

Technische Universität Berlin

# **Entwicklung einer ABK-Metapher für gruppierte Fahrerassistenzsysteme**

**vorgelegt von**

**Dipl.-Ing. (FH) Thomas Lindberg  
aus Dresden**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät V – Verkehrswesen- und Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Ingenieurwissenschaften  
- Dr.-Ing. -**

genehmigten Dissertation.

**Promotionsausschuss:**

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Manfred Thüring

1. Prüfer der Dissertation: Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting

2. Prüfer der Dissertation: Prof. Dr. Phil. Klaus Bengler

**Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 10. Oktober 2011.**

**Berlin 2012**

**D 83**



*Für P.K. und A.S.*



## Danksagung

SARAH („Simplified Advanced dRiver Assistance HMI“) fand mich Anfang 2006 während meiner Tätigkeit bei der BMW Group Forschung und Technik in München und wich über viele Jahre nicht von meiner Seite. Sie begleitete mich in beruflichen Höhen und Tiefen, half mir in Zeiten privaten Trubels und zeigte mir die Grenzen meiner persönlichen Leistungsfähigkeit auf, als sie sich gegen ihre Fertigstellung sträubte – und sie wäre nicht möglich gewesen ohne einige Menschen, denen mein besonderer Dank gilt.

Zuerst möchte ich Prof. Dr. Matthias Rötting für die Betreuung dieser Arbeit danken – trotz eines immer ausgefüllten Terminkalenders waren regelmäßige Rücksprachen und wertvolle Anregungen möglich. Dieser Dank gilt auch Prof. Dr. Klaus Bengler für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Dr. Wisselmann und Prof. Dr. Klaus Bengler machten diese Arbeit seitens BMW möglich – für diese Chance und das gezeigte Vertrauen möchte ich mich bei beiden ausdrücklich bedanken. Ich habe die Zeit unter ihrer Führung sehr genossen.

Meine Doktoranden und späteren Kollegen Nataša Miličić, Stephan Thoma und Lutz Lorenz haben mich motiviert, mir unschätzbaren Input gegeben und zu jeder Zeit helfend zur Seite gestanden. Danke dafür – ich bin stolz, daß es jeder einzelne von Euch weit geschafft hat.

Fürs Korrekturlesen und die Unterstützung bei der statistischen Auswertung muß ich Lutz Lorenz, Christian Raubitschek und insbesondere Lars Tönert meinen allergrößten Dank aussprechen – sie haben Großes geleistet. Zusätzlich haben sie – genau wie Marc Breisinger, Michael Riedl und Simon Isenberg – mit ihren studentischen Arbeiten einen maßgeblichen Anteil an dieser Arbeit geleistet. Ohne Euch wäre sie wohl nicht so weit gediehen.

Meinen äußerst hilfsbereiten Kollegen der BMW Fahrsimulation sei herzlich gedankt – Dr. Alexander Huesmann, Stefan Hofmann, Martin Strobl, Josef Nauderer, Svenja Paradies und Toni Haslbeck. Gleiches gilt für Peter Göb von der Firma Philosys.

Darüberhinaus möchte ich mich bei meinen früheren Kollegen der ZT ausdrücklich für eine fantastische Zeit bedanken – Dr. Verena Broy, Dr. Dirk Ehmanns, Dr. Stefan Graf, Dr. Stefan Hoch, Dr. Gwendolin Knappe, Dr. Nadine Perera, Dr. Mariana Rakic, Dr. Wolfgang Spiessl, Dr. Peter Waldmann, Dr. Thomas Schaller, Dr. Peter Zahn, Dr. Helmut Spannheimer, Dr. Matthias Hopstock, Mehdi Farid und Sivart Sauer.

Last but not least sind mir Piotr Kozuch und Andreas Stengel enorm wichtig. Mit ihnen verbrachte ich die wichtigsten und intensivsten Jahre meines Lebens und es wäre deutlich langweiliger ohne sie gewesen – Danke daß es Euch gibt!



## Zusammenfassung

Fahrerassistenzsysteme (FAS) der Bahnführungsebene halten seit den späten 90er Jahren sukzessive Einzug in Serienfahrzeuge und erhöhen damit die Sicherheit im Straßenverkehr. Die im Zuge dieser Entwicklung etablierten Produkte wie Aktive Geschwindigkeitsregelung (ACC), Spurverlassens-Warnung oder Auffahrwarnung werden künftig mit neuen Systemen wie Kreuzungsassistenten oder Querführung im Stau ergänzt. Die steigende Menge an Assistenten kann jedoch nur dann sinnvoll genutzt werden, wenn Nutzerschnittstelle und Interaktion mit dem Fahrer ergonomisch optimal ausgelegt sind.

Diese Arbeit beschäftigt sich daher mit der Entwicklung von integrativen Anzeige-Bedienkonzepten (ABK) für ein Fahrzeug mit vielen Fahrerassistenzsystemen. Nach einer Bedarfsanalyse und einem Ausblick auf die bis 2015 realisierbaren FAS-Funktionen wird der mentale Wahrnehmungsraum der Fahrer mit Hilfe von Kartensortier-Experimenten erforscht. Die Ergebnisse geben Aufschluss darüber, welche FAS nach Ansicht der Nutzer am ehesten zusammengehören.

Darauf aufbauend, werden zwei Beispiele für integrierte Fahrerassistenz entwickelt, im Fahrsimulator implementiert und anschließend in Probandenversuchen bewertet. Im ersten Beispiel werden dazu die Systeme Spurverlassenswarnung und Spurwechsel-Assistent in einem Gesamtsystem vereint und mit verschiedenen Rückmelde-Strategien ausgestattet. Die Ergebnisse zeigen auf, daß Fahrer einerseits die Nutzfälle dieser Warnsysteme nach Kritikalitäten unterscheiden können und eine kritikalitätsbasierte Rückmeldestrategie bevorzugen. Andererseits lassen die Daten vermuten, dass die Kritikalitätswahrnehmung nicht ausschließlich von der erwarteten Unfallschwere, sondern auch von subjektiven Faktoren wie einer bewussten Spurwechsel-Entscheidung abhängt.

Das zweite Beispiel widmet sich der Definition einer neuen Bedienmetapher, die ABK für Sicherheits-FAS in Gruppen zusammenfasst. Dieses als Kritikalitäts-Raum-Metapher bezeichnete Konstrukt bildet die Basis eines neuen Anzeige-Bedienkonzepts, das ebenfalls im Simulator umgesetzt und mit einem herkömmlichen Einzelsystem-Ansatz hinsichtlich Verständnis und Gebrauchstauglichkeit verglichen wird. Das neue Konzept zeigt keine Nachteile gegenüber der Einzelsystem-Bedienung auf und wird von den Probanden gesamthaft besser bewertet. Darüberhinaus ergeben sich konkrete Hinweise auf Verbesserungspotenziale und weitere Ausbaumöglichkeiten.

## Abstract

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) have been gradually introduced into series production cars since the late 90s and have since continued to significantly increase road safety. New systems like intersection or traffic jam assistants will enhance established features like Active Cruise Control (ACC), Lane Departure Warning and Frontal Collision Warning. However, the increasing amount of functionality only makes sense in conjunction with ergonomically optimized driver interfaces.

Therefore, this thesis deals with the development of integrated Human-Machine-Interfaces (HMI) for cars equipped with multiple ADAS. Firstly, a user-needs-analysis and an outlook on useful assistance functions realizable until 2015, is introduced. Next, card sorting experiments reveal the perceptual space of drivers in terms of driver assistance. The results show which functions most likely belong together according to the users.

From this analysis, two examples of integrated driver assistance systems are developed, implemented in a driving simulator and evaluated with several experiments. The first example combines Lane Departure Warning and Lane Change Assistant into one system with different feedback strategies. The evaluation results show that drivers can differentiate usecases in terms of criticality and can also prefer a criticality-based feedback approach. However, objective data indicates that the perception of criticality is not solely determined by the expected accident severity, but also by subjective factors like the intention to change lanes.

The second example defines a new control metaphor that combines safety ADAS-HMI in groups. Referred to hereafter as a Criticality-Space-Metaphor, this new concept is the basis of an alternative Human-Machine-Interface, which is also implemented in the simulator and compared to a conventional single-system approach in terms of usability and understanding. The new concept proves to be as good as a single-system operation in most aspects and eventually gets a better overall rating. Furthermore, the evaluation trial uncovers optimization potentials and further possibilities for expansion.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation .....	1
1.2	Problemstellung.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit .....	2
<b>2</b>	<b>Grundlagen und Stand der Technik.....</b>	<b>5</b>
2.1	Begriffsdefinitionen .....	5
2.1.1	Mensch-Maschine-Systeme und Mensch-Maschine-Interaktion..	5
2.1.2	Modelle der Fahrzeugführung .....	5
2.1.3	Modelle des menschlichen Leistungsverhaltens .....	7
2.1.4	Mentale Modelle .....	9
2.1.5	Automatisierung, Automatisierungsstufen und Autonomie .....	10
2.1.6	Assistenz- und Fahrerassistenzsysteme.....	12
2.1.7	Probleme durch Automatisierung .....	15
2.2	Klassifikation von Fahrerassistenzsystemen.....	20
2.2.1	Bekannte Einteilungen von Fahrerassistenz.....	20
2.2.2	Klassifikation von FAS nach Handlungsphasen.....	21
<b>3</b>	<b>Gestaltungsmöglichkeiten zur Integration von Fahrerassistenzsystemen .</b>	<b>23</b>
3.1	Integration neuer Systeme bzw. Funktionen .....	23
3.1.1	Integration ohne ABK.....	24
3.1.2	Integration mit neuem, zusätzlichem ABK .....	24
3.1.3	Integration durch Erweiterung eines Systems mit neuen Funktionen ohne ABK-Änderung .....	25
3.1.4	Integration durch Erweiterung einer bestehenden Funktion mit ABK-Änderung .....	25
3.2	Gruppierung bestehender Systemen und Funktionen im ABK .....	26
3.2.1	Gruppierung von ABK-Elementen nach den Gestaltgesetzen .....	27
3.2.2	Modi zur Veränderung der Systemausprägung.....	29
3.2.3	Einführung einer neuen Bedienmetapher mit Modifikation oder Neuverteilung der Funktionen .....	31
<b>4</b>	<b>Bedarfsanalyse für Fahrerassistenz-Systeme .....</b>	<b>33</b>
4.1	Taxonomien der Fahraufgabe.....	33
4.1.1	Existierende Bedarfsanalysen .....	34
4.1.2	Ableitung eines Funktionspools.....	38
4.1.3	Reduktion des Funktionspools.....	41
4.2	Abschätzung des potentiellen Nutzens von FAS .....	41
4.2.1	Szenariotechnik.....	42
4.2.2	Expertenbefragung .....	43
4.2.3	Interaktiver Fragebogen .....	45

4.3	Die Studie „FAS 2015“ – Nutzwertanalyse mit Delphi-Experten-Studie	45
4.3.1	Definition geeigneter Kriterien	45
4.3.2	Die Delphi-Studie als Erhebungsmethode	48
4.3.3	Operationalisierung der Kriterien und Aufbau der Delphi-Studie	48
4.3.4	Stichprobe und Ablauf der Studie	50
4.3.5	Ergebnisse	50
4.3.6	Auswertung und Gewichtung der Kriterien	51
4.3.7	Ergebnisse und reduzierter Funktionspool	52
<b>5</b>	<b>Gruppierung von Fahrerassistenzsystemen im ABK</b>	<b>55</b>
5.1	Gruppierungsmerkmale	55
5.2	Mentales Modell des Fahrers zur Strukturierung von FAS	55
5.3	Fragestellungen	56
5.4	Methodik	56
5.4.1	Kartensortierexperimente bzw. Card Sorting	56
5.4.2	Auswertung mittels hierarchischer Clusteranalyse und multi-dimensionaler Skalierung	58
5.5	Versuch 1 – Pilotstudie mit BMW Mitarbeitern	60
5.5.1	Versuchsaufbau und Durchführung	60
5.5.2	Stichprobe	63
5.5.3	Ergebnisse	63
5.6	Versuch 2 – Konsolidierung mit externen Probanden	70
5.6.1	Versuchsaufbau und Durchführung	70
5.6.2	Stichprobe	70
5.6.3	Ergebnisse	71
5.7	Versuch 3 mit optimierten Voraussetzungen (Helmer, 2007)	77
5.7.1	Versuchsaufbau und Durchführung	77
5.7.2	Stichprobe	79
5.7.3	Ergebnisse	79
5.8	Zusammenfassung und Diskussion	81
<b>6</b>	<b>Funktionale Integration von aktiven Sicherheitssystemen der Querführung</b>	<b>83</b>
6.1	Gruppierung von aktiven Sicherheitssystemen	83
6.1.1	Gruppierungskriterien	84
6.1.2	Warnanteile	85
6.1.3	Ausgabemodalitäten	86
6.1.4	Kombination der drei Integrationsfaktoren am Beispiel der Längsführung	87
6.2	Entwicklung eines integrierten Konzepts für die Sicherheits-FAS der Querführung	89

6.2.1	Warnausgaben für aktive Sicherheitssysteme der Querführung .....	89
6.2.2	Problemstellung .....	91
6.2.3	Konzeptentwicklung .....	92
6.3	Bewertungsversuch zum integrierten Seitenschutz-Konzept .....	97
6.3.1	Versuchsaufbau .....	97
6.3.2	Fragestellungen und Hypothesen .....	99
6.3.3	Operationalisierung und Versuchsplan .....	100
6.3.4	Versuchsstrecke .....	104
6.3.5	Versuchsablauf .....	105
6.3.6	Stichprobe .....	106
6.3.7	Ergebnisse Messfahrt .....	106
6.3.8	Ergebnisse Explorationsfahrt .....	113
6.3.9	Zusammenfassung und Diskussion .....	115
<b>7</b>	<b>Entwicklung und Bewertung der Kritikalitäts-Raum-Metapher .....</b>	<b>117</b>
7.1	Anforderungen an ein integriertes ABK für Sicherheits-FAS .....	117
7.1.1	Interaktion im Nutzfall .....	119
7.2	Entwicklung der Kritikalitäts-Raum-Metapher .....	122
7.2.1	Fahrerassistentenzone .....	123
7.2.2	Transfer auf Fahrerassistenzsysteme .....	124
7.2.3	Metapher zur Kombination von Kritikalität und Raum .....	125
7.3	Bewertung der Kritikalitäts-Raum-Metapher mit repräsentativer Funktionsauswahl .....	128
7.4	Versuch 1 – Prüfung des mentalen Modells KRM .....	130
7.4.1	Fragestellungen und Hypothesen .....	130
7.4.2	Versuchsplan und Operationalisierung .....	131
7.4.3	Versuchsaufbau .....	133
7.4.4	Versuchsablauf .....	134
7.4.5	Stichprobe .....	135
7.4.6	Ergebnisse .....	135
7.4.7	Zusammenfassung Versuch 1 zum mentalen Modell .....	138
7.5	Versuch 2 – Vergleich von KRM und ESB .....	138
7.5.1	ABK auf Basis der Kritikalitäts-Raum-Metapher .....	138
7.5.2	ABK für Einzelsystembedienung (ESB) .....	140
7.5.3	Fragestellungen und Hypothesen .....	141
7.5.4	Versuchsplan und Operationalisierung .....	141
7.5.5	Versuchsaufbau .....	143
7.5.6	Versuchsablauf .....	143
7.5.7	Stichprobe .....	144
7.5.8	Ergebnisse .....	145

7.5.9 Zusammenfassung Versuch 2 zum Vergleich von KRM und ESB .....	152
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>153</b>
<b>Anhang A: Bedarfsanalyse .....</b>	<b>157</b>
A.1 FAS-Funktionsliste mit Quellen-Angabe .....	157
A.2 Fragebogen der Delphi-Studie „FAS 2015“ .....	165
A.3 Ergebnis der Delphistudie „FAS 2015“ .....	167
<b>Anhang B: Versuch zur Integration von Sicherheits-FAS     der Querführung .....</b>	<b>170</b>
B.1 Nutzfälle für Querführungs-FAS in der Fahrsimulation .....	170
B.2 Streckenübersicht des verwendeten Kurs .....	174
B.3 Technische Architektur und FAS-Modellierung .....	176
B.4 Demografischer Fragebogen .....	181
B.5 Protokoll Messfahrt.....	182
B.6 Protokoll Explorationsfahrt.....	184
B.7 Gesamtbewertung .....	191
<b>Anhang C: Versuch zum mentalen Modell KRM .....</b>	<b>194</b>
C.1 Demografischer Fragebogen.....	194
C.2 Strukturiertes Interview .....	195
<b>Anhang D: Versuch zum Vergleich von ESB und KRM.....</b>	<b>196</b>
D.1 Begriffskennntnis (nach Einföhrungsfahrt) .....	196
D.2 Systemzustands-Kennntnis (vor und wöhrend der Messfahrt) .....	197
D.3 Konzeptbewertung per strukturiertem Interview .....	198
D.4 Demographische Daten (vor Messfahrt).....	199
D.5 Erhebung DALI (wöhrend der Messfahrt) .....	201
D.6 SUS-Bewertung (nach Messfahrt).....	202
D.7 AttrakDiff-Bewertung (nach Messfahrt) .....	203
D.8 Schlussbewertung (Abschluss).....	204
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>200</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>201</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>203</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Fahrerassistenzsysteme (FAS) haben den Automobilmarkt langsam aber stetig erobert. Waren Systeme wie ACC und Spurverlassenswarnung in den frühen 2000er Jahren nur in einigen wenigen Oberklasse-Fahrzeugen zu finden, zogen sie bald darauf auch in Mittel- und Unterklasse-Fahrzeuge ein und konnten ihren Exotenstatus erfolgreich ablegen. Zahlreiche europäische und internationale Forschungsprojekte wie INVENT (2005), AKTIV (2006) oder PRéVENT (2008) geben Einblick in die Zukunft und entwickeln weitere komplexe Produkte wie Kreuzungs- und Stauassistenten.

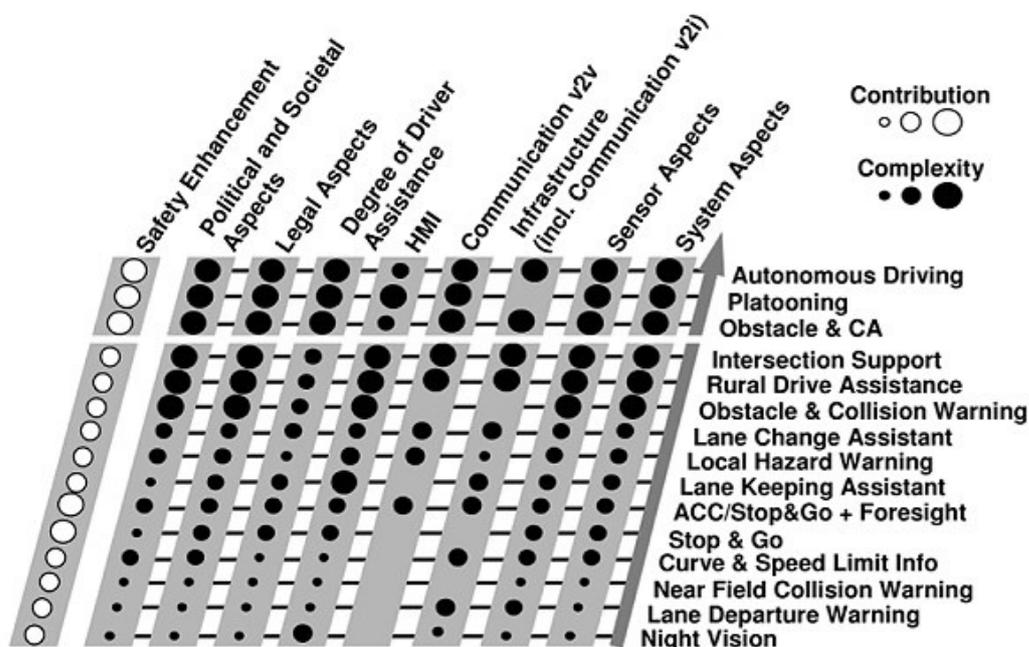
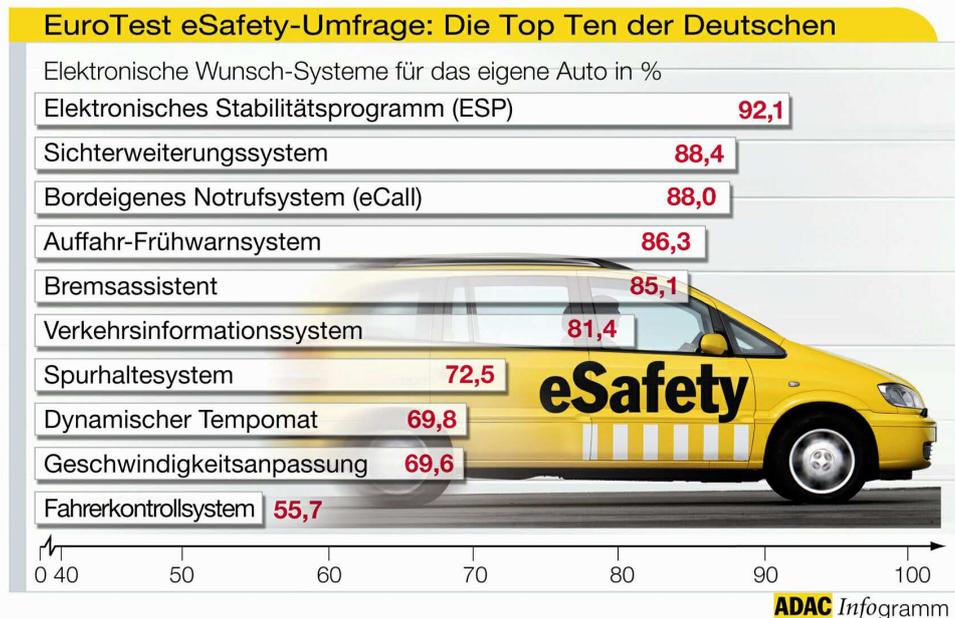


Abbildung 1.1: Fahrerassistenz-Roadmap des Projekts ADASE2 (Ehmanns, 2004)

Obwohl seit langem im Fokus der Entwicklung und oft als Fernziel der Fahrerassistenz propagiert, ist der Einsatz voll-autonomer Fahrzeuge bislang auf wenige, spezielle Einsatzgebiete beschränkt. Bedenkt man die notwendigen kognitiven Anforderungen, sind darüberhinaus Zweifel angebracht, ob menschliche Fahrer jemals vollständig durch voll-autonome Fahrzeuge ersetzt werden können (Kompass, 2008; Hakuli et al., 2009; Kammel, 2009). Darüberhinaus stellen der Serieneinsatz die notwendige Sensorik, Algorithmen und Systemzuverlässigkeit vor extrem hohe Herausforderungen. Es ist daher zu erwarten, dass auch in unmittelbarer Zukunft vorrangig unterstützende Fahrerassistenzsysteme entwickelt werden, bei denen die Entscheidungshoheit des Fahrers nur in Ausnahmefällen angegriffen wird.

Obwohl anfänglich mit Zurückhaltung begutachtet, verbesserten sich die Marktdurchdringung von Fahrerassistenzsystemen und die Akzeptanz bei den Käufern in den letzten Jahren spürbar. Auffällig ist dabei das hohe Interesse an Fahrerassistenz zur Unfallvermeidung – die aktive Sicherheit spielt für FAS die wichtigste Rolle. Doch auch das

Interesse an komfortsteigernden Systemen und intelligenter Information kommt immer stärker ins Spiel – die zu Zeiten von PROMETHEUS (Haller et al., 1995) noch visionären Ansätze zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und –effizienz werden langsam Wirklichkeit.



**Abbildung 1.2:** Fahrerassistenzsysteme in Deutschland (Becker und Dosch, 2007)

## 1.2 Problemstellung

Der Sprung hin zu voll-autonomen Systemen (Kompass und Reichart, 2006) und damit eventuell einfachen Benutzerschnittstellen ist momentan nicht absehbar. FAS werden auch in Zukunft auf eine erfolgreiche Kooperation mit dem Fahrer angewiesen sein – und damit Bedienelemente und Anzeigen zur direkten Interaktion benötigen. Um den Anspruch an eine optimale, sichere und attraktive Nutzerschnittstelle selbst bei steigender Systemzahl halten zu können, sind neue Anzeige-Bedienkonzepte nötig. Die bislang übliche Fokussierung auf Einzelsysteme ist vor dem Hintergrund der technischen Geschichte verständlich, aber nicht mehr zielführend: überladene Bedienelemente und komplexe Menüs wären das Resultat.

Diese Arbeit hat daher zum Ziel, integrative Konzepte für die Bedienung und Anzeige von Fahrerassistenz-Systemen zu schaffen. Dabei wird insbesondere versucht, das heute übliche Denken in Einzelsystemen durch neue Bedienmetaphern zu ersetzen. Um die Mensch-Maschine-Schnittstelle mit realen Funktionen hinterlegen zu können, werden vorrangig Systeme berücksichtigt, die in naher Zukunft (2015) technisch machbar sind.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

*Kapitel 2* führt dazu zunächst in das weit reichende Themengebiet der Mensch-Maschine-Schnittstellen und Fahrerassistenz ein. Dabei werden Aspekte wie Fahrzeugführung, Fahrermodelle, mentale Modellen und Automatisierung beleuchtet. Auf eine detaillierte

Beschreibung einzelner FAS wird aus Platzgründen verzichtet – das ausgezeichnete Kompendium von Winner et al. (2009) diene hier als Referenz. Das Kapitel schließt mit einem Überblick über bestehende Klassifikationen für FAS und liefert einen ersten Hinweis darauf, welche Ansätze für eine spätere Integration hilfreich sein könnten.

*Kapitel 3* geht speziell auf Integrations- und Gruppierungsansätze für Anzeige-Bedienkonzepte im Fahrzeug ein. Dabei werden mit einem Schwerpunkt auf Assistenzsysteme sowohl historische und aktuelle Beispiele erläutert.

Damit ein Integrationsansatz für technische Systeme über einen längeren Zeitraum greift, müssen momentan noch nicht vorhandene Funktionen später integriert werden können. Daher wird in *Kapitel 4* – aufbauend auf einem Taxonomievorschlag von Wandke et al. (2005) – die Fahraufgabe systematisch auf potentielle neue Funktionen untersucht. Dieser Ansatz führt zu über 90 potentiellen Funktionen und macht eine Priorisierung notwendig. Im einem zweiten Schritt wird daher mit Hilfe einer Delphi-Expertenstudie abgeschätzt, welche dieser Funktionen sinnvoll für den Fahrer sind und ob sie technisch bis 2015 realisierbar sind. Mit dieser Vorarbeit kann eine gute Annahme über die Menge und realistische Ausprägung neuer Funktionen in den nächsten Jahren getroffen werden.

Nach der Festlegung des Funktionspools werden in *Kapitel 5* die zur Entwicklung eines Integrationskonzepts nötigen empirischen Grundlagen erarbeitet. Die wichtigsten Fragestellungen sind hierbei:

- Welche Fahrerassistenzfunktionen empfinden naive Nutzer als zusammengehörig? Sind diese Gruppen bei verschiedenen Nutzerstichproben reproduzierbar
- Welche Begriffe verwenden Nutzer für Gruppen von FAS?
- Was ist die Grundlage ihrer Klassifikation? Ist diese mit den bekannten Klassifikationen erklärbar?

Diese Fragen werden mit Hilfe von Kartensortier-Experimente beantwortet. Dabei wird untersucht, welche mentalen Modelle zu Fahrerassistenz-Gruppen bei durchschnittlichen Fahrern vorhanden sind und ob sich diese als Ausgangspunkt für neue ABK eignen.

Die Ergebnisse dienen als Grundlage konkreter Integrationskonzepte. *Kapitel 6* macht hierzu den Anfang und stellt einen Ansatz zur Kombination von Sicherheits-FAS der Querführung (Spurverlassenswarnung, Spurwechsel-Assistent) vor. Dabei werden mehrere Varianten erarbeitet, in einem statischen Fahrsimulator integriert und mit Hilfe eines Versuchs die optimalste abgeleitet.

Die kombinierten Querführungs-FAS sind ein weiterer Baustein für das angestrebte integrierte ABK für Sicherheits-FAS. Der letzte und wichtigste Schritt findet sich in *Kapitel 7*, wo ein konkretes, von der Einzelsystembedienung abweichendes Konzept entwickelt und im Fahrsimulator prototypisch integriert wird. Das neue ABK wird mit mehreren Probandenversuchen bewertet und anschließend diskutiert.

Die Arbeit schließt in *Kapitel 8* mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse und einem Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten.



## 2 Grundlagen und Stand der Technik

### 2.1 Begriffsdefinitionen

Für das Verständnis der Arbeit sind einige Begriffe nötig, die im Folgenden definiert werden. Dabei liegt der Schwerpunkt auf dem für Assistenzsysteme wichtigen Teil – für eine ausführliche Darstellung des Forschungsgebiets sei auf die einschlägige Literatur verwiesen.

#### 2.1.1 Mensch-Maschine-Systeme und Mensch-Maschine-Interaktion

Unter einem *Mensch-Maschine-System* (MMS) ist nach Timpe und Kolrep (2002) das „zielgerichtete Zusammenwirken von Personen mit technischen Systemen zur Erfüllung eines fremd- oder selbstgestellten Auftrages“ zu verstehen. Daher müssen in einem MMS mindestens ein Mensch und eine Maschine zusammen arbeiten. Die *Maschine* ist dabei ein technisches System zur Stoff-, Energie- oder Informationsumsetzung. Beispiele für MMS sind ein Fahrzeug und sein Fahrer oder ein Kraftwerk und seine Operateure. Nach dem Modell der parallel-iterativen Systemgestaltung wird zwischen vom Menschen zu bearbeitenden *Aufgaben* und den die Maschine kennzeichnenden *Funktionen* unterschieden. Um eine bestimmte Aufgabe lösen zu können, muss der Mensch auf eine oder mehrere Funktionen der Maschine zugreifen können. Dafür ist eine *Benutzerschnittstelle* zuständig, die auch als *Mensch-Maschine-Interaktion* bzw. *Man-Machine-Interface* (MMI) bezeichnet wird und ein technisches Teilsystem des MMS ist. Im Bereich der Straßenfahrzeuge wird hier auch häufig vom *ABK* bzw. *Anzeige-Bedienkonzept* gesprochen. Dazu gehören sämtliche Bedienelemente, Anzeigen, Lautsprecher etc., die die Nutzung der Maschine ermöglichen. Der Mensch muss nicht zwangsläufig jede Funktion selber bedienen oder wahrnehmen – Funktionen können automatisiert sein (siehe dazu Abschnitt 2.1.5) und im Verborgenen arbeiten. Speziell im Bereich der Fahrerassistenzsysteme ist dies häufig der Fall.

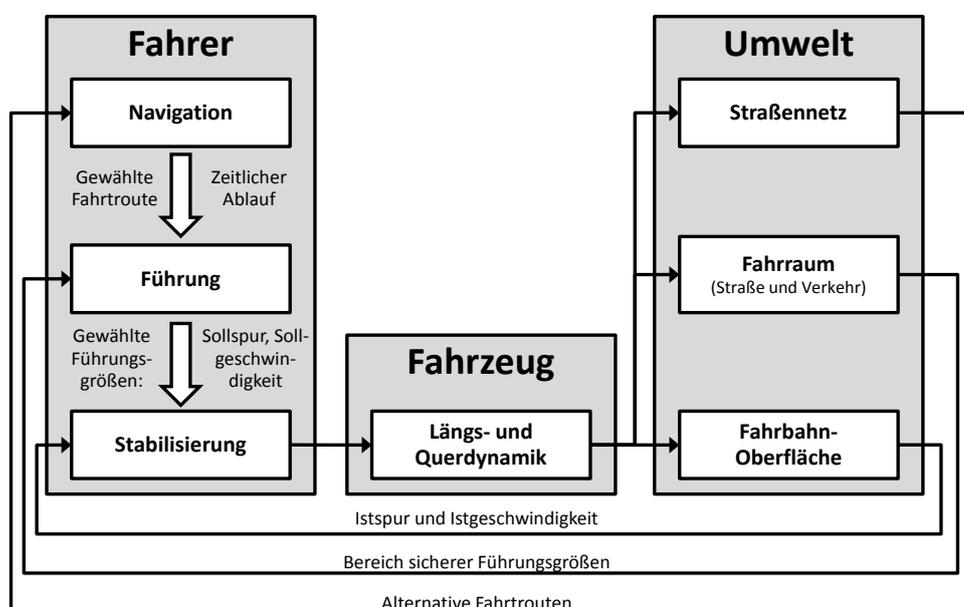
#### 2.1.2 Modelle der Fahrzeugführung

Für die Entwicklung von FAS ist ein grundlegendes Verständnis des Fahrers und seines Verhaltens nötig. Die Modellierung der Fahraufgabe aus psychologischer und technischer Sicht ist ein beliebtes Forschungsgebiet und hat in den letzten 50 Jahren zu einer großen Anzahl von Modellen geführt. Einen exzellenten Überblick geben die Arbeiten von Fastenmeier (1991), Carsten (2007) und Jürgensohn (1997). Wenn von einem *Modell der Fahraufgabe* oder einem *Fahrermodell* gesprochen wird, muss unterschieden werden, welcher Aspekt modelliert wird. So starteten frühe, technisch motivierte Fahrermodelle in den 50er Jahren mit dem Ansatz, die Regelung der *Maschine Fahrzeug* mithilfe von kybernetischen Differential-Gleichungen zu modellieren (Jürgensohn, 1997). Obwohl noch heute gängig, deckt dieser Ansatz jedoch Aufgaben wie Routenplanung oder die Abschätzung der verbleibenden Reichweite in keiner Weise ab. Psychologische Modelle wie das Risiko Homöostase-Modell von Wilde (1982) oder die Threat Avoidance Theorie von Fuller (1984) hingegen zielen auf motivationale oder kognitive Aspekte der Fahrzeugführung ab. Zusätzlich existieren umfangreiche Taxonomien im Sinne einer Sammlung notwendiger Tätigkeiten zur Fahrzeugführung wie McKnight und Adams (1970)

oder Fastenmeier (1995), auf die Abschnitt 2.2.1 näher eingeht. Eine Übersicht der bis in die frühen 80er Jahre entstandenen Modelle findet sich u.a. bei Michon (1985).

Da ein gesamthafter Ansatz für die Fahrermodellierung fehlte, wurden in den 70er Jahren hierarchische Modelle entwickelt. Sie stellten einen wichtigen Schritt hin zu einem Gesamtmodell der Fahraufgabe dar und sind heute Standard für viele weiterführende Fahrermodelle. Allen et al. (1971) arbeiteten an einer Aufteilung der Fahraufgabe in drei hierarchische Ebenen, die sie mit „Levels of Performance“ bezeichneten. Zusammen mit der Arbeit von Bernotat (1970) und später Donges (1982), Michon (1985) und Erke (1993) wurden diese Ebenen unter den adäquaten Stichworten „Navigationsebene“, „Führungsebene“ und „Stabilisierungsebene“ als *Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung* etabliert. Häufig wird in der Literatur auch von der „Strategischen Ebene“, der „Taktischen bzw. Manöver-Ebene“ und der „Kontrollebene“ gesprochen (Michon, 1985). Das im Weiteren verwendete Drei-Ebenen-Modell von Bernotat (1970) und Donges (1982) verfolgt grundsätzlich einen Top-Down-Ansatz, bei dem die übergeordnete Ebene die Ziele bzw. Führungsgrößen für die darunterliegende vorgibt. Jede Ebene wird dabei durch Störgrößen aus der Umwelt beeinflusst (Abbildung 2.1).

Auf der *Navigationsebene* plant der Fahrer die Fahrtroute, die ihn zu seinem Ziel bringen soll. Dabei müssen Aspekte wie zu erwartendes Verkehrsaufkommen, Streckenbegebenheit, Wetter, Tageszeit etc. berücksichtigt werden. Während der Fahrt muss der Fahrer die Route aufgrund geänderter Bedingungen (z.B. Stau) gegebenenfalls umplanen. Die auf dieser Ebene erforderlichen Handlungen sind vor allem kognitiver Art und bieten ein großes Potenzial für Assistenzsysteme. Die Aufgabenbearbeitung rangiert hier typischerweise im Zeitbereich von mehreren Minuten bis Stunden (Michon, 1985).



**Abbildung 2.1:** Drei-Ebenen-Modell der Fahraufgabe nach Donges (1982)

Auf der untergeordneten *Führungsebene* setzt der Fahrer die für die Navigationsaufgabe nötigen Manöver wie z.B. Abbiegen, Folge oder Spurwechseln um. Dazu muss er die Straßenverkehrsordnung, Verkehrsführung und umgebende Fahrzeuge berücksichtigen. In

diesem Bereich agieren die meisten modernen Fahrerassistenz-Systeme wie z.B. aktive Geschwindigkeitsregelungen oder Spurwechselwarner. Für die Durchführung von Manövern werden normalerweise einige Sekunden bis Minuten veranschlagt.

Die *Stabilisierungsebene* dient der physikalischen Stabilisierung des Fahrzeugs auf der Straße. Dazu muss der Fahrer das Fahrzeug in der Spur halten sowie den Abstand zu Vorder- und Seitenfahrzeugen regeln. Das dafür notwendige Schalten, Lenken oder Gas geben läuft bei geübten Fahrern größtenteils unbewusst im Bereich von Millisekunden bis Sekunden ab und benötigt nur geringe kognitive Ressourcen (siehe dazu auch Tabelle 2.1).

Die *Umwelt* beeinflusst über diverse Rückkopplungsschleifen alle drei Ebenen (Abbildung 2.1). Der Fahrer muss einerseits sein ursprüngliches Ziel (Fahrt von A nach B) verfolgen und andererseits auf die Umgebung reagieren, um das Fahrzeug regelkonform und unfallfrei zu steuern. Die dazu nötigen Aktivitäten auf den drei Ebenen werden nach Geiser (1985) auch als *Primäraufgabe* bezeichnet. Zusätzlich fallen während der Fahrt verkehrs- und umweltbedingte Aufgaben an – wie z.B. die Betätigung von Scheibenwischer oder Blinker. Diese Aufgaben werden als *sekundäre Fahraufgaben* bezeichnet. Die Gruppe der *Tertiäraufgaben* schließlich enthält alle sonstigen, nicht fahrrelevanten Tätigkeiten, so z.B. die Bedienung des Radios oder der Klima-Anlage.

### 2.1.3 Modelle des menschlichen Leistungsverhaltens

FAS assistieren dem Fahrer und sollen ihm Teile seiner Tätigkeit erleichtern oder abnehmen. Zum Verständnis der Belastungen auf den drei Ebenen der Primäraufgabe muss das menschliche Leistungsverhalten bzw. die Informationsverarbeitung berücksichtigt werden. Zu deren Beschreibung hat sich das Handlungsmodell von Rasmussen (1983) etabliert, das drei Ebenen des menschlichen Verhaltens unterscheidet.

1. Auf der Ebene des *fertigkeitsbasierten Verhaltens* laufen Handlungen weitestgehend unbewusst ab, da die durch häufige Wiederholung abgelegten Handlungsprogramme automatisch nach dem Auftreten bestimmter Signale ablaufen. Hierfür ist nur wenig bewusste Zuwendung nötig, die Reaktionszeiten auf Signale sind sehr kurz (ca. 200 ms; siehe Lange, 2007). Ein typisches Beispiel ist das Zusammenspiel zwischen Kuppeln und Schalten bei geübten Fahrern.
2. *Regelbasiertes Verhalten* tritt dann auf, wenn der Mensch ein Problem mit Regeln löst, die er sich durch Erfahrung angeeignet hat. Frühere, erfolgreich gelöste Aufgaben mit ähnlicher Problemstellung dienen als Vorlage. Hierzu gehört beispielsweise das Reduzieren der Geschwindigkeit bei Straßenglätte (Reichart, 2001).
3. Wenn eine Aufgabe nicht bekannt oder nicht mit gelernten Regeln lösbar ist, muss der Mensch auf die *wissensbasierte Ebene* zurückgreifen. Dabei analysiert er die Umgebung und plant Alternativen, wie das gesetzte Ziel mit einer neuen Kombination aus Regeln oder vollständig neuen Handlungen erreicht werden kann. Kennzeichnend ist dabei das strategische und damit auch zeitlich länger andauernde Vorgehen, wie es z.B. bei der Routenplanung für die Fahrt in eine unbekanntere Stadt auftritt.

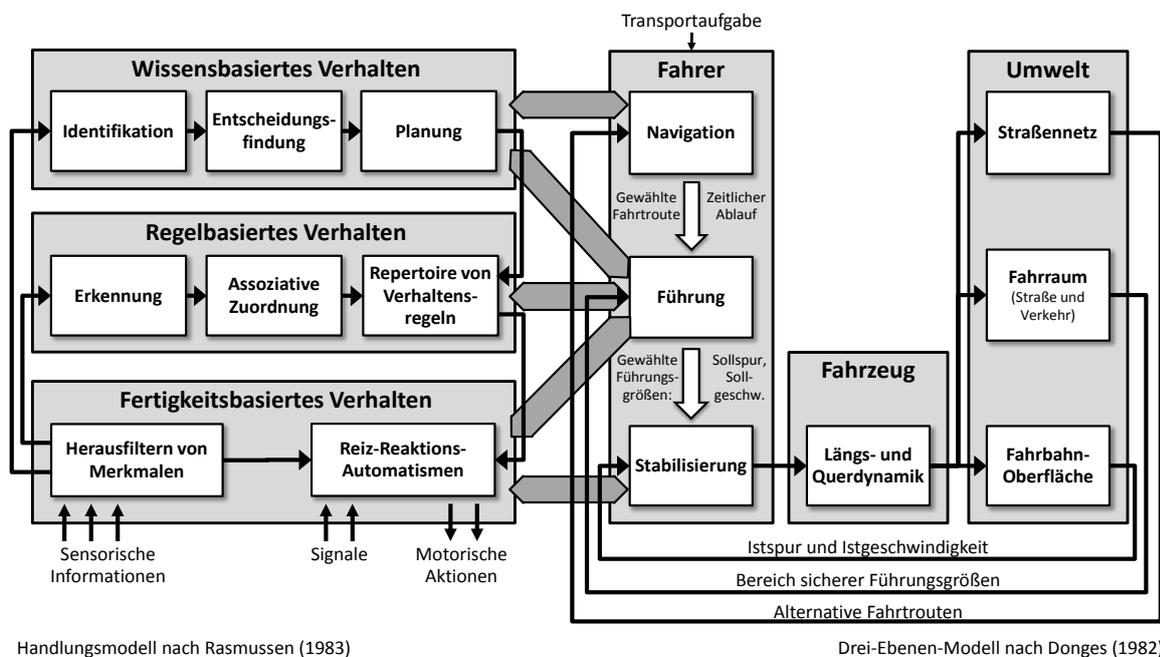
Diese Ebenen des menschlichen Verhaltens lassen sich nach Reichart (2001) nicht immer eindeutig voneinander trennen, sondern fließen ineinander über. Sie lassen sich daher zwar mit den drei Ebenen der Primäraufgabe in Verbindung bringen jedoch müssen dabei Ausnahmen berücksichtigt werden (Donges und Naab, 1996; Gründl, 2005; Reichart, 2001; Wiltshcko, 2003). Tabelle 2.1 zeigt den Zusammenhang:

**Tabelle 2.1:** Zusammenhang zwischen den Stufen des Handlungsmodells nach Rasmussen (1983) und den Ebenen der Fahraufgabe nach (Gründl, 2005)

	Wissensbasiert	Regelbasiert	Fertigkeitsbasiert
<b>Planung</b>	Zurechtfinden in einer fremden Stadt	Wahl zwischen vertrauten Wegen	Täglicher Weg zur Arbeit
<b>Führung</b>	Steuern auf schneebedeckter oder vereister Fahrbahn	Überholen anderer Fahrzeuge, Spurwechsel	Abbiegen an einer vertrauten Kreuzung
<b>Stabilisierung</b>	Fahrschüler in der ersten Fahrstunde	Ein ungewohntes Auto fahren	Kurven fahren, Kuppeln und Schalten

So ist Kuppeln und Schalten für die meisten Fahrer ein hochgeübter, fertigkeitbasierter Vorgang zur Fahrzeugstabilisierung, der kaum Bewusstseinszuwendung erfordert. Das galt jedoch für die wenigsten Menschen in der ersten Fahrstunde: damals waren Konzentration und kognitive Ressourcen nötig, die Aufgabe wurde wissensbasiert bearbeitet.

Zusammengefasst bringt Donges (2009) die beiden Grundlagenmodelle der Verkehrspsychologie in Abbildung 2.2 anschaulich zusammen:



**Abbildung 2.2:** Kombiniertes Drei-Ebenen-Modell der Fahraufgabe nach Donges (2009)

### 2.1.4 Mentale Modelle

Das Handlungsmodell nach Rasmussen führt zu einem weiteren wichtigen Begriff im Zusammenhang mit der Mensch-Maschine-Interaktion. Menschen kombinieren Wissen, Regeln und Fertigkeiten zu Modellen, um sich die Welt und ihr Verhalten erklären zu können (Johnson-Laird, 1983). Bei Nutzerschnittstellen versteht man unter einem *mentalen Modell* die interne Vorstellung bzw. Repräsentation, die ein Nutzer von einer Funktion oder einem System hat. Sie sind häufig stark vereinfacht und enthalten nur die logischen Verknüpfungen und Kausalzusammenhänge, die er zur Erklärung des für ihn relevanten Verhaltens braucht. Darüber hinaus können sie in ihrer Komplexität bzw. Präzision individuell sehr unterschiedlich sein – abhängig von Vorbildung, Erfahrung und Training. Mithilfe dieses Modells ist der Mensch in der Lage, das Systemverhalten zu erklären, vorherzusagen und damit letztlich eine Maschine so zu bedienen, dass ein gewünschtes Ergebnis erzielt wird. Das in kognitiven Repräsentationen abgespeicherte Wissen über das System kann schon vorhanden sein, bevor es zum ersten Mal bedient wird – z.B. durch kulturelle Standards oder die Erziehung. Ein Beispiel dafür ist die Veränderung eines Parameters (z.B. Temperatur) mit Hilfe eines Drehstellers – es wird erwartet, dass durch Rechtsdrehung dieser Wert erhöht wird (Bubb, 1993a).

Trifft der Mensch auf eine Maschine, deren Verhalten er nicht vollständig aus bekannten Modellen vorhersagen kann, wird während der ersten Bedienung wissensbasiert ein neues mentales Modell aufgebaut und durch die fortgesetzte Nutzung verfeinert bzw. korrigiert (Norman, 1983). Als Anhaltspunkt dienen ihm dabei Systemrückmeldungen (dynamisches Verhalten, Anzeigen etc.), die seinen Eingaben folgen. Auf deren Grundlage werden Kausalzusammenhänge hergestellt und als Regel abgespeichert. Nach Norman (1988) helfen dabei Training bzw. Bedienungsanleitungen, ihre Verwendung kann aber z.B. bei der Gestaltung eines Anzeige-Bedienkonzepts im Fahrzeug nicht vorausgesetzt werden.

Mentale Modelle lassen sich nur schwer empirisch erfassen (Krüger et al., 2002; Norman, 1983). Nutzer können nur die Elemente des Modells berichten, derer sie sich bewusst sind – was z.B. bei dynamischen Regelvorgängen wie der Geschwindigkeitsregelung per Gaspedal selten der Fall ist. Desweiteren können sie nicht sämtliche Glaubenssätze und Erfahrungen verbalisieren, die das Modell beeinflussen. Stattdessen versuchen sie, sinnvolle Gründe für ihr Handeln zu finden, um dem Fragenden eine befriedigende Antwort geben zu können – auch wenn dies nicht die wahren Gründe sind. Krüger et al. (2002) führt eine Reihe von Methoden an, die zur Forschung mentaler Modelle angewandt werden, die Vollständigkeit des so erforschten Modells bleibt jedoch offen. Helmer (2007) und Tönert (2009) gehen in ihren Arbeiten speziell auf mentale Modelle für Fahrerassistenz-ABK ein, siehe dazu auch Kapitel 5 und 7.

Nach Norman (1983) gilt allgemein folgendes:

1. Mentale Modelle sind unvollständig.
2. Die Fähigkeiten der Nutzer, diese Modelle einzusetzen, sind stark begrenzt.

3. Mentale Modelle sind instabil: Menschen vergessen Details des Systems, vor allem wenn sie diese Details oder das gesamte System einige Zeit nicht genutzt haben
4. Mentale Modelle haben keine festen Grenzen – ähnliche Geräte und Bedienhandlungen werden miteinander verwechselt.
5. Mentale Modelle sind *unwissenschaftlich*: Menschen bleiben bei „aber-gläubischen“ Verhaltensmustern, selbst wenn diese unnötig sind – weil sie den geringen physischen Aufwand einem geistigen Zusatzaufwand vorziehen
6. Mentale Modelle sind *sparsam* – häufig führen Menschen lieber unnötige manuelle Handlungen aus anstatt nachzudenken, wie sie diese Handlungen vermeiden könnten. Sie nehmen also einen höheren physikalischen Aufwand in Kauf, um geistige Komplexität zu vermeiden. Das gilt vor allem dann, wenn die zusätzlichen Handlungen einer einfachen Regel folgen, die sich für mehrere Geräte anwenden lässt und damit weniger verwirrend ist.

Als *konzeptuelles Modell* bezeichnet Norman (1983) dagegen die präzise und vollständige Darstellung des Systems, z.B. mit Hilfe von Blockdiagrammen. Es stellt das technische Konzept einer Maschine dar und ist meistens deutlich komplexer als das mentale Modell des Nutzers. Ein gutes konzeptuelles Modell unterstützt das mentale Modell des Nutzers möglichst gut und ohne spürbare Differenzen. Idealerweise kennen die Entwickler dazu vor der ABK-Entwicklung die Erwartungen des Nutzers, die jedoch speziell bei FAS nur selten vorhanden sind.

### 2.1.5 Automatisierung, Automatisierungsstufen und Autonomie

Bei der Gestaltung von ABK für Assistenzsysteme stößt der Entwickler zwangsläufig auf das komplexe Themengebiet der Automatisierung. Die Begriffe *Assistenz*, *Automatisierung* und *Automation* werden häufig im gleichen Atemzug genannt (Hauß und Timpe, 2002), müssen für das weitere Verständnis der Arbeit jedoch schärfer getrennt werden. Hacker (1998; zitiert in Hauß und Timpe, 2002) definiert den Begriff *Automatisierung* folgendermaßen:

*„Die Mechanisierung und die Automatisierung übertragen bisher vom Menschen ausgeführte Tätigkeiten an Maschinen.“*

Hauß und Timpe (2002) leiten daraus eine weitergehende Begriffsbestimmung ab, die im Folgenden als Grundlage verwendet wird:

*„Mit Automatisierung und Automation wird der Prozess sowie sein Resultat bezeichnet, in dem Aufgaben (bzw. die daraus resultierenden Tätigkeiten), die vom Menschen ausgeführt wurden, an eine Maschine übergeben werden.“*

Entscheidend ist hier, dass Automatisierung den *Prozess* und nicht die fertige Maschine beschreibt. Diese kann im Gegenzug als *Assistenzsystem* mit einem gewissen *Automatisierungsgrad*, häufig auch *Assistenzgrad*, bezeichnet werden. Bezogen auf die Fahrzeugführung kann jede Übernahme einer motorischen, kognitiven oder sensorischen

Aktivität des Menschen seitens des Fahrzeugs als Automatisierung bezeichnet werden. Dabei findet sich der Trend, nur aktuelle technologische Entwicklungen als Automatisierung zu bezeichnen, wohingegen länger zurückliegende Errungenschaften als selbstverständlich wahrgenommen werden (Parasuraman und Riley, 1997; zitiert in Wandke et al., 2005).

Der *Automatisierungsgrad* gibt als eine Art Maßzahl an, welcher Anteil aller Tätigkeiten vom Menschen übernommen wird und welcher von der Maschine. Quantitative Angaben sind in der Literatur bekannt (Brödner, 1969; Kraiss, 1990; zitiert in Hauß und Timpe, 2002), eignen sich jedoch nur bedingt für praktische Anwendungen. Dies liegt vor allem daran, dass die Anzahl der Tätigkeiten von Mensch und Maschine stark von der betrachteten Auflösung abhängig ist und die jeweils durchgeführten Tätigkeiten (z.B. Maschine: motorisch, Mensch: kognitiv) nur bedingt als gleichwertig anzusehen sind. Im Bereich der Assistenzsysteme hat sich daher die Sichtweise in *Automatisierungsstufen* durchgesetzt, allerdings in verschiedenen Klassifikationen. Als Eckpunkte gelten dabei immer die ausschließlich manuelle Bedienung (keinerlei Automatisierung) und die vollständige Übernahme aller Aufgaben durch den Computer (Vollautomatisierung bzw. *Autonomie*). Eine klassische Einteilung aus dem Bereich der Luftfahrt stammt von Endsley und Kiris (1995) und unterscheidet fünf Stufen der Automatisierung. Berücksichtigt werden dabei die Teilaufgaben *Vorschlagen, Entscheiden / Handeln, Zustimmung* und *Veto*.

