituationen	RT [s]	RT [s] Baseline	$\Delta$ RT [s]	Signifikanzlevel U-Test
CC und Ton, 0,5 s vor KW (Event 1)	1,61	0,77 (Event 2)	0,84	0,000
CC und Ton, 1,5 s vor KW (Event 5)	1,70	1,20 (Event 8)	0,50	0,008
CC, 1,5 s vor KW (Event 3)	1,58	1,20 (Event 8)	0,38	0,008
CC, parallel zu KW (Event 7)	1,56	1,25 (Event 8)	0,31	0,028
CC, 0,5 s vor KW (Event 12)	2,24	1,20 (Event 8)	1,04	0,000
SWW, 1,5 s vor KW (Event 4)	1,50	1,16 (Event 8)	0,34	n.s. (0,38)
SWW, parallel zu KW (Event 9)	1,75	1,24 (Event 8)	0,51	n.s. (0,105)
SWW, 1 s nach KW (Event 13)	1,82	1,34 (Event 8)	0,48	n.s. (0,05)
TLC, parallel zu KW (Event 6)	2,09	1,20 (Event 8)	0,89	0,001
TLC, 1,5 s vor KW (Event 10)	2,36	1,20 (Event 8)	1,16	0,000

Bei zeitnahen haptischen und optisch-akustischen Ausgaben konnte signifikante Interferenz in Form von langsamerer Bremsreaktion lediglich bei ungerichteten haptischen Ausgaben (i.e. Lenkradvibration) nachgewiesen werden: Fahrer bremsen signifikant langsamer bei zeitnahen Rückmeldungen des Spurverlassenswarners (i.e. Vibration am Lenkrad) und des Kollisionswarners als bei alleiniger Rückmeldung durch das Kollisionswarnsystem (Tabelle 10) (TLC parallel zu KW  $p = 0.001$ , TLC 1,5 s vor KW  $p = 0.000$ ). Es konnte kein signifikanter Unterschied in der Bremsleistung zwischen zeitnahen (SWW 1,5 s vor KW  $p = 0.38$ , SWW 1 s nach KW  $p = 0.05$ ) und parallelen Spurwechsel- (Gegenlenkmoment) und Kollisionswarnungen ( $p = 0.105$ ) und einer alleinigen Kollisionswarnung nachgewiesen werden. Dieser Effekt war unabhängig vom zeitlichen Versatz der Ausgaben (SWW 1,5 s vor, zeitgleich zu, 1 s nach der KW).

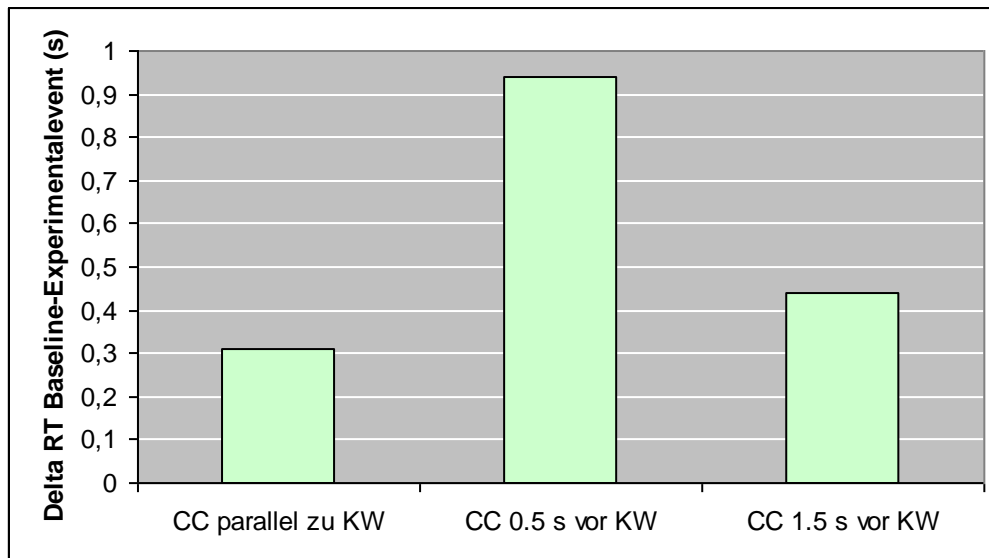


Abbildung 22: Reaktionszeitunterschiede zwischen der Kontroll- und der Experimentalbedingung gemittelt pro Zeitversatz zwischen Statusmeldung und KW

### 3.3.2 Subjektives Maß

Neben den objektiven Leistungsmaßen ist auch die Betrachtung der subjektiven Maße aufschlussreich.

#### 3.3.2.1 SA-Paradigma (*N* wahrgenommene Anzeigen)

Akustische und haptische Rückmeldungen wurden grundsätzlich bei allen Events wahrgenommen und somit nicht in die Auswertung miteinbezogen. Die Analyse der optisch wahrgenommenen Anzeigen bezieht sich auf die Kammerleuchte der KW (Tabelle 9): Wurde die KW alleine oder parallel mit haptisch gerichteten Meldungen ausgegeben, nahmen die Versuchspersonen in mehr als 62 % aller Fälle nichts im Kombiinstrument wahr (Tabelle 11). Bei den zeitnahen und parallelen Ausgaben, die Interferenz verursachten, nahmen die Probanden in mehr als der Hälfte aller Fälle das rote Symbol im Kombiinstrument wahr. Diese Unterschiede waren signifikant ( $\chi^2 = 54.28$ ,  $p = 0.000$ ).



Tabelle 11: Anzahl wahrgenommener KW-Symbole je nach Event

KW	KW	SWW + KW	CC + KW	TLC + KW
nichts wahrgenommen	72.4%	62.3%	39.5%	36.4%
etwas wahrgenommen	3.9%	6.2%	7.4%	10.9%
Rote KL wahrgenommen	23.8%	31.5%	53.0%	52.7%
	100%	100%	100%	100%

### 3.3.2.2 RSME-Score

Der RSME-Score dient dazu, von den Probanden das Ausmaß an mentaler Beanspruchung zu erfahren, das sie in einer bestimmten Situation empfinden. Die Skala lässt Einstufungen zwischen 0 und 150 Punkten zu, wobei folgende Orientierungspunkte gegeben werden: „gar nicht beanspruchend“ (Wert 0), „etwas beanspruchend“ (Wert 50), „sehr beanspruchend“ (Wert 100). Nach oben hin ist die Skala bis 150 Skalenpunkte offen (siehe Anhang B)

Die ANOVA ( $F = 14.009$ ,  $p = 0.029$ ) deckte einen signifikanten Effekt der Bremssituation auf. Der Post hoc Bonferroni Test zeigte, dass die Versuchspersonen signifikant höhere Beanspruchungsscores für die Events angaben, in denen eine Spurwechselwarnung zusammen mit einer Kollisionswarnung ausgegeben wurde (siehe Abbildung 23): Event 4, 9 und 13 wurden mit einem p-Wert von 0.000 als signifikant beanspruchender eingestuft als die Referenzmessung. Das kann allerdings leicht mit der Komplexität der Spurwechselsituation erklärt werden: In diesen Events musste die Instruktion genauestens befolgt werden, da es sonst zu Kollisionen kommen konnte. Die Standardabweichung war über alle Events hinweg relativ homogen.

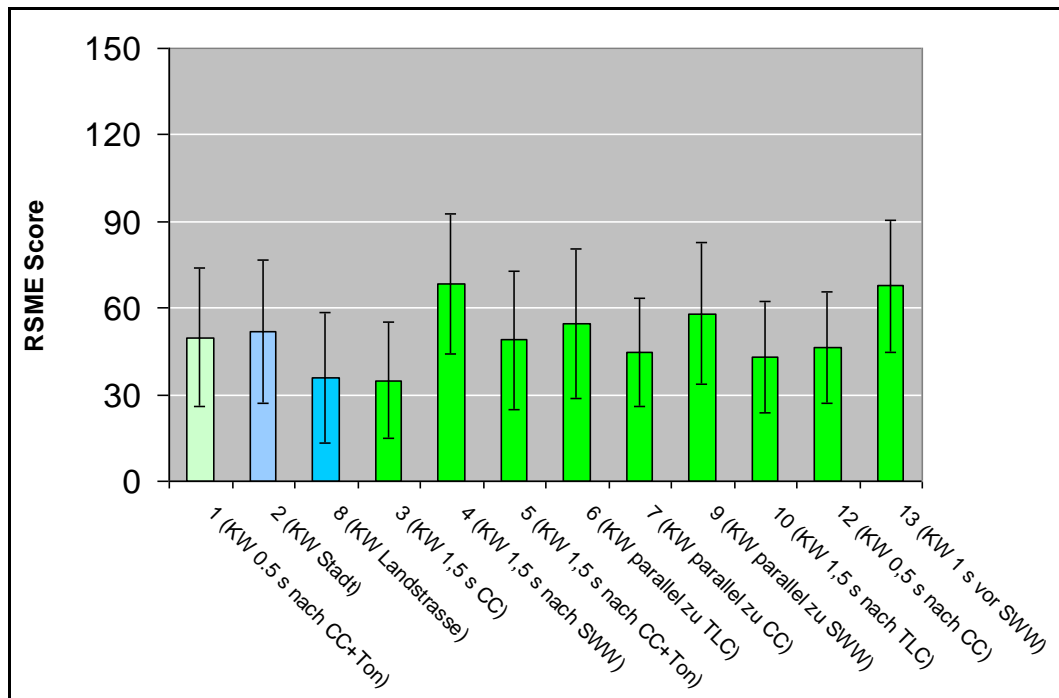


Abbildung 23: RSME Score für die 12 ausgewerteten Bremsreaktionen (blau: Kontrollbedingung, grün: Experimentalbedingung; Stadtevents: 1 und 2)

Insgesamt schöpften jedoch die Probanden diese logarithmisch aufgebaute Skala nicht aus.

### 3.3.2.3 Befragung Rechtzeitigkeit Bedienrückmeldungen

Auf den Streckenabschnitten zwischen den Bremsereignissen wurden die Probanden an fünf Stellen gebeten, Bedieneingaben auszuführen und anschließend die Rückmeldung in der Instrumenten-Kombination zu überprüfen. Dabei wurde die Bedienrückmeldung entweder direkt oder verzögert nach einer CC ausgegeben. Anschließend sollten die VPn angeben, ob die Bedienrückmeldung zu früh, rechtzeitig oder zu spät in Bezug auf die Handlung ausgegeben wurde. So wurden die Probanden beispielsweise in der Stadt gebeten, den Spurverlassenswarner zu aktivieren und anschließend die Bedienrückmeldung „System erst ab 70 km/h verfügbar“ im Kombiinstrument abzulesen. In drei dieser Fälle wurde die Ausgabe der Bedienrückmeldung mit einer CC überblendet. 95 % der Probanden gaben an, dass in diesen Fällen die Rückmeldung zu spät kam. Hierbei ergänzten 20 Probanden, dass sie die Ausgabe der Bedienrückmeldung unmittelbar erwarteten. Ferner kam es durch

die verzögerte Ausgabe zu Fehlinterpretationen: Es wurde angenommen, dass das System die Eingabe nicht „verstanden hat“ oder aber der Eingabeknopf „kaputt war“. Somit stieg die Anzahl an Fehlbetätigungen, da die Probanden versuchten, das gewünschte Feedback durch vermehrte Eingaben zu erlangen.

Das unmittelbare Erscheinen der Bedienrückmeldung als Folge einer Bedieneingabe wurde von 99% der VPn als rechtzeitig empfunden.

### **3.4 Diskussion**

Die Ergebnisse aus diesem Anwendungsbereich stehen im Einklang mit der Theorie der multiplen Ressourcen von Wickens, dass mehrere zeitnahe Rückmeldungen besonders dann kritisch sind, wenn sie dieselben Verarbeitungsmodalitäten oder -stufen betreffen.

Mit diesen Resultaten konnte die Hypothese H1 a bestätigt werden: es kommt zu Interferenz bei zeitnahen und parallelen optisch-akustischen Ausgaben. Diese Interferenz wird sowohl bei rein optischen als auch bei optisch-akustischen Meldungen hervorgerufen. Die Statusmeldung genau wie die Kollisionswarnung stellen ein optisch-akustisches Signal dar, das wahrgenommen, integriert und beantwortet werden sollte. Folglich führt die zeitnahe Ausgabe beider Meldungen dieser Art, unabhängig davon, ob der Zeitabstand zwischen den Ausgaben 1.5, 0.5, oder 0 Sekunden beträgt, zu einem erhöhten Ablenkungspotential durch eingeschränkte Ressourcen und somit zu einer Interferenz, die sich in der verlangsamten Bremsreaktion widerspiegelt (Bestätigung Hypothese 1 b). Es ist jedoch eine Tendenz zu erkennen, dass ein zeitlicher Versatz von 500 ms die höchsten Unterschiede in der Reaktionszeit hervorruft: Dies kann mit dem Phänomen des „Attentional Blink“ erklärt werden: Zwischen 200 und 600 ms nach Präsentation eines zentralen Reizes ist die Aufmerksamkeit mit dessen Verarbeitung beschäftigt. Somit können Reize, die kurz darauf ausgegeben werden, erst ab einem gewissen zeitlichen Versatz wahrgenommen werden, ohne Interferenz zu verursachen (Broadbent und Broadbent,1987). Nach Shapiro et al. (1994) resultiert dieser „Aufmerksamkeitsschatten“ aus der limitierten Kapazität unseres Kurzzeitgedächtnisses, parallel Informationen zu identifizieren und zu

konsolidieren: wenn der erste Reiz das Kurzzeitgedächtnis „besetzt“, kann ein zweiter zwar u.U. identifiziert, aber nicht weiterverarbeitet werden. Da seine Encodierung nur kurz erfolgte, ist dieser „Gedächtnisabdruck“ vulnerabel und interferenzanfällig. Der zweite Reiz (rote Kammerleuchte) kann bei interferenzverursachenden Experimentalevents in mehr als 50% aller Fälle identifiziert werden (siehe Kap. 3.3.2.1). Die Engpässe in der Informationsverarbeitung erfolgen also auf einer späteren Prozessstufe, nämlich der zentralen Verarbeitung. Das ist konsistent mit Erkenntnissen von Chun und Potter (1995): diese spätere ressourcenlimitierte Verarbeitungsstufe der semantischen Enkodierung erfolgt seriell und ist somit auf einen Reiz festgelegt. Dies deckt sich mit Wickens Theorie der multiplen Ressourcen: Vor allem bei zeitnahen Reizen, die dieselbe Modalität oder dieselbe Verarbeitungsstufe (Identifikation, Integration, Entscheidung und Antwort) betreffen, kommt es zu Engpässen in der Informationsverarbeitung, weil hier dem Menschen nur begrenzte Kapazitäten zur Verfügung stehen. Kommen zwei Ausgaben mit einem zeitlichen Abstand von 0 Sekunden, so gibt es also geringere Interferenzen als bei einem zeitlichen Abstand von 0,5 Sekunden. Das ist damit zu erklären, dass im ersten Fall eine Chance von 50% besteht, dass der Fahrer zum Zeitpunkt der parallelen Ausgaben die Aufmerksamkeit bereits auf den relevanten Reiz gerichtet hat.

Diese Interferenz ist in gleichem Maße vorhanden, wenn zu der optisch-akustischen KW eine rein optische Statusmeldung ausgegeben wird. An dieser Stelle sollte jedoch beachtet werden, dass die Lichtverhältnisse im Simulator die Wahrnehmung von optischen Ausgaben im Kombiinstrument begünstigen: Der Raum ist insgesamt sehr dunkel, sodass die besonders kontrastreichen Symbole die Aufmerksamkeit u.U. stärker auf sich ziehen als im Realfahrzeug bei normalen Lichtverhältnissen. Ferner ist die Helligkeit der Kammerleuchten in dem hier verwendeten frei programmierbaren Display stärker als in einem herkömmlichen Serienkombiinstrument.

Auch haptische Rückmeldungen können, unabhängig davon, ob sie kurz vor oder zeitgleich zu einer KW erscheinen, Interferenz verursachen. Somit erfordern Ausgaben dieser Art, obwohl als direkt, schnell und intuitiv

beantwortbar bekannt, ebenfalls Aufmerksamkeits-Ressourcen zur Verarbeitung. Insbesondere ungerichtete haptische Meldungen wie eine Vibration am Lenkrad haben eine lediglich aufmerksamkeitssteigernde Signalwirkung und müssen somit auf der regelbasierten Ebene bearbeitet werden. Im Gegensatz dazu können gerichtete haptische Ausgaben, bedingt durch ihren höheren Informationsgehalt, intuitiv auf der fertigkeitbasierten Ebene gelöst werden (vgl. Rasmussen, Kap. 2.1.1.1). Daher kommt es bei der zeitnahen Ausgabe von ungerichteten haptischen und optisch-akustischen Ausgaben zu Interferenz, da mehr Ressourcen für die Verarbeitung von Signalen auf der regelbasierten (wie eine Lenkradvibration) als auf der fertigkeitbasierten Ebene (wie ein Gegenlenkmoment) nötig sind. Hypothese H2 konnte somit nur teilweise bestätigt werden: Zeitnahe Ausgaben unterschiedlicher Modalitäten verursachen keine Interferenz, sofern mindestens eine der Rückmeldungen gerichtet ist, d.h. einen konkreten Handlungsvorschlag liefert. Hypothese 2 a wurde widerlegt, da haptisch ungerichtete Ausgaben, anders als haptisch gerichtete, Engpässe in der Informationsverarbeitung und somit Interferenz verursachen. Da der zeitliche Abstand diese Effekte nicht beeinflusste, konnte Hypothese 2 b validiert werden. D.h. nicht der Ausgabezeitpunkt einer Meldung, sondern ihre Ausprägung (gerichtet oder ungerichtet) beeinflusst den Informationsverarbeitungsprozess.

Diese objektiven Daten werden von den Ergebnissen des Wahrnehmungs-Paradigmas untermauert: Bei Ausgaben, die Interferenz in der Informationsverarbeitung verursachen (TLC+KW, CC+KW), ist die Aufmerksamkeit häufig auf das Kombiinstrument gerichtet und nicht bei dem Verkehrsgeschehen auf der Strasse; die CC bzw. TLC Ausgabe wird von den Probanden als maximale, aber dennoch unspezifische Aufmerksamkeitslenkung verstanden: Die Probanden versuchen den Reiz zu interpretieren und einer Gefahrensituation zuzuordnen. Da die Bremsereignisse in der Simulatorstudie insgesamt als eher unkritisch im Vergleich zum Realfahrzeug eingeschätzt werden, überprüfen die Probanden den Reiz im Kombiinstrument.

Die Ereignisse, bei denen der Proband instruiert wurde, ein Fremdfahrzeug zu überholen, wurden als am meisten beanspruchend eingestuft. Obwohl in diesen

Situationen (SWW und KW) keine Interferenz verursacht wurde, waren sie dennoch aufgrund der Instruktion und Dynamik relativ komplex. Insgesamt schöpften jedoch die Probanden die logarithmische Skala von 0 bis 150 nicht aus. Das bestätigt die Annahme, dass die Bremsereignisse in der Fahrsimulation als nicht sehr beanspruchend wahrgenommen wurden. Im Realfahrzeug erhöhen sich diese Werte (vgl. Kapitel 4.3.2.2).

Hypothese H 3 konnte bestätigt werden: Die verzögerte Ausgabe von rein optischen Bedienrückmeldungen wird von den Probanden als zu spät empfunden. Dies führt zu einer erhöhten Anzahl von Fehlbetätigungen und damit zu Diskomfort. Daraus ergibt sich als Gestaltungsregel, dass Bedienrückmeldungen immer unmittelbar auf die Eingabe hin erfolgen, also sofort ausgegeben werden müssen. Dazu kann es notwendig sein, Statusmeldungen einer niedrigeren Prioritätsklasse für einige Sekunden zu verzögern, da es sonst zu Konflikten am Anzeigeort kommen kann.

### **3.5 Ausblick**

Dieses Experiment diente dazu, die anfangs gestellten Hypothesen in der Fahrsimulation zu überprüfen. Somit sollte nachgewiesen werden, dass die Anwendung Wickens' Theorie der multiplen Ressourcen im Fahrsimulator grundsätzlich möglich ist. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass dies nur mit Einschränkungen möglich ist: Probanden bremsen signifikant langsamer bei ungerichteten zeitnahen und parallelen Ausgaben in identischen (KW und CC) oder unterschiedlichen (KW und TLC) Modalitäten im Vergleich zu einer alleinigen Ausgabe (nur KW). War eine der Ausgaben haptisch gerichtet (SWW), so gab es keine signifikanten Unterschiede in der Bremsreaktion. Zeitnahe und parallele Reize können also durchaus wahrgenommen und verarbeitet werden, sofern sie unterschiedliche Modalitäten betreffen und mindestens eine dieser Ausgaben haptisch gerichteter Art ist.

Als nächstes soll eruiert werden, ob Wickens Modell zur Informationsverarbeitung auch im Realfahrzeug Anwendung findet. Die oben genannten Effekte sollen also in realistischeren Fahrsituationen validiert

werden. Daher ist der nächste Schritt, ein Experiment im Realfahrzeug zu konzipieren: Hier kann der Fahrer die komplette ihm zur Verfügung stehende Information nutzen (z.B. optisch und kinästhetisch). Diese zusätzlichen Informationen könnten eine Erweiterung der oben validierten Hypothesen notwendig machen. Es bleibt zu überprüfen, ob eine modifizierte gerichtete Ausgabe, wie z.B. die Kombination aus gerichteter und ungerichteter haptischer Rückmeldung, in demselben Maße zu Interferenz führt wie eine ungerichtete haptische Ausgabe.

Die Wahrscheinlichkeit für Bremsereignisse war in der Simulatorstudie sehr hoch (13 Events in 60 Min.). Das kann den Fahrer für derartige Ereignisse sensibilisieren und somit die Reaktionszeiten verfälschen. Um realen Verkehrsszenarien näher zu kommen, sollten im nächsten Experiment die Bremsmanöver mit KW deutlich seltener erscheinen. Daher konzentriert sich das Experiment im Realfahrzeug darauf, Interferenz zwischen haptisch gerichteten und/oder ungerichteten Ausgaben mit verschiedenen zeitlichen Abständen zu einer KW zu untersuchen. Die Priorisierung von derartigen Rückmeldungen ist sehr anspruchsvoll, da FAS betroffen sind, die eine zeitkritische Reaktion erfordern. Die Ergebnisse der nächsten Studie sind essentiell für den Priorisierungsalgorithmus des Warn- und Informationsmanagers.

## **4 Feldstudie**

Im Anschluss an das oben beschriebene Experiment wurde eine Studie im Realfahrzeug durchgeführt. Hierbei liegt die Besonderheit in der Beschaffenheit des Versuchsträgers: Zum ersten Mal wurden alle Ausgaben der bis zum Jahre 2007 in der Vor- und Serienentwicklung vorhandenen FAS in einem Fahrzeug realisiert (Details zum Versuchsträger in Kap. 4.2.2). Dabei konnte die Auswirkung der diversen optischen, akustischen und haptischen Rückmeldungen in verschiedenen Fahrszenarien auf einer Teststrecke erprobt werden.

### **4.1 Einleitung**

Um Engpässe in der Informationsverarbeitung aufzuzeigen, ist es essentiell, auch im Realfahrzeug interferenzverursachende Ausgaben zu identifizieren und deren Eigenschaften zu abstrahieren, also die Validität Wickens Theorie im Realfahrzeug nachzuweisen.

Ähnlich wie im Simulatorexperiment werden in dieser Studie die Auswirkungen zeitnaher und paralleler Ausgaben auf die Reaktionsfähigkeit des Fahrers in zeitkritischen Fahrsituationen erforscht. Da das Umfeld im Simulator künstlich und somit für die meisten Versuchspersonen sehr ungewohnt ist, können Simulatorergebnisse nicht direkt auf die Realität übertragen werden (Blaauw, 1982). Ferner wurden in der Simulatorstudie nicht alle Fragestellungen beantwortet. Um Reaktionen hervorzurufen, die denen in realen Verkehrssituationen entsprechen, ist es wichtig, die Warnausgaben auf eine möglichst niedrige Anzahl zu beschränken. Somit wurden Interferenzen zwischen optischen und optisch-akustischen Ausgaben in diesem Experiment nicht explizit untersucht. Die Erkenntnisse der Simulatorstudie genügen, um die Priorisierung für diese Art von Rückmeldungen zu rechtfertigen.

Als theoretische Grundlage dient weiterhin Wickens Modell der multiplen Ressourcen, jedoch erweitert durch die im Simulatorexperiment gewonnenen Erkenntnisse: Zeitnahe und parallele Reize können durchaus wahrgenommen



und adäquat verarbeitet werden, sofern sie unterschiedliche Modalitäten betreffen und mindestens eine dieser Ausgaben haptisch gerichteter Art ist.

Ziel der Untersuchung ist es, diese Annahme im Realfahrzeug zu replizieren und noch offene Fragestellungen zur menschlichen Informationsverarbeitung beim Fahren zu verifizieren: Es bleibt zu klären, inwieweit Zeitabstände zwischen zeitnahen Ausgaben an den Fahrer die Interferenz beeinflussen können. Ferner soll untersucht werden, ob die Tatsache erhalten bleibt, dass bei gerichteten haptischen Ausgaben (Gegenlenkmoment) keine Interferenz gefunden wurde, wenn zusätzlich eine ungerichtete haptische Ausgabe (Vibration) mit dem Ziel der Aufmerksamkeitssteuerung ausgegeben wird.

## **4.2 Allgemeine methodische Aspekte**

### 4.2.1 Hypothesen








Basierend auf Wickens Modell und den im Simulator gewonnenen Erkenntnissen ergibt sich folgende Schlussfolgerung: Es kommt zu Interferenz in der Informationsverarbeitung, sobald zeitnahe Ausgaben bearbeitet werden müssen, es sei denn, eine der Ausgaben ist haptisch gerichteter Art. Dies gilt jedoch nur, wenn die gerichtete Rückmeldung eindeutig als solche wahrgenommen und zugeordnet werden kann (Schumann, 1994).

Daraus leiten sich für den Versuch im Realfahrzeug folgende Hypothesen ab (Übersicht in Tabelle 12):

→ Hypothese H1: Bei zeitnahen und parallelen Ausgaben von haptisch ungerichteten und optisch-akustischen Ausgaben (TLC und KW) kommt es auch im Realfahrzeug zu Engpässen in der Informationsverarbeitung.

→ Hypothese H2: Haptisch gerichtete Ausgaben, sogar in modifizierter Form wie in Kombination mit haptisch ungerichteten Ausgaben, führen, wenn parallel zu einer KW ausgegeben, nicht zu Interferenz (SWW und KW).

Tabelle 12: Übersicht der Hypothesen 1 und 2 (Anmerkung zum Zeitabstand: bei positiven Werten kommt die KW als zweite Ausgabe)

Ausgaben	Zeitabstand [s]	Hypothese
 + 	1 / 0	Interferenz (H1)
 + 	0	
 +  	0	keine Interferenz (H2)

#### 4.2.2 Testgelände

Das Experiment wurde auf dem Testgelände der Universität der Bundeswehr in Neubiberg durchgeführt. Eine schematische Übersicht des ehemaligen Flughafengeländes ist in Abbildung 24 zu sehen. Es besteht im Wesentlichen aus einer zwei Kilometer langen Geraden (Verlauf von Ost nach West), dem ehemaligen Taxiway („Flight“), unterteilt in eine zweispurige Strasse (Spurbreite ca. 4 m). Im Norden des Geländes befindet sich eine Kreisfläche (Radius ca. 50 m), die über vier Strassen (Breite jeweils ca. 10 m) mit der Flight verbunden ist. Eine davon stellt die Driving Ranch des im Osten gelegenen Golfplatzes dar und wurde während des Versuchs nicht befahren. Alle Kontroll- und Experimentalevents fanden auf der Geraden statt: So wurden ähnliche Gegebenheiten und damit vergleichbare Messwerte (Beschaffenheit der Fahrbahn etc.) sichergestellt. Lediglich der VDA-Spurwechseltest, der als Warm-Up diente, fand auf der in der Mitte gelegenen quadratischen Fläche statt (Abbildung 24).

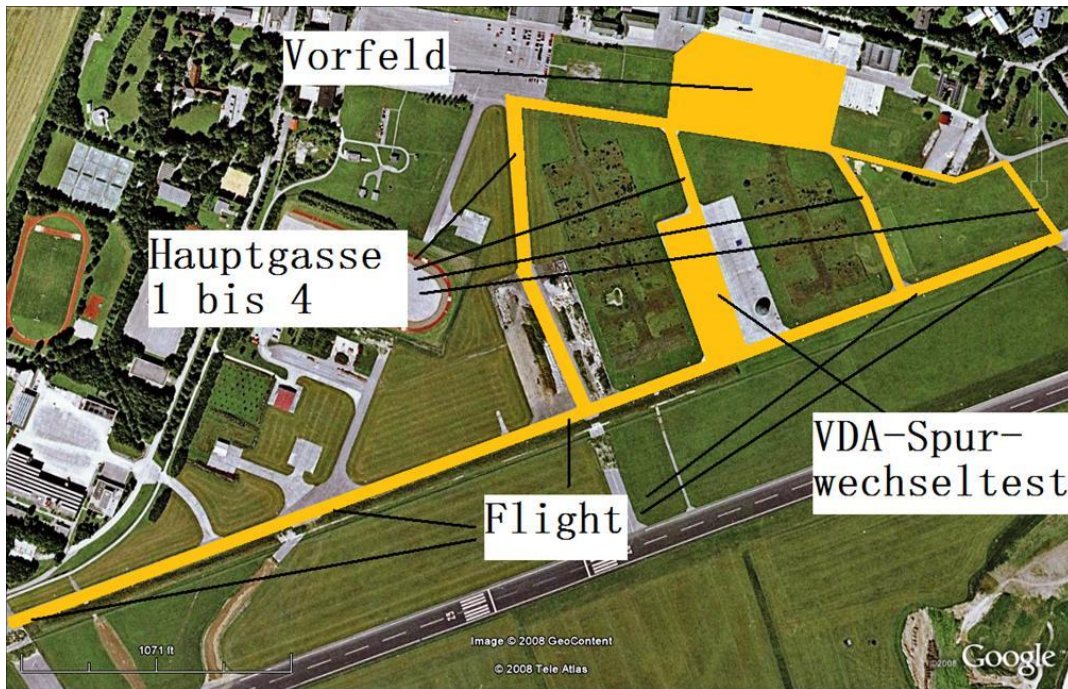


Abbildung 24: Satellitenbasierte Vogelperspektive der Teststrecke der Universität der Bundeswehr, Neubiberg

#### 4.2.3 Versuchsaufbau

Die Probanden fahren ca. 45 min auf dem Testgelände, wobei sie mit mehreren Systemausgaben konfrontiert wurden (Abbildung 26). Alle Warnausgaben ereigneten sich auf der zwei km langen Flight an fünf a priori festgelegten Stellen. Dabei handelte es sich um Kollisionswarnungen, die bei einer plötzlichen Bremsung des vorausfahrenden Fahrzeugs (= trainierte Fahrer, die den Fremdverkehr simulieren) ausgegeben wurden. In zwei dieser Bremsereignisse wurde zusätzlich zu der KW eine Spurwechselwarnung, in weiteren zwei Fällen eine Spurverlassenswarnung ausgegeben. Die alleinige Ausgabe der KW diente als Referenzmessung. Die TLC-Ausgabe in Form einer ungerichteten haptischen Rückmeldung (Lenkradvibration) kam einmal parallel und einmal eine Sekunde vor der KW. Dabei war die Strecke mit Pylonen verengt, um die Annäherung an den Fahrbahnrand und somit ein mögliches Spurverlassen zu plausibilisieren (Abbildung 25).