**Tabelle 2.2:** Automatisierungsstufen nach Endsley und Kiris (1995), Übersetzung in Anlehnung an Lange (2007)

Automatisierungsstufe		Rollenverteilung	
		Mensch	Maschine
Keine	1	Entscheiden, Handeln	--
Entscheidungsunterstützung	2	Entscheiden, Handeln	Vorschlagen
Zustimmungspflichtige Automatisierung	3	Zustimmen	Entscheiden, Handeln
Überwachte Automatik	4	Veto	Entscheiden, Handeln
Vollautomatisierung	5	--	Entscheiden, Handeln

Eine andere weit verbreitete Klassifikation ist die von Sheridan und Verplank (1978) entwickelte Reihe von zehn Automatisierungsstufen. Der Fokus dieser Taxonomie liegt vor allem auf Entscheidungsprozessen und Aktionsausführung, andere Unterstützungspotenziale werden weniger berücksichtigt (Wandke et al., 2005).

**Tabelle 2.3:** Automatisierungsstufen nach Sheridan und Verplank (1978)

Automatisierungsstufe	Systemmerkmale
1	Der Computer bietet keine Unterstützung an, der Mensch muss alles machen.
2	Der Computer bietet eine vollständige Menge von Handlungsalternativen an und...
3	... schränkt die Auswahl auf eine wenige ein,
4	... schlägt eine Alternative vor,
5	... führt den Vorschlag aus, wenn der Mensch es bestätigt, oder
6	... erlaubt dem Menschen eine begrenzte Zeit ein Veto einzulegen, um eine automatische Ausführung zu verhindern,
7	... führt automatisch aus und informiert den Menschen.
8	... informiert ihn über die Ausführung nur wenn er anfragt, und
9	... informiert ihn über die Ausführung nur, wenn der Computer dies entscheidet.
10	Der Computer entscheidet alles und handelt autonom, ignoriert den Menschen.

Endsley (1997) entwickelte später eine noch differenziertere Version mit ebenfalls zehn Beispiel-Stufen, darüberhinaus existieren zahlreiche andere Klassifikationen von Automatisierungsstufen (Wandke et al., 2005). Allen diesen Ansätzen ist jedoch eine spezifische Herkunft aus Luftfahrt, Prozesstechnik oder Kraftwerksbau gemein – sie sind daher nur bedingt geeignet, jedem der heutigen Assistenzsysteme im Fahrzeug eine eindeutige Automatisierungsstufe zuzuweisen.

Verhältnismäßig eindeutig hingegen ist die Verwendung des Begriffs *Autonomie*. Für diesen Fall sieht Stufe 10 des Stufenmodells nach Sheridan und Verplank (1978) sämtliche Handlungsaspekte beim Computer, dasselbe gilt für die letzte Stufe bei Endsley und Kiris (1995, „full automation“). Der Rechner beobachtet, entscheidet und agiert vollständig ohne Beteiligung des Nutzers, selbst ein Eingreifen ist streng genommen nicht vorgesehen. Speziell im Bereich der Fahrerassistenz wird zusätzlich gern der Begriff der Teilautonomie verwendet, der unter Umständen falsch verstanden werden kann – schließlich muss der Fahrer ein solches System nach wie vor überwachen und notfalls durch Eingriff übersteuern (nach Endsley: „Überwachte Automatik“). Von einer Autonomie nach Endsley oder Sheridan kann daher nicht die Rede sein. Für FAS sind momentan noch keine standardisierten Automatisierungsstufen vorhanden – daher wird in dieser Arbeit die einfache Klassifikation nach Endsley und Kiris (1995) bzw. Tabelle 2.2 verwendet.

### 2.1.6 Assistenz- und Fahrerassistenzsysteme

Auf die weitläufige Verwendung des Begriffs *Assistenzsystem* und die daraus resultierende Unschärfe wird in verschiedenen Publikationen hingewiesen (Bubb, 2003; Hauß und Timpe, 2002; Wandke et al., 2005). So spricht man im Software-Bereich vom Office-Assistenten, der Hilfe bei der Bearbeitung von Dokumenten anbietet; in der Medizin von

*Chirurgischen Assistenzsystemen* für die Durchführung medizinischer Eingriffe – und natürlich von *Fahrerassistenzsystemen* bei modernen Fahrzeugen. Eine ausführliche Diskussion dieses Problemfeldes findet sich u.a. bei Wandke et al. (2005). Danach haben die meisten Assistenten das Ziel, den Menschen zu entlasten – jedoch ohne ihm die Verantwortung abzunehmen.

Unterstützt ein System den Fahrer speziell beim Führen seines Fahrzeugs – also bei der Ausführung der primären Fahraufgabe nach Geiser (1985) - spricht man im Allgemeinen von einem *Fahrerassistenzsystem* (FAS). Die Verwendung dieses Begriffs hängt nach Parasuraman und Riley (1997) jedoch wie schon erwähnt stark vom technischen Fortschritt ab – niemand wird heute noch einen Anlasser als Fahrerassistenzsystem bezeichnen, nur weil er den Fahrer beim Starten des Motors unterstützt (Küçükay und Hamey, 2004).

Deregibus et al. (2004) definieren im EU-Projekt AIDE Fahrerassistenzsysteme als „*Systeme, die mit dem Fahrer interagieren und dem hauptsächlichen Zweck der Unterstützung der Fahraufgabe auf taktischer (Navigations-) und operationaler (Führungs-) Ebene dienen.* Nach RESPONSE 3 (Schwarz, 2007) – einem weiteren EU-Projekt – müssen Fahrerassistenzsysteme folgende Kriterien erfüllen:

1. Unterstützung des Fahrers bei der primären Fahraufgabe
2. Aktive Unterstützung bei der Längs- und / oder Querführung mit oder ohne Warnung
3. Umwelterfassung und –bewertung
4. Verwendung komplexer Signalverarbeitung
5. direkte Interaktion zwischen Fahrer und System
6. keine vollständige Übernahme der Fahraufgabe

Die RESPONSE-Definition gilt vorrangig für moderne FAS, die auf der Führungs- und Navigationsebene der Fahraufgabe wirken. Bei diesen Systemen (für Beispiele siehe Tabelle 2.4) sind die Herausforderungen an Sensorik, Regelungstechnik und Mensch-Maschine-Schnittstelle erfahrungsgemäß am größten, da hier der Konflikt zwischen der Eigenverantwortung des Fahrers und der des Systems (wer macht was?) am offenkundigsten hervortritt. Wie allerdings schon in Helmer (2007) erwähnt, sind beide Definitionen für grundlegende Betrachtungen etwas eng gesteckt. ABS oder DSC wären danach keine Fahrerassistenzsysteme, denn ein ABS-Sensor erfasst nur die Räder des eigenen Fahrzeugs, nicht die Umgebung. Ähnliches gilt für ein Night-Vision System<sup>1</sup> der ersten Generation ohne Objekterkennung: es enthält zwar so gut wie keine Signalverarbeitung, wird jedoch oft als Fahrerassistenzsystem bezeichnet (Khanh und

---

<sup>1</sup> Ein Night Vision System nutzt eine Infrarot-Kamera, um dem Nutzer ein Wärmebild der Umgebung zu liefern, auf dem z.B. Fußgänger erkannt werden können.

Huhn, 2009; Rösler et al., 2006). Aus diesen Gründen wird für weitere Betrachtungen folgende Definition getroffen:

### *Fahrerassistenzsysteme...*

1. ...unterstützen den Fahrer bei der Ausführung der primären Fahraufgabe oder automatisieren Teile davon, übernehmen sie jedoch nicht vollständig
2. ...interagieren mit dem Fahrer
3. ...können auf allen drei Ebenen der Fahraufgabe wirken
4. ...bestehen aus
  - Sensoren für die Erfassung von Umwelt und / oder Fahrzeug (z.B. Radar, Kamera, GPS-Sensor)
  - einfachen oder komplexen Verarbeitungseinheiten
  - Ausgabeeinheiten (Aktoren, Displays, Lautsprecher etc.)

Mit dieser Festlegung grenzen sich FAS auch gegen *Fahrerinformationssysteme* (FIS) ab. Damit sind in dieser Arbeit all jene Systeme gemeint, die den Fahrer zwar unterhalten oder informieren, jedoch nicht die Primäraufgabe adressieren. Nach dieser Definition sind Navigationssystem oder interaktive Umgebungskarten ebenfalls *Fahrerassistenzsysteme*, Radio und CD-Player dagegen *Fahrerinformationssysteme* bzw. zur besseren Abgrenzung *Entertainment-Funktionen*.

Die für diese Arbeit wichtigsten FAS sind in Tabelle 2.4 zusammengefasst. Eine sehr empfehlenswerte detaillierte Einführung in Technologie, ABK und Ausprägung dieser Systeme findet sich bei Winner et al. (2009).

**Tabelle 2.4:** Übersicht über die bekanntesten Fahrerassistenzsysteme

FAS	Bezeichnung	Erläuterung
<b>ABS</b>	Anti-Blockier-System	ABS verhindert das Blockieren der Räder bei starker Bremsung, damit das Fahrzeug lenkfähig bleibt.
<b>DSC / ESP</b>	Dynamic Stability Control / Electronic Stability Program	DSC verhindert das Schleudern bzw. Ausbrechen des Fahrzeugs bei schlechter Haftung oder hoher Reibwert-Ausnutzung, indem einzelne Räder abgebremst werden.
<b>FGR / CC</b>	Fahrgeschwindigkeits-Regelung (Cruise Control)	FGR regelt die Fahrzeug-Geschwindigkeit auf einen vom Fahrer vorgegebenen Wert.
<b>ACC / ACC S&amp;G</b>	Aktive Geschwindigkeitsregelung (Active Cruise Control / ACC Stop&Go)	ACC regelt ebenfalls auf eine vorgegebene Geschwindigkeit, detektiert aber zusätzlich langsamere Vorderfahrzeuge und passt Abstand und Geschwindigkeit entsprechend an. Die Stop&Go-Funktion erweitert den Einsatzbereich bis zum Stillstand (Stau, dichter Verkehr) und automatisiert damit die Längsführung weit reichend.
<b>BAS</b>	Bremsassistent	Der Bremsassistent erkennt eine Notbremsung des Fahrers und baut unabhängig von der Pedalkraft die volle Bremsverzögerung auf.
<b>FCW</b>	Auffahrwarnung (Forward Collision Warning)	Das Warnsystem FCW überwacht den Frontbereich des Fahrzeugs und warnt den Fahrer rechtzeitig vor Auffahrunfällen, greift aber nicht selbst ein.
<b>AGB</b>	Aktive Gefahrenbremsung	AGB erweitert den Funktionsbereich von FCW, indem es selbstständig bis zum Stillstand bremst, wenn der Fahrer nicht auf eine Warnung reagiert.
<b>LCA</b>	Lane Change Assistant (Spurwechsel-Assistent)	LCA überwacht den hinteren und seitlichen Bereich des Fahrzeugs und warnt bei Spurwechseln ggf. vor kritischen Fahrzeugen auf der Zielspur.
<b>LDW</b>	Lane Departure Warning	LDW erfasst die Lage des Fahrzeugs innerhalb der vorgegebenen Spur und warnt vor dem unbeabsichtigten Verlassen, z.B. bei Müdigkeit oder Unaufmerksamkeit.
<b>PDC</b>	Park Distance Control	PDC zeigt durch optische und akustische Signale an, wie weit das Fahrzeug beim Rangieren vorn und hinten von Hindernissen entfernt ist.
<b>PMA</b>	Park Manoeuvre Assistant	PMA misst eine vorhandene Parklücke aus und kann beim anschließenden Rückwärts-Einparken die Lenkung übernehmen.
<b>NiVi</b>	Night Vision	Night Vision zeigt ein Nachtsichtbild des Bereichs vor dem Fahrzeug an, damit nachts Fußgänger oder Tiere früher erkannt werden können. Neuere Versionen erkennen die Objekte selbstständig und warnen gegebenenfalls.
<b>LKA</b>	Lane Keeping Assistance	LKA unterstützt die Spurhaltung, indem es das Fahrzeug durch dezente Lenkradmomente auf die Mitte der Spur regelt.

### 2.1.7 Probleme durch Automatisierung

Bei der Entwicklung von Maschinen, die insbesondere die Unterstützung und Entlastung des Menschen verbessern, spielt die Automatisierung seit jeher eine entscheidende Rolle.

Grundgedanke ist dabei die Verbesserung der Arbeitsbedingungen, die Entlastung von schweren, gefährlichen oder langweiligen Tätigkeiten und damit letztlich die Steigerung der Leistungsfähigkeit des gesamten Mensch-Maschine-Systems. Obwohl dieser Prozess eine der wichtigsten Triebfedern des technologischen Fortschritts war und ist, traten im Lauf der Zeit immer wieder durch Automatisierung hervorgerufene Probleme hervor. Im Bereich der Mensch-Maschine-Systeme für den Transport wurden noch vor der Erfindung von FAS einschlägige Erfahrungen in der Luftfahrt gemacht, wie Billings (1997a) anschaulich darstellt. So konstruierten begeisterte Technikpioniere schon kurz nach der Erfindung des Flugzeugs im 19. Jahrhundert Systeme zur automatischen Stabilisierung der Maschinen während des Flugs – z.B. den gyroskopischen Stabilisator (1908), Sperry's „Automatic Pilot“ (1920er Jahre) oder automatisierte Gierdämpfer und Pitch-Kompensatoren (1950er Jahre). Die 1960er Jahre brachten enorme Fortschritte auf dem Gebiet der Navigation (ILS, Instrument Landing System) sowie der Automation des Landevorgangs, eindrucksvoll demonstriert durch die automatische Landung einer Passagiermaschine des Typs Trident III im Jahre 1965 (Time Magazine, 18.06.1965).

Noch während der 70er und 80er Jahre war man überzeugt, dass mit stetig zunehmender Automatisierung die Zuverlässigkeit erhöht und die Pilotenbelastung reduziert würde (Billings, 1997b). Beispielhaft dafür ist der Airbus A320 aus dieser Zeit, der einen technologischen Meilenstein darstellt. Die teils tragischen Zwischenfälle mit Flugzeugen dieser Generation zwangen jedoch ab einem bestimmten Punkt zum Umdenken. So kommt Billings (1997b) zu dem Schluss, dass die Komplexität der Automatisierung zumindest für einen Teil der A320-Zwischenfälle verantwortlich war, da die Piloten selbst nach beträchtlicher Erfahrung nicht alle Feinheiten der Assistenzfunktionen verstanden hatten.

Dieses Problem beschäftigte auch andere Human-Factors-Forscher. So weist u.a. Bainbridge (1983) in ihrer Arbeit „*Ironies of Automation*“ darauf hin, dass mit fortschreitender Intelligenz und Selbstständigkeit der Maschine der Beitrag des menschlichen Operators umso entscheidender sein kann. Da die ursprüngliche Aufgabe wegfällt (z.B. Führen eines Flugzeugs), überwacht der Operateur von nun an ein System, das diese Aufgabe übernimmt (Sheridan, 1997). Er hat nach wie vor die volle Verantwortung und muss durch Beobachtung sicherstellen, dass kein Fehler auftritt – er ist aber nicht mehr ausführendes bzw. regelndes Element. Generell sind Menschen schlecht für überwachende Tätigkeiten geeignet, bei denen lange fast keine Arbeitsbelastung auftritt, dann aber schlagartig alle Ressourcen mobilisiert werden müssen (zusammengefasst in Buld et al. (2002). Neuere Ansätze sehen daher den Einsatz von adaptiver Automatisierung vor (kooperative Assistenz), bei der die Automatisierungsstufe je nach Bedarf variiert (Neuendorf et al., 2006; Hakuli et al., 2009).

Durch die Abkopplung des Nutzers entstehen diverse Probleme wie das fehlendes *Situationsbewusstsein*, *Fertigkeitsverlust* und *übermäßiges Vertrauen des Nutzers in die Automatisierung*, die Wickens und Hollands (1999; zitiert in Bahner, 2008) auch unter dem Begriff OOTLUF („*out-of-the loop unfamiliarity*“) zusammenfassen.

## Situationsbewusstsein

Der überwiegende Teil der auftretenden Probleme kann fehlendem *Situationsbewusstsein* (*Situation Awareness*) zugeschrieben werden. Dieses definiert sich nach Endsley und Kiris (1995) aus

1. der Wahrnehmung des Zustands und der Dynamik relevanter Elemente in der Umgebung,
2. der Integration dieser Informationen zu einem ausreichend vollständigen Abbild der Situation und des Systemzustands,
3. und der Projektion von Situation und Systemzustand in die nahe Zukunft.

besteht. Der Nutzer muss jederzeit ein möglichst gutes Bild vom Zustand des Gesamtsystems inklusive Umgebung haben und dieses dynamisch vorhersagen können, sonst kann er nicht entscheiden, wann sein Eingreifen erforderlich wird. Obwohl der Begriff *Situationsbewusstsein* aus der Human Factors-Forschung für Flugsysteme stammt (Endsley, 1996; Endsley und Kiris, 1995), sind diese Probleme auch bei Fahrerassistenzsystemen bekannt (Buld et al., 2002; Schaller et al., 2008). Die Gründe für mangelndes Situationsbewusstsein können u.a. Vigilanzprobleme, schlecht gestaltete Systemrückmeldungen oder auch ein falsches Grundverständnis (mentales Modell) des Systems sein.

Besonders hervorgehoben seien dabei die durch Modes verursachten Probleme. Ein *Mode* ist nach Degani et al. (1997) eine „*Maschinenkonfiguration, die einem eindeutigem Verhalten entspricht*“ bzw. nach Leveson et al. (1997) eine „*sich gegenseitig ausschließende Gruppierung von (mehreren) Systemverhalten*“. Dies bedeutet, dass sich ein und dieselbe Maschine in Mode A anders verhält als in B. So kann ein Pilot die Leit- und Triebwerke seines Flugzeuges in diversen Modi teilweise oder vollständig automatisiert regeln lassen, im manuellen Modus hingegen muss er diese Aufgabe übernehmen. Übersieht er bei hoher kognitiver Belastung eine aktive Automatisierung, arbeiten zwei Instanzen gegeneinander und können zu unkontrollierbarem Systemverhalten führen (Billings, 1997a).

## Fertigkeitsverlust

Der *Verlust von Fertigkeiten* kommt in einer zweiten Problemgruppe zum Tragen. Er tritt auf, wenn ursprünglich manuell durchgeführte Tätigkeiten so lange von der hochautomatisierten Maschine übernommen werden, dass die entsprechenden Fähigkeiten verlernt werden (siehe die Beispiele in Tabelle 2.5). Dadurch kann der Nutzer nicht mehr darauf zurückgreifen, wenn sie im Störfall ausnahmsweise benötigt werden (Bainbridge, 1983). Bei Fahrzeugen wäre dies vor allem bei dynamischen Regelvorgängen auf der Stabilisierungsebene problematisch, die im Verhaltensmodell nach Rasmussen (1983) weitestgehend fertigkeitstbasiert ablaufen.

### **Vertrauen in die Automatisierung**

Als dritte Problemgruppe ist das *Vertrauen des Nutzers* in die automatisierte Funktion bedeutsam. Sowohl zu starkes Vertrauen (*overreliance* bzw. *complacency* nach Bahner (2008) als auch zu geringes Vertrauen (*mistrust*) sind kritisch. Während letzteres in erster Linie Akzeptanzprobleme und die Ablehnung der automatisierten Funktion zur Folge hat, führt zu starkes Vertrauen zu unzureichender Überwachung und zu geringem Verantwortungsgefühl.

Tabelle 2.5 gibt einen Überblick über diese und weitere bekannte Problemfelder mit Beispielen aus der Flug- und Fahrzeugführung. Es wird nicht der Versuch gemacht werden, die einzelnen Begriffe eindeutig gegeneinander abzugrenzen, für eine tiefergehende Beschäftigung sei vielmehr auf die umfangreiche Literatur zu diesem Thema verwiesen (Billings, 1997a; Endsley, 1996; Parasuraman und Riley, 1997; Sarter et al., 1997; Wickens und Hollands, 1999). Gute Diskussionen des Themas speziell für FAS finden sich bei Kompass und Reichart (2006) sowie bei Helmer (2007).

**Tabelle 2.5:** Problemfelder der Automatisierung

Problemfeld	Teilproblem	Beispiel
<b>Fehlendes Situationsbewusstsein</b>	Vigilanzminderung	Das lange Fahren mit ACC kann zu einer Verlängerung der Reaktionszeiten oder schlechterer Spurhaltung führen (Buld et al., 2002).
	Falsches mentales Modell / Systemverständnis	Der Fahrer erwartet eine funktionierende Spurverlassenswarnung bei 40 km/h, diese aktiviert sich jedoch erst ab 70 km/h.
	Schlechte bzw. fehlende Systemrückmeldung	Da keine Statusanzeige vorhanden ist, übersieht der Fahrer, dass er längere Zeit mit übersteuertem Tempomat fährt und rollt ungebremst in eine Kreuzung (Degani, 1997).
	Kognitive Fokussierung (Cognitive Capture)	Die Fokussierung auf eine im Head-Up Display projizierte Trajektorie führt dazu, dass der Pilot beim Landen Personen oder Querverkehr auf der Landebahn übersieht (Haines, 1991; zitiert in Miličić, 2010).
	Zustandsbewusstsein (Mode Awareness) / Verwirrung über aktuellen Modus (Mode Confusion)	Beim Versuch, den Ausfall eines Triebwerks zu kompensieren, übersieht der Pilot den aktivierten Autopilot und arbeitet erfolglos gegen diesen (Billings, 1997a).
<b>Kompetenzverlust</b>	Verlust von Regelfertigkeiten	Aufgrund häufiger automatischer Landeanflüge verlernt ein Pilot die Fähigkeit zum manuellen Landen.
	Verlust von wissensbasierten Fähigkeiten	Bei ausschließlicher Nutzung seines Navigationssystems kann ein Fahrer verlernen, sich nur mithilfe einer Karte in einer fremden Umgebung zu orientieren.
<b>Vertrauen und Misstrauen</b>	Zu hohes Vertrauen (Overreliance) / Nachlässigkeit (Complacency)	Aufgrund zu großen Vertrauens in das ACC seines Fahrzeugs bemerkt der Fahrer ein nicht erkanntes Vorderfahrzeug erst spät und muss stark bremsen.
		Da er sich auf die automatische Schubdrosselung beim Landeanflug verlässt, übersieht der Pilot deren Fehlfunktion und landet mit zu hoher Geschwindigkeit (Billings, 1997a).
	Missbrauch	Der Fahrer nutzt den Spurhalteassistent seines Fahrzeugs, um freihändig auf der Autobahn zu fahren.
	Risikokompensation	Ein sportlicher Fahrer fährt riskanter, weil er sich auf durch sein ABS sicherer fühlt (Biehl et al., 1987).  Anmerkung: die Hypothese der Risikokompensation ist in der Literatur umstritten (Fuller, 2007).
	Misstrauen (Mistrust)	Ein Fahrer misstraut dem ACC seines neuen Fahrzeugs und nutzt die Funktion überhaupt nicht.

## 2.2 Klassifikation von Fahrerassistenzsystemen

### 2.2.1 Bekannte Einteilungen von Fahrerassistenz

FAS verlangen aufgrund ihrer so unterschiedlichen Ausprägungen nach einer gewissen Klassifikation. Eine der gängigsten Einteilungen basiert auf dem Drei-Ebenen-Modell, wie Tabelle 2.6 in Anlehnung an Reichart (2001) und Becker et al. (2001) zeigt:

**Tabelle 2.6:** Assistenz auf verschiedenen Ebenen der Fahraufgabe (modifiziert nach Reichart, 2000)

Ebene der Fahraufgabe	Beispiel
Navigation / Planung	Navigationssystem, Routenumplanung bei Stau, Karte
Führung	ACC, LCA, LDW, FCW, CAS
Stabilisierung	ABS, DSC

Besondere Beachtung verdienen dabei die verschiedenen Automatisierungsstufen (Kompas und Reichart, 2006). ABS und DSC handeln für den Eingriffszeitraum von wenigen Sekunden autonom und greifen dabei massiv in die Fahrzeugdynamik ein. Sie vollbringen motorische Leistungen, zu denen der Fahrer gar nicht fähig wäre (unabhängiges Bremsen von vier Rädern). Auf der Führungsebene sind unterschiedliche Automatisierungsstufen vertreten, was dazu führt, dass hier das Zusammenspiel zwischen Fahrer und Assistent sehr sorgfältig abgestimmt werden muss. Beispiele sind ACC oder LCA, die mit ausgefeilter Sensorik, komplexen Entscheidungsalgorithmen und Aktoren ausgestattet sind. Assistenten auf Navigationsebene letztlich sind rein informierender Natur – sie geben zwar Handlungsanweisungen, greifen aber nie in Regelvorgänge ein.

Die *Automatisierungsstufe* ist eine weitere Klassifikationsgrundlage. Allerdings sind die aus der Luftfahrt oder Prozesstechnik bekannten Stufen (siehe Abschnitt 2.1.5) nur bedingt für Fahrerassistenzsysteme geeignet – zu unterschiedlich sind die spezifischen Domänenmerkmale (Wandke et al., 2005). Am ehesten bietet sich die einfachere Variante nach Endsley und Kiris (1995) an, die beispielsweise von Lange (2007) verwendet wird. Jüngere Terminologien sind auf dieses Anwendungsgebiet spezialisiert und betonen die Verantwortungsteilung zwischen Mensch und Maschine. Tabelle 2.7 gibt einen Überblick über häufig genutzte Begriffe für Automatisierungsstufen bei FAS und ihre Quellen. Beim direkten Vergleich zeigt sich dabei eine grundsätzlich ähnliche Abstufung, es existiert aber kein allgemeiner Standard (Wandke et al., 2005). Darüberhinaus existieren Einteilungen nach Komfort- und Sicherheitsaspekten (Belz et al., 2004; Bubb, 2003), Quer- und Längsführung (Naab, 2000) und nach seltener verwendeten Kriterien. Eine ausführlichere Betrachtung von FAS-Klassifikationen findet sich bei Helmer (2007).

**Tabelle 2.7:** Einteilung von Fahrerassistenzsystemen nach Automatisierungsstufen

Verantwortung	Donges (1999)	Ehmanns et al. (2000)	Naab (2000)	Gründl (2005)
 <p>Mensch</p> <p>Maschine</p>	Information	Information / Warnung	Informierende Systeme	Information
	Warnung			
			Servosysteme	
	Handlungsempfehlung	Verbindliche Anweisung		korrigierender Eingriff
	Fahrdynamik-Regelung	korrigierender Eingriff	automatisch intervenierende Systeme	
	Teil-Automatisierung			
	Voll-Automatisierung	Übernahme der Fahraufgabe	automatisch agierende Systeme	

### 2.2.2 Klassifikation von FAS nach Handlungsphasen

Ein neuerer Klassifikationsansatz stammt von Wandke et al. (2005) und baut auf den Arbeiten von Sheridan und Verplank (1978), Endsley und Kaber (1999), Parasuraman et al. (2000) und Haller (2001) auf. Der Autor schlägt sechs sogenannte *Handlungsphasen* vor, die von Assistenzsystemen jeglicher Art unterstützt oder ersetzt werden können. Sie bilden gleichzeitig eine Klassifikationsgrundlage und berücksichtigen die Vielfalt moderner Systeme besser als fixe Automatisierungsstufen. Zusätzlich können sie einen großen Teil des verbliebenen Potenzials für FAS beschreiben – siehe dazu auch Kapitel 4. Wandke et al. (2005) proklamieren folgende sechs Handlungsphasen:

1. Herstellung und Beibehaltung eines optimalen Aktivierungsniveaus („*Motiv- und Zielbildung*“)
2. Wahrnehmung von Umgebungsinformationen („*Informationsaufnahme*“)
3. Integration der wahrgenommen einzelnen Informationselemente und Situationsbewertung („*Informationsanalyse und –integration*“)
4. Entscheidung und Aktionsauswahl („*Entscheidung*“)
5. Sensorische und motorische Umsetzung der Entscheidung („*Aktionsausführung*“)
6. Verarbeitung der Rückmeldung über die Ergebnisse der Aktion („*Effektkontrolle*“)

Fahrerassistenzsysteme unterstützen eine oder mehrere dieser Phasen z.B. durch Automatisierung. Die Systemqualität und die Menge der unterstützten Handlungsphasen unterscheiden sich dabei maßgeblich.

**Tabelle 2.8:** Zuordnung von FAS zu einzelnen Handlungsphasen

	Motiv- / Zielbildg.	Info.- Aufnahme	Info.- Integrat.	Entscheidung	Aktionsausführg.	Effektkontrolle
Active Cruise Control		●—————●			●	
Notbrems-Assistent					●	
Auffahrwarnung		●—————●		●		
Autonome Notbremse		●—————●			●	
Müdigkeitswarner	●					
Spurverlassenswarnung		●—————●		●		
Spurwechselwarnung		●—————●			●	
Night Vision		●				
Night Vision mit Objekterkennung		●—————●				
Park Distance Control			●—————●			

Ein entscheidender Vorteil dieses Ansatzes ist, dass beliebig viele Kombinationsmöglichkeiten automatisierter Handlungsphasen möglich sind und der Entwickler sich zur Beschreibung seines Systems nicht auf eine beschränkte Menge an Automatisierungsstufen stützen muss. Da trotz großer Vielfalt eine übersichtliche Darstellung möglich ist, ist die Klassifikation nach Handlungsphasen für diese Arbeit am geeignetsten. Sie wird beispielsweise in der im folgenden Kapitel beschriebenen Bedarfsanalyse verwendet.

### 3 Gestaltungsmöglichkeiten zur Integration von Fahrerassistenzsystemen

Schon in der Vergangenheit standen die Automobil-Entwickler häufig vor der Herausforderung, neue Funktionen und Systeme in einem etablierten und mit vielen Einschränkungen versehenen MMS – dem Fahrzeug – unterzubringen. Dies gilt insbesondere für Fahrerassistenzsysteme, die aus Sicht der Nutzer generell anspruchsvoll sind. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über gängige Methoden zur *Integration* und *Gruppierung* neuer Nutzerschnittstellen im Automobil mit dem Fokus auf Assistenzsysteme. Beide Begriffe sollen für diese Arbeit strikt getrennt werden. Zusätzlich sei auf den wichtigen Unterschied zwischen Funktion und System hingewiesen: eine *Funktion* ist eine einzelne, vom Fahrer erlebbare Eigenschaft (z.B. Vorwarnung), ein *System* fasst eine oder mehrere Funktionen (z.B. Vorwarnung, Akutwarnung, Anbremsen) zu einer Einheit (FCW) zusammen.

Wenn völlig neue Systeme ins Fahrzeug kommen oder existierende technisch durch neue Funktionen erweitert werden, ist von *Integration* die Rede. Mit *Gruppierung* ist hingegen die Zusammenfassung bestehender Systeme und Funktionen im ABK gemeint – z.B. durch eine geometrische Anordnung von ABK-Komponenten. Integration geschieht also vorrangig auf technischer Ebene, Gruppierung betrifft stärker die Nutzerschnittstelle.

#### 3.1 Integration neuer Systeme bzw. Funktionen

Assistenzsysteme unterstützen oder ersetzen Teile der primären Fahraufgabe, indem sie bestimmte Handlungsphasen automatisieren. Als Rahmenbedingung gilt dabei, dass sich das grundlegende Konzept zur Fahrzeugbedienung in den letzten 100 Jahren nicht grundlegend geändert hat. Trotz der zahlreichen Versuche, Lenkrad und Pedale durch andere Bedienelemente zu ersetzen (Eckstein, 2001; Huang, 2003), sind diese nach wie vor in so gut wie jedem Serienfahrzeug zu finden. Die in den letzten zwanzig Jahren eingeführten FAS bzw. ihre Anzeige-Bedienkonzepte sind immer in ein bewährtes und konstantes *Basis-Layout* integriert worden – mit einem Lenkrad zur Querführung sowie Gaspedal, Bremspedal und Schaltung bzw. Automatikwählhebel für die Längsführung. Dabei sind vier unterschiedliche Szenarien möglich, wie Abbildung 3.1 zeigt. Die Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern deckt die in der Praxis am häufigsten auftretenden Fälle ab. Gerade bei den innovationsträchtigen FAS wurden die Systeme bislang zum Zeitpunkt ihrer technischen Machbarkeit als Einzelsysteme in Serie gebracht (LCA, LDW, FCW). Die Integration neuer Funktionen in existierende Systeme und die Gruppierung im ABK werden erst in letzter Zeit verstärkt betrachtet – so z.B. in der Gruppierung verschiedener Assistenzsysteme mittels einer Fahrerassistenz-Bedienleiste im BMW 7er (BJ 2008).

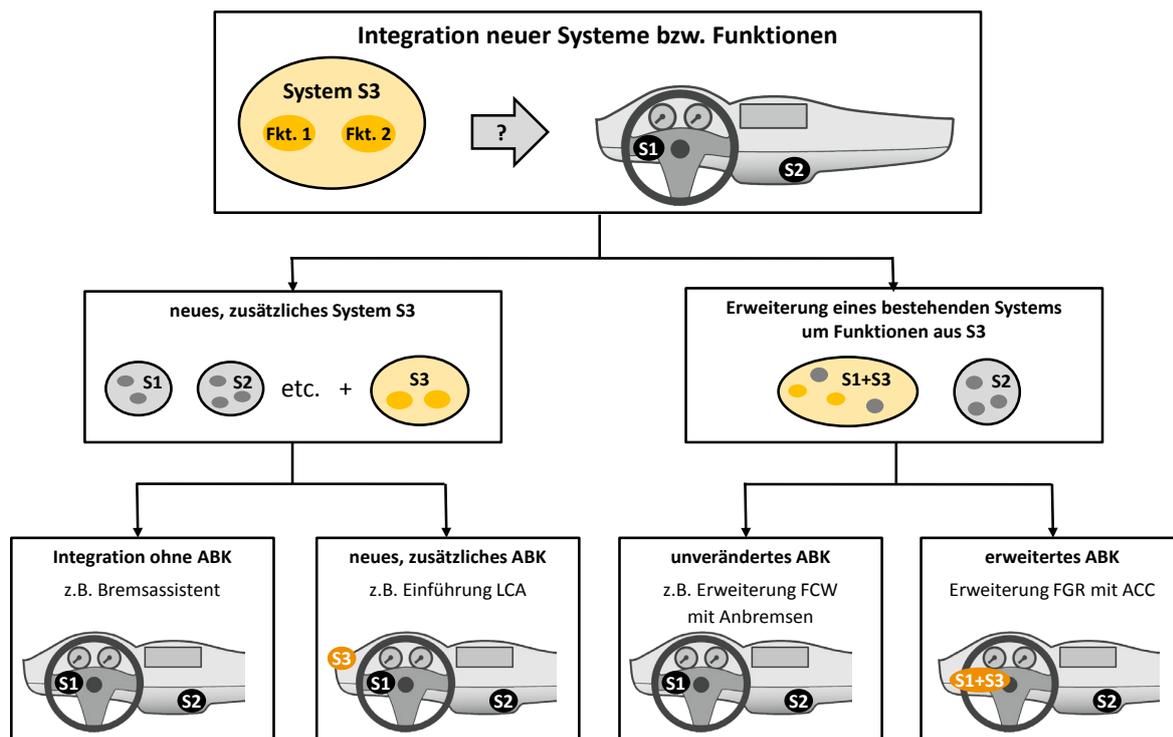


Abbildung 3.1: Auswirkungen von Integration und Gruppierung auf das ABK

### 3.1.1 Integration ohne ABK

Soll eine neue Assistenzfunktion ganz ohne ABK ins Fahrzeug kommen, muss die Automatisierung perfekt sein, d.h. in faktisch jeder erdenklichen Situation exakt den Bedürfnissen des Nutzers entsprechen. In diesem Fall sind weder Überwachen noch Eingreifen erforderlich (Stufe 5 nach Endsley und Kiris, 1995) und die Nutzerschnittstelle kann komplett entfallen. Eines der seltenen Beispiele dafür ist der Bremsassistent (BAS), der bei einer Notbremsung immer den maximalen bzw. optimalen Bremsdruck aufbaut, um zu zögerliches Bremsen auszugleichen. Für diesen Assistenten sind weder neue Bedienelemente noch Anzeigen nötig. Auch ABS fällt in diese Klasse, allerdings nur wenn weder Abschalten möglich ist noch der Eingriff dem Fahrer angezeigt wird. Zu beachten ist dabei, dass beide Systeme auf *Stabilisierungsebene* arbeiten und Vorgänge automatisieren, die nur die wenigsten Fahrer perfekt manuell ausführen können. Eine imperfekte Automatisierung ließe sich hier von vorherein nicht per ABK ausgleichen – die Funktion müsste entfallen.

Auf *Bahnführungsebene* ist eine Integration von FAS ohne ABK im Moment nicht absehbar. Die letzten Eskalationsstufen von Auffahrwarnsystemen entwickeln sich zwar bereits zu aktiven Gefahrenbremsen hin (Nitz und Zahn, 2008) und erreichen damit bald dieselbe Automatisierungsstufe wie ABS. Für Querführungs-FAS wie LDW und LCA hingegen sind hier noch deutliche Weiterentwicklungen nötig.

### 3.1.2 Integration mit neuem, zusätzlichem ABK

Abgesehen von den oben genannten Beispielen sprechen daher bei den meisten FAS einige Gründe für eine eigene Nutzerschnittstelle:

1. Die Automatisierung ist nicht perfekt (Endsley-Stufe  $< 5$ ), kann nur in ausgewählten Fahrsituationen eingesetzt werden oder ist absichtlich so gestaltet, dass der Fahrer sich nicht auf das System verlassen kann. Die Funktionen müssen überwacht und gegebenenfalls übersteuert oder abgeschaltet werden. Beispiele dafür sind ACC oder ein Fernlichtassistent (FLA) der automatisch zwischen Abblendlicht und Fernlicht umschaltet.
2. Die Automatisierung ist im Prinzip perfekt, jedoch soll der Fahrer nach wie vor die Möglichkeit haben, ohne Assistenzfunktion fahren zu können, um bestimmte, selten vorkommende Anwendungsfälle abdecken zu können. So lassen sich bei Fahrzeugen der Marke BMW z.B. Teilfunktionen der DSC abschalten, um bei verschneiter Fahrbahn leichter anfahren zu können.
3. Die Automatisierung ist perfekt und nicht abschaltbar, doch die Systemfunktion (z.B. Regeleingriff des DSC) muss dem Fahrer kommuniziert werden.

In all diesen Fällen sind eigene ABK-Elemente notwendig, die – wenn das neue System nicht ein vorheriges ergänzt – neu zum Basis-Layout hinzukommen. So müssen für die Spurverlassenswarnung Aktivierungstaster (bmw.de, 2008; audi.de, 2011) Statusanzeigen und Rückmeldung am Lenkrad (bmw.com, 2008a) berücksichtigt werden. Ähnliches gilt für Spurwechsel- oder Auffahrwarnung. Der Fahrer muss die Nutzung dieser neuen Schnittstellen lernen, wobei die in Abschnitt 2.1.7 beschriebenen Probleme wie Unverständnis, Fehlbedienung etc. auftreten können.

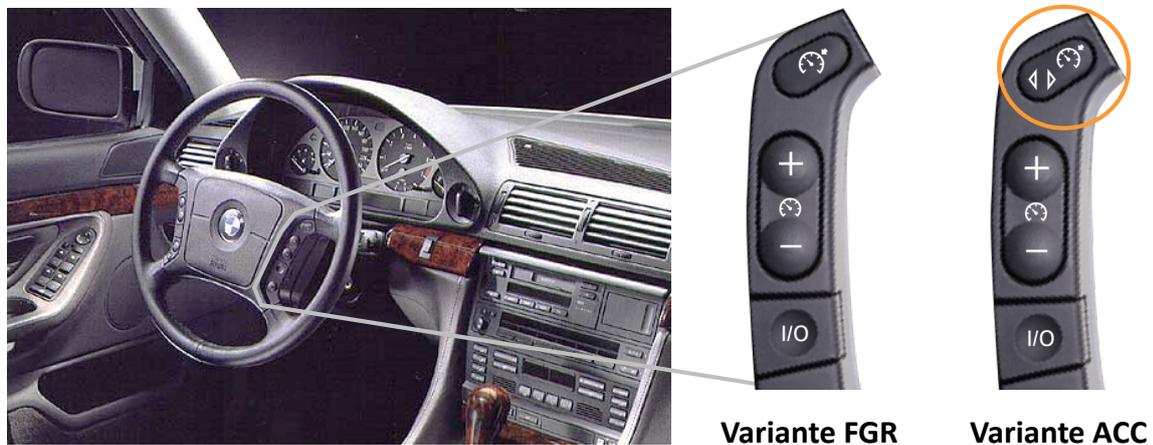
### **3.1.3 Integration durch Erweiterung eines Systems mit neuen Funktionen ohne ABK-Änderung**

Unter günstigen Umständen kann für eine neue Funktion auf ein schon existierendes ABK zurückgegriffen werden. Ein Beispiel dafür ist die funktionale Erweiterung der Auffahrwarnung. Während die ersten Systeme den Fahrer ausschließlich warnten (Kopf et al., 2004b), wurden sie bald um eine Anbremsfunktion (Breuer und Gleissner, 2006) ergänzt, wozu weder Warnsymbole, Warntöne noch Bedienelemente modifiziert werden mussten.

### **3.1.4 Integration durch Erweiterung einer bestehenden Funktion mit ABK-Änderung**

Ein ebenfalls häufiger Fall ist der, dass ein bestehendes System um Funktionen erweitert wird bzw. bestehende Funktionen technisch anders kombiniert werden. Vergleichbar zu einer neuen Funktion können ebenfalls neue Anzeige- oder Bedienelemente hinzukommen, jedoch baut das Grundverständnis auf einem schon bekannten System auf – der Lernaufwand des Fahrers wird reduziert. Das prominenteste Beispiel ist die Erweiterung der einfachen *Fahrgeschwindigkeits-Regelung* (FGR) mit einer Zusatzfunktion zur Abstandshaltung, woraus die *aktive Geschwindigkeitsregelung* (ACC) hervorging. Bei ihrer Einführung in den 50er Jahren wurde die FGR als neues System integriert. Sie erhielt Bedienelemente, die bis heute eine eigene Einheit bilden (siehe z.B. das Lenkrad-Bedienfeld im BMW 7er 2008 (bmw.de, 2008) oder den Lenkstockhebel der S-Klasse. Bei der Serien-Einführung des ACC im BMW 7er (BJ 2000) konnten die Entwickler bereits auf diese Bedienelemente zurückgreifen und mussten nur die Bedienlogik um eine

Abstandsbedienung erweitern. Dabei entschieden sie, ACC nicht als neues, unabhängiges System, sondern als Erweiterung der FGR zu kommunizieren, um auf eine gelernte Bedienung aufsetzen zu können. Die Entwickler von Mercedes hatten kurz zuvor bei der Einführung ihres DISTRONIC-Systems ähnlich entschieden (Winner et al., 2009a), verwendeten allerdings einen Lenkstockhebel.



**Abbildung 3.2:** Modifikation der FGR-Bedienung bei Einführung ACC im BMW 7er

### 3.2 Gruppierung bestehender Systemen und Funktionen im ABK

Die Integration über einen der eben beschriebenen Wege führt zum Ziel, solange für FAS nicht zu viele neue ABK-Elemente ins Fahrzeug kommen. Da jedoch zukünftig mit noch mehr Systemen gerechnet werden kann, müssen zusätzlich zur Integration neue Wege gefunden werden. Hier bietet sich die *Gruppierung* an, die Systeme unter einem zusammenhängenden ABK bündelt. Unter Umständen kann dabei eine technische Modifikation der Einzelfunktionen notwendig sein, so dass die begrifflichen Grenzen zur Integration unscharf werden. Die Gruppierung kann alle Arten von ABK-Komponenten betreffen, so z.B. Anzeigen, Bedienelemente oder Warnsymbole – Abbildung 3.3 gibt einen Überblick über mögliche Lösungsszenarien.

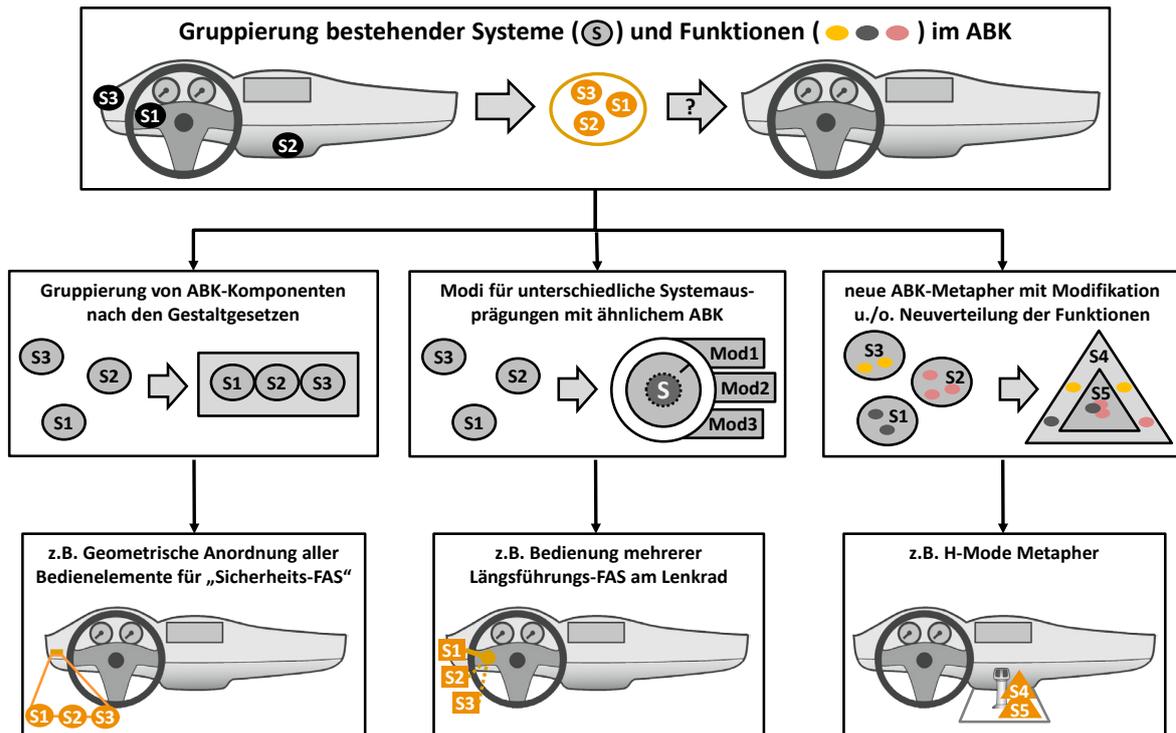


Abbildung 3.3: Gruppierung bestehender Systeme und Funktionen im ABK

### 3.2.1 Gruppierung von ABK-Elementen nach den Gestaltgesetzen

Das Gruppieren von ABK-Elementen, also z.B. die Anordnung mehrerer Tasten in einem Bedienfeld oder die Konzentration aller Anzeigen in einem Anzeigefeld, basiert auf *Gestaltgesetzen* (Metzger, 1975) bzw. *Gestaltprinzipien* (Wertheimer, 1923). Diese Regeln haben bei der Entwicklung von ABK eine herausragende Bedeutung. Hintergrund ist die im deutschen Sprachraum entstandene *Gestalttheorie*, die Wertheimer – inspiriert durch die philosophischen Erkenntnisse von Ehrenfels (1890) – zusammen mit anderen Forschern begründete. Als Leitsatz galt das bekannte Aristoteles-Zitat „*Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile*“ Aristoteles (384-322 v.Chr.): die Wahrnehmung einer Einheit lässt sich nicht ausschließlich aus einer isolierten Betrachtung ihrer Einzelteile ableiten. Bekannte Beispiele für Gestaltprinzipien sind das *Gesetz der Nähe* (nah beieinander liegende Objekte werden als Gruppe gesehen) und das *Gesetz der Ähnlichkeit* (ähnlich aussehende Objekte werden eher als zusammengehörig betrachtet als unähnliche). Zusammen mit anderen bilden sie noch heute die Grundlage von Anzeige-Bedienkonzepten, Web-Seiten, Printmedien und GUIs<sup>2</sup>.

Ein Beispiel für das *Gesetz der Nähe* bieten die Bedienelemente einiger Assistenzfunktionen im BMW 7er (BJ 2008). Die Aktivierungstaster von LCA, FCW und LDW sind in einer Leiste zu finden, zusammen mit den Tastern für das Head-Up Display und Night Vision. Das gemeinsame Merkmal ist hier *Fahrerassistenz* (mit Ausnahme des Head-Up Displays). Das Beispiel zeigt anschaulich, dass eine Gruppierung nicht

<sup>2</sup> Graphical User Interface = grafische Benutzerschnittstelle, z.B. für die Steuerung eines PCs oder Mobiltelefons

zwingenderweise alle ABK-Teile der Systeme umfassen muss. Im Gegensatz zu den Tasten sind die Interaktions-Anzeigen aller fünf Systeme voneinander isoliert, sie erscheinen nicht als optische Einheit.



**Abbildung 3.4:** Fahrerassistenz-Bedienleiste im BMW 7er (BJ 2008)

Für die Anwendung der Gestaltgesetze muss ein gemeinsames *Gruppierungsmerkmal* definiert werden, dass die Zusammenfassung rechtfertigt. Die Herausforderung liegt darin, ein vom Nutzer nachvollziehbares Konstrukt zu finden. Würde man beispielsweise alle Systeme gruppieren, die auf einem Steuergerät implementiert sind (Merkmal: gleiches Steuergerät), würde man auf Unverständnis beim technischen Laien stoßen.

Anzeigen werden ebenfalls gerne nach dem Gesetz der Nähe gruppiert. So sind Teile der Anzeigen von ACC und LDW im Kombi-Instrument des BMW 5er (BJ 2007) gestalterisch gruppiert. Hier sind sich die verschiedenen Hersteller allerdings uneinig – in der MB S-Klasse (BJ 2006) sind die LDW-Anzeigen deutlich von ACC getrennt. Die Frage nach dem „richtigen“ Gruppierungsmerkmal für Fahrerassistenzsysteme ist daher essentiell und wird in Kapitel 5 näher untersucht.



**Abbildung 3.5:** ACC-Anzeigen im BMW 5er (BJ 2003)

### 3.2.2 Modi zur Veränderung der Systemausprägung

Ein sehr effizientes, aber umstrittenes Instrument der Gruppierung sind Modi. Grundidee ist, für das gesamte MMS oder Teile davon mehrere Betriebszustände vorzusehen, in denen dieselben ABK-Elemente unterschiedliche Bedeutung haben. Wie bereits in Kapitel 2 kurz angesprochen, zeichnen sich Modi dadurch aus, dass das dasselbe System im Modus A und B unterschiedliches Verhalten zeigt. Dabei verändern sich z.B. folgende Eigenschaften:

1. Automatisierungsstufe (z.B. manueller vs. automatischer Modus eines Automatikgetriebe)
2. Parametrierung (sportliche vs. Treibstoff sparende Konfiguration eines flexibel ausgelegten Antriebsstrangs)
3. Anzahl der zugänglichen Funktionen (z.B. Anfänger- vs. Experten-Modus einer komplexen Software)

Ein Wechsel des Betriebszustandes kann entweder vom Nutzer initiiert oder auch selbstständig durch das System erfolgen. Billings (1997a) sowie Degani et al. (1997) unterscheiden drei Typen von Modi, die im Folgenden aufgeführt sind.

#### Schnittstellen-Modi (Interface Modes)

Diese Art von Modi findet sich häufig bei Alltagsgegenständen. Die Eingaben des Benutzers werden abhängig vom Modus unterschiedlich interpretiert; so reagiert z.B. eine digitale Uhr unterschiedlich auf dieselben Bedienelemente. Der Ansatz ist bei Entwicklern sehr beliebt, da sich damit die Gesamtmenge an Tasten, Hebeln etc. design- und kostengünstig reduzieren lässt. Heutzutage wird versucht, Interface-Modi wenn möglich zu vermeiden, da sie zu erheblichen Verständnisproblemen führen können (Raskin, 2000; Norman, 1988; Degani et al., 2006). Dennoch gibt es sinnvolle Beispiele aus dem Bereich FAS. So kann mit der linken Seite des Multifunktions-Lenkrads des BMW 7er (BJ 2008) entweder FGR oder ACC bedient werden. Bei beiden Systemen fallen die Bedienhandlungen *Aktivierung/Deaktivierung*, *Wunschgeschwindigkeit einstellen* und *Wiederaufnehmen* an, so dass sich die Benutzung derselben Bedienelemente anbietet. Zur Umschaltung der Modi (ACC vs. FGR) muss der Fahrer eine der Tasten für die Abstandsverstellung länger gedrückt halten.

#### Funktionale Modi (Functional Modes)

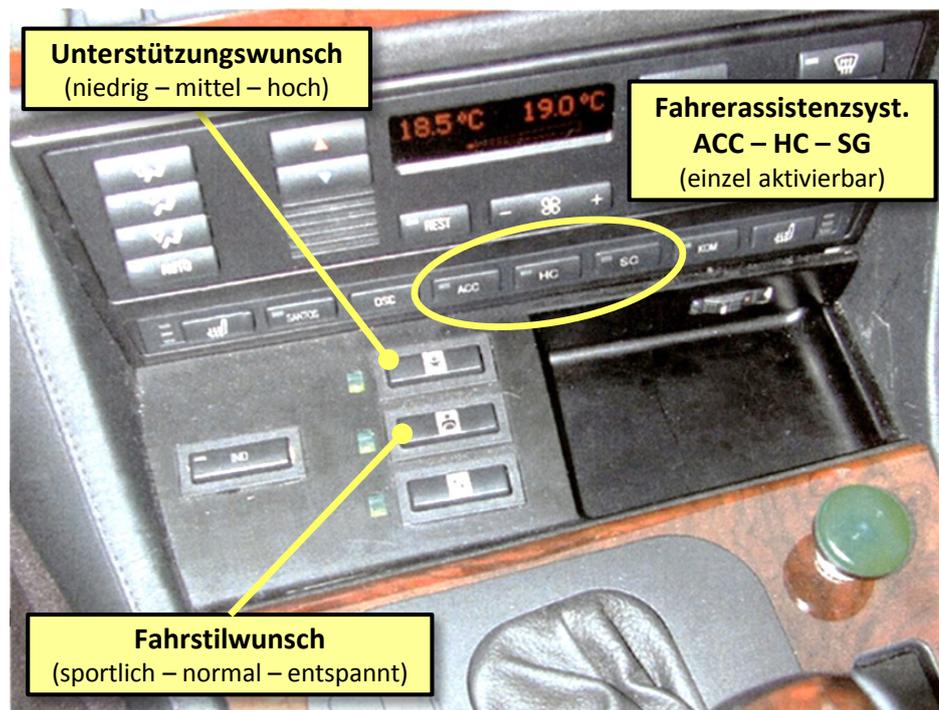
Funktionale Modi sind die „*aktive Funktion einer Maschine, die ein eindeutiges Verhalten produziert*“ (Degani et al., 1997). Als Beispiel diene das Automatikgetriebe eines Pkw – je nach Fahrstufe bewegt sich das Auto nach vorn oder hinten. Sein Verhalten ist eine Kombination des aktiven Modus mit bestimmten Parametern – in diesem Fall des Betriebszustands D, P oder R (Drive, Park oder Rear) mit einem beliebigen Fahrpedalwinkel. Im Unterschied zu Schnittstellen-Modi verwenden funktionale Modi unterschiedliche Parametersätze für dieselbe Maschine, so z.B. die Fahrdynamik-Modi des BMW 7er (BJ 2008). Bei der Fahrerassistenz wurde das Prinzip z.B. im Projekt SANTOS

(König et al., 2002) eingesetzt. Hier konnte der Fahrer mit einem Fahrstilwunsch-Schalter (Abbildung 3.6) zwischen den Stilen *sportlich*, *normal* und *entspannt* wählen und die FAS-Parametrisierung ändern (z.B. stärkere Beschleunigung des ACC im Modus *sportlich*).

### Überwachungs-Modi (Supervisory Modes)

Überwachungs-Modi geben dem Nutzer die Möglichkeit, verschiedene Automatisierungsstufen zu wählen. Diese können von vollständiger manueller Kontrolle des Nutzers bis hin zur Autonomie der Maschine reichen. Diese Systembeeinflussung ist die mächtigste, aber komplexeste Form von Modi. So konnte der Fahrer bei SANTOS mit einem *Unterstützungswunsch-Schalter* (USW) zwischen drei Automatisierungsstufen wählen. Abhängig davon reagierten ACC, LKA (hier: HC) und SC<sup>3</sup> von warnend und informierend bis hin zur automatischen Regelung, wie das Beispiel des ACC zeigt:

1. niedriger USW: ACC informiert und warnt bei zu geringem Abstand, SC warnt bei hoher Geschwindigkeit
2. mittlerer USW: ACC regelt den Abstand zum Vorderfahrzeug aktiv, SC empfiehlt eine optimale Geschwindigkeit per aktivem Gaspedal (nur angedacht, nicht realisiert)
3. hoher USW: ACC regelt aktiv und gibt verstärktes optisches / akustisches Feedback, die SC-Geschwindigkeit wird automatisch als Regelvorgabe für ACC übernommen



**Abbildung 3.6:** Bedienelemente für USW und FSW im SANTOS-Versuchsfahrzeug

<sup>3</sup> Speed Control errechnete eine von diversen Faktoren abhängige Idealgeschwindigkeit, die – abhängig vom USW – als empfohlene oder ACC-Sollgeschwindigkeit übernommen wurde.

Die verwendeten drei Stufen lassen sich nicht eindeutig der Klassifikation von Endsley zuweisen, sondern passen besser zu den von Donges (1999) aufgezeigten Ausprägungen (siehe Tabelle 2.7) – die erste Stufe entspricht einer Kombination aus *Information* und *Warnung*, die zweite der stellt eine *Handlungsempfehlung* dar (ACC bildet eine gewisse Ausnahme) und die dritte lässt sich als *Teil-Automatisierung* auffassen.

### **3.2.3 Einführung einer neuen Bedienmetapher mit Modifikation oder Neuverteilung der Funktionen**

Ein weiteres interessantes Prinzip eröffnet sich mit der Einführung einer neuen Metapher. Dazu werden vorhandene Funktionen erst höher automatisiert oder anderweitig technisch modifiziert und anschließend mit einer neuen Art von Bedienung gemeinsam genutzt. Die vorherigen Einzelfunktionen können nicht mehr gleichermaßen genutzt werden.

Dazu müssen funktionale Integration nach Abs. 3.2.4 und ABK-Gruppierung zusammenwirken. Solche Bedienmetaphern sind für FAS bisher nur in Forschungsprojekten untersucht worden. Da die Assistenzsysteme stark mit der primären Fahraufgabe interagieren, sind die Grenzen hin zu neuen Fahrzeugführungskonzepten fließend. So ist in dem von Eckstein (2001) entwickelten Sidestick-Fahrzeug ein Längsdynamikregler vorgesehen, der die Geschwindigkeit in den Phasen konstant hält, in denen der Fahrer weder beschleunigt noch verzögert – was im Prinzip einer Fahrgeschwindigkeitsregelung (FGR) entspricht. Klassische Bedienelemente wie Lenkrad oder Pedalerie fehlen völlig – eine Idee, die schon häufig Gegenstand visionärer Forschungsprojekte war (für einen Überblick siehe Eckstein, 2001; Huang, 2003).

Ein sehr anschauliches Beispiel für neue Metaphern in Verbindung mit Fahrerassistenz und Automatisierung ist das am DLR entwickelte Konzept *H-Mode* (Flemisch et al., 2005b; Damböck et al., 2009). Abgeleitet von der generischeren „*H-Metapher*“ wird dabei die Führung eines Fahr- oder Flugzeugs mit dem Reiten eines Pferdes verglichen. Ein Pferd kann sich grundsätzlich ohne Hilfe des Reiters bewegen und ist dabei ausreichend intelligent, um nicht mit Hindernissen zu kollidieren oder vom Weg abzukommen. Der Reiter kann die Bewegung des Tieres kinästhetisch und haptisch erfassen und selbst entscheiden, wie stark er das Pferd durch die Zügel kontrolliert oder ihm freien Lauf gibt. Auf ähnliche Art und Weise soll nun die Führung eines Fahrzeugs erfolgen. Ausgehend von einer sehr hohen Automatisierungsstufe für Längs- und Querführung, interagiert der Fahrer mit einem Joystick. Dabei wirken seine Eingaben jedoch nicht direkt auf die Längs- und Querführung wie bei den Konzepten von Eckstein (2001) und Huang (2003), sondern geben nur Kommandos vor, in welche Richtung sich das Fahrzeug zu bewegen hat. Die tatsächliche Führung auf Stabilisierungsebene wird von Assistenzsystemen übernommen. Das intelligente Fahrzeug kann sich dem Befehl zwar widersetzen und der Bewegung des Joysticks einen Widerstand entgegensetzen (z.B. Anfahren trotz Fußgänger vor dem Fahrzeug), bleibt jedoch durch stärkeres Drücken in dieselbe Richtung übersteuerbar.

Die Metapher hat große Vorteile bezüglich der Kompatibilität der Bedienung und der eingeleiteten Fahrzeugbewegung. Muss der Fahrer bei herkömmlichen FAS mehrere Zustände wie AUS, STANDBY und AKTIV unterscheiden und mehrere Bedienelemente für

verschiedene FAS betätigen, bildet der H-Mode deren Nutzung auf ein aktives Bedienelement ab. Das Konzept stellt also eine mögliche Lösung dar, wie viele FAS integriert und zusammen bedient werden können.

Voraussetzung ist hierbei jedoch eine *einheitliche Automatisierungsstufe* für alle unter der Metapher integrierten Systeme – ein Ansatz, der (noch) an technische Grenzen stößt. Während ACC Stop&Go zumindest auf Autobahnen dem Ideal der H-Metapher relativ nahekommt, gilt das für die Querführung nicht. Fahrzeuge, die längere Zeit automatisch lenkend auf einer beliebigen Bahn fahren können, stecken noch in den Kinderschuhen bzw. benötigen aufwändigste und teure Technik, wie die Fahrzeuge der DARPA-Challenge zeigen (Thrun et al., 2005).

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt das an der TU Darmstadt entwickelte Konzept *Conduct-By-Wire*. Hier wird statt einer Menge an Einzelsystemen ein übergreifendes Bedienkonzept verfolgt, „*das es dem Nutzer ermöglicht, über eine vereinheitlichte Schnittstelle mit diversen Subsystemen zu interagieren*“ (Winner et al., 2006). Dabei wird wieder die Stabilisierungsebene vollständig automatisiert, der Fahrer handelt nur noch auf Führungs- und Navigationsebene. Über eine „*Manöverschnittstelle*“ kann der Fahrer Manöver auswählen, die das Fahrzeug anschließend selbstständig durchführt. Winner et al. (2006) merken dabei an, dass sich die Menge der möglichen Manöver wie Folgefahrt oder Spurwechsel nur auf der Autobahn unter Normalbedingungen beschränken lässt. Im Gegensatz zum H-Mode soll das Conduct-By-Wire Konzept daher nach wie vor den Durchgriff auf die Stabilisierungsebene ermöglichen – der Unterstützungsgrad hängt von der Umgebung ab, in der man sich bewegt. Das Konzept berücksichtigt damit die Unzulänglichkeiten von Systemen wie ACC, HC oder SPW in schwierigen Umgebungen.

## 4 Bedarfsanalyse für Fahrerassistenz-Systeme

Vor einer Zusammenfassung der Nutzerschnittstellen für FAS müssen die in Frage kommenden technischen Systeme und ihr Leistungsumfang bekannt sein. Heute verfügbare Assistenten wie die aktive Geschwindigkeitsregelung (ACC), Spurverlassenswarnung (LDW), Spurwechselassistent (LCA) oder Auffahrwarnung (FCW) werden hier nicht im Detail beschrieben – Winner et al. (2009) gibt einen detaillierten Überblick über diese Standard-FAS. Ein großer Teil dieser Systeme wurde vor knapp 20 Jahren in PROMETHEUS konzeptioniert, einem wegweisenden europäischen Projekt mit diversen beteiligten Partnern (Haller et al., 1995). Dabei wurde anfänglich die gesamte Fahraufgabe mit Feldstudien auf mögliche Unterstützungsbedarfe untersucht. Auch in den Arbeiten von König et al. (2002), Fastenmeier und Gstalder (2002), Vollrath et al. (2005b) oder Lange (2007) findet sich dieser Ansatz – auf Basis von Felduntersuchungen oder theoretischen Analysen werden Bedarfe abgeleitet, die anschließend mit technischen Systemen adressiert werden.

Ein ähnliches Vorgehen ist auch für diese Arbeit notwendig, da die zu entwickelnden übergreifenden ABK sowohl aktuelle als auch zukünftige Funktionen berücksichtigen müssen. Das folgende Kapitel gibt daher einen Überblick über die wichtigsten Bedarfsanalysen für FAS und entwickelt anschließend auf Basis der Arbeiten von Wandke et al. (2005) eine neue Methode. Die damit identifizierten Assistenzfunktionen werden anschließend mit einer Kombination aus Nutzwertanalyse und Delphistudie priorisiert. Auf diese Weise entsteht eine zukunftssichere Gesamtmenge an FAS-Funktionen als Ausgangsbasis für ein Integrationskonzept.

### 4.1 Taxonomien der Fahraufgabe

Um den Unterstützungsbedarf des Fahrers möglichst vollständig zu erfassen, ist zuerst eine Sammlung der Tätigkeiten während der primären Fahraufgabe notwendig. Während die in Abschnitt 2.1.2 vorgestellten Modelle der Fahraufgabe diese zwar vollständig, aber abstrakt und mit wenig Detailtiefe beschreiben, versuchen verkehrspsychologische *Taxonomien*, Fahrhandlungen möglichst detailliert zu beschreiben. Diese Analysen dienen unter anderem dazu, das Soll-Verhalten des Fahrers zu beschreiben (Reichart, 2001) bzw. die an ihn gestellten Anforderungen (Fastenmeier und Gstalder, 2002) zu formulieren. Aus der Differenz zwischen Soll- und Ist-Verhalten entstehen Fehler, die Bedarfe für technische Unterstützung oder Kompensation aufzeigen. Das optimale Verhalten muss dazu in „*handhabbare Einheiten*“ (Fastenmeier und Gstalder, 2002) zerlegt werden; der Auflösungsgrad dieser Zerlegung ist jedoch eine Gratwanderung zwischen Präzision und praktischem Nutzen.

Eine der ersten Klassifizierungen der Fahraufgabe stammt von McKnight und Adams (1970). Die Autoren identifizierten 45 Hauptaufgaben wie z.B. „*Vorwärtsbewegung des Fahrzeugs innerhalb der vorgegebenen Höchstgeschwindigkeit erhalten*“ und unterteilten diese weiterhin in über 1000 Unteraufgaben wie z.B. „*Anpassen der Fahrzeuggeschwindigkeit*“. Die zwar sehr detaillierte, aber zu umfangreiche und teils redundante Aufteilung erschwert jedoch die praktische Anwendung als Bedarfsanalyse.

Von Benda (1977; zitiert in Fastenmeier, 1991) erkannte die grundlegende Bedeutung der *Verkehrssituation* als Analyseeinheit. Um diese möglichst eindeutig zu beschreiben, nutzte sie mehrere Dimensionen wie Straßentyp, Sichtverhältnisse oder Verkehrsablauf. Das Konzept wurde in mehreren Arbeiten vereinfacht, überarbeitet und von Fastenmeier mit der noch heute gebräuchlichen *Taxonomie der Verkehrssituationen* (Fastenmeier, 1995) abgeschlossen. Die im Vergleich zu McKnight und Adams (1970) bewusst übersichtlich gehaltene Struktur enthält acht Kategorien mit jeweils bis zu 7 Ausprägungen. Im Laufe ihrer Entwicklung flossen zusätzlich die relativen Häufigkeiten verschiedener Situationen ein, so dass sie sich gut für die Zusammenstellung von Teststrecken eignet, wie z.B. bei König et al. (2002).

Darüber hinaus existieren zahlreiche weitere Fahraufgaben-Analysen, die eng mit den verhaltenspsychologischen Modellen der Fahrzeugführung in Verbindung stehen (Abschnitt 2.1.2). Einen guten Überblick über die wichtigsten Konzepte bieten die Arbeiten von Fastenmeier (1991), Fastenmeier und Gstalter (2002) und Reichart (2001).

### 4.1.1 Existierende Bedarfsanalysen

Taxonomien der Fahraufgabe bilden die Basis einer Bedarfsanalyse. Fastenmeier nutzte seine Taxonomie unter anderem für die Bedarfsanalyse im Rahmen des Projekts PROMETHEUS (Fastenmeier et al., 1992). Hier wurden für eine repräsentative Fahrt zur Arbeit 117 Situationen zusammengestellt und mit drei ausgewählten Gruppen abgefahren – unerfahrenen, routinierten und älteren Fahrern. Mit Hilfe eines mitfahrenden Beobachters und verschiedenen anderen Erhebungsmethoden wurden Defizite und damit Bedarfe für Fahrerassistenzsysteme aufgezeigt.

Reichart (2001) hingegen orientierte sich zur Identifikation von Assistenzbedarfen vorrangig an den Manövern der Bahnführungsebene auf Basis von Nagel (1995), für die er normative Beschreibungen des Fahrverhaltens entwarf. Ausgehend von einem Modell der Verkehrskonflikt-Entstehung analysierte er diese „*normativen Modelle*“ auf potenzielle Handlungs- und Beurteilungsfehler seitens durchschnittlicher Fahrer. Komplexe Fehlerbäume ermöglichten ihm dabei Aussagen zur Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmter Konflikte, anhand derer er die größten Potenziale zur Sicherheitssteigerung ableitete. Er wies jedoch darauf hin, dass die Menge der möglichen Einflussfaktoren auf die Fehlerwahrscheinlichkeit hoch ist und Faktoren wie Müdigkeit, Alkohol oder Fahrerfahrung nur schwer quantitativ abschätzbar sind.

Fastenmeier und Gstalter (2002) entwerfen in einer ihrer jüngeren Veröffentlichungen eine sehr detaillierte Methode zu Anforderungsanalyse der Fahraufgabe. Sie konzentrieren sich dabei vorrangig auf die Manöver der Bahnführungsebene und teilen diese in „*Fahraufgaben im Längsverkehr*“ und „*Fahraufgaben im Kreuzungsbereich*“. Der Längsverkehr wird weiterhin in insgesamt acht Manöver (z.B. *Folgen* oder *Überholen*) und damit Fahraufgaben eingeteilt, die während einer Fahrt meistens sequentiell aneinandergereiht werden. Eine Kreuzungsdurchfahrt hingegen teilen die Autoren in geometrische Segmente ein, die analog als Fahraufgaben betrachtet werden. Vervollständigt wird diese Menge durch spezielle Tätigkeiten wie das Befahren von

Bahnübergängen oder Parken, Navigation und Stabilisierung hingegen fassen sie in der Grundfahraufgabe zusammen.

Im zweiten Schritt der Analyse wird jede Fahraufgabe in Teilaufgaben zerlegt, wie das Beispiel des Linksabbiegens an einer T-Kreuzung aufzeigt. Der Vorgang lässt sich nach Fastenmeier und Gstalter (2002) in die Segmente „*Annäherung an Kreuzung*“, „*Bereich Fußgänger*“, „*Abbiegen im Kreuzungsbereich*“ und „*Ausfahrt einteilen*“ (Ebene 1). Das Segment „*Annäherung an Kreuzung*“ wiederum enthält unter anderem die Teilaufgaben „*Erkennen der Vorfahrtsregelung*“ und „*Signalisieren der Fahrtrichtung*“ (Ebene 2). Diese Teilaufgaben werden anschließend unter insgesamt zwölf Aspekten wie *Wahrnehmung*, *Erwartungsbildung*, *Entscheiden* etc. detailliert betrachtet (Ebene 3). Die eigentliche Anforderungsanalyse orientiert sich dabei an einem modifizierten Informationsverarbeitungsmodells nach Rasmussen (1986; zitiert in Fastenmeier und Gstalter, 2002). Jeder Abschnitt enthält eine bestimmte Menge an Elementartätigkeiten (Ebene 4), so z.B. *Beobachten*, *Suchen*, *Dekodieren* und *Entdecken* im Abschnitt *Wahrnehmung*. Der Bearbeiter muss alle Elementartätigkeiten korrekt identifizieren und das Normverhalten des Fahrers beschreiben. Anschließend kann er damit Fehlerpotenzial, Komplexität, Risiko und Entlastungspotenzial abschätzen. Übergreifendes Ziel ist es, anhand vollständiger Teilaufgaben letztlich alle Fahraufgaben vollständig zu beschreiben. Wie die Autoren selber anmerken, erfordert die Komplexität dieser Methode Erfahrung im Bereich der Aufgabenanalyse und ist damit Experten vorbehalten. Die Anwendung eines Informationsverarbeitungsmodells auf einzelne Fahraufgaben ist dennoch ein viel versprechender Ansatz und soll auf einfacherer Ebene weiter verfolgt werden.

Einen völlig anderen Ansatz wählten Spies (2004) und Sacher (2004) bei ihren gemeinsamen Arbeiten im Rahmen des Projekts TUMMIC an der TU München. Ausgehend von der Einteilung in primäre, sekundäre und tertiäre Fahraufgaben (Geiser, 1985), klassifiziert Spies sämtliche Bedarfe an Fahrerassistenzsysteme in mehreren Ebenen. Über *Fahraufgabe* (Ebene 1), *Zweck* (2), *Klassifikation* (3-7), *Automatisierungsgrad* (8-9), *Unterfunktionen* (10) und *Beispiele* (11) kommt der Autor dabei auf bis zu elf Ebenen. Die Definition für Fahrerassistenzsysteme ist dabei sehr weit gehalten – sie umfasst nicht nur die primäre Fahraufgabe. Es ist also sinnvoller, hier eher von *Assistenzsystemen* zu sprechen (Abschnitt 2.1.6). Spies (2004) kann aufgrund des sehr systematischen Vorgehens eine große Menge Funktionen (ca. 800) ableiten, jedoch keine Aussage zur Nutzungswahrscheinlichkeit treffen.

Parallel zu dieser theoretischen Klassifikation erfasste Sacher (2004) Nutzerbedarfe in zwei Probandenversuchen. Im ersten Versuch wurden den Teilnehmern drei konkrete Szenarien (Dienst-, Privat- und Spaßfahrt nach Bubb, 1993b) mit Hilfe von kurzen Videosequenzen nahegebracht, die ihnen helfen sollten, sich in eine bestimmte Situation hineinversetzen zu können. Die Probanden mussten sich anschließend überlegen, welche Wünsche sie in diesem Fall an ihr Fahrzeug hätten und diese Bedarfe in einem Fragebogen festhalten. Auch im zweiten, aufwändigeren Versuch wurden Szenarien genutzt, diese wurde allerdings in der realen Welt gefahren. Der Fahrer musste drei Fahrtaufträge erledigen, die je einem der oben erwähnten Szenarien zugeordnet waren. Während der Erledigung sollte er laut denken bzw. seine Bedarfe formulieren. In den Ergebnissen (Häufigkeit der Nennung) fällt auf, dass FAS nach der Definition in Abschnitt 2.1.6 nicht zu

den wichtigsten Bedarfen des Fahrers gehören. Bedarfe treten bei Sacher (2004) vor allem im Bereich Entertainment und Information auf. Als einzige Fahrerassistenzsysteme wurden Navigationsfunktionen („*Streckeninfo*“, „*dynamische Zielführung*“) und Park-Infos („*Parkplatzsuche*“) mehrfach gewünscht. Dagegen kommen auch etablierte Systeme wie ACC in den Top Ten nicht vor, geschweige denn unbekanntere Funktionen wie Spurwechsel-Warnung. Nur in den Schwerpunktbedarfen der Spaßfahrt findet sich der recht unspezifische Wunsch nach „*Umgebungsüberwachung*“.

Anders als technische Laien sehen Experten sehr wohl Bedarfe für mehr Automatisierung im Straßenverkehr. Ebenfalls im Umfeld des Projekts TUMMIC ließ Zöllner (2004) 12 ausgesuchte Experten aus Wissenschaft und Industrie die Assistenz- und Informationsfunktionen eines Serienfahrzeugs für 2013 prognostizieren. Die Experten sahen vor allem in Assistenzsystemen der primären Fahraufgabe sowie in der Adaption von FAS einen Schwerpunkt der Entwicklung, wie Tabelle 4.1 zeigt:

**Tabelle 4.1:** Prognostizierte Assistenzfunktionen für 2013 nach Zöllner (2004)

Assistenzgruppe	Funktionen
Systeme für die automatisierte Fahrzeugführung und Fahrzeugstabilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• komplette Übernahme aller relevanten Führungs- und Stabilisierungsaufgaben durch das Fahrzeug</li> <li>• Längsführungs- und Längsregelsysteme (adaptive Geschwindigkeitsregelung in Abhängigkeit von Verkehrsregeln und Verkehrssituationen)</li> <li>• Querführungs- und Stabilisierungssysteme / Spurhaltesysteme</li> <li>• automatische Notbremsung / <math>\mu</math>-Split Kompensation</li> <li>• Parkassistenz</li> </ul>
Situative Assistenz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorstufe zum Kreuzungsassistenten mit Beeinflussung der Ampelsteuerung</li> <li>• Vermeidung gefährlicher Manöver (elektronischer Schutzwall für die aktive Sicherheit, Abschätzen von Überholmanövern, Prognose von Manövern anderer Verkehrsteilnehmer)</li> <li>• Warnungen und Eingriffe bei leicht identifizierbaren gefährlichen Situationen (z.B. Kollisionswarnung)</li> </ul>

Zöllner nutzte das Expertenpanel zusätzlich für die Abschätzung von Einflussfaktoren auf den Bedarf des Fahrers an Assistenz.

Eine jüngere Bedarfsanalyse stammt von Lange (2007) und nutzt einen mit Reichart (2001) vergleichbaren Ansatz. Ausgehend vom Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis mit den Ebenen der primären Fahraufgabe, beschreibt der Autor Quer- und Längsführung mit formalen und psychologischen Modellen. Die formalen Modelle sind ergänzt durch eine spezielle Analyse von Kreuzungen sowie der Navigationsebene. Aus diversen Modellen und Daten aus Unfallanalysen leitet Lange anschließend die Defizite und damit den Unterstützungsbedarf des Fahrers für beide Führungsarten ab. Zusammengefasst identifiziert er folgende Bedarfe:

**Tabelle 4.2:** Unterstützungspotenziale in der primären Fahraufgabe nach Lange (2007)

Aufgabe	Defizite bzw. Unterstützungspotenzial
Querführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einschätzen der Querablage</li> <li>• Voranzeige der Nachführgröße</li> <li>• Abkommen von der Fahrspur</li> </ul>
Längsführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einhaltung Sollabstand</li> <li>• Abschätzen des Überholwegs und Geschwindigkeit des Gegenverkehrs</li> <li>• Spurwechsel-Unterstützung</li> <li>• Anzeige Sollgeschwindigkeit</li> <li>• Voranzeige Änderungen Sollgeschwindigkeit</li> <li>• Beachtung relevanter Verkehrszeichen</li> </ul>
Kreuzungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einschätzen der Geschwindigkeit der anderen Verkehrsteilnehmer</li> <li>• Abschätzen des eigenen Beschleunigungspotenzials</li> <li>• Bemerkender anderer Verkehrsteilnehmer</li> <li>• Entscheidung über Vorfahrtsberechtigung</li> <li>• Sicherung (Blickführung)</li> <li>• Spurgenauigkeit beim Abbiegen</li> <li>• Beachtung der vorfahrtsregelnden Verkehrszeichen</li> </ul>

Doisl (2007) wählte in seiner Arbeit ähnliche Methoden wie Lange (2007) und Sacher (2004). Nach einer systemergonomischen Analyse von Parkstands-Suche und Parkvorgang weist er mit einer Umfrage den hohen Stellenwert von Park-FAS bei Fahrern nach. Die Teilnehmer empfanden v.a.

- Parken auf der linken Straßenseite
- unübersichtliche Stellen sowie bauliche Begrenzungen
- Aussteigen bei regem Verkehr

als schwierig. Doisl führte außerdem einen Realversuch mit den Schwerpunkten *Einparken* und *Parkstandssuche* durch, der die hohe Beanspruchung der Fahrer in diesen Situationen klar herausstellte. Zusätzlich konnte er zeigen, dass die Parkstandssuche auch für den rückwärtigen Verkehr gefährlich werden kann (Kollisionsgefahr durch plötzliches Abbremsen) und schlägt deswegen eine Anzeige für den rückwärtigen Verkehr in Form eines Symbols in der Heckscheibe vor.

Als Zusammenfassung der angeführten Analysen lassen sich zwei Dinge festhalten. Als erstes kann der Entwickler innovative Ideen für Fahrerassistenz nicht vom Kunden erwarten, kann aber unter Umständen Präferenzen für konkrete Ausprägungen wie die Art der Rückmeldung oder die Automatisierungsstufe abfragen (z.B. Schierge, 2005). Um die Akzeptanz der Systeme realistisch abschätzen zu können, ist jedoch eine Demonstration der Funktionen im Realfahrzeug unabdingbar. Zweitens fehlt ein definierter Transfer der Bedarfe in technische Funktionen. Die Methode nach Fastenmeier und Gstalter (2002) beispielsweise eignet sich zwar hervorragend zur umfassenden Ermittlung möglicher Bedarfe, jedoch werden diese nicht in konkrete FAS umgesetzt. Die gefundenen Teilbedarfe (z.B. „*Erkennen dass Annäherung an Kreuzung*“) sind zu fein aufgelöst, um direkt eine Funktion ableiten zu können. Die Methode diente vielmehr als Basis für die Funktionsentwicklungen im Rahmen des Projekts INVENT. Lange (2007) und

Doisl (2007) leiten neue Funktionen ab, nutzen aber andere Analysemethoden (Lange, 2007) bzw. fokussieren auf Teilbereiche der primären Fahraufgabe (Doisl, 2007).

### 4.1.2 Ableitung eines Funktionspools

Aus den oben genannten Gründen werden die bekannten Analysen im Folgenden mit eigenen Überlegungen auf Basis der Arbeiten von Fastenmeier und Gstalter (2002) sowie Wandke et al. (2005) ergänzt und ein Pool konkreter FAS-Funktionen abgeleitet.

#### Bedarfe auf der Stabilisierungsebene

Die Stabilisierungsebene kann nach Reichart (2001) gut mit regelungstechnischen Modellen bzw. mit Hilfe der Kybernetik beschrieben werden. Einen umfangreichen Überblick über dieses Gebiet findet sich bei Jürgensohn (1997). Auf dieser Ebene kommen seit den 70er Jahren Antiblockiersysteme (ABS) und seit den 90er Jahren elektronische Stabilitätsprogramme (ESP) zum Einsatz. ABS ist seit 2004, ESP seit 2011 gesetzlich für Neufahrzeuge in Deutschland vorgeschrieben (Bosch, 2010). Beide sind damit in naher Zukunft flächendeckend vorhanden. ABS und ESP sind bereits heute häufig kombiniert und umfassen eine Vielzahl an Einzelfunktionen, die u.a. die Lenkbarkeit und Haftung des Fahrzeugs jederzeit ermöglichen und ein Ausbrechen bzw. Schleudern wirkungsvoll verhindern. Ein darüber hinaus gehender Bedarf an Assistenz auf der Stabilisierungsebene wird hier nicht betrachtet.

#### Bedarfe auf der Führungsebene

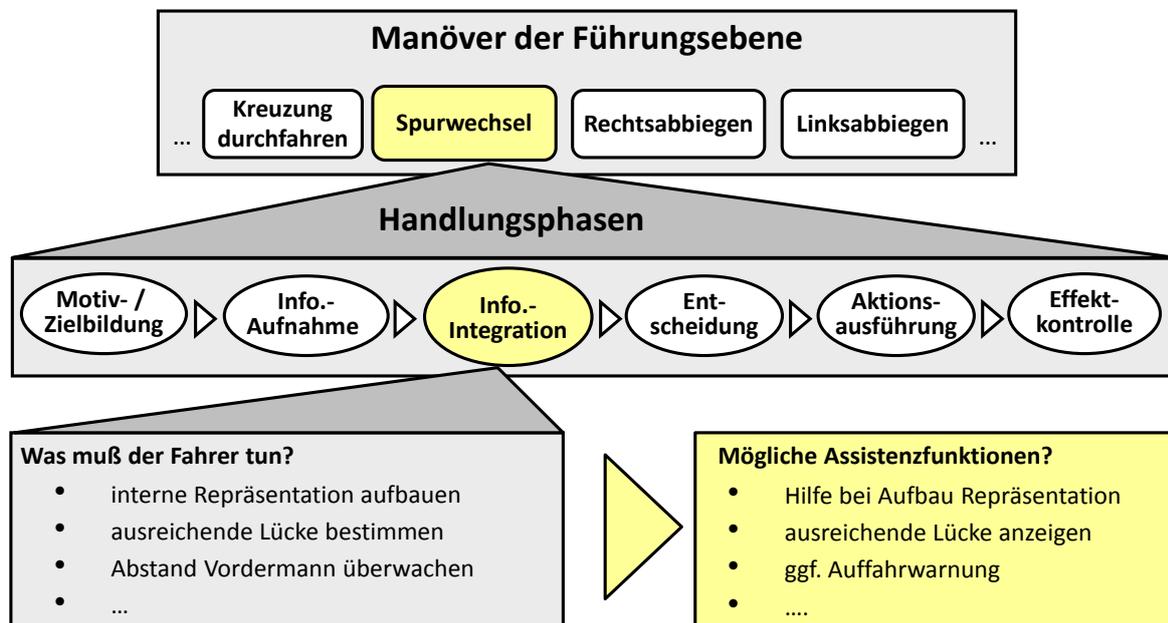
Die Führungsebene hingegen wird mit *Manövern* bzw. *Fahraufgaben auf situativer Ebene* beschrieben. In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben zu Menge und Detaillierungsgrad von Manövern. Während Nagel (1994) allein fünf einzelne Manöver für Rangier- und Parkbewegungen anführt, fassen Vollrath et al. (2005b) diese unter „*Parkmanöver*“ zusammen. Auf ähnliche Weise führt Reichart (2001) die drei Manöver „*Annäherung*“, „*Anhalten*“ und „*Passieren eines Hindernisses*“ nach Nagel (1994) unter „*Reaktion auf ein Hindernis*“ zusammen. Tabelle 4.3 gibt einen Überblick über die relevanten Quellen.

**Tabelle 4.3:** Manöver der Bahnführungsebene

Nagel (1994)	Vollrath et al. (2005b)	Reichart (2001)	Fastenmeier und Gstalter (2002)
An- und Weiterfahren	Anhalten / Stand		
	An- und Weiterfahren		
Straße folgen	Straße folgen	Fahrspur folgen	Freies Fahren
			Vorwegfahren
			Überholt werden
Annäherung an Hindernis / Fahrzeug	Annäherung an Hindernis / Fahrzeug	Reaktion auf Hindernis	Stop & Go
Anhalten vor Hindernis Fahrzeug	Anhalten vor Hindernis Fahrzeug		
Hindernis links / rechts passieren	Hindernis links / rechts passieren		
Hinter Fahrzeug anfahren	Hinter Fahrzeug anfahren		Stop & Go
Fahrzeug folgen	Fahrzeug folgen	Folgefahrt	Hinterherfahren
			Kolonnenfahren
Überholen	Überholen	Überholen	Überholen
Annäherung an Kreuzung	Annäherung an Kreuzung		Annäherung an Kreuzung
Kreuzung durchfahren	Kreuzung durchfahren	Kreuzen	Geradeaus durchfahren und ausfahren
Spurwechsel	Spurwechsel	Spurwechsel	
Abbiegen	Abbiegen	Abbiegen	Rechtsabbiegen
			Linksabbiegen
			Wenden (Kreuzung)
Einparken	Parkmanöver		Ein- und Ausparken
Ausparken			
Wenden		Wenden	Wenden (Parken)
Zurücksetzen		Rückwärtsfahren	Rückwärtsfahren
Rechts ranfahren und anhalten			
		Einbiegen (Einfahren in übergeordnete Straße)	
		Geschwindigkeitswahl	
		Abstandswahl	

Die gelb hinterlegten, an Nagel und Fastenmeier orientierten 18 Manöver werden nun innerhalb der von Wandke et al. (2005) vorgeschlagenen Systematik zur Einteilung von Assistenzsystemen betrachtet, wobei untersucht wird, welche Handlungsphasen

unterstützt werden können. Nimmt man an, dass die Manöverliste den Tätigkeitsumfang der Bahnführungsebene vollständig beschreibt, ist damit ein Großteil der denkbaren Assistenzpotenziale abgedeckt. Abbildung 4.1 zeigt den Prozess am Beispiel des Spurwechsels:



**Abbildung 4.1:** Systematische Erfassung potenzieller Assistenzfunktionen

Die dabei gefundenen möglichen Assistenzfunktionen auf Bahnführungsebene werden überarbeitet, zusammengefasst, vorgefiltert und mit den in Abschnitt 4.2.1 erwähnten Bedarfsanalysen abgeglichen. Trotz vieler Überschneidungen mit alten Quellen finden sich einige neue FAS-Funktionen auf der Führungsebene, die speziell durch die Analyse nach Handlungsphasen identifiziert werden können.

### Bedarfe auf der Navigationsebene

Ziel der Navigationsaufgabe ist es, einen bestimmten Punkt im Verkehrsnetz zu erreichen, indem aufeinanderfolgende Manöver in der Bahnführungsebene durchgeführt werden (Fastenmeier und Gstalter, 2002). Dazu muss der Fahrer verschiedene Optionen planen, bewerten und entscheiden. Entscheidungen und Planungsvorgänge können nach Reichart (2001) mit Modellen auf Basis des erwarteten Nutzens (SEU = Subjectively Expected Utility) beschrieben werden. Danach wird beispielsweise eine Routenentscheidung über die Abwägung von Optionen und daraus folgenden Konsequenzen anhand der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens getroffen. Der Fahrer wählt dabei die Variante, die den höchsten subjektiv erwarteten Nutzen hat (z.B. Auswahl einer langsameren Strecke über Landstraße statt Autobahn, weil dort die erwartete Stau-Wahrscheinlichkeit zur Urlaubszeit geringer ist). Ein Überblick über die gut erforschte Psychologie der Entscheidungsfindung findet sich u.a. bei Edwards (1954) oder auch Winterfeldt und Edwards (1986).

Den wichtigsten Bedarf auf dieser Ebene – die Routenplanung und Führung durchs Verkehrsnetz – übernehmen Navigationssysteme bereits heute, so dass hier lediglich Zusatzfunktionen aus diversen Veröffentlichungen und eigenen Ideen zum Tragen kommen (siehe Anhang A.1). Diese ergänzen den Pool um Funktionen wie den *Routen-Assistenten* (Auswahl einer Strecke mit bestimmten Eigenschaften) oder *Traffic Flow* (Darstellung des aktuellen Verkehrsaufkommens in Karte).

### **Zusätzliche Bedarfe**

Fastenmeier und Gstalter (2002) erwähnen in ihrer Arbeit neben den Fahraufgaben des 3-Ebenen-Modells noch „*Weitere Fahraufgaben*“ wie „*Sondersituationen*“ (Unfälle, Pannen, Einsatzwagen etc.) und „*Fahren bei besonderen Sicht- und Fahrbahnverhältnissen*“. Dieser Anteil lässt sich schwer systematisch erfassen, daher werden auch hier bereits bekannte Ansätze übernommen und durch ein Brainstorming ergänzt. Beispiele dafür sind der *Sirenenassistent* (Erkennung herannahender Einsatzwagen und Verringerung der Audio-Lautstärke) oder die *Auslands-StVO*, die es dem Fahrer ermöglicht, ausländische Straßenverkehrsregeln im Fahrzeug abzurufen.

Zuletzt werden diverse Veröffentlichungen aus der FAS-Funktions- oder ABK-Entwicklung recherchiert, in denen jeweils auf ein spezielles Assistenzsystem eingegangen wird (z.B. Tankstellen-Assistent nach Kirsch (2004) oder Müdigkeits-Assistent nach Seifert und Rötting (2001). Auch diese Systeme gehen in den Funktionspool ein.

### **4.1.3 Reduktion des Funktionspools**

Die erste Version des vollständigen Funktionspools über alle drei Ebenen umfasste ca. 180 Assistenzpotenziale. Nach einer Überarbeitung, in der ähnliche oder mehrfach vorkommende Assistenzpotenziale zusammengefasst wurden, bleiben davon 91 neue Funktionsansätze übrig – die vollständige Liste inklusive Quellen findet sich im Anhang A.1. Dieser Pool enthält dabei ausschließlich Funktionen, die zum Zeitpunkt der Analyse (2007) noch nicht in Serie erhältlich waren, erhebt aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es ist nicht auszuschließen, dass durch andere Betrachtungs- und Analysemethoden weitere FAS-Funktionen identifiziert werden. Durch die hohe Zahl an Funktionen und den Quervergleich mit früheren Analysen sollte jedoch ein Großteil der denkbaren Systeme abgedeckt sein. Nun ist es wenig sinnvoll, für so viele Funktionen ein Anzeige-Bedienkonzept zu entwerfen, ohne die Notwendigkeit der neuen Systeme sicherzustellen. Die zweite Hälfte des Kapitels zeigt daher, wie der Funktionspool auf eine sinnvolle Größe reduziert werden kann.

## **4.2 Abschätzung des potentiellen Nutzens von FAS**

Vor der aufwändigen Entwicklung einer neuen Assistenzfunktion ist es sinnvoll, deren *potentiellen Nutzen* sowie ihre *Sinnhaftigkeit* abzuschätzen. Hierbei muss eine Reihe von Aspekten beachtet werden, angefangen bei der zu erwartenden Systemqualität über die Kundenakzeptanz bis hin zum erzielbaren Verkaufspreis. Je besser diese Punkte abgeschätzt werden können, desto präziser ist die Potenzialbewertung. Der Nutzerschnittstelle kommt eine entscheidende Rolle zu, da sie viele dieser Kriterien

beeinflusst, so z.B. Wirksamkeit und Akzeptanz (Eckstein, 2008; Wandke und Rötting, 2008). Für die neuen Funktionen des Pools existieren jedoch noch keine Anzeige-Bedienkonzepte. Dieser Mangel lässt sich auch nicht mit prototypischen Nutzerschnittstellen in Form von Zeichnungen oder Simulationen beseitigen – ohne realen Verkehr und das Zusammenspiel zwischen Funktion und ABK können sich naive Fahrer ein komplexes Assistenzsystem nur schwer vorstellen. Der folgende Abschnitt beschreibt daher Methoden, mit denen das Potenzial einer Funktion auch ohne ABK abgeschätzt werden kann. Dabei ist zu beachten, dass diese Methoden zwar den Aufwand einer prototypischen Entwicklung von Funktion und ABK einsparen, die Potenzialabschätzung aus oben genannten Gründen jedoch recht ungenau ist - sie erfolgt primär unter der Annahme sehr gut funktionierender Systeme mit einem darauf abgestimmten ABK. Daher können z.B. zu Akzeptanzproblemen aufgrund vieler Warnungen und Eingriffe, zu Vigilanzeinschränkungen durch hohe Automatisierung oder zur hohen Informationsdichte keine Aussagen getroffen werden.

### 4.2.1 Szenariotechnik

Grimmer et al. (1995) nutzten Mitte der neunziger Jahre die aus der Psychologie bekannte Szenariotechnik (vgl. Sacher, 2004), um die Akzeptanz neuartiger Navigations- und Verkehrsführungssysteme mit einer Befragung von über 1000 Autofahrern abzuschätzen. Sie beschrieben dazu drei längere Fahrten mittels eines Textes möglichst plastisch. Die Beschreibung der ersten imaginären Fahrt – Szenario 1 – hob die Vorzüge neuer Navigationssysteme hervor, während Szenario 2 auf FAS der Führungsebene einging und Szenario 3 als visionärstes eine komplette autonome Fahrt beschrieb. Die Probanden bewerteten die Szenarien mit Hilfe eines umfangreichen Fragebogens, der die akzeptanzbeschreibenden Dimensionen *Kaufbereitschaft*, *Testbereitschaft*, *gedankliche Beurteilung* und *emotionale Zustimmung* abfragte. Dabei wurden verschiedene Methoden verwendet – z.B. Likert-Skalen für die Beurteilung oder Preisskalen für die Kaufbereitschaft. Ein weiterer Teil der Befragung widmete sich sozio-demographischen Erklärungsmerkmalen, um die Ergebnisse z.B. in Abhängigkeit von Einkommen oder Wohnort erklären zu können.

Zur damaligen Zeit (1995) befürworteten über 90% der Befragten Navigations- und Verkehrsleitsysteme. Fahrzeugführungs- und Sicherheitssysteme (Szenario 2) wurden ebenfalls grundsätzlich akzeptiert und gewünscht, erzeugten bei über der Hälfte jedoch Furcht vor Kontrollverlust und der Freude am Fahren – die Abschaltbarkeit wurde von fast allen gefordert. Dieselben Befürchtungen zeigten sich bei Szenario 3, zusätzlich kamen Zweifel an der technischen Zuverlässigkeit auf.

Beier et al. (2001) plädierten einige Jahre später ebenfalls für die frühe Einbeziehung späterer Kunden bei der Entwicklung von Assistenzsystemen und verwendeten dafür ebenfalls die Szenariotechnik. So befragten sie Probanden nach dem Unterstützungsbedarf für 22 verschiedene Fahrhandlungen, die vom einfachen *Bremsen* und *Lenken* hin zu *Abstandsregulation* und *Landkarte lesen* reichten. Für jede Fahrhandlung sollten die Versuchspersonen ihre gewünschte Automatisierungsstufe in sechs Stufen von *Keine Unterstützung* bis hin zu *Immer automatisch* angeben. Alle 22 Fahrhandlungen mussten in dieser Weise für 21 verschiedene Autobahn-Situationen

bearbeitet werden. Dabei stellte sich heraus, dass die essentiellen Fahrhandlungen wie Gas geben und Lenken über alle Situationen hinweg wenig Unterstützung benötigen, sondern vielmehr komplexere Tätigkeiten wie Spur- und Abstandshaltung relevant sind. Bezüglich der Fahrsituationen gaben die Probanden unter anderem für *Autobahnkreuze*, *Hindernisse* und *Baustellen* einen hohen Bedarf an. Sehr wenig Bedarf zeigte sich für *Parksituationen*, *Auffahren* und *Überholt werden*.

Die Autoren gaben zu bedenken, dass zusätzliche, schwer zu erfassende Faktoren wie Beleuchtung, Witterung, Müdigkeit etc. maßgeblichen Einfluss auf den Unterstützungsbedarf haben (siehe dazu auch Zöllner, 2004). Aus diesem Grund erhoben sie zusätzlich die *Kontrollüberzeugungen im Umgang mit Technik* nach Beier (1999) und wiesen einen Zusammenhang nach. Demzufolge akzeptieren Personen mit hohen technischen Kontrollüberzeugungen neue Assistenzsysteme besser als solche mit niedrigen Überzeugungen, wollen jedoch im Fahrprozess selbst aktiv bleiben und bevorzugen daher eher informierende als automatisierende Funktionen. Im Gegenzug sind Personen mit niedrigen Kontrollüberzeugungen „*zögerlich in der Annahme neuer Assistenzsysteme*“, tendieren wenn überhaupt dann aber zu automatisch funktionierenden Systemen, die nicht zusätzlich beanspruchen.

#### 4.2.2 Expertenbefragung

Eine ebenfalls gängige Methode zur Bewertung neuer Konzepte ist die Befragung von *Experten*. Färber und Färber (1999) nutzten diese Technik, um sogenannte „*neue Telematik-Systeme*“ hinsichtlich der

- Funktionalität für das Fahren an sich
- Funktionalität für verschiedene Nutzergruppen...
- ...sowie der Sicherheit für das Fahrzeug und die gesamte Verkehrssituation

bewerten zu lassen. Der Begriff *Telematik* ist im heutigen Kontext irreführend – die Autoren recherchierten im Prinzip alle damals verfügbaren oder angekündigten neuen Informations- und Assistenzsysteme für Kraftfahrzeuge. Die gefundenen Funktionen wurden in zwanzig Gruppen eingeteilt, z.B. Distanzregelung, Fahrdynamik, Sichtverbesserung, Informations- und Hilfsdienste und andere. Ähnlich wie bei Grimmer et al. (1995) wurden sowohl FAS als auch FIS betrachtet.

Die Autoren schrieben insgesamt 26 Experten an. Das Schreiben enthielt eine Broschüre, mit der sich die Experten ein Bild über den Funktionsumfang machen konnten. Anschließend sollten sie einen Fragebogen ausfüllen, mit dem die beiden Kriterien bewertet wurden. Die *Funktionalität* wurde dabei mit Likert-Ratingskalen erfasst und sollten jeweils für das *Fahren an sich*, *Vielnutzer*, *Gelegenheitsnutzer*, *Fahranfänger* und *ältere Fahrer* angegeben werden. Folgende (FAS-)Funktionsgruppen wurden als sehr sinnvoll bewertet:

- autonome Eingriffe in die Fahrdynamik
- Sichtverbesserung

- Komfort-Navigationssystem (Ausprägung wie heutige Systeme)
- Notfallsysteme
- Einparkhilfe / -informationen
- Distanzregelung
- aktiv vom Fahrer angeforderte und die Fahrt betreffende Informationen

Auch beim zweiten Kriterium gingen die Autoren ähnlich vor. Einen möglichen Sicherheitsgewinn sahen sie in vier Punkten – durch bessere *Information* des Fahrers, geringere *mentale Beanspruchung*, geringere *sensorische Ablenkung* und *Sicherheit in der gesamten Verkehrssituation*.

Hier erzielten folgende Systeme eine sehr gute Bewertung:

- Distanzregelung (ACC)
- Navigationssystem
- Einparkhilfe / -informationen

Die Autoren empfahlen daher Sichtverbesserung, Navigation, Distanzregelung, Notfallsysteme und Einparkhilfe, rieten jedoch dringend von Funktionen wie Bordcomputer, Head-Up Display<sup>4</sup>, Müdigkeitswarnung und Fernsehen ab. Sie wiesen außerdem daraufhin, dass sich die Experten unter anderem bei *autonomen Eingriffen in die Fahrdynamik*, *Eingriffen vor Kollisionen*, *Fußgänger-Erkennung*, *Überwachung des toten Winkels* und *autonomen Fahrzeugen* unschlüssig zeigten.

Diese Studie ist insofern lehrreich, als dass sie Pro- und Kontra von frühzeitigen Abschätzungen noch nicht realisierter Systeme aufzeigt. Betrachtet man die Ergebnisse elf Jahre später, zeigt sich, dass ACC, Navigationssysteme und Einparkassistenten den Markt erreicht haben. Dasselbe gilt auch für Sichtverbesserungen wie Night Vision (Khanh und Huhn, 2009) oder fahrtrelevante Informationen wie aktuelle Höchstgeschwindigkeit und Überholverbotsanzeige (Distler et al., 2008). Mit diesen Einschätzungen lagen die Experten also richtig. Als verfehlt muss die Einschätzung des Head-Up Displays (HUD) und der diversen eingreifenden Sicherheitssysteme (Kollisionsgefahr) gelten. Das HUD ist mittlerweile ein beliebtes Anzeigeelement (Miličić, 2010; Schweigert et al., 2005) und auch kollisionsvermeidende Systeme – teilweise mit autonomem Eingriff – sind in den meisten Oberklasse-Fahrzeugen erhältlich.

Die einige Jahre später folgende Arbeit von Zöllner (2004) beschäftigt sich neben der Expertenabschätzung neuer Assistenzsysteme mit der interessanten Frage, welche Faktoren den Bedarf an Assistenz beeinflussen. Im Umfeld der Analysen von Sacher (2004) und Spies (2004) erarbeitete Zöllner nicht vorrangig neue Bedarfe, sondern ließ Experten die wichtigsten beeinflussenden Faktoren auf den Wunsch des Fahrers nach Assistenz abschätzen. Dabei wurden allerdings unter *Assistenz* nicht nur FAS, sondern auch Informationssysteme der Tertiäraufgabe verstanden. Der Autor ging wie auch Beier

---

<sup>4</sup> Virtuelle Anzeige in der Windschutzscheibe, vgl. Miličić (2010).

et al. (2001) davon aus, dass der Bedarf nicht statisch ist, sondern von äußeren Faktoren abhängt. Diese Faktoren, wie z.B. der *Fahrtauftrag*, die *Fahrermerkmale*, die *Routenplanung* oder auch die *aktuelle Verkehrssituation*, bestimmen maßgeblich, ob ein Fahrer manuell oder mit ACC fahren will. In der Auswertung zeigt sich, dass der Großteil aller Faktoren auf mehrere Assistenzfelder Einfluss nimmt und kein übergreifendes Gesetz erkennbar ist.

### 4.2.3 Interaktiver Fragebogen

Im Rahmen von INVENT entwickelte Schierge (2005) verschiedene Methoden zur Akzeptanzabschätzung für bereits definierte FAS. Im Unterschied zu Sacher (2004) gaben er und seine Mitarbeiter den Probanden konkrete Funktionen für *Kreuzungs-*, *Stau-* und *Querführungsassistenten* vor. Probanden wurden dazu vom TÜV Köln mit interaktiven Online-Fragebögen befragt, siehe z.B. Johanning (2004) und Oltersdorf (2005). Zwecks höherer Validität wurde der Stau- und Querführungsassistent auch in späteren Fahrversuchen eingesetzt und bewertet. Dabei zeigte sich, dass für eine realistische Abschätzung der idealen Systemausprägung (z.B. warnend vs. eingreifend), Akzeptanz und Kaufbereitschaft Fahrversuche mit realen Prototypen notwendig sind. Der Autor spricht sich dennoch dafür aus, die Nutzer schon früh in die Systemgestaltung einzubinden, um zumindest Tendenzen zu erhalten.

## 4.3 Die Studie „FAS 2015“ – Nutzwertanalyse mit Delphi-Experten-Studie

Aus den oben zitierten Studien wird deutlich, dass die Potenzialabschätzung den Erfolg eines Assistenzsystems nicht vorhersagen kann, aber dennoch Trends erkennen lässt. Daher sollen die in Kapitel 4 abgeleiteten Funktionen trotz ihres hohen Abstraktionslevels bewertet und ihrem Potenzial entsprechend priorisiert werden. Dafür kommen nach den oben aufgeführten Beispielen jedoch nur Experten in Frage – für Laien sind die Beschreibungen zu abstrakt. Zusätzlich sind zwei entscheidende Punkte zu klären:

- *Kriterien*, die das Potenzial einer Funktion ausreichend beschreiben
- *Erhebungsmethode*, mit der die Kriterien für jedes System quantitativ und objektiv gemessen werden können

Beide Aspekte sollen im Folgenden näher beleuchtet werden.