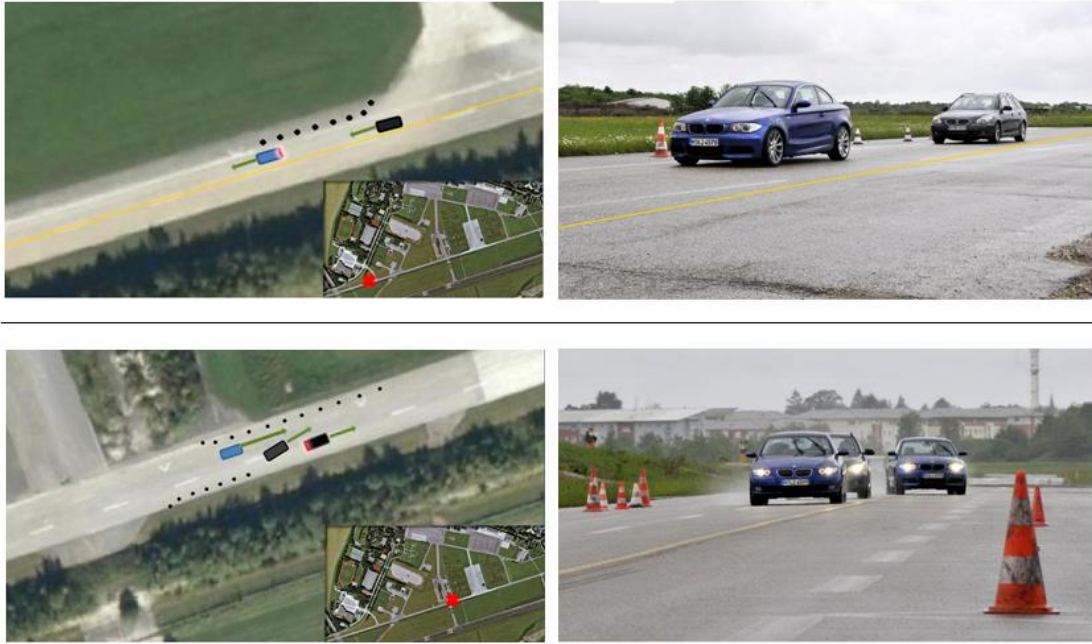


Abbildung 25: Schematische (links) und Realansicht (rechts) zweier Szenarien (oben: TLC und KW, unten: SWW und KW).

Ferner waren zwei der Bremsereignisse mit der Ausgabe durch die SWW kombiniert. Dabei warnte die SWW entweder durch ein Gegenlenkmoment, also haptisch gerichtet (Ausprägung A), oder durch ein Gegenlenkmoment zusammen mit einer Lenkradvibration, also modifiziert haptisch gerichtet (Ausprägung B) (Abbildung 26). Um die Fahrszenarien durch KW und SWW realistisch erscheinen zu lassen, wurden die Versuchspersonen an einer gewissen Stelle im Versuch gebeten, den Vordermann zu überholen. Sobald die Versuchsperson Ihre Überholabsicht durch Setzen des Blinkers ankündigte, schoss das hintere Fahrzeug in den toten Winkel und das vordere bremste scharf (Abbildung 25, unten). Somit konnten plausible Situationen für die Ausgabe geschaffen werden. Die Warnungen wurden per Knopfdruck vom Versuchsleiter ausgegeben (Wizard-of-Oz). Um kontrollierte Bedingungen in dem Experiment zu gewährleisten, wurde darauf geachtet, dass die VP die Instruktionen so genau wie möglich befolgte. Dabei war auf der Flight eine konstante Geschwindigkeit von 80 km/h einzuhalten, und zwar unabhängig davon, ob Fremdfahrzeuge vorausfahren oder folgten. In den Nebengassen und in der Kreisfläche galt es, eine Geschwindigkeit von 50 km/h nicht zu

überschreiten. Ferner sollten die Probanden, trotz Automatikgetriebe, manuell im dritten Gang fahren. Bei 80 km/h war darauf zu achten, eine Drehzahl von 3500 U/min einzuhalten. Diese relativ hochtourige Fahrweise sollte eine kontinuierliche Betätigung des Fahrpedals sicherstellen. Dies war wichtig, da nur Events ausgewertet werden konnten, bei denen die Fahrer zum Zeitpunkt der Rückmeldung das Fahrpedal betätigten. Außerdem wurden die Versuchspersonen instruiert, die gelbe Mittellinie auf der Flight nur im Falle expliziter Überholaufforderung zu überfahren. Bei Überhol- sowie Abbiegevorgängen war darauf zu achten, den Blinker zu setzen, um dem Fremdverkehr (hier den zwei Begleitfahrern) die Fahrabsicht zu signalisieren.

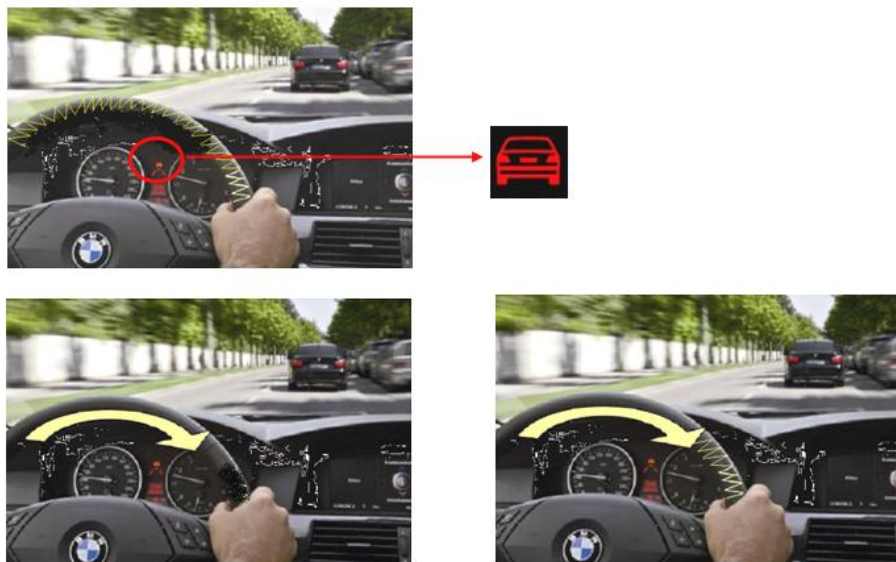


Abbildung 26: Ausgaben während des Versuchs (TLC + KW oben, SWW A + KW unten links, SWW B + KW unten rechts)

Um die Brems- und Spurwechselevents zu plausibilisieren, waren zwei weitere Fahrzeuge an dem Versuch beteiligt, die streckenweise vor oder hinter dem Versuchsträger fahren (Anhang C). Um vergleichbare Konditionen für jede Versuchsperson zu gewährleisten, war der genaue Ablaufplan in einem Drehbuch, das sich in mehrere Fahrscenarien gliederte, festgelegt (Anhang D). Dabei war es wichtig, dass die Begleitfahrer, die in einem zweiwöchigen Training für diesen Versuch geschult wurden, zu jedem Zeitpunkt des Versuchs ihre Rolle genauestens ausübten. Die Events, bei denen eine KW provoziert wurde, erforderten ein hohes Maß an Konzentration, da die Versuchsfahrer hier

sehr scharf, aber dennoch kurz bremsen sollten. Im direkten Anschluss an die Bremsung beschleunigten die Begleitfahrer ihr Fahrzeug stark, um eine drohende Kollision selbst bei Ausbleiben einer Reaktion seitens des Probanden zu verhindern.

Auch in diesem Versuch wurden die Probanden im Anschluss an das Bremsereignis gefragt, ob ihnen im Bereich der Anzeigen etwas aufgefallen sei und wenn ja, das Wahrgenommene zu beschreiben. Damit waren sowohl optische, akustische als auch haptische Ausgaben gemeint. Die Befragung diente dazu, die Wahrnehmung in einer Situation zu erfassen, die sich in der bewussten Verarbeitung von Reizen widerspiegelt. Ferner sollten die Versuchspersonen auf einer logarithmischen Skala zur Erfassung der mentalen Beanspruchung angeben, wie die jeweilige Situation erlebt wurde (Zijlstra & Van Doorn, 1985)

#### 4.2.4 Versuchsträger

Der BMW 520i Touring (Abbildung 27) wurde von der Abteilung „Entwicklung Gesamtfahrzeug – aktive Sicherheit“ aufgebaut und für den Zeitraum der Versuche zur Verfügung gestellt. Der Versuchsträger wurde um neue Komponenten aus der laufenden Entwicklung erweitert. Dies war besonders anspruchsvoll, da diese Komponenten der zukünftigen Serienentwicklung zum eigentlichen Versuchsfahrzeug nicht immer kompatibel waren. Das sogenannte „FAS-Car“ ist mit diversen Systemen ausgestattet: Einer frei programmierbaren Kombifläche, um unterschiedliche optische Ausgaben zu realisieren, und einer EPS-Lenkung mit Vibrationsmotor in der Lenkachse, um gerichtete und ungerichtete haptische Rückmeldung im Falle von Querführungsfehlern (SWW, TLC) auszugeben.



Abbildung 27: FAS-Car mit Meßtechnik für die WIM-Versuchsreihe

Ferner befand sich auf der Beifahrerseite eine Versuchsleiterschnittstelle, wodurch per Mausklick Ausgaben und zeitgleich dazu Datenaufzeichnungen getriggert werden konnten (Abbildung 28). Die GUI (Graphical User Interface) der VL-Schnittstelle wurde in der Programmiersprache JAVA realisiert. Ferner war der Versuchsträger mit einem Kamerasystem ausgerüstet. Diese Daten wurden jedoch nicht in die Auswertung mit einbezogen (Anhang C).

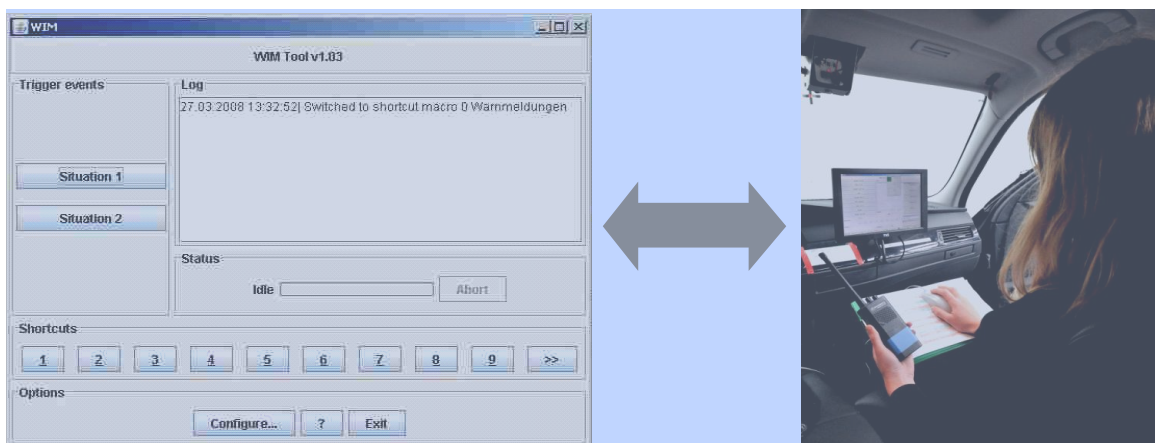


Abbildung 28: Oberfläche (links) und Bildschirm (rechts) der Versuchsleiterschnittstelle im FAS-Car

Folgende Systemausgaben konnten erstmals zusammen in einem Systemverbund erlebt werden:

- Spurverlassenswarnung (TLC): Hierzu werden während der Fahrt die Straßenmarkierungen von einer Kamera neben dem Innenspiegel erfasst. Durch die Informationen Geschwindigkeit, Fahrwinkel zur Markierung und Fahrzeugmaße wird durchgehend der Zeitpunkt der Überschreitung der Fahrbahnmarkierung berechnet. Wird ein bestimmter Schwellenwert überschritten, macht das Fahrzeug durch eine Lenkervibration auf die kritische Situation aufmerksam. Bei Spurwechsel mit gesetztem Blinker warnt das System nie, da hier von einer willentlichen Annäherung an den Seitenrand ausgegangen wird.
- Kollisionswarnung: Der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug wird durchgehend über ein eingebautes Radarmodul vermessen. Sobald das vorausfahrende Fahrzeug eine Bremsung vollzieht, das FAS-Car jedoch die Geschwindigkeit beibehält, warnt das System den Fahrer ab einer bestimmten Schwelle eine Bremsung einzuleiten.
- Spurwechselwarnung: Dieser Assistent hilft beim Spurwechsel, in dem er den toten Winkel mit einer Ultraschall-Kamera abtastet und ggf. durch ein leichtes Lenkmoment vor der drohenden Kollision bewahrt. Zur Aufmerksamkeitssteigerung kann dieses Gegenlenkmoment mit einer Vibration kombiniert werden. Ferner weisen in der Serienapplikation LEDs im Außenspiegel auf die Gefahr hin.

Obwohl der Algorithmus auf dem jeweiligen Steuergerät implementiert war, wurden alle Ausgaben durch Knopfdruck getriggert. Es handelt sich also auch hier um ein Wizard-of-Oz Experiment. Dies war wichtig, um zu gewährleisten, dass jedem Probanden an derselben Stelle eine identische Warnung präsentiert werden konnte.

#### 4.2.5 Stichprobe

Um Lerneffekte auszuschließen, wurden hier ausschließlich Probanden eingeladen, die zuvor nicht am Simulatorexperiment teilgenommen hatten. Alle 62 Versuchspersonen besaßen einen BMW-internen Führerschein („B1“) und



waren zum Zeitpunkt des Versuchs bei der BMW Group angestellt. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig und wurde nicht entlohnt. Auch hier kamen die Teilnehmer aus allen Bereichen der BMW Group (Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Marketing). Sieben Probanden waren weiblich. Das Durchschnittsalter betrug 30 Jahre, wobei das Alter zwischen 20 und 56 Jahren variierte (SD 6,7). Lediglich 4% der Probanden fuhren weniger als 5000 km pro Jahr (Abbildung 29).

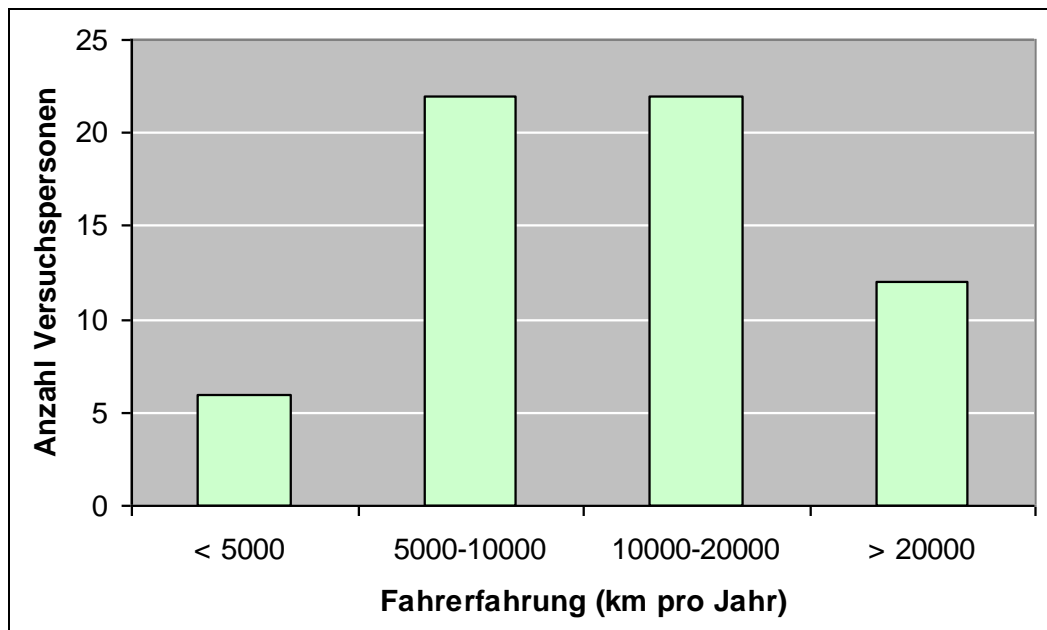


Abbildung 29: Fahrerfahrung der 62 Probanden in km pro Jahr

#### 4.2.6 Experimentelles Design und Ablauf

Das Versuchsdesign wurde mit abhängigen Stichproben geplant. Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, gab es zwei Experimentalgruppen, die an zwei unterschiedlichen Stellen des Versuchs starteten.

Zu Beginn füllte die Versuchsperson den demographischen Fragebogen aus (Anhang A). Anschließend erhielt jeder Proband eine Einführung im Versuchsträger, bei dem ihm die möglichen Systemausgaben und der grobe Ablauf des Experiments erklärt wurden. Im Anschluss daran konnte sich die VP mit dem Fahrzeugverhalten vertraut machen und Sitz, Lenkrad und Pedale individuell anpassen. In der Einführungsphase sollte der Proband einen VDA-Spurwechseltest mit 40 km/h durchfahren (Abbildung 30).

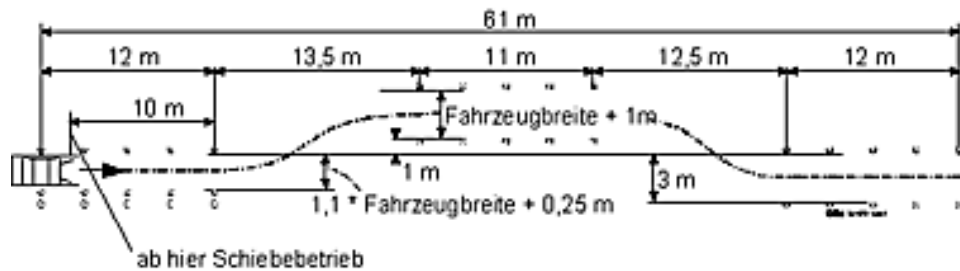


Abbildung 30: VDA-Spurwechseltest (Internationale Norm ISO 3888-2, 1997)

In der Experimentalsession wurde jede VP mit den fünf, bzw. im Falle einer Ersatzerhebung sechs Bremsereignissen konfrontiert. Somit konnten vier Experimentalbedingungen und eine Referenzmessung erhoben werden. Alle Bremsereignisse ereigneten sich auf der Flight. Die unabhängigen Variablen entsprechen den unterschiedlichen Systemrückmeldungen durch KW, SWW und TLC (für eine Übersicht siehe Tabelle 12). Dabei war die Versuchsperson instruiert, 80 km/h zu fahren und einen Abstand von 30 Metern zum Vordermann einzuhalten. Da der Abstand nur vom Versuchsleiter abgelesen werden konnte, instruierte er bei Bedarf den Probanden, den Abstand anzupassen. Nach der Hälfte des Versuchs wurde die Referenzmessung durchgeführt, mit der a posteriori die Experimentalbedingungen verglichen werden konnten. Ferner gab es eine Reihe an Füllevents, wie Eingaben an der MM-Schnittstelle oder Kreisfahrten, um die Erwartungshaltung der Probanden gegenüber Bremsereignissen zu minimieren (für eine Übersicht siehe Anhang F).

#### 4.2.7 Datenaufzeichnung und Auswertung

Alle von der Meßelektronik aufgezeichneten Werte wurden auf einem Rechner im Kofferraum gespeichert. Der Versuchsleiter konnte durch Auslösen eines Triggers für einen Zeitraum von 60 s vor bis zu 3 s nach der Ausgabe alle relevanten Parameter speichern. Die Datenaufzeichnung erfolgte mit der BMW eigenen Analysesoftware CARMEN (Car Measurement Environment, Version 1,3). Diverse Sensor- und CAN-Bus Daten wurden auf einer Autobox zusammengeführt. Pro Bremsereignis wurde ein Datenfile erzeugt. Somit gab es am Ende für jede Versuchsperson fünf, im Falle einer Ersatzerhebung sechs Datensätze im XML-Format.

Folgende Signale wurden mit einer Abtastrate von 10 Hz aufgenommen:

v	Geschwindigkeit des Eigenfahrzeugs [m/s]
d	Abstand zum Vordermann [dm]
B_GP	Betätigung Fahrpedal [%]
S_B	Status Kontakt Bremspedal [binär: 0/1]
A_KW_T	Ausgabe KW Ton [binär: 0/1]
A_KW_KL	Ausgabe KW KL [binär: 0/1]
A_V	Ausgabe Lenkradvibration [binär: 0/1]
A_Widerstand	Ausgabe Widerstand Lenkrad [binär: 0/1]

Ausgehend von diesen Signalen wurde folgende abhängige Variable berechnet:

R_B	Reaktionszeit bis Betätigung des Bremspedals vom Startzeitpunkt der KW (Ho et al., 2007)
-----	--

Um von echten Bremsreaktionen ausgehen zu können, wurden nur VPn in die Auswertung miteinbezogen, die zum Zeitpunkt der KW ausschließlich das Gaspedal betätigten und als Reaktion auf eine KW das Bremspedal innerhalb von zwei Sekunden bedienten.

Zuerst wurden die Rohdaten mit dem SW-Paket Camo1 in CARMEN vorverarbeitet, d.h. gefiltert und konvertiert. Überflüssige Nachrichten, die für den Versuch nicht relevant waren, wurden aus der Trigger-Datei entfernt, womit die Datenmenge wesentlich reduziert werden konnte und ein schnelleres Weiterverarbeiten ermöglichte. Mit Hilfe der Bordnetzdatenbank konnte der jeweilige Identifier für die relevanten Signale wie Informationen zu Systemausgaben bzw. Gas- und Bremspedalbetätigung identifiziert werden. Anschließend wurden die gefilterten Dateien in ein von Matlab lesbares Format umgewandelt. Die Zusammenfassung der mit Matlab ermittelten Ergebnisse wurde in eine Excel Datei exportiert (für eine detaillierte Übersicht siehe Anhang E). Ausreißer, also Reaktionszeiten weit über 2 s, wurden nicht in die Analyse einbezogen. Ferner wurden nur Datensätze mit vergleichbarer Kritikalität der Situation oder TTC (Time to Collision) betrachtet, um die Varianz zwischen den

Events gering zu halten: Hierbei durfte die Eigengeschwindigkeit nicht mehr als zehn km/h von der Idealgeschwindigkeit von 80 km/h abweichen und der Abstand zum Vordermann nicht mehr als zehn Meter vom Idealabstand von 30 Metern.

Aufgrund von technischen Problemen konnten nicht alle Datensätze der 62 Probanden ausgewertet werden. So fiel auf Grund der hohen Temperaturen häufig die Audiobox aus. Dies hatte zur Folge, dass keine Warntöne zu hören waren. Ferner konnte der Abstand zum Vordermann nicht immer ermittelt werden. Die Messungen, in denen diese Größe fehlte, konnten nicht in die Auswertung einbezogen werden. Weitere Datensätze gingen verloren, da sich ca. ein Drittel der Probanden dagegen entschied, bei zeitgleicher KW und SWW zu bremsen. Stattdessen setzten sie ihre Überholabsicht offensiv durch, indem sie das Gegenlenkmoment der SWW übersteuerten und mit Vollgas an dem Vordermann vorbei auf die gegenüberliegende Fahrspur auswichen. Somit konnte bei nur sechs der 62 Versuchspersonen für jedes der fünf Bremserevents ein komplett auswertbarer Datensatz erhoben werden. Als Folge dessen musste auf die ursprünglich geplante Auswertung mit abhängigen Stichproben verzichtet und ein Vergleich mit unabhängigen Stichproben angestellt werden. In der einfaktoriellen ANOVA (Bortz und Döring, 2002) darf somit der Datensatz einer VP in nur einer der fünf Bedingungen verwendet werden. Die Stichprobengröße verringerte sich somit auf ca. dreizehn pro Ereignis. Post hoc wurde das Bonferroni Verfahren angewandt, um die Unterschiede genau interpretieren zu können.

Ferner wurden diverse subjektive Maße erhoben, um folgende abhängige Variablen darzustellen:

RSME-Score	subjektives Maß für ment. Beanspruchung
Wahrnehmung bei Anzeigen	Maß für Informationsverarbeitung

Subjektive numerische Daten wurden mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) und subjektive nominale Daten rein deskriptiv ausgewertet.

### 4.3 Ergebnisse

Um eine Aussage über die Interferenz, also die Auswirkung der Rückmeldungen auf die Bremsreaktionszeit und die Anzahl der wahrgenommenen Anzeigen machen zu können, wurden alle vier Experimentalevents mit der Referenzmessung verglichen.

#### 4.3.1 Objektives Maß

Als Leistungsmaß diente die Bremsreaktionszeit, also die Zeit bis zur ersten Bremsbetätigung nach Ausgabe einer KW. Diese Zeit benötigte der Fahrer nach Erscheinen der Ausgabe, um den Fuß vom Gaspedal auf die Bremse zu setzen.

##### 4.3.1.1 Bremsreaktionszeit

Die ANOVA ( $F = 6.088$ ,  $p = 0.000$ ) deckte einen signifikanten Effekt in Abhängigkeit von der Art der Anzeige auf. Der Post Hoc Bonferroni Test zeigte, dass die Probanden signifikant langsamer bremsten, wenn die TLC-Warnung eine Sekunde vor der KW ausgegeben wurde. In allen anderen Fällen gab es keine signifikanten Unterschiede in der Reaktionszeit (Abbildung 31): Bei paralleler Ausgabe der KW und der SWW, bzw. der KW und der TLC reagierten die Probanden ähnlich schnell wie bei einer alleinigen KW. Dies war unabhängig davon, ob die SWW haptisch gerichtet (Gegenlenkmoment) oder modifiziert haptisch gerichtet (Gegenlenkmoment und Lenkradvibration) ausgegeben wurde.

Die TTC für die verwendeten Datensätze unterschieden sich nicht signifikant. Somit war sichergestellt, dass die Kritikalität (Abstand zum Vordermann und Geschwindigkeit) aller Events vergleichbar war.

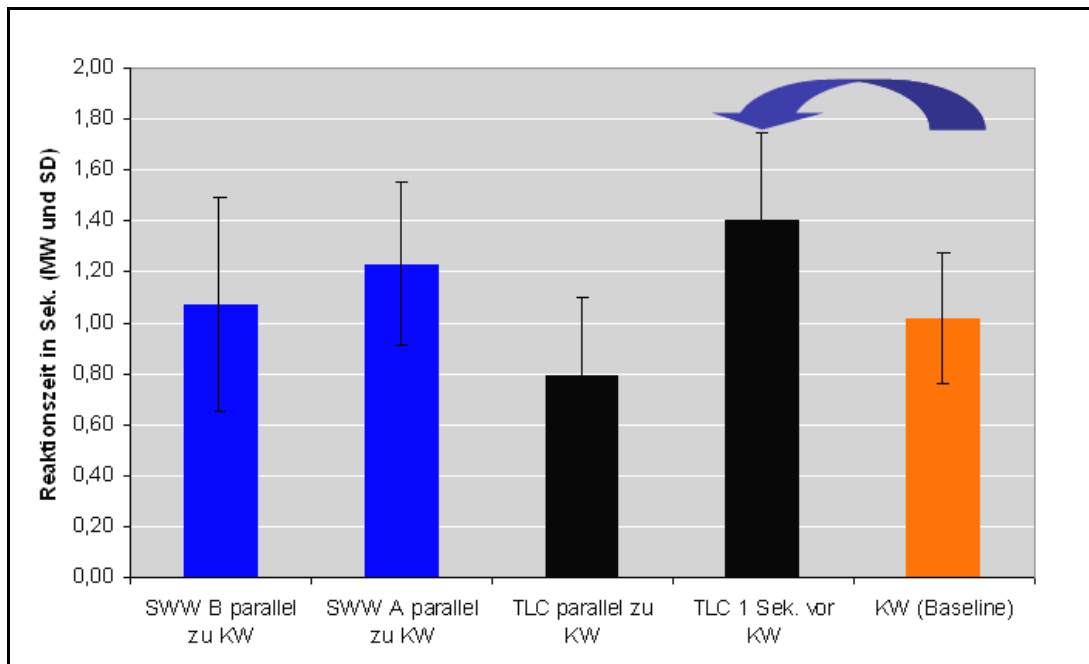


Abbildung 31: Übersicht der durchschnittlichen Reaktionszeiten in den fünf Bremsevents

Anders als in der Simulatorstudie bremsten die Probanden bei paralleler Ausgabe durch TLC und die KW nicht signifikant langsamer als bei einer alleinigen KW (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Übersicht der durchschnittlichen Reaktionszeiten (RT) und Standardabweichungen (SD) in den fünf kritischen Bremssituationen

Beschreibung Event	RT [s]	SD [s]	Post Hoc Bonferroni (Referenz: KW)	Vergleich Simulator
Kollisionswarnung (KW)	1.02	0.26		
TLC 1 Sek. vor KW	1.41	0.34	0.047	=
TLC parallel zu KW	0.79	0.31	n.s. (0.89)	≠
SWW A parallel zu KW	1.23	0.32	n.s. (1.0)	=
SWW B parallel zu KW	1.07	0.42	n.s. (1.0)	

### 4.3.2 Subjektives Maß

Zusätzlich zu den objektiven Daten wurden subjektive Daten erhoben, um eventuelle Abweichungen identifizieren und diskutieren zu können.