### 4.3.1 Definition geeigneter Kriterien

Die *Sinnhaftigkeit* bzw. das *Potenzial* eines Fahrerassistenzsystems lässt sich nicht an einem einzigen Kriterium festmachen – zu unterschiedlich sind die Einsatzzwecke der diversen Systeme. Allen FAS gemein ist lediglich der Unterstützungscharakter innerhalb der primären Fahraufgabe. Als übergeordnetes Kriterium kann jedoch der Begriff *Nutzen* dienen, wie ihn beispielsweise Pataki et al. (2005) verwenden. Danach ist für den Fahrer in allererster Linie relevant, welchen Nutzen er aus dem Einsatz eines Assistenten zieht. Die Autoren erwähnen jedoch, dass für dessen Abschätzung kein methodischer Standard existiert und in diversen Studien unterschiedlichste Maße herangezogen werden. Ein Fahrer kann ein Assistenzsystem beispielsweise aus folgenden Gründen nützlich finden:

- Höhere Sicherheit im Straßenverkehr
- Hilfreiche, zusätzliche Informationen
- Komfortableres Fahren in bestimmten Situationen
- Abgabe lästiger Tätigkeiten ans Fahrzeug
- Attraktive Nutzerschnittstelle
- Vermeidung von unabsichtlichen Ordnungswidrigkeiten
- etc.

Alle diese Dimensionen beschreiben das Gesamtkonstrukt Nutzen, sind jedoch unvollständig, überschneiden sich teilweise und können nicht alle für über 90 Funktionen bewertet werden. Daher wurden zur Vorbereitung der Studie diese und weitere Kriterien aus Literatur und unternehmensinternem Fachwissen gesammelt und mit sechs Fachleuten der BMW Group Forschung und Technik diskutiert. Die Expertenrunde identifizierte letztlich die drei Kriterien *Sicherheitssteigerung*, *Entlastungspotenzial* und *Fahrspaß*, die den Nutzwert stark vereinfacht beschreiben. Unabhängig davon sollte als viertes die *Realisierbarkeit* in die Bewertung aufgenommen werden.

### **Sicherheitssteigerung**

Als einer der am häufigsten genannten Aspekte zieht sich der Begriff Sicherheit durch die Publikationen im Themengebiet Fahrerassistenz (Kopf, 1994; Becker et al., 1997; Färber und Färber, 1999; Schierge, 2005; Briest und Vollrath, 2006; Vollrath et al., 2006; Kompass und Reichart, 2006; Eckstein, 2008). Die Sicherheitssteigerung war und ist einer der wichtigsten Motivatoren für die Entwicklung technischer Unterstützungssysteme – siehe z.B. LCW oder FCW, die in erster Linie darauf abzielen, Unfälle und Kollisionen zu vermeiden. Die passive Sicherheit geht entscheidend in die Kaufentscheidung für ein Fahrzeug ein (Jakob, 2007), ein ähnlicher Effekt kann auf lange Sicht für aktive Sicherheitssysteme erwartet werden.

### **Entlastungspotenzial**

Die *Entlastung* des Fahrers ist ein weiteres, nicht weniger bedeutendes Ziel vieler FAS (Becker et al., 1997; Vollrath et al., 2006). Indem sie gewisse Fahraufgaben dauerhaft abnehmen, entlasten Systeme wie z.B. ACC den Fahrer und erhöhen dadurch den Komfort.

### **Fahrspaß bzw. Vergnügen**

Spezifisch für diese Untersuchung kommt abschließend der Fahrspaß ins Spiel. Obwohl z.B. für die Potenzialabschätzung von kollisionsvermeidenden Systemen unpassend, eignet sich das Kriterium für Konzepte wie Tour Guide (Routenauswahl mit Sehenswürdigkeiten) oder Spritspar-Tutor (Hinweis für kraftstoffsparendes Fahren). Diese erhöhen unter Umständen den Spaß am Fahren und bieten damit einen Nutzen für den Fahrer.

## Nutzen

Die drei erstgenannten Kriterien tragen maßgeblich zum Nutzwert bei, beschreiben ihn aber nicht vollständig. Auf eine umfangreiche Item-Analyse, wie sie zur Definition standardisierter Erhebungswerkzeuge üblich ist (Karrer et al., 2009), wurde an dieser Stelle verzichtet, da der geringe Detaillierungsgrad des Funktionspools und damit der große Interpretationsspielraum den Aufwand nicht rechtfertigen. Vielmehr sollte der Nutzen direkt mit bewertet werden, um nicht explizit erhobene Kriterien mit abzudecken. Insgesamt wird damit das *Gesamtpotenzial* einer Funktion beschrieben.

## Realisierbarkeit

Unabhängig vom Potenzial für Sicherheit, Komfort und Fahrspaß ist entscheidend, in welchem Zeitrahmen die Systeme entwickelt werden könnten. Damit kann ausgeschlossen werden, dass in integrierten Nutzerschnittstellen Funktionen berücksichtigt werden, die erst wesentlich später serienreif werden und dann auf geänderte Rahmenbedingungen treffen. Als Grenze für die Serienreife wurde die Realisierbarkeit bis 2015 festgelegt und als weitere Fragestellung aufgenommen.

## Gesamtpotenzial

Abschließend wurde definiert, wie sich das Gesamtpotenzial einer Funktion aus den Bewertungen von Sicherheit, Komfort, Fahrspaß und Nutzen zusammensetzt. Hier bietet sich die Methode der Nutzwertanalyse (NWA, nach Kindsmüller et al., 2002; Rinza und Schmitz, 1992) an. Eine NWA macht komplexe Entscheidungen, die von vielen Faktoren abhängen, transparent und nachvollziehbar. Als Beispiel seien Tests in Automobil- oder Computerzeitschriften genannt, in denen sich das Verfahren großer Beliebtheit erfreut. Die Fachjournalisten bewerten dort z.B. Mittelklassefahrzeuge mit Kriterien wie Treibstoffverbrauch, Kofferraum-Volumen, Geräuschkulisse usw., die anschließend mit einer vorgegebenen Gewichtung zu einer Gesamtnote verrechnet werden. Testsieger ist das Produkt mit der besten Gesamtnote. Damit wird die Bewertung verständlich, der Leser kann außerdem mittels individueller Gewichtung zu anderen Schlüssen kommen. Auf die konkrete Berechnung des Gesamtpotenzials wird in Abs. 4.3.6 eingegangen.

Der theoretische Hintergrund der NWA findet sich in der Entscheidungstheorie. Winterfeldt und Edwards (1986) entwickelten zur Entscheidungsfindung bei Problemen mit vielfältigen Bewertungsdimensionen („*value dimensions*“) die sogenannte MAUT („*Multiattribute Utility Theory*“). Dabei wird für jede Entscheidungsoption ein Nutzwert („*utility*“) aus den qualitativ beschriebenen Bewertungsdimensionen und einer entsprechenden Gewichtung berechnet. Die daraus abgeleitete NWA wird sowohl bei der Entwicklung von MMS als auch für die Bewertung existierender Systeme eingesetzt. Im hier vorliegenden Fall müssen sich die Bewerter die reale Umsetzung der Funktionen erst vorstellen. Diese Antizipationsleistung ist typisch für eine Delphi-Studie, wie der nächste Abschnitt zeigt.

### 4.3.2 Die Delphi-Studie als Erhebungsmethode

Die Delphi-Studie ist eine Methode zur Bestimmung einer Gruppenmeinung in einer Stichprobe. Helmer (1966) stand als Mitarbeiter der RAND Corporation in den 50er Jahren vor dem Problem, eine *gemeinsame* Expertenmeinung zu einer Fragestellung zu bilden und somit ein im Vergleich zur Einzelmeinung belastbareres Urteil zu erzeugen. Dazu erhob er in einem ersten Schritt die subjektiven Einschätzungen mehrerer Experten (in diesem Fall zu einem militärischen Problem) und spiegelte die Gruppenmeinung in Form eines Mittelwertes im zweiten Schritt zurück – mit der Bitte um nochmalige Einschätzung. Das später *Delphi-Methode* getaufte Verfahren etablierte sich trotz berechtigter Kritikpunkte (Sackman, 1975) und wird regelmäßig selbst von staatlichen Institutionen für Problemlösungen und Zukunftsprognosen genutzt (Cuhls, 1998; Grupp, 1993). Eine detaillierte Übersicht über Geschichte und Entwicklung bieten Häder und Häder (2000) sowie Mitroff und Turoff (2002). Häder und Häder (2000) weisen auf die fehlende Arbeitsdefinition für die Methode hin, sehen aber dennoch zwei Hauptanwendungsgebiete:

- die Nutzung von Experten zur Lösung komplexer Probleme
- die Erfassung bzw. Erzeugung einer Gruppenmeinung

Für den hier beabsichtigten Zweck – die Bewertung von nutzen-relevanten Kriterien neuer FAS-Funktionen – ist vor allem die Erfassung der Gruppenmeinung interessant.

Zur Bewertung der oben definierten fünf Kriterien benötigen die befragten Personen hohes Abstraktionsvermögen und umfangreiches Fachwissen, ebenso müssen technologische Entwicklungen in die Zukunft extrapoliert werden. Dazu sind im Allgemeinen nur Fachexperten in der Lage. Die Definition von *Expertise* ist nicht einheitlich – sowohl die berufliche Qualifikation, die Menge an Fachwissen als auch der Erfahrungsschatz spielen eine Rolle (Krems, 1994; zitiert in Sacher, 2004). Einen guten Überblick über die relevante Literatur bietet Sacher (2004). Die für diese Studie herangezogenen Experten mussten folgende Kriterien erfüllen:

- mindestens fünf Jahre beruflicher Erfahrung in der ABK- oder Fahrerassistenz-Entwicklung
- aktuelle Tätigkeit im Umfeld Fahrerassistenz oder Mensch-Maschine-Interaktion

### 4.3.3 Operationalisierung der Kriterien und Aufbau der Delphi-Studie

Die drei Kriterien *Entlastung*, *Sicherheit* und *Fahrspaß* wurden auf einem Fragebogen für jede Funktion mit sechstufigen Ratingskalen erhoben (siehe Abbildung 4.2). Dieses an Färber und Färber (1999) sowie Zöllner (2004) angelehnte Vorgehen ist nach Kindsmüller et al. (2002) bzw. Winterfeldt und Edwards (1986) gerechtfertigt, wenn die Endpunkte sorgfältig gewählt sowie eine möglichst natürliche und lineare Skala benutzt wird. Um zu prüfen, ob der gesamte *Nutzen* mit den drei Items vollständig erklärt werden kann, wurde dieser zur Kontrolle ebenfalls erfasst. Bezüglich der Realisierbarkeit gilt hingegen, dass eine Funktion entweder *machbar* oder *nicht machbar* ist – die Variable muss also grundsätzlich dichotom erhoben werden. Aufgrund der möglichen Unsicherheit in der

Beurteilung war jedoch auch die Antwort *eventuell realisierbar* möglich, so dass sich insgesamt eine nominale, dreistufige Skala ergab. Da die unsichere Antwort kein absolutes Nein bedeutete, wurden die Antworten *ja* und *eventuell realisierbar* für die spätere Auswertung als gleichwertig eingestuft und zusammengelegt.

Die insgesamt 91 Funktionsideen wurden der Struktur von Fastenmeier und Gstalter (2002) folgend im Fragebogen auf vier Blöcke aufgeteilt:

- Global wirkende Assistenten: 12 Funktionen, die vorrangig nicht auf Bahnführungs-, sondern auf Navigationsebene wirken bzw. die sich nicht einer der drei Ebenen zuordnen lassen
- Assistenten für Längsverkehr: 41 Funktionen im Bereich der Längs- und Querführung im fließenden Verkehr
- Assistenten für Kreuzungssituationen: 21 Funktionen für die sichere Kreuzungsdurchfahrt
- Assistenten für Parksituationen: 17 Funktionen rund ums Parken

Jede Funktion wurde mit einem kurzen Text erläutert, der neben einem verständlichen Namen die Form der Unterstützung deutlich machte (*warnt, informiert, bremst autonom* etc.). Der Test gab absichtlich keine Hinweise auf eine konkrete ABK-Ausprägung oder die technische Umsetzung. Bei der Beantwortung konnten die Experten Kommentare in ein dafür vorgesehenes Feld am Ende jeder Seite einfügen, was mehrfach genutzt wurde. Abbildung 4.2 zeigt einen Ausschnitt des Fragebogens. Für die vollständige Version wurden die fünf Skalen mit jeder der Funktionen aus dem Anhang A.1 kombiniert. Damit musste jeder Experte insgesamt  $91 * 5 = 455$  Ratings abgeben.

Funktions-Vorschlag / Idee	Entlastungspotenzial?		Sicherheitssteigerung?		Fahrspaß / Vergnügen?		Nutzen für den Fahrer?		Realisierbar bis 2015?		
	kein Potenzial	hohes Potenzial	keine Steigerung	hohe Steigerung	kein Spaß	viel Spaß	nutzlos	sehr nützlich	nein	evtl.	ja
	[Skala]		[Skala]		[Skala]		[Skala]		[Skala]		
Autonomer Spurwechsel im gesamten Geschwindigkeitsbereich	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
Spurwechsel-Korrektur - Eingriffe in Quer- und Längsführung, wenn Fahrer nicht ausreichend beschleunigt, lenkt und einen definierten Rahmen verläßt (z.B. bei zu weiten Auslenken), kann Fahrzeug in Lücke beschleunigen	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
Adaptive Spurverlassenswarnung - Fahrer wird nur dann beim Verlassen der Spur gewarnt, wenn es unabsichtlich geschieht (Sekundenschlaf, Ablenkung etc.)	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
Highscore - Zähler für erfolgreiche Überholvorgänge	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
Anmerkung / Kommentar:											

Abbildung 4.2: Fragebogen der Delphi-Studie „FAS 2015“

Für Delphistudien können nach Häder und Häder (2000) theoretisch solange Befragungsrunden (= Wellen) mit Rückspiegelung der vorherigen Ergebnisse durchgeführt

werden, bis definierte Abbruchkriterien (z.B. maximale akzeptierte Varianz eines Messwerts) für jedes Item erreicht sind. Praktisch ist dies aus zeitlichen und finanziellen Gründen selten möglich. Nach Grupp (1993) ändert sich erfahrungsgemäß zwischen der ersten und zweiten Welle am meisten, auch Cuhls (1998) hält zwei Wellen für ausreichend.

### 4.3.4 Stichprobe und Ablauf der Studie

Insgesamt wurden 19 unternehmensinterne Experten rekrutiert, davon neun aus der Konzernforschung und weitere zehn aus der seriennahen Entwicklung. Die Größe des Panels bewegte sich damit im empfohlenen Rahmen von 10 bis 30 Personen (Häder, 2009). Der Fragebogen wurde schriftlich mit einem Anschreiben sowie einer ausführlichen Anleitung im Juli 2006 verschickt. Die vier Fragenblöcke wurden permutiert, so dass die Teilnehmer die Fragen in quasi-zufälliger Reihenfolge beantworteten. Zusätzlich wurde die Anonymität der Experten gewahrt. Da jeder Teilnehmer vorher persönlich angesprochen wurde, antworteten 18 von 19 Personen (95%) auf die erste Befragungswelle. Nach deren Auswertung startete im September 2006 die zweite Welle mit den noch nicht stabil beantworteten Items.

### 4.3.5 Ergebnisse

In den Ergebnissen der ersten Welle zeigten sich sowohl stabile als auch instabile Items. Ein Item innerhalb der Kriterien *Sicherheit*, *Komfort*, *Fahrspaß* und *Nutzen* galt dann als stabil und damit beantwortet wenn...

- ... die Häufigkeitsverteilung unimodal war
- ... und / oder die Standardabweichung kleiner gleich der Hälfte der maximal möglichen Standardabweichung der verwendeten Skala war (Zöllner, 2004)

Für das Item Realisierbarkeit wurden wie bereits erwähnt die Antworten *ja* und *eventuell realisierbar* als gleichwertig eingestuft. Anschließend wurde mit einem Chi<sup>2</sup>-test die Abweichung von einer Gleichverteilung für die dichotome Antwort getestet und die nicht signifikant ausfallenden Items als instabil eingestuft.

Von den insgesamt 455 Items wurden in der ersten Welle 287 (63%) stabil beantwortet, nur bei 37% waren sich die Experten uneinig. Diese Items wurden in der zweiten Befragungswelle im September 2006 erneut an das Expertenpanel verschickt, diesmal allerdings als Online-Fragebogen. Dieser war ähnlich aufgebaut wie der Fragebogen der ersten Welle, präsentierte jedoch zusätzlich für jedes Item das Ergebnis der ersten Welle mittels Modalwert und Häufigkeitsverteilung. Trotz der vorteilhaften Online-Datenerhebung antworteten nur noch 15 Teilnehmer.

Beim Vergleich der ersten mit der zweiten Welle zeigte sich ein starker Effekt des Delphi-Treatments. Von den erneut bearbeiteten 168 Items wurden zusätzliche 92 stabil, so dass nach zwei Wellen insgesamt 379 Items (83%) ausreichend stabil beantwortet waren. Diese Zahlen decken sich mit den von Zöllner (2004) erreichten Werten (1. Welle: 63%, 2. Welle: 80%). Auf eine dritte Befragungsrunde wurde verzichtet.

#### 4.3.6 Auswertung und Gewichtung der Kriterien

Die Delphistudie diene in erster Linie dazu, das Potenzial jeder Funktion möglichst einheitlich zu erfassen. Dazu sollen die vier erhobenen Kriterien *Entlastung* (E), *Sicherheit* (S), *Fahrspaß* (F) und *Nutzen* (N) mit Hilfe einer Nutzwertanalyse (NWA) zu einem Gesamtpotenzial zusammengefasst werden. Die Bewertungszahlen für E, S, F und N ergeben sich für jede Assistenzfunktion *i* jeweils aus dem Mittelwert der Bewertung über alle 18 Experten ( $B_{i,E_{1..18}}$ ). Durch den Bezug auf die Bandbreite der Skalen (5) wird der Wert zusätzlich auf den Bereich 0..1 skaliert. Als Beispiele diene E:

$$E_i = \frac{\sum_{n=1}^{18}(B_{i,E_n})}{5 \cdot 18}$$

Für die Bewertungszahlen wurden *alle* Items eingerechnet, auch die nach der zweiten Welle verbliebenen instabilen (17%). Die Aussagen sind also zu einem bestimmten Grad ungenau bzw. uneindeutig. Im Kontext der ohnehin in die (unbekannte) Zukunft blickenden Delphi-Methodik ist dieser Nachteil jedoch akzeptabel.

Um die für die NWA nötigen Gewichtungen  $G_E$ ,  $G_S$ ,  $G_F$  und  $G_N$  festzulegen, befragten die Autoren vier der teilnehmenden Experten. Diese sollten unabhängig voneinander 100 Punkte auf die vier Kriterien verteilen (Winterfeldt und Edwards, 1986). Die durchschnittliche Gewichtung  $G_i$  mit  $i = [E, S, F, N]$  eines Kriteriums berechnete sich daraus zu:

$$G_i = \frac{\sum_{n=1}^4(G_n)}{4}$$

Die Ergebnisse dieses Vorgehens zeigt Tabelle 4.4.

**Tabelle 4.4:** Gewichtung der Bewertungskriterien nach der 100-Punkte-Verteilungsmethode (Winterfeldt und Edwards, 1986)

Kriterium	Gewichtung
Entlastungspotenzial	$G_E = 18,75 \%$
Sicherheitssteigerung	$G_S = 18,75 \%$
Fahrspaß / Vergnügen	$G_F = 30,00\%$
Nutzen	$G_N = 32,50 \%$

Für jede Funktion *i* wurde auf dieser Basis ein Gesamtpotenzial (entsprechend der *utility* nach Winterfeldt und Edwards, 1986) berechnet zu:

$$P_i = G_E \cdot E_i + G_S \cdot S_i + G_F \cdot F_i + G_N \cdot N_i \text{ [in \%]}$$

### 4.3.7 Ergebnisse und reduzierter Funktionspool

Mit dem so bestimmten Nutzwert konnten die 91 Funktionen in eine Rangfolge mit absteigendem  $P_i$  gebracht werden. Mit Hilfe eines Chi<sup>2</sup>-Test für die Variable *Realisierbarkeit* wurden die eindeutig realisierbaren Funktionen von den restlichen, d.h. von eindeutig nicht realisierbaren sowie uneindeutigen Funktionen) getrennt. Die fünf potenziell sinnvollsten und realisierbaren Fahrerassistenzsysteme zeigt Tabelle 4.5, die restliche Rangliste und die nicht realisierbaren Funktionen finden sich im Anhang A.3.

**Tabelle 4.5:** Rangplätze 1 bis 5 der potenziell sinnvollsten Fahrerassistenzsysteme

Rang ( $U_i$ )	Funktion	Beschreibung
1 (73,2 %)	<b>Stauassistent</b>	Fahrzeug kann sich im Stau ( $v < z.B. 30 \text{ km/h}$ ) hoch automatisiert bewegen (Längs- / Querführung sind gleichzeitig aktiv), Fahrer kann im besten Fall nebenher anderen Tätigkeiten nachgehen
2 (60,9 %)	<b>Engstellen-Assistent</b>	Haptische Unterstützung der Querführung bei schwieriger Spurhaltung (z. B. Fahren durch Autobahn-Baustelle oder Überholen eines LKWs in Baustelle), Fzg. wird in der Mitte der Spur gehalten
3 (60,7 %)	<b>Kurvenwarnung</b>	Warnung bei zu hoher physikalischer Kurvengeschwindigkeit vor Kurveneintritt (Nichtbeachtung führt zum Abkommen von der Straße wg. Ausbrechen / Schleudern)
4 (58,3 %)	<b>ACC Kurvenregelung</b>	Fzg. regelt im Normalfall auf Wunschgeschwindigkeit, jedoch zusätzlich selbstständige Geschwindigkeits-Anpassung vor Kurven, Autobahn-Abfahrten etc., entspricht vollautonomer Geschwindigkeitsregelung
5 (57,9 %)	<b>Traffic Flow</b>	Detailliertes Verkehrsaufkommen wird durch vernetzte Fahrzeuge in Echtzeit verfügbar, Kartenansicht kann z.B. durch Markierungen aufbereitet werden (Pendler können situativ umplanen), Navigationssystem kann Alternativroute berechnen

Die Ergebnisse geben einen Hinweis darauf, welche FAS in naher Zukunft entwickelt werden sollten. Die Experten sahen einen *Stauassistenten* mit Übernahme der Quer- und Längsführung (Lindberg et al., 2007; Schaller et al., 2008) mit weitem Abstand als potenziell wertvollste Funktion. Daran und an mehreren anderen hoch automatisierten Funktionen (*ACC Kurvenregelung*, Rang 4 oder *Autonomes Parken*, 6) zeigt sich, dass höhere Automatisierungsstufen als erreichbar erachtet werden, aber sich auf Teilbereiche der Fahraufgabe (Stau, Parken) beschränken werden. Ein serienreifes System für die Übernahme der Querführung im gesamten Geschwindigkeitsbereich oder die Durchfahrt einer Kreuzung bleiben hingegen bis 2015 unwahrscheinlich.

Auch diverse sicherheitsrelevante FAS erreichen hohe Nutzwerte. *Kurvenwarnung*, *Autonome Notbremse* und *Lokale Gefahrenwarnung* landen auf den Plätzen 3, 8 und 12. Dieser Trend setzt sich bei den hier nicht weiter betrachteten unrealisierbaren Funktionen fort – auch hier werden die ersten Plätze von Komfort- und Sicherheitsfunktionen besetzt. *Warnung vor Gegenverkehr beim Überholen*, *Autonomes Notausweichen* oder *Autonomes Ausparken* erreichen Nutzwerte zwischen 44-52 %.

40 Funktionen wurden für weitere Betrachtungen ausgewählt: die 36 realisierbaren mit dem höchsten Nutzwert nach Rangfolge und 4 aus der Menge der nicht realisierbaren.

Letztere wurden aufgrund laufender Parallelarbeiten (Thoma, 2010) übernommen und umfassten:

- Kreuzungs-Querverkehr – Akutwarnung vor Durchfahrt
- Autonomes Ausparken aus Parklücke
- Einbremsen vor Kollision mit Gegenverkehr beim Linksabbiegen
- Empfehlung einer geeigneten Lücke beim Auffahren auf Autobahn

Die beiden Funktionen *Auffinde-Assistent* (Nr. 83) und *Autonomes Parkhaus* (Nr. 91) wurden im Nachhinein aus beiden Ranglisten entfernt, da sie bei genauerer Betrachtung nicht die primäre Fahraufgabe unterstützen bzw. nicht unter die Definition von Fahrerassistenz nach Abschnitt 2.1.6 fallen. Die *Stopschild-Akutwarnung* (Nr. 56) konnte aufgrund eines Fehlers in der Versuchsdurchführung nicht berücksichtigt werden. Der verbleibende Pool von 40 priorisierten Funktionen bildet die Grundlage für die weitere Entwicklung integrierter Anzeige-Bedienkonzepte.

Es sei nochmals auf die verbleibende Ungenauigkeit der Aussagen hingewiesen. Anhand der nicht unbedeutenden Menge (17%) instabiler Aussagen wird deutlich, wie uneinig sich selbst Experten bei der Abschätzung der technologischen Zukunft sind. Dennoch erfüllen die Delphi-Studie den in sie gesetzten Anspruch - die Ergebnisse zeigen einen Trend hin zu Assistenten mit dauerhafter Übernahme von Fahraufgaben sowie zu eingreifenden und warnenden Sicherheitsfunktionen auf. Informierende Assistenten auf Bahführungs-Ebene treten dagegen in den Hintergrund.



## 5 Gruppierung von Fahrerassistenzsystemen im ABK

Zentrales Thema dieser Arbeit ist die Vereinfachung der Mensch-Maschine-Interaktion mit FAS, indem diese *gruppiert* bzw. *integriert* werden und damit gesamthaft bedient und angezeigt werden können. Während im letzten Kapitel die zu betrachtenden Funktionen identifiziert und priorisiert wurden, zeigt dieses Kapitel auf, welche davon der Nutzer als zusammengehörig betrachtet und warum.

### 5.1 Gruppierungsmerkmale

Um aus einer Menge von Objekten (hier: FAS-Funktionen) eine Untermenge als Gruppe zu vereinen, muss ein *gemeinsames Gruppierungsmerkmal* definiert werden, das alle Elemente dieser Gruppe teilen. Bei schon bestehenden FAS-Gruppierungen wurden diese Merkmale häufig von den Entwicklern festgelegt – Beispiele dafür sind die in Abschnitt 3.2.4 aufgeführten Konzepte SANTOS (König et al., 2002) und die H-Metapher (Flemisch et al., 2005a). Bei ersterem war der *Unterstützungswunsch* bzw. die *Automatisierungsstufe* das übergreifende Merkmal und wurde mit einem Modus-Schalter bedient. In der H-Metapher hingegen wurden FAS unter dem Begriff *Manöver* zusammengefasst, die der Nutzer mit einem speziellen Bedienelement vorgeben konnte. Die hinter diesen Entwicklungen stehenden mentalen Modelle müssen jedoch nicht zwangsläufig denen der Nutzer entsprechen.

Unabhängig davon lässt die Delphistudie Zweifel daran aufkommen, ob jedes Manöver bzw. jede Fahraufgabe bis zur höchsten Stufe automatisiert werden muss, wenn der Fahrer grundsätzlich selber fährt. Die Funktion *Automatischer Spurwechsel* erreichte nur 22% Nutzwert, auch die *vollständige Übernahme der Querführung* gehört mit 41% nicht zu den Favoriten. Darüberhinaus sind selbst einfach realisierbare, informierende Funktionen nicht per se sinnvoll – siehe die Nutzwerte für *Vorabinformationsstoppschild* (32%) oder *Kontaktanaloge Bremsweganzeige* (31%). Vielmehr lassen die Ergebnisse – unter Berücksichtigung der Expertenauswahl und der Markenwerte – den Schluss zu, dass für jede Fahraufgabe bzw. jedes Manöver ein bis zwei sinnvolle Automatisierungsstufen für die nahe Zukunft sinnvoll bzw. realisierbar sind. Unter diesen Voraussetzungen stellt sich daher die Frage, welche mentalen Modelle über verschiedene Automatisierungsgrade hinweg die Erwartungen der Nutzer am besten abbilden.

### 5.2 Mentales Modell des Fahrers zur Strukturierung von FAS

Eine verständliche Integration und Gruppierung von FAS muss die Sicht der Nutzer abbilden – nicht die Überlegungen von Fachleuten. Doch nach welchen Kriterien ordnen Fahrer ihre Assistenten? Welche Begriffe nutzen sie zur Beschreibung, wenn kein technisches Fachwissen vorhanden ist? Hier bieten Erkenntnisse der Psychologie aus dem Bereich der Wissensrepräsentation bzw. der mentalen Wahrnehmungs- bzw. Ordnungsstrukturen wertvolle Hilfe.

Deubzer (2002) geht in ihrer umfangreichen Arbeit zur Erforschung mentaler Strukturen darauf ein, welche geometrische Anordnung von Objekten im Raum (z.B. von Produkten im Supermarkt) am ehesten die Erwartungen der Kunden widerspiegelt. Sie identifiziert

dabei die Arbeiten von Klix (1971, 1992) und Hoffmann (1983, 1986) als geeignetste Grundlage. Demnach sind Begriffe „mentale Repräsentationen, die invariante Merkmale einer Objektmenge zusammenfassen“. Der Mensch sucht bei der Interaktion mit einem Objekt entsprechende Merkmale heraus, abstrahiert, kombiniert und speichert sie. Die *Motivation* zur Beschäftigung mit dem Objekt („Orientierungsanlass“) hat starken Einfluss darauf, welche Merkmale extrahiert werden, wie diese mental gespeichert werden und welche Einstellung die Person zu dem Objekt annimmt. Aus diesem Grunde unterscheidet sich die Sicht eines FAS-Entwicklers von der eines späteren Käufers, der nichts von 3-Ebenen-Modellen, Sensor-Clustern und Bildverarbeitung versteht. Welche Begriffe und Strukturen Nutzer für Fahrerassistenzsysteme haben, ist aufgrund der fehlenden massenhaften Verbreitung nicht ausreichend bekannt. Ob eine der in Abschnitt 2.2 vorgestellten Klassifikationen diese Struktur wiedergeben kann, ist ebenfalls nicht sicher. Hier müssen empirische Erhebungen Klarheit bringen.

### 5.3 Fragestellungen

Konkret sollen für die spätere Entwicklung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle folgende Fragen beantwortet werden:

1. Wie viele sinnvolle Gruppen von Fahrerassistenzsystemen unterscheiden naive Nutzer?
2. Welche Bezeichnungen / Oberbegriffe sind für diese Gruppen repräsentativ? Welche Faktoren sind ausschlaggebend für die Begriffsbildung?
3. Existieren insofern stabile Gruppen, als dass die Mehrheit der Nutzer dieselben Funktionen immer in einer Gruppe erwartet?
4. Finden sich stabile Gruppen über verschiedene Stichproben hinweg? Wie stark ist der Einfluss technischer Vorkenntnisse?
5. Wie stark hängt die Gruppierung vom Erleben der Systeme bzw. der einschlägigen Erfahrung damit ab?

Die Vielzahl der Fragestellungen macht mehrere Versuche mit unterschiedlichen Bedingungen notwendig. Zwischen 2006 und 2008 deshalb vier Untersuchungen mit verschiedenen Schwerpunkten und methodischen Ansätzen verfolgt, auf die die folgenden Abschnitte eingehen.

### 5.4 Methodik

#### 5.4.1 Kartensortierexperimente bzw. Card Sorting

Zur Erforschung mentaler Strukturen sind nach Deubzer (2002) vor allem Sortier-Experimente mit Karten gut geeignet, eine ähnliche Meinung vertreten auch Harloff und Coxon (2007) sowie Hemmerling (2002). Diese Methoden, auch bekannt unter den Begriffen *Card Sorting* oder *Struktur-Lege-Technik*, basieren auf der Idee, dass sich die semantische Ähnlichkeit von Begriffen durch räumliche Nähe ausdrücken lässt. Paar- und Triadenvergleiche differenzieren nach Deubzer (2002) zwar besser, sind jedoch wesentlich



Die Erkenntnisse sollen darüber hinaus direkt für die ABK-Entwicklung genutzt werden – daher wird die eindeutige Zuordnung jeder Karte zu genau einer Kategorie erzwungen.

#### 5.4.2 Auswertung mittels hierarchischer Clusteranalyse und multi-dimensionaler Skalierung

Die beiden häufigsten Analysen zu Sortierexperimenten sind die *hierarchische Clusteranalyse* (HCA) und die *multi-dimensionale Skalierung* (MDS, nach Backhaus et al., 2000 und Coxon, 1999). Die HCA gibt Aufschluss darüber, welche Karten über alle Probanden hinweg als ähnlich empfunden werden, fasst diese schrittweise zusammen und identifiziert dadurch zusammenhängende Objektgruppen (Cluster). Die MDS hingegen visualisiert den Wahrnehmungsraum, indem die Objekte so in einem zwei- oder drei-dimensionalen Raum dargestellt werden, dass die Abstände zwischen Ihnen möglichst gut der Ähnlichkeit entsprechen. Beide Methoden ergänzen sich zu einem Gesamtbild.

#### Zusammenfassung der Rohdaten

Als Grundlage beider Methoden muss aus den Rohdaten des Sortierexperiments eine sogenannte *Unähnlichkeitsmatrix* erstellt werden. Dazu wird zuerst für jeden Probanden  $p$  eine symmetrische Matrix  $C_p$  erstellt, die für jede Karte eine Zeile und Spalte vorsieht. Diese Matrizen werden in anschließend addiert und ergeben in Summe die *Ähnlichkeitsmatrix* (siehe dazu auch die Co-Occurrence Matrix nach Miller (1969; zitiert in Coxon, 1999):

$$C_{\text{Ähn}} = \sum_{p=1}^{p=n} C_p = \begin{bmatrix} - & K_1 & K_2 & K_3 & K_4 & \dots & K_n \\ K_1 & - & & & & & \\ K_2 & 11 & - & & & & \\ K_3 & 6 & 17 & - & & & \\ K_4 & 1 & 9 & 2 & - & & \\ \vdots & & & & & - & \\ K_n & 8 & 6 & 3 & 21 & 5 & - \end{bmatrix}$$

Hieraus ist für jedes Kartenpaar  $K_{k,l}$  ersichtlich, wie viele Probanden beide Karten in eine Gruppe sortiert haben. Je höher die Anzahl, desto ähnlicher sind sich beiden Funktionen. Eine Ähnlichkeitsmatrix kann durch Subtraktion der Werte vom Maximalmaß (der Probandenanzahl) in eine *Unähnlichkeitsmatrix*  $C_{\text{Unähn}}$  überführt werden. Beide Matrizen sind auf ordinalem Skalenniveau (Häufigkeiten) und geben damit eine Rangreihenfolge wieder (Deubzer, 2002; Backhaus et al., 2000).

Eine zusätzliche Hilfsmatrix ist die sogenannte *Distanzmatrix*, die sich aus einer der beiden anderen Matrizen berechnen lässt (z.B. über die SPSS-Routine PROXIMITIES). Die Daten der (Un-)Ähnlichkeitsmatrix werden hier als Koordinaten im  $(n-1)$ -dimensionalen Raum aufgefasst. Stellt man sich die Objekte anhand dieser Koordinaten eindeutig im  $(n-1)$ -dimensionalen Raum platziert vor, so kann die Distanz zwischen zwei Objekten über einfache geometrische Beziehungen errechnet werden und ergibt die Werte der Distanzmatrix. Im Fall des einfachen euklidischen Abstands entspricht die Distanz der

Raumdiagonale. Alternative Maße sowie eine ausführliche Erläuterung der Materie finden sich bei Backhaus et al. (2000) und Deubzer (2002, S. 151). Für die hier analysierten Daten werden ausschließlich das einfache euklidische (MDS) sowie das Chi-Quadrat und das quadrierte euklidische Distanzmaß (HCA) verwendet.

### **Hierarchische Clusteranalyse (HCA)**

Clusteranalysen sind Verfahren zur systematischen Gruppierung von Objekten mit einer Vielzahl an Eigenschaften, wie sie z.B. bei Marketing-Studien (Produkteigenschaften) oder sozialwissenschaftlichen Erhebungen (Personenmerkmale) vorkommen. Ausgehend von einer unstrukturierten Sammlung, fassen die Verfahren diejenigen Objekte zu Gruppen (= Clustern) zusammen, die ein ähnliches Set an Eigenschaften haben – z.B. vergleichbare Motorisierungen, Preise und Größen bei Pkw. Die Ähnlichkeit ergibt sich im Allgemeinen aus einem Distanzmaß auf Basis der quantifizierten Eigenschaften zweier Objekte bzw. Cluster.

Für Sortierexperimente eignet sich die *hierarchische* Clusteranalyse (HCA) besonders, da sie – analog zur Vorgabe an die Probanden – von überschneidungsfreien Gruppen ausgeht. Die bekanntesten HCA-Verfahren (z. B. *Average Linkage*) fassen als erstes die ähnlichsten Objekten zu kleinen Clustern zusammen und fügen in weiteren Schritten zusätzliche Objekte oder Cluster hinzu (Backhaus et al., 2000; Deubzer, 2002). *Average*, *Single* und *Complete Linkage* nutzen dafür das Chi-Quadrat-Distanzmaß auf Basis der Unähnlichkeitsmatrix  $C_{Unähn}$ . Sie unterscheiden sich lediglich darin, wie die Ähnlichkeit zwischen zwei Clustern bzw. zwischen einem Objekt und einem Cluster bestimmt wird. Das *WARD-Verfahren* erfordert aufgrund des Messniveaus eine Umrechnung von  $C_{Unähn}$  in eine Distanzmatrix und nutzt das quadrierte euklidische Distanzmaß, ist davon abgesehen aber leistungsfähiger als die oben genannten.

Für sinnvolle Ergebnisse bricht man die Clusterbildung nach einigen Stufen ab – z.B. wenn eine plausible Anzahl an Clustern erreicht ist oder die Interpretation noch größerer Gruppen nicht mehr sinnvoll erscheint. Diese Entscheidung liegt im Ermessen des Auswerters. Der verwendete Algorithmus beeinflusst das Ergebnis unter Umständen maßgeblich, weswegen z.B. Coxon (1999) empfiehlt, die Aussagen verschiedener HCA-Verfahren miteinander zu vergleichen. Standard ist die agglomerative Methode *Average Linkage* (Backhaus et al., 2000, S. 365), die anderen genannten werden zum Vergleich herangezogen.

### **Multidimensionale Skalierung (MDS)**

Die MDS kann die mit der HCA gefundenen Gruppen visualisieren, indem sie die einzelnen Objekte als Konfiguration im Raum anordnet. Vorgabe sei ein dreidimensionaler Raum, da dieser als Grafik noch anschaulich abgebildet werden kann. Der MDS-Algorithmus bestimmt eine Konfiguration, bei der die *Rangreihenfolge* der Objektabstände  $d$  möglichst gut der Rangreihenfolge der Unähnlichkeiten  $u$  aus  $C_{Unähn}$  entspricht. Ähnliche Objekte müssen im Raum nah beieinander liegen, unähnliche weiter entfernt. Die MDS startet dazu mit einer zufälligen 3D-Startkonfiguration, berechnet die Abstände der Objekte und überprüft folgende Monotonie-Bedingung:

$$\text{Wenn } u_{k,i} < u_{k,l}, \text{ dann } d_{k,i} < d_{k,l}$$

Ist diese Monotonie teilweise verletzt, werden die Positionen im Raum anhand von Hilfsgrößen (Disparitäten) iterativ verbessert. Dabei gilt der *S-Stress* nach Takane und Leeuw (1977) als zu optimierendes Zielkriterium – er sagt aus, wie gut eine berechnete Konfiguration die Monotonie-Bedingung erfüllt. Als Anhaltspunkt für die Güte einer Konfiguration gelten nach Backhaus et al. (2000, S. 524) und Gigerenzer (1981) folgende Werte:

**Tabelle 5.1:** Anhaltswerte zur Beurteilung des Stress

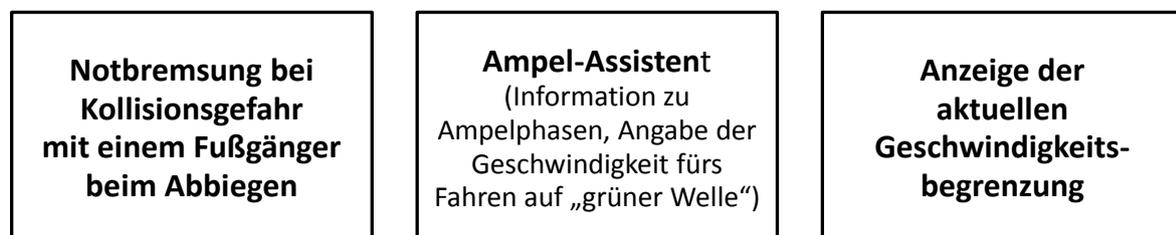
Anpassungsgüte	Stress 1 nach Kruskal
schlecht	20 %
ausreichend	10 %
gut	5 %
exzellent	2,5 %
perfekt	0 %

Weitere Details zu Verwendung von Disparitäten sowie alternative Stresswerte finden sich bei Backhaus et al. (2000).

## 5.5 Versuch 1 – Pilotstudie mit BMW Mitarbeitern

### 5.5.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Für eine erste Pilotstudie wurde der Funktionspool aus Kapitel 4 genutzt. Die 40 neuen Funktionen wurden dazu mit 13 bereits in Serie erhältlichen ergänzt, so dass das Set insgesamt 53 Karten umfasste. Jede Karte enthielt eine Bezeichnung sowie eine kurze Funktionsbeschreibung (siehe Abbildung 5.2). Dabei wurde angenommen, dass die *Funktion* das entscheidende Merkmal für naive Nutzer ist, es also unerheblich ist ob ein finales Seriensystem letztlich mehrere Funktionen übernehmen kann. Eine Karte enthielt nur dann mehrere Funktionen, wenn diese untrennbar miteinander verknüpft. Die technische Umsetzung bzw. Beispiele für ein ABK wurden bewusst nicht erläutert, um dem Probanden keine Anhaltspunkte zu geben.



**Abbildung 5.2:** Beispiele für Karten aus den Card Sorting Versuchen 1 und 2

Ein Nachteil der verbalen Beschreibungen ist, dass ähnliche Wörter (z.B. *-warnung*) dazu führen können, dass Versuchsteilnehmer die Karten in dieselbe Kategorie einordnen.

Dieser Effekt zeigte sich in einem Vorversuch, weswegen das Kartenset zweifach überarbeitet wurde. So wurden verstärkt deutsche Synonyme (z.B. in diesem Fall: –*hinweis, aufmerksam machen* etc.) eingesetzt, es ließ sich jedoch nicht vermeiden, dass Wortanteile mehrfach vorkamen. Versuch 3 bzw. die Arbeit von Helmer (2007) gehen später verstärkt auf dieses Problem ein.

Zur maximalen Menge an Karten bzw. Objekten, die man von einem Proband sortieren lassen kann, finden sich unterschiedliche Angaben. Coxon (1999) listet in seiner Arbeit mehrere Studien mit Sets zwischen 5 bis 281 Karten, Harloff und Coxon (2007) erwähnt sogar eine Arbeit mit 400 Objekten. Hemmerling (2002) sieht eine grobe Grenze bei 50 – das hier verwendete Set bewegt sich damit in einem vertretbaren Rahmen.

**Tabelle 5.2:** Set mit 53 Funktionskarten für den ersten Pilotversuch

Nr	Funktion	Nr	Funktion
1	Autonomes Fahren im Stau (Auto lenkt und beschleunigt allein)	28	Überholmöglichkeitenanzeige in Karten- und Streckenverlauf
2	Haptische Führung am Lenkrad beim Passieren von Baustellen oder Engstellen	29	Straßenverlaufs-Vorschau
3	Autonomes Einparken in Längs- / Querbucht (Auto lenkt und gibt Gas, Fahrer bleibt im Fahrzeug)	30	Ampel-Assistent (Information zu Ampelphasen, Angabe der Geschwindigkeit fürs Fahren auf „grüner Welle“ )
4	Warnung vor Gefahren in der Umgebung des Fahrzeugs (Stauende hinter Kurve, Glatteis auf Brücke, Laub, Unfall)	31	Information über kurze / nicht vorhandene Beschleunigungsspur (z.B. Baustelle, Italien)
5	Hinweis auf Radarfallen (mobil & statisch)	32	Überwachung des Verkehrs während des Aus- / Einparkens
6	Online-Verkehrsflusskarte (Verkehrssituation in der Umgebung)	33	Spurwechsel-Empfehlung auf Autobahnen in Zusammenhang mit Routenführung
7	Regelung der Kurvengeschwindigkeit beim Fahren mit ACC	34	Tankstellen- Assistent
8	Bei eingeschalteten ACC hält das Fahrzeug alleine an Ampel, Stoppschild oder Vorfahrtsstraße an	35	Warnung vor Einfahrt in Einbahnstr. / AB-Abfahrt (Geisterfahrer)
9	Umplanung der Navigationsroute bei Stau etc.	36	Warnhinweis vor Überfahren einer roten Ampel
10	Warnung vor gefährlichem oder unabsichtlichem Verlassen der Spur	37	Anzeige der Restzeit der aktuellen Ampelphase („noch 15 Sek. grün!“)
11	Autonome Notbremse bei Kollisionen	38	Einfädel-Assistent (Empfehlung einer Lücke)
12	Spurwechsel-Empfehlung vor Abbiegen an komplexen Kreuzungen	39	Notbremsung bei Kollisionsgefahr mit Fußgänger beim Abbiegen
13	Fahrzeug parkt alleine in heimische Garage ein	40	Baustellen- Assistent
14	Anzeige der möglichen	41	Warnung vor gefährlichem Spurwechsel (z.B.

	Kurven-Geschwindigkeit		Ausscheren zum Überholen)
15	Momentan verfügbare Parkplätze, Auskunft / Lage / Kosten	42	Hinweis vor Überfahren der Spurlinie
16	Automatisches Einhalten der Geschwindigkeitsbegrenzung	43	Alarm bei drohender Kollision mit Querverkehr
17	Drohende Kollision mit Fußgänger beim Abbiegen erzeugt Warnhinweis	44	Eingriff beim versuchtem Linksabbiegen trotz Gegenverkehr
18	Routen-Assistent (Auswahl schöner/interessanter Strecke)	45	Umgebungs- und Straßenkarte
19	Warnung bei zu hoher/gefährlicher Kurveneintrittsgeschwindigkeit	46	Überholverbotsanzeige
20	Information über länderspezifische StVO	47	Anzeige der aktuellen Geschwindigkeitsbegrenzung
21	Tour-Guide Sightseeing-Touren	48	NightVision (Nachtsichtsystem per Infrarot)
22	Warnung vor Kollision mit kaum sichtbarem Fußgänger (nachts)	49	Kollisionswarnung(z.B. vor möglichem Auffahrunfall)
23	Automatisches Bremsen vor Kollision beim Einparken	50	Abbiegehinweis des Navigationssystem (Verkehrsführung)
24	Überwachung des (rückwärtigen) Verkehrs während des Ausparkens	51	Fahrzeug hält selbstständig Geschwindigkeit und Abstand
25	Selbstständiges Ausparken (Lenken und Gas geben von alleine)	52	Automatisches Lenken beim Einparken
26	Maximale Bremskraft-Verstärkung in Notbremssituation	53	Fotorealistische Karten / Standort-Ansicht à la Google Earth
27	Anzeige des Abstand zum Vordermann		

Die Sortier-Experimente wurden von Oktober bis November 2006 durchgeführt. Nach einer anfänglichen Begrüßung mussten die Teilnehmer einen demografischen Fragebogen ausfüllen, der neben den persönlichen Daten auch die Erfahrung mit ausgewählten Fahrerassistenz-Systemen abfragte. Zu Beginn des eigentlichen Versuchs erläuterte der Versuchsleiter jede einzelne Karte bzw. die darauf verzeichnete Funktion. Er achtete darauf, die Funktionen möglichst neutral zu erklären und keine Gruppierungsansätze zu kommunizieren. Anschließend mussten die Probanden die Karten zu sinnvollen Gruppen zusammenlegen und währenddessen ihre Gedanken laut äußern, um einen Einblick in die gedanklichen Prozesse der Sortierung zu bekommen. Ferner hatten sie die Möglichkeit, fehlende Funktionen im Themengebiet Fahrerassistenz zu ergänzen – davon wurde jedoch nur selten Gebrauch gemacht. Sobald alle Karten strukturiert gelegt waren, mussten die Probanden Namen für jede Kategorie vergeben und die Gesamtstruktur erklären. Nach Abschluss der Sortierung wurde die Struktur fotografiert und zusammen mit den demographischen Fragebögen abgelegt. Der gesamte Versuch dauerte ca. ein Stunde.

### 5.5.2 Stichprobe

Am Pilotversuch nahmen 22 Mitarbeiter (20 m, 2 w) der BMW Group München teil. Damit lag die Stichprobengröße in dem von Tullis und Wood (2007) empfohlenen Rahmen von 20 bis 30 Personen. An die Auswahl wurden folgende Bedingungen geknüpft:

1. Angesichts der großen Zahl neuer Funktionsideen mussten die Geheimhaltungs-Richtlinien der BMW Group eingehalten werden – aus diesem Grund konnten nur interne Mitarbeiter teilnehmen.
2. Hinsichtlich der Altersverteilung sollte die Zielgruppe für Premium-Fahrzeuge der Mittel- und Oberklasse mit einem Mindestalter von 29 Jahren abgedeckt werden, studentische Mitarbeiter waren daher ausgeschlossen.
3. Die Probanden mussten ein Minimum an Erfahrung im Umgang mit Fahrerassistenzsystemen wie ACC oder neueren Navigationssystemen haben.
4. Sie durften nicht mit der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen beschäftigt sein oder diese Tätigkeit früher ausgeübt haben.

Zur Rekrutierung der Probanden dienten Anzeigen in den BMW Newsgroups, in denen diese Anforderungen vermerkt waren. Die Altersspanne umfasste letztlich 29 bis 59 Jahre ( $\bar{X} = 44,3$  Jahre,  $sd = 7,75$ ).

### 5.5.3 Ergebnisse

Wie in Abschnitt 5.5.2 beschrieben, wurden die Daten mittels HCA und MDS analysiert. Dabei ist die HCA für die weitere Arbeit die wichtigere Methode, da sie exakte Gruppen angibt, die sich für die ABK-Entwicklung nutzen lassen. Die MDS hingegen unterstützt das Verständnis der Cluster durch die anschauliche Visualisierung.

#### Benennung der Gruppierungen

Durchschnittlich legten die Probanden 6,41 Gruppen ( $sd = 1,29$ ;  $Min = 4$ ,  $Max = 10$ ) mit insgesamt 137 Kategorienbezeichnungen. Die große Menge unterschiedlicher Begriffe wurde in Anlehnung an die Methode von Lamantia (2003) nur qualitativ ausgewertet. Dazu wurden als erstes die Worte isoliert, die mehrfach vorkamen (Plural oder Singular). Aus den verbleibenden wurden anschließend diejenigen umbenannt, die einem der vorher isolierten Begriffe sehr ähnlich waren (z.B. *Fahrassistent* → *Fahrassistenz* oder auch *Parkhilfe* → *Parken*) bzw. sich nur durch Adjektive unterschieden (*aktive* und *passive* Assistenz). In einem letzten Schritt wurden noch diverse Synonyme gleichgesetzt, so z.B. *Hinweis* mit *Information*, *Unfallvermeidung* mit *Schutz* oder *Support* mit *Unterstützung*.

In allen Schritten spielten die Funktionen, die den jeweiligen Bezeichnungen hinterlegt sind, keinerlei Rolle. Auf diese Weise konnten 115 Begriffe eindeutig zugeordnet werden (84%), es verbleiben 22 einzelne Bezeichnungen wie z.B. „*Entmündigung*“ oder „*Geldbörse schonen*“. Es sei angemerkt, dass diese Vorgehensweise keine exakte

linguistische Methodik darstellt – eine gewisse subjektive Färbung seitens der Auswerter ist unvermeidbar.

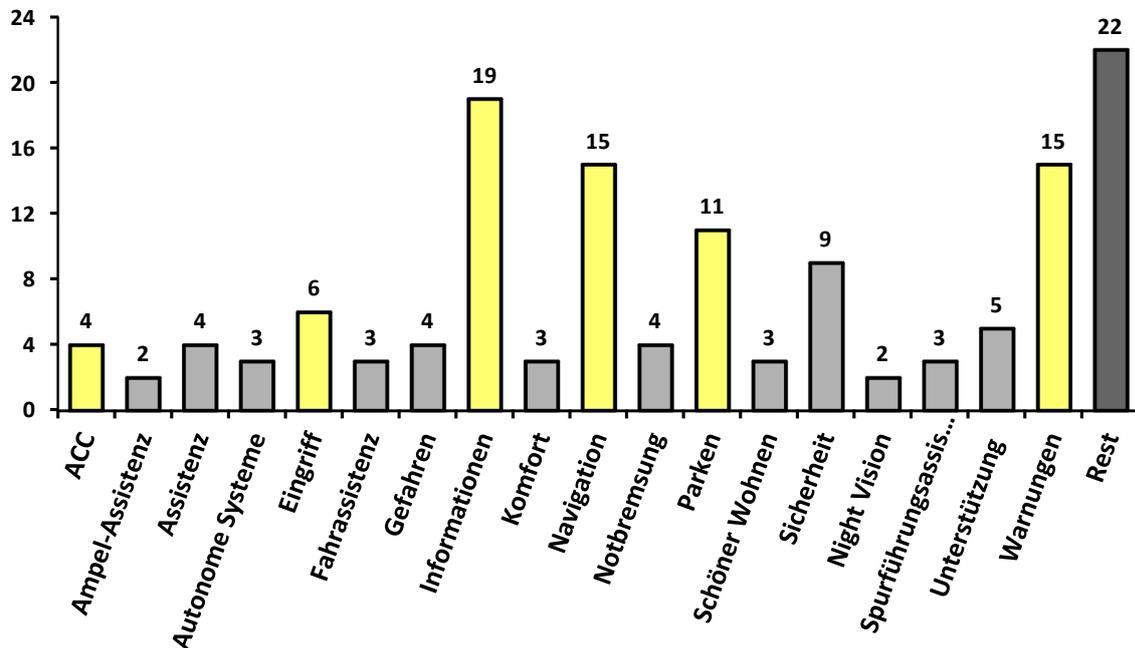


Abbildung 5.3: Kategorien-Bezeichnungen aus Versuch 1

Abbildung 5.3 zeigt das Ergebnis der Zusammenfassung, *Rest* bezeichnet dabei die nicht zugeordneten Begriffe. Auffällig ist, dass nur wenige Bezeichnungen von mehr als fünf Probanden verwendet wurden – das gilt nur für *Eingriff*, *Informationen*, *Navigation*, *Parken*, *Sicherheit* und *Warnungen*. Diese Wörter haben die höchste Relevanz bei der verbalen Klassifizierung von Fahrerassistenzsystemen, wobei einschränkend anzumerken ist, dass die Stichprobe aus dem Umfeld der Fahrzeugindustrie kam. Die farbig markierten Kategoriennamen werden im Weiteren für die Cluster der HCA verwendet, sind dabei jedoch losgelöst von der ursprünglichen Funktions-Zuordnung der Probanden - es wird vielmehr versucht, den entstehenden Clustern die am besten passenden Begriffe zuzuweisen. Daher werden *Sicherheit*, *Unterstützung* und *Assistenz* nicht verwendet, sondern die passenderen Begriffe *Eingriff*, *Warnungen* und *ACC*.

### Clusteranalyse

Bei durchschnittlich 6,41 gelegten Gruppen ist es sinnvoll, für eine erste Interpretation nach 5-8 Clustern abzubrechen. Abbildung 5.4 zeigt eine Konstellation mit sechs Clustern, die sinnvoll interpretiert werden kann - die zugeordneten Namen stammen wie bereits erläutert aus der Begriffsanalyse. Die Dendrogramm-Linien weisen darauf hin, in welcher Reihenfolge die Funktionen zusammengeführt werden. Die jeweiligen Gruppenkerne und die schrittweise Agglomeration sind durch farbige Hinterlegung veranschaulicht.

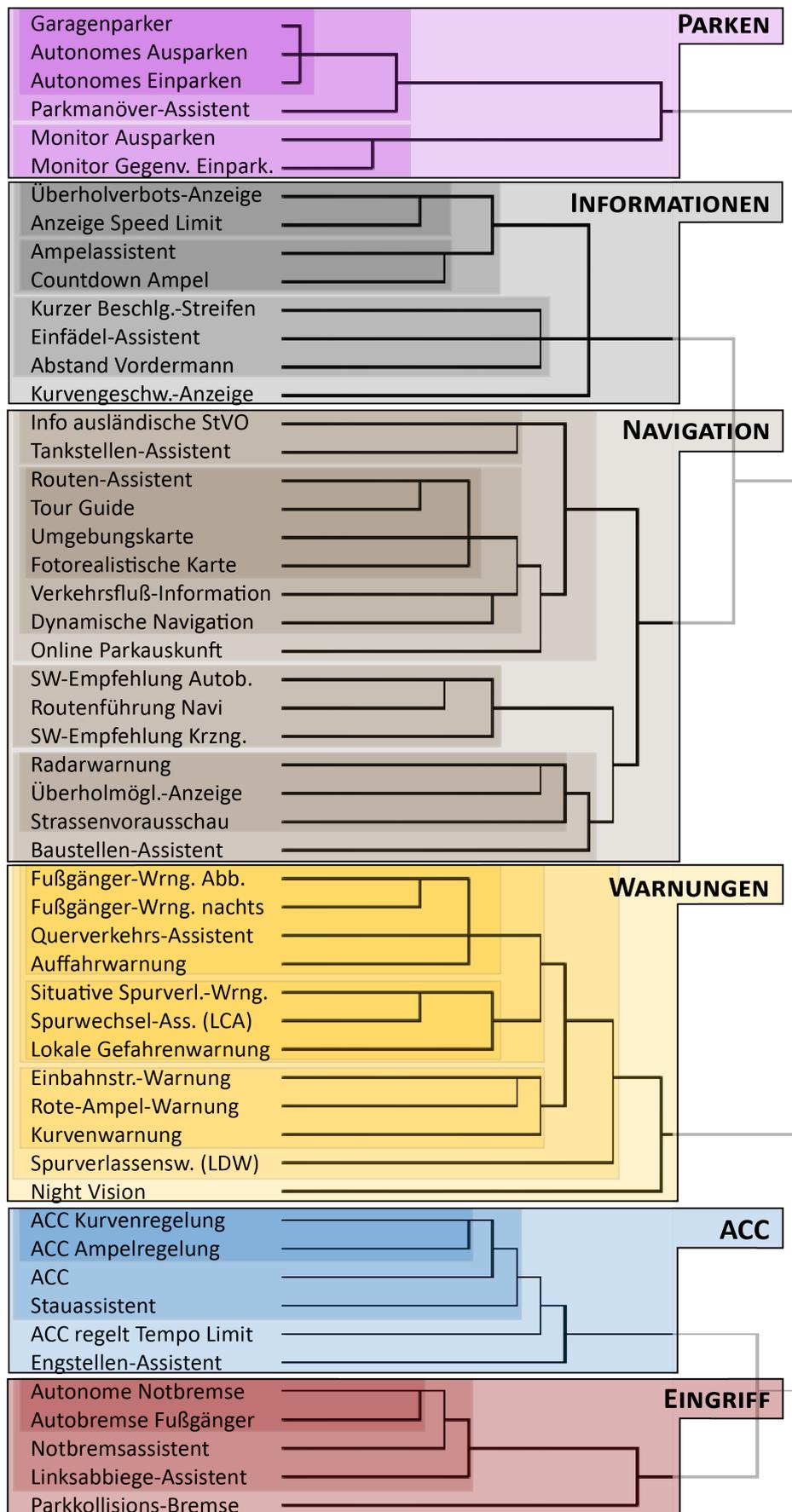


Abbildung 5.4: Dendrogramm der Clusteranalyse zu Versuch 1

Mit wenigen Ausnahmen bei *Informationen* und *Navigation* lassen sich in jeder Gruppe übereinstimmende Merkmale finden, wobei wie vermutet der Nutzen einer Funktion maßgeblich ist. *Parken* enthält ausschließlich Systeme, die beim Ein- und Ausparken des Fahrzeugs hilfreich sind. Die Suche nach einem Parkplatz (*Online Parkauskunft*) hingegen fällt nicht darunter. Die ersten vier Parkfunktionen wachsen sehr schnell zusammen, was darauf schließen lässt, dass sich die Probanden bezüglich der hohen Ähnlichkeit einig waren. Ähnliches gilt für *Eingriff* – ein kleines, schnell entstehendes Cluster, das ausschließlich selbstständig agierende Notfallsysteme enthält. Es ist deutlich getrennt von *Warnungen*, die zwar ebenfalls unfallvermeidend sind, aber nicht autonom eingreifen. Daran zeigt sich, dass neben dem Nutzen einer Funktion die Automatisierungsstufe ein wichtiges Gruppierungsmerkmal ist. Daher schließen sich *Eingriff* und *ACC* noch vor der Zusammenführung mit *Warnungen* zusammen – beide haben ähnliche Automatisierungsstufen. Ein ähnlicher Effekt zeigt sich an anderer Stelle: die informierenden Parkfunktionen (Monitor Aus- / Einparken) kommen erst spät mit den regelnden (z.B. Autonomes Ein- / Ausparken) zusammen.

Bei *Warnungen* fällt auf, dass die normale Spurverlassenswarnung (LDW, Hinweis vor Überfahren der Spurlinie) und Night Vision erst spät erfasst werden, obwohl die situative Spurverlassenswarnung (Warnung vor gefährlichem oder unbeabsichtigtem Verlassen der Spur) zu den ersten Kernfunktionen gehört. Die Probanden differenzieren also verschiedene Kritikalitäten – sowohl das einfache LDW als auch Night Vision haben eher informativen Charakter.

Die Unterschiede zwischen *Navigation* und *Informationen* dagegen sind diffiziler – beide enthalten die große Menge der informierenden Funktionen. *Informationen* umfasst vorrangig Funktionen der Bahnführungsebene, *Navigation* hingegen typische Assistenten mit langfristigem Planungscharakter. Jedoch nicht jede Funktion passt eindeutig zu dieser Interpretation – *Radarwarnung* oder *Überholmöglichkeiten-Anzeige* passen thematisch genauso gut in die Gruppe *Informationen*.

Über alle Cluster hinweg scheint die Unterteilung in Längs- und Querführung keine große Rolle zu spielen. Es sind zwar Tendenzen vorhanden, die diesen Schluss zulassen, aber sie setzen sich nicht durch. So laufen die Querführungs-Warnungen (Situative Spurverlassenswarnung, Spurwechsel-Assistent) anfänglich noch getrennt von ihren Längsführungs-Pendants (Auffahrwarnung, Fußgänger-Warnung nachts etc.), kommen aber weit vor Abschluss des Clusters zusammen. Ähnliches gilt für *ACC*: Stauassistent und Engstellen-Assistent betreffen beide die Querführung, bilden aber keinen separaten Kern.

Um ein Gefühl für die Stabilität der Interpretation zu bekommen, wurden *Single Linkage*, *Complete Linkage* und *Ward-Verfahren* als Vergleich herangezogen. Die Cluster *Parken*, *Warnungen*, *ACC* und *Eingriff* zeigen sich dabei als sehr stabil und enthalten immer dieselben Funktionen. Lediglich *Informationen* und *Navigation* ändern sich maßgeblich: entweder verschmelzen sie vollständig (*Single-Linkage*, Abbruch nach 5 Clustern) oder die Aufteilung der Funktionen zwischen beiden ist unterschiedlich (*Complete Linkage* mit 6 Clustern: *Informationen* deutlich umfangreicher, *Navigation* um denselben Anteil kleiner). Das *Ward-Verfahren* hingegen erzeugt das exakt gleiche Ergebnis wie oben beschrieben.

## Multi-Dimensionale Gruppierung

Abbildung 5.5 zeigt die resultierende MDS-Konstellation in einer aufbereiteten Form. Es verbleibt ein Stress von 7,8 %, womit eine gute bis ausreichende Konfiguration erreicht ist.

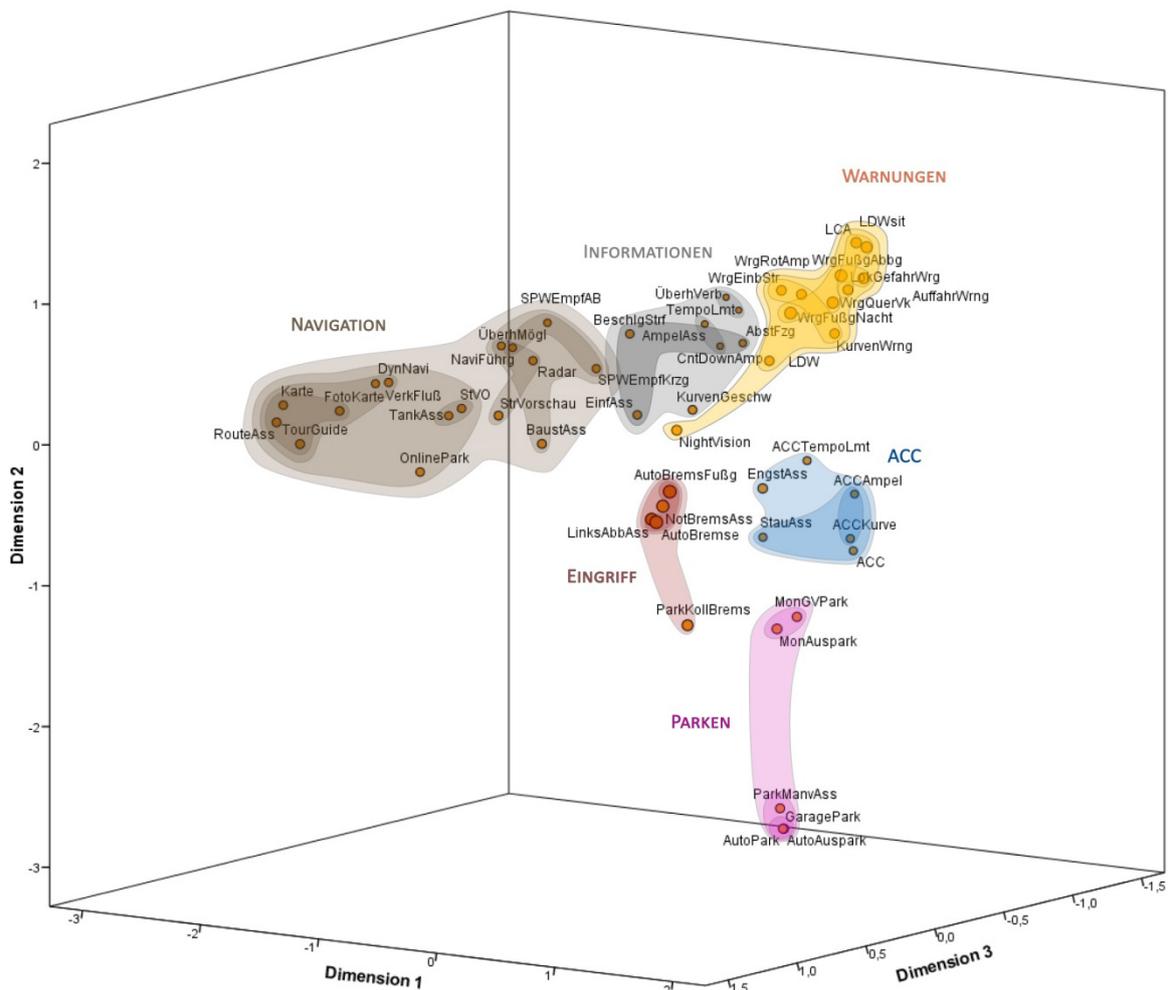


Abbildung 5.5: Multi-Dimensionale Gruppierung für Versuch 1 (Standardsicht)

Die von der HCA identifizierten Cluster wurden nachträglich eingezeichnet. Dabei bietet sich an, die Clusterkerne und die jeweils hinzukommenden Systeme mit immer größeren Kreisen zu markieren, siehe z.B. Coxon (1999). Diese Methode wurde hier bewusst nicht verwendet, da sehr viele Objekte vorhanden sind (siehe auch Versuch 2) und die Cluster *Warnungen*, *Info* und *Navigation* sehr nah beieinander liegen. Die Konturen der Cluster orientieren sich stattdessen eng an den Objekten, um Überschneidungen zu vermeiden und stattdessen das Wachstum der Cluster über die Iterationsstufen zu verdeutlichen – die spezielle Form einer Wolke enthält jedoch keine Information.

Bereits in der Standardsicht zeigen sich *Parken*, *Eingriff* und *ACC* gut voneinander getrennt. Auffällig sind dabei die weit auseinanderliegenden Clusterkerne von *Parken* mit informierenden und regelnden Funktionen. Bei *Eingriff* und *Warnungen* dagegen wird deutlich, warum Park-Kollisionsbremse respektive Night Vision erst spät hinzustoßen – sie

sind vom eigentlichen Kern sehr weit entfernt. Die im vorigen Abschnitt gezeigte Instabilität von *Informationen* und *Navigation* (Vergleich der HCA-Verfahren) zeigt sich in der MDS an den weit verstreuten Elementen dieser Gruppen. Im Gegensatz zu den stabilen Clustern sind die Elemente von *Navigation* zufälliger verteilt, die Wolke grenzt außerdem sehr nah an *Informationen* – es erscheint also plausibel, dass Funktionen mal der einen, mal der anderen Gruppierung zugeschlagen werden. Um das Gesamtbild abzurunden, zeigt Abbildung 5.6 eine stärker von oben orientierte Sicht auf den MDS-Würfel. Hier wird etwas deutlicher sichtbar, dass *Informationen* und *Navigation* sehr nah aneinander liegen, *Warnungen* und *ACC* hingegen besser abgegrenzt sind.

Anders als bei einer MDS normalerweise üblich, lassen sich aus den drei Achsen dieser Konfiguration keine direkten Gruppierungskriterien ableiten. Die Automatisierungsstufe ändert sich z.B. sowohl über die erste als auch zweite Achse. Die dritte zeigt die Tendenz, die Kritikalität wiederzugeben, jedoch müsste in diesem Fall *Eingriff* ganz unten positioniert sein. Die Achsen können daher nicht weitergehend interpretiert werden.

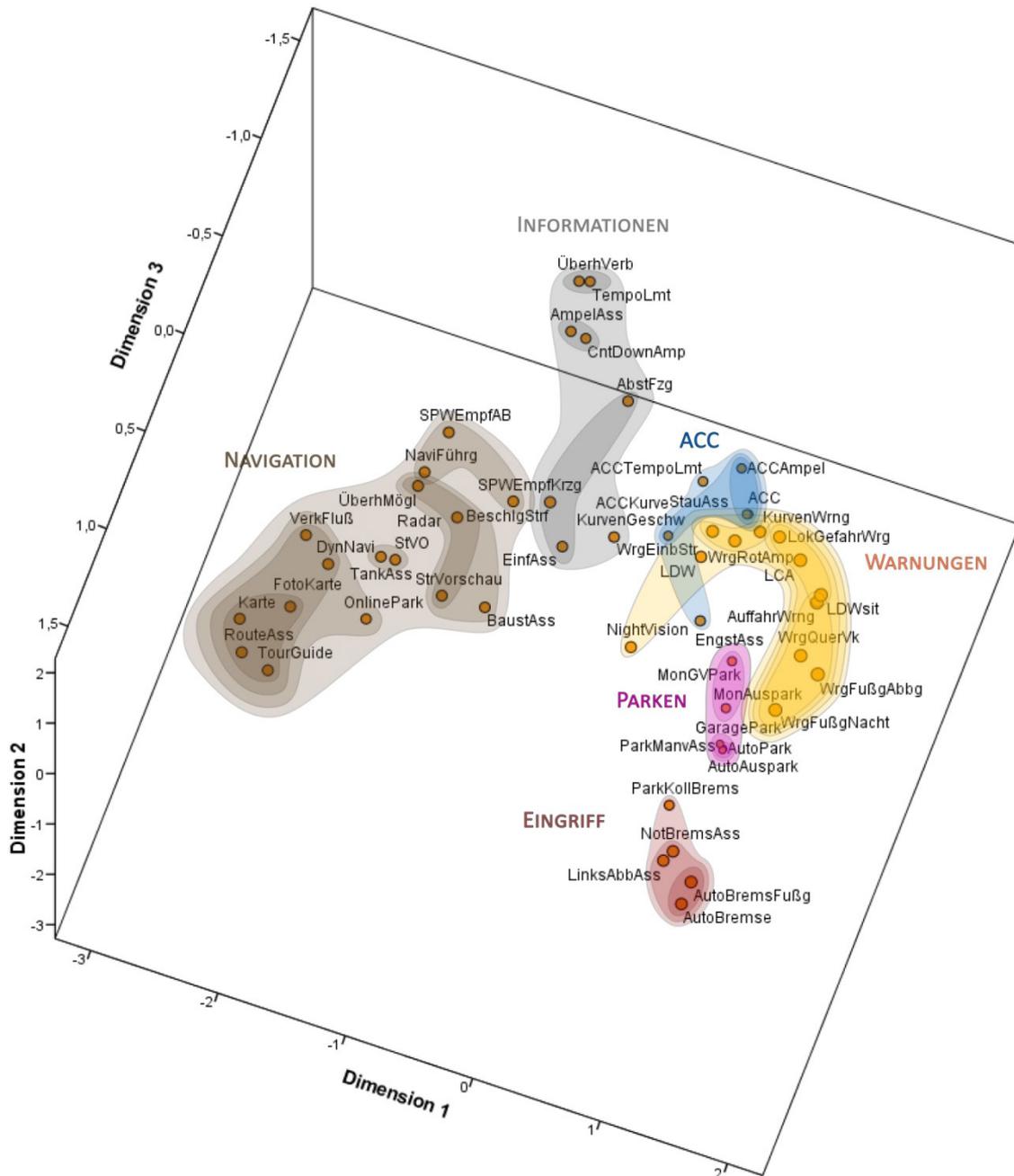


Abbildung 5.6: Multi-Dimensionale Gruppierung für Versuch 1 (Sicht von oben)

### Zusammenfassung Versuch 1

Die Pilotstudie zeigt eindeutig, dass gut trennbare Gruppen von Assistenzsystemen existieren. Unter Berücksichtigung der von den Probanden am häufigsten vergebenen Begriffe sind dies die Cluster *Parken*, *ACC*, *Warnungen* und *Eingriff*. Die verbliebenen Funktionen lassen sich unter *Navigation* und *Informationen* einordnen, diese Gruppen sind jedoch weniger stabil. Ein einzelnes, zwischen den Clustern separierendes Kriterium kann nicht identifiziert werden, jedoch spielen Kritikalität und Automatisierungsstufe eine wichtige Rolle. Die Zuordnung zu Längs- oder Querverführung hingegen ist von nachrangiger Bedeutung.

## 5.6 Versuch 2 – Konsolidierung mit externen Probanden

Am ersten Versuch hatten ausschließlich Mitarbeiter der BMW Group teilgenommen. Obwohl Experten in den relevanten Bereichen FAS und ABK ausgeschlossen wurden, muss bei diesen Personen von einem überdurchschnittlich guten technischen Hintergrund ausgegangen werden. Darüber hinaus hatten alle Erfahrung mit Fahrerassistenz-Systemen. Es ist nicht auszuschließen, dass technische Affinität und die Beschäftigung bei einem Automobil-Konzern einen Einfluss auf die Gruppierungs-Ergebnisse haben. Aus diesem Grund wurde der Versuch in ähnlicher Form mit einer anderen Stichprobe an der TU Berlin wiederholt.

### 5.6.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Das vorhandene Set von 53 Karten wurde dazu um zehn Karten erweitert, die vor allem Licht- und Kamerafunktionen, die Standardsysteme ABS und ESP/DSC und die *Stopschild-Warnung* enthielten. Damit sollte kontrolliert werden, wie valide das Verfahren für die Entdeckung existierender Strukturen sein würde. Standard-Lichtfunktionen und lichtbezogene Fahrerassistenzsysteme wie der Fernlicht-Assistent (FLA) finden sich heute bereits zusammengefasst am oder in der Nähe des Lichtschalters. Sie bieten sich an, einen Nachweis zur Plausibilität der Methode zu liefern: sie sollten sich als zusammenhängende Gruppe erweisen, da der Fahrer vermutlich die geometrische Nähe (Lichtschalter) und die inhaltliche Überdeckung (Bezug zum Begriff *Licht*) als gemeinsames Merkmal sieht. Sensorik oder Automatisierungsstufe sollten hier keine Rolle spielen. Das Layout der Karten wurde nicht verändert, auch der Versuchsablauf wurde nicht variiert.

**Tabelle 5.3:** Zusätzliche Funktionskarten als Erweiterung des 53-Karten-Sets für Versuch 2

	Funktion		Funktion
54	ESP / DSC (Dynamische Stabilitätskontrolle, verhindert Schleudern)	59	Fernlicht-Assistent (übernimmt selbstständig das Auf- und Abblenden des Lichts auf Landstraßen)
55	ABS (Anti-Blockier-System)	60	Rundumsicht beim Rangieren (stellt einen Blick auf das Auto von oben dar, bei niedrigen Geschwindigkeiten)
56	Abbiegelicht (leuchtet die Straße aus, in die man abbiegen will)	61	Ausfahrtskamera (zeigt die Sicht von der Stoßstange nach links und rechts an)
57	Kurvenlicht (passt den Lichtkegel dem Verlauf der Straße an)	62	Rückfahrkamera (stellt en rückwärtigen Fahrraum beim Rückwärtsfahren dar)
58	Automatischer Lichtschalter (schaltet das Abblendlicht je nach Helligkeit an oder ab)	63	Warnhinweis vor Überfahren eines Stopschildes (langsames Überrollen möglich)

### 5.6.2 Stichprobe

Zielgruppe dieses Versuchs waren explizit Käufer von Mittel- und Oberklasse-Limousinen, für die nach Firmenvorgaben folgende Kriterien galten:

- 35 bis 60 Jahre alt
- Fahrer eines Fahrzeugs der gehobenen Mittelklasse oder Oberklasse
- jährliche Fahrleistung min. 15.000 km
- Verteilung männlich zu weiblich ungefähr 2:1

Insgesamt wurden 35 Personen (25 m, 10 w) mit einer Altersspanne von 35 bis 68 Jahren ( $\bar{x}$  = 44,3 Jahre,  $sd$  = 7,75) nach diesen Vorgaben rekrutiert, größtenteils über persönliche Kontakte von Studenten und Mitarbeitern der TU Berlin. Alle Personen lebten zum Zeitpunkt des Versuchs in Berlin oder Umgebung und waren daher Großstadtverkehr gewöhnt. Sie erhielten für die Teilnahme an dem ca. eineinhalb Stunden dauernden Sortierversuch eine Aufwandsentschädigung.

### 5.6.3 Ergebnisse

#### Benennung der Gruppierungen

Im Versuch 2 erstellten die Probanden durchschnittlich 6,43 Gruppen und lagen damit nah an den Ergebnissen des vorigen Experiments. Die Bandbreite jedoch war mit  $sd$  = 2,23 bzw. mit minimal 3 und maximal 12 Gruppen deutlich größer. Auch bei den Kategorien-Bezeichnungen zeigte sich eine größere Bandbreite. Zur Konzentration und Identifikation der wichtigsten Begriffe wurde derselbe Prozess wie in Versuch 1 verwendet, das Ergebnis zeigt Abbildung 5.7.

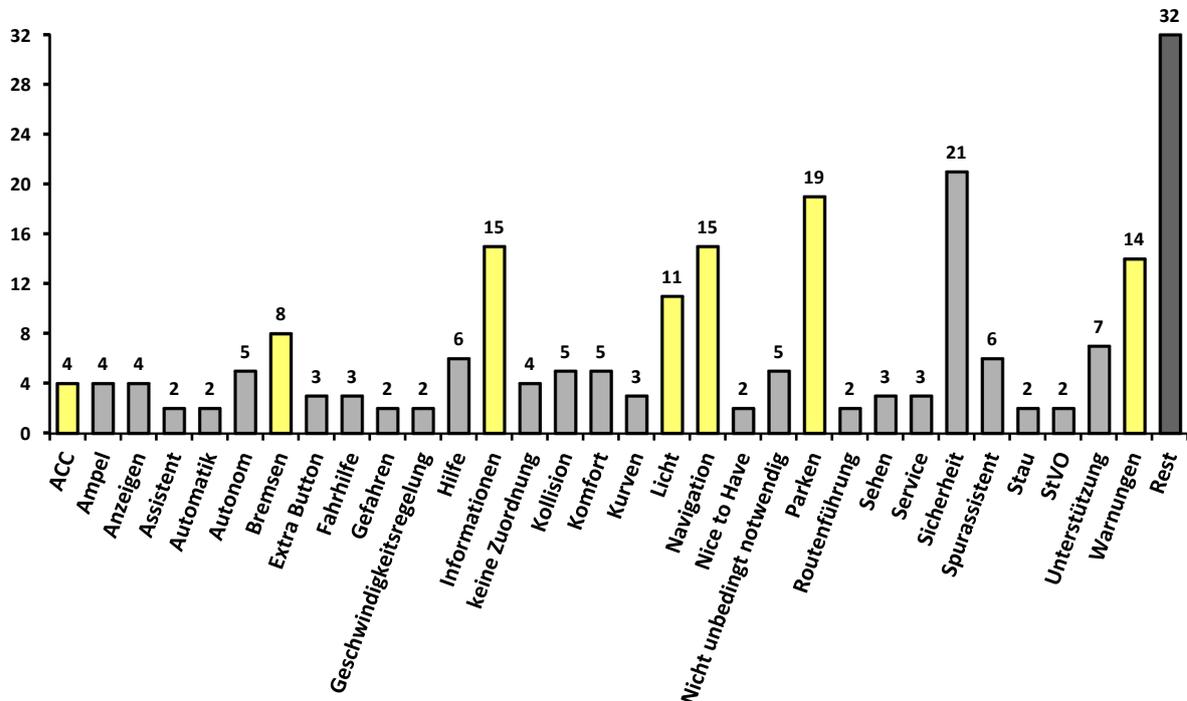


Abbildung 5.7: Kategorien-Bezeichnungen aus Versuch 2

Insgesamt wurden 221 Begriffe verwendet, von denen 189 (86%) einem der in Abbildung 5.7 aufgezählten zugeordnet werden konnten. Damit verblieben 32 schlecht

einzuordnende Begriffe. Trotz des nicht-technischen Hintergrunds der Versuchspersonen wurden in weiten Teilen dieselben Bezeichnungen verwendet, wenngleich deutlich mehr verschiedene Begriffe genutzt wurden. Dennoch finden sich die besonders häufig genannten adäquat wieder: *Informationen*, *Navigation*, *Sicherheit*, *Warnungen* und *Parken*. Offensichtlich handelt es sich bei diesen Bezeichnungen tatsächlich um allgemein vorhandene Ordnungsbegriffe. *Autonom* / *Automatik* sowie *Assistent* / *Fahrhilfe* / *Unterstützung* hingegen werden ohne deutliche Favoriten verwendet, auch die darunter verborgenen Funktionen variieren stark. Als Konsequenz werden für die Clusterbezeichnungen größtenteils dieselben Begriffe wie aus Versuch 1 verwendet – siehe die farbig hervorgehobenen Balken. Lediglich *Eingriff* (Versuch 1) wird mit *Bremsen* ersetzt, die enthaltenen Funktionen sind jedoch fast identisch. Bestätigt wird die Kategorie *Licht*, deren Funktionen zur Überprüfung der Methodik mit in den Versuch aufgenommen worden waren.

### Clusteranalyse

Bezüglich der sinnvollen Menge an Clustern kommen vier bis acht Cluster in Frage (Durchschnitt  $6,43 \pm 2,23$ ), mit sieben findet sich wieder eine gut interpretierbare Konstellation (Abbildung 5.8). Das Cluster *Parken* enthält dabei dieselben Systeme wie schon im Versuch 1, allerdings um die zusätzlichen Kamerafunktionen erweitert. Sichtbar ist die Tendenz zur Trennung zwischen regelnden und informierenden Systemen. Bei den alternativen Clusterverfahren *Single Linkage* und *Ward* bleiben die beiden Kerne bis zum Schluss getrennt, wenn man nach maximal acht Clustern abbricht. Die *Parkkollisions-Bremse* wird im Gegensatz zu Versuch 1 (Cluster *Eingriff*) ebenfalls dem *Parken* zugeschrieben. Diese Zuteilung ist in allen Vergleichen stabil – bei zwei getrennten Park-Clustern (*Single Linkage* und *Ward*) wird die Funktion immer den informierenden Systemen zugeschlagen.

*Licht* präsentiert sich wie erwartet als durchweg stabile Gruppe mit den immer selben Funktionen, die schnell zusammenkommen und am Schluss durch *Night Vision* ergänzt werden. Die derzeit in Serienfahrzeugen wie dem Audi A8 (audi.de (2010)) umgesetzte Gruppierung der meisten Licht-FAS sowie Night Vision an einem Bedienzentrums ist daher nachvollziehbar.

Das Cluster *Bremsen* enthält wie im Versuch 1 (dort: *Eingriff*) alle im Notfall eingreifenden Funktionen, die erst relevant werden, wenn andere Maßnahmen zur Unfallvermeidung nicht greifen. ABS und ESP/DSC gehören für die meisten Probanden in dieselbe Kategorie, das Cluster ist durchweg stabil in allen Vergleichen. Der in Versuch 1 gefundene Effekt, dass diese Gruppe aufgrund unterschiedlicher Automatisierungsstufen erst ganz am Schluss mit *Warnungen* zusammenkommt, kann ebenfalls reproduziert werden. Auch naive Probanden differenzieren also sehr genau zwischen nur warnenden und massiv eingreifenden Funktionen, selbst wenn beide meistens in einer zeitlichen Reihenfolge kommen (Warnung → automatisches Anbremsen → automatische Notbremsung). Es ist daher vermutlich sinnvoll, diese Funktionsgruppen im späteren ABK getrennt zu behandeln.

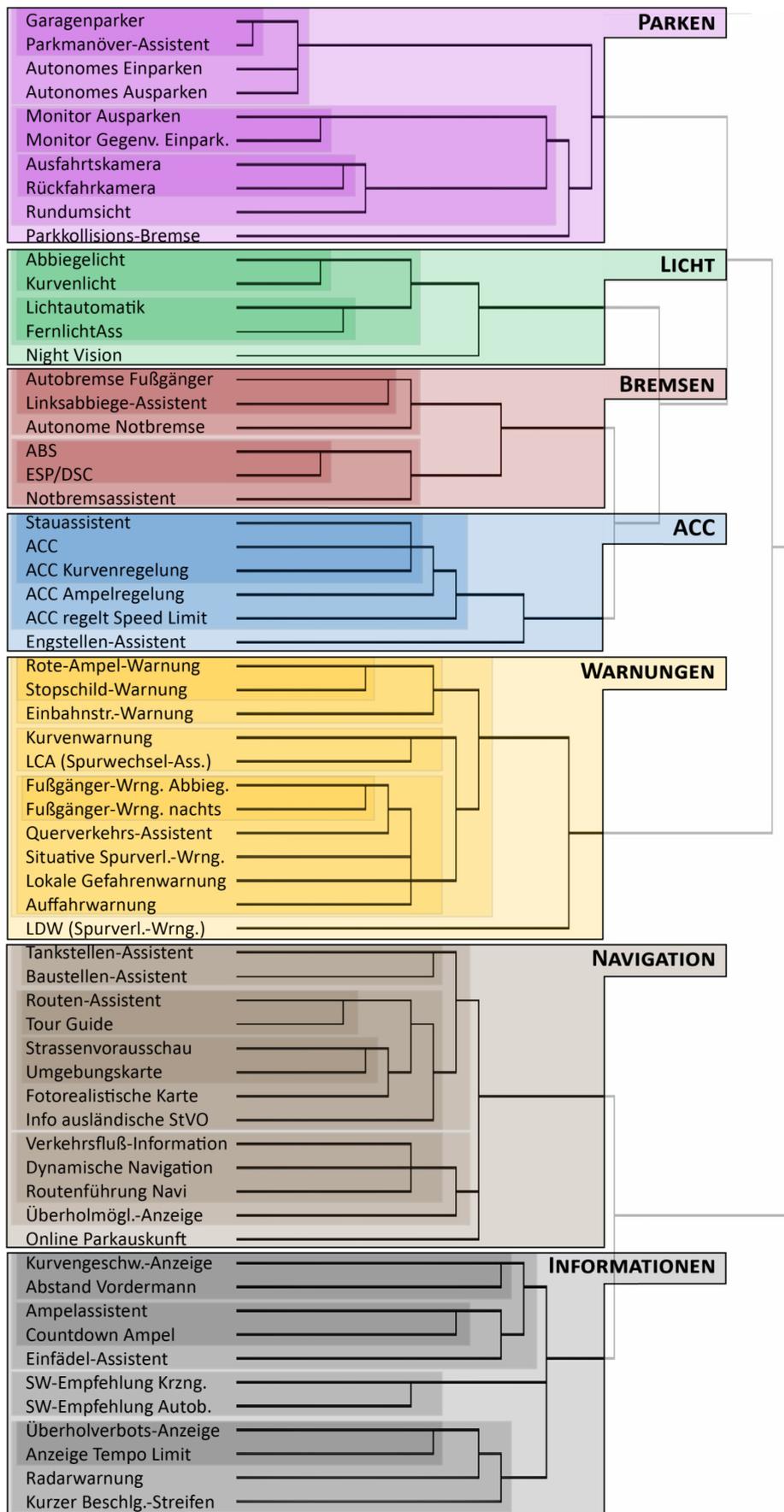


Abbildung 5.8: Dendrogramm der Clusteranalyse zu Versuch 2

Ebenfalls vergleichbar mit den Ergebnissen des vorigen Versuchs sind die Gruppen *ACC* und *Warnungen* – hier erscheinen die exakt gleichen Funktionen. Die reguläre *Spurverlassenswarnung* (LDW) kommt auch hier erst ganz am Schluss zu *Warnungen* hinzu (im Gegensatz zur *situativen Spurverlassenswarnung*), wiederum ein Hinweis auf den eher informierenden statt warnenden Charakter. Die Stabilität der Cluster ist mit einer Ausnahme ebenfalls gewährleistet. Während *ACC* in allen Vergleichen stabil bleibt, entpuppt sich LDW als instabil und erscheint bei allen anderen Cluster-Algorithmen bei *Informationen*.

Die verbliebenen beiden Gruppen *Informationen* und *Navigation* müssen mit gewisser Vorsicht betrachtet werden, da eine klare inhaltliche Trennung wieder nur bedingt zu erkennen ist. Beide enthalten sowohl Informationen zum Verkehrsgeschehen als auch reine Navi-Funktionen, sie sind außerdem instabil. Je nach Algorithmus gruppieren sie unterschiedliche Funktionen und sind entweder stärker aufgetrennt (Complete Linkage: *Informationen 1*, *Informationen 2* und *Navigation*) oder ganz zusammen (Single Linkage). In Summe fangen sie jedoch immer die von den anderen Gruppen nicht abgedeckten Systeme auf, einzige Ausnahme ist die *Spurverlassenswarnung* (siehe oben).

### Multi-Dimensionale Gruppierung

Die aufbereitete MDS-Konstellation zeigt Abbildung 5.9, der verbleibende Stress von 5,9% kann als gut bezeichnet werden. Die Trennung der fünf stabilen Cluster untereinander (*Warnungen*, *Bremsen*, *ACC*, *Licht* und *Parken*) im Gegensatz zu *Informationen* und *Navigation* ist deutlich sichtbar, wenn man gleichzeitig Abbildung 5.10 berücksichtigt. Letztere sind zwar besser getrennt als im vorigen Versuch, aber dennoch nicht so konsequent wie beispielsweise *Parken* und *ACC*. Die in der HCA erst spät zugeordneten Funktionen *Parkkollisions-Bremse* (*Parken*), *Night Vision* (*Licht*) und *Spurverlassenswarnung* (*Warnungen*) zeigen sich wie erwartet weit vom Clusterkern entfernt. *Parken* hat im Gegensatz zu Versuch 1 nicht nur zwei, sondern drei eigenständige Kerne, die aus Versuch 2 finden sich jedoch auch hier (informierende und regelnde Park-Funktionen). Angesichts der großen Entfernung der Clusterkerne wären grundsätzlich auch getrennte Park-Cluster legitim, wie sie bei den alternativen HCA-Algorithmen entstehen.

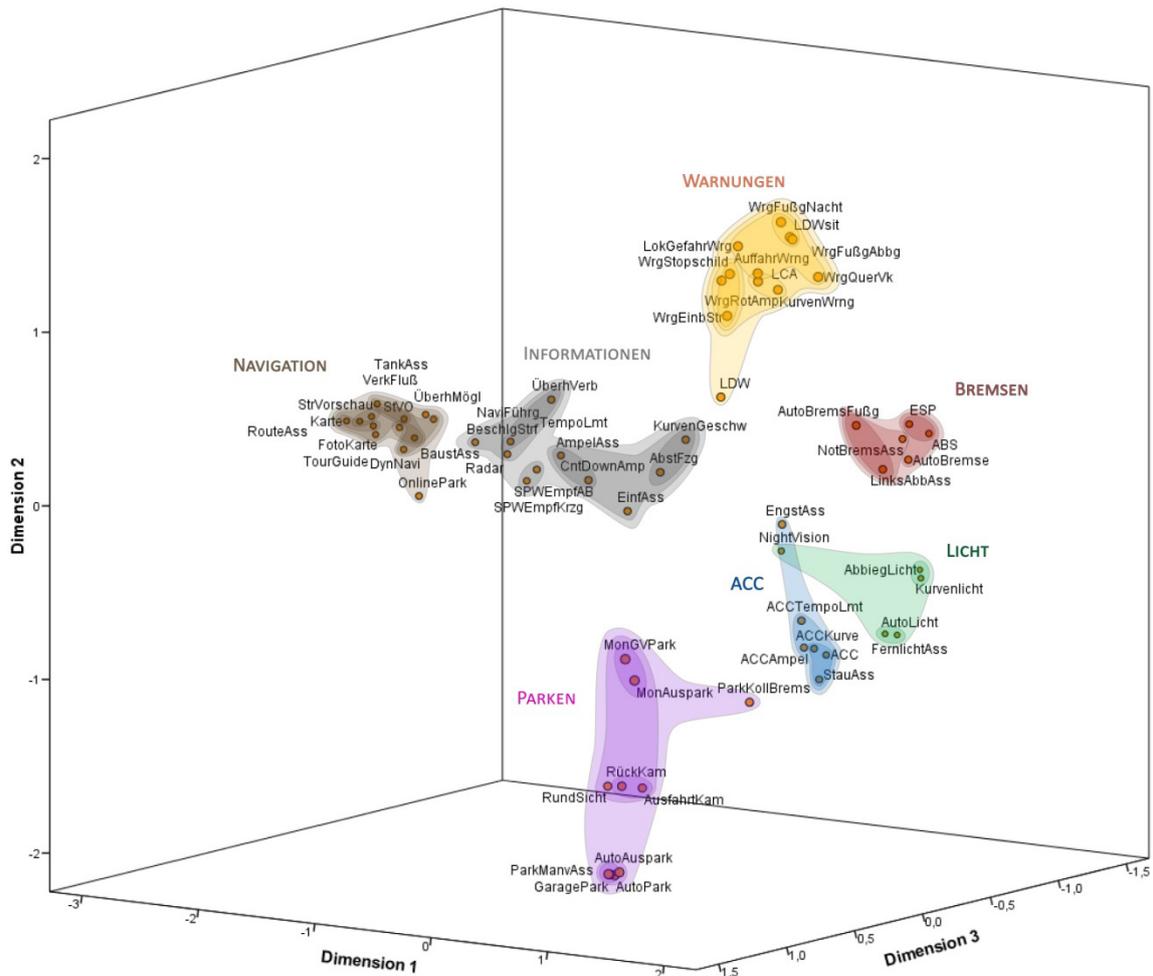


Abbildung 5.9: Multi-Dimensionale Gruppierung für Versuch 2 (Standardsicht)

Bezüglich möglicher Gruppierungskriterien lässt sich nicht Neues feststellen – auch in Versuch 2 finden sich keine einheitlichen Aussagen. Dimension 1 scheint von *Navigation* bis *Warnungen* teilweise steigende Kritikalität abzubilden, aber *Bremsen* fällt deutlich aus dem Rahmen.

Insgesamt ähnelt diese Konfiguration der im Versuch 1 gefundenen mit Ausnahme des Clusters *Bremsen* (Versuch 1: *Eingriff*) – dieses liegt in Versuch 1 im positiven Abschnitt von Dimension 3.

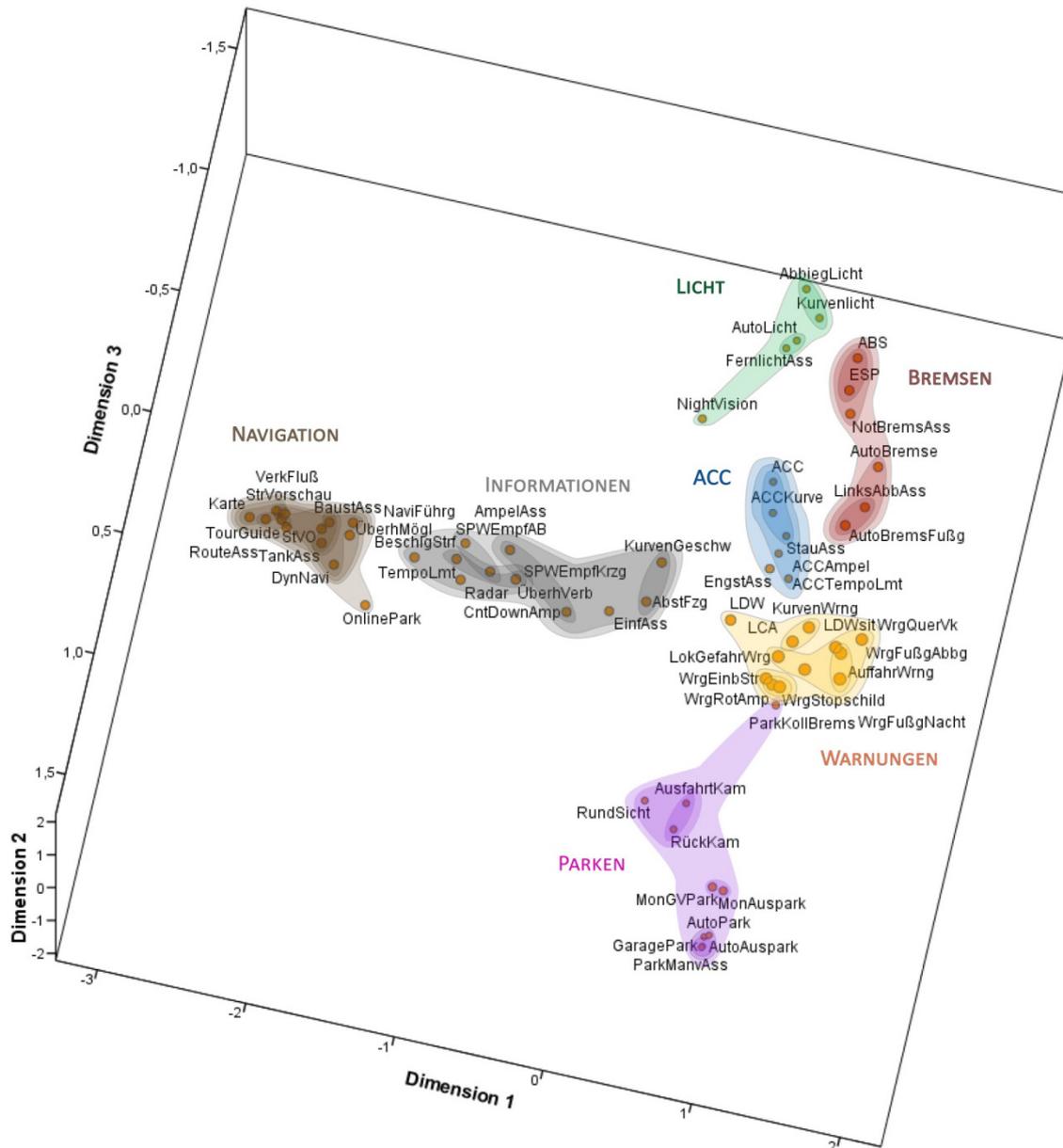


Abbildung 5.10: Multi-Dimensionale Gruppierung für Versuch 2 (Sicht von oben)

### Zusammenfassung Versuch 2

Die im zweiten Versuch gefundenen Ergebnisse sind in weiten Teilen deckungsgleich mit denen des Pilotversuchs. Sowohl die stabilen Cluster als auch gewisse Unsicherheiten bei Navigations- und Informations-Systemen können reproduziert werden. Die höhere Bandbreite an verwendeten Begriffen für die Kategorien ist vor dem nicht-technischen Hintergrund der meisten Teilnehmer verständlich und von geringerer Bedeutung, da die im Versuch 1 aufgetretenen starken Begriffe wie *Parken* und *Navigation* auch hier überdurchschnittlich häufig vorkommen.

## Methodenkritik

Trotz der gut übereinstimmenden Ergebnisse beider Versuche seien Kritikpunkte angemerkt. In erster Linie verlangten die rein verbalen Funktionsbeschreibungen eine hohe Vorstellungskraft, zusätzlich waren die wenigsten Systeme bekannt. Die Probanden mussten sich also eine unbekannte Funktion mit unbekanntem ABK vorstellen und daraus ihre Einteilung ableiten. Ihre Überlegungen dazu lassen sich aus den Ergebnissen nur schwer nachvollziehen. Die Vielzahl der Karten überforderte die Probanden vereinzelt, vorrangig im Versuch 2. Die für Nicht-Techniker schwer nachvollziehbare Trennung ähnlicher Funktionen (z.B. *Fußgängerwarnung nachts* (Karte 17) und *Fußgängerwarnung beim Abbiegen* (Karte 22)) frustrierte gelegentlich und schränkte die Motivation ein. Auch die mehrfach auftretenden, gleichen Bezeichnungen (-warnung, -hinweis etc.) waren ungünstig.

### 5.7 Versuch 3 mit optimierten Voraussetzungen (Helmer, 2007)

Die Arbeit von Helmer (2007) stützt die Ergebnisse aus Versuch 1 und 2 durch ein weiteres Experiment, daher werden Methodik, Versuch und Ergebnisse hier kurz angesprochen.

#### 5.7.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Helmer wählte bewusst einen anderen Ansatz und glich damit einige der Kritikpunkte aus. Er verwendete weniger Karten (21 statt 53 bzw. 63) und legte den Schwerpunkt auf bekannte Seriensysteme. Die Karten enthielten vollständige *Systembeschreibungen* und nicht nur Einzelfunktionen, womit sie den realen Serienlösungen näherkam. Zusätzlich wurde jedes System ausschließlich mit einem Buchstaben kodiert (siehe Abbildung 5.11). Es verblieb das Problem, dass sich die Probanden ein eventuell unbekanntes System inklusive ABK vorstellen mussten, um es richtig einteilen zu können.

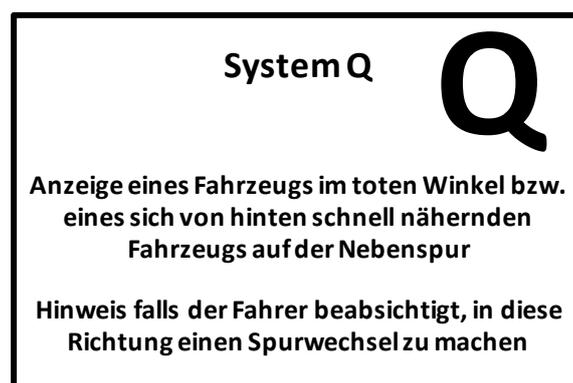


Abbildung 5.11: Beispiel für Systemkarte (Spurwechselwarnung) aus Versuch 3

Da die Ergebnisse dieses Versuchs später mit einem Experiment im Serienfahrzeug validiert werden sollten, wurde das Kartenset auf Seriensysteme eingeschränkt. Tabelle 5.4 gibt einen Überblick – jeweils in Klammern ist der Systemname als Referenz angegeben, der dem Probanden jedoch nicht gezeigt wurde:

**Tabelle 5.4:** Set mit 21 Systemkarten für Versuch 3 (Helmer, 2007)

	<b>Funktion</b>		<b>Funktion</b>
A	Automatische An- bzw. Abschaltung des Fernlichts (Fernlichtassistent)	L	Automatisches Bremsen bei drohender Frontalkollision (Notbremsassistent 2)
B	Meldung bei drohender Frontalkollision; Bei Betätigung der Bremse wird die Verzögerung automatisch an die Verkehrssituation angepasst (Notbremsassistent 1)	M	Anzeige, falls der bevorstehende Straßenverlauf ein Überholen nicht zulässt (Überholanzeige)
C	Hineinleuchten der Scheinwerfer in Kurven; Optimale Lichtverhältnisse beim Abbiegen (Kurvenlicht mit Abbiegelicht)	N	Anzeige der rückwärtigen Fahrzeugumgebung als Videobild; Einblendung des Platzbedarfs zum Rangieren bei momentanem Lenkeinschlag; Einblendung des Platzbedarfs zum Rangieren. Bei maximalem Lenkeinschlag; Einblendung der Distanz zu rückwärtigen Objekten; Vergrößerungsfunktion zum Ankuppeln von Anhängern (Rückfahrkamera)
D	Berücksichtigung umfassender Verkehrsinformationen bei der Navigation (DAB TPEG)	O	Selbstständiges Lenken des Fahrzeugs während der Fahrt (Heading Control)
E	Konstanthalten einer vom Fahrer definierten Geschwindigkeit (Geschwindigkeitsregelung)	P	Kamerabild der Umgebung seitlich links & rechts neben der Fahrzeugfront; Einblendung der Fahrzeugvorderkante als Linie (Parkkamera 1)
F	Verbesserte Lichtverhältnisse beim Leuchtweiten- Durchfahren von Wannen oder Kuppen (Leuchtweitenregulierung)	Q	Anzeige eines Fahrzeugs im toten Winkel bzw. eines sich von hinten schnell nähernden Fahrzeugs auf der Nebenspur; Hinweis, falls der Fahrer beabsichtigt, in diese Richtung einen Spurwechsel zu machen (Spurwechselwarnung)
G	Meldung beim bevorstehenden Überfahren einer Spurbegrenzung (Spurverlassenswarnung)	R	Finden einer Parklücke bei Vorbeifahrt; Automatische Lenkung beim Einparken (Parkassistent)
H	Veränderung des Lichtkegels vor dem Fahrzeug abhängig von der Geschwindigkeit (Stadt- / Autobahnlicht)	S	Anzeige der Route zu einem Ziel; Anzeige der verbleibenden Fahrzeit (Navigationssystem)
I	Konstanthalten einer vom Fahrer definierten Geschwindigkeit; Konstanthalten eines vom Fahrer definierten Abstands zum Vorausfahrenden, falls Geschwindigkeit nicht gehalten werden kann (ACC Stop&Go)	T	Darstellung des bevorstehenden Straßenverlaufs als Symbol (Straßenvorschau)

J	Videobild bei Nacht mit Blick in Fahrtrichtung; warme Objekte werden hervorgehoben; Meldung, sobald Menschen erkannt werden (Nachtsicht)	U	Anzeige der Distanz zu Objekten unmittelbar vor / hinter dem Fahrzeug; Anzeige des Bereichs direkt neben dem Fahrzeug als Videobild (Parkkamera 2)
K	Darstellung der momentan gültigen Geschwindigkeitsbegrenzung (Speedlimit-Info)		

Der Versuch selber lief analog zu den vorangegangenen Experimenten ab – die Probanden sollten die Karte ohne Vorgabe frei sortieren und mussten die Kategorien anschließend benennen sowie die Struktur erklären.