#### 4.3.2.1 SA-Paradigma

Auch hier werden akustische und haptische Rückmeldungen grundsätzlich bei allen Ereignissen wahrgenommen und somit nicht separat in der Auswertung betrachtet. Die Analyse der wahrgenommenen Anzeigen bezieht sich rein auf die optische Ausgabe der KW (Tabelle 14):

Tabelle 14: Anzahl wahrgenommener KW-Anzeigen je nach Ereignis in Prozent

KW	KW (Baseline)	SWW A parallel zu KW	SWW B parallel zu KW	TLC parallel zu KW	TLC 1 s vor KW
nichts wahrgenommen	69%	50%	50%	54%	16%
etwas wahrgenommen	15,5%	8%	8%	23%	42%
rote KL wahrgenommen	15,5%	42%	42%	23%	42%
	100%	100%	100%	100%	100%

Wurde die KW mit einem zeitlich wahrnehmbaren Versatz zur TLC-Warnung ausgegeben, nahmen die Probanden in mehr als 80% der Fälle die KL im Kombi-Instrument wahr. Sie blickten also in der Mehrzahl der Events, in denen zuerst TLC und dann die KW ausgegeben wurde, auf die Instrumentenkombination. Bei allen anderen Ereignissen nahmen die Versuchspersonen in mehr als 50% der Fälle nichts in der Instrumentenkombination wahr. Aufgrund der teilweise sehr kleinen Stichproben wurde auf eine weitere statistische Auswertung verzichtet. Wie in der Simulatorstudie führten also interferenzverursachende Ausgaben zu einer erhöhten Wahrnehmung von optischen Anzeigen in der Instrumenten-Kombination.

#### 4.3.2.2 RSME-Score

Die ANOVA ( $F = 8.701$ ,  $p = 0.000$ ) deckte einen signifikanten Effekt der Bremssituation auf. So zeigte der Post-Hoc Bonferroni Test, dass die

Versuchspersonen signifikant höhere Beanspruchungsscores angaben, wenn SWW und KW parallel ausgegeben wurden ( $p = 0.038$ ). Allerdings beschränkte sich dieser Effekt auf die zeitgleiche Ausgabe von SWW A und KW. Das kann dadurch erklärt werden, dass dies das erste Ereignis war, in dem die Versuchsperson aufgefordert wurde, zu überholen und kurz darauf zwei Warnausgaben erhielt. Diese Situation ist also sowohl vom Versuchsablauf als auch von den Rückmeldungen sehr anspruchsvoll. In allen anderen Bremsereignissen gab es keine signifikanten Unterschiede in subjektiv wahrgenommener Belastung (Abbildung 32).

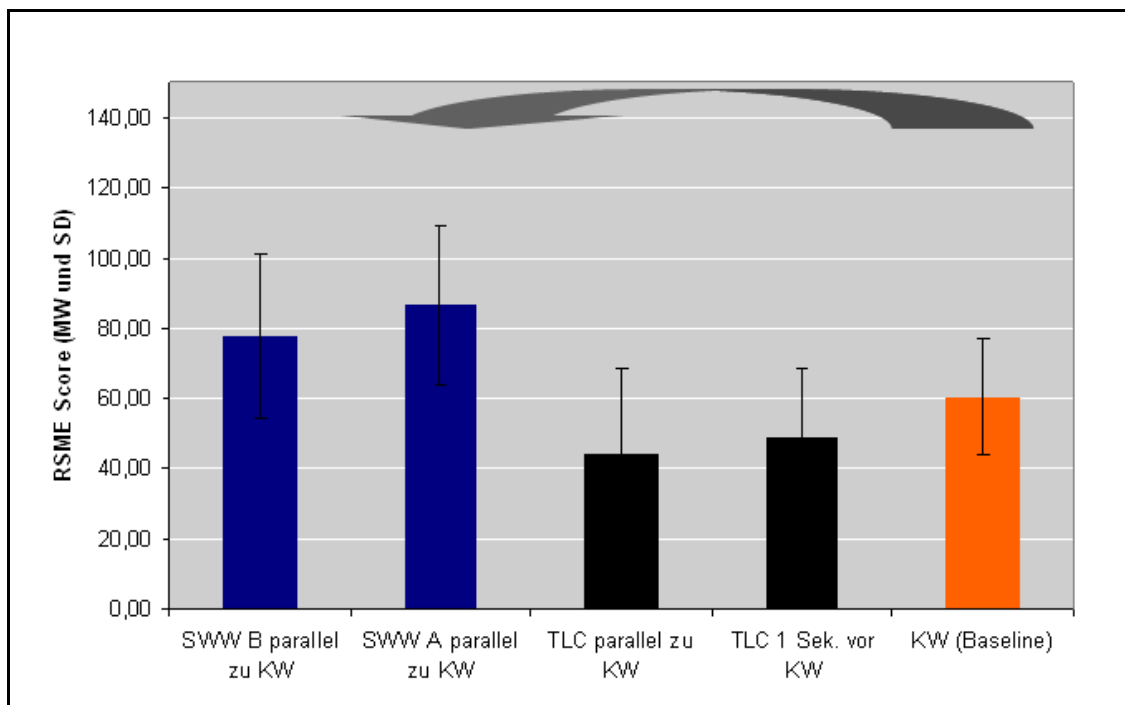


Abbildung 32: Übersicht der durchschnittlichen RSME Scores je nach Bremsereignis (MW und SD)

Die Standardabweichungen waren über alle Ereignisse hinweg relativ homogen. Auch hier schöpften die Probanden die logarithmisch aufgebaute Skala von 0 bis 150 nicht aus. Insgesamt lagen die Scores etwas unterhalb derer des Simulatorversuchs.

#### 4.3.3 Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die im Simulatorversuch überprüfte Theorie von Wickens: Der Mensch kann durchaus parallel ausgegebene



Informationen adäquat verarbeiten, sofern unterschiedliche Modalitäten und Stufen betroffen sind. Interferenz, in Form von langsamerer Bremsreaktionszeit, konnte lediglich bei zeitlich wahrnehmbar versetzten Ausgaben nachgewiesen werden.

Anders als in der Simulatorstudie bremsten die Probanden im Realfahrzeug bei paralleler Ausgabe durch TLC und KW nicht signifikant langsamer als bei einer alleinigen KW. Setzte die Lenkradvibration des TLC jedoch schon eine Sekunde vor der KW ein, konnte - wie in der Fahrsimulation - Interferenz nachgewiesen werden, die sich in Form von langsamerer Bremsleistung manifestierte. Somit konnte die Hypothese H1 nur teilweise bestätigt werden: Bei zeitnahen, nicht aber, wie ursprünglich angenommen, bei parallelen Ausgaben kommt es im Realfahrzeug zu Engpässen in der Informationsverarbeitung. Die zeitversetzte Rückmeldung setzt einen Informationsverarbeitungsprozess in Gang: Die Fahrer beginnen mit der Informationsverarbeitungsschleife für die Interpretation der Vibration „was ist das, was soll ich tun?“. Daraufhin kommt der neue Reiz, ausgegeben durch die KW. Nun muss die bereits begonnene Schleife verlassen und ein neuer Informationsverarbeitungsprozess begonnen werden. Das kostet kognitive Ressourcen und somit Zeit (Broadbent & Broadbent, 1987). Die Unterschiede zum Simulator lassen sich damit erklären, dass die Vibration im Realfahrzeug eine unspezifische Aufmerksamkeitslenkung bewirkt, also nicht direkt mit einer neuen Rückmeldung durch ein FAS der Querführung in Verbindung gebracht wird. Im Simulator hingegen wird die Vibration als eigenständiges Signal für das TLC eindeutig wahrgenommen. Konsistent mit der Simulatorstudie ist das Ergebnis, dass eine gerichtete haptische Rückmeldung (SWW Variante A) keine Interferenz verursacht. Der Widerstand am Lenkrad soll die Kollision mit dem Fahrzeug im toten Winkel verhindern. Dieser Reiz benötigt weniger Ressourcen zur Bearbeitung: Er erleichtert die Prozessstufen der Handlungsauswahl („in welche Richtung muss ich lenken?“) und der Handlungseinleitung („zurück auf meine Spur lenken“), indem er einen direkten Handlungsvorschlag liefert (Rasmussen, 1986). Dieser Effekt bleibt erhalten, wenn zusätzlich zu einer gerichteten haptischen Ausgabe (Gegenlenkmoment) eine ungerichtete haptische Ausgabe (Vibration) ausgegeben wird. Somit konnte die Hypothese H2 bestätigt werden: Haptisch

gerichtete Ausgaben, sogar in modifizierter Form wie in Kombination mit haptisch ungerichteten Ausgaben, führen, wenn parallel zu einer KW ausgegeben, nicht zu Interferenz. D.h. die ungerichtete haptische Ausgabe hat weder eine verstärkende noch eine schädliche Wirkung.

Eine Vibration zeitgleich zu einer KW, und zwar unabhängig davon, ob es sich um eine ungerichtete haptische Rückmeldung des TLC oder des SSW handelte, verursachte keine Interferenz: Hier war die Reaktionszeit genauso schnell wie in der Referenzmessung. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Lenkradvibration als ein eindeutiges Signal zur Aufmerksamkeitssteuerung verstanden wird. Da die Aufmerksamkeit in diesen höchst kritischen Situationen jedoch schon auf den relevanten Bereich, nämlich den Streckenabschnitt unmittelbar vor dem Ego-Fahrzeug, gerichtet ist, zeigt diese haptische ungerichtete Ausgabe keinen zusätzlichen Effekt, sondern wird einfach ausgeblendet. Generell ist die externe Validität im Realfahrzeug gegenüber dem Simulator, in dem häufig nach einfachen Reiz-Reaktionsmustern gehandelt wird, erhöht (Fuhr, 2003). Ungerichtete haptische Rückmeldungen sind also keineswegs ablenkend, sofern sie zeitgleich zu der zeitkritischen Meldung ausgegeben werden. Sie können jedoch Sicherheitseinbußen in Form von langsamerer Reaktionszeit verursachen, wenn sie mit einem wahrnehmbaren zeitlichen Versatz zu einer zweiten Rückmeldung ausgegeben werden.

Diese objektiven Daten werden von den Resultaten des SA-Paradigmas untermauert: Bei interferenzverursachenden Ausgaben blickten die Probanden in ca. 84% der Fälle auf das Kombi-Instrument: Sobald das Lenkrad vibriert, wird mit der Informationsverarbeitung für diesen Reiz begonnen. Da dieser Reiz unspezifisch Aufmerksamkeit erregt und nicht eindeutig einer Systemausgabe zugeordnet werden kann, schauen viele Versuchspersonen auf der Suche nach zusätzlichen Informationen auf das Kombi-Instrument. Hier handelt es sich um einen Reiz, der mit Hilfe von kognitiven Ressourcen auf der regelbasierten bzw. wissensbasierten Ebene bearbeitet werden muss (Rasmussen, 1986). Wird nun eine Sekunde nach der Vibration die KW ausgegeben, muss dieser erste Informationsverarbeitungsprozess unterbrochen und ein neuer gestartet werden. Das Verlagern von Aufmerksamkeit kostet kognitive Ressourcen und

somit Zeit (Posner, 1980). Dieser Effekt könnte jedoch verloren gehen, wenn die Probanden längere Zeit mit dem TLC-System interagieren, somit die Ausgaben kennen und nicht jedes Mal von neuem interpretieren müssen.

Wie in der Simulatorstudie wurden auch im Realfahrzeug die Situationen, bei denen ein Fahrzeug überholt werden musste, als am meisten beanspruchend eingestuft. Obwohl bei diesen Ereignissen keine Interferenz in der Informationsverarbeitung verursacht wurde, wurden sie dennoch aufgrund der Instruktion und Dynamik als eher komplex empfunden. Bei paralleler SWW und KW entschied sich ca. ein Fünftel der Probanden für einen offensiven Überholeingriff, statt zu bremsen. Eben diese Versuchspersonen gaben an, die SWW als sehr störend zu empfinden, wohingegen die restlichen Versuchspersonen die gerichtete haptische Ausgabe als richtungsweisende intuitive Hilfe akzeptierten. In Zukunft sollten Ausgaben durch Fahrerassistenzsysteme mit zusätzlichen Informationen kontextsensitiv bewertet werden. Dabei können Unterschiede, bedingt durch individuelle Leistungsschwankungen und Erwartungen, abgefangen werden (Färber, 1987). Nur durch zusätzliche Informationen zum Fahrkontext können Ablenkung und Überforderung des Fahrers vermieden werden.

#### 4.3.4 Ausblick

Die Studie im Realfahrzeug konnte die Ergebnisse der Simulatorstudie nur teilweise validieren: Lediglich bei Ausgabe einer ungerichteten haptischen Rückmeldung eine Sekunde vor der Kollisionswarnung bremsen die Fahrer signifikant langsamer. Somit ergibt sich Priorisierungsbedarf, wie bereits im Simulatorversuch konstatiert, für Rückmeldungen, die kurz vor einer zeitkritischen FAS-Meldung ausgegeben werden. Dies rechtfertigt die Verwendung eines Prädiktors: Wenn die Wahrscheinlichkeit, dass in den nächsten Sekunden eine KW erscheint, einen bestimmten Schwellwert übersteigt, werden Ausgaben durch TLC und Statusmeldungen unterdrückt und ggf. zu einem späteren Zeitpunkt wieder präsentiert. Diese Priorisierung ist für genau zeitgleich ausgegebene Meldungen nicht notwendig, da hier keine Interferenz nachgewiesen wurde. Allerdings müssten zusätzliche Informationen für die Plausibilisierung der Prädiktion herangezogen werden. So kann es z.B. passieren, dass TLC trotz Ausbleiben einer KW unterdrückt wird.

Schlimmstenfalls hätte die Fahrsituation jedoch eine Spurverlassenswarnung erfordert, um einen Schaden zu vermeiden.

Die in Kap. 2.1. vorgestellten Modelle zur menschlichen Informationsverarbeitung konnten im Kontext der Fahraufgabe abgeprüft und wo nötig angepasst werden. Die Notwendigkeit für die Informationspriorisierung von zeitnahen Informationen wurde aufgezeigt. Interferenzverursachende Meldungen bzw. Zeitabstände konnten identifiziert werden. Basierend auf diesen Erkenntnissen wird im nächsten Kapitel eine Priorisierungsmatrix abgeleitet. Diese stellt den statischen Teil des WIM-Konzepts dar. Ferner fließen die Erkenntnisse implizit in die Entwicklung von Kontextmodulen mit ein: Diese steuern situationsadaptiv, also dynamisch, die Ausgabe von Meldungen an den Fahrer.

## **5 Konzeptentwicklung- und Bewertung**

In Kapitel 3 und 4 wurde die Anwendbarkeit von Wickens Modell zur menschlichen Informationsverarbeitung im Kontext der Fahrsimulation bzw. im Realfahrzeug überprüft. Somit konnte gezeigt werden, welche zeitnahen Ausgaben zu einem Informationsstau in der Verarbeitung führen. Daraus wurde der Priorisierungsbedarf für WIM abgeleitet. Es sollen jedoch nicht nur die Ergebnisse aus den beiden Versuchen in der Funktionsweise des WIM-Algorithmus Anwendung finden, sondern eine Reihe weiterer Gestaltungspunkte beachtet werden. Daher sollen in diesem Kapitel zuerst die Anforderungen an das WIM definiert und daraus bestimmte Ziele abgeleitet werden, die es in dem Konzept umzusetzen gilt. Im zweiten Teil des Kapitels wird die Funktionsweise, also die Realisierung der Ziele beschrieben. Ferner wird hier ein Überblick über bisherige Arbeiten gegeben. Zusammenfassend agiert das WIM wie ein Prioritätenmanager, der für jede Ausgabe je nach Kontext den bestmöglichen Zeitpunkt festlegt.

### **5.1 Anforderungen**

Wie in Kap. 2.3 beschrieben, gibt es derzeit eine Vielzahl an Priorisierungsansätzen. Allerdings erfüllen diese Systeme nicht alle an ein WIM gestellte Kriterien zu einer optimalen Informationskoordination: Funktionsweise und Aufbau lassen Raum für Optimierungen. Idealerweise sollte das WIM ganzheitlich, kontextadaptiv, konsistent und optimal an die menschlichen Kapazitäten angepasst agieren und modular gestaltet sein. Im Folgenden wird beschrieben, wie jede dieser Anforderungen in dem Konzept Beachtung finden kann:

#### **Vollständigkeit**

Viele Forschungsinstitute oder OEMs priorisieren Ausgaben lediglich innerhalb der jeweiligen Informationsklasse (z.B. CC untereinander) oder ausschließlich über zwei Informationsklassen hinweg (Muigg, 2008). Der hier dargestellte Ansatz beachtet alle möglichen Ausgaben an der MM-Schnittstelle, also sowohl fahr- als auch nichtfahrrelevanter Art.

## **Konsistenz**

Um alle möglichen Meldungskombinationen priorisieren zu können, ist es zunächst wichtig, die Ausgaben anhand der in der Müller-Lermer Matrix definierten Kriterien „Zeitbudget“ und „Schadensausmaß“ zu bewerten (Definition eingeführt in Kapitel 2.2.4). So kann eine intuitive, transparente und vor allem konsistente Einordnung und somit Priorisierung, auch für neue Systeme, gewährleistet werden (siehe Kap. 5.2.1).

## **Ressourcenadaptivität**

Der WIM-Ansatz bezieht die zuvor gewonnenen Erkenntnisse zur Ressourcenknappheit im Kontext der Informationsverarbeitung mit ein. Im Bezug auf Meldungen durch FAS, die eine zeitkritische Reaktion des Fahrers erfordern und daher meist sicherheitskritisch sind, gelten daher folgende Anforderungen:

- Ungerichtete Meldungen unterschiedlicher Modalitäten, die mit einem zeitlich wahrnehmbaren Versatz ausgegeben werden, werden im WIM priorisiert. Somit können Sicherheitseinbußen durch eine Überlastung des Fahrers vermieden werden.
- Ist mindestens eine der Ausgaben haptisch gerichtet oder aber erscheinen sie gleichzeitig, dann besteht keine Notwendigkeit für eine Priorisierung (vergleiche Kapitel 4.3.3).
- Bei Ausgaben, die keine zeitkritische Reaktion erfordern, wie z.B. durch FIS und Statusmeldungen, priorisiert das WIM, um Komforteinbußen abzuwenden (siehe Kap. 5.2.1).

## **Kontextadaptivität**

Das WIM bezieht Informationen zur Fahrsituation, zum Fahrzeugzustand und zum Fahrerzustand mit ein. So kann eine dynamische, situationsadaptive Informationskoordination gewährleistet werden (vgl. Kap. 5.2.2). Dadurch ist es möglich, Warnschwellen je nach Situation anzupassen:

- Meldungen, die keine zeitkritische Reaktion erfordern, werden z.B. bei erkannter Ablenkung des Fahrers verzögert, wohingegen Warnschwellen

von Ausgaben, auf die der Fahrer unmittelbar reagieren sollte, verringert werden.

- Ferner sind in den Kontextmodulen Informationen enthalten, die eine Bestimmung der mentalen Belastung des Fahrers ermöglichen (vgl. hierzu Fahrerleistungsschätzer, Kap. 5.2.2.1).

### **Modularität**

Um das Konzept rasch an zukünftige Entwicklungen, wie z.B. neue Fahrerassistenzsysteme oder Car-to-Car- bzw. Car-to-Infrastructure-Interaktion, anpassen zu können, ist ein partitionierbarer Aufbau von Vorteil: Somit ist das Konzept modular erweiterbar. Dies ermöglicht eine gestaffelte Umsetzung des WIM im Serienfahrzeug.

### **Unaufdringlichkeit**

Um das WIM serientauglich auszulegen, muss seine Funktionsweise auch ohne das Nachrüsten teurer und/oder aufwändiger Zusatzkomponenten möglich sein. So würde beispielsweise ein Fahrer eine wiederholte Kalibrierung z.B. eines Blickerfassungssystems nicht tolerieren. Die Module, die Informationen zum Fahrerzustand und zur Fahrsituation einholen, sollten also bereits in rudimentärer Form im Fahrzeug vorhanden sein und im Hintergrund agieren, um Zusatzkosten und Diskomfort zu vermeiden.

## **5.2 Funktionsweise**

Bei der Beschreibung der Funktionsweise des WIM wird zunächst auf den statischen, situationsunabhängigen Teil des Algorithmus eingegangen. Anhand einiger Beispiele wird die Funktionsweise dargestellt (Kap. 5.2.1). Basierend darauf wird die dynamische, kontextsensitive Meldungskoordination des WIM beschrieben (Kap. 5.2.2). Zuerst werden Erkenntnisse aus verwandten Arbeiten vorgestellt und anschließend im Detail das vollständig ausgearbeitete Kontextmodul zur Fahrerleistungsschätzung erläutert. Der in dieser Arbeit definierte Algorithmus wurde in einer Patentanmeldung geschützt (Lermer, 2008). Da der Schwerpunkt der Arbeit auf der Festlegung der statischen Priorisierung lag, wurden die Kontextmodule Fahrsituation und

Fahrzeugzustand nur rudimentär, das Modul zur Fahrerleistungsschätzung jedoch ausführlich befüllt.

### 5.2.1 Koordination zeitnaher Ausgaben: Priorisierungsmatrix

Alle möglichen Ausgaben werden in einer Matrix einander gegenübergestellt. Diese Matrix stellt den statischen, d.h. situationsunabhängigen Teil des WIM bei zeitnahen Ausgaben dar. Dabei wird die Priorität einer Ausgabe, basierend auf den in Kap. 2.2.4 erarbeiteten Kriterien „Schadensausmaß“ und „Zeitbudget“ und den in Kapitel 3 und 4 abgesicherten Funktionsweisen der Informationsverarbeitung, beim Fahren festgelegt. Die Matrix definiert die Priorisierung aller FAS, FIS und CC-Meldungen untereinander sowie zwischen FAS, FIS und CC-Meldungen. Aus Geheimhaltungsgründen muss auf eine detaillierte Beschreibung der Priorisierungsmatrix verzichtet werden. Um jedoch die Logik nachvollziehen zu können, sind nachfolgend einige Beispiele beschrieben. Die Funktionsweise des WIM wurde in einer Matlab Simulink Simulation (Vers. 2006b) umgesetzt. Für eine Übersicht des Simulationsaufbaus siehe Anhang P.

#### **Priorisierung zwischen FAS-Meldungen**

Die Meldungskoordination zwischen FAS-Meldungen ist relativ komplex: Hierbei handelt es sich meist um Anzeigen, auf die der Fahrer unmittelbar reagieren muss, um einen drohenden Schaden abzuwenden. Basierend auf Expertengesprächen und den Erkenntnissen aus den Fahrversuchen wurde die Meldungskoordination folgendermaßen festgelegt: Gleichzeitige Ausgaben durch Fahrerassistenzsysteme müssen nicht priorisiert werden, da hier keine Interferenz in der Informationsverarbeitung nachgewiesen wurde (weder für TLC noch für die SWW). Allerdings legt die Matrix eine Koordination von zeitnahen Ausgaben mit unspezifischer Aufmerksamkeitslenkung fest, also wenn TLC mit einem zeitlich wahrnehmbaren Versatz vor der KW erscheint. Um diesen Konflikt zu vermeiden, wird der Vorwarnalgorithmus der KW verwendet: Übersteigt die Fahrsituation eine bestimmte Kritikalität, ist also die Wahrscheinlichkeit für eine Kollision sehr hoch, wird die Ausgabe des TLC unterdrückt. Wie in Kap. 4 beschrieben, ist keine Priorisierung notwendig, wenn der Fahrer eine SWW mit einem zeitlich wahrnehmbaren Versatz erhält, da



diese gerichtete haptische Rückmeldung eine klare Signalwirkung hat und somit keine Interferenz verursacht. Erscheint jedoch die ACC Übernahmeaufforderung zeitgleich mit TLC, wird die Ausgabe der Übernahmeaufforderung unterdrückt. Steigt die Kritikalität der Fahrsituation weiter an, kann der Fahrer immer noch durch eine KW gewarnt werden. Dieser Priorisierungsansatz ist jedoch nur für ein TLC System sinnvoll, das sehr zuverlässig und valide ohne Fehlwarnungen (= Warnungen, die fälschlicherweise auf Grund von falscher Situationseinschätzung erscheinen; sogenannte „Falsch-Positive“) warnt.

### **Priorisierung zwischen FIS-Meldungen**

Im Bezug auf Anzeigen durch FIS sieht die Matrix folgende Priorisierung vor: Erhält der Fahrer einen akustischen und optischen Navigations-Vorhinweis, z.B. „in 300 m rechts Abbiegen“, und zeitnah eine akustische Verkehrsmeldung (Verkehrsfunk). Z.B. „A9 bei Eching in Richtung Nürnberg gesperrt“, wird der akustische Part der Navigationsansage unterdrückt. Der Fahrer erhält somit die Verkehrsmeldung und kann bei Bedarf die Navigation optisch in der Instrumenten-Kombination überprüfen.

### **Priorisierung zwischen CC-Meldungen**

Den Kern der Matrix stellt die Meldungskoordination innerhalb der Statusmeldungen dar: Hierbei wird ein neues Konzept für die Klassifikation von CC-Meldungen erarbeitet. Die Klassen erhalten eindeutige Anzeigen (d.h. Farben und Töne), sodass sie vom Fahrer intuitiv richtig interpretiert werden und eine fahrsituationsangepasste Reaktion hervorrufen.

### **Priorisierung von FAS, FIS und CC gegeneinander**

Ein weiterer Bestandteil der Matrix sieht vor, Anzeigen durch CC und FIS für die Dauer von Anzeigen durch FAS zu verzögern. Ferner wird dem Fahrer eine Refraktionszeit von bis zu zwei Sekunden zugestanden. Das bedeutet, dass bis zwei Sekunden nach Beendigung der FAS-Anzeige keine CC-/FIS-Meldungen ausgegeben werden. So wird beispielsweise durch die Priorisierungsmatrix definiert, dass die Anzeige einer KW immer Vorrang gegenüber der Anzeige von Fahrerinformationssystemen bzw. Check Control Meldungen hat. Um das Zusammentreffen von CC und KW zu vermeiden, wird im Falle einer KW

zunächst die CC-Meldung unterdrückt und nach dem Ende der Kollisionssituation zusätzlich bis ca. zwei Sekunden abgewartet, bis die CC ausgegeben wird. Ferner ermittelt ein Prädiktor online, also während der Fahrt, die Wahrscheinlichkeit für eine Kollision. Wird ein bestimmter Schwellwert überschritten, besteht also ein hohes Risiko für eine Kollision und damit eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass in den nächsten Millisekunden eine KW erscheint, so werden pauschal keine Statusmeldungen angezeigt. Dadurch können Konflikte bei zeitnahen Ausgaben vermieden werden.

### 5.2.2 Kontextadaptive Warnschwellenmodifikation: Kontextmodule

Um eine situationsangepasste, also dynamische Koordination von Anzeigen im Fahrzeug zu verwirklichen, kann auf diverse Kontextinformationen zugegriffen werden. Diese werden, wie in dem Fahrer-Fahrzeug-Umwelt Modell (Kap. 2, Seite 21) beschrieben, in drei Hauptgruppen zusammengefasst:

- Informationen zum Fahrzeugzustand,
- Informationen zur Fahrsituation und
- Informationen zum Fahrer selbst.

Unterschiedlichste Parameter können in den Kontextmodulen (= situationsangepasste Meldungskoordination basierend auf Daten zu Fahrzeug, Fahrer und Fahrsituation) ausgewertet werden und entweder für eine Validierung bzw. Anpassung von Warnschwellen, wie im Falle von WIM, oder aber für die Darstellung einer Kundenfunktion (z.B. Müdigkeitswarner, Aufmerksamkeitsassistent) verwendet werden (Übersicht der möglichen Parameter in Tabelle 15).

Tabelle 15: Datenerfassung zur Definition der Kontextmodule

<b>Fahrzeugzustand</b>	<b>Fahrsituation</b>	<b>Fahrerzustand</b>
Sensordaten der Fahrdynamikregelsysteme (z.B. ABS, DSC)	Daten der Umfeldsensorik (z.B. Regensensor, Lichtsensor)	Daten zur Betätigung von Elementen der primären Fahraufgabe (z.B. Fahrpedal, Lenkrad)
	Daten zur Strassenführung und -beschaffenheit (z.B. aus der Navigation)	Daten zur Betätigung von Nebenaufgaben (z.B. Entertainment, Kommunikation)
		Blickerfassungsdaten (z.B. Monokamera, Eye Tracking)

Jede Anzeige wird von den Kontextmodulen überprüft, bevor sie ausgegeben wird. Sind alle Module „inaktiv“, wird die Meldung ohne Unterbrechung weitergeleitet. Ist jedoch die Fahrsituation komplex, der Fahrzeugzustand im Grenzbereich oder der Fahrer abgelenkt, also ein oder mehrere Module „aktiv“, werden die Warnschwellen von dringenden FAS-Meldungen vorgezogen und die anderen Ausgaben solange zurückgestellt, bis alle Module wieder „frei“ sind.

Im Folgenden wird beschrieben, welche Daten die Grundlage zur Befüllung der Module bilden können und wie sie umgesetzt sind.

### **Fahrzeugzustand**

Bereits seit den 80er Jahren wird versucht, ein intelligentes Fahrzeug zu konzipieren, indem man Informationen wie z.B. Lenkradwinkel, Geschwindigkeit, Längs- und Querschleunigung des Fahrzeugs gesammelt in Bezug zueinander betrachtet (Green, 2004). Auch autonome Regelsysteme - wie beispielsweise DSC – können dazu beitragen, den Fahrer situationsadaptiv zu unterstützen: Sie kalkulieren die Notwendigkeit für einen Eingriff basierend auf fahrdynamischen Daten. Dabei ist von Vorteil, dass die oben genannten Informationen in jedem Fahrzeug auf dem CAN-Bus vorhanden und somit leicht auszuwerten sind.

Durch Bestimmung des Fahrzeugzustands kann definiert werden, ob sich das Fahrzeug in einer stabilen Lage oder in einem Grenzbereich befindet, z.B. kurz vor Verlassen der Fahrbahn. Diese Information findet in der kontextsensitiven

Informationskoordination Anwendung: Das WIM-Kontextmodul „Fahrzeugzustand“ verzögert Fahrerinformationssysteme und Statusmeldungen, die keine schnelle Reaktion erfordern, sobald mindestens ein Fahrdynamikregelsystem aktiv ist. So wird beispielsweise während eines Regeleingriffs durch das dynamische Stabilitätsprogramm (DSC) eine niedrig priorisierte Statusmeldung (z.B. Tankdeckel offen) anders priorisiert als ohne diesen Eingriff. Hier wird davon ausgegangen, dass sich der Fahrer bereits in einer relativ kritischen Fahrsituation befindet und seine Ressourcen zu Bearbeitung der Fahraufgabe benötigt. Daher werden unwichtigere Informationen (in diesem Fall die Statusmeldung) zurückgestellt, um eine schnelle akkurate Reaktion zu ermöglichen und eine Überforderung des Fahrers zu vermeiden.