### 5.7.2 Stichprobe

Helmer akquirierte 23 Personen (13m, 10w) im Alter von 20 bis 61 Jahren ( $\bar{x}$ =38,7 Jahre;  $sd$ =12,8). Die Stichprobe setzte sich sowohl aus BMW-Mitarbeitern als auch externen Personen zusammen, etwa die Hälfte der Probanden hatte einen technischen Hintergrund. Alle Sortierungen wurden von September bis Oktober 2007 durchgeführt.

### 5.7.3 Ergebnisse

Durchschnittlich legten die Probanden 5,8 Gruppen ( $sd$  = 1,2; Minimum 3; Maximum 8). Die Cluster-Benennung orientiert sich an den verwendeten Begriffen.

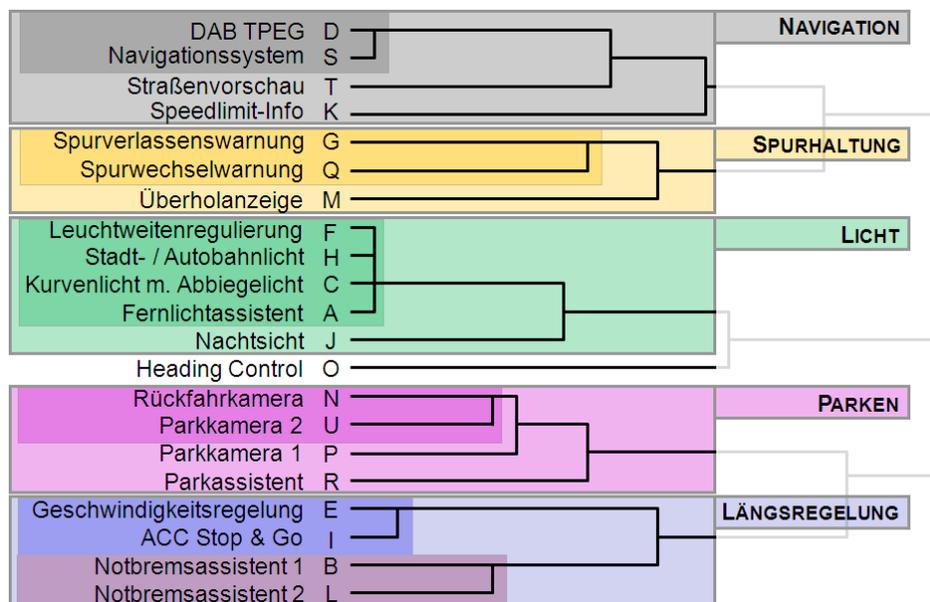


Abbildung 5.12: Dendrogramm der Clusteranalyse zu Versuch 3 (Helmer, 2007)

Die Cluster *Parken*, *Licht* und teilweise auch *Navigation* sind vergleichbar mit den ersten beiden Versuchen, *Spurhaltung* und *Längsführung* hingegen tauchen neu auf. Der maßgebliche Unterschied findet sich in der gemeinsamen Gruppierung von ACC bzw.

*Geschwindigkeitsregelung* und den Notbremsassistenten. Zusammen mit *Spurverlassenswarnung* und *Spurwechselwarnung* scheint hier die Einteilung in Quer- und Längsführungssystemen ein mögliches Kriterium zu sein. Dies war in den beiden ersten Versuchen nicht festzustellen und ist möglicherweise auf die kleinere Anzahl an verwendeten Systemen zurückzuführen.

Helmer ergänzt seine Analyse mit einer multi-dimensionalen Skalierung, die einen Stresswert von 12% erreicht und damit qualitativ ausreichend ist. Jedoch lassen sich auch aus deren Dimensionen keine übergreifenden Gruppierungskriterien ableiten. Der Autor schlussfolgert ebenfalls, dass die Fahrer FAS nicht nach einem einzelnen, sondern nach einer Kombination verschiedener Kriterien klassifizieren. Er identifiziert dabei den zeitlichen Ablauf der Fahrt (Trennung Fahren / Parken), die Unterscheidung von primärer und sekundärer Fahraufgabe (Licht vs. ACC) und die Aufteilung entlang der drei Ebenen der Fahraufgabe (Navigation vs. Führung / Stabilisierung). Selbst die Automatisierungsstufe spielt eine Rolle, wie die Trennung von regelnden und warnend / informierenden Systemen zeigt. Abweichend von den beiden ersten Versuchen sieht Helmer zusätzlich die Trennung in Quer- und Längsführung als relevantes Kriterium, sichtbar an den beiden Gruppen *Spurhaltung* und *Längsführung*, die erst am Schluss vereint werden.

Hiesel (2008) untersuchte später, inwieweit sich Helmers Ergebnisse im Realfahrzeug validieren ließen. Er wiederholte dazu dessen Experiment, ließ seine Probanden jedoch auch einen kleinen Teil der Systeme im echten Verkehr erleben. Damit konnte er prüfen, inwiefern Serien-ABK und Erleben in einer realen Situation ein Ähnlichkeitsurteil beeinflussen. Die mittlerweile bekannten stabilen Gruppen lassen sich im ersten Teil seines Versuchs (vor der Realfahrt) ebenfalls entdecken – *Navigation, Parken, Licht* und das anders benannte Cluster *Komfortables Fahren* (Versuch 1 und 2: ACC). Darüber hinaus deckt sich das Ergebnis etwas besser mit den ersten beiden Untersuchungen – analog zu den Funktionen Stauassistent bzw. Engstellenassistent ist Heading Control hier mit ACC Stop&Go gruppiert. Hiesel interpretiert dies abweichend von Helmer dahingehend, dass die Trennung von Quer- / Längsführung im Gegensatz zur Automatisierungsstufe eine untergeordnete Rolle spielt. Als Grund für die abweichenden Ergebnisse, v.a. bei Heading Control und Spurverlassenswarnung, gibt der Autor die verbesserte Systembeschreibung und die Beeinflussung der Sortierung mit Hilfe des Systemerlebens an.

Hiesel (2008) konnte Helmers Ergebnisse größtenteils auch nach dem Erleben der Systeme bestätigen. Danach hätten die Probanden ihre Struktur ändern können, taten dies aber nur selten. Einige korrigierten zwar ihre vorherige Darstellung, über alle Teilnehmer hinweg konnte jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen Vorher- und Nachher-Konfiguration nachgewiesen werden. Zusätzlich analysierte er mit Hilfe von Fragebögen, inwiefern die beiden real erlebbaren Funktionen LCA und LDW im Systemverbund wahrgenommen wurden. Dabei empfanden 75% der Probanden (11 von 15) die Systeme als zusammengehörig – ein Ergebnis das für die weitere Funktionsintegration von Bedeutung ist. Dabei ist einschränkend anzumerken, dass beide Systeme als Rückmeldung das Lenkrad vibrieren ließen. Es ist nicht auszuschließen, dass diese Gemeinsamkeit die Meinung der Teilnehmer beeinflusste.

## 5.8 Zusammenfassung und Diskussion

Die vorgestellten vier Sortier-Experimente und ihre Auswertung mittels HCA und MDS zeigen, dass der Wahrnehmungsraum Fahrerassistenz zu einem großen Teil mit stabilen Begriffen und Strukturen beschrieben werden kann. Vor allem die Gruppen *Parken*, *ACC*, *Warnungen*, *Bremsen/Eingriff* und *Licht* lassen sich unter variierenden Rahmenbedingungen mehrfach experimentell nachweisen. Dabei zeigen sich sowohl die Begriffe an sich als auch die darunter eingeordneten Funktionen als stabil. Die Begriffe *Navigation* und *Informationen* sind bei den Fahrern ebenfalls etabliert, jedoch variieren die darunter eingeordneten Funktionen stark. Hier kann nicht davon ausgegangen werden, dass jede Person dieselben Erwartungen an diese Gruppen hat. Abweichungen in Details der drei Untersuchungen können auf Unterschiede im Versuchsdesign zurückgeführt werden, sie betreffen einzelne Systeme und beeinflussen die gefundene Struktur bezüglich der großen Gruppen nicht.

Die MDS-Analysen zeigen anschaulich, dass sich die gefundenen Cluster um Kerne aus sehr ähnlichen Funktionen bilden, so z.B. im Cluster *Parken* um *Ausfahrtskamera* und *Rückfahrkamera* oder im Cluster *Bremsen/Eingriff* um die Funktionen *Autonome Notbremse* und *Autobremse Fußgänger*. Bemerkenswert ist weiterhin, dass keine der bekannten technischen Klassifikationen aus Abschnitt 2.2.1 für sich die gefundenen Strukturen erklären kann. Vielmehr beeinflussen *mehrere Kriterien* die Entscheidung der Versuchspersonen. Deutlich ist der Einfluss der Automatisierungsstufe zu spüren, ebenso eine gewisse Differenzierung nach dem Modell der hierarchischen Fahrzeugführung.



## 6 Funktionale Integration von aktiven Sicherheitssystemen der Querführung

Wie im vorigen Kapitel gezeigt werden konnte, existieren in der Wahrnehmung naiver Fahrer stabile Gruppen von Fahrerassistenzsystemen. Darauf aufbauend werden nun Integrationskonzepte entwickelt und bewertet, die sich den warnenden und eingreifenden Systemen zur Unfallvermeidung widmen. Das sind in erster Linie die Funktionen der Gruppen *Bremsen/Eingriff* und *Warnungen*. Das folgende Kapitel geht dabei näher auf die technische Integration ein, in Kapitel 7 dagegen wird ein ABK entwickelt, das die Idee der Gruppierung mittels einer neuen Bedienmetapher kommunizieren soll.

### 6.1 Gruppierung von aktiven Sicherheitssystemen

Aus Sicht des Fahrers lassen sich die Funktionen der Gruppe *Bremsen/Eingriff* folgendermaßen beschreiben:

- Sie greifen ein, wenn der Fahrer alle Optionen, den Unfall zu verhindern, nicht nutzen konnte – z.B. wegen unaufmerksamer Fahrweise, einer schwer zu beherrschenden Verkehrssituation oder Überschätzung
- Einmal ausgelöst, agieren sie selbstständig ohne weiteres Zutun des Fahrers
- Die Systemreaktion ist das gezielte Bremsen einzelner Räder (DSC) oder des gesamten Fahrzeugs

Die Funktionen der Gruppe *Warnungen* werden dagegen schon vor oder während der Entwicklung einer kritischen Situation aktiv und übernehmen folgende Aufgaben:

- Sie schützen den Fahrer vor Kollisionen bzw. Unfällen, indem sie ihn rechtzeitig davor warnen. Auf diese Weise kann er den Konflikt selbst auflösen oder zumindest die richtige Reaktion vorgeben.
- Sie können informieren, warnen oder kurzzeitig eingreifen, jedoch den Unfall nicht selbstständig und autonom verhindern – und unterscheiden sich damit von den Systemen der Gruppe *Bremsen*.
- Sie sind sowohl in der Längs- als auch Querführung aktiv

Beide Gruppen werden im Folgenden als *aktive Sicherheitssysteme* bezeichnet, bleiben aber nach wie vor getrennt. Die Funktionen der Teilgruppe *Bremsen/Eingriff* interagieren nur beschränkt mit dem Fahrer – sie kommen erst in der Handlungsphase *Aktion* ins Spiel und nur dann, wenn alle anderen Maßnahmen umsonst waren. Aus Sicht der Mensch-Maschine-Interaktion sind *Warnungen* interessanter – sie interagieren in den Handlungsphasen *Wahrnehmung*, *Integration* und *Entscheidung* (Abschnitt 2.2.2) mit dem Fahrer. Um trotz vieler Warnausgaben einfache und verständliche Rückmeldungen an den Fahrer geben zu können, sollten die Ausgaben sinnvoll priorisiert sein (Lermer und Färber, 2008) oder besser noch auf höherer Ebene zusammengefasst werden (Thoma, 2010). Die Integration betrifft dabei drei unabhängige Faktoren:

1. Gruppierungskriterium (Thoma, 2010)
2. Anteil der Warnung (Kopf, 1998)
3. Ausgabemodalitäten (Optik, Akustik etc.)

Diese Faktoren werden im Folgenden genauer erläutert.

### 6.1.1 Gruppierungskriterien

Kapitel 5 zeigte auf, *welche* Sicherheitsfunktionen technisch und im ABK gruppiert werden sollen, lieferte aber nicht die Lösung– hier müssen weitere Überlegungen einfließen. Über die vom Fahrer empfundene Zusammengehörigkeit im mentalen Modell hinaus müssen weitere *Gruppierungskriterien* vom Entwickler definiert werden. Tabelle 6.1 zeigt eine Auswahl dieser Kriterien in Anlehnung an Thoma (2010):

**Tabelle 6.1:** Kriterien zur Gruppierung von Funktionen und Ausgaben sicherheitsrelevanter FAS

Gruppierungskriterium	Beschreibung
Keins	Die Ausgaben sind nicht zusammengefasst, jede Funktion verfügt über eine eigene.
Ähnlichkeit der Ursache	Ausgaben werden anhand ähnlicher Ursachen gruppiert, also beispielsweise nach Fahrzeug-, Fußgänger und Randbebauungs-Kollisionen
Richtung	Alle potenziellen Gefahren aus einer Richtung (vorn, hinten, links, rechts) erzeugen dieselbe Ausgabe.
Kritikalität	Gefahrensituationen werden diskreten Kritikalitätsstufen (z.B. niedrig vs. hoch) zugeordnet, denen je eine Ausgabe zugewiesen wird.
Längs- / Querführung	Es wird danach unterschieden, welche Dimension der Stabilisierungsaufgabe betroffen ist – die Längs- oder Querführung.
Generisch	Alle Systeme nutzen nur eine generische Ausgabe.

Sie eignen sich sowohl zur Zusammenfassung kompletter Funktionen als auch für einzelne Warnanteile. Die aktiven Sicherheitssysteme werden als erstes nach ihrer Zugehörigkeit zu Längs- und Querführung unterteilt:

**Tabelle 6.2:** Sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme aus der Gruppierungsanalyse mit Einteilung in Längs- und Querführung

Gruppe	Untergruppe	Funktionen
„Bremsen/Eingriff“	Längsführung	ABS ESP / DSC Notbremsassistent Autonome Bremsung bei Linksabbiegen trotz Gegenverkehr Autonome Bremsung auf Fußgänger
„Warnungen“	Längsführung	Warnung vor Einfahrt in Einbahnstraßen Warnung vor Überfahren eines Stoppschildes Warnung vor Überfahren einer roten Ampel Warnung vor gefährlichem Querverkehr Kurvenwarnung Auffahrwarnung Warnung auf Fußgänger beim Abbiegen Warnung auf Fußgänger nachts (Night Vision) Lokale Gefahrenwarnung
	Querführung	Situatives TLC Spurwechsel-Assistent

Warum ist diese Aufteilung aus Entwicklersicht sinnvoll? Ziel ist es, die Warnausgaben der Sicherheitssysteme zusammenzufassen und so die Interaktion mit ihnen zu vereinfachen. Streng genommen kann der Fahrer aber nur auf zwei Arten auf eine Gefahr reagieren:

- *Bremsen* ist die übliche Reaktion auf kritische Längsführungs-Situationen, bei denen eine Kollision im Frontbereich des Fahrzeugs zu erwarten ist (bremsendes Vorderfahrzeug, Fußgänger, Querverkehr). Die Aufprallenergie wird damit reduziert oder die Kollision ganz vermieden. Ausweichen durch Lenken bzw. eine kombinierte Reaktion aus Lenken und Bremsen kommen ebenfalls in Frage – z.B. wenn der Fahrer auf ein Stauende auffährt, sehr stark abbremsen muss und dann in letzter Sekunde zusätzlich auf den Standstreifen ausweicht.
- *Lenken* ohne gleichzeitiges Bremsen hingegen ist seltener anzutreffen und ist die typische Reaktion auf Probleme in der Querführung. So kann ein zu riskanter Spurwechsel oder Spurverlassen bei unaufmerksamer Fahrweise mit Lenken korrigiert werden. Dabei reicht es in der Regel aus, das Fahrzeug zurück in die eigene Spur zu lenken, um den Konflikt zu vermeiden, es muss nicht in jedem Fall gebremst werden.

Unter Umständen ist auch das *Beschleunigen* des Fahrzeugs eine sinnvolle Option – z.B. um es aus dem Kreuzungsbereich zu bringen, bevor gefährlicher Querverkehr kreuzt. Dies kann ein Warnsystem bei der aktuellen Gesetzeslage allerdings nicht empfehlen bzw. selbstständig umsetzen, diese Möglichkeit wird daher nicht betrachtet.

### 6.1.2 Warnanteile

Die Funktionen der sicherheitsrelevanten FAS sind nun also anhand ihrer Ausgaben in *Eingriff* und *Warnung* sowie in *Längs- und Querführung* unterteilt. Vor dem nächsten

Schritt sind einige Grundüberlegungen speziell zum Umgang mit Warnungen im Mensch-Maschine-System Fahrzeug notwendig.

Der Begriff *Warnung* bezeichnet ein abstraktes Konstrukt, das nur im Kontext mit einem Bezugsobjekt oder einer Situation verständlich ist (Edworthy und Adams, 1996). Nach Kopf (1998) sind Warnungen „bewertete Informationen“, ihre Kommunikation an den Fahrer (= Ausgaben) besteht idealerweise aus folgenden Anteilen:

- Element, dass die Aufmerksamkeit anzieht
- Grund der Warnung
- Konsequenzen bei Nichtbeachtung
- Handlungsanweisung

Eine gute Warnung macht den Fahrer auf das Problem aufmerksam, erklärt die Situation und gibt eine Handlungsempfehlung ab. In der Realität werden jedoch nicht immer alle Warnanteile berücksichtigt, sei es aus Zeitmangel bis zur Reaktion oder wegen fehlender Kommunikationskanäle. Eine Spurverlassenswarnung (LDW), die beim Überfahren der Linien das Lenkrad vibrieren lässt, lenkt nur die Aufmerksamkeit des Fahrers auf das Problem. Kombiniert man die Vibration mit einem rückführenden Moment, ist gleichzeitig eine Handlungsempfehlung enthalten. Grund der Warnung und Konsequenzen werden in beiden Fällen nicht kommuniziert.

### 6.1.3 Ausgabemodalitäten

Für Warnausgaben kann auf eine oder mehrere Modalitäten zurückgegriffen werden. Die folgende Tabelle gibt in Anlehnung an RESPONSE3 (2006) sowie Hoffmann und Gayko (2009) einen Überblick über die für Warnungen relevanten menschlichen Sinneskanäle:

**Tabelle 6.3:** Modalitäten des Menschen

Sinneskanal	Erläuterung		Beispiel für Warnausgabe
<b>visuell</b>	Wahrnehmung von Symbolen, Texten, Grafiken, Bildern, Videos etc. mit den Augen		Blinkendes Symbol im Außenspiegel
<b>auditiv</b>	Wahrnehmung von Sprache, Tönen, Klängen mit den Ohren		Warnton bei drohender Kollision mit Fußgänger
<b>haptisch</b>	<b>taktil</b> (Tastsinn)	Wahrnehmung von Oberflächen mittels Druck, Vibration, Temperatur, Schmerz etc. über entsprechende Haut-Rezeptoren	Vibrierendes Lenkrad bei Spurverlassen
	<b>kinästhetisch-vestibulär</b> (Gleichgewichtssinn)	Wahrnehmung von Beschleunigungen in Längs- und Querrichtung über das Gleichgewichtsorgan	Kurzer Bremsruck als Warnung vor einem Auffahrunfall

Die Leistungsfähigkeit der einzelnen Kanäle ist beim Menschen unterschiedlich. So sind Auflösung und Präzision des optischen Kanals wesentlich höher als die des taktilen und kinästhetischen, dafür reagiert der Mensch bei letzteren schneller (Hoffmann und Gayko,

2009). Zusätzlich gelten während der Fahrzeugführung besondere Rahmenbedingungen. Der Fahrer nimmt beispielsweise ca. 90% der zum Fahren nötigen Informationen über das visuelle System auf (Rockwell, 1972; zitiert in Miličić, 2010). Er muss dabei nicht nur Verkehr, Straße und restliche Umgebung permanent beobachten und interpretieren, sondern auch Anzeigen des Fahrzeugs optisch aufnehmen. Damit ist die Bandbreite dieses Kanals vergleichsweise stark ausgereizt. In diesem Kontext haben akustische und taktile Signale starke Vorteile – der Mensch reagiert ausreichend schnell darauf und die verfügbaren Restkapazitäten sind größer, ferner können akustische Signale parallel zu optischen verarbeitet werden Wickens (1984). Für eine Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile verschiedener Modalitäten sei auf Hoffmann und Gayko (2009) verwiesen.

### 6.1.4 Kombination der drei Integrationsfaktoren am Beispiel der Längsführung

Die drei Faktoren *Gruppierungskriterium*, *Warnanteil* und *Ausgabemodalität* spannen einen großen Lösungsraum auf, wenn auch durch bestimmte Rahmenbedingungen eingeschränkt. So eignen sich nicht alle Modalitäten zur Erläuterung des Warngrunds – z.B. kann dieser nur schwer taktil kommuniziert werden. Der optische Kanal dagegen kann fast alle Warnanteile übernehmen: Aufmerksamkeitslenkung durch Blinken, Erklärung von Warngrund und Konsequenz durch ein Symbol sowie Handlungsempfehlung mittels eines zusätzlichen Textes. Zur Veranschaulichung der drei Faktoren diene ein fiktives Beispielkonzept, dass drei Sicherheits-FAS der Längsführung auf der Basis von Kritikalitätsstufen gruppiert - *Auffahrwarnung*, *Fußgängerwarnung* und *Warnung vor Überfahrt einer roten Ampel*. Als Basis diene die Arbeit von Edworthy und Adams (1996), nach der die Kritikalität einer Situation durch die Dringlichkeit der Warnung adäquat kommuniziert werden sollte. Dazu soll jedes der drei Systeme zwei Warnstufen zu unterschiedlich kritischen Zeitpunkten haben bzw. entsprechend modifiziert werden. Unter diesen Voraussetzungen schließlich kann man die Warntexte wie in Tabelle 6.4 gruppieren und gleichzeitig durch entsprechende Modalitätswahl zwei verschiedene Kritikalitätsstufen kommunizieren:

**Tabelle 6.4:** Beispiel für eine Integration über mehrere Warnanteile

		GRUPPIERUNGSKRITERIUM					
		Niedrige Kritikalität (= Vorwarnungen)			Hohe Kritikalität (= Akutwarnungen)		
		A (Auffahr- warnung)	B (Fußgänger- warnung)	C (Warnung rote Ampel)	A	B	C
WARNANTEIL	Aufmerk- samkeit				 (blinkend)		
	Grund der Warnung				(keine Ausgabe)		
	Konse- quenzen	(keine Ausgabe)			(keine Ausgabe)		
	Handlungs- hinweis	(keine Ausgabe)			<b>Bremsruck (kinästhetisch)</b>		

Das Gruppierungskriterium *Kritikalität* hat zwei Ausprägungen (niedrig und hoch) und wird auf die Warnanteile *Aufmerksamkeitslenkung*, *Grund der Warnung* und *Handlungshinweis* angewendet. Bei Situationen mit niedriger Kritikalität (Vorwarnung) wird die Aufmerksamkeit des Fahrers durch das plötzlich erscheinende Symbol gelenkt, der Grund der Warnung wird mittels unterschiedlicher Symbole kommuniziert, Konsequenzen oder Handlungshinweise sind nicht abgedeckt. In der zweiten Kritikalitätsstufe hingegen wird der Fahrer durch eine blinkendes generisches Symbol sowie einen Warnton dringlicher auf das Problem aufmerksam gemacht, zusätzlich gibt ihm der Bremsruck einen Handlungshinweis. Der Warngrund hingegen wird nicht angegeben. Das Beispiel zeigt, dass über alle Faktoren ein weiter Gestaltungsspielraum entsteht. Außerdem wird deutlich, dass Warnausgaben nicht immer eindeutig einem der vier Warnanteile zugewiesen werden können – der Bremsruck bei hoher Kritikalität gibt zwar vorrangig einen Handlungshinweis, erregt aber sicher auch die Aufmerksamkeit des Fahrers.

Es sei angemerkt, dass diese beispielhafte Zusammenfassung von Warnanteilen auch als „generisches“ Warnkonzept bzw. „Masteralarm“ bezeichnet wird. In der Literatur finden sich einige Beispiele für solche Warnkonzepte und Vergleiche mit konventionellen Ansätzen aus der Flugzeugindustrie (Billings, 1997a). Thoma (2010) integrierte in seiner Arbeit die akustische Aufmerksamkeitslenkung anhand des Kriteriums *Richtung* für mehrere Assistenzfunktionen im Kreuzungsbereich. Er wies nach, dass gerichtete Warntöne für Gefahren hinter und seitlich neben dem Fahrzeug die Reaktionszeit im Gegensatz zu einem ungerichteten Warnton verkürzen können. Er verglich zusätzlich spezifische mit generischen optischen Ausgaben für den Warngrund, fand dabei jedoch nur in Einzelfällen Unterschiede. Cummings et al. (2007) untersuchten den Unterschied zwischen spezifischen und generischen Warntönen zur Aufmerksamkeitslenkung für

Auffahrwarnung, Heck-Auffahrwarnung (schnelles Fahrzeug von hinten) und Spurverlassenswarnung. Sie konnten keine objektiven Unterschiede in der Reaktionszeit finden, jedoch bevorzugten die Fahrer subjektiv die spezifischen Warnausgaben. Gijssel et al. (2007) entwickelten eine vollständig integrierte optische Anzeige für mehrere Sicherheits-FAS, mit der der Fahrer die Gesamtsituation bzw. die Entwicklung der Gefahrenlage ums Fahrzeug herum in einem Primärdisplay (Kombi-Instrument oder Head-Up Display) beobachten kann. Die Anzeige ermöglichte dem Fahrer, die Entwicklung einer Gefahr zu antizipieren und gleichzeitig die Verfügbarkeit der Sicherheits-FAS zu überwachen.

Zusammengefasst lässt sich keine Präferenz für generische oder spezifische Ausgaben längsführender Sicherheits-FAS ableiten. Hier müssen weitere Forschungsarbeiten Klarheit bringen, die jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit sind.

## **6.2 Entwicklung eines integrierten Konzepts für die Sicherheits-FAS der Querführung**

Die Vorüberlegungen am Beispiel der längsführenden Sicherheits-FAS sollen nun auf Querführungs-Systeme übertragen werden. Spurverlassenswarnung (LDW) und Spurwechselwarnung (LCA) sind bereits in Serie erhältlich und Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (Mann, 2007; Blaschke et al., 2009; Kozak et al., 2006; Amditis et al., 2005). LDW beobachtet die Position des Fahrzeugs in der Spur und warnt z.B. mit einer Lenkradvibration oder einem Gegenmoment, wenn die Linie überfahren wird oder ein bestimmter Zeitwert (Time-to-Line Crossing, siehe z.B. Mann, 2007) bis zum Überfahren der Linie unterschritten wird. LCA hingegen überwacht den Heckbereich auf herannahende oder in der Nebenspur fahrende Fahrzeuge und warnt den Fahrer, bevor er einen gefährlichen Spurwechsel durchführt – bei den meisten Serienlösungen mit einer optischen Anzeige im Außenspiegel, teilweise unterstützt durch eine Lenkradvibration (Hoffmann und Gayko, 2009).

### **6.2.1 Warnausgaben für aktive Sicherheitssysteme der Querführung**

Die *Eignung* einer Warnausgabe lässt sich unter anderen an zwei wesentlichen Aspekten festmachen – der *Wirksamkeit* hinsichtlich der Unfallvermeidung und der *Akzeptanz* beim Fahrer (Kompass und Reichart, 2006; Eckstein et al., 2008; Hoffmann und Gayko, 2009). Ein Sicherheits-Assistenzsystem ist dann wirksam, wenn es Unfälle verhindert oder abschwächt. Ein LCA-System ist daher umso wirksamer, je mehr gefährliche Spurwechsel verhindert werden. LDW hingegen verhindert Unfälle, die beim Verlassen der Spur entstehen könnten – z.B. Kollisionen mit dem Gegenverkehr beim Abkommen von der Fahrbahn. Der Fahrer muss die Systemausgaben akzeptieren, sonst werden die Funktionen abgeschaltet. Das fällt vor allem bei Spurverlassenswarnungen ins Gewicht, da deren Systemausgaben viel häufiger erlebt werden als Spurwechselwarnungen. Dies liegt bei der heute verfügbaren Technologie hauptsächlich an der hohen Anzahl nicht benötigter Warnungen, die durch Kurvenschneiden, sportliche Fahrweise oder ungenaue Spurhaltung entstehen (Gayko, 2009). Unter diesen Rahmenbedingungen haben sich Gegenmomente und Lenkrad-Vibrationen für LDW sowie optische und / oder akustische Anzeigen für LCA als sinnvolle Systemausgaben herausgestellt.

So konnte u.a. Mann (2007) in einem Grundlagen-Experiment bessere Reaktionszeiten für haptische Ausgaben am Lenkrad im Vergleich zu anderen Modalitäten nachweisen. Probanden mussten dabei in einem statischen Simulator mit einer Lenkbewegung reagieren, wenn eins der Signale Ton, Sitzvibration, Lenkradvibration oder Lenkmoment ausgegeben wurde. Sie reagierten dabei sowohl mit als auch ohne Nebenaufgabe am schnellsten auf Vibrationen und Momente am Lenkrad.

Für LCA zeigte Schumann (1994) sowohl im Simulator- als auch in Realfahrzeug-Untersuchungen die Vorteile haptischer gegenüber akustischer Warnausgaben auf. Er verglich dazu eine kurze Vibration, eine lange Vibration, ein kurzzeitig eingreifendes Gegenmoment sowie ein akustisches Signal bezüglich ihrer Reaktionszeiten in einem Simulatorversuch miteinander. Dabei schnitt das Gegenmoment am besten ab. Im anschließenden Versuch mit einem Realfahrzeug verglich er ein akustisches Signal und eine Lenkrad-Vibration. Letztere überzeugte wiederum durch signifikant geringere Reaktionszeiten sowie eine höhere Wirksamkeit – die Probanden brachen mehr gefährliche Spurwechsel ab, wenn das System haptisch warnte.

Kozak et al. (2006) prüften für LDW das Reaktionsverhalten müder Fahrer im dynamischen Fahrsimulator. Dabei verglichen sie vier verschiedene Kombinationen von Warnausgaben für Spurverlassensfälle:

- einfaches Gegenmoment
- Gegenmoment und akustische Ausgabe (Nagelband-Rattern)
- Gegenmoment und Lenkradvibration
- Gegenmoment und optische Warnung im HUD

Die Reaktionszeiten waren bei der Kombination aus Moment und Vibration tendenziell am geringsten. Die müden Probanden brauchten deutlich länger, um auf das einfache Moment ohne Vibration zu reagieren. Zusätzlich wurden Gegenmomente im Allgemeinen schlecht wahrgenommen – deutlich weniger als die Hälfte wurden überhaupt bemerkt. Die Probanden favorisierten die Vibrationsausgabe als die akzeptabelste und hilfreichste Variante.

Die zitierten Untersuchungen lassen auf eine hohe Wirksamkeit der Kombination aus Gegenmoment und Vibration schließen - dies gilt sowohl für LCA als auch LDW. Während die Vibration trotz ihres ungerichteten Charakters vor allem die Aufmerksamkeit des Fahrers sehr gut auf sich ziehen kann, dient das Gegenmoment in erster Line als Handlungshinweis. Im Sinne einer vollständigen Warnung nach Kopf (1998) ist daher die Kombination als gerichtete Warnung sinnvoll – auch Kozak et al. (2006) und Blaschke et al. (2009) kommen zu diesem Schluss. Haptische Ausgaben haben darüberhinaus Akzeptanzvorteile. Werden sie am Lenkrad ausgegeben, sind sie intuitiv verständlich und weisen den Fahrer auf das richtige Bedienelement hin (Gayko, 2009). Im Vergleich mit Warntönen belästigen sie den Fahrer deutlich weniger, zusätzlich bemerken Beifahrer nichts. Es existieren zwar Studien, bei denen akustische Ausgaben z.B. für LDW präferiert wurden, die Ergebnisse lassen sich jedoch auf die Fahrsimulationsumgebung zurückführen. Hier sind Real- und Langzeitversuche aufgrund höherer externer Validität vorzuziehen (Pohl und Ekmark, 2003; zitiert in Mann, 2007). Aus den genannten Gründen

nutzen nahezu alle bekannten LDW-Seriensysteme eine haptische Ausgabe am Lenkrad. Ausnahmen sind der Mercedes Actros (simuliertes Nagelband-Rattern) und das AFIL<sup>5</sup>-System von PSA (Sitzvibration).

Bei LCA-Seriensystemen ist im Vergleich zu LDW eine größere Diversifizierung anzutreffen. Einige Hersteller nutzen ausschließlich optische Anzeigen wie LEDs (Bartels et al., 2009), andere kombinieren diese mit akustischen Ausgaben (Mercedes, siehe Bartels et al., 2009) oder vibrierendem Lenkrad (bmw.com, 2008a). Die optische Ausgabe dient vor allem dazu, den Blick des Fahrers in Richtung der Warnursache zu lenken (Campbell et al., 2007; Polychronopoulos et al., 2005) und den Grund der Warnung zu erklären – so wie es auch die entsprechende Norm ISO-17387 (2006) fordert. LCA-Anzeigen sind daher in der Nähe des Spiegels (BMW, Audi, Volvo) oder direkt im Spiegelglas (Mazda, Mercedes) zu finden. Solange der Fahrer die Spur nicht wechselt, kann die Anzeige darüber informieren, ob die Nebenspur belegt ist oder nicht. Sie leuchtet in diesem Fall dezent und ist nur mit direkter Blickabwendung erkennbar. Leitet der Fahrer trotz belegter Spur oder schnell herannahendem Fahrzeug den Spurwechsel ein (Blinkerbetätigung), wird die Anzeige deutlich heller und blinkt.

### 6.2.2 Problemstellung

Da sowohl LDW als auch LCA das Fahrzeug in Querrichtung absichern, liegt es nahe, sie nicht mehr als Einzelsysteme zu betrachten, sondern in einem Gesamtsystem zusammenzufassen. Begünstigend kommt hinzu, dass die Vorteile haptischer Ausgaben für beide Systeme gelten. Dies vereinfacht die Integration, gleichzeitig entsteht aber ein Zielkonflikt hinsichtlich der Unterscheidbarkeit der Rückmeldungen. Eckstein (2008) fordert, dass Rückmeldungen bzw. Warnausgaben intuitiv verständlich und für jedes System unterscheidbar sein müssen sowie eine adäquate Reaktion herbeiführen sollen. Sollen Ausgaben jedoch stärker zusammengefasst werden, kann auch die gegensätzliche Strategie sinnvoll sein. Im Falle von für LDW und LCA jedoch ist die Forderung nach Unterscheidbarkeit sinnvoll - ein unbeabsichtigtes Verlassen der Spur passiert wesentlich häufiger als ein riskanter Spurwechsel, außerdem sind nicht alle LDW-Warnfälle wirklich kritisch (z.B. Kurvenschneiden auf Landstraßen). Es ist daher möglich, dass sich der Fahrer an die Lenkradvibration gewöhnt und ihr weniger Bedeutung beimisst. Warnt in einem seltenen kritischen Spurwechselfall LCA mit derselben Modalität, ist zu befürchten, dass die Warnung für eine Spurverlassenswarnung gehalten und ignoriert wird. Abgesehen von der zusätzlich blinkenden LED bei LCA ist dieser Konflikt unter anderem dadurch adressiert, dass LCA nur warnt, wenn der Fahrer blinkt und damit seinen Spurwechselwunsch angibt. LDW dagegen wird beim Blinken immer unterdrückt. Der Fahrer kann also (theoretisch) unterscheiden, von welchem System die Warnausgabe herrührt. Die meisten Hersteller gehen an dieser Stelle jedoch noch weiter und beschränken haptische Ausgaben auf ihre LDW-Systeme – deswegen haben viele Serien-LCA nur optische Rückmeldungen (Bartels et al., 2009).

---

<sup>5</sup> Alerte au Franchissement Involontaire de Ligne (Alarm bei unbeabsichtigtem Überfahren der Linie), LDW-System von PSA auf Basis von Infrarot-Sensoren

### 6.2.3 Konzeptentwicklung

Ausgehend von Abschnitt 6.2.3 kann dieser Zielkonflikt aufgelöst werden, indem man die Nutzfälle der Systeme LDW und LCA einzeln betrachtet und sie nach einem geeigneten Gruppierungskriterium zusammenfasst. In der Querführung lassen sich vereinfacht sieben Nutzfälle identifizieren, die in Tabelle 6.5 schematisch mit den dafür verwendeten Abkürzungen dargestellt sind.

**Tabelle 6.5:** Nutzfälle aktiver Sicherheitssysteme der Querführung

Abkürzung	Nutzfall	Schematische Darstellung	System
SPV	einfaches Spurverlassen ohne akute Gefährdung (auf Autobahnen und Landstraßen)		LDW
SPV_GV	Spurverlassen in Gegenverkehr (nur auf Landstraßen)		LCA
FBV	Fahrbahnverlassen bzw. Abkommen von der befestigten Fahrbahn		LCA
SPW_mB	Spurwechsel auf belegte Zielspur, mit Blinker		LDW
SPW_oB	Spurwechsel auf belegte Zielspur, ohne Blinker (gleichbedeutend mit Spurverlassen auf belegte Zielspur)		LDW

SPW_Info_mB	Überholt werden, Fahrer beabsichtigt Spurwechsel und blinkt		LCA
SPW_Info_oB	Überholt werden, Fahrer beabsichtigt keinen Spurwechsel		LCA / LDW

Hierfür bieten sich folgende Gruppierungskriterien an:

- *Ähnlichkeit der Ursache:* LDW warnt auf alle überfahrenen Linien, LCA immer nur bei Spurwechseln mit kollisionsrelevanten Fahrzeugen
- *Richtung:* die Nutzfälle werden in Abhängigkeit davon zusammengefasst, auf welcher Seite des Fahrzeugs (links / rechts) sie relevant werden
- *Kritikalität:* die Nutzfälle werden einem von zwei bis drei unterschiedlichen Kritikalitätsstufen zugeordnet (siehe Tabelle 6.4)
- *Generisch:* es wird nur eine Warnung für alle sieben Nutzfälle ausgegeben

Aus der großen Menge möglicher Gesamtsysteme werden nun drei repräsentative Konzepte entwickelt und in einer Simulatorumgebung implementiert. Anschließend soll in einem Versuch geprüft werden, ob der Fahrer die Integration nachvollziehen kann oder die heute übliche Trennung in Einzelsysteme vorzieht. Die Abkürzungen LDW und LCA werden im Folgenden zwecks besserer Unterscheidung durch die Querführungsnutzfälle aus Tabelle 6.5 ersetzt.

### Systembasierte Warnstrategie (A):

Das erste Gesamtkonzept orientiert sich an der heute üblichen Unterscheidung in LDW und LCA und stellt die einfachste technische Lösung dar. Um die Querführungsnutzfälle besser zu differenzieren, werden jedoch zwei verschiedene Vibrationstypen für die *Aufmerksamkeitslenkung* genutzt, womit ein entsprechender Vibrationserreger nötig wird (siehe Abschnitt 6.4.4.).

Überfährt der Fahrer eine Linie ohne zu blinken, wird eine schwache Vibration am Lenkrad ausgegeben (Nutzfall *SPV*). Im Falle eines gefährlichen Spurwechsels mit Blinker und belegter Zielspur vibriert das Lenkrad dagegen stark und pulsierend (*SPW\_mB*), bei einer belegten Nebenspur ohne Spurwechselversuch leuchtet die Spiegel-LED nur dunkel (*SPW\_Info\_oB*). Der Nutzfalle *SPW\_oB* wird nicht abgedeckt, weil ihn das System aufgrund der fehlenden Absichtserkennung nicht erkennt: führt der Fahrer einen gefährlichen Spurwechsel ohne Blinker aus, wird nur eine Spurverlassenswarnung (*SPV*) ausgegeben.

**Tabelle 6.6:** Warnstrategie A (systembasiert)

System	Nutzfall	Aufmerksamkeitslenkung		Warngrund	Handlungshinweis
		haptisch	optisch	optisch	haptisch
LDW	SPV	schwache Vibration 			
	SPV_GV				
	FBV				
LCA	SPW_Info_oB		dunkle LED	Anzeige ist im Spiegel	
	SPW_Info_mB	starke pulsierende Vibration 	helle, blinkende LED	Anzeige ist im Spiegel	
	SPW_mB				

**Kritikalitätsbasierte Warnstrategie (B):**

Deutlich abweichend vom Konzept der Einzelsysteme ist eine Gruppierung nach *Kritikalitätsstufen*. Werden Warnungen danach abgestuft ausgegeben, passen sie besser zur Dringlichkeit der Situation im Sinne von Edworthy und Adams (1996). Wie in Abschnitt 6.2.5 beispielhaft erklärt, sind zwei Kritikalitätsstufen (wenig kritisch und hochkritisch) eine gute Basis. Die aufgezählten Nutzfälle bei Querführungssituationen werden danach zugeteilt, wie schwer die Konsequenzen wären, wenn der Fahrer die Warnung missachtete:

**Tabelle 6.7:** Zuordnung Nutzfälle zu Kritikalitätsstufen für Strategie B

Kritikalitätsstufe	Nutzfall	
K1 – wenig kritisch	einfaches Spurverlassen	(SPV)
	Überholt werden ohne gesetzten Blinker	(SPW_Info_oB)
	Überholt werden mit gesetztem Blinker	(SPW_Info_mB)
K2 – sehr kritisch	Fahrbahnverlassen	(FBV)
	Spurverlassen in den Gegenverkehr	(SPV_GV)
	Spurwechsel ohne Blinker auf belegte Zielspur	(SPW_oB)
	Spurwechsel mit Blinker auf belegte Zielspur	(SPW_mB)

Diese Gruppierung kann mit heutigen technologischen Mitteln nicht umgesetzt werden. Hierzu müsste LDW zwischen *Spurverlassen* und *Fahrbahnverlassen* unterscheiden. Verlässt der Fahrer unabsichtlich den befestigten Bereich der Fahrbahn, ist meistens mit einem schweren Unfall aufgrund einer Kollision mit Leitplanke, Tunnelwand, Baum etc. zu rechnen. Fährt der Fahrer dagegen auf eine Nebenspur, auf der aktuell weder Gegenverkehr noch Fahrzeuge in gleicher Richtung fahren, ist keine akute Gefährdung

vorhanden. Ist jedoch der Gegenverkehr so nahe, dass eine Kollision wahrscheinlich ist, gilt der Nutzfalle als kritisch und wird mit starker Vibration inkl. Gegenmoment bewarnt (SPV\_GV). Spur und Fahrbahn lassen sich zumindest auf Autobahnen in erster Näherung durch gestrichelte und durchgezogene Spurlinien unterscheiden, auf Landstraßen müssten zusätzliche Merkmale herangezogen werden. Weiterhin erkennt das Konzept Spurwechsel auf belegte Zielspuren sowohl mit als auch ohne Blinker – und stuft beide Fälle (SPW\_oB und SPW\_mB) als sehr kritisch ein. Hier unterscheidet sich Strategie B maßgeblich von A: es ist letztlich egal, ob der Fahrer aus Versehen die Spurlinie überfährt) oder mit / ohne Blinken die Spur wechselt – alle Fälle werden gleich behandelt, wenn die Zielspur belegt ist.

Bei der Definition der Warnausgaben kommen die Überlegungen aus den Abschnitten 6.2.4 und 6.3.1 zum Tragen. Zur *Aufmerksamkeitslenkung* bieten sich Lenkrad-Vibrationen (SPV- und SPW) und optische Anzeigen (SPW) an, auf akustische Ausgaben wird verzichtet. Der *Grund der Warnung* lässt sich für SPW-Fälle durch die Nähe der LED am Spiegel kommunizieren, bei SPV wird auf eine entsprechende Anzeige verzichtet. Ebenso werden die *Konsequenzen* bei Nicht-Beachtung in allen Fällen nicht angezeigt. *Handlungshinweise* werden für alle hochkritischen Nutzfälle über Gegenmomente kommuniziert.

**Tabelle 6.8:** Zuordnung Nutzfälle zu Kritikalitätsstufen und Ausprägung über die Warnanteile für Strategie B

Krit.-Stufe	Nutzfall	Aufmerksamkeitslenkung		Warngrund	Handlungshinweis
		haptisch	optisch	optisch	haptisch
K1 – wenig kritisch	SPV	schwache Vibration 			
	SPW_Info_oB		dunkle LED	Anzeige ist im Spiegel	
	SPW_Info_mB		helle, blinkende LED 		
K2 – sehr kritisch	FBV				
	SPV_GV	starke Vibration 			starkes Moment (2 Nm) 
	SPW_oB		helle, blinkende LED	Anzeige ist im Spiegel	
	SPW_mB				

Tabelle 6.7 zeigt die Zuteilung von Ausgaben zu den einzelnen Nutzfällen und ihre Umsetzung im statischen Simulator. In den wenig kritischen Fällen mit geringem Risiko soll die Aufmerksamkeit nur dezent auf das Problem gelenkt werden, daher vibriert das Lenkrad beim einfachen Spurverlassen (SPV) nur schwach. Analog dazu werden die

beiden wenig riskanten Spurwechsel-Situationen nur über die Spiegel-LED abgedeckt: wird der Fahrer überholt, informiert sie dunkel leuchtend über ein relevantes Fahrzeug auf der Zielspur. Setzt der Fahrer schließlich den Blinker, blinkt sie wie in Strategie A hell. Massivere Ausgaben kommen erst ins Spiel, wenn der Fahrer den Spurwechsel durchführt – und damit einen hochkritischen Warnfall auslöst. Zur Differenzierung von K1 nutzen alle K2-Warnfälle starke Vibrationen zur *Aufmerksamkeitserregung*. Dadurch soll – analog zu ähnlichen Konzepten im Akustikbereich nach Marshall et al. (2007) – eine höhere Dringlichkeit kommuniziert werden. Zusätzlich werden diese kritischeren Warnfälle mit einem Gegenmoment von 2 Nm als *Handlungshinweis* unterstützt.

Dieser ungewöhnlich erscheinenden Ausprägung liegt die Annahme zugrunde, dass die Einteilung in *Kritikalitäten* anstatt in *Einzelsysteme* für den Fahrer realitätsnäher und konsistenter ist. Droht bei Verlassen der Spur eine *Kollision* mit Randbebauung, Gegenverkehr oder Fahrzeugen, wird haptisch immer dasselbe ausgegeben, da die Reaktion des Fahrers dieselbe ist. Ob dieses Konzept tatsächlich besser differenziert und verständlicher ist als Einzelsysteme, muss explizit geprüft werden (Abschnitt 6.4.1).

### System- und teilweise kritikalitätsbasierte Strategie (C)

Das letzte der drei Konzepte unterscheidet ähnlich wie Strategie A die Systeme LDW und LCA. Analog muss für die Spurwechsel-Warnung der Blinker betätigt werden, auch der Gegenverkehr wird nicht erkannt.

Tabelle 6.9: System- und kritikalitätsbasierte Warnstrategie C

System	Nutzfall	Aufmerksamkeit		Grund	Handlungshinweis
		haptisch	optisch	optisch	haptisch
LDW	SPV	schwache Vibration 			schwaches Moment (max. 1.2 Nm) 
	SPV_GV				
	FBV	starke Vibration 			starkes Moment (max. 2 Nm) 
LCA	SPW_Info_oB		dunkle LED	Anzeige im Spiegel	
	SPW_Info_mB	starke Vibration 	helle, blinkende LED 	Anzeige im Spiegel	
	SPW_mB				

Das Gesamtsystem ist jedoch insofern technisch weiter entwickelt, als das LDW zwischen Spurverlassen (schwache Vibration, schwaches Gegenmoment) und Fahrbahnverlassen (starke Vibration, starkes Gegenmoment) unterscheidet. Damit unterscheidet zumindest

eins der beiden Teilsysteme nach Kritikalität – womit C einen technischen Zwischenschritt zwischen A und B darstellt.

Der Nutzfall *SPW\_oB* fehlt wie bei Strategie A auch in dieser Ausprägung, da die Spurwechsel-Absicht ohne Blinker nicht erkannt wird. In dieser Situation leuchtet erst die dunkle LED (*SPW\_Info\_oB*), anschließend vibriert das Lenkrad beim Überfahren der Spurlinie schwach und hält zusätzlich mit geringem Moment dagegen (SPV).

### 6.3 Bewertungsversuch zum integrierten Seitenschutz-Konzept

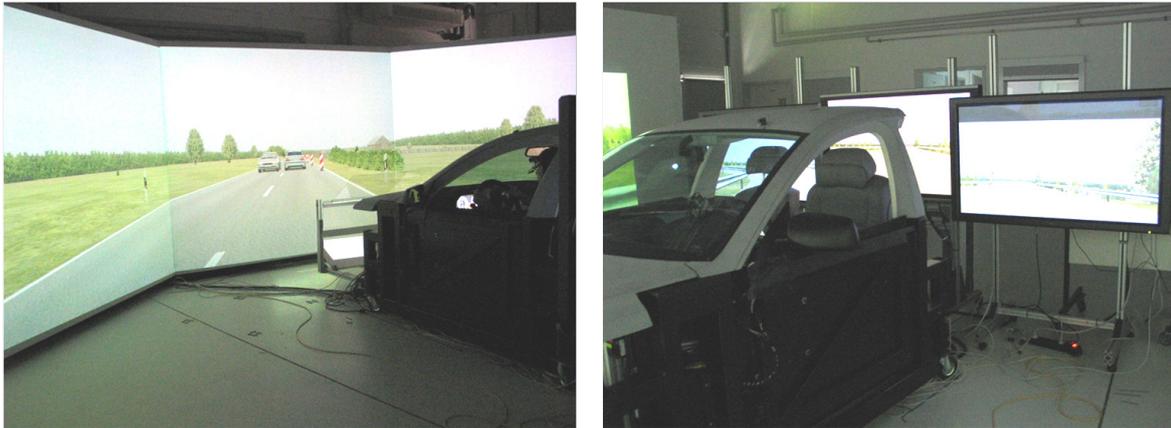
Die drei entwickelten Warnstrategien wurden in einem Fahrversuch bewertet. Dabei sollten Probanden sowohl kritische Situationen der Querführung ohne Vorwissen überraschend erleben als auch Systemreaktionen bewusst provozieren. Zu diesem Zweck eigneten sich speziell Fahrsimulatoren, für die in Anlehnung an Thoma (2010) folgende Vorteile sprachen:

- *Reproduzierbarkeit*: Warnausgaben müssen im Kontext mit der gefährlichen Situation erlebt werden. Damit eine vergleichbare Bewertung über viele Probanden möglich ist, müssen diese Situationen in immer gleicher Form reproduzierbar sein. Da z.B. Spurwechselsituationen andere Verkehrsteilnehmer beinhalten, müsste für einen Realversuch ein Parcours mit mehreren instruierten Versuchsfahrern vorbereitet werden. Diese Reproduzierbarkeit lässt sich im Simulator deutlich einfacher erreichen.
- *Gefährdung der Probanden*: Nur im Simulator können Probanden in dermaßen gefährliche Situationen gebracht werden, dass ein Unfall fast unvermeidbar ist
- *Technische Realisierbarkeit*: Die vorgeschlagenen Integrationskonzepte lassen sich nur mit perfektem Umgebungswissen (Gegenverkehr, Spurwechsel-Absichtserkennung etc.) sicher umsetzen. Dieses Wissen ist nur in einer Simulationsumgebung vorhanden – eine entsprechende Sensorik für die reale Welt fehlt noch.

#### 6.3.1 Versuchsaufbau

Für den Fahrversuch wurden die drei Warnstrategien in einer Fahrsimulations-Umgebung der BMW Group implementiert, bestehend aus einer Sitzkiste und mehreren im Halbkreis angeordneten Leinwänden bzw. Plasma-Schirmen (Abbildung 6.4). Innenraum und Fahrverhalten der Sitzkiste glichen denen eines 5er BMWs (BJ 2004) mit Automatikgetriebe. Das Kombi-Instrument wurde in einem TFT-Display der Firma Sharp (12“, Auflösung 1280x480 Pixel) angezeigt, ein VGA-Projektor mit einer Glas-Kombinerscheibe simulierte ein Head-Up Display. Beide entsprachen grafisch dem Serienstand eines BMW 5er.

Die BMW-Fahrsimulatoren nutzen die auf LINUX basierende Simulationsumgebung SPIDER (Huesmann et al., 2003), die mehrere Projektoren ansteuert und damit eine virtuelle Fahrscene erzeugt.



**Abbildung 6.1:** Darstellung der virtuellen Fahrszene im BMW Fahrsimulator

Acht Grafikrechnern bedienten je einen Grafikkanal (Projektor oder Plasmabildschirm), vier weitere Rechner berechneten den Aufbau der Simulation. Fünf Projektoren projizierten die frontale Sicht auf die Fahrszene, hinter der Sitzkiste sorgten drei Plasma-Bildschirme für Rück- und Seitenspiegel-Sicht. Der Versuch wurde von einem zentralen Versuchsleiterraum gesteuert, von dem aus alle Kanäle und eine Gesamtsicht der simulierten Welt verfolgt werden konnten.



**Abbildung 6.2:** Positionierung Sitzkiste und Monitor-Raum für Versuchsleitung

In den Spiegelgläsern der Außenspiegel übernahmen LEDs in Form eines Dreiecks die visuellen LCA-Ausgaben. Die Helligkeit konnte in 128 Stufen angesteuert werden, die dunkle Informations-Anzeige wurde mit Stufe 3, die helle Warnausgabe hingegen mit Stufe 120 ausgegeben. Ein Mantelmotor an der Lenksäule simulierte das fahrdynamische Rückstellmoment der Lenkung während der Fahrt und das für die Strategien B und C nötige Gegenmoment. Die Vibration hingegen erzeugte ein Unwucht-Erreger, der aus einem BMW 7er (BJ 2008) stammte und im unteren Teil des Lenkrads angebracht war.



**Abbildung 6.3:** LCA-Außenspiegelanzeige, Kombi und Unwucht-Erreger im Lenkrad

Die zur Darstellung der drei Konzeptvarianten nötige Software wurde auf Basis von Simulink-Serienmodulen für LCA und LDW aufgebaut. Eine Beschreibung der Software-Architektur und Funktionsweise sprengt den Rahmen dieses Kapitels, sie ist daher im Anhang B.3 zu finden.

### 6.3.2 Fragestellungen und Hypothesen

Zur Untersuchung von Verständnis, Wirksamkeit und Akzeptanz der drei Konzepte wurden folgende Hypothesen aufgestellt.

#### Hypothese 1 (Kritikalitätslevel)

Fahrer nehmen riskante Querführungs-Situationen und damit Nutzfälle für längsführende Sicherheits-FAS unterschiedlich kritisch wahr.

- $H_{\text{Krit-Level}}$ : Der Kritikalitäten der einzelnen Querführungs-Nutzfälle unterscheiden sich.

#### Hypothese 2 (Abhängigkeit des Kritikalitätslevels)

Die subjektive Kritikalität eines Nutzfalles ist abhängig von der Existenz und Ausprägung eines Warnsystems. Ob und in welcher Form ein aktives FAS der Querführung auf eine gefährliche Situation hinweist, beeinflusst also die Kritikalitätswahrnehmung.

- $H_{\text{Krit-abhängig}}$ : Die Kritikalitäten pro Nutzfalle unterscheiden je nach verwendeter Warnstrategie (A, B, C oder keine Warnung)

#### Hypothese 3 (Intensitätslevel)

Analog zu den aus der Akustik bekannten Dringlichkeits-Abstufungen bemerken Fahrer auch bei den Ausgaben der Querführungs-FAS unterschiedliche Intensitäten (z.B. haptisch). Diese setzen sich dabei aus mehreren Warnausgaben zusammen, die nicht differenziert werden.

- $H_{\text{Intensität}}$ : Es gibt einen Unterschied zwischen den von den Probanden subjektiv wahrgenommenen Intensitäten der einzelnen Warnausgaben.

#### **Hypothese 4 (Kritikalitätsgruppen)**

Nutzfälle mit ähnlichen Kritikalitäten Tabelle 6.8 können in Gruppen zusammengefasst werden, die sich deutlich voneinander unterscheiden.

- $H_{\text{Krit-Gruppen}}$ : Die Kritikalitäten der Gruppe K2 mit hochkritischen Situationen sind höher als die der Gruppe K1 mit wenig kritischen Situationen.

#### **Hypothese 5 (Passung zwischen Kritikalität und Warn-Intensität)**

Unter der Voraussetzung, dass die Hypothesen 1 und 3 angenommen werden, kann die wahrgenommene Intensität einer Warnung an die Kritikalität einer Situation *angepasst* werden. Diese Passung ist bei Strategie B besser als bei A und C.

- $H_{\text{Passg\_Krit\_Int}}$ : Der Korrelationskoeffizient der Korrelation zwischen Warn-Intensität und Kritikalität ist für die Strategie B höher als der von A und C.

#### **Hypothese 6 (Lerneffekt)**

Zur Überprüfung der Hypothesen 1 bis 5 muss sichergestellt werden, dass die Probanden die Begriffe *Kritikalität* und *Intensität* verstanden haben und sie im Gesamtkontext konsistent bewerten. Ein Fahrabschnitt wird daher wiederholt, um den Probanden die gesamte Bandbreite der Situationen zu zeigen und den Lerneffekt anhand der doppelten Messwerte zu überprüfen.

- $H_{\text{Lerneffekt}}$ : Es besteht ein Unterschied zwischen den Kritikalitäts- und Intensitätsbewertungen einer Situation, wenn sie wiederholt gefahren wird.

### **6.3.3 Operationalisierung und Versuchsplan**

Zur Prüfung dieser Hypothesen und zur subjektiven Bewertung der Strategien durch Probanden wurden ein zweiteiliger Versuch, bestehend aus *Messfahrt* und *Explorationsfahrt* aufgesetzt.

In der *Messfahrt* wurden die Probanden während einer Fahrt über Autobahn, Landstraße und Stadtgebiete *unvorbereitet* in kritische Situationen geführt, in denen die Fahrerassistenzsysteme wie in einem realen Warnfall reagierten. Diese Bedingung ist essentiell, da Fahrer in selbst provozierten Gefahrensituationen eine Warnung erwarten und diese dann unter Umständen anders wahrnehmen. Für diesen Teil wurde ein Between-Subject Design gewählt (Bortz, 2005). Jeder der relevanten Nutzfälle sollte in mindestens einer Situation erlebt werden, insgesamt wurden 15 Ereignisse in der Versuchsstrecke umgesetzt (siehe Abschnitt 6.4.3).

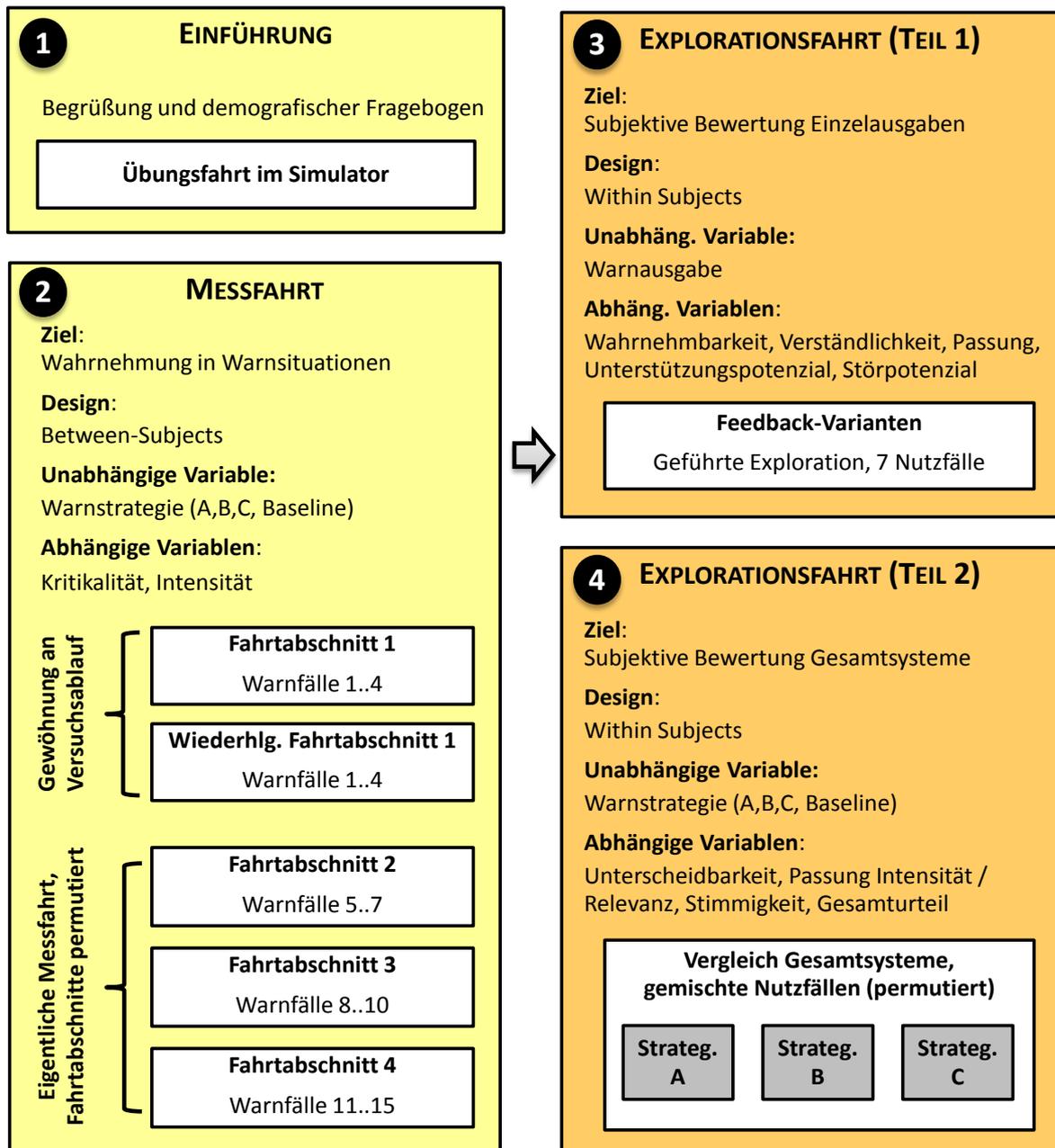


Abbildung 6.4: Übersicht Versuchsablauf

### Unabhängige Variable in der Messfahrt

Die gefahrene *Warnstrategie* A, B oder C diente in der Messfahrt als unabhängige Variable. Der Faktor wurde außerdem um eine Baseline ergänzt, in der gar keine Warnungen ausgegeben wurden, so dass er vier Stufen umfasst. Die verschiedenen Nutzfälle bildeten den zweiten Faktor. Hier wurden von den insgesamt sieben Fällen aus Tabelle 6.5 sechs umgesetzt, nur *SPW\_Info\_mB* blieb außen vor.

### Abhängige Variablen in der Messfahrt

In den Hypothesen sind die beiden Begriffe *Kritikalität* und *Intensität* von zentraler Bedeutung. Diese beiden subjektiven Maße dienten als wichtigste abhängige Variablen

der Messfahrt, ihre Operationalisierung kann jedoch nur teilweise der Literatur entnommen werden. Neukum et al. (2008) stellen in ihrer Arbeit eine Bewertungsskala für die subjektive Kritikalität gefährlicher Situationen vor, die für den hier beschriebenen Versuch übernommen wurde.

<b>Nicht kontrollierbar</b>	<b>10</b>
<b>gefährlich</b>	<b>9</b>
	<b>8</b>
	<b>7</b>
<b>unangenehm</b>	<b>6</b>
	<b>5</b>
	<b>4</b>
<b>harmlos</b>	<b>3</b>
	<b>2</b>
	<b>1</b>
<b>Nichts bemerkt</b>	<b>0</b>

**Abbildung 6.5:** Bewertung der subjektiven Kritikalität nach Neukum et al. (2008)

Probanden nutzen diese Skala in zwei Schritten. Als erstes identifizieren sie das grobe Kritikalitätsniveau einer erlebten Situation mit Hilfe der Farben bzw. Begriffe (z.B. *unangenehm*), als zweites können sie in drei Stufen nachdifferenzieren (Level vier bis sechs). Die Stufen *nichts bemerkt* und *nicht kontrollierbar* markieren die Anfangs- und Endpunkt der Skala. Die Autoren validierten das Instrument mit mehreren Studien.

Eine ähnliche gut verifizierte Methode zur Bestimmung der Intensität einer Warnung fehlt noch. Totzke (2006) erwähnt jedoch eine mögliche Rating-Skala mit einer siebenstufigen Unterteilung und den Polen „*nicht bemerkt*“ und „*unerträglich*“. In Anlehnung daran wurde eine vereinfachte, fünfstufige Skala eingesetzt, für die die beiden äußeren Pole weggelassen wurden:

<b>sehr schwach</b>				<b>sehr stark</b>
1	2	3	4	5

**Abbildung 6.6:** Skala zur Bewertung der subjektiven Intensität einer Warnung

Der Versuchsleiter fragte Kritikalität und Warnintensität direkt nach einer erlebten Situation ab. Zusätzlich sollten die Fahrer mit der Technik des lauten Denkens (Buld et al., 2003) kommentieren, welche Warnmodalitäten sie wahrgenommen hatten (Vibration,

Moment, LED) und *wovor* sie gewarnt worden war. Diese Aussagen dienten als weitere abhängige Variablen.

### Unabhängige Variablen in der Explorationsfahrt

Die *Explorationsfahrt* hatte im Gegensatz zur *Messfahrt* die subjektive Bewertung der Varianten zum Ziel. Um die Versuchszeit zu reduzieren, wurde die UV *Warnstrategie* für die Explorationsfahrt vereinfacht. Im ersten Teil der Exploration ließ der Versuchsleiter die Probanden die sieben Nutzfälle nach Tabelle 6.5 einzeln erleben und fragte deren subjektive Bewertungen ab – hier bildete die *Art der Warnausgabe* die UV. Diese Vorgehensweise bot sich an, um Überschneidungen zwischen den Systemvarianten zu vermeiden. Der Nutzfalle FBV beispielsweise konnte über alle Varianten nur mit starkem Moment und starker (B und C) oder leichter Vibration (A) bewarnt werden. Zum Schluss probierte der Proband schließlich alle drei Warnstrategien in allen Nutzfällen aus, wiederum im Within-Subject Design und mit der ursprünglichen Festlegung der UV.

### Abhängige Variablen in der Explorationsfahrt

Zum Vergleich der Warnausgaben (erste Hälfte der Explorationsfahrt) wurden von den Probanden folgende Fragestellungen erhoben:

- Wahrnehmbarkeit der Warnung?
- Verständlichkeit der Warnung?
- Passung der Warnung zur Situation?
- Empfinden Sie die Warnung als hilfreich? (Unterstützungspotenzial)
- Empfinden Sie die Warnung als störend? (Störpotenzial)

Für alle fünf Fragen wurde eine siebenstufige Ratingskala als Erfassungsinstrument eingesetzt (Malhotra und Birks, 2005; Bortz, 2005), deren Endpole entsprechend der Fragestellung markiert waren, wie Abbildung 6.3 zeigt:



Abbildung 6.7: Skala zur Akzeptanzbewertung

Für den Vergleich der Gesamtsysteme konnten die sieben Nutzfälle mit jeder Strategie in beliebiger Reihenfolge erlebt werden. Die abhängigen Variablen waren in diesem Fall:

- Unterscheidbarkeit der Warnungen
- Entsprechung von Intensität und Relevanz
- Stimmigkeit
- Gesamturteil

Auch diese Variablen wurden analog zu Abbildung 6.3 mit einer siebenstufigen Skala abgefragt. Mit den Explorationsfahrten konnten damit sowohl die Präferenzen für einzelne Warnausgaben als auch das bevorzugte Gesamtsystem geprüft werden. Das entsprechende Versuchsleiterprotokoll befindet sich im Anhang B, einen Überblick über die Versuchsteile inklusive ihrer jeweiligen unabhängigen und abhängigen Variablen zeigt der Versuchsplan in Abbildung 6.7.

### 6.3.4 Versuchsstrecke

Der Fahrparcours für die Messfahrt war ca. 40 km lang und enthielt fünfzehn unterschiedlich kritische Querführungs-Situationen. Der Fahrer musste einem Vorderfahrzeug zügig folgen und sämtliche Abbiege- und Spurwechsel-Vorgänge genauso durchführen. Damit waren die Manöver des Probanden vorhersehbar und gefährliche Situationen reproduzierbar.

Die Gesamtstrecke enthielt bis auf *SPW\_Info\_mB* alle in Tabelle 6.5 abgeleiteten Nutzfälle, vom einfachen Spurverlassen auf eine leere Nebenspur bis hin zu komplexen Spurwechsel-Fällen. In der Entwicklung der Strecke wurde besonderes Augenmerk auf realistische Gefahrensituationen gelegt, die ähnlich und zuverlässig bei allen Probanden ablaufen sollten. Darüber hinaus waren alle Situationen mit Kollisionsgefahr so gestaltet, dass der Unfall gerade noch verhindert wurde. Dazu bremste z.B. ein von hinten beschleunigendes Fremdfahrzeug unnatürlich stark ab, nachdem es eine Spurwechsel-Warnung provoziert hatte und konnte somit nicht kollidieren.

Tabelle 6.10 gibt einen Überblick über die Realisierung der wichtigsten Nutzfälle, die detaillierte Liste aller Einzelsituationen sowie eine Streckenübersicht finden sich im Anhang B.

Zwischen den für die Messung relevanten Situationen wurden zusätzliche unkritische Überholvorgänge oder Spurwechsel eingesetzt, um den Fahrtablauf unvorhersehbar und realistisch zu gestalten. Die Fahrer mussten aufgrund der ohnehin schon hohen Komplexität der Gesamtstrecke keine zusätzlichen Nebenaufgaben bewältigen. Die insgesamt 15 Nutzfälle wurden auf vier Fahrabschnitte mit 3-5 Situationen aufgeteilt (Anhang B.2). Bei einer Dauer von ca. 8-9 min pro Fahrabschnitt trat damit aller 2-3 Minuten ein relevantes Ereignis auf. Durch einen eigenen Startpunkt pro Abschnitt konnte die Situationsabfolge quasi zufällig zusammengestellt werden, indem die Abfolge der Fahrabschnitte permutiert wurde.

**Tabelle 6.10:** Realisierte Gefahrensituationen im Fahrsimulator

Nutzfall	Umsetzung
<b>SPV</b> Spurverlassen auf freie Nebenspur (2 Situationen)	Mit Hilfe einer aufgeprägten Gierwinkel-Abweichung von 5°-15° (Kozak et al., 2006) driftete das Fahrzeug unmerklich von der Spur ab, der Lenkwinkel wurde hierbei nicht geändert. In beiden Situationen waren keine Fahrzeuge auf der Nebenspur.
<b>FBV</b> Verlassen der befestigten Fahrbahn (3 Situationen)	Das Fahrzeug wurde mit einer Gierwinkel-Abweichung an zwei vordefinierten Stellen aus der Kurve bzw. in die Leitplanke gedrängt. Die dritte Situation kam dadurch zustande, dass der Fahrer einem LKW ausweichen musste und dabei weit nach rechts Richtung Graben abkam.
<b>SPV_GV</b> Spurverlassen bei Gegenverkehr (2 Situationen)	Dieser Nutzfall spielte sich auf der Landstrasse ab. In der ersten Situation wurde der Fahrer auf die Gegenverkehrsspur gedrängt, bei der zweiten Situation musste er eine Baustelle umfahren und kam dadurch auf die Gegenspur.
<b>SPW_oB</b> Spurverlassen auf belegte Zielspur, ohne Blinker (1 Situation)	Auch hier wurde das Fahrzeug mit einer Gierwinkel-Abweichung auf die linke Spur der Autobahn gedrängt, die in diesem Fall jedoch mit einer Kolonne überholender Fahrzeuge belegt war. Je nach Strategie erlebte der Fahrer eine Spurwechsel- oder Spurverlassens-Warnung.
<b>SPW_mB</b> Spurwechsel auf belegte Zielspur, mit Blinker (6 Situationen)	Das Führungsfahrzeug überholte andere Fahrzeuge. Sobald der Fahrer selber zum Spurwechsel ansetzt (=blinkt), beschleunigte ein Folgefahrzeug auf der Zielspur sehr schnell nach vorn ( ca. 20 m/s <sup>2</sup> ) und verursachte eine Spurwechsel-Warnung. Vier Situationen waren einfaches Überholen, zwei weitere waren Notspurwechsel im Stau. In diesen Fällen bremste ein Vorderfahrzeug so stark ab, dass sowohl Führungsfahrzeug als auch Fahrer einen Not-Spurwechsel nach rechts durchführen mussten.
<b>SPW_Info_oB</b> Überholt werden (1 Situation)	Hier überholte ein schnelleres Fahrzeug das Ego-Fahrzeug, ohne dass der Fahrer blinkte oder die Spur wechselte.

### 6.3.5 Versuchsablauf

Der Versuch startete mit der Begrüßung der Probanden sowie der Erhebung der demographischen Daten. Anschließend fuhren die Teilnehmer zur Gewöhnung an den Simulator ca. zehn Minuten auf einer einfachen Autobahnstrecke, bevor ihnen der Versuchsleiter den genauen Ablauf der nächsten Fahrt erklärte. Fahrtabschnitt 1 (siehe Anhang B.2) mit vier Ereignissen diente zur Gewöhnung an den Versuchsablauf und wurde als einziger zweimal gefahren (zur Erklärung siehe Abschnitt 6.4.7). Die restlichen drei Abschnitte wurden in ihrer Abfolge permutiert, um eine quasi-zufällige Reihenfolge der Warnsituationen zu erreichen. Auf diese Weise erlebten die Probanden insgesamt fünfzehn unterschiedliche kritische Ereignisse, davon vier zu Trainingszwecken doppelt und elf als verbliebene Testfälle. In den Zeiten zwischen zwei Ereignissen wurden die

Systemausgaben vollständig unterdrückt, so dass die Funktionen nicht unkontrolliert ausprobiert werden konnten. Der Versuchsleiter protokollierte während der Fahrt die in Abbildung 6.7 beschriebenen Messdaten, indem er nach jeder kritischen Situation Kritikalität, wahrgenommene Intensität, wahrgenommene Warnanteile sowie den Grund der Warnung über die Gegensprech-Anlage abfragte. Der verwendete Protokoll-Vordruck ist im Anhang B.5 enthalten.

Im zweiten Versuchsteil stand die Exploration der Systemausprägungen im Vordergrund. Der Proband hatte die Möglichkeit, die für einen bestimmten Nutzfalle vorgesehenen Warnausgaben zu vergleichen, indem jeden mehrmals provozierte. Der Versuchsleiter führte schrittweise durch die sieben Nutzfälle und erhob die Antworten jeweils einzeln, um eine Verwechslung der Varianten zu vermeiden. Nach dieser Einzelabfrage konnten die Probanden die in der Messfahrt verwendete Warnstrategie als Ganzes testen und beliebige Nutzfälle provozieren. Nach Beantwortung der Fragen zum Gesamtsystem folgten die beiden anderen Warnstrategien in permutierter Reihenfolge. Das gesamte Experiment dauerte ca. 2,5 Stunden, eine Übersicht ist in Abbildung 6.7 zu sehen.

### 6.3.6 Stichprobe

Die Untersuchung wurde von April bis Mai 2008 im BMW-Fahrsimulator durchgeführt. Die Probanden waren ausschließlich interne Mitarbeiter, es wurde auf eine möglichst ausgeglichene Alters- und Geschlechtsverteilung geachtet. Insgesamt nahmen 57 Personen teil (13 w / 44 m). Die Probanden wurden in vier Gruppen aufgeteilt, deren statistische Daten in Tabelle 6.11 zu sehen sind.

Tabelle 6.11: Demographische Daten der Probanden

Warnstrategie	Probandengruppe	Alter
A - Systemorientiert	14 (11 m / 3 w)	$\bar{x}$ = 32,50 Jahre (sd = 9,87)
B - Kritikalitätsorientiert	17 (13 m / 4 w)	$\bar{x}$ = 36,06 Jahre (sd=9,41)
C – System- und kritikalitätsorientiert	12 (9 m / 3 w)	$\bar{x}$ = 35,25 Jahre (sd=11,30)
Baseline	14 (11 m / 3 w)	$\bar{x}$ = 34,57 Jahre (sd=8,18)

### 6.3.7 Ergebnisse Messfahrt

Von den insgesamt 15 gefahrenen Warnsituationen wurden nur 13 für die Auswertung herangezogen. Eine der SPW\_mB-Situationen (*AB1b*, siehe Anhang B.2) fiel aus, da alle Probanden beim Spurwechsel blinkten und es kein kritisches Objekt auf der Zielspur gab. Die Situation war dafür gedacht gewesen, eine Spurverlassens-Warnung beim Not-Spurwechsel zu erzeugen. Auch *LS2b* (SPV\_GV) erwies sich als ungeeignet – die Situation lief aufgrund eines Fehlers in der Simulation zu selten wie vorgesehen ab.

### Hypothese 6 (Lerneffekt)

Zur Sicherstellung konsistenter Messwerte wurde  $H_{\text{Lerneffekt}}$  als erste geprüft. Mittels der wiederholt gefahrenen Situationen *AB1a* (SPV), *AB1c* (SPW\_Info\_oB) und *AB1d* (SPW\_mB) wurde analysiert, ob die Probanden ihre Kritikalitäts- und Intensitätsbewertungen verändern, wenn sie mehrere Situationen kennengelernt haben (Lerneffekt). Jede Systemausprägung und die Baseline wurden gegeneinander per Wilcoxon-Test geprüft. Nur in der Baseline erhöht sich für *AB1d* (SPW\_mB) die zweite Kritikalitätsbewertung von  $M_{\text{Krit\_AB1d\_Baseline\_1}}=4,71$  ( $sd=2,128$ ) auf  $M_{\text{Krit\_AB1d\_Baseline\_2}}=6,50$  ( $sd=2,955$ ;  $p=0,005$ ;  $Z=-2,698$ ) signifikant. In allen Gruppen mit Warnungen tritt kein Unterschied auf (Abbildung 6.8). Die Baseline-Probanden bemerkten also erst bei Fahrtwiederholung, wie gefährlich der Spurwechsel tatsächlich war. Die anderen Gruppen wurden hingegen durch die Warnungen auf die Kritikalität der Situation hingewiesen. Die Intensitäts-Ratings zeigen bei der Wiederholung keinerlei signifikanten Unterschiede. Ein verfälschender Lerneffekt hinsichtlich der Intensitätsratings wurde daher ausgeschlossen,  $H_{\text{Lerneffekt}}$  abgelehnt und die Werte der zweiten Trainingsfahrt für weitere Analysen mitverwendet.

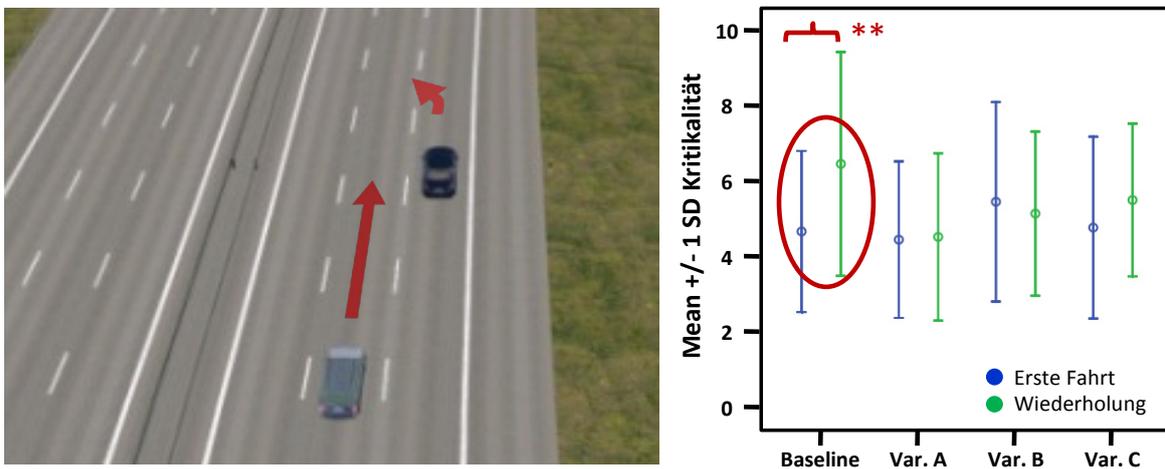


Abbildung 6.8: Kritikalitätsbewertung der Situation AB1d während der Lernfahrt

### Hypothese 1 (Kritikalitätslevel)

Die Kritikalitätsskala von Neukum et al. (2008) differenziert wie erwartet gut. Das Spektrum reicht dabei von  $M=0,69$  ( $sd=0,63$ ) bei *AB1c* (SPW\_Info\_oB) bis hin zu  $8,14$  ( $sd=1,77$ ) für *AB1d* (SPW\_mB). Zwischen den einzelnen Situationen existieren außerdem mehrere signifikante Unterschiede,  $H_{\text{Krit-Level}}$  wird daher angenommen.

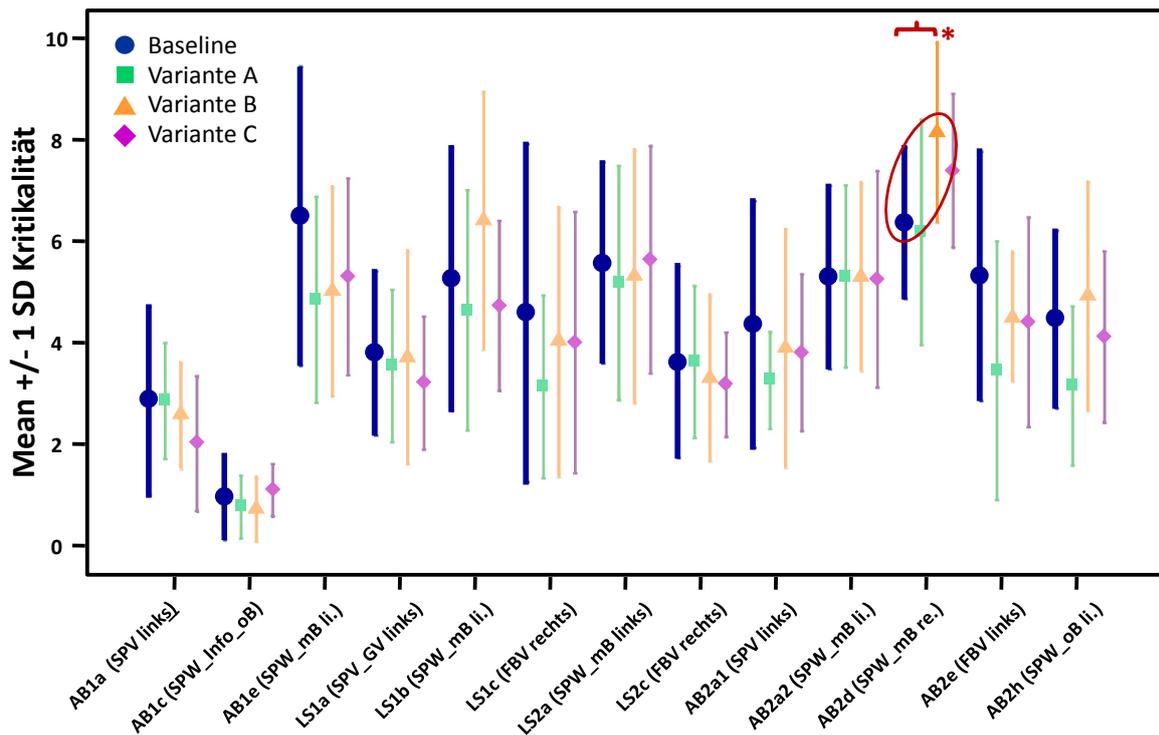


Abbildung 6.9: Kritikalitätswerte der dreizehn ausgewerteten Situationen

Auffällig sind dabei die großen Varianzen, vor allem für Situationen mit hoher Kritikalität (siehe Abbildung 6.9 am Beispiel der Baseline). Sie lassen sich am ehesten mit großen individuellen Unterschieden in der Risikowahrnehmung erklären: wie gefährlich eine Situation empfunden wird, hängt stark vom eigenen Fahrstil, Erfahrungen und der Einschätzung der anderen Verkehrsteilnehmer ab.

### Hypothese 2 (Abhängigkeit des Kritikalitätslevels)

Die Hypothese, dass die subjektive Kritikalität einer Situation von einer Warnausgabe an sich abhängt, kann nicht bestätigt werden. Zur Analyse wurden für jeden der dreizehn Nutzfälle die Kritikalitätswerte der einzelnen Warnstrategien (A, B, C und Baseline) untereinander mit einem Mann-Whitney U-Test verglichen. Dabei zeigte sich nur in einem von  $6 \cdot 13 = 78$  Vergleichen ein signifikanter Effekt (rote Markierung in Abbildung 6.9). Aus den restlichen 77 Vergleichen lässt sich schließen, dass zumindest die hier verwendeten, vorwiegend haptischen Warnungen keinen signifikanten Einfluss auf die Kritikalitätswahrnehmung haben.  $H_{\text{Krit\_abhängig}}$  muss daher verworfen werden. Bei anders ausgeprägten Warnungen muss diese Aussage erneut geprüft werden.

### Hypothese 3 (Intensitätslevel)

Um zu prüfen, ob die Probanden Warnausgaben unterschiedlicher Intensität differenzieren können, wurden die Intensitäts-Ratings der drei Warnstrategien nicht direkt verglichen. Aufgrund der Überschneidungen zwischen den Strategien wurden vielmehr gleiche Warnausgaben über alle Situationen zusammengefasst und dann erst gegeneinander getestet (Mann-Whitney U Test). Die *dunkel leuchtende LED* wird im

Vergleich zu allen anderen Feedbacks hochsignifikant schwächer empfunden. Ferner fanden sich zwischen den Intensitätsbewertungen von

- schwacher Vibration (SPV bei Strategie A und B)
- schwacher Vibration und dunkler LED (SPW\_oB bei A)
- schwacher Vibration, schwachem Moment und dunkler LED (SPW\_oB bei C)
- schwacher Vibration mit schwachem Moment (SPV bei C)

keine signifikanten Unterschiede. Diese vier Varianten mit *schwacher Vibration* wurden daher nachträglich als eine Variante zusammengefasst. Trotz dieser Vereinfachung unterscheidet sich die schwache Vibration nicht von einer starken Vibration inkl. Moment. Erst die Kombination aus *starker Vibration, starkem Moment und hell-blinkender LED* erweist sich als höchstsignifikant intensiver (Mann-Whitney U Test;  $p=0,001$ ;  $Z=-6,462$ ). Ein deutlicheres Bild zeigt sich beim Vergleich der beiden möglichen Ausgaben für kritische Spurwechsel. Hier zeigt sich die *starke, pulsierende Vibration mit blinkender LED* trotz gleichem Median ( $Md = 4$ ) höchstsignifikant intensiver als die Kombination aus *starker Vibration, starkem Moment und blinkender LED* ( $p=0,002$ ;  $Z=-2,944$ ). Hypothese 3 ( $H_{Intensität}$ ) kann daher bestätigt werden. Die Ergebnisse der Intensitätsvergleiche lassen sich dahingehend interpretieren, dass vor allem der *Vibrationstyp* (pulsierend vs. kontinuierlich) und die *blinkende LED* die Wahrnehmungsintensität beeinflussen. Die Vibrationsstärke als auch die Gegenmomente haben dagegen wenig bis keinen Einfluss auf die Intensität der Warnung.

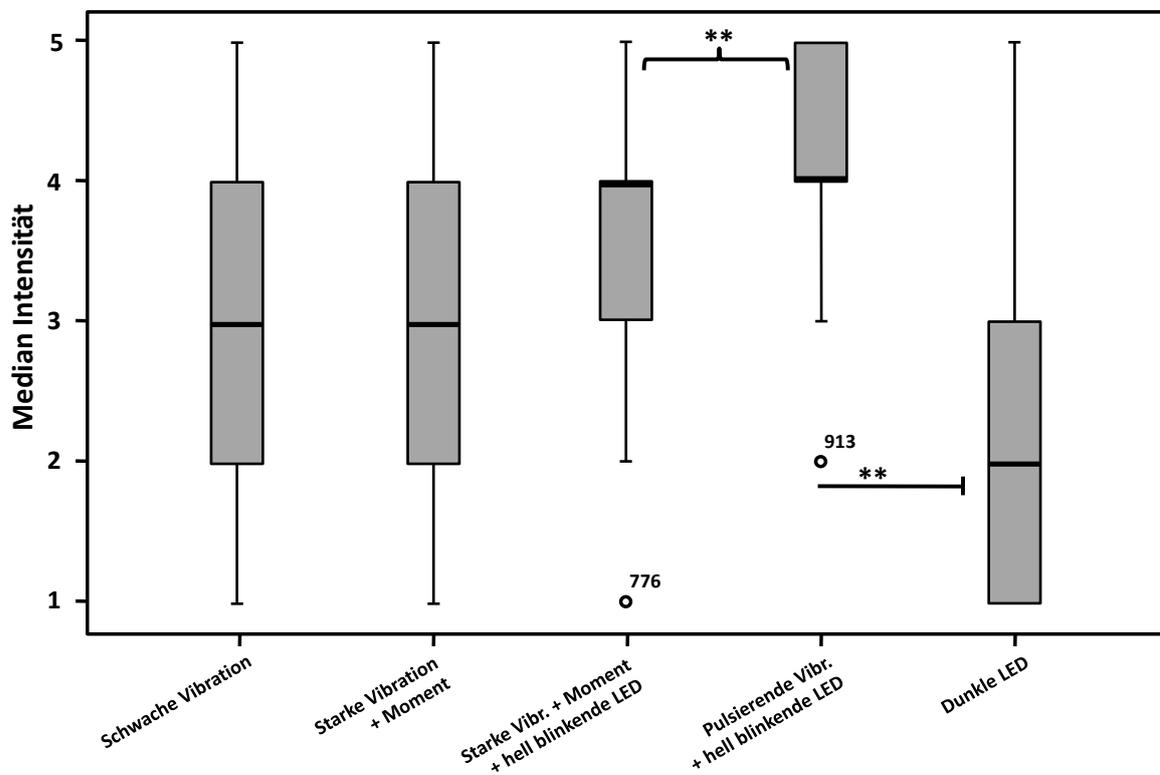


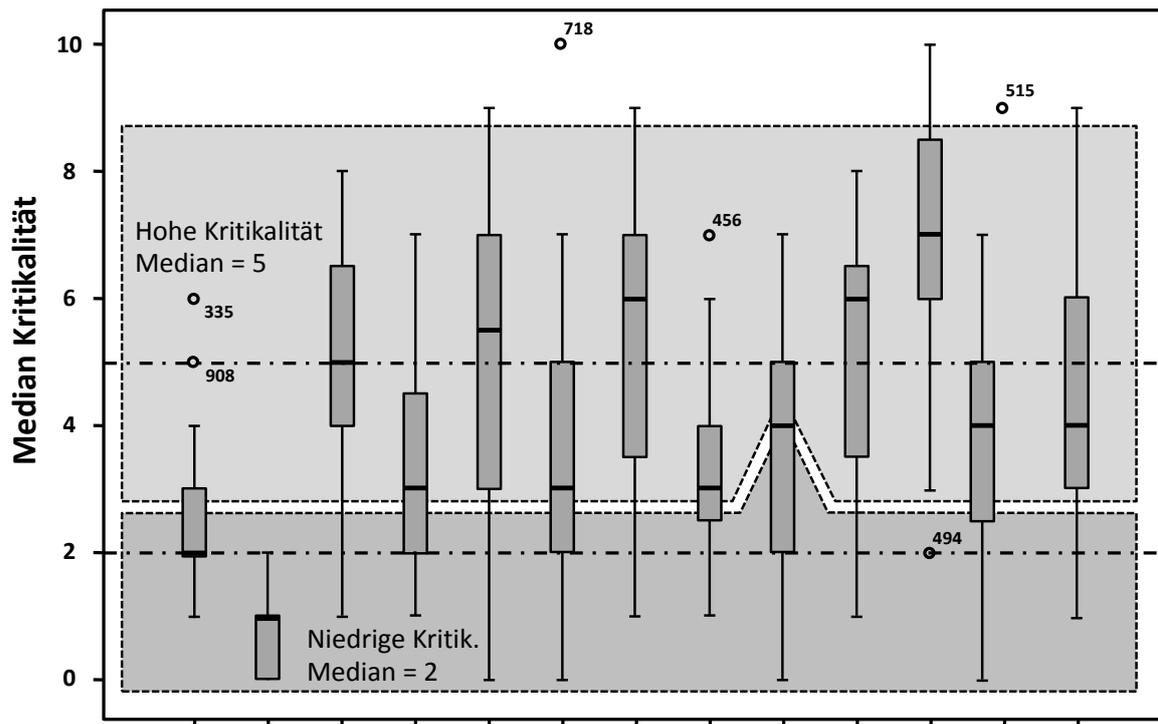
Abbildung 6.10: Vergleich der Intensitätsbewertungen über alle Situationen

Entscheidend sind an dieser Stelle zusätzlich die Aussagen der Fahrer nach der gesamten Messfahrt. In jeder Gruppe gab mindestens die Hälfte der Probanden an, keine unterschiedlichen Vibrationen bemerkt zu haben (A: 57,1%, B: 58,8%, C: 50%). Ähnlich verhielt es sich mit bewusst wahrgenommenen Gegenmomenten. Diese wurden, wie schon bei Kozak et al. (2006) erwähnt, in Warnsituationen nur sehr selten wahrgenommen. Aus den aufgeführten Gründen sind sowohl Momente als auch Vibrationsstärke wie erwartet kritisch zu betrachten, was ihre Eignung zur Differenzierung von Systemausgaben in Warnsituationen angeht. Der Vibrationstyp (kontinuierlich vs. pulsierend) wird zwar nach den abgegebenen Intensitäts-Ratings signifikant unterschiedlich wahrgenommen, jedoch nicht nach den direkten Antworten der Probanden auf die Frage, ob sie unterschiedliche Vibrationen wahrgenommen hätten. Auch er ist daher kein absolut zuverlässiges Mittel zur Trennung von Systemausgaben.

### **Hypothese 4 (Kritikalitätsgruppen)**

Für die Definition der Warnstrategie B (kritikalitätsbasiert) waren in Abschnitt 6.3.3 Annahmen getroffen worden, nach denen alle Nutzfälle in *wenig kritische* und *sehr kritische* eingeteilt wurden (Tabelle 6.7). Abbildung 6.10 zeigt die erhobenen Kritikalitätswerte zusammengefasst für alle drei Warnstrategien und mit der vor dem Versuch angenommenen Trennung in wenig kritische und hochkritische Fälle

Die Gruppen unterscheiden sich bei einem Mann-Whitney U Test höchstsignifikant voneinander ( $p=0,001$ ;  $Z= -9.372$ ). Die Hypothese  $H_{\text{Krit-Gruppen}}$  wird daher angenommen. Trotzdem sei folgende Überlegung angebracht: wie man in Abbildung 6.10 erkennen kann, trifft die im Vorfeld definierte Einteilung die tatsächlichen Ergebnisse nicht ganz. Zwei als wenig kritisch angenommene Spurverlassensfälle (*AB1a*, *AB2a1*) reichen nah an die hochkritischen Fahrbahnverlassensfälle heran. Außerdem bewegen sich alle Spurwechsel-Fälle mit Blinker (*AB1d*, *LS1b*, *LS2a*, *AB2a2*, *AB2b*) auf einem nochmals höheren Kritikalitätsniveau als Fahrbahnverlassensfälle. Der einzige Spurwechsel ohne Blinker (*AB2h*) bildet im Vergleich dazu eine Ausnahme und ähnelt eher den FBV-Fällen.



**Abbildung 6.11:** Einteilung der Kritikalitäten in zwei Gruppen nach Vorannahme

Für weitere Untersuchungen liegt es nahe, neue Hypothesen aufzustellen, die Situationen mit ähnlicher Kritikalität besser zusammenfassen. Eine Option stellt folgende Aufteilung dar:

- *Niedrige Kritikalität:* Überholt werden (SPW\_Info\_oB)
- *Mittlere Kritikalität:* alle Spur- und Fahrbahnverlassens-Fälle (SPV, SPV\_GV, FBV, SPW\_oB)
- *Hohe Kritikalität:* alle absichtlichen, d.h. mit Blinker durchgeführten Spurwechsel (SPW\_mB)

Testet man diese neuen Hypothesen ausnahmsweise mit den hier vorliegenden Daten, unterscheiden sich auch diese drei Gruppen hochsignifikant voneinander, wie Abbildung 6.11 zeigt.

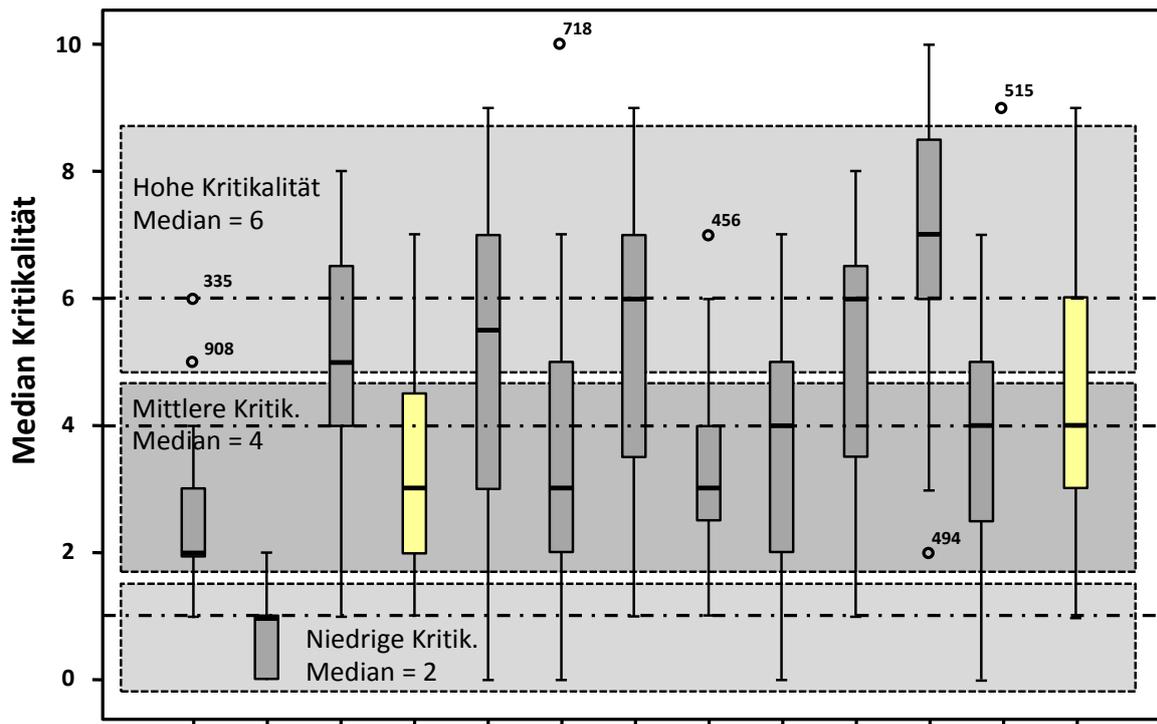


Abbildung 6.12: Neue Hypothesen zur Aufteilung der Nutzfälle in Kritikalitätsgruppen

Für eine Interpretation sind dabei die beiden markierten Nutzfälle entscheidend – *Spurverlassen in den Gegenverkehr (SPV\_GV)* und *Spurverlassen auf belegte Nebenspur (SPW\_oB)*. In beiden Fällen droht eine Kollision mit anderen Fahrzeugen. Der Fahrer empfindet dies jedoch als nicht so kritisch wie einen beabsichtigten Spurwechsel mit hoher Kollisionswahrscheinlichkeit. Hintergrund ist hier vermutlich der Fahrerwunsch – beim Spurwechsel muss der Fahrer explizit blinken und damit seine Absicht bekunden, das Verlassen der Spur kann hingegen aus Versehen vorkommen. Der Nutzfalle *SPW\_oB* ist also eher ein Spurverlassen als ein Spurwechsel. Zusätzlich ist es möglich, dass der Fahrer bei gefährlichen Spurwechseln stärker überrascht wird als bei unbeabsichtigtem Spur- oder Fahrbahnverlassen. Denn obwohl er den Spurwechsel geplant und abgesichert hat und sich daher keines Fehlers bewusst ist, entwickelt sich die Situation bedrohlich. Beim Überfahren der Spurbegrenzung wird ihm dagegen nur eine Unaufmerksamkeit bewusst gemacht, die nicht genauso kritisch empfunden wird – auch wenn ein Unfall ebenso schwer verlaufen könnte wie beim Spurwechsel. Diese Interpretationen erscheinen plausibel, aufgrund neuer Hypothesen erfordert ihre korrekte Überprüfung jedoch zusätzliche Versuche.

### Hypothese 5 (Passung zwischen Kritikalität und Warn-Intensität)

Die Überlegungen zu Hypothese 4 werden zusätzlich durch eine Betrachtung der Passung zwischen Kritikalität und Warn-Intensität gestützt. Hypothese 5 besagt, dass Strategie B aufgrund kritikalitätsabhängiger Warnausgaben (Tabelle 6.8) eine bessere Übereinstimmung zwischen Kritikalität und Intensität erreicht. Mit einer Korrelationsrechnung nach Spearman für die Wertepaare Kritikalität / Intensität ergibt sich dabei folgendes Bild:

**Tabelle 6.12:** Korrelationen zwischen Kritikalität und Intensität nach Spearman

Warnstrategie	Korrelation zwischen Kritikalität und Warnintensität
A (systemorientiert)	$R_{S, \text{Strat. A}} = 0,328^{**}$ ( $p < 0,001$ ), schwache Korrelation
B (kritikalitätsorientiert)	$R_{S, \text{Strat. B}} = 0,456^{**}$ ( $p < 0,001$ ), schwache Korrelation
C (system- und kritikalitätsorientiert)	$R_{S, \text{Strat. C}} = 0,555^{**}$ ( $p < 0,001$ ), mittlere Korrelation

Grundsätzlich haben sowohl B als auch C bessere Korrelations-Koeffizienten als A, da sie zwischen Spur- und Fahrbahnverlassen trennen. Jedoch entspricht nicht die Warnintensität der Strategie B am besten der Fahrererwartung, sondern die der Variante C. Der zusätzliche Vorteil von C kann durch die Begründung im oberen Abschnitt erklärt werden – im Gegensatz zu B unterscheidet C nicht die (objektiv hochkritischen) Fälle *Spurverlassen in den Gegenverkehr* und *Spurverlassen auf belegte Nebenspur* vom einfachen Spurverlassen. Dieses Verhalten entspricht eher der unbewussten Erwartung des Fahrers, der hier zwischen einem unabsichtlichem Fahrfehler (Spurverlassen) und einer Fehleinschätzung bei einem beabsichtigten Manöver (Spurwechsel) unterscheidet. Die Hypothese  $H_{\text{Passg\_Krit\_Int},1}$  muss daher zugunsten der Nullhypothese abgelehnt werden.

#### 6.3.8 Ergebnisse Explorationsfahrt

Die Fahrer konnten im zweiten Versuchsteil alle Warnausgaben und die Gesamtsysteme ausführlich testen. Tabelle 6.13 zeigt einen Überblick über die Bewertungen der einzelnen Warnausgaben in der Explorationsfahrt. Die Abkürzungen stehen für die fünf Bewertungskategorien *Wahrnehmbarkeit (W)*, *Verständlichkeit (V)*, *Passung zur Situation (P)*, *Unterstützungspotenzial (U)* und *Störpotenzial (S)*. Grüne Felder kennzeichnen die *signifikant* beste Ausprägung, *graue* die tendenziell beste.

**Tabelle 6.13:** Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Explorationsfahrt

Nutzfall	Ausgaben	W	V	P	U	S
SPV	schwache kontinuierliche Vibration + schwaches Moment	*	*			
	schwache kontinuierliche Vibration					*
FBV	schwache kontinuierliche Vibration					*
	starke kontinuierliche Vibration + starkes Moment	*	*	*	*	
SPW_Info_mB	hell blinkende LED + starke kontinuierliche Vibration					
	hell blinkende LED					*
	hell blinkende LED + starke pulsierende Vibration	*				
SPW_mB	starke puls. Vibration + starkes Moment + hell blinkende LED					
	starke kont. Vibration + starkes Moment + hell blinkende LED					
SPW_oB	schwache kont. Vibration + dunkel leuchtende LED					*
	starke kont. Vibration + starkes Moment + hell blinkende LED	*	*	*	*	
<b>Legende:</b>	W = Wahrnehmbarkeit P = Passung zur Situation S = Störpotenzial V = Verständlichkeit U = Unterstützungspotenzial Grün (*) = signifikant bessere Ausprägung Grau = tendenziell bessere Ausprägung					

Danach ergibt sich ein eindeutiges Bild für *Fahrbahnverlassen (FBV)* und *Spurwechsel ohne Blinker (SPW\_oB)*. Bei FBV schnitt ein starkes Moment mit starker, kontinuierlicher Vibration im Vergleich zur schwachen Vibration signifikant besser ab, nur das Störpotenzial wurde höher bewertet. Ähnlich eindeutig bevorzugten die Probanden die intensivere Rückmeldung der Strategie B (starkes Moment, Vibration und hell blinkende LED) für den *Spurwechsel ohne Blinker (SPW\_oB)*. Hier unterscheidet sich die subjektive Probandenmeinung von den in Abbildung 6.11 gezeigten Interpretationen. Die Fahrer nehmen diese Situation zwar eher als *Spurverlassen* wahr (= schwache Warnung), sobald sie aber das hohe Unfallpotenzial erkannt haben, bevorzugen sie eine intensive Warnung.