### **Fahrsituation**

Die Fahrsituation ist ein wichtiges Indiz für die Fahrerbeanspruchung. Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, steigt mit zunehmender Komplexität der Fahraufgabe auch die mentale Beanspruchung. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, Fahrsituationen zu klassifizieren. Zum einen können im Fahrzeug vorhandene Daten, wie die von den Regelsystemen ausgewerteten CAN-Bus-Daten (siehe oben) oder Sensordaten, die ebenfalls auf dem CAN-Bus zur Verfügung stehen (z.B. Regensensor, Lichtsensor, ACC-Sensor), zum anderen externe Daten wie straßenbauliche Streckenmerkmale verwendet werden. Eine Kombination dieser Informationen lässt eine besonders valide Fahrsituationsbewertung zu (Green, 2004). Färber 2003 kombiniert Umwelt-Sensorikdaten (Regen, Nacht) und CAN-Bus-Daten (Lenkradwinkel, Geschwindigkeit), um die Ausgaben an den Fahrer zu koordinieren. Volvo erkennt beanspruchende Fahrsituationen wie Überhol- und Abbiegemanöver anhand von Daten wie Geschwindigkeit und Lenkradwinkel und liefert so einen Input für das IDIS. Die Einstufung der Fahrsituation erfolgte bei Nagel & Schreckenberg (1992) auf Basis einer präzisen Analyse der in Teilschritte zerlegten Fahraufgabe. Dabei unterscheidet er 14 Manöver mit unterschiedlichen Anforderungen an den Fahrer: „Stop und stehen“, „Start und folgen“, „einer Spur folgen“, „auf ein Hindernis zufahren“, „vor einem Hindernis zum Stehen kommen“, „ein Hindernis umfahren“, „nach einem Fahrzeug anfahren“, „einem Fahrzeug folgen“, „Überholen“,

„Kreuzungssituation“, „Spurwechsel“, „Abbiegen“, „Parken“ und „Annäherung an eine Kreuzung“. Fastenmeier & Gstalter (2007) schlagen eine ähnliche Klassifikation vor, je nach Zusammensetzung der Fahraufgabe: Grob werden hierbei Längsführungs-, Querführungs- und andere Fahraufgaben je nach Zusammensetzung der Haupt- und Nebenaufgaben unterschieden: Es werden die Anzahl und die Art der einzelnen Schritte, die Komplexität der jeweiligen Aufgabe und das damit verbundene Risiko bestimmt.

Diese a priori festgelegte Einteilung wird für eine Prädiktion von Fahrerbeanspruchung verwendet, die umso valider ist, je mehr sie mit zusätzlichen Informationen zum Fahrerzustand, z.B. Nebentätigkeiten des Fahrers, untermauert wird (siehe nächsten Absatz): Totzke (2001) konnte z.B. nachweisen, dass besonders bei kurvigen Strecken eine manuelle Bedienung und optische Informationspräsentation zu verschlechterter Fahrleistung führt.

In dem hier erarbeiteten Konzept wird die Fahrsituation basierend auf folgenden Informationen klassifiziert: Kurvenradien (aus den Navigationsdaten), Tageslicht und Witterung (aus Licht- und Regensensor). Diese werden verwendet um Informationen situationsadaptiv zu koordinieren: Fährt der Fahrer bei Nacht und schlechtem Wetter (z.B. Regensensor aktiv), werden die Ausgaben von FAS vorgezogen. Befindet er sich zusätzlich dazu in einer schwierigen Fahrsituation (z.B. in einer scharfen Kurve), werden Meldungen durch CC und FIS, die keine dringende Reaktion erfordern, verzögert, bis sich die Fahrsituation wieder normalisiert hat.

### **Fahrerzustand**

Alle Informationen zur Fahrzeugzustands- und Fahrsituationsbewertung können indirekt in die Beurteilung des Fahrerzustands miteinfließen. Schiessl et al. (2006) zeigten in einer Studie, dass unterschiedliche Fahrmanöver signifikante Unterschiede im subjektiven Stresslevel bewirken. Ferner wirken sich situationsbezogene Faktoren wie Überholabsicht oder Strassencharakteristika auf das empfundene Stresslevel aus.

Primär kann jedoch die Fahrerbeanspruchung sehr direkt aus der Fahrer-Fahrzeug Interaktion (z.B. fahr- und nichtfahrrelevante Bedienhandlungen) sowie aus diversen physiologischen Meßgrößen (z.B. Blickbewegung, Puls)

abgeleitet werden. DaimlerChrysler meldete dazu bereits 1999 ein Patent an (DE 19801009 C1): dabei wird der Fahrerzustand durch Körperreaktionen, Lidschlag, Pupillendurchmesser, elektrische Hautleitfähigkeit, Blutdruck, Puls, Gesichtsausdruck und Muskelkontraktion erfasst, um anschließend die Notwendigkeit für eine autonome Notbremsung zu plausibilisieren. Helmert et al. (2008) sprechen vom „gläsernen Fahrer“, dessen Reaktionsbereitschaft aufgrund von Puls, Muskelaktivität, Hirnströmen, elektrodermalen Aktivität und Blickbewegung erfasst werden kann.

Büker (2007) stellte den Prototyp eines Aufmerksamkeits-Assistenten vor, der besonders gefährliche Situationen bei Sekundenschlaf des Fahrers identifiziert. Der kamerabasierte Ansatz detektiert dazu den Lidschlag des Auges mittels einer frontal im Lenkradbereich platzierten Kamera, erfasst damit unter anderem die Lidschlagfrequenz und die Lidschlagdauer und weckt den Fahrer im Falle des Einschlafens. Darüber hinaus ist das System in der Lage, die Kopfposition und die Kopforientierung des Fahrers zu ermitteln und daraus abzuleiten, ob der Fahrer auf die Straße schaut oder ob er mit anderen Aktivitäten im Fahrzeug beschäftigt ist, ob er also aufmerksam oder abgelenkt ist. Allerdings ergibt sich bei den physiologischen Größen oft das Problem, dass teure Systeme zur Erfassung nachgerüstet werden müssen (z.B. Kameras), die aufwendig auf den jeweiligen Fahrer zu kalibrieren sind. Dagegen haben Fahrzeugdaten den Vorteil, dass sie ohne Zusatzkosten auf dem Bus verfügbar sind. Volvo entwickelte das System „Driver Alert“, das basierend auf Daten zur Spurhaltung die Fahreraufmerksamkeit einschätzt: Der Fahrer erhält den Hinweis „Pause machen“, wenn sich seine Spurhaltung verschlechtert.

Ferner können dadurch Ausgaben von FAS angepasst werden: Rataj (2007) zeigte, dass das Vorziehen der Warnschwelle, besonders bei Ablenkung des Fahrers durch Nebenaufgaben, negative Auswirkungen verringert (z.B. in Form von langsamerer Reaktionszeit). Außerdem wies er nach, dass das Unterdrücken von akustischen Warnungen bei uneingeschränkter Aufmerksamkeit des Fahrers die Aufdringlichkeit dieser Anzeigen senkte und damit die Akzeptanz erhöhte. Hoch (2008) kombiniert Gesichtsfeldererkennung mit Längs- und Quereschleunigungsdaten, um die Ausgabe von TLC zu

plausibilisieren. Dabei validiert er die Notwendigkeit für eine Warnung mit der Blickrichtung: Ist der Fahrer tatsächlich abgelenkt und benötigt somit die Warnung oder führt er lediglich einen Spurwechsel durch, ohne zu blinken (in diesem Fall detektiert der Gesichtsfelderkenner die Blickrichtung zu den relevanten Orten nach vorne und in den Seitenspiegel und geht von einem aufmerksamen Fahrer aus). Auch Nima (2005) verwendet die Fahrerzustandserkennung, basierend auf Pedalbetätigungen, um Ausgaben der KW zu validieren: Nähert sich der Fahrer dem Vorderfahrzeug bewusst schnell, um einen dynamischen Überholvorgang durchzuführen, so wird die KW unterdrückt. Dies ähnelt Vollraths (2006) Algorithmus: Warnungen werden an die Fahreraktivität angepasst. Ist diese hoch, also betätigt der Fahrer Brems- und Gaspedal aktiv und akkurat, so werden Meldungen unterdrückt, ansonsten verfrüht ausgegeben. Auch Lee et al. (2004) zieht, ausgehend von einem bestimmten Interaktionsprofil des Fahrers mit dem Fahrzeug, Rückschlüsse auf dessen Aufmerksamkeit, um zeitnahe Warnausgaben zu koordinieren: Die Anzahl an Falschwarnungen kann dadurch reduziert und folglich die Systemakzeptanz gesteigert werden. Der in dem EU-Projekt AIDE entwickelte Driver Ability Estimator (DAE) schätzt die Fahrerbeanspruchung basierend auf der aktuellen Fahrsituation, der Absicht des Fahrers, den durchgeführten Fahrmanövern und den Zwischenfällen beim Fahren ab (Bellet et al., 2007). Allerdings ist die online Prädiktion der Fahrerabsicht aus technischen und konzeptionellen Gründen relativ anspruchsvoll: Blaschke et al. konnten 2007 erstmals in einem Realversuch eine 93%ige Validität einer online Fahrmanöverprädiktion für die Vorgänge „Abbiegen“ und „Überholen“ nachweisen. In diesem Bereich sind weitere Forschungsarbeiten nötig, um ein serienreifes Konzept zu realisieren. Kern et al. (2007) verwenden die Fahrerleistungsschätzung basierend auf der aktuellen Fahrsituation, um die Zustellung von Telefonanrufen bei starker Fahrerbeanspruchung zu unterdrücken. So sollen z.B. Anrufe im dichten Stadtverkehr vom Auto abgewiesen werden, um die Konzentration des Fahrers nicht vom Verkehrsgeschehen abzulenken. Dieser Vorschlag wird häufig bei der Entwicklung von Workload Managern aufgegriffen (vgl hierzu Kap. 2.2.3, SANTOS).

In dem folgenden Kapitel zum Modul „Fahrerleistungsschätzer“ wird jedoch lediglich die Interaktion mit nichtfahrrelevanten Nebenaufgaben betrachtet, da dies eine einfach zu realisierende und kostengünstige Lösung darstellt, um den Fahrer situationsadaptiv zu unterstützen. In einer Patentanmeldung von VW (DE 10163967 A1) werden bereits diverse Möglichkeiten zur Bestimmung der Fahrerablenkung durch Interaktion mit Nebenaufgaben vorgeschlagen. Allerdings fehlt hier eine ganzheitliche Betrachtung möglicher Bedienhandlungen. Der hier erarbeitete Ansatz umfasst die Analyse aller Nebenaufgaben. Natürlich ist es denkbar, dieses Modul zukünftig mit Daten von Innenraumkamera und Fahrzeugsensoren (z.B. Lenkwinkelsensorik) zu ergänzen. Der Input aus der Fahrerleistungsschätzung wird im WIM verwendet, um Meldungen in unpassenden Situationen zu unterdrücken und Warnungen bei Ablenkung früher auszugeben.

#### *5.2.2.1 Fahrerleistungsschätzer (FLS)*

Idealerweise koordiniert der WIM den Ausgabezeitpunkt einer Meldung an den Fahrer in Abhängigkeit von dessen Beanspruchung. Um dies situationsadäquat steuern zu können, ist eine Fahrerbeanspruchungsschätzung unumgänglich. Generell können Rückschlüsse auf den Fahrerzustand wie oben beschrieben anhand verschiedener Kriterien gezogen werden: Anforderungen der Fahrsituation, Ablenkung durch Nebenaufgaben und Fahrerabsicht. In dieser Arbeit beschränkt sich die Fahrerleistungsschätzung auf die Interaktion mit nichtfahrrelevanten Nebenaufgaben, d.h. darauf, durch Bedieninteraktionen hervorgerufene Einschränkung der Fahrerleistung zu erkennen. Die Information über den Grad der Fahrerleistungsbeeinträchtigung soll dann von unterschiedlichen Fahrerassistenzsystemen genutzt werden können, um beispielsweise Warnschwellen entsprechend anzupassen. Das Kontextmodul „Fahrerleistungsschätzer“ wurde prototypisch spezifiziert und in einem Probandenversuch evaluiert. Die zu implementierende Funktion soll alle Bedienhandlungen des Fahrers erfassen, kategorisieren, auswerten und aus dem Zusammenspiel der Bedienaktionen den Grad der Fahrerleistungsbeeinträchtigung bestimmen und diesen an die anderen Fahrerassistenzsysteme weitergeben. Dabei handelt es sich um ein



mehrstufiges Modell, das je nach Beanspruchung des Fahrers den Zeitpunkt einer Ausgabe beeinflusst: Rückmeldungen, die eine zeitkritische Reaktion erfordern, werden vorgezogen (z.B. Warnschwelle einer Kollisionswarnung), wohingegen rein informative, nicht zeitkritische Ausgaben verzögert werden (z.B. Statusmeldungen des Fahrzeugs wie 3°-Warnung). Das Maß, um den Grad der Ablenkung des Fahrers zu bestimmen, ist also die Interaktion mit nicht fahraufgabenbezogenen Nebenaufgaben, wie z.B. Bedienung von Telefon und Radio. Die zeitliche Beeinflussung von Warnungen erfolgt zweistufig: Nebenaufgaben, von denen angenommen werden kann, dass sie ein hohes Maß an Aufmerksamkeit des Fahrers erfordern (z.B. Navigationszieleingabe, Listenbedienung), beeinflussen den Warnzeitpunkt stärker als Nebenaufgaben, die als weniger beanspruchend gelten (z.B. Einstellung am Klimabedienteil). Somit ist eine fahrerleistungsadaptive Ausgabe von Meldungen sichergestellt.

#### 5.2.2.1.1 Konzepterstellung

Nachfolgend werden die Erstellung, basierend auf der Analyse von Bediensequenzen, und die Funktionsweise des Algorithmus zur Fahrerleistungsschätzung beschrieben.

### **Fragestellung**

Das Konzept zur Fahrerleistungsschätzung basiert auf der Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Interaktionen mit nicht-fahrrelevanten Nebenaufgaben. Dabei wird die Nebenaufgabe je nach Dauer, Komplexität und Anzahl an Teilschritten als unterschiedlich beanspruchend eingestuft. Die Parameter für die Zuteilung stellen die minimale Dauer einer Bediensequenz ( $M$ ) und die maximal zulässige Unterbrechungszeit ( $U$ ) zwischen Teilbedienschritten dar. Die Einrichtung zur Erfassung des Aufmerksamkeitszustands schließt auf einen verringerten Aufmerksamkeitsgrad des Fahrers, wenn eine Gesamtzeitdauer einer Sequenz von mehreren auf die Bedienelemente bezogenen Bedienhandlungen eine Mindestzeitdauer ( $M$ ) überschreitet. Durch das Vorsehen einer Mindestzeitdauer, die überschritten sein muss, ehe von einer Beeinträchtigung der Fahrerleistung ausgegangen wird, werden einige wichtige Anwendungssituationen ausgeklammert, in welchen die Annahme eines verringerten Aufmerksamkeitsgrads ungerechtfertigt wäre. Hierzu gehören zum

einen versehentlich vorgenommene Bedienhandlungen und zum anderen zielstrebig vorgenommene Einzelbedienhandlungen. Die erstgenannten Bedienhandlungen nimmt der Fahrer meist gerade deshalb versehentlich vor, weil er sich vorrangig auf seine Fahraufgabe konzentriert. Im Falle der letztgenannten Bedienhandlungen ist die Zeitphase verringerter Fahreraufmerksamkeit in der Regel bereits mit der Vornahme der Bedienhandlung abgeschlossen. Jegliche Konsequenz hinsichtlich der Ausgabe von Warnungen durch das Warnsystem wäre in diesen Situationen für den Fahrer inakzeptabel. Als Mindestzeitdauer eignet sich beispielsweise eine Zeitspanne von 500 ms. Aufgrund der Bauweise der Bedienelemente in modernen Fahrzeugen und aufgrund der Natur der üblichen Interaktionsweisen mit solchen Bedienelementen erstreckt sich eine tatsächliche Bedienhandlung, beispielsweise das Drücken eines Druckknopfes oder das Drehen eines Drehstellers um eine Raststellung, meist nur über einen sehr kurzen Zeitraum. Gerätetechnisch sind solche Bedienhandlungen oft sogar nur als zeitdiskrete Ereignisse verschwindender Dauer detektierbar.

Um einer Sequenz von mehreren Bedienhandlungen dennoch eine Zeitdauer zuzuordnen, wird vorzugsweise die Gesamtzeitdauer einer Sequenz von mehreren Bedienhandlungen bestimmt als Dauer eines Bedienzeitraums, in welchem der Zeitabstand detektierbarer Bedienhandlungen eine maximale Unterbrechungszeitdauer ( $U$ ) nicht überschreitet. Die maximale Unterbrechungszeitdauer muss dafür kleiner als die Mindestzeitdauer festgelegt sein (z.B. 300 ms). Diese Herangehensweise vermag eine Sequenz von Einzelbedienhandlungen verschwindender oder zumindest sehr kurzer Dauer in ein zeitliches Kontinuum zu überführen. Einzelbedienhandlungen, die sich selbst über einen gewissen Zeitraum erstrecken, sind durch das Auswerten eines Zeitabstands dennoch problemlos und ohne Sondermaßnahmen in das einfache Konzept integrierbar. Die maximale Unterbrechungszeitdauer kann vorteilhaft für bestimmte Bedienhandlungen individuell festgelegt werden. Die obigen Überlegungen lassen sich weiterführen und vorteilhaft umsetzen, indem der Ansatz mehrstufig ausgeführt wird. Das heißt, die Einrichtung zur Erfassung des Aufmerksamkeitszustands schließt auf einen nur leicht verringerten Aufmerksamkeitsgrad des Fahrers, wenn eine Gesamtzeitdauer einer Sequenz

von mehreren Bedienhandlungen eine erste (kleinere) Mindestdauer überschreitet, jedoch unterhalb einer zweiten (größeren) Mindestzeitdauer liegt. Die Einrichtung zur Erfassung des Aufmerksamkeitszustands schließt auf einen stärker verringerten Aufmerksamkeitsgrad des Fahrers, wenn die Gesamtzeitdauer einer Sequenz von mehreren Bedienhandlungen schließlich auch die zweite Mindestzeitdauer überschreitet. Als erste Mindestzeitdauer eignet sich beispielsweise eine Zeitspanne von 500 ms, als zweite Mindestzeitdauer beispielsweise eine Zeitspanne von 2500 ms.

Je nach Einordnung des Ablenkungspotentials einer Bedienhandlung in eine der möglichen Klassen können die Parameter „Mindesteingabedauer“ und „maximale Unterbrechungszeit“ differieren. Um die Bedienhandlung zuzuordnen und einen realistischen Wert für die Mindesteingabedauer und die zulässige Unterbrechungszeit für eine Klasse von Bedienhandlungen festzulegen, werden vorerst eine Reihe von gängigen, nichtfahrrelevanten Bediensequenzen aufgezeichnet und analysiert. Dabei besagt die zentrale Hypothese, dass sich die Bediensequenzen, also Mindesteingabedauer und Unterbrechungszeit, für Eingaben über das zentrale Bedienelement von denen über das MFL (Multi-Funktions-Lenkrad) oder das Klimabedienteil unterscheiden (H1). Zudem werden unterschiedliche Bediensequenzen für Stadt- und Autobahnfahrten erwartet (H2).

### **Versuchsablauf**

Um Bediensequenzen nach Eingabedauer (M) und Unterbrechungszeit (U) klassifizieren zu können, wurden gängige, nichtfahrrelevante Fahrer-Fahrzeug-Interaktionen aufgezeichnet. Elf Versuchspersonen nahmen an einer einstündigen Testfahrt mit Stadt- und Autobahnabschnitten im Westen Münchens teil (Übersicht über die Versuchsstrecke in Anhang H). Dabei wurden die Probanden instruiert, diverse Usecases am Klimabedienteil, am MFL und am ZBE (Zentrales Bedienelement) sowohl in der Stadt als auch auf der Autobahn auszuführen (Instruktionen siehe Anhang I). Die Daten wurden auf einer AutoBox aufgezeichnet und anschließend mit den Programmen Carmen (Car Measurement Environment, Version 1.3) und Excel heuristisch ausgewertet.

Die Ergebnisse sind in Anhang J aufgeführt, gegliedert nach Stadt und Autobahn für den MFL- und den ZBE-Usecase. Zusammenfassend ist festzustellen, dass es insgesamt keine erheblichen Unterschiede in den Bedienzeiten und Unterbrechungszeiten zwischen Stadt und Autobahn gibt. Entgegen unserer Erwartung ist es also unerheblich, ob der Fahrer die Eingabe im Stadtbereich oder auf der Autobahn ausführt. Hypothese 2 muss somit abgelehnt werden. Allerdings konnte Hypothese 1 verifiziert werden: Die Bedien- und Unterbrechungszeiten zwischen MFL und ZBE unterscheiden sich deutlich voneinander. Daher sind separate Kategorien mit spezifischen Mindesteingabedauern und Unterbrechungszeiten gerechtfertigt. Generell sollte der Fahrer bei Bedienung des ZBE schneller in den Bereich „Fahrerleistung eingeschränkt“ geraten, da hier kognitiv beanspruchende Aufgaben durchgeführt werden. Auch Müller et al. (2007) bewerteten mit einer subjektiven Ratingskala bei Nebenaufgaben die Bedienkategorien „Navigation Zieleingabe“ und „Listenbedienung“ als anstrengender im Vergleich zu einfachen Klimabedienungen. Die genaue Anpassung der Parameter kann online an dem konfigurierbaren Prototypen vorgenommen werden.

## **Ergebnisse**

Die in dem Probandenversuch heuristisch ausgewerteten Daten stellten die Basis der Modellbildung dar: Dem derzeit verfügbaren, konfigurierbaren Prototypen liegen die im Versuch ermittelten Mindesteingabezeiten (M) und maximal zulässige Unterbrechungszeiten (U) zugrunde. Daraus ergeben sich vier Kategorien von Bedienhandlungen, die Warnschwellen zweistufig beeinflussen können (Konzeptübersicht siehe Abbildung 33). Alle Interaktionen, die einer Kategorie zugeordnet werden können, haben sehr ähnliche Mindesteingabezeiten (M) und Unterbrechungszeiten (U). Die Kategorie Bedienhandlung der Klasse 0 (= B0) beinhaltet alle fahraufgabenbezogenen Bedienungen wie Bremse, Gas, Blinker und Lenkrad. Die Interaktion mit diesen Elementen wird nicht zur Schätzung der Fahrerleistung (FL) verwendet. In der Kategorie B1 sind Eingaben über das Multi-Funktions-Lenkrad oder das Klimabedienteil anzuordnen. Je nachdem wie lange der Fahrer mit diesen Bedienelementen interagiert, wird von einer mehr oder weniger starken

Einschränkung der Fahrerleistung ausgegangen. Die in der Kategorie B2 klassifizierten Interaktionen führen in jedem Fall, unabhängig von der Bediendauer, zu einer Einschränkung der Fahrerleistung: Bei einem Telefonat oder einer Spracheingabe sind die kognitiven Anforderungen an den Fahrer erhöht (Fairclough et al., 1990). In der Klasse B3 befinden sich Interaktionen, die mit dem zentralen Bedienelement am Informationsdisplay durchgeführt werden. Auch hier wird je nach Dauer der Bedienung und Art des Interaktionsmenüs (z.B. Listennavigation, Zieleingabe) die Fahrerleistung mehr oder weniger stark beeinträchtigt. Lediglich die Gruppe B4 kann, unabhängig von Dauer und Art der Interaktion, die Fahrerleistung nur etwas einschränken: Bei einer Lautstärkenregelung wird, selbst bei längeren Anpassungen, von keiner erhöhten Beanspruchung ausgegangen. Das Feedback erfolgt hier akustisch und ist leicht verarbeitbar.

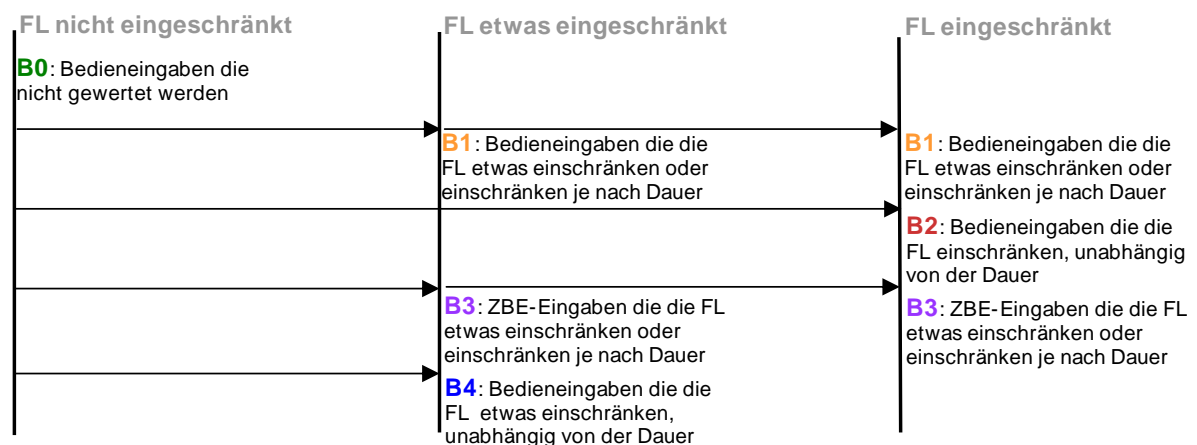


Abbildung 33: Schätzung der Fahrerleistung (FL) aufgrund der Interaktion mit Nebenaufgaben

Das erarbeitete Konzept wurde prototypisch in einem Fahrzeug mit Matlab Simulink implementiert: Über das Graphical User Interface eines Rechners kann das Konzept evaluiert und die Parameter M und U beliebig angepasst werden (Anhang G). Die Annahmen über die „etwas eingeschränkte“ oder „eingeschränkte“ Fahrerleistung können in der Parametrierung von Warnschwellen angewendet werden: Beispielsweise wird eine KW bei Fahrerablenkung durch ein Telefonat etwas früher ausgegeben als bei einer simplen Lautstärkenanpassung. Im Folgenden werden die Transparenz, also

die Wahrnehmbarkeit, und die Akzeptanz einer solchen Warnschwellenmodifikation untersucht.

#### 5.2.2.1.2 Konzeptakzeptanz

In einem Fahrversuch werden den Probanden unterschiedliche Warnschwellen des TLC Systems präsentiert. Somit sollen die Wahrnehmbarkeit und die Akzeptanz für eine Warnschwellenmodifikation, mit und ohne Nebenaufgaben, evaluiert werden.

#### **Fragestellung**

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob die Fahrer eine situationsadaptive Warnschwellenveränderung wahrnehmen und falls ja, ob sie diese akzeptieren. Wie anfangs beschrieben, korreliert Systemakzeptanz mit Transparenz. Das heißt, die Fahrer müssten verstehen, in welchen Fällen die Anpassung realisiert wird, sofern sie die vorgezogene Ausgabe bewusst als vorgezogen wahrnehmen. Anderenfalls wären die Systemausgaben schlecht vorhersehbar und würden somit auf Ablehnung stoßen. Trefflich (2008) untersuchte die Auswirkungen eines fahreradaptiven ACC Systems. Dabei nahmen 82% der Probanden die zeitlich je nach Fahrerzustand veränderten Ausgaben nicht wahr. Da die Warnschwellenmodifikationen in Trefflichs Versuch ca. 800 ms betragen, ist dies auch im Falle des Fahrerleistungsschätzers zu erwarten.

Um die Akzeptanz für derartige Eingriffe zu überprüfen, wurde ein Experiment im Realfahrzeug durchgeführt. Exemplarisch für zeitkritische Ausgaben durch FAS wurden unterschiedliche Warnschwellen der Spurverlassenswarnung (TLC) benutzt. Das Konzept zur Fahrerleistungsschätzung sieht eine zweistufige Warnschwellenanpassung vor, je nachdem ob die Fahrleistung nur „etwas eingeschränkt“ ist (wie z.B. bei einer „einfachen“ Bedienung) oder aber ob sie „deutlich eingeschränkt ist (wie z.B. bei einer „komplexen“ Bedienhandlung). Bei Bedienhandlungen, die die Kategorie B4 (z.B. Lautstärkenanpassung) betreffen, würde die Warnschwelle ein wenig, bei Eingaben, die die Kategorie B2 (z.B. Spracheingabe) betreffen, weiter vorgezogen. Bei diesem Versuch wird untersucht, in welchen Fällen, also bei welchem Ablenkungsgrad, die Probanden diese Anpassung akzeptieren, bzw.

störend empfinden. Die zentrale Hypothese ist, dass die Probanden ohne Nebenaufgabe also grundlos vorgezogene Warnschwellen nicht akzeptieren, wohingegen sie bei einer leichten Nebenaufgabe eine geringe Anpassung und bei einer komplexen und/oder langen Nebenaufgabe eine stärkere Anpassung akzeptieren.

### **Versuchsaufbau und -ablauf**

28 Probanden befuhren eine 20-minütige Strecke mit Stadt-, Landstraßen- und Autobahnabschnitten im Westen Münchens (Anhang K). Die Strecke wurde dreimal mit unterschiedlichen TLC-Warnschwellen befahren: Die Serienapplikation hatte einen Warnzeitpunkt von 0,7 s vor Überfahren der Fahrbahnbegrenzung, die beiden anderen Ausprägungen warnten früher, nämlich 1,1 bzw. 1,4 s vor Fahrbahnverlassen. Die Probanden wurden instruiert, a priori festgelegte „leichte und/oder kurze“ (z.B. Klimaeinstellung) bzw. „schwere und/oder lange“ Bedienhandlungen (z.B. Navigation Zieleingabe) während der Fahrt durchzuführen (Anhang K). Bei jeder Warnausgabe, die die Probanden bei zu starker Annäherung an den Fahrbahnrand erhielten, sollte angegeben werden, ob die Warnung gerechtfertigt war (Ja/Nein) und ob der Zeitpunkt angemessen war (sechs-stufige Skala von -3 „viel zu früh“ bis +3 „viel zu spät“). Für eine genaue Beschreibung der Instruktion und der erhobenen subjektiven Daten siehe Anhang L. Da die Probanden trotz Nebenaufgaben die Fahraufgabe gut meisterten, wurden nur selten Spurverlassenswarnungen ausgegeben. Aufgrund der kleinen Stichprobe wurden die Daten rein deskriptiv ausgewertet.

### **Ergebnisse**

Insgesamt wurden umso mehr Warnungen ausgegeben, je früher das TLC System warnte. In dem Durchlauf, in dem das TLC 1.4 s vor Fahrbahnverlassen warnte, erhielten die Probanden die meisten Ausgaben. Betrachtet man die Anzahl der Warnungen nach den Kategorien „keine Nebenaufgabe“, „leichte/kurze Bedienung“ und „schwere/lange Bedienung“, so wurden die meisten Warnungen ausgegeben, wenn die Fahrer keine Nebenaufgabe ausführten. Dies ist damit erklärbar, dass die Anzahl der Ausgaben proportional zur gefahrenen Strecke der jeweiligen Kondition sind: Die Probanden legten

wesentlich mehr Kilometer ohne die Interaktion mit Nebenaufgaben zurück. Insgesamt, über alle Bedingung gemittelt, wurden lediglich ein Drittel aller Warnungen als unberechtigt empfunden. Ohne Nebenaufgabe wurden alle Warnschwellen (0.7, 1.1 und 1.4 s vor Fahrbahnverlassen) gleichermaßen als rechtzeitig bewertet. Lediglich unberechtigte Warnungen wurden bei den beiden früheren Warnzeitpunkten (1.1 bzw. 1.4 s vor Fahrbahnverlassen) als „viel zu früh“ bewertet. Führten die Probanden eine Nebenaufgabe durch, so wurden vorgezogene Warnungen - unabhängig vom Schwierigkeitsgrad - nicht als unangemessen eingestuft. Ohne Nebenaufgabe lässt sich die Tendenz erkennen, dass, je früher die Warnausgabe, unberechtigte Warnungen häufiger als zu früh eingestuft werden. Da aber bei leichten und schweren Bedienhandlungen das Vorziehen der Warnschwelle nicht als unangemessen bewertet wird, spricht laut dieser Studie nichts gegen eine fahrerleistungsadaptive Warnschwellenanpassung.

Somit konnte die zentrale Hypothese, dass die Probanden ohne Nebenaufgabe vorgezogene Warnungen nicht akzeptieren, wohingegen sie bei einer Nebenaufgabe eine Anpassung durchaus akzeptieren, validiert werden.

### 5.2.3 Kommunikation zwischen Kontextmodulen und Priorisierungsmatrix

Jede Anzeige hat bestimmte Charakteristika, wie das Zeitbudget für die Reaktion und das Schadensausmaß bei Ausbleiben der Reaktion. Außerdem kommt die Anzeige zu einem definierten Zeitpunkt. Dabei kann es sich um eine oder mehrere Ausgaben handeln, die zudem multimodal sein können, also mehrere Sinneskanäle beanspruchen. Wie in Kapitel 2.4 beschrieben, sollten zeitnahe, interferenzverursachende Ausgaben vermieden werden. Um dies zu gewährleisten, wird vor jeder Meldung der aktuelle Kontext überprüft (siehe Kap. 5.2.2). Je nach Fahrsituation, Fahrzeugzustand bzw. Fahrerzustand wird entschieden, ob eine Meldung zurückgehalten wird oder direkt präsentiert werden kann. Handelt es sich um parallele Ausgaben, entscheidet die Priorisierungsmatrix, ob es Koordinationsbedarf gibt (siehe Kap. 5.2.1). Das Modell ist hier sequentiell dargestellt, wobei die Reihenfolge, in der die Rückmeldungen die WIM Module durchlaufen, unbedeutend ist (Übersicht des



WIM Grobkonzepts in Abbildung 34). Allerdings kann es passieren, dass eine durch die Priorisierungsmatrix zurückgestellte Meldung erneut verzögert werden muss, wenn sich die Fahrsituation geändert hat und eines der Kontextmodule die Unterdrückung der Ausgabe erneut empfiehlt. Erscheint z.B. eine Information zum Fahrzeugstatus, die keine dringende Reaktion erfordert, parallel zu einer KW, wird die Statusmeldung von der Priorisierungsmatrix zurückgestellt. Ist nun die Kollisionssituation vorüber, kann ein erneutes Verzögern der Statusmeldung nötig sein. Befindet sich der Fahrer in einer schwierigen Fahrsituation, wie z.B. einer sehr scharfen Kurve, wird es vermieden, seine mentalen Ressourcen abzuziehen. Daher verzögert das WIM die Statusmeldung erneut, bis die als beanspruchend eingestufte Situation vorüber ist. Somit ist der Informationsaustausch zwischen der statischen und der dynamischen Koordination durch das WIM kontinuierlich.

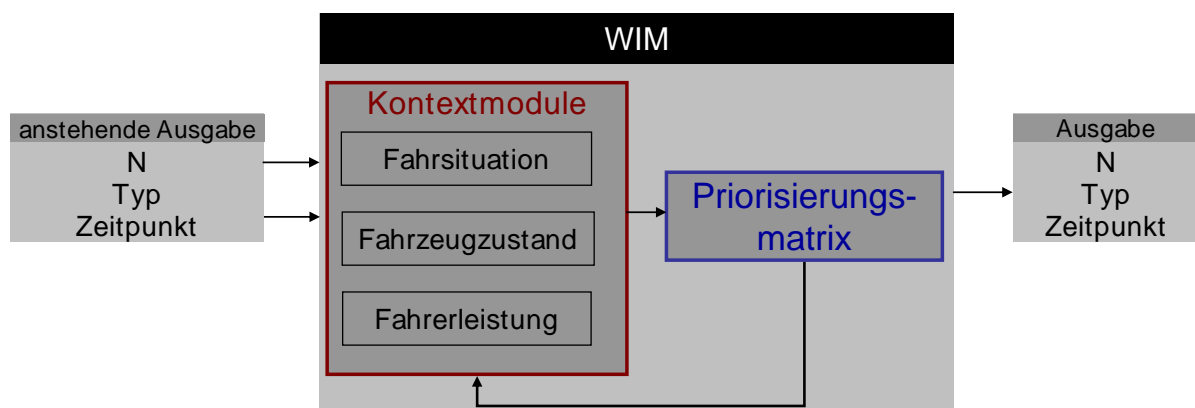


Abbildung 34: Übersicht der statischen (= Priorisierungsmatrix) und dynamischen (= Kontextmodule) Meldungskoordination durch WIM

### 5.3 Expertenevaluation des WIM-Algorithmus

In einem 30-minütigen Versuch bewerteten zehn MMI-Experten (= Mitarbeiter mit mindestens zwei Jahren Berufserfahrung im Bereich der Fahrzeuginnenraumentwicklung) neun unterschiedliche Szenarien der WIM Simulation (für eine Übersicht der Usecases siehe Anhang N). Dabei wurden ihnen in einem Paarvergleich die beiden Varianten A „mit WIM“ und B „ohne WIM“ auf einem Laptop-Bildschirm präsentiert. Zuerst wurde den Probanden

kurz das Konzept der kontextsensitiven Meldungskoordination erklärt. Anschließend wurde die Oberfläche der WIM Simulation mit allen möglichen Systemausgaben erläutert. Jede Versuchsperson konnte jeden der neun Usecases so oft wie nötig sehen. Im Anschluss an den jeweiligen Usecase sollten die Probanden die Meldungsangabe mit und ohne WIM anhand von vier Kriterien beurteilen (siehe Fragebogen in Anhang M).

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die koordinierte Meldungsangabe insgesamt als nicht weniger intuitiv verständlich ist als die unkoordinierte Ausgabe und sogar als angenehmer, weniger ablenkend und übersichtlicher bewertet wird. Allerdings gab es Abweichungen in der Bewertung der einzelnen Szenarien (für eine detaillierte Übersicht der Ergebnisse siehe Anhang O). Die Umsetzung der Priorisierung für die Usecases 6, 7 und 8 wurde von der Mehrheit der Experten als weniger intuitiv, ablenkender und unangenehmer bewertet. Bei UC 6 wurde die ACC Übernahmeaufforderung von den Experten als wichtiger eingestuft als das TLC. Dies liegt daran, dass bei der Systemauslegung des TLC noch Optimierungsbedarf besteht: Momentan erhält der Fahrer häufig Falschwarnungen. Wäre die TLC-Warnung in 100% der Fälle valide, würden die Experten den hier vorgestellten Priorisierungsansatz akzeptieren. Bei den Usecases 7 und 8 bewerteten die Experten den akustischen Navigations-Vorhinweis wichtiger als die Verkehrsmeldung aus dem Radio. Die Begründung dafür lautete, dass es bereits im Navigationssystem integrierte Verkehrsnachrichten gibt und die Radio-Verkehrsmeldungen häufig nicht für die eigene Strecke relevant sind. Die Priorisierungslogik des WIM sieht eine höhere Priorität für die akustische Verkehrsmeldung als für den akustischen Navigations-Vorhinweis vor, da der Fahrer die optische Navigations-Anzeige trotz Verkehrsmeldung monitoren kann. Ferner erhält der Fahrer als weiteres Signal den Navigations-Akuthinweis. Ein möglicher Lösungsvorschlag wäre nur, die auf der eigenen Route befindlichen Radioverkehrsmeldungen herauszufiltern und somit die Relevanz dieser Meldungen zu erhöhen. In diesem Fall würden auch die Experten die WIM-Priorisierung akzeptieren.

Insgesamt befürworteten die MMI-Experten der BMW Group die Meldungspriorisierung. Jedoch besteht in einzelnen Fällen noch Diskussionsbedarf, wie die konkrete Umsetzung realisiert wird. Hierfür wären weitere Untersuchungen mit „naiven“ Probanden von Nutzen.

## **6 Allgemeine Diskussion**

### **6.1 Zusammenfassung**

Zusammenfassend sieht das WIM eine situationsadaptive Koordination aller Ausgaben an der MM-Schnittstelle vor. Dabei besteht das Modul aus zwei Teilen: einer statischen und einer dynamischen Priorisierung („Priorisierungsmatrix“ und „Kontextmodule“). Die Logik des WIM basiert auf theoretisch abgeleiteten und im Fahrversuch validierten Prämissen. Dabei ist die Kernaussage, dem Fahrer zeitnahe Rückmeldungen, sofern mindestens eine der Meldungen eine zeitkritische Reaktion erfordert, nicht in unmittelbarer zeitlicher Nähe auszugeben. D.h. die Ausgaben, die keine zeitkritische Reaktion erfordern, werden verzögert, wohingegen Ausgaben, auf die der Fahrer unmittelbar reagieren sollte, bei Ablenkung, wie z.B. durch eine Nebenaufgabe, sogar vorverlegt werden. Handelt es sich dabei um eine Rückmeldung durch ein FAS, so wird diese unterdrückt bzw. vorgezogen, wohingegen Ausgaben zum Fahrzeugzustand oder durch FIS - soweit möglich - verzögert werden. Letztere werden nach Beendigung der kritischen Fahrsituation erneut präsentiert. Für eine übersichtliche Darstellung des Konzepts siehe Kap 5.2.

Die Ergebnisse der Fahrversuche zeigen, dass besonders ungerichtete, mit einem zeitlich wahrnehmbaren Versatz ausgegebene FAS-Rückmeldungen priorisiert werden müssen. Dies ist damit zu erklären, dass der Fahrer mit der Informationsverarbeitung des ersten Reizes beginnt, diese dann aber unterbrechen muss, um mit der Verarbeitung des zweiten Reizes fortzufahren. Hier gehen Ressourcen und damit Zeit verloren. Erfolgt mindestens eine der Rückmeldungen haptisch gerichtet, also auf einem sehr automatisierten Wege, bleiben genug Ressourcen für die Reaktion auf eine zweite FAS-Ausgabe. Somit ist in diesen Fällen keine Koordination durch das WIM nötig. Dies ist konsistent mit Rasmussens Modell: Automatisierte, auf der fertigkeitbasierten Ebene ablaufende Handlungen benötigen nur wenige Aufmerksamkeitsressourcen. Ferner wurde im Rahmen des WIM für die Entwicklung neuer Systemausgaben ein Regelwerk abgeleitet: Je nach

Schadensausmaß bei Ausbleiben einer Reaktion und Zeitbudget, also der mögliche zeitliche Rahmen, in dem eine Reaktion erfolgen sollte, kann eine Systemausgabe klassifiziert werden. Somit lassen sich Rückmeldungen konsistent und transparent gestalten. Die aus der Literatur gewonnenen Erkenntnisse lassen abstrahiert folgende Schlussfolgerung zu: Ungerichtete haptische bzw. akustische Signale dienen einer unspezifischen Aufmerksamkeitserregung und sollten somit bei relativ zeitkritischen Rückmeldungen verwendet werden. Optische Signale hingegen werden aufgrund ihres unaufdringlichen Charakters für Ausgaben empfohlen, die keine unmittelbare Reaktion seitens des Fahrers erfordern und relativ komplexe Inhalte darstellen. Wie in den Fahrversuchen validiert, ist jedoch die schnellste und ressourcensparsamste Reaktion bei haptisch gerichteten Ausgaben möglich. Somit wird empfohlen, bei sehr zeitkritischen Systemausgaben auf eine haptisch bzw. kinästhetisch gerichtete Gestaltung zu achten. Je nachdem, welche Reaktion beim Fahrer provoziert werden soll, können die oben genannten Ausgaben auch in Kombination verwendet werden. Multimodale Rückmeldungen eignen sich besonders bei relativ zeitkritischen Informationen, bei dem ein hoher Informationsgehalt vermittelt werden soll, oder aber bei sehr validen Systemausgaben, bei denen ein Übersehen fatale Folgen hätte: So warnt z.B. ein Spurwechselassistent optisch im Außenspiegel und haptisch über das Lenkrad. Selbst wenn der Fahrer den Blick in den Außenspiegel vergisst und somit die dort blinkenden LEDs übersieht, erhält er dennoch die aufmerksamkeitssteigernde Warnung über das Lenkrad. Somit werden durch Multimodalität Redundanzen geschaffen, die zu einer erhöhten Sicherheit bei der Fahrzeugführung beitragen.

Das in dieser Arbeit entwickelte Modul zum Management von Systemausgaben stellt einen ersten Grundstein dar und ist demnach modular erweiterbar. Die Expertenbewertung in Kapitel 5.3 zeigte, dass der hier vorgestellte Ansatz übersichtlicher und weniger ablenkend ist als eine unkoordinierte Ausgabe von Meldungen. Um das WIM-Konzept zu perfektionieren, wäre jedoch eine Erweiterung des Kontextes nötig: Dabei könnten physiologische Daten, Informationen zu Gewohnheiten und Präferenzen des Fahrers und der aktuelle Fahrstil zur Bewertung herangezogen werden. Vorallem die

situationsübergreifende Prädiktion des Fahrstils bietet großes Potential für die fahrstiladaptive Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Deml, 2007). Somit könnten auch inter- und intraindividuelle Leistungsschwankungen im WIM Modul beachtet und kompensiert werden.

## 6.2 Herausforderungen bei der Umsetzung

Vorerst sollen Teilkomponenten des bisherigen WIMs in der Serie umgesetzt werden. Dabei ist zu untersuchen, wo, also auf welchen Steuergeräten, die „Intelligenz“ zur Informationspriorisierung lokalisiert sein soll. Somit soll aufgezeigt werden, wo Schnittstellen geschaffen werden müssen und wie der Austausch von Informationen charakterisiert sein soll (Event- vs. Zeitgetriggert). Da das WIM die Koordination einer Vielzahl von Nachrichten auf allen Fahrzeug-Bussen (K-CAN, MOST, PT-CAN) betrifft, ist die erstmalige Umsetzung relativ komplex (Abbildung 35).

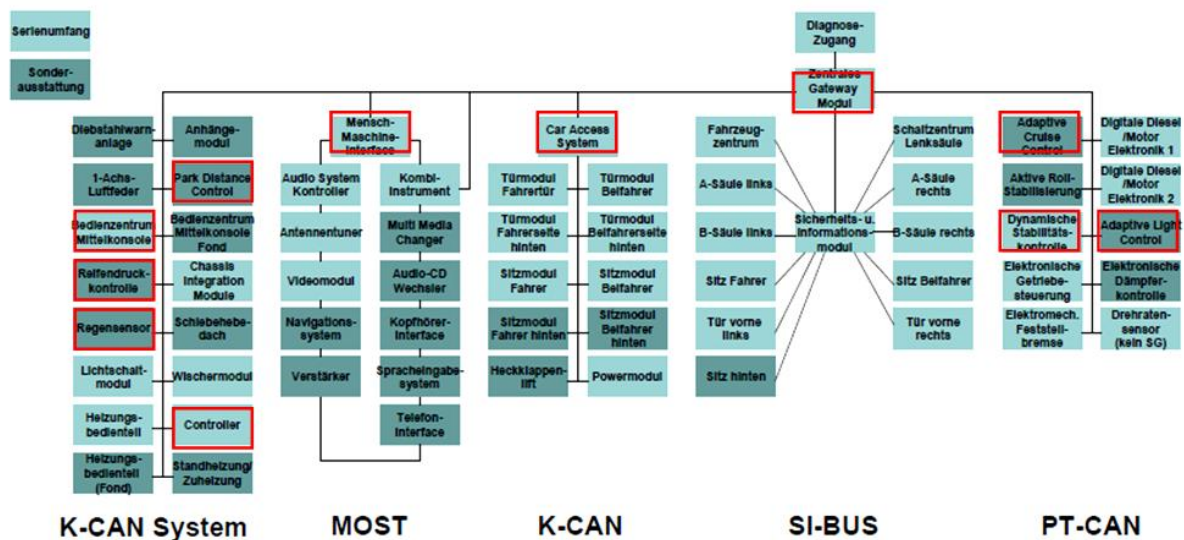


Abbildung 35: Bordnetzarchitektur des heutigen 7er BMWs (BMW, 2005); in rot: für WIM notwendige Steuergeräte

In Zukunft wäre eine Entkoppelung der Silostrukturen und somit eine frühere und zentralere Vernetzung denkbar. D.h. Entwickler sollten die jeweilige Einzelfunktion nicht isoliert entwickeln, sondern früher über Vernetzung und Fusionen von SW und HW nachdenken. Somit könnte das „WIM der Zukunft“

eine zentral lokalisierte Intelligenzschicht darstellen, die alle von der Sensorik kommenden Informationen abgreift, integriert betrachtet und bewertet. Dies würde jedoch eine grundlegende Veränderung der Bordnetzstruktur und damit der Elektrik-Elektronik-Schnittstelle erfordern. Somit sollten Komponenten anhand ähnlicher Funktionalitäten gruppiert und so der Datenaustausch optimiert werden (Spiegelberg, 2008). Hoch (2008) schlägt vor, zur Kontextbewertung notwendiges Wissen zentral zur Verfügung zu stellen und auszuwerten. Dabei könnte das Fahrzeug zahlreiche Synergien nutzen, um FAS-Ausgaben situationsadaptiv zu optimieren und zu validieren.

### **6.3 Ausblick**

In Zukunft wird die Bedeutung eines Warn- und Informationsmanagements weiter zunehmen. Experten sind sich einig, dass in den nächsten Jahren diverse neue fahr- und nicht fahrrelevante Assistenz- und Informationsfunktionen entwickelt werden, die eine Koordination erfordern. Vorallem situative Fahrerassistenz bei Kreuzungen scheint derzeit im Fokus der Entwicklung zu stehen (Thoma et al., 2008). Im Bereich Infotainment erwartet man deutlich innovativere, individuell konfigurierbare Assistenzdienste und eine stärkere Vernetzung zwischen Kommunikations- und Informationssystemen (Zöllner, 2004). Ferner entstehen durch neue Kommunikations-Technologien wie z.B. Car-to-Car oder Car-to-X weitere Herausforderungen an die Gestaltung der Mensch-Maschine Schnittstelle.

In Zukunft müssen nicht nur die vom Fahrzeug eigens hervorgebrachten Ausgaben, sondern auch die durch die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern generierten Meldungen koordiniert werden (Abbildung 36). Bei der Vernetzung von Kraftfahrzeugen mit externen Datenquellen ergeben sich neue Anwendungsfelder wie soziale Navigation, Einkaufen und Chat (Naumann et al., 2006). Für all diese Bereiche müssen neue Schnittstellen geschaffen und Interaktionskonzepte definiert werden.





Cummings et al. (2007) konnte gezeigt werden, dass Reaktionszeiten bei einem relativ uninformativen, weil unspezifischen Master Alarm (eine Rückmeldung für alle FAS) nicht signifikant von denen bei informationsreichen, also spezifischen, akustischen sogar örtlich lokalisierten Rückmeldungen abwichen. Diese Ergebnisse sprechen also vorerst nicht gegen eine zunehmende Integration von Warnungen. Im Flugbereich greift man bereits seit den 80er Jahren auf den Masteralarm zurück, da aufgrund von Inkonsistenzen und Standardisierungsproblemen einzelne Systemrückmeldungen sonst nicht eindeutig zugeordnet werden könnten (Doll & Folds, 1986).

Eine mögliche Ausführung dieser funktionsintegrierten Schnittstelle wurde für den Bereich FAS-Bedienung von Lindberg (2008) vorgeschlagen. Dabei lassen sich durch ein ringförmiges Eingabeelement funktional gruppierte FAS aktivieren. Ein weiteres Konzept sieht die Integration und situationsadaptive Umgestaltung der in der Instrumenten-Kombination angezeigten Informationen vor (Ehrenpfordt, 2008). Eine fusionierte Informationsdarstellung, wie hier im Konzeptfahrzeug SAAB X 9 dargestellt, würde eine Erweiterung des jetzigen WIM hin zu einem generischen Modell erfordern (Abbildung 37). Dafür können die in Kapitel 2.2.4 aufgestellten Prämissen zur standardisierten Gestaltung von Rückmeldungen verwendet werden.



Abbildung 37: Fusionierte Informationsdarstellung im Konzeptfahrzeug SAAB X 9 (L'Auto-Journal, 2008)

In Zukunft sollte daher umso mehr darauf geachtet werden, den Fahrer mit diversen Systemausgaben nicht zu überlasten, sondern ihn kontextadaptiv zu unterstützen. Das WIM Konzept ist ein erster Ansatz für eine dynamische, situationsadaptive Informationskoordination. Auf Grund seines modularen Aufbaus ist der WIM für zukünftige Systemrückmeldungen beliebig erweiterbar.

## Literaturverzeichnis

- Allen, T.M., Lunenfeld, H. & Alexander, G.J. (1962). Driver information needs. Highway Research Record, 366, 102-115.
- Allport, D. A., Antonis, B. & P. Reynolds (1972). On the division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 24, 225-235.
- Becker, S. (2004). Human Factors- Aspekte der Systemfunktionen und Systementwicklung von Fahrerassistenzsystemen. Ergebnisse des EU-Response-Projektes. Workshop Automatisierungs- und Assistenzsysteme, Braunschweig, Deutschland, 354-370.
- Bellet, T. (2004). Cognitive engineering for adaptive anti-collision systems, ITS in Europe Congress, Budapest, Ungarn, 24-26 May 2004.
- Bellet, T. (2004). Driver's Availability Diagnosis: A First Step toward an Adaptive Management of On-Board Information. NHTSA Workshop, Washington.
- Bellet, T., Bailly, B., Mayenobe, P., & Georgeon, O.(2007). Cognitive Modelling and Computational Simulation of Drivers Mental Activities In: Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments. Herausgeber Carlo Cacciabue, Springer-Verlag, 315-344.
- Belz, S. M., Robinson, G. S. & Casali, J. G. (1998). Auditory icons as impending collision system warning signals in commercial motor vehicles. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting, 1127-1131.
- Birger, M. (2007). Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur auditiven Anzeige von Informationen im Fahrzeug. Diplomarbeit. Technische Universität Ilmenau Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik.
- Blaauw, G.J. (1982). Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: A validation study. Human Factors, 24, 473-486.

- BMW Techniklexikon (2008). BMW Intranet. <http://bmwgroupaktuell.muc>
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bosch, R (2004). *Sicherheits- und Komfortsysteme*. Vieweg Verlag. Wiesbaden.
- Bouis, D., Voss, M., Geiser, G. & Haller, R. (1979). Visual vs. Auditory Displays for Different Tasks of a Car Driver. Proceedings of the Human Factors Society-23rd Annual Meeting, 35-39, Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Broadbent, D. E. & Broadbent, M. H. P. (1987). From detection to identification: response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Perception and Psychophysics*, 42, 105–113.
- Bubb, H. & Schmidtke, H. (1981). Systemergonomie. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Lehrbuch der Ergonomie* (S. 263-340). München: Hanser.
- Bubb, H. (2002). Der Fahrprozess - Informationsverarbeitung durch den Fahrer. Technischer Kongress, VDA-Vortrag, 2002.
- Büker, U. (2007). Kamerawarnung vor Sekundenschlaf. *Omnibusrevue April 2007*. [www.omnibusrevue.de](http://www.omnibusrevue.de).
- Cherry, E.C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 975-979.
- Chun, M. M. & Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 109–127.
- Cummings, M. L., Kilgore, L. M., Wang, E., Tijerina, L. & Kochhar, D. (2007). Effects of Single Versus Multiple Warnings on Driver Performance. *Human Factors, The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 49, 1097-1106.

- De Jong, R. (2000). Perception-action coupling and S-R compatibility. *Acta Psychologica*, 90, 287-299.
- Deml, B., Freyer, J. & Färber, B (2007). Ein Beitrag zur Prädiktion des Fahrstils. Fachtagung des VDI „Fahrer im 21. Jahrhundert“, Oktober 2007, Braunschweig.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some Theoretical Considerations. In: *Psychological Review*, 80, 80-90.
- Doisl, C. (2004). Systemergonomische Analyse von Fahrerassistenzsystemen zur Unterstützung des Parkens. Dissertation. TU München, Lehrstuhl für Ergonomie.
- Doll, T. J., & Folds, D. J. (1986). Auditory signals in military aircrafts: Ergonomic principles versus practice. *Applied Ergonomics*, 17, 257–264.
- Donges, E. (1978). Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 24.
- Eckstein, L. (2008). Souveräne Interaktion mit Fahrerassistenzsystemen. In *Proceedings of the 10. Technical Congress on Vehicle Safety and Electronics*, Ludwigsburg, 309-318.
- Edworthy, J. (1994). The design and implementation of non-verbal auditory warnings. *Applied Ergonomics*. ;25(4), August. 202-10.
- Ehrenpfordt, I, Kullert, A. & Eggert, F. (2008). Behaviourally Assisted Car Driver Interaction. 50. Fachtagung Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrttechnik (DGLR), Oktober 2008, Manching.
- Elektroniksystem- und Logistik-GmbH (ESG) (2006). Der künstliche Beifahrer. *Magazin der ESG*, 3, 6-8.
- Enders, S. (2006). Entwicklung und Test eines Verfahrens zur Koordination von Warnungen im Fahrzeug. Dissertation. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Universität Karlsruhe. In Präparation.

- Fairclough, S. H., Ashby, M. E., Ross, T., Parkes, A. M. (1990). Effects on driving behaviour on hands free telephone use. DRIVE Project V 1017, 48, Loughborough. HUSAT Research Institute. November.
- Färber, B. (1987). Geteilte Aufmerksamkeit. Grundlagen und Anwendungen im motorisierten Straßenverkehr. Mensch-Fahrzeug-Umwelt, Band 20. Köln: TÜV Rheinland.
- Färber, B. (2006). Hightech überfordert Fahrer. ADAC Motorwelt, 11, 74-75.
- Färber, B., & Färber, B. (2003). Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf das Fahrverhalten. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, 149. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Fastenmeier, W. & Gstalter, H. (2007). Driving Task Analysis as a Tool in Traffic Safety Research and Practice. Safety Science, 45, 952-979.
- Fastenmeier, W. (1995). Autofahrer und Verkehrssituation. Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Fuhr, F (2003). Integration von Fahrsimulatoren in den Entwicklungsprozess von aktiven Fahrwerksystemen. VDI-Bericht 1745. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Gaarder, J. (1991). Sophies Welt. Deutscher Taschenbuch Verlag. Reihe Hanser.
- Geiser, G. (1990). Mensch-Maschine-Kommunikation. München, Wien. Oldenbourg.
- Geven, A., Sefelin, R. & Tscheligi, M. (2006). Depth and Breadth away from the Desktop – the Optimal Information Hierarchy for Mobile Use. ACM International Conference Proceeding Series, 159, 157-164.
- Green, P. (2004). Driver Distraction, Telematics Design, and Workload Managers: Safety Issues and Solutions. SAE Paper Number 2004-21-0022.

- Grünweg, Tom (2008). Lichtorgel statt Piepshow. Spiegelonline: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,562943,00.html>
- Haller, R. (2001). Fahrer-Assistenz versus Fahrer-Bevormundung: Wie erreicht man, dass der Fahrer Herr der Situation bleibt? in: Jürgensohn, T. und K.P. Timpe (Hrsg.): Kraftfahrzeugführung, S. 11-38.
- Helmer, T. (2007). Bewertungsaspekte zur Stimmigkeit eines Verbundes von Fahrerassistenzsystemen. Diplomarbeit. TU München. Lehrstuhl für Ergonomie.
- Helmert, J.R., Mueller, R., Pannasch, S., & Velichkovsky, B.M. (2008) Influence of scene background and spatial arrangement of objects on gaze behaviour. *Perception*, 37, 95.
- Hillenbrand, T. (2008). Labertaschen auf vier Rädern. Spiegelonline: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,558230,00.html>
- Ho, C., & Spence, C. (2005). Assessing the effectiveness of various auditory cues in capturing a driver's visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11, 157–174.
- Ho, C., & Spence, C. (2005). Assessing the effectiveness of various auditory cues in capturing a driver's visual attention. *Journal of Applied Experimental Psychology*, 11, 157-174.
- Ho, C., Reed, N., & Spence, C. (2008). 'Intuitive' vibrotactile collision warnings for drivers. In: D. de Waard, G. R. J. Hockey, P. Nickel., & K. A. Brookhuis (Eds.), *Human factors issues in complex system performance*. Maastricht, the Netherlands: Shaker Publishing.
- Hoch, S. (2008). Kontextmanagement und Wissensanalyse im kognitiven Automobil der Zukunft. Dissertation, TU München, Lehrstuhl für Mensch-Maschine Kommunikation.
- Hoedemaker, G. M.; Blackburn, J. D. & Van Wassenhove, L. N. (1999). Limits to concurrency, *Decision Sciences*, 30, 1-18.

- ISO 15006 (2004). Road vehicles. Ergonomic aspects of transport information and control systems. Specifications and compliance procedures for in-vehicle auditory presentation.
- ISO TS 16951 (2004). Road vehicles. Ergonomic aspects of transport information and control systems (TICS). Procedures for determining priority of on-board messages presented to drivers.
- ISO/CD TR 16352 (2005). Road vehicles. Ergonomic aspects of in-vehicle presentation for transport information and control systems. Ergonomic aspects of in-vehicle presentation for transport information and control systems - Warning systems.
- Johnston, W.L (1971). The effectiveness of a vibrotactile device under conditions of auditory and visual loading. Survival and Flight Equipment Association, Proceedings of the Ninth Annual Symposium. Las Vegas, Nevada.
- Kelley, J. (1985). A Natural Language program developed with the OZ Paradigm: Implications for Supercomputing Systems. First International Conference on Supercomputing Systems. Inproceedings, 147, 238-248.
- Kern, D., Schmidt, A., Pitz, M. & Bengler, K. (2007). Status- und Kontextinformationen für die Telekommunikation im Auto. NHTSA: <http://www.nhtsa.dot.gov/>.
- Kiefer, J., Trösterer, S., Schulze-Kissing, D., & Urbas, L. (2006). Strategien zur Minimierung visueller Ablenkung bei der Koordination von operativer Fahraufgabe & IVIS-Bedienung. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, Mainz.
- Kinsbourne, M. & Hicks, R.E. (1978). Functional cerebral space: A model for overflow, transfer and interference effects in human performance. In : Attention and Performance, 7, edited by J. Requin, Lawrence Erlbaum, New Jersey, 345-362.



- Knoll, P., und Langwieder, K. (2006): Der Sicherheitsaspekt von ESP in Realunfällen. In: Tagungsband Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz. München.
- König, W., Mutschler, H. (2003). MMI of warning systems in vehicles. ISO/TC 22/SC13/WG8 Technical Report.
- Kosch, T. (2008). BMW internes Dokument zur IOS-Veranstaltung im Oktober 2008, BMW Group, München.
- Kramer, F., Cassavaugh, N., Horrey, W. J., Becic, E. & Mayhugh, J. (2007). Influence of Age and Proximity Warning Devices on Collision Avoidance in Simulated Driving. *Human Factors*, 49, 935-949.
- L'Auto-Journal, No 751, 22 Mai – 4 Juni 2008, 28.
- Lee, J. D., McGehee, D. V., Brown, T. L., & Reyes, M. (2002). Collision warning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end collisions in a high-fidelity driving simulator. *Human Factors*, 44, 314–334.
- Lee, J., M. Reyes, T. Smyser, Y. Liang und K. Thornburg (2004). SAFETY Vehicles using adaptive Interface Technology (Task 5) Final Report: Phase 1. Technischer Bericht, NHTSA.
- Lermer, R. (2008). Fahrerleistungsschätzer. DE Patentanmeldung Nr. 102008056343.9. München.
- Lerner, N. (1991). Multiple attribute evaluation of auditory warning signals for in-vehicle crash warning systems. Washington, DC: National Highway Transportation Safety Administration.
- Levin, D. T., & Simons, D. J. (1997). Failure to detect changes to attended objects in motion pictures. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4, 501-506.
- Lindberg, T. & Schaller, T. (2008). Stauassistentz – Unterstützung des Fahrers durch Übernahme der Quer- und Längsführung im Stau. AAET Symposium Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, DLR Braunschweig.

- M. Baumann, T. Petzoldt, and J. Krems (2006). Situation Awareness beim Autofahren als Verstehensprozess. *MMI Interaktiv*, 11, 43–57.
- Mazzae, E., Scott, B., and McGehee, D. (1999). Driver Crash Avoidance Behaviour with ABS in an Intersection Incursion Scenario on the Iowa Driving Simulator. SAE 1999-01-1290.
- Mohs, C., Naumann, A., & Kindsmüller, M. (2007). Mensch-Technik-Interaktion: intuitiv, erwartungskonform oder vertraut? *MMI-Interaktiv*, 13, 25-35.
- Motorola (2004). Driver Advocate. NHTSA International Workshop on Adaptive Driver Assistance Research. 13. Mai 2004. Washington, USA.
- Muigg, A. (2008). Negative Effects of inappropriate messages. 3<sup>rd</sup> Conference Active Safety through driver assistance. TU München. Garching.
- Müller, J., Paczkowski, O. & Krüger, A. (2007). Situated Public News & Reminder Displays. Proceedings of European Conference on Ambient Intelligence, Springer.
- Müller, S. & Lermer, R. (2008). Müller-Lermer-Matrix oder Anzeigenmatrix. Unpublizierter Konzeptentwurf. BMW internes Dokument.
- Müller, S. (2009). Gerichtete akustische Anzeige. DE Patentanmeldung Nr. 102009005260.7. München.
- Muttart, J. W. (2005). Quantifying driver response times based upon research and real life data. Proceedings of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design. Netherlands.
- Nagel, K.; & Schreckenberg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic. *J. Phys. I France* 2, 2221.

- Naumann, A., Urbas, L., Wandke, H. & Kolrep-Rometsch, K. (2006). Mensch-Maschine-Schnittstelle für Vernetztes Fahren: Regeln zur Systemgestaltung. MMI-Interaktiv, Nr. 10, ISSN 1439-7854.
- Niedermaier, B. (2003). Entwicklung und Bewertung eines Rapid-Prototyping Ansatzes zur multimodalen Mensch-Maschine-Interaktion im Kraftfahrzeug. Dissertation, TU München. Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation.
- Nima, F. (2005). Device for Evaluating Driver Attentiveness in a Collision Prevention System in Motor Vehicles. WIPO Patent Application WO/2006/018195.
- Piechulla, W., Mayser, C., Gehrke, H. & König, W. (2002). Echtzeit-Fahrerbeanspruchungsschätzung. In R. Hammwöhner, C. Wolff & C. Womser-Hacker (Hrsg.). Information und Mobilität. Proceedings des 8. Internationalen Symposiums für Informationswissenschaft, Konstanz.
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 32, 3-25.
- Posner, M.I., & Petersen, S.E. (1990). The attention system of the human brain. Annual Review of Neuroscience, 13, 25-42.
- Pribram, K.H., & McGuinness, D. (1975). Arousal, activation, and effort in the control of attention. Psychological Review, 82, 116-149.
- Rasmussen, J. (1986). Information processing and human machine interaction: An approach to cognitive engineering. New York: North Hollands.
- Rataj, J. (2007). Fast wie der Mensch – nur zuverlässiger. Technik zur Unterstützung des Fahrers. In DLR-Nachrichten, Braunschweig. 16-19.
- Rombaut, M. & Le Fort Piat, N. (1997). Driving activity: How to improve knowledge of the environment. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 18, 399-408.

- Roßmeier, M. (2007). Nonverbal Vehicle Language. Dissertation. Verlag Dr. Kovac. Hamburg.
- SAE Paper J 2395 (2003). HMI Priorisation.
- Schießl, C.; Vollrath, M.; Altmüller, T.; Dambier, M.; Kornblum, C. (2006). What is strenuous? Driving itself or the driving situation? In ITS World Congress, London, 2006.
- Schmenk, A. (2003). Räumlich Aufmerksamkeitsausrichtung und Alertness. Dissertation. Universität Aachen.
- Schmidt, R. (1979). Grundriß der Neurophysiologie. Berlin. Springer.
- Schumann, J. (1994). On the use of discrete proprioceptive-tactile warning signals during manual control. Dissertation, Universität der Bundeswehr, Waxmann, Münster, New York.
- Schumann, J. (2004): PILAS Evaluation Criteria for Human-Machine-Interaction (HMI). Piloten Assistenzsystem (PILAS). PILAS-EADS-5100-A15.
- Scott, J. J. & Gray, R. (2008). A Comparison of Tactile, Visual, and Auditory Warnings for Rear-End Collision Prevention in Simulated Driving. *Human Factors*, 50, 264–275.
- Shapiro, K. L., Raymond, J. E., & Arnell, K. M. (1994). Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 357–362.
- Sklar, A.E. & N.B. Sarter (1999). Good Vibrations: Tactile Feedback in Support of Attentional Allocation and Human-Automation Coordination in Event Driven Domains. *Human Factors*, 41, 543-552.
- Sondermann-Wölke, C. & Sattel, T. (2008). Untersuchungen zur fahrerindividuellen Lenkmomentenrückkopplung für ein Assistenzsystem zur Spurhaltung und Kollisionsvermeidung. AAET

Symposium Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, DLR Braunschweig.

Spence, C., & Walton, M. (2005). On the inability to ignore touch when responding to vision in the crossmodal congruency task. *Acta Psychologica*, 118, 47-70.

Spiegelberg, G. (2008). Road to Drive-by-wire with managing complexity – strategy for migration and state of the art. AAET Symposium Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, DLR Braunschweig.

Stevens, A., Hallen, A, Pauzié, A., Vezier, B., Gelau, C., Eckstein, L., Victor, T., König, W., Moutal, V. & Hoefs, W. (2005). The European Statement of Principles on Human Machine Interaction 2005. Proceedings of the 12th ITS World Congress, San Fransisco.

Sturm, W., Hartje, W., Orgass, B., & Willmes, K. (1994). Effektivität eines computergestützten Trainings von vier Aufmerksamkeitsfunktionen. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 5, 15-28.

Thoma, S., Glinker, G., & Lindberg, T. (2008). Integration of multiple intersection assistance systems by introducing a master alert. Human Factors and Ergonomics Meeting in Soesterberg, the Netherlands.

Tijerina, L. (1998). Haptic display research for collision avoidance systems: Rear-end collision avoidance. East Liberty, Transportation Research Centre.

Totzke, I, Rauch, N., Ufer, E., Krüger, H.-P., und Rothe, S. (2004). Workload-Management im Verkehr: Prädiktion von Fahrerbeanspruchung durch Informationen in digitalen Karten. IZVW, Universität Würzburg.

Totzke, I. (2001). Die Humanisierung multimodaler HMI - die Bedeutung der Modalität und Situation der Mensch-Maschine-Interaktion. 2. IIR-Fachkongress E-Car Infotainmentplattform & Telematikdienste für das Multimedia Auto, Stuttgart.

- Trefflich, B. (2008). Fahreradaptives ACC – Adaptation von ACC Warnungen an die Fahreraufmerksamkeit. 24. VDI/VW-Gemeinschaftstagung, Wolfsburg.
- Treisman, A., 1960. Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 242-248.
- Vollrath, M. & Totzke, I. (2003). Möglichkeiten der Nutzung unterschiedlicher Ressourcen für die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion. In VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), *Der Fahrer im 21. Jahrhundert*, Düsseldorf: VDI-Verlag, 47-58.
- Vollrath, M., Schießl, C., Knake-Langhorst, S., Neunzig, D., Benmimoun, A., Totzke, I. & Buld, S. (2006). Anpassung von Fahrerassistenz an Verkehrszustände - Was braucht der Fahrer wann? AAET Symposium Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, DLR Braunschweig.
- Volvo (2006): <http://www.volvoclub.org.uk/press/volvo2006uk/S40MY2006-Overview.pdf>
- Wallace, J.S., und Fisher, D.L. (1997). Interface between the driver and collision warning systems: lessons in complexity. *Transportation Sensors and Controls: Collisions Avoidance, Traffic Management*. In: *Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng.*, Boston.
- Weller & Schlag (2002). Kriterien zur Beurteilung von Fahrerassistenzsystemen. BDP-Kongress für Verkehrspsychologie, Regensburg.
- Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In R. Nickerson (Ed.), *Attention and performance VIII*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. 239-257.
- Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D. R. Davies: *Varieties of attention*. New York: Academic Press.

- Wickens, C. D., Mavor, A. S., Parasuraman, R., & McGee, J. P. (Eds.). (1998). The future of air traffic control: Human operators and automation. Washington, DC: National Academy Press.
- Wickens, C.D. (1992). Engineering Psychology and Human Performance. New York: Harper Collins.
- Wiese, E., & Lee, J. D. (2001). Effects of multiple auditory alerts for in-vehicle information systems on driver attitudes and performance. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting. Santa Monica.
- Wolf, H.; Zöllner, R.; Bubb, H. (2006). Ergonomischer Lösungsansatz für die gleichzeitige Rückmeldung von Fahrerassistenzsystemen. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, Garching b. München, München: TÜV Süd.
- Zijlstra, F.R.H. & Van Doorn, L. (1985). Rating Scale for the assessment of Mental Effort. Delft, The Netherlands: Department of Philosophy and Social Sciences, Delft University of Technology.
- Zöllner, R. (2004). Eine Delphi Expertenbefragung. Abschlussbericht Phase I des TUMMIC Projekts (Thoroughly consistent user-centered Man-Machine Interaction in Cars). TU München, Lehrstuhl für Ergonomie.







**7. Was ist Ihr höchster Ausbildungsabschluss?**

- Promotion     Hochschulabschluss     Fachhochschulabschluss  
 Abitur     Mittlere Reife     Hauptschulabschluss

**8. Welchen Beruf üben Sie aus? \_\_\_\_\_*****II Fahrzeugführung*****1. Seit wann besitzen Sie Ihren Führerschein? 19\_\_\_\_\_****2. Welches Auto fahren Sie zurzeit?  
\_\_\_\_\_ Baujahr:\_\_\_\_\_****3. Fahren Sie das unter Frage 3 angegebene Fahrzeug (als Fahrzeuglenker!)**

- mehr als 50% aller Ihrer Fahrten  
 weniger als 50% Ihrer Fahrten

**4. Wie viele km fahren Sie durchschnittlich pro Jahr?**

- weniger als 5.000 km  
 5.000 – 10.000 km  
 10.000 – 20.000 km  
 mehr als 20.000 km

**5. Wie oft fahren Sie derzeit mit dem Auto?**

- täglich  
 ab und zu  
 sehr selten

**6. Haben Sie Erfahrung mit Automatikgetrieben?**

- Ja     Nein

### 7. Welche Erfahrung haben Sie selbst mit:

	keine	Schon mal ausprobiert	Nutze ich hin und wieder	Nutze ich regelmäßig	Ist in meinem Auto eingebaut
Kollisions-Warnsystemen					
Abstandsregelungssystemen					
Systeme zur Unterstützung bei der Spurhaltung					

### Instruktion Simulator

1. „Stellen sie sich vor sie fahren jemandem nach und dürfen ihn nicht verlieren da nur er den Weg kennt. In diesem Szenario müssen sie Ihrem Bekannten hinterherfahren da nur er den Weg zu der genialen Grillparty kennt. Achten sie auch darauf weder ihm noch anderen Verkehrsteilnehmern aufzufahren (ihre Versicherung ist abgelaufen). Bitte überholen sie auf Anweisung. Ihr Bekannter hält sich sehr gut an die Richtgeschwindigkeit (Innerorts: 30/50 km/h; Landstrasse: 80/100 km/h; Autobahn: 120km/h). **„Bitte so nah an dem Vordermann bleiben dass sie das KFZ-Kennzeichen gut lesen können“**.
2. Bitte fahren sie wie im realen Straßenverkehr, es gilt die STVO.
3. Lenkrad bitte mit beiden Händen fest halten.
4. Ihr BMW ist mit verschiedenen Fahrerassistensystemen ausgestattet: einem Kollisions-Warnsystem, einem Spurverlassenswarner und einem Spurwechselwarner. Nun erfolgt eine kurze Demonstration der Ausgaben.
5. Falls Fehlermeldungen (Statusmeldungen) kommen, reagieren sie bitte nicht darauf, ihr Auto heilt sich selbst.
6. Während des Versuchs werden sie gebeten unterschiedliche Bedieneingaben auszuführen (immer mit der ON-Taste am Lenkrad). Bitte überprüfen sie diese im I-Kombi. Das nennt man Bedienrückmeldung; **Beispiel** -> kam die BR **rechtzeitig** (oder zu früh oder zu spät)?
7. Nun erkläre ich ihnen noch eine Skala die Ihre mentale Beanspruchung erfassen soll. Während des Versuchs werde ich sie öfters danach fragen (wenn ich **Skalenwert 0-150** sage); die Skala lege ich ihnen ins Auto;
8. Fragen die ich stelle spontan und zügig beantworten!

**Protokollbogen**

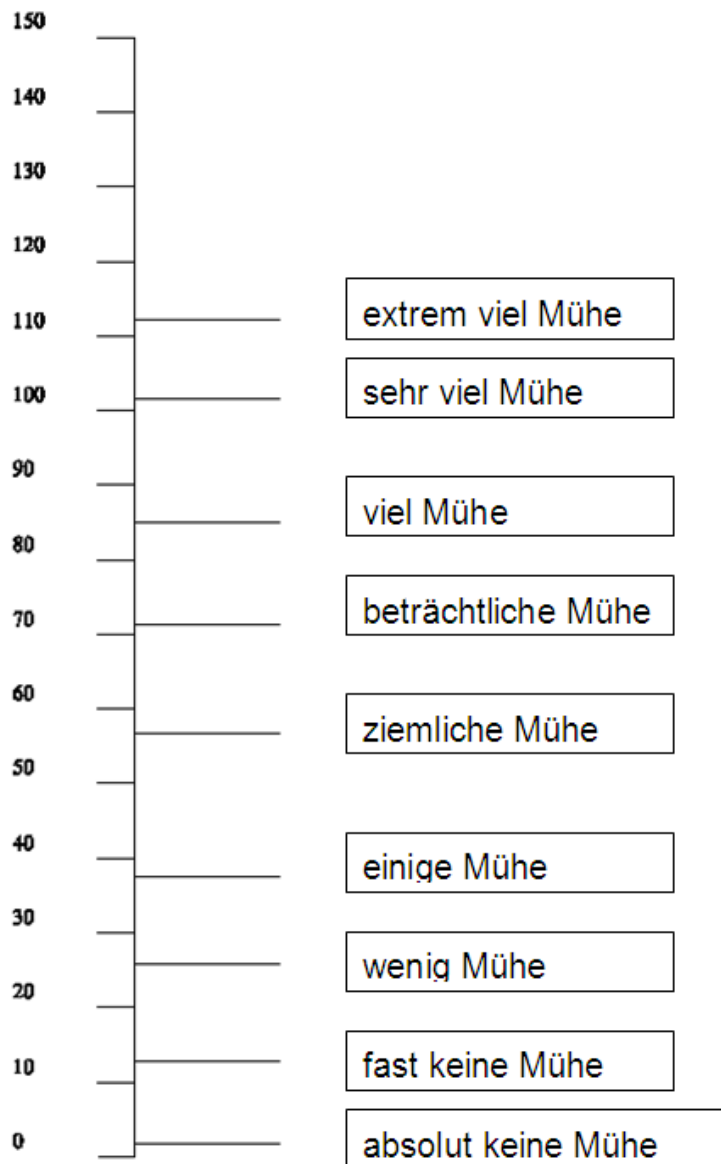
<b>Gruppe</b>	<b>Situation</b>	<b>Ist bei den Anzeigen etwas aufgefallen?</b>	<b>Skalenwert</b>	<b>Anmerkung (Event ok?)</b>
	Übungsblock			
Start Gruppe 1				
	Kritisches Event 1			
	Baseline 1			
	Pause Gruppe 3			
	Kritisches Event 2			
Start Gruppe 2				
	Kritisches Event 3			
	Kritisches Event 4			
	Kritisches Event 5			
	Kritisches Event 6			
	Baseline 2			
	Pause Gruppe 1			
	Kritisches Event 7			
Start Gruppe 3				
	Kritisches Event 8			
	Baseline 3			
	Pause Gruppe 2			
	Kritisches Event 9			
	Kritisches Event 10			

## Anhang B: Subjektive Erhebung: Rating Scale für Mental Effort (RSME)

**RSME**

**Gruppe:**            **Vp no:**            **Datum:**

Bitte geben Sie durch markieren der unten stehenden Achse an, wie viel Mühe es für Sie bedeutet hat das System und seine Komponenten zu nutzen.



### Anhang C: Abbildung der am Versuch beteiligten Fahrzeuge und Personen

---

Abbildung der Fahrzeuge (blau) und des Versuchsträgers (grau). Die Fahrzeuge wurden von einem Praktikanten (rechts) und einem Diplomanden (links) gefahren, der Versuchsträger von der Versuchsperson.



Abbildung der Kameraperspektiven und der Meßelektronik im Versuchsträger.



## Anhang D: Experimental- und Kontrollevents

---

Die folgenden Abbildungen zeigen die Experimental- und Kontrollevents. Die einzelnen Szenarien des Versuchs sind in Skizzen (links) und Fotos (rechts) dargestellt. Die Füllevents, wie Kreisfahrten und MMI Aufgaben, werden auf Grund ihrer Trivialität nicht näher beschrieben.

Experimentalevent: parallele Ausgabe von KW und TLC



Experimentalevent: parallele Ausgabe von KW und SWW A



Experimentalevent: Ausgabe TLC eine Sekunde vor der KW



Experimentalevent: parallele Ausgabe von KW und SWW B



Experimentalevent: parallele Ausgabe von KW und wahlweise SWW A oder SWW B (Ersatzevent)



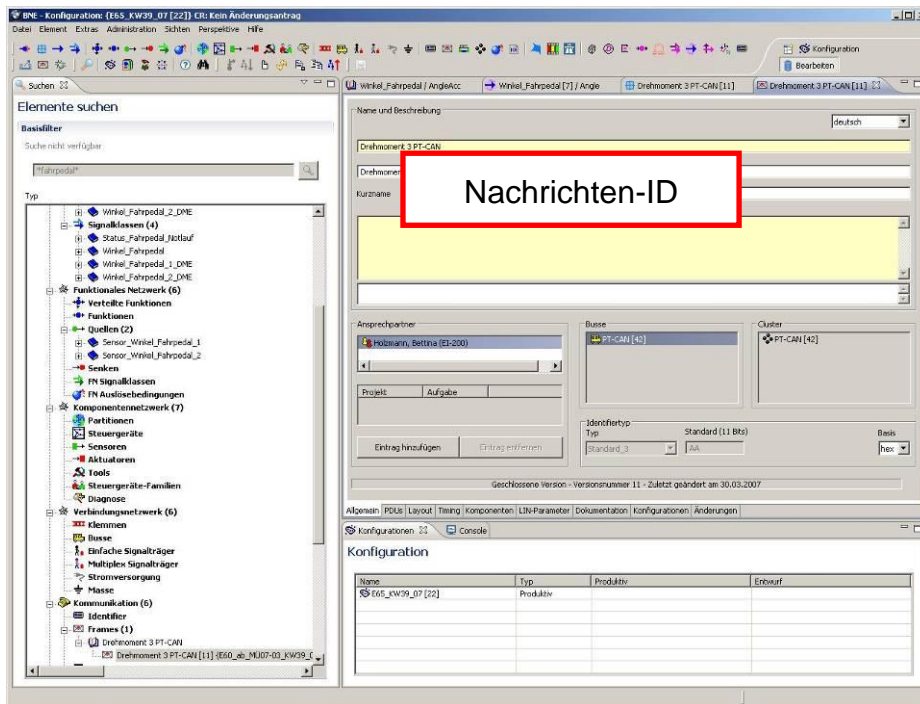
Kontrollevent: alleinige Ausgabe der KW (Baselinemessung)



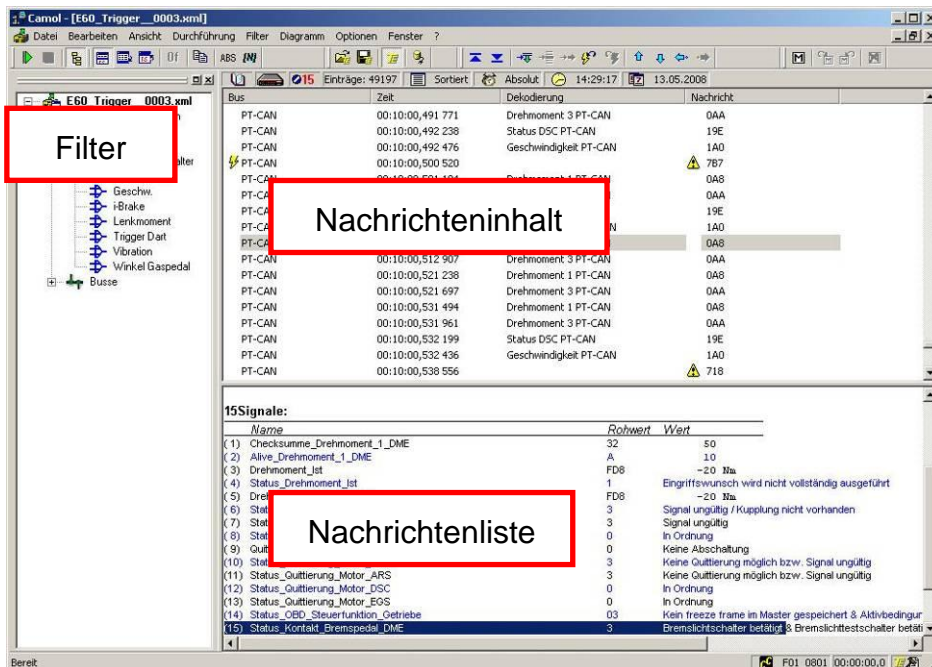


# Anhang E: Vorverarbeitung der Daten mit CARMEN und Matlab

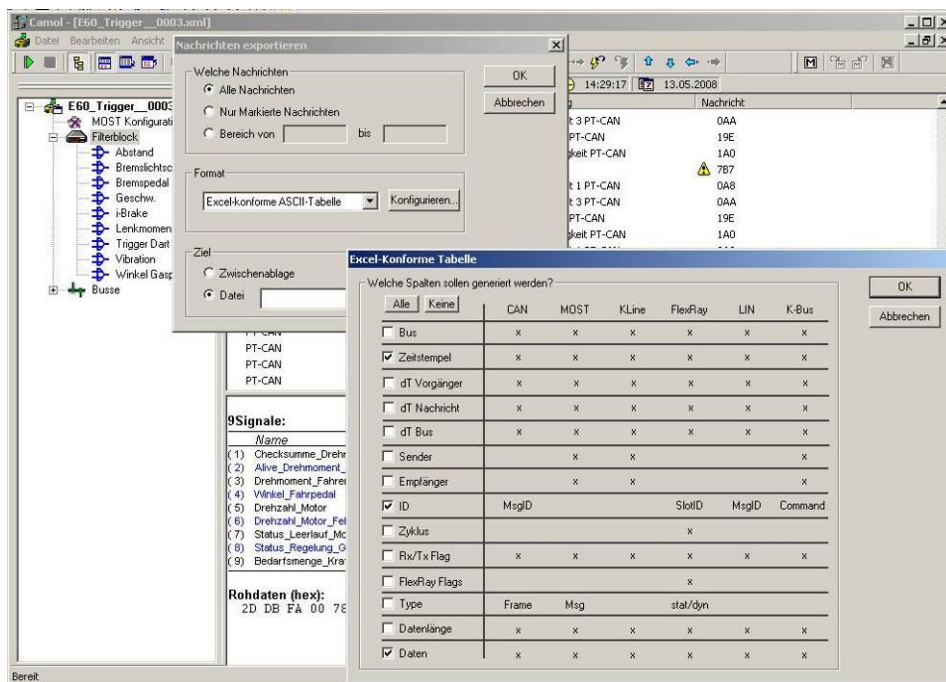
## 1. Nachrichten mit Hilfe der Bordnetzdatenbank identifizieren



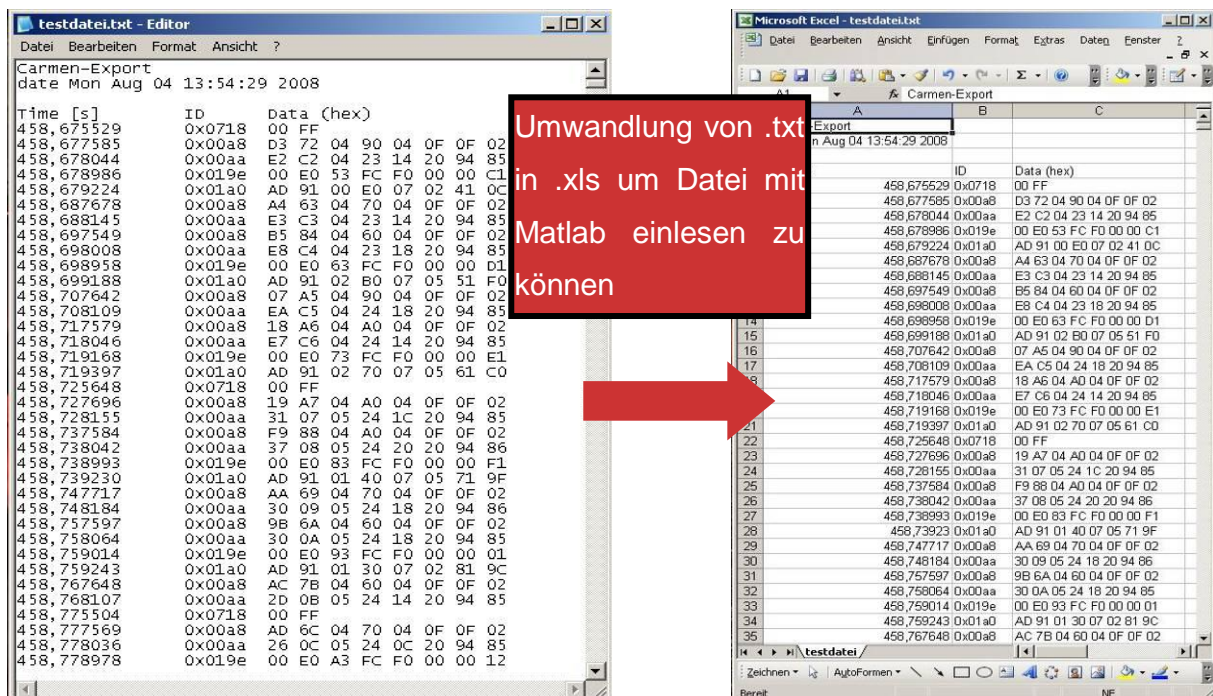
## 2. Relevante Nachrichten filtern



### 3. Gefilterte Nachrichten exportieren



### 4. Gefilterte Nachrichten konvertieren



## 5. Daten in Matlab einlesen um Ergebnisse zu erhalten

The screenshot displays the MATLAB environment with several key components:

- Workspace:** A table listing variables and their classes. The variable `zreakt` is highlighted with a red box and labeled "Datenausgabe".
- Array Editor:** Shows a detailed view of the `zreakt` variable, with a red box and label "Detailansicht Datenausgabe".
- Command Window:** Shows the execution of commands to load and process data files. A red box and label "Befehlsfenster" are placed over this window.
- Command History:** Shows a list of previously executed commands.

Name	Value	Class
abstand	<2242x2 double>	double
bremsbeiausga...	false	logical
datei	'39_Aumann_000...	char
dist	30	double
dtw	<147x1 double>	double
zgas	<7501x1 double>	double
zgegenlenk	[]	double
zibrake	644.53	double
zreakt	645.94	double
zvirtr	[]	double

```
datei =  
39_Aumann_0003.xls  
>> stempel  
>> datei='39_Aumann_0004.xls'  
  
datei =  
39_Aumann_0004.xls  
>> datei='39_Aumann_0004.xls'  
  
datei =  
39_Aumann_0004.xls  
>>
```

## Anhang F: Übersicht der Fahrscenarien

Drehbuch mit einzelnen Szenarien (HG: Hauptgasse, NG: Nebengasse, WP: Wendepunkt über der Autobahn)

Szenario	Ort	Event	Ausgaben
1 (Start Gruppe 1)	Hütchen nach NG 2	Experimentabedingung	KW + TLC, parallel
2	Radon	Füllevent	keine
3	Hütchen Kreis	Füllevent	DSC + CC, parallel
4	HG 1	Füllevent	keine
5	Radon	Experimentabedingung	KW + SWW A, parallel
6	Hütchen Kreis	Füllevent	DSC
7	NG 1	Füllevent	keine
8	WP	Füllevent	keine
9	HG 2	Füllevent	keine
10	Hütchen nach NG 2	Experimentabedingung	TLC 1 s vor KW
11	NG 2	Füllevent	keine
12 (Start Gruppe 2)	Hütchen Kreis	Füllevent	DSC + CC, zeitversetzt
13	nach NG 1	Kontrollbedingung	KW
14	Radon	Füllevent	keine
15	HG 1	Experimentabedingung	KW + SWW B, parallel
16	Kreis	Füllevent	keine
17 (Zusatzerhebung)	HG 1	Experimentabedingung	KW + SWW A oder B

Anhang G: GUI des Konzepts zur Fahrerleistungsschätzung basierend auf der Interaktion mit nichtfahrrelevanten Nebenaufgaben

### Applikation der Parameter anhand realer Fahrscenarien

**Anzeigebereich der B1 zugeordneten Bedieneingaben**

**Anzeige- und Konfigurationsbereich der B2 zugeordneten Bedieneingaben**

**Auswahlbereiche zum manuellen setzen der B2 Status**

**Anzeige- und Konfigurationsbereich der iDrive-Bedieneingaben**

**Anzeige- und Konfigurationsbereich für den Flash-Speicher sowie Auswahl der verwendeten Systemparameter**

**Anzeigebereich der aktuellen Fahrerleistungsstufe**

**Anzeigebereich für Debugwerte**

**Konfigurationsbereich für das angebundene Bedienelement**

**Knöpfe zum manuellen auslösen aller Klassen von Bedieneingaben**

B1	
BC	BC verwendet Logiktrigger <input checked="" type="checkbox"/> Ja
Licht	ZV <input type="checkbox"/>
Rollo	Fenster <input type="checkbox"/>
Klima	Sitz <input type="checkbox"/>
Wischer	Lenkrad <input type="checkbox"/>
FAS	Audio <input type="checkbox"/>
Spiegel	ZBE Tasten <input type="checkbox"/>
max. Unterbrechung FL0->FL1	100 100
Dauer FL0->FL1	200 200
Verzögerung FL1->FL0	2000 2000
Dauer FL1->FL2	1500 1500
Verzögerung FL2->FL0	2000 2000
B1 Statuswechsel mit Zeitzuweisung	
<input type="checkbox"/> Haltedauer	200 200
B1 Statuswechsel mit Logikwechsel	
<input type="checkbox"/> Haltedauer	1000 1000
Verzögerung FL1->FL0	0 0

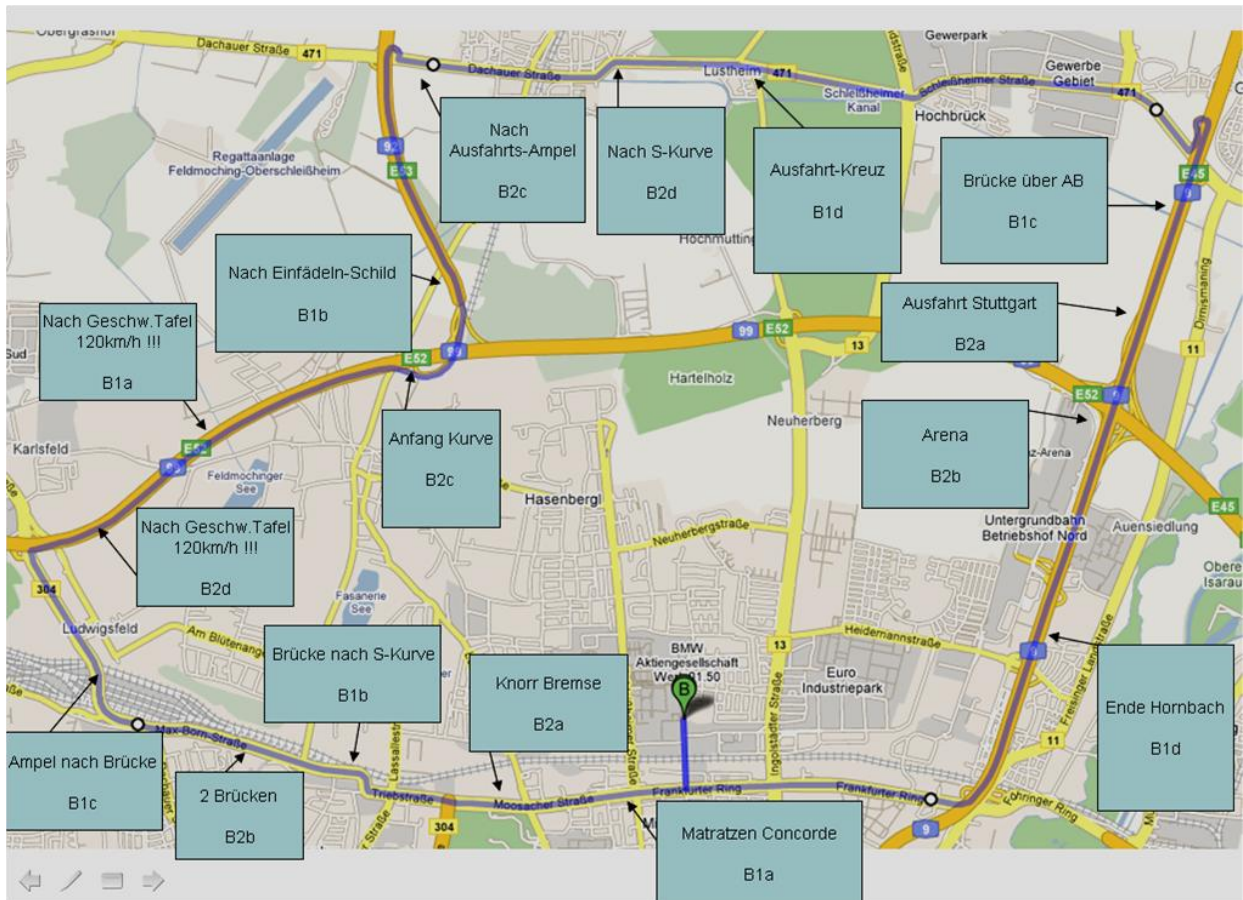
  

B2	
Verzögerung FL2->FL0	
Telefonstatus	<input type="checkbox"/> 2000 2000 <input type="checkbox"/>
PTT Status	<input type="checkbox"/> 2000 2000 <input type="checkbox"/>
iDrive	
Verzögerung FL2->FL0 bei B2	
Drive Menüposition B2	<input type="checkbox"/> 3000 3000 <input type="checkbox"/>
ZBE	L6 ZBE <input checked="" type="checkbox"/>
Flash Speicher	
<input type="checkbox"/> Eingabeparameter verwenden und diese beim nächsten Ausschalten speichern	
Fahrerleistungsstufe	
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="width: 50px; height: 50px; background-color: green; border-radius: 50%;"></div> <div style="margin-left: 10px;">0</div> </div> <p style="text-align: right; margin-right: 10px;">18745</p>	
<input type="checkbox"/> Schalter1 (TEL) an Bedienelement erzeugt B1 anstatt TEL-Status	
<input type="button" value="Test ZBE"/> <input type="button" value="Test B1"/> <input type="button" value="Test B1 St"/> <input type="button" value="Test B1 Lo"/>	

**Anzeige der aktuell verwendeten Systemparameter**

**Eingabefeld für Systemparameter**

Anhang H: 16 Usecases aufgeteilt auf die ca. 20 km lange Fahrstrecke



## Anhang I: Detaillierte Beschreibung der Instruktion

Die eingerahmten Usecases wurden in der Auswertung betrachtet:

**B1: Eingaben über das MFL/Klimabedienteil**

a. Bitte die Heck-Scheiben-Heizung einschalten, die **Klimaanlage auf Auto stellen** // **Intensität verstellen**, die Temperatur für den Fahrer um 5° erhöhen und die Heck-Scheiben-Heizung ausschalten. Dann **Klima-Intensität verstellen** // **Klima-Automatik wieder aktivieren**

b. Bitte wechseln Sie mittels Lenkrad 2 Radiosender weiter, erhöhen Sie die Lautstärke und wechseln nochmals den Sender.

c. Bitte die Heck-Scheiben-Heizung einschalten, bei der **Klimaanlage „Auto“ ausschalten** // **Intensität verstellen**, die Temperatur für den Fahrer um 5° verringern und die Heck-Scheiben-Heizung ausschalten.

d. Bitte wechseln Sie mittels Lenkrad von Radio auf CD und machen etwas lauter. Dann nochmals die Quelle wechseln und leiser stellen.

**B2: Eingaben über das ZBE**

**Immer aus dem Hauptmenü !!!**

a. Bitte Fahrzeuginfo mittels iDrive wählen. Dann in den Fahrzeugstatus und

- **Servicebedarf**
- **Check Control**

Aktivieren und zurück ins HM.

b. Bitte wechseln Sie mittels iDrive zur Navigation und schalten Sprachhinweise **ein** // **aus**. Anschließend wechseln Sie die Kartenansicht und **verkleinern** // **vergrößern** den Maßstab. Dann zurück ins HM.

c. Bitte wechseln Sie mittels iDrive im Radio manuell zur Frequenz **96,3** // **93,3** und kehren zurück ins HM.

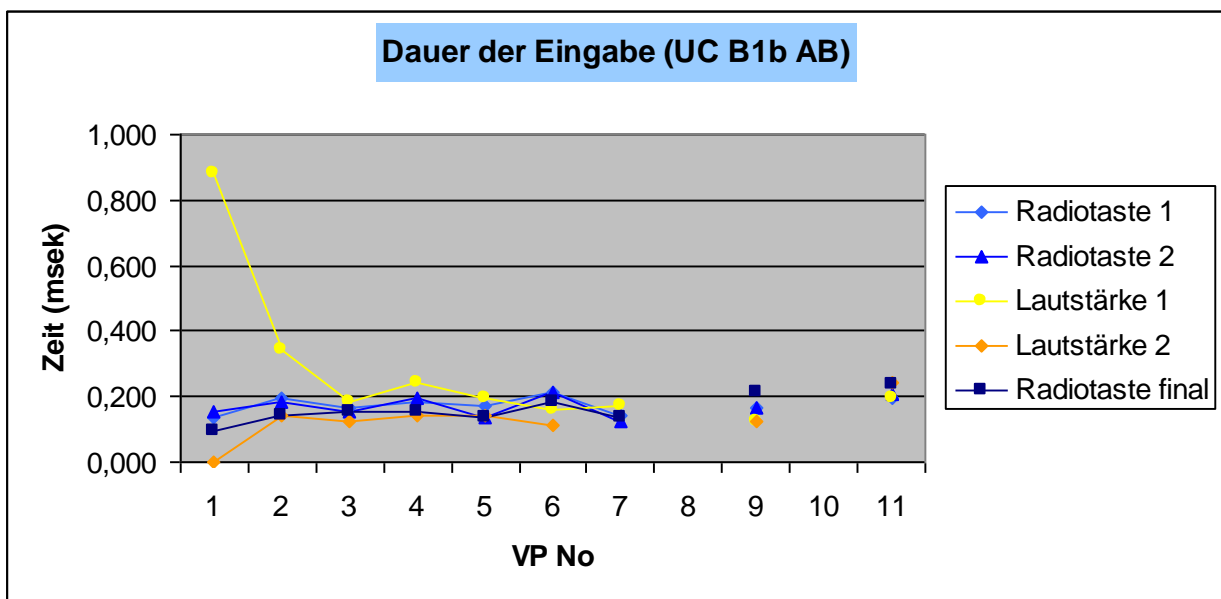
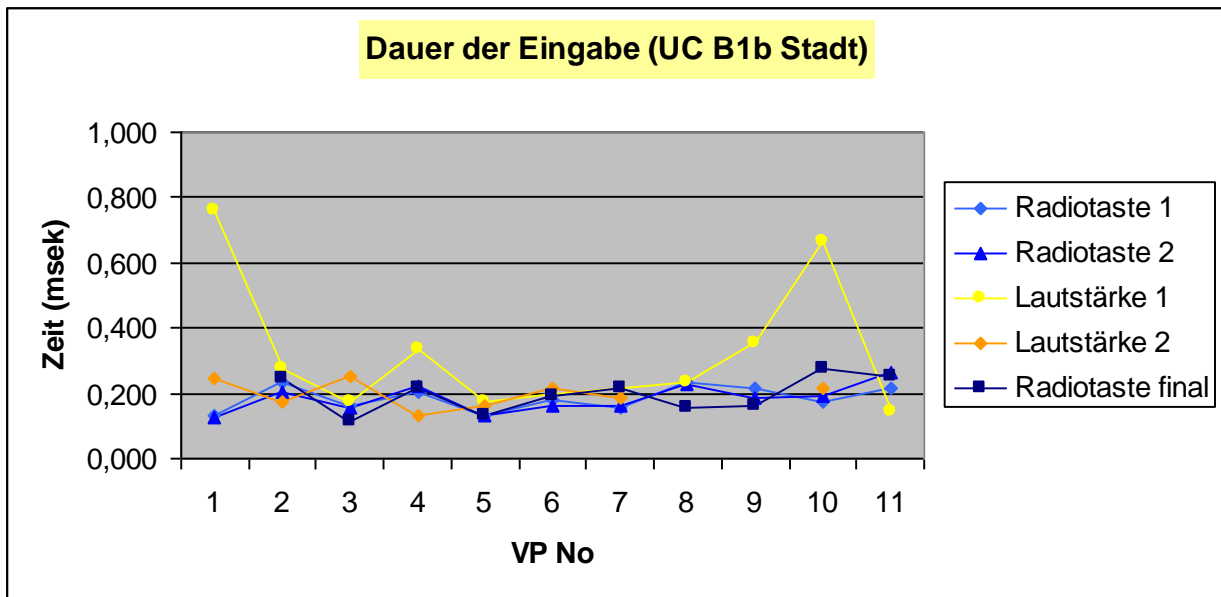
d. Bitte wechseln Sie mittels iDrive auf Musiksammlung, dann Top 50 und suchen das Lied **Red Flag** // **Call on Me**  
Anschließend zurück ins HM.

**Immer zurück ins Hauptmenü !!!**

**WICHTIG: Die Aktionen so zügig wie möglich, jedoch der Fahrsituation angepasst, ausführen!!!**

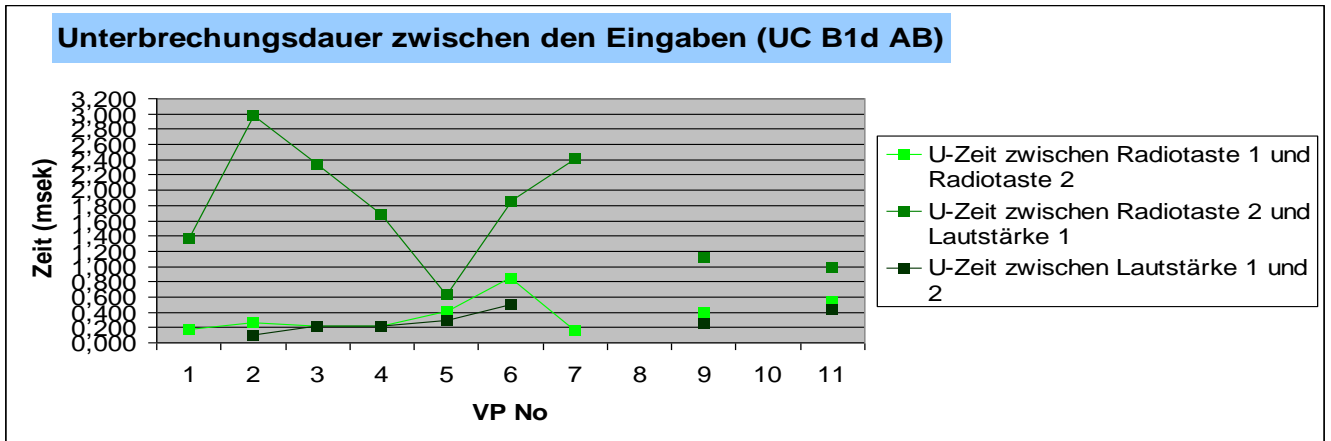
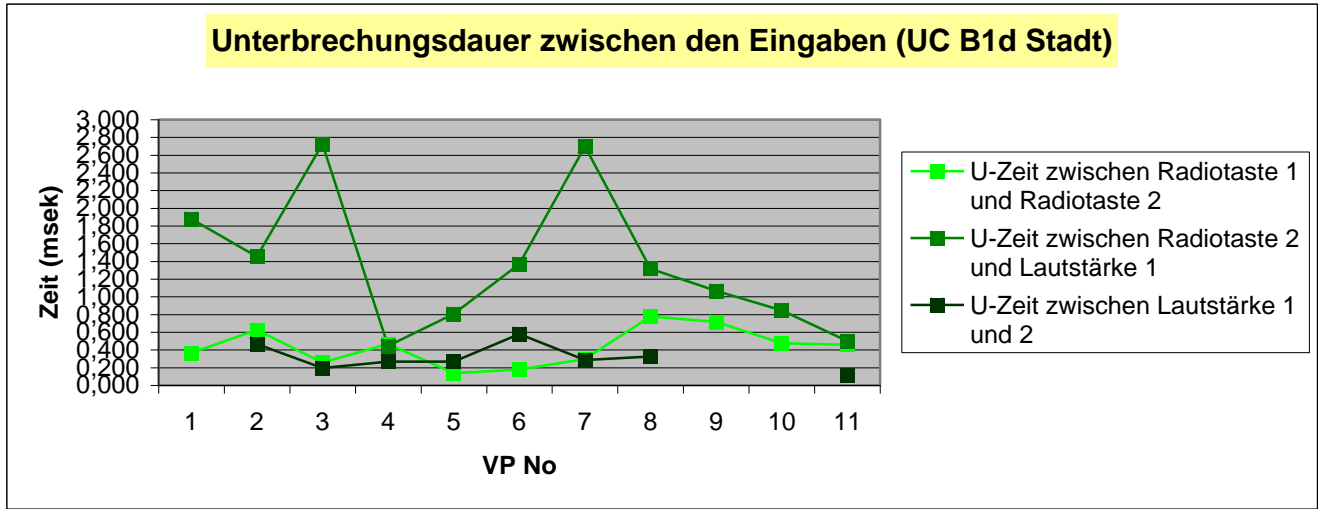
Anhang J: Auswertung der M und U eines MFL- und eines ZBE-Usecases

**Bedienzeiten** für einen Radio-Usecase in der **Stadt** (oben) und auf der **AB** (unten)

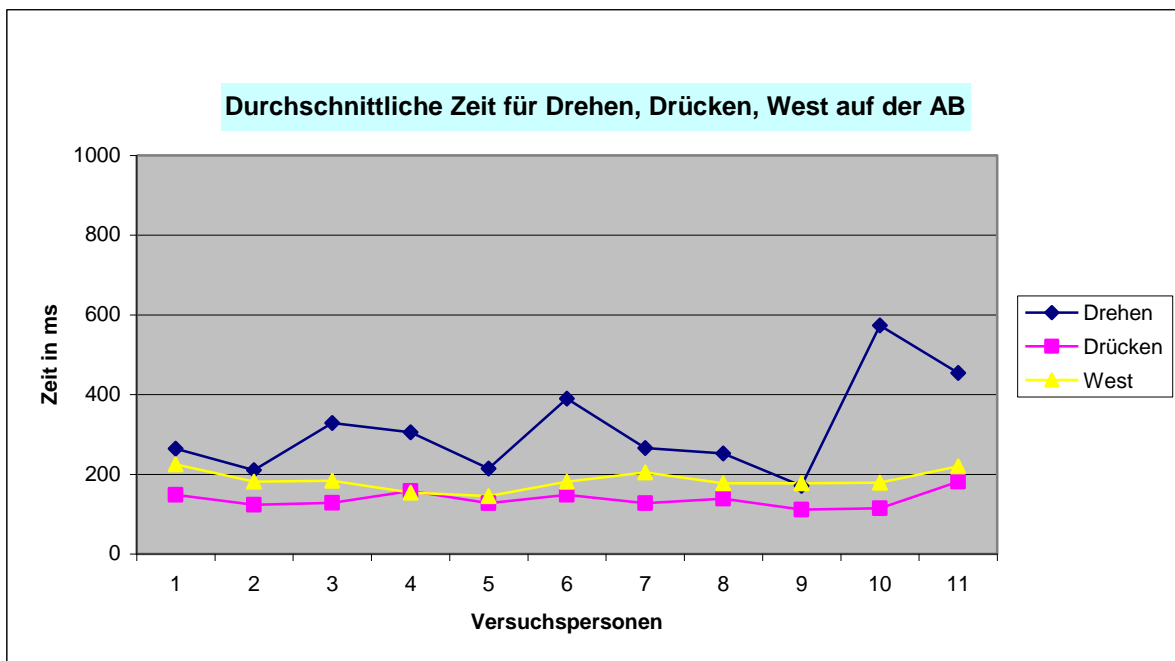
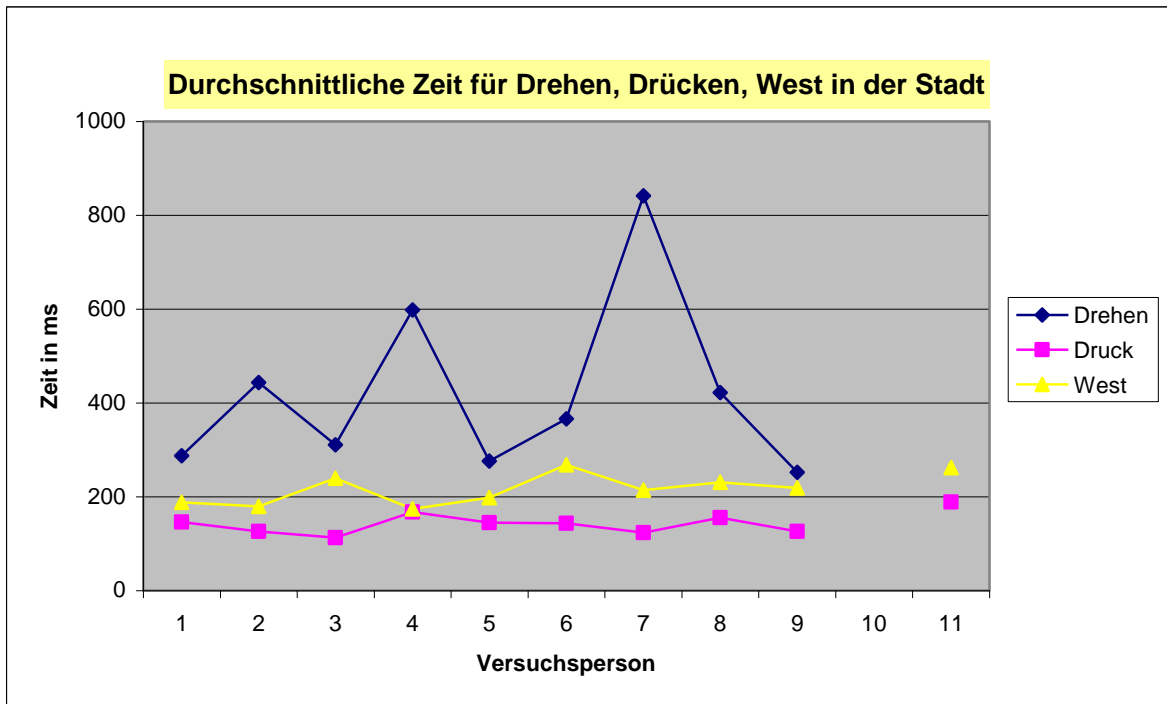




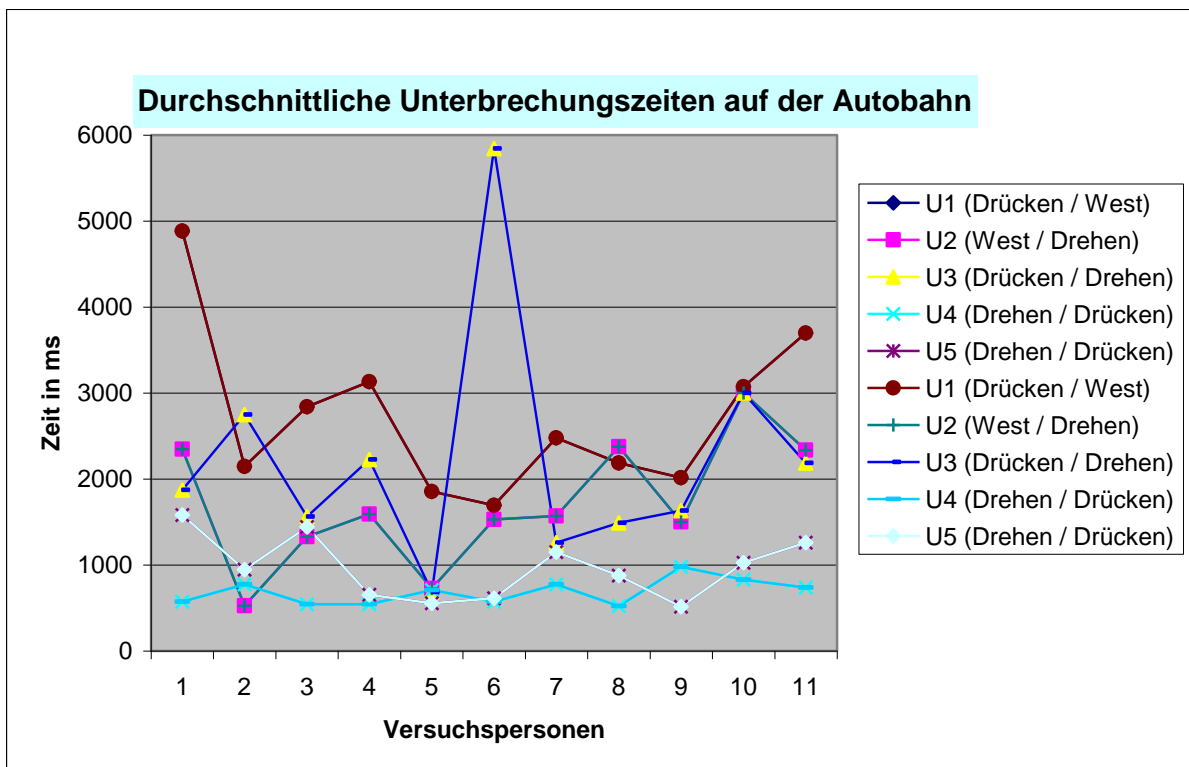
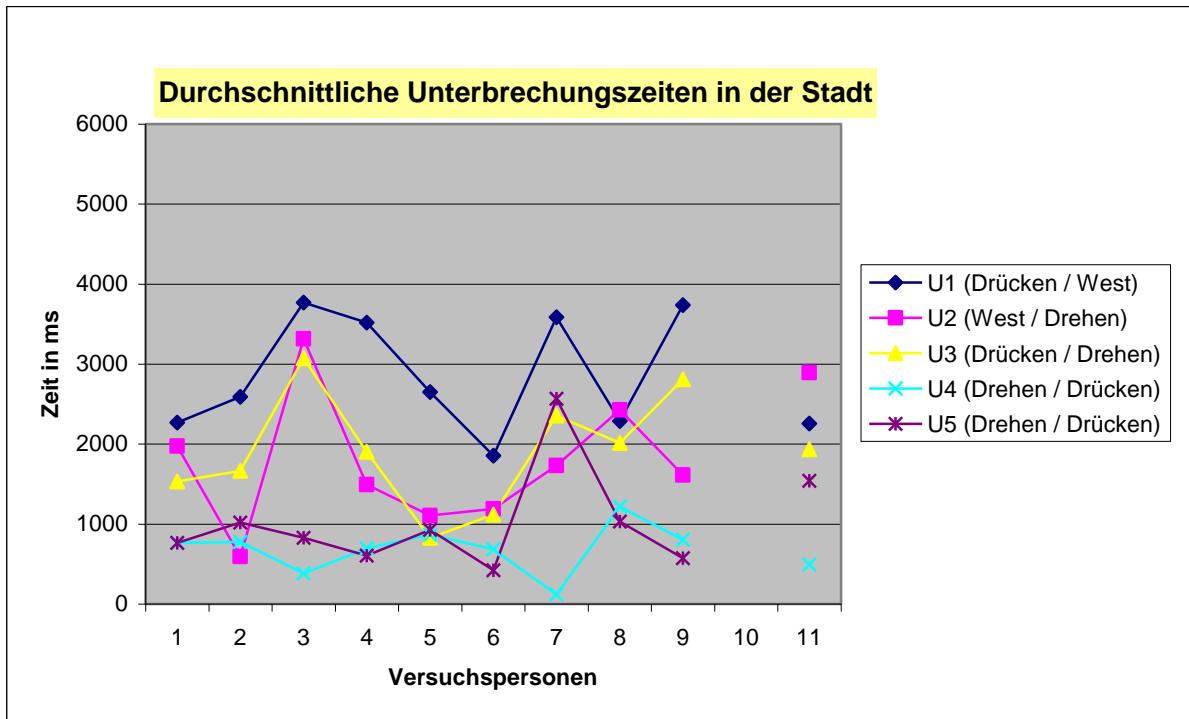
**Unterbrechungszeiten für einen Radio-Usecase in der Stadt und auf der AB**



**Bedienzeiten** für einen ZBE-Usecase in der **Stadt** und auf der **AB**



**Unterbrechungszeiten für einen ZBE-Usecase in der Stadt und auf der AB**



Anhang K: Fahrstrecke und Usecases des Versuchs zur Akzeptanz vorgezogener Warnschwellen

Bedienhandlungen der Gruppe 1 (a bis f) werden als leicht/kurz, die der Gruppe 2 (a bis f) als schwer/lang eingestuft.

**1a) Die Klimaanlage auf Auto stellen**  
 Intensität verstellen,  
 Temperatur für den Fahrer um 5° erhöhen.  
**Heckscheibenheizung an**  
**Klima-Intensität verstellen**  
 Klima-Automatik wieder aktivieren  
 Heckscheibenheizung aus

**1b)** Bitte schalten Sie im FAS-Bedienfeld erst die Kollisionswarnung (T2), dann Nightvision (T4) ein.

**1c) die Klimaanlage auf Auto stellen**  
 Intensität verstellen,  
 die Temperatur für den Fahrer um 5° senken  
**Heckscheibenheizung an**  
**Klima-Intensität verstellen**  
 Klima-Automatik wieder aktivieren  
 Heckscheibenheizung aus

**1d)** Bitte Fahrer-Fenster halbauf und wieder zu. Dann Beifahrerseite.

**1e)** Reichweite in BC anzeigen lassen dann den durchschn. Verbrauch

**1f)** Licht ein,  
 Nebenscheinwerfer vorn und hinten ein,  
 Licht aus,

**2a)** Bitte Fahrzeuginfo mittels iDrive wählen. Dann in den Fahrzeugstatus und  
 - **Servicebedarf**  
 - Check Control  
 Aktivieren und zurück ins HM.

**2b)** Bitte wechseln Sie mittels iDrive zur Navigation und schalten Sprachhinweise **ein** // aus. Anschließend wechseln Sie die Kartenansicht und **verkleinern** // vergrößern den um 2 Stufen Maßstab. Dann zurück ins HM.

**2c)** Bitte wechseln Sie mittels iDrive im Radio manuell zur Frequenz **96,3** // 93,3 und kehren zurück ins HM.

**2d)** Bitte wechseln Sie mittels iDrive auf Musiksammlung, dann 30. April und suchen das Lied **Westbam** Kylie Minogue aus. Anschließend zurück ins HM.

**2e)** Unter Telefon / Telefonbuch bitte die Heimatadresse anrufen

**2f)** Unter Einstellungen / Zentraler Bildschirm die Helligkeit des Displays um 4 Stufen verstellen

## Anhang L: Protokollbogen und Instruktion

- Ihr Fahrzeug ist mit einer Spurverlassenswarnung ausgestattet; sie warnt sie durch eine Vibration am Lenkrad wenn sie zu nah an den Fahrbahnrand fahren; dabei gibt es unterschiedliche Einstellungen die sie testen werden (das System warnt also unterschiedlich früh)
- Sie werden während der 1-stündigen Fahrt eine Reihe an Usecases durchführen; diese werde ich jetzt mit Ihnen durchgehen
- **WICHTIG: Die Aktionen so zügig wie möglich, jedoch der Fahrsituation angepasst, ausführen!!!**
- Nach jeder Warnung werde ich sie fragen ob die Warnung rechtzeitig kam und ob sie angemessen war
- Dabei gilt folgende Skala:

Viel zu früh	Zu früh	Etwas zu früh	Rechtzeitig	Etwas zu spät	Zu spät	Viel zu spät
-3	-2	-1	0	+ 1	+2	+3

## 1. TLC Einstellung \_\_\_\_\_

UC No	N Warnungen	Zeitpunkt (-3 bis +3)	Warnung berechtigt (ja/nein)	Anmerkung
1a				
2a				
1b				
2b				
1c				
1d				
2d				
2c				
2e				
1e				
1f				
2f				

## Anhang M: Instruktion der Experten zur Evaluation der WIM-Logik

VP Nr:

Gruppe:

Name:

- Dies ist ein Versuch zu einem Konzeptentwurf des Warn- und Informationsmanagement (=WIM). Das WIM koordiniert parallele Ausgaben um eine Überlastung des Fahrers zu vermeiden, und hilft, je nach Situation, die richtige Meldung zum passenden Zeitpunkt auszugeben.
- Nachfolgend werden Ihnen neun Szenarien präsentiert bei denen der Fahrer in bestimmten Fahrsituationen ein oder mehrere Anzeigen erhält. Die Anzeigen können Optisch, Akustisch oder Haptisch sein. Achten sie auf das Lenkrad und die Anzeige im Außenspiegel.
- Im oberen Display „A“ sehen sie die Ausgaben mit WIM (also mit Meldungskoordination), im unteren „B“ ohne WIM.
- Bitte bewerten sie nach jeder Anzeige die Varianten „A“ und „B“ nach folgenden 4 Kriterien **(Bitte pro Zeile jedes Kriterium nur 1 x ankreuzen!)**:

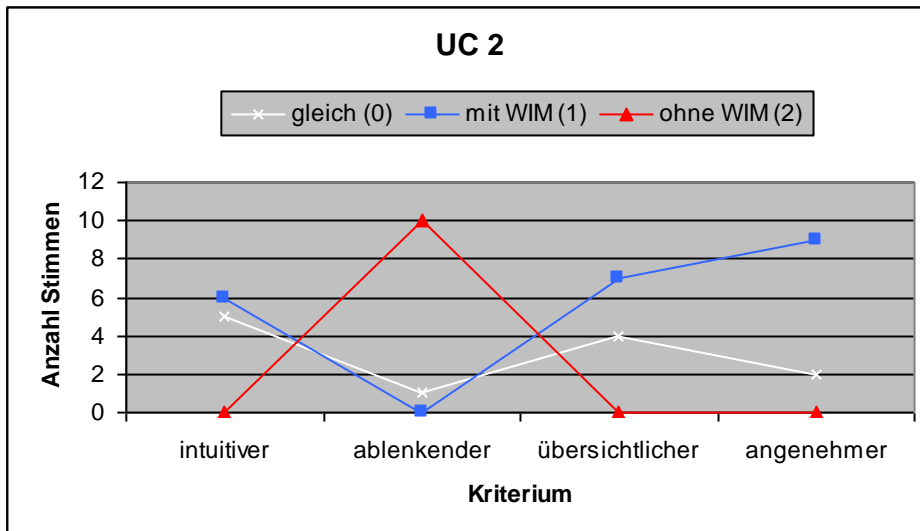
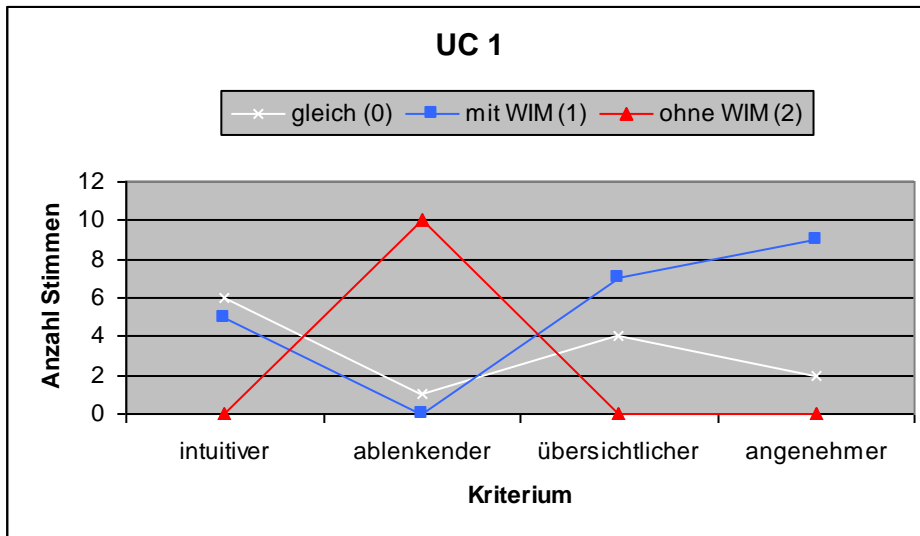
UC No	Kriterium	Bewertung
1.	intuitiver ablenkender übersichtlicher angenehmer	A = B A = B A = B A = B
2.	intuitiver ablenkender übersichtlicher angenehmer	A = B A = B A = B A = B
3.	intuitiver ablenkender übersichtlicher angenehmer	A = B A = B A = B A = B
4.	intuitiver ablenkender übersichtlicher angenehmer	A = B A = B A = B A = B
5.	intuitiver ablenkender übersichtlicher angenehmer	A = B A = B A = B A = B
6.	intuitiver ablenkender übersichtlicher angenehmer	A = B A = B A = B A = B
7.	intuitiver ablenkender übersichtlicher angenehmer	A = B A = B A = B A = B
8.	intuitiver ablenkender übersichtlicher angenehmer	A = B A = B A = B A = B
9.	intuitiver ablenkender übersichtlicher angenehmer	A = B A = B A = B A = B

## Anhang N: Usecases zur Demonstration der WIM-Logik

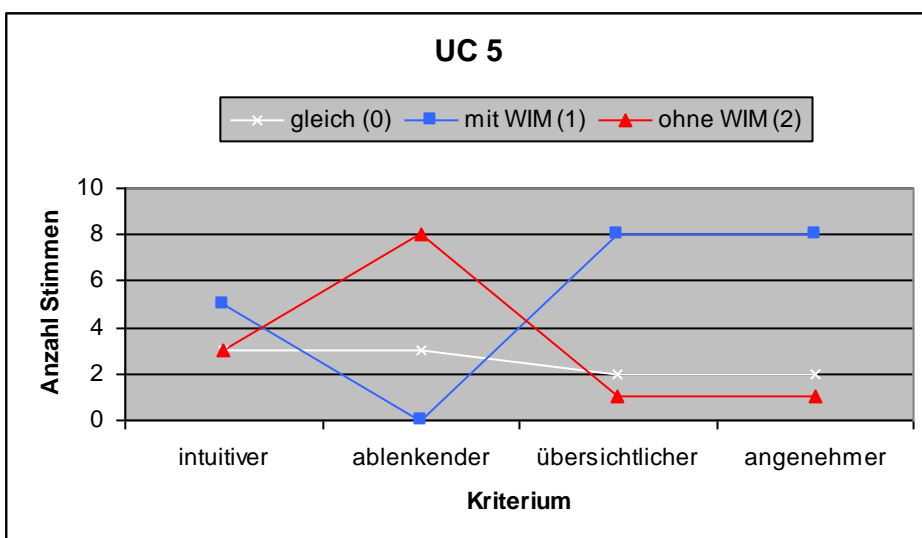
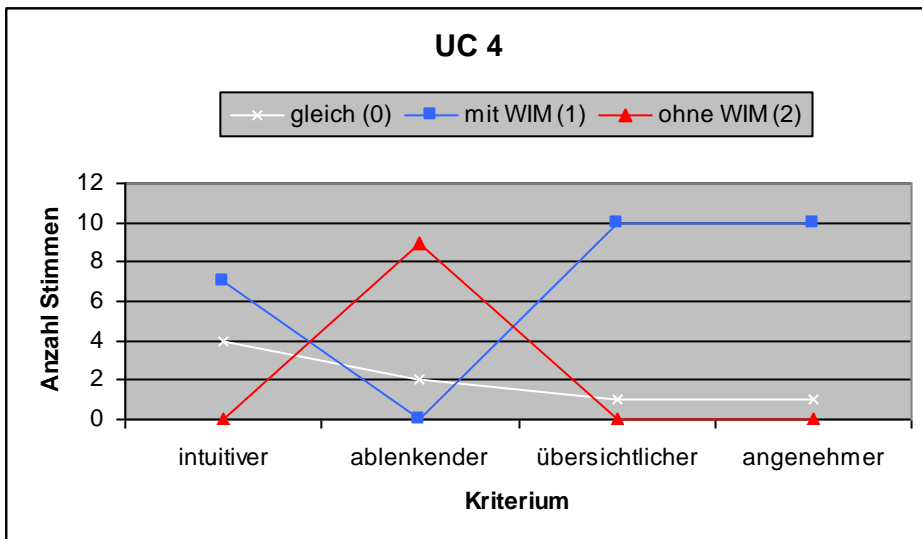
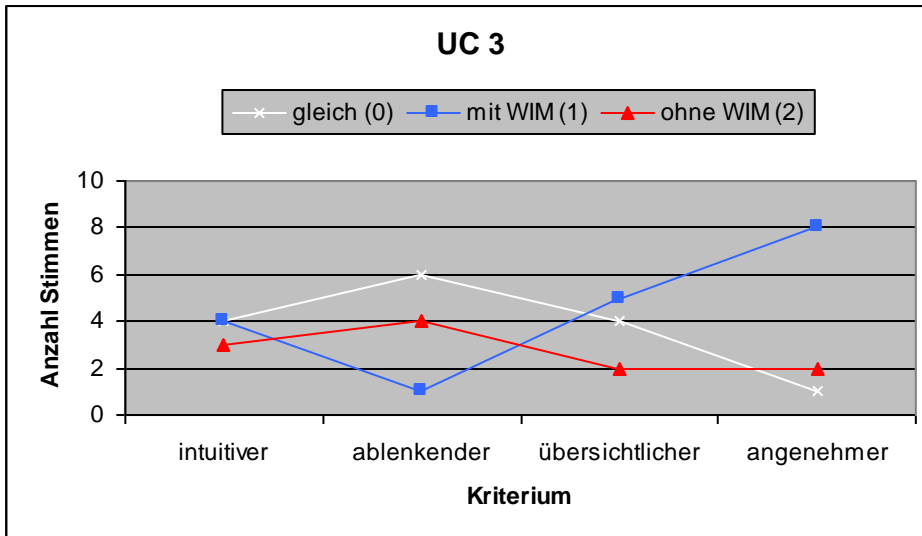
Use case	mit WIM	Erklärung	ohne WIM
<b>Kontextmodule</b>			
• FLS			
1. FLS Stufe 1 + CC Prio 2	CC prio 2 wird unterdrückt	CC Prio 2 kann ruhig später kommen, wenn der Fahrer nicht mehr abgelenkt ist	CC Prio 2 kommt
• Fahrsituation			
2. Kurve (< 5 sec) + CC Prio 3	CC Prio 3 kommt erst nach Ende der Kurve	So lange der Fahrer in der Kurve ist, wird die Meldung zurückgestellt	CC Prio 3 kommt
3. unter 3 Grad + Regen	FAS werden vorgezogen	Bei schwierigen Bedingungen sollen FAS vorgezogen werden, damit der Fahrer mehr Reaktionszeit hat	nichts
• Fahrzeugzustand			
4. ABS + CC Prio 2	CC Prio 2 wird unterdrückt	Unwichtige Meldung wird bei schwierigem Fahrkontext unterdrückt	CC Prio 2 kommt
<b>Priorisierung FAS untereinander</b>			
5. KW Vorwarnung + TLC + KW	KW kommt, TLC kommt nicht	Versuch hat gezeigt: TLC vor KW führt zur Ablenkung	beide kommen durch
6. TLC + ACC Übernahmeaufforderung	TLC kommt, ACC wartet	TLC wichtiger, ACC kann unterdrückt werden, da I-Brake als nächste Stufe absichert	beide kommen durch
<b>Priorisierung Navi und TMC</b>			
7. Navi Vorhinweis + TMC	TMC kommt, Navisound wird unterdrückt	TMC ist nur akustisch und soll durchkommen. Das Navi Bild als andere Modalität darf bleiben.	Navi kommt, TMC kann nicht gehört werden
8. TMC + Navi Vorhinweis	TMC kommt, Navibild kommt	TMC ist nur akustisch und soll bleiben. Das Navi Bild als andere Modalität darf kommen.	Navi kommt und TMC ist nicht mehr zu hören
<b>Priorisierung FAS &amp; FIS / CC</b>			
9. KW (nur 1 Mal und aus) + CCPrio 2	KW kommt, CC Prio 2 kommt 2 sec nach Ende der KW.	Nach einer schwierigen Phase (KW) braucht der Fahrer eine gewisse Refraktionszeit, um wieder aufnahmefähig zu sein	KW kommt, CC Prio 2 kommt gleich nach Ende von KW.

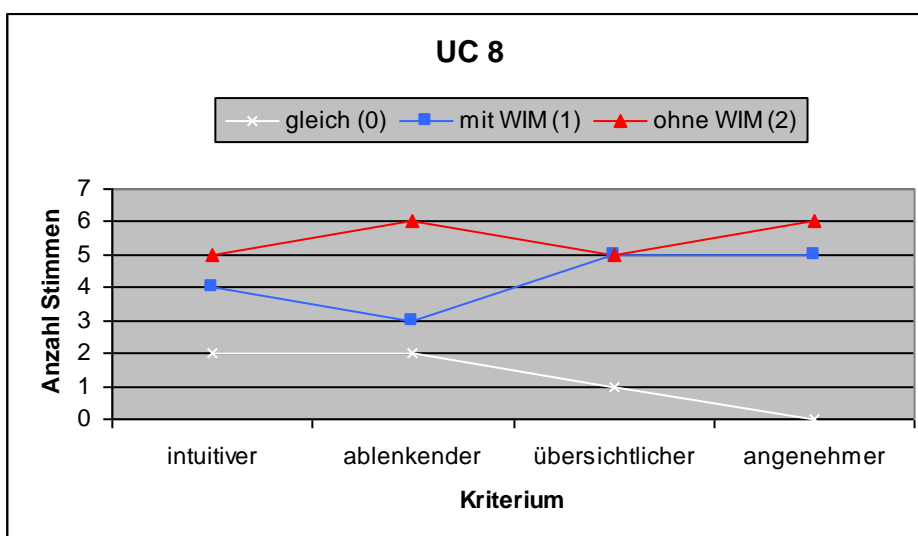
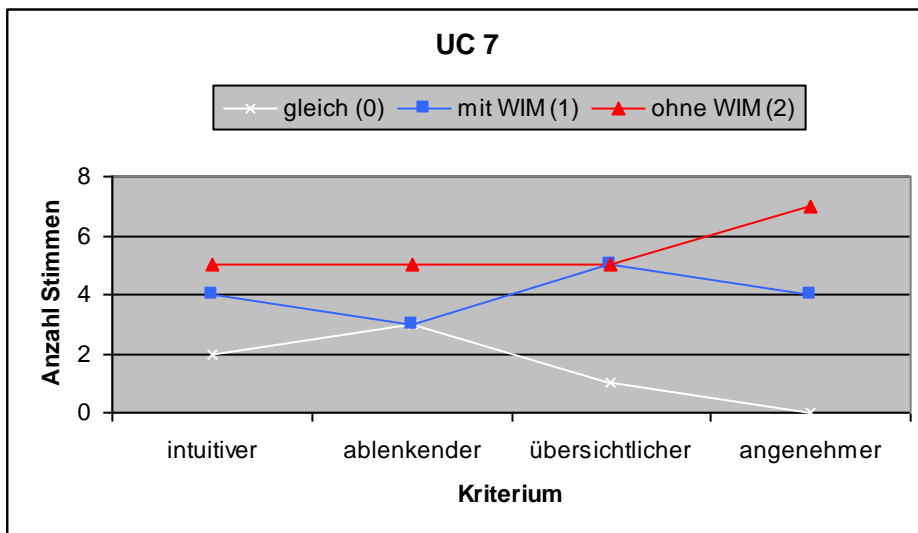
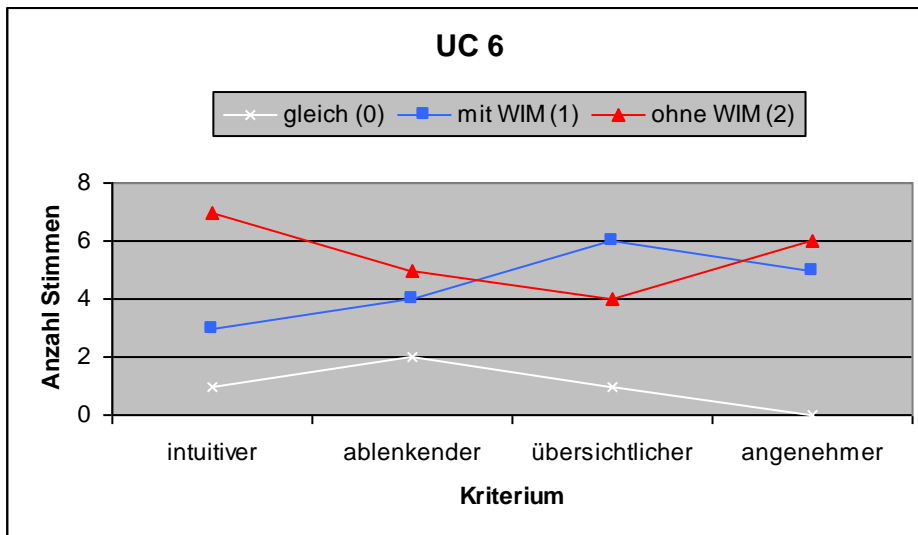
Erklärung: „+“ bedeutet „zusammen mit, die linke Nachricht zuerst“. Bsp: „Navi Vorhinweis + TMC“ bedeutet: erstmals kommt Navi Vorhinweis und gleich danach TMC.

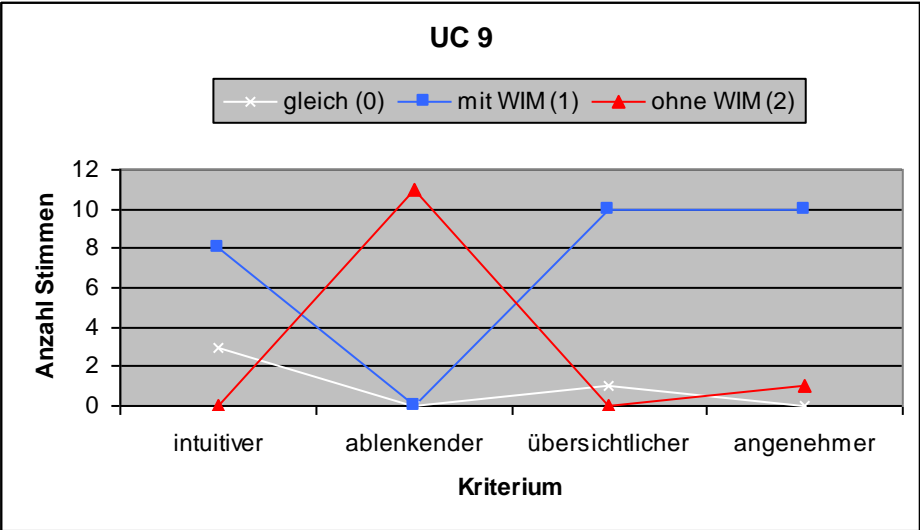
## Anhang O: Ergebnisse der Expertenevaluation für WIM, nach Usecase





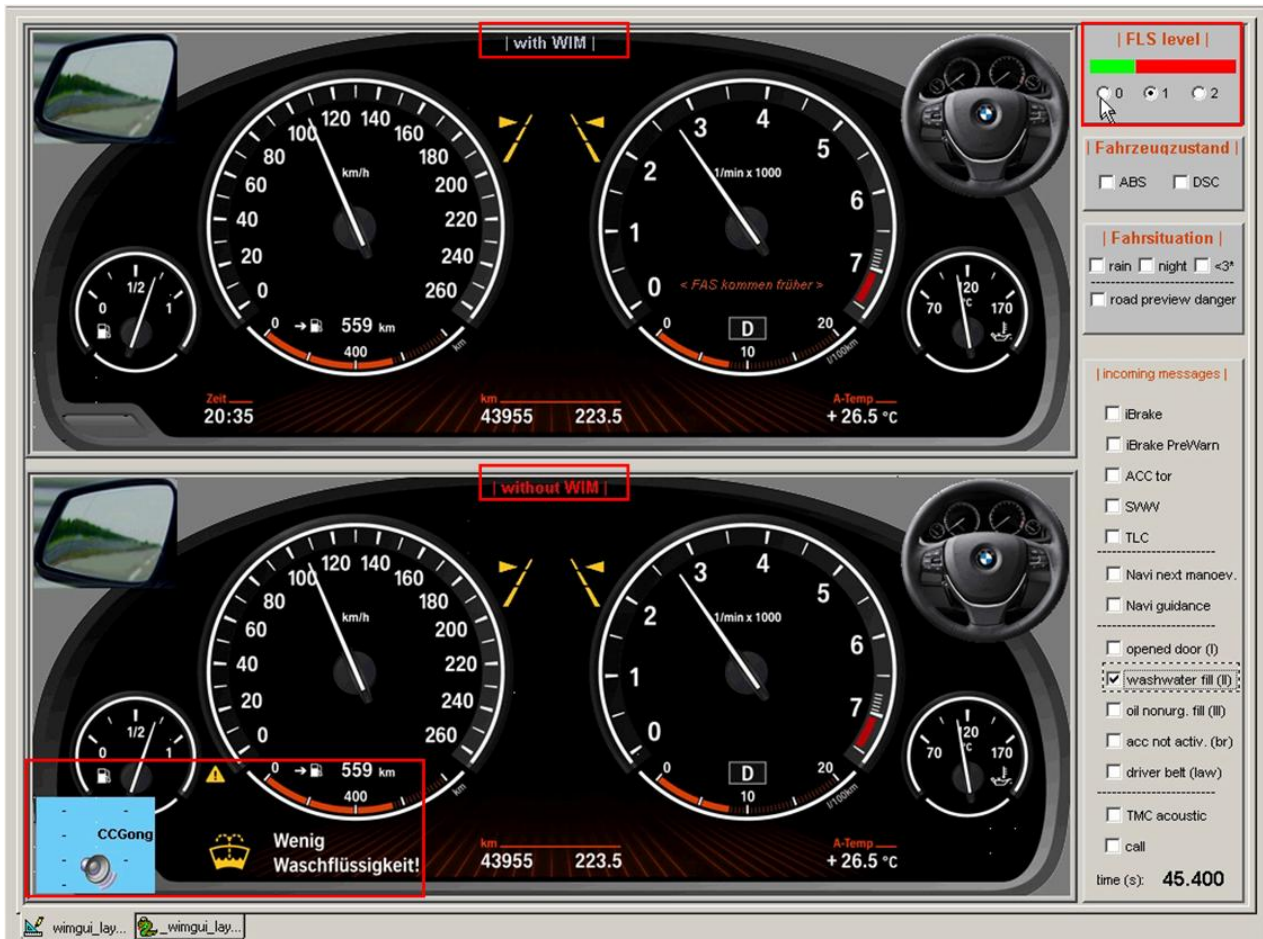






## Anhang P: GUI der WIM-Simulation

Kontextmodul FLS aktiv (oben rechts): in dem unteren Kombiinstrument „ohne WIM“ erscheint die CC-Meldung auch während der Fahrer eine Eingabe macht, in dem oberen Kombiinstrument „mit WIM“ wird die Meldung bis nach Beendigung der Eingabe verzögert.



## Lebenslauf



Ramona J. M. Lerner

### Persönliche Informationen

---

- Nationalität: Deutsch
- Geburtsdatum: 25 Juli 1981
- Familienstand: ledig

### Berufserfahrung

---

- 10/06-10/09: **BMW Group, München. Abteilung für Anzeige- und Bedienkonzepte. Promotion zum Thema: „Warn- und Informationsmanagement im PKW“.**
  - Dokumentation des status quo. Benchmark.
  - Versuchsreihen in der Fahrsimulation und im Realfahrzeug um zeitnahe Ausgaben von Anzeigesystemen zu prüfen und Optimierungspotential aufzuzeigen.
  - Entwicklung eines Algorithmus zur situations- und fahrerzustandsadaptiven Priorisierung von Fahrzeug-Rückmeldungen durch Fahrerassistenz- und Informationssysteme.
  - Projektmanagement: Konzeptverantwortung vom Systementwurf über Modellbildung und Bewertung bis hin zur Systemintegration (Identifikation relevanter Komponenten, Feinspezifikation).
  - Personalverantwortung (Betreuung von Diplomanden und Praktikanten).
- 05/06-09/06: **Universität der Bundeswehr, München. Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik. Institut für Arbeitswissenschaft. Freie Mitarbeit.**
  - Analyse von FAS Konzepten.
  - Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchsreihen in der Grundlagenforschung. Schwerpunkt: Aufmerksamkeit.
  - Ableitung Gestaltungsrichtlinien von MMI.
- 02/06-04/06: **Siemens Medical Solutions, Forchheim. Abteilung CRM Ease of Use für medizintechnische Geräte. Werkstudent.**
  - Requirementsmanagement und -Engineering für die medizintechnischen Geräte Angiographie, Fluoroskopie und Radiographie.
  - Überarbeiten von Änderungsanträgen in der Requirementsdatenbank.

- Usabilityuntersuchungen mit Fokusgruppen.
- 09/05-10/05: **University of Birmingham, Birmingham, UK. Lehrstuhl für Neurowissenschaften. Praktikant.**
  - Konzeption und Realisierung von Experimenten zur visuellen Informationsverarbeitung bei Schlaganfallpatienten via Eye Tracking.
  - Datenanalyse, und Aufbereitung. Finale Präsentation und Diskussion.
- 07/05-08/05: **BMW Forschung und Technik , München. Abteilung für Connected Drive und Mensch-Maschine-Interaktion. Praktikant.**
  - Konzeption und Durchführung von Usability Versuchsreihen zu Anzeigeprototypen.
  - Datenanalyse und Ableitung von Prämissen zur Konzeptoptimierung.

### Ausbildung

---

- 10/06-laufend: **Dissertation** bei der BMW Group, München. Mensch-Maschine-Interaktion: Priorisierung von Warnungen und Informationen je nach Fahrsituation und Fahrerzustand. München. Betreuung: Universität der Bundeswehr, Neubiberg.
- 10/04-09/06: **Master of Science** in Neurokognitiver Psychologie an der Ludwig-Maximilians-Universität, München. Elite Netzwerk Bayern.
- 10/01-06/04: **Bachelor** in Psychologie an der Universität René Descartes der Sorbonne, Paris.
- 09/92-06/01: **Abitur** am Käthe-Kollwitz-Gymnasium, München.

### Publikationen

---

- 2008: Ramona Lerner. *Ein Stufenmodell zur Fahrerleistungsschätzung*. Patentanmeldung. München. Aktenzeichen 102008056343.9.
- 2008: Ramona Lerner, Josef Schumann & Berthold Färber. *Priorisierung von Rückmeldungen an den Fahrer: Konzeption eines fahrsituations- und fahrerleistungsadaptiven Warn- und Informationsmanagers*. VDI-Tagung "Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenz" in Wolfsburg. ISBN: 978-3-18-092048-1.
- 2008: Ramona Lerner & Josef Schumann. *Warn- und Informationsmanagement im PKW: Priorisierung nach Zeitkritikalität, Fahrerleistung, und Fahrsituation*. Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel. Fachtagung am DLR in Braunschweig. ISBN: 978-3-937655-14-7.
- 2007: Ramona Lerner, Josef Schumann & Lutz Eckstein. *Warn- und Informationsmanagement im PKW*. VDI-Tagung "Fahrer im 21. Jahrhundert" in Braunschweig. ISBN: 978-3-18-092015-3.