Die FBV-Ergebnisse gelten etwas abgeschwächt auch für *Spurverlassen (SPV)* – hier wurde die Kombination aus leichtem Moment und schwacher Vibration besser wahrnehmbar und verständlicher angesehen, aber auch störender als die schwache Vibration allein. Uneinig waren sich die Probanden beim *Spurwechsel mit Blinker (SPW\_mB)*. Hier zeigt sich eine Tendenz für die starke, kontinuierliche Vibration mit Gegenmoment und blinkender LED, die jedoch nicht signifikant wurde.

Im Gesamturteil bevorzugten die Probanden letztendlich Warnstrategie B. Auf einer siebenstufigen Ratingskala von *sehr schlecht* bis *sehr gut* erreichte B beim Wilcoxon-Test einen signifikant höheren Median  $Md_B=6$  im Vergleich zu A ( $Md_A=5$ ;  $p=0,010$ ;  $Z=-2,586$ ) und C ( $Md_C=4$ ;  $p=0,000$ ;  $Z=-3,870$ ). Auch bei allen anderen Aspekten der Gesamtbewertung schnitt B signifikant besser ab, wie Abbildung 6.12 zeigt.

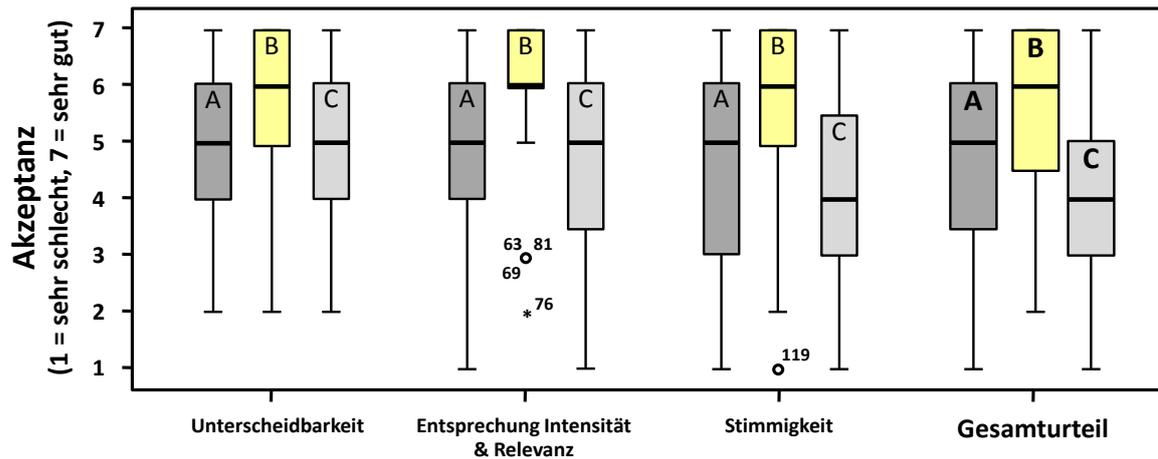


Abbildung 6.13: Subjektive Bewertung der drei Warnstrategien in der Explorationsfahrt

### 6.3.9 Zusammenfassung und Diskussion

Mit dem in diesem Kapitel beschriebenen Versuch konnte nachgewiesen werden, dass das subjektive Kritikalitätsempfinden einer Querführungs-Situation nur sehr selten von Warnausgaben beeinflusst wird, wenn diese ausschließlich Vibrationen, Lenkmomente und optische Anzeigen nutzen. Die Ausgaben können jedoch so gestaltet werden, dass die empfundene Intensität die Kritikalität möglichst adäquat widerspiegelt. Dabei ist zu beachten, dass Fahrer Vibrationen am Lenkrad zwar sehr gut wahrnehmen, aber weder unterschiedliche Vibrationsstärken noch rampenförmige Momente in Warnsituationen bemerken. Für eine zuverlässige Differenzierung müssen die haptischen Ausgaben durch optische Ausgaben unterstützt werden. Obwohl nicht Gegenstand dieser Untersuchung, ist zu vermuten, dass auch akustische Ausgaben diesen Zweck erfüllen können.

Ein Vergleich der einzelnen Warnausgaben zeigte auf, dass die beste Warnstrategie eine Mischung aus Konzept B und C sein sollte (Tabelle 6.13). Hier kommt zum Tragen, dass Fahrer vermutlich zwischen unabsichtlichem und absichtlichem Spurverlassen (= Spurwechsel) unterscheiden und letzteres im Ernstfall deutlich kritischer wahrnehmen. Diese Hypothese muss jedoch in weiterführenden Untersuchungen erst bestätigt werden.

Grundsätzlich sollte sich ein integriertes Warnsystem für die Querführungs-Sicherheit an der Kritikalität der Situationen orientieren und die Warnintensitäten entsprechend anpassen. Obwohl Strategie C (system- und teilweise kritikalitätsbasiert) die beste Korrelation und damit die beste Passung zwischen Kritikalität und Intensität aufweist, bevorzugen die Probanden Strategie B (kritikalitätsbasiert) beim finalen Vergleich. Hier scheint sich bei den Fahrern die Erkenntnis durchzusetzen, dass es Spurverlassens-Fälle gibt, die genauso kritisch sind wie ein gefährlicher Spurwechsel (z.B. Spurverlassen in den Gegenverkehr) und vor denen daher mit hoher Intensität gewarnt werden sollte.



## 7 Entwicklung und Bewertung der Kritikalitäts-Raum-Metapher

Das vorige Kapitel widmete sich der funktionalen Integration von Sicherheits-FAS. Es zeigte auf, dass Fahrer unterschiedliche Kritikalitäten in der Querführung unterscheiden können und es deswegen sinnvoll ist, LCA und LDW in ein Gesamtsystem zu integrieren. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen soll nun ein nutzerfreundliches Anzeige-Bedienkonzept für alle Funktionen der Gruppen *Warnungen* bzw. *Sicherheit* entwickelt werden.

### 7.1 Anforderungen an ein integriertes ABK für Sicherheits-FAS

Für ein Fahrzeug-ABK müssen grundlegende Anforderungen berücksichtigt werden, die in einer Reihe von Normen festgelegt werden. Eine der grundlegendsten ist die DIN ISO 15005, darüber hinaus existieren Anforderungen und Guidelines aus zahlreichen anderen Quellen. Für die aktuellen Sicherheits-FAS in Serie sind z.B. die Standards ISO-17387 (2006, LCA), SAE-J2802 (2006, Blind Spot Detection), ISO-17361 (2007, LDW) sowie ISO-15623 (2002, FCW) relevant. Darüberhinaus enthalten RESPONSE3 (2006) und die AAM (2006) allgemeingültige Forderungen für alle Fahrerassistenzsysteme. Darauf soll an dieser Stelle jedoch nicht im Detail eingegangen werden – Manstetten und Krautter (2002) sowie Schindhelm et al. (2004) geben einen hervorragenden und umfassenden Überblick über dieses Themengebiet. Vielmehr soll herausgearbeitet werden, welche *speziellen* Anforderungen an ein ABK für Sicherheits-FAS entstehen, dass anders als bisher Funktionen zusammenfasst und damit notgedrungen vereinfachen muss.

Die heute bekannten Sicherheits-FAS in Serienfahrzeugen decken mit ihrem ABK vier Anwendungsfälle ab: die *Interaktion(en)* während des Nutzfalles, die *Aktivierung/Deaktivierung* sowie optional die *Konfiguration* des Systems und die *Verfügbarkeit*. Diese ABK-Anteile seien im Folgenden am Beispiel des BMW 7er (BJ 2008) erläutert. Das Fahrzeug ist mit bis zu drei Sicherheits-FAS ausgestattet: Spurwechselwarnung (LCA), Auffahrwarnung (FCW) und Spurverlassenswarnung (LDW). Abbildung 7.1 zeigt die Platzierung der Bedienelemente zur Aktivierung/Deaktivierung, Abbildung 7.2 die restlichen Anwendungsfälle am Beispiel von FCW und LDW.



Abbildung 7.1: Fahrerassistenz-Bedienleiste des BMW 7er (BJ 2008)

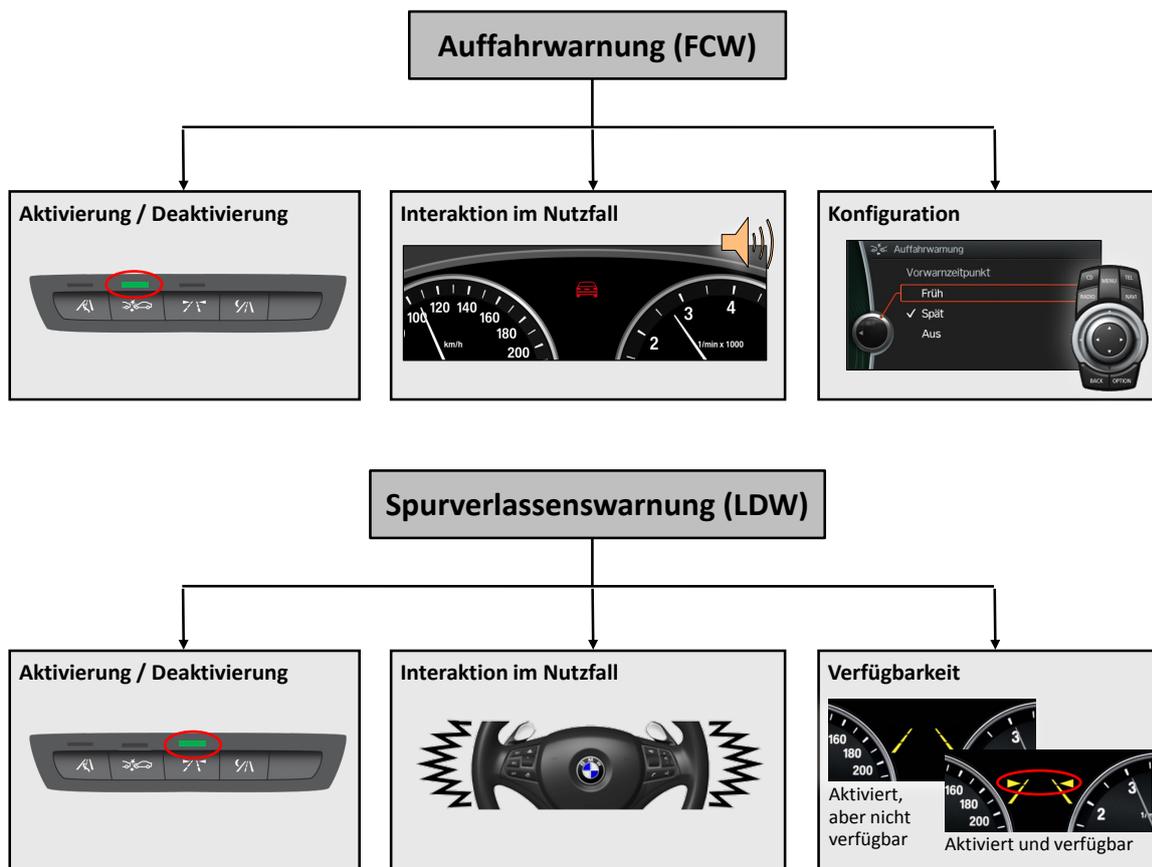


Abbildung 7.2: ABK-Anteile für FCW und LDW

### 7.1.1 Interaktion im Nutzfal

Ein sicherheitsrelevantes FAS soll einen Unfall bzw. eine kritische Situation vermeiden oder zumindest abschwächen. Hierzu gibt das System Warnungen aus, greift evtl. kurzzeitig in die Fahrzeugführung ein und übernimmt im Extremfall ein vollständiges Manöver – z.B. bei einer automatischen Vollbremsung. Die Warngaben sind auf Nutzfal und Systemqualität abgestimmt und enthalten häufig mehrere Eskalationsstufen. So gibt das Auffahrwarnsystem des BMW 7er (2008) zuerst eine dezente Vorwarnung aus (rotes, nicht blinkendes Fahrzeugsymbol in Kombi und HUD). Dieser folgt notfalls eine massivere Akutwarnung, bei der das Symbol blinkt und von einem durchdringenden Warnton begleitet wird. Fortgeschrittenere Varianten können zusätzlich anbremsen oder das Fahrzeug sogar bis in den Stillstand verzögern. Die Warnsymbole sind ohne Ausnahme im primären frontalen Sichtbereich platziert (Kombi-Instrument und Head-Up Display), da diese am nächsten zum Ort der Gefahr sind und den Blick des Fahrers nach vorn lenken. Diese Auslegung findet sich in ähnlicher Form für viele Warnfunktionen der Längsführung (mit Ausnahme der Parkfunktion PDC (Park Distance Control; Katzwinkel et al., 2009), die meistens im zentralen Display angezeigt wird).

Ein Spurwechsel-Assistent hingegen platziert seine Anzeigen in der Nähe des Außenspiegels und warnt zusätzlich mit Warntönen oder einer Lenkradvibration. Die Anzeige im oder am Spiegel unterstützt die Blickführung des Fahrers bei der Spurwechselplanung und lenkt den Blick auf die Problemursache. Eine Warngabe in Kombi und / oder HUD wäre hier kontraproduktiv, zusätzlich wird die Blickführung von der ISO-17387 (2006) empfohlen.

Wie in Kapitel 6 gezeigt wurde, bietet sich bei vielen Warnfunktionen eine Zusammenfassung und Vereinheitlichung der Ausgaben an – siehe z.B. die Arbeiten von Thoma (2010), Gijssel et al. (2007) und Ho (2006). Dennoch bleibt festzuhalten, dass für die vollständige Zusammenfassung der Interaktionsausgaben von Quer- und Längsführung weiterer Forschungsbedarf besteht. Daher wird für diese Arbeit nach wie vor zwischen beiden Führungsarten unterschieden – Problemursache, Blickverhalten des Fahrers beim Auftreten der Situation, Handlungshinweis und gewünschte Reaktion sind zu unterschiedlich.

Die Interaktion im Nutzfal muss zusätzlich auf die *Systemqualität* abgestimmt sein, da sie direkten Einfluss auf die Akzeptanz der Funktion hat. Die Akzeptanz beeinflusst Kaufmotivation, Lern- und Nutzungsbereitschaft (Gayko, 2009; Zwerschke, 2006; Eckstein, 2008; Kompass, 2008; Ziems, 2004; Happe und Lütz, 2008; Steininger et al., 2008) – und ist häufig die Achillesferse neuer Systeme. Warnungen und Eingriffe sollten gemäß der Idee eines unfallvermeidenden Systems dann und nur dann zum Einsatz kommen, wenn wirklich ein Unfall zu entstehen droht bzw. die Kritikalität der Situation so hoch ist, dass der Fahrer die Warnung als gerechtfertigt empfindet. Wird das System hingegen in einer als ungefährlich empfundenen Situation aktiv oder warnt häufig umsonst (Falschalarm), hat dies zwiespältige Effekte (Breznitz, 1984). Die Funktion wird hinsichtlich ihrer spezifischen Warngaben zwar transparenter und lässt sich schneller lernen (siehe z.B. LDW), im Langzeitgebrauch jedoch stören die unnötigen und antizipierbaren Falschwarnungen (Kompass und Reichart, 2006; Kompass, 2008; Breuer, 2009; Gayko,

2009). Auch ausgebliebene Warnungen (*Misses*) in kritisch erlebten Situationen verringern letztlich die wahrgenommene Performance und damit die Akzeptanz. Zu guter Letzt fordern aktive Eingriffe in die Fahrdynamik höhere Systemqualität als einfache Warnungen, da der Fahrer schwerwiegendere Fehler schlechter verzeiht (Hoffmann und Gayko, 2009).

Berücksichtigt man diese Aspekte, ergeben sich für die Interaktionsausgaben in einem integrierten ABK folgende Anforderungen:

1. Die Warnausgaben integrierter Sicherheits-FAS müssen Fahrerverhalten, Blickführung und Nutzfälle genauso beachten wie die jeweiligen Einzelsysteme.
2. Aufgrund der unterschiedlichen Handlungshinweise und Reaktionen sollen Längs- und Querführung auch in einem integrierten ABK getrennt behandelt werden. Für optische Warnungen der Längsführung sind Kombi und Head-Up Display als frontale Primärdisplays zu verwenden. Die Warnungen können durch Akustik und kinästhetische Ausgaben wie Anbremsen unterstützt werden. Für die Querführung ist der Bereich um die Außenspiegel für optische Ausgaben vorzuziehen. Warnungen in diese Bereich können alternativ oder zusätzlich Akustik und haptische Ausgaben am Lenkrad (Vibrationen, Gegenmomente) nutzen.
3. Es sollten maßgeblich Einzelfunktionen mit vergleichbarer Systemqualität integriert werden, um ein einheitliches Bild zu erzeugen.

### Konfiguration

Welche Warnausgaben bzw. -eingriffe der Fahrer als gerechtfertigt empfindet, hängt von einer großen Zahl an Faktoren ab und ist hochgradig subjektiv. Neben den beiden wichtigen Faktoren *Fahrstil* und *Fahrerfahrung* beeinflussen diverse physiologische und psychologische Aspekte das wahrgenommene Risiko bzw. die Wahl der Sicherheitsgrenzen (Mann, 2007). Geltungsdrang, Fahrspaß und Risikofreudigkeit (Näätänen und Summala, 1976; zitiert in Mann, 2007) gehen hierbei genauso ein wie Fahrtzweck, Tageszeit und Fahrerzustand (Zöllner, 2004). Eine gute Übersicht über die Vielzahl dieser Faktoren bietet Mann (2007), der diese in *intrinsische* (von innen, z.B. Einstellung des Fahrers, Fahrstil) und *extrinsische* Faktoren (von außen, z.B. Umwelteinflüsse) einteilt. Würde ein System all diese Faktoren kennen, könnten Warnungen und Eingriffe mit an Perfektion grenzender Qualität ausgegeben werden. Während die extrinsischen Faktoren jedoch mit entsprechender Sensorik in Grenzen bestimmt werden können, sind die intrinsischen bzw. humanen Faktoren deutlich schwerer messbar. Zwar arbeiten Forscher seit langem an Algorithmen, um z.B. den Fahrstil eines Fahrers automatisch zu bestimmen und Assistenten dann an die jeweilige Situation zu adaptieren. Diverse Publikationen weisen hier auf beachtliche Erfolge hin (Kopf et al., 2004a; Ebersbach, 2005; Deml et al., 2007; Hoch et al., 2007; Büker et al., 2007). Dennoch steckt die Umsetzung in Serienfahrzeugen aufgrund der aufwändigen Sensorik (z.B. Blickerkennung) und damit ungünstigen Wirtschaftlichkeit noch in den Kinderschuhen – die Sensorik zur Erkennung des Fahrerhaltens muss sich meist auf bereits vorhandene Hardware wie Pedale, Lenkrad, Bedienelemente etc. beschränken.

Dies führt dazu, dass die Warnzeitpunkte von Sicherheits-FAS nicht immer für alle Fahrer bzw. alle denkbaren Situationen, Fahrtzeiten, Fahrstile etc. optimal ausgelegt werden können. So kann eine auf einen durchschnittlich ausgelegte Auffahrwarnung für sportliche Fahrer (= geringe TTCs) häufig unangebracht erscheinen, während sie für konservative Fahrzeuglenker schon zu spät bzw. zu selten kommt. Daher finden sich bei etlichen Serienlösungen diverse Konfigurationsmöglichkeiten, mit denen der Fahrer das System auf seine Bedürfnisse anpassen kann. Die Einstellungsmöglichkeiten fallen stark unterschiedlich aus. So lassen sich bei der Spurverlassenswarnung des Audi A8 (BJ 2010) sowohl Warnzeitpunkt als auch Vibrationsstärke des Lenkrads einstellen, während der BMW 5er (BJ 2010) auf jegliche Konfiguration verzichtet. Hinsichtlich der Adaption von FCW hingegen zeigen sich ähnliche Ausprägungen: in beiden Fahrzeugen kann die *Vorwarnung* zeitlich verändert oder ganz abgeschaltet werden, die *Akutwarnung* hingegen ist unveränderlich und kann nur mit dem kompletten System abgeschaltet werden.

Damit kommen für die Konfiguration der Systeme folgende Anforderungen hinzu:

4. Das ABK muss die Möglichkeit vorhalten, einzelne Parameter oder Funktionen eines Systems mittels einer Konfiguration zu beeinflussen.
5. Die Konfiguration soll nur den absolut notwendigen Bedarf abdecken, um die Gesamtinteraktion nicht unnötig zu verkomplizieren. Es sind daher nicht für jedes System per se Einstellmöglichkeiten anzustreben.

### **Aktivierung/Deaktivierung**

Die Aktivierung und Deaktivierung eines gesamten Systems wird von den Normen ISO-15623 (2002), ISO-17361 (2007) und ISO-17387 (2006) für FCW, LDW und LCA nicht speziell gefordert, sondern nur als Möglichkeit erwähnt. Im Sinne eines möglichst sichereren Gesamtverkehrs wäre es sinnvoll, Sicherheits-FAS gar nicht mehr abzuschalten. Die schützenden Funktionen würden so oft wie möglich unfallverhindernd wirken, vergleichbar mit ABS, das sich in modernen Fahrzeugen gar nicht mehr abschalten lässt. Die Systemqualität der Systeme lässt dies jedoch momentan noch nicht zu. Sie sind daher deaktivierbar ausgelegt und bleiben abgeschaltet, bis der Fahrer sie wieder aktiviert (keine Reaktivierung nach Fahrzeugstart, sogenannte *last mode-Auslegung*). Mit steigender Systemqualität, höheren Anforderungen an die Verkehrssicherheit und zunehmendem Vertrauen der Kunden in die Systeme ist jedoch zu erwarten, dass Systeme wie die akute Auffahrwarnfunktion mit Vollbremsung in naher Zukunft immer aktiv sein werden.

Hinsichtlich der *Anzeige* des Einschaltzustands sind die Normen etwas konkreter. ISO-17387 (2006, LCA) fordert eine eindeutige Anzeige, wenn das System manuell aktiviert / deaktiviert werden kann, auch ISO-17361 (2007, LDW) und ISO-15623 (2002, FCW) verlangen selbst ohne manuellen Schalter eine Anzeige des Systemzustands. Werden die Systeme integriert, stellt sich die Frage, ob jeder einzelne Zustand ablesbar sein muss oder eine Art Gesamtstatus ausreichend ist. Vermutlich haben dedizierte Statusanzeigen

für jedes einzelne System Vorteile hinsichtlich Erstkontakt und Verständnis, dennoch kann auch eine reduzierte Variante ausreichend sein. Als Kompromiss ist eine Lösung möglich, bei der der Fahrer den Gesamtstatus jederzeit und die Zustände der einzelnen Funktionen mittels zusätzlicher Bedienung einsehen kann.

Zusammenfassend wird hinsichtlich der Aktivierungsmöglichkeit integrierter Sicherheits-FAS sowie der Statusanzeigen folgendes festgehalten:

6. Alle Sicherheits-FAS müssen vom Fahrer manuell aktiviert und deaktiviert werden können.
7. Der Fahrer muss den Aktivierungszustand einer Systemgruppe direkt im ABK ablesen können.
8. Der Fahrer muss weiterhin die Möglichkeit haben, grundsätzlich auch den Aktivierungszustand einzelner Systeme der Gruppe einsehen zu können, gegebenenfalls mit zusätzlichem Bedienaufwand.

### **Verfügbarkeit**

Fahrerassistenzsysteme sind auf Sensoren angewiesen, die bestimmten technischen Einschränkungen unterliegen. So kann z.B. eine Videokamera nur dann eine Spurlinie erkennen, wenn diese auf der Straße vorhanden ist. Ebenso ist sie auf ausreichende Beleuchtung und klare Sicht angewiesen. Rahmenbedingungen dieser Art führen bei den meisten FAS dazu, dass das System nur innerhalb bestimmter Systemgrenzen verfügbar ist. Obwohl die Entwickler diese Grenzen möglichst weit ziehen, ist für manche Systeme eine Anzeige der Verfügbarkeit sinnvoll (siehe Abbildung 7.2). Mit dieser Anzeige kann der Fahrer z.B. nachvollziehen, warum keine Spurverlassenswarnung ausgegeben wurde, obwohl die Spurlinie überschritten wurde – z.B. weil er weniger als 70 km/h fuhr (bmw.com, 2008b). Verfügbarkeitsanzeigen haben den großen Vorteil, dass sie das Lernen der Systemfunktion unterstützen. Dennoch ist umstritten, wie hilfreich diese Information in einem konkreten Warnfall wirklich ist – schließlich prüft der Fahrer nicht erst die Systemverfügbarkeit, bevor er sich in eine gefährliche Situation begibt. Da die Sicherheits-FAS darüberhinaus konsequent in Richtung besserer Verfügbarkeit optimiert werden, werden diese Anzeigen im integrierten Konzept nicht berücksichtigt.

## **7.2 Entwicklung der Kritikalitäts-Raum-Metapher**

Anhand des Funktionspools aus Kapitel 3 ist nachvollziehbar, dass ein neues Bedienkonzept einerseits die heute serienreifen als auch zukünftig kommende Funktionen abdecken muss. Die am Beispiel des BMW 7er aufgezeigte, geometrische Gruppierung von Bedienelementen ist eine naheliegende Lösung. Abhängig von der Funktionsmenge stößt diese Lösung jedoch bald an ihre Grenzen: der Nutzer ist schnell überfordert, wenn zu viele einzelne Bedienelemente überblickt werden müssen. Im Folgenden wird daher eine Alternative für die große Menge an Funktionen in der Gruppe *Warnungen* entwickelt, die sich auf ein anderes mentales Modell stützt.

### 7.2.1 Fahrraum und Sicherheitszone

Die Funktionen der Gruppen *Warnungen* sowie *Bremsen/Eingriff* werden unter dem Begriff *Sicherheit* zusammengefasst (Abschnitt 5.7.3). Wenn ein ABK diesen recht abstrakten Begriff zentral adressieren und beim Nutzer auf ein möglichst intuitives Verständnis bauen will, bietet es sich an, eventuell vorhandene mentale Modelle dieses Begriffes heranzuziehen. Gibson und Crooks (1938) veröffentlichten eine Arbeit zum „*field of safe travel*“ (übersetzt in etwa „*sicherer Fahrraum*“), in der sie als eine der ersten versuchen, die Fahraufgabe modellhaft zu beschreiben. Die Autoren beschreiben den sicheren Fahrraum als eine imaginäre, dynamische Fläche vor dem Fahrzeug, die die Sammelmenge aller ungehindert passierbaren Wege zu einem bestimmten Zeitpunkt ist. Diese Fläche wird beeinflusst durch Objekte, Straßenbebauung und andere Verkehrsteilnehmer und stellt die Zone dar, in der sich das Fahrzeug sicher bewegen kann.

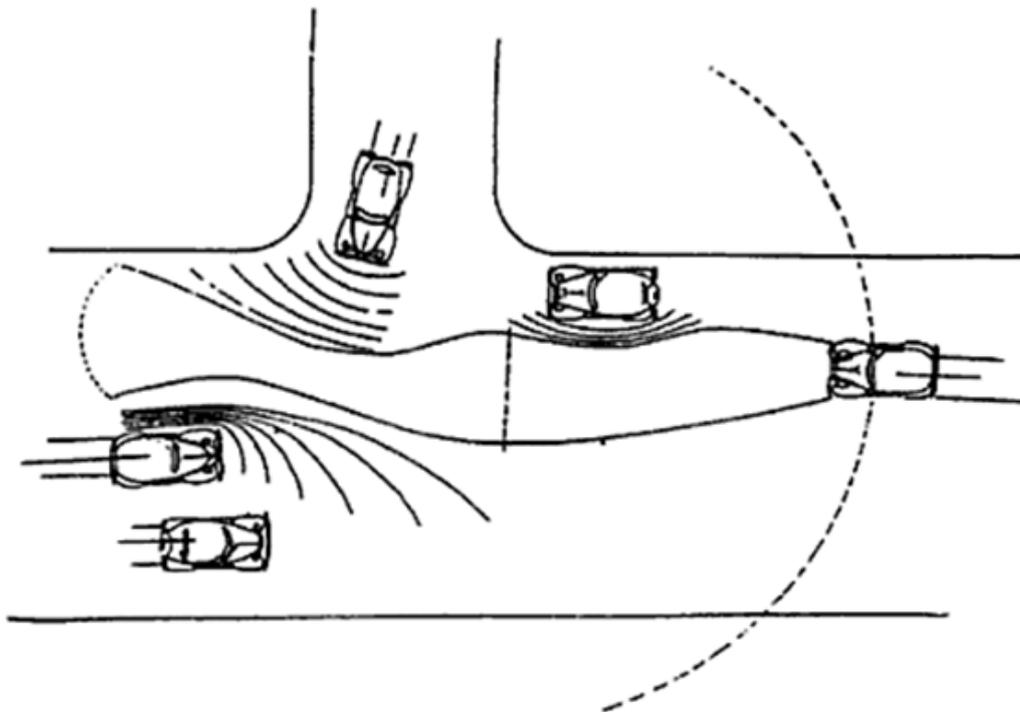


Abbildung 7.3: Field of Safe Travel nach Gibson und Crooks (1938)

Wenngleich die psychologischen Modelle des Fahrerverhaltens im Laufe der Zeit deutlich komplexer und vielschichtiger wurden, so findet sich die Idee der *Sicherheitszone* oder auch *Sicherheitsgrenze* („*safety margin*“) in vielen anderen Publikationen wieder, oft auch in Verbindung mit dem Begriff des *Risikos*. So nimmt z.B. Wilde (1982) in seiner umstrittenen Risiko-Homöostase-Theorie an, dass Fahrer ein individuelles, toleriertes Ziel-Risiko haben und ihr Fahrverhalten danach ausrichten. Nimmt das subjektiv wahrgenommene Risiko durch technologischen Fortschritt ab (z.B. die fälschliche Annahme eines grundsätzlich kürzeren Bremswegs durch ABS), dann wird der Fahrer dies durch eine riskantere Fahrweise kompensieren, um wieder auf das von ihm angestrebte und akzeptierte Risikolevel zu kommen. Diese provokante Aussage wird durch einige Daten gestützt, von anderen aber auch widerlegt (siehe dazu Jürgensohn, 1997, S.27).

Näätänen und Summala (1976) grenzen sich mit ihrem Zero-Risk-Threshold Modell bewusst ab und postulieren, dass die Fahraufgabe größtenteils automatisiert abläuft und der Fahrer nur in außergewöhnlichen Situationen das Risiko bewusst wahrnimmt. Die Sicherheitsgrenze spielt dabei eine entscheidende Rolle – ist sie zu gering und übersteigt das Risiko einen gewissen Wert, fühlt sich der Fahrer unwohl und adaptiert sein Fahrverhalten – z.B. indem er größere Abstände einstellt oder langsamer fährt.

In einer späteren Publikation verbindet Summala (2007) die von Gibson und Crooks (1938) sehr anschaulich als zungenförmige Fläche illustrierte Sicherheitszone vor dem Fahrzeug mit dem Konzept der *Proxemik*. Dieser von Hall (1966) eingeführte anthropologische Begriff beschreibt die kulturabhängigen, räumlichen Abstände zwischen Menschen und ihre Bedeutung für die Interaktion. Hall unterscheidet dabei drei persönliche Distanzzonen sowie eine öffentliche Distanzzone, die man sich anschaulich als Kreise mit verschiedenen Radien vorstellen kann. Die intime Zone ist für Familienmitglieder und enge Freunde vorbehalten, während die anderen Zonen jeweils für weniger vertraute Personen geeignet sind.

### 7.2.2 Transfer auf Fahrerassistenzsysteme

Summala (2007) überträgt die imaginären Zonen der Proxemik mental als *kritische Distanzen* auf den Ansatz von Gibson und Crooks (1938) und sieht sie als unterschiedliche Sicherheitszonen um den Fahrer herum. Sie sind veränderlich mit der Fahrzeuggeschwindigkeit – je schneller man fährt, desto mehr Sicherheitsabstand wird gegen mögliche eindringende Objekte vorn benötigt. Das essentielle Maß für das Sicherheitsgefühl ist dabei der *Abstand* zu einer möglichen Kollision.

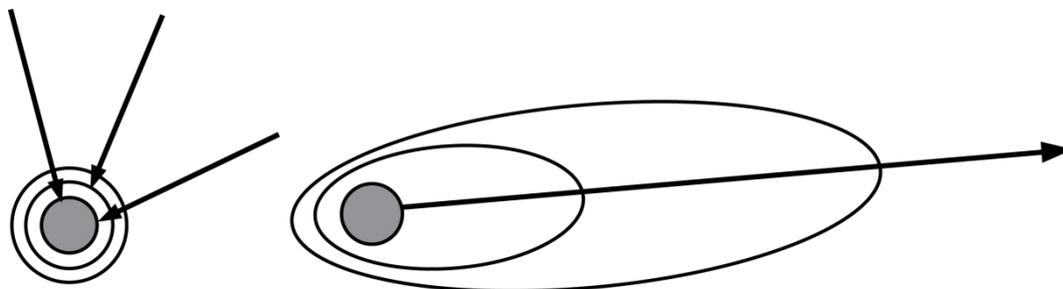


Abbildung 7.4: Safety Zone nach Summala (2007)

*Abstand* ist hierbei nicht vorrangig geometrisch zu verstehen. Vielmehr schätzen Fahrer das Sicherheitsrisiko über Zeitmaße ab – vorrangig die *Time-to-collision* (TTC) in Bezug auf andere Verkehrsteilnehmer bzw. die *Time-to-line-crossing* (TLC) für die Lage in der Spur (Summala, 2007; Mann, 2007; Ehmans, 2002]. Diese beiden wichtigen Maße lassen sich nach Winner (2009) vereinfacht folgendermaßen berechnen lassen:

$$TTC = \frac{d}{|v_{Ego} - v_{Fremd}|} [sec]$$

$$TLC = \frac{b_{Spur}/2 - b_{Eo}/2 \pm x_{off}}{v_{Ego} \cdot \sin(\psi)} [sec]$$

Dabei gilt:

- $d$ : Abstand zwischen Eigen- und Fremdfahrzeug bzw. Vorderfahrzeug
- $v_{Ego}, v_{Fremd}$ : Geschwindigkeiten von Eigen- und Fremdfahrzeug
- $b_{Spur}, b_{Fzg}$ : Spurbreite und Fahrzeugbreite
- $x_{off}$ : Ablage bzw. Abweichung von der Spurmitte
- $\psi$ : Gierwinkel

Speziell für die TLC existieren präzisere Berechnungen als die angegebene einfache Formel, siehe z.B. Mammari et al. (2006) oder Mann (2007). Hulst (1999) sieht neben der TTC speziell für Folgefahrten zusätzlich den *Time Headway* (TH) als entscheidende Kontrollbedingung:

$$TH = \frac{d}{v_{Ego}} [sec]$$

Im Unterschied zur TTC gibt die TH an, wie viel Zeit zwischen dem Passieren eines Kontrollpunktes durch zwei hintereinander folgende Fahrzeuge vergeht, das Maß gibt also den zeitlichen Abstand bzw. Sicherheitsabstand an, für den beim Führerscheinerwerb ca. 2 sec als Richtlinie gelten.

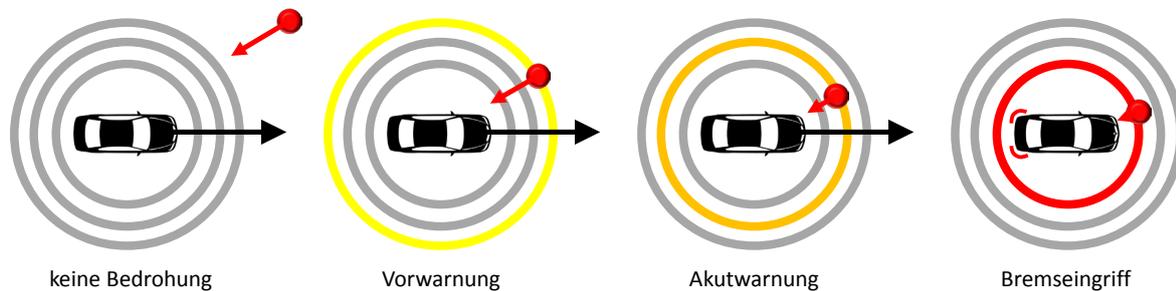
Die drei Maße TTC, TLC und TH können also als Anhaltspunkt für die vom Fahrer gewählten Sicherheitsgrenzen gelten – der Fahrer schätzt sie ab und wählt sie normalerweise so, dass er nach seinem Ermessen auf Gefahren ausreichend reagieren kann (Hulst, 1999). Sie gehen bei einem Großteil der Sicherheits-FAS in die Berechnung der Warnausgaben und damit in die Interaktion im Nutzfall mit ein. Die mit diesen Zeitmaßen ausgedrückte *Entfernung zur Problemursache* kann in einem neuen mentalen Modell gewinnbringend verwendet werden.

### 7.2.3 Metapher zur Kombination von Kritikalität und Raum

Das mentale Modell der Sicherheitsgrenzen kann über den Ansatz von Hall (1966) bzw. Summala (2007) anschaulich mit einer *Schutzschild-Metapher* verglichen werden. Dazu muss sich der Betrachter als erstes vom Denken in Einzelsystemen lösen und sich stattdessen ein imaginäres, kugelförmiges Schutzschild vorstellen, das jegliches von außen zum Fahrzeug vordringendes Objekt abfängt – ähnlich dem Schutzschild eines Raumschiffs. In einer zweidimensionalen Ansicht sind die Sicherheitsgrenzen kreisförmig ums Fahrzeug aufgespannt und sichern es in alle Richtungen ab. Lässt man mehrere konzentrische Schilde zu, kann dadurch mehr oder weniger Schutz aufgebaut werden.

Verbindet man weiterhin *große* Ringe mit vom Ego-Fahrzeug *weiter entfernten* Gefahren und damit *höheren Zeitmaßen*, stehen diese für frühe Vorwarnungen bzw. Informationen.

Engere Ringe entgegen enthalten akute bzw. kritische Warnungen. Bildlich gesprochen, muss auf diese Weise ein eindringendes Objekt mehrere Ringe „durchschlagen“, bevor es auf das Ego-Fahrzeug trifft. Diese Assoziation lässt sich idealerweise an einem Auffahrwarnsystem mit Bremsengriff demonstrieren:



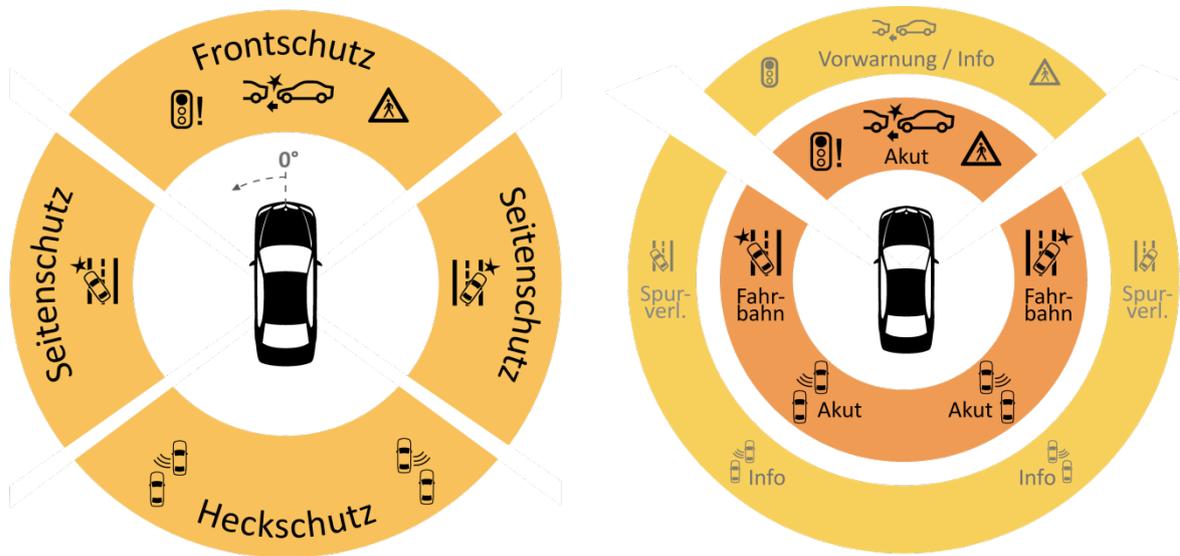
**Abbildung 7.5:** Veranschaulichung der Metapher anhand eines Auffahrwarnsystems

In Anlehnung an Kapitel 6 kann hier auch von diskreten *Kritikalitätsstufen* gesprochen werden, die mit zunehmender Entfernung vom Ego-Fahrzeug abnehmen. Für einen Rundumschutz muss das Fahrzeug idealerweise für jeden Eintrittswinkel, jede Art von Gefahr und jede Kritikalitätsstufe eine geeignete Warnung ausgeben. Der Fahrer könnte über Aktivierung/Deaktivierung der Schutzringe beeinflussen, ob er Vorwarnungen und Informationen erhält oder nur Akutwarnungen bzw. Eingriffe zulässt.

Um die Metapher mit Leben zu füllen, müssen die Sicherheits-Funktionen des Pools in das Ringsystem eingepasst werden. Dabei werden vorerst zwei Ringe als Ausgangspunkt festgelegt, orientiert an der Auslegung vieler Warnsysteme in zwei Stufen (z.B. FCW, siehe ISO-15623, 2002). Davon abweichende Systeme (z.B. LDW oder LCA) müssen entsprechend modifiziert werden oder nur in einem Ring vorhanden sein, worauf später eingegangen wird. Für die Positionierung innerhalb des Kreises soll als zweites Hauptkriterium die räumliche *Richtung* ausschlaggebend sein, aus der die Gefahr droht. Eine Auffahrwarnung wird vor dem Ego-Fahrzeug platziert, weil das Vorderfahrzeug die relevante Gefahr darstellt. Die Spurwechselwarnung warnt vor kritischen Fahrzeugen beim Spurwechsel, die zu diesem Zeitpunkt links oder rechts hinter dem eigenen Fahrzeug fahren – sie wird daher unter ca. 135° bzw. 225° positioniert. Für LDW können unterschiedliche Gefahren wie Gegenverkehr, Leitplanke, Graben etc. auftreten. In diesem Fall zählt der Kollisionsgrund Leitplanke bzw. die Spurlinie als Gefahr, so dass dieses System unter 90° bzw. 270° auftaucht.

Ordnet man die restlichen relevanten Sicherheits-FAS sinngemäß ein, so fällt auf, dass der allergrößte Teil im Frontbereich lokalisiert ist. Warnungen vor roten Ampeln, Fußgängern, Stoppschildern, Gegenverkehr etc. beziehen sich ausschließlich auf Gefahren und Objekte, die sich von vorn nähern. Im seitlichen und hinteren seitlichen Bereich schützen LDW und LCA in noch zu definierender Ausführung. Für die 180° entgegengesetzte Richtung, also für Bedrohungen direkt von hinten findet sich im Funktionspool keine Funktion, in der Literatur hingegen gibt es Vorschläge für solche Systeme (Ho, 2006; Amditis et al., 2005). Die Metapher wird daher insofern vereinfacht, als dass nur zwischen einem Front- und einem Heck-Seitenbereich unterschieden wird (siehe Abbildung 7.6). Dies hat den weiteren Vorteil, dass die Systeme damit gleichzeitig nach der vom Fahrer nötigen

Reaktion gruppiert sind: im Frontbereich muss mit Bremsen (und gegebenenfalls Ausweichen), im Heck-Seitenbereich eher mit Zurücklenken in die eigene Spur reagiert werden.



Einordnung beispielhafter Sicherheits-FAS in die Kreismetapher

Einteilung in zwei Ringe mit Front- und Heck-Seiten-Sektor sowie zugeordnete Einzelfunktionen

**Abbildung 7.6:** Ableitung der Kritikalitäts-Raum-Metapher

Eine Besonderheit zeigt sich bei LDW und LCA: um sie auf die gewünschten zwei Kritikalitätsstufen aufteilen zu können, wird die in Abschnitt 6.3.3 beschriebene kombinierte Systemvariante C verwendet. Diese unterscheidet nicht mehr streng zwischen beiden Systemen, sondern nur zwischen den auftretenden Nutzfällen in zwei Stufen. Der äußere Heck-Seitensektor enthält damit die Funktionen *LCA-Info* (Informationen über relevantes Fahrzeug in Nebenspur) und das wenig kritische Spurverlassen. Der innere Sektor hingegen beinhaltet *Fahrbahnverlassen* sowie sämtliche *akut kritischen Spurwechsel-Fälle* – mit oder ohne Blinker. Nach Kapitel 3 ist dies ein Beispiel für eine notwendige Funktionsmodifikation im Sinne einer neuen Metapher.

Abbildung 7.6 zeigt die Zusammenhänge mit einigen Beispielfunktionen. Begründet durch ihre beiden Hauptkriterien wird das neue Modell als *Kritikalitäts-Raum-Metapher* (KRM) bezeichnet. Die Wahl von exakt zwei Ringen ist willkürlich, eignet sich aber für die meisten Sicherheitsfunktionen. Eine sinnvolle Erweiterung durch einen dritten Ring nach innen bietet sich z.B. an, wenn sowohl für Quer- als auch Längsführung autonome Systeme vorhanden sind, die die kritische Situation gänzlich allein auflösen. In diesem Fall bildete man über die Ringe teilweise die Automatisierungsstufen ab.

### 7.3 Bewertung der Kritikalitäts-Raum-Metapher mit repräsentativer Funktionsauswahl

Die entwickelte Bedienmetapher KRM ist aus abstrakten Überlegungen abgeleitet und kann mit realen Funktionen hinterlegt werden. Offen ist jedoch, inwiefern sich dieses mentale Modell bei den Fahrern etablieren lässt und welche Vor- und Nachteile sich ergeben. Der folgende Abschnitt widmet sich daher der Untersuchung und Bewertung der Idee in der Praxis. Tönert (2009) führte dazu 2008 zwei Untersuchungen durch: einen Versuch zur Übereinstimmung der Nutzererwartungen mit der KRM sowie einen Vergleich des Konzepts mit einem bekannten ABK.

Als Vorbereitung für beide Versuche wurde aus der Gruppe *Warnungen* bzw. *Sicherheit* eine repräsentative Menge von vier Systemen bzw. acht Funktionen ausgewählt. Da die Funktionen verfügbar sein mussten, wurden drei bereits implementierte Serien- und ein zusätzliches Forschungssystem ausgewählt. Jedes dieser Systeme wurde für die Untersuchungen mit jeweils zwei Funktionen umgesetzt – einer Information bzw. Vorwarnung sowie einer Akutwarnung. Der Einfachheit halber wurden Information und Vorwarnung vorerst nicht begrifflich getrennt. Folgende vier Sicherheits-FAS kamen damit zum Einsatz:

#### **Spurwechselwarnung (LCA)**

Die aus Kapitel 6 bekannte Funktion wurden hier entsprechend ihrer Ausprägung nach Konzeptvariante C (kritikalitäts- und systemorientiert) umgesetzt. Die informierende Spurwechsel-Funktion besteht aus einer dunkel leuchtenden LED im Spiegel, die ein relevantes Fahrzeug auf der Nebenspur anzeigt. Sobald der Fahrer den Blinker setzt und damit seinen Spurwechselwunsch anzeigt, lässt die Akutwarnung die LED hell blinken und schaltet außerdem eine Vibration im Lenkrad sowie ein Gegenmoment auf.

#### **Spurverlassenswarnung (LDW)**

Gemäß den in Kapitel 6 gefundenen Ergebnisse ist eine Trennung der Spurverlassenswarnung in wenig kritische und sehr kritische Fälle sinnvoll, so dass auch hier Konzeptvariante C umgesetzt wurde. Als Vorwarnung dient der Hinweis beim Überfahren einer nicht durchgezogenen Linie (= Spurbegrenzung), der sich in einer leichten, durchgängigen Vibration ausdrückt. Durchgezogene Linien (= Fahrbahnbegrenzung) hingegen erzeugen eine stärkere Vibration und ein zusätzliches Gegenmoment.

#### **Auffahrwarnung (FCW)**

Die Auffahrwarnung überwacht den Bereich vor dem Fahrzeug über Abstand und Relativgeschwindigkeit zum Vorderfahrzeug. Bei kritischen Auffahrsituationen löst sie Warnungen in zwei Stufen aus. In dem hier verwendeten Aufbau zeigt die erste Stufe (Vorwarnung) ein rotes, statisches Fahrzeugsymbol im Kombi-Instrument (Abbildung 7.7). Ignoriert der Fahrer diese Stufe, wird kurz vor einem Auffahrunfall die Akutwarnung mit

einem größeren, rot blinkenden Fahrzeug sowie einem Warnton ausgegeben (siehe dazu auch (Kopf et al., 2004b)).

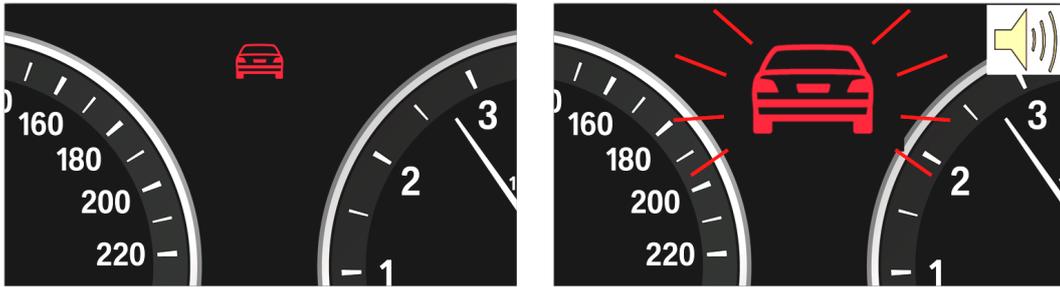


Abbildung 7.7: Vor- und Akutwarnung der Auffahrwarnung FCW

### Gegenverkehrs-Warnung (OTW)

Im Gegensatz zu den vorigen Seriensystemen ist OTW ein neues, speziell für diesen Versuch entwickeltes System. Es sichert den Fahrer beim Überholen auf der Landstraße ab, auch hier mit einer informierenden und einer akut warnenden Funktion. Setzt der Fahrer den Blinker hinter einem langsameren Vorderfahrzeug und zeigt damit seinen Überholwunsch an, erscheint ein statisches, gelbes Warnsymbol im Kombi (gleiche Position wie für FCW). Schert er trotzdem aus, gibt die Akutwarnung ein großes, rot blinkendes Symbol aus und verhindert das Ausscheren mit einer Lenkradvibration sowie einem Gegenmoment (analog Spurwechsel-Warnung). Das System gehört aufgrund fehlender Sensorik noch in das Reich der Forschung, bietet sich aber dennoch für die Bewertung der KRM an. Es berücksichtigt ausschließlich Gegenverkehrs-Fahrzeuge (und ist damit der Herleitung nach vorn angesiedelt), gibt aber andererseits eine haptische Akutwarnung aus, die eher der Querführung zuzuschreiben wäre – hier könnten die Probanden unterschiedliche Funktionszuordnungen ableiten.

Abbildung 7.8 gibt einen Gesamtüberblick über die verbauten Systeme, jeweils mit Vor- und Akut-Warnfunktion.

LCA		LDW		FCW		OTW	
Spurwechsel-Warnung		Spurverlassens-Warnung		Auffahr-Warnung		Gegenverkehrs-warnung	
Vor	Akut	Vor	Akut	Vor	Akut	Vor	Akut

Abbildung 7.8: FAS-Funktionen für die Bewertung der Kritikalitäts-Raum-Metapher

## 7.4 Versuch 1 – Prüfung des mentalen Modells KRM

Die Kritikalitäts-Raum-Metapher ist aus abstrakten, theoretischen Überlegungen abgeleitet und bricht mit der vorherrschenden Denkweise, technische Systeme jeweils als einzelne Einheit zu sehen. Sie fordert dem Nutzer eine völlig neue Sicht der Dinge ab. Tönert (2009) prüfte daher in einem ersten Versuch, inwiefern sich die Metapher in der Denkstruktur der Benutzer finden lässt und ob es damit ausreichende Gründe gibt, die Idee weiter zu verfolgen.

### 7.4.1 Fragestellungen und Hypothesen

Kernidee der KRM sind die Begriffe *Kritikalität* und *Richtung* der Gefahr. Bei der Herleitung wurde erstens angenommen, dass die mentale Verortung eines Sicherheits-FAS bezüglich der Richtung dem Auftreten der Gefahr in der realen Welt folgt (Auffahrunfall vorn, Spurverlassen seitlich etc.). Zweitens wurde postuliert, dass die Entfernung der Gefahr vom eigenen Fahrzeug in Kritikalität transferiert werden kann. Zur Überprüfung dieser Behauptungen werden folgende inhaltliche Hypothesen aufgestellt.

#### Hypothese 1 (Richtung)

Die vom Fahrer empfundene geometrische Position einer Assistenzfunktion rund ums Fahrzeug richtet sich nach der *Richtung*, aus der die dazugehörige Gefahr bzw. das gefährdende Objekt kommt. Als Ausgangspunkt wird das eigene Fahrzeug gesehen, als Richtung zählt die Blickrichtung des Fahrers auf die Gefahr.

## Hypothese 2 (Kritikalität)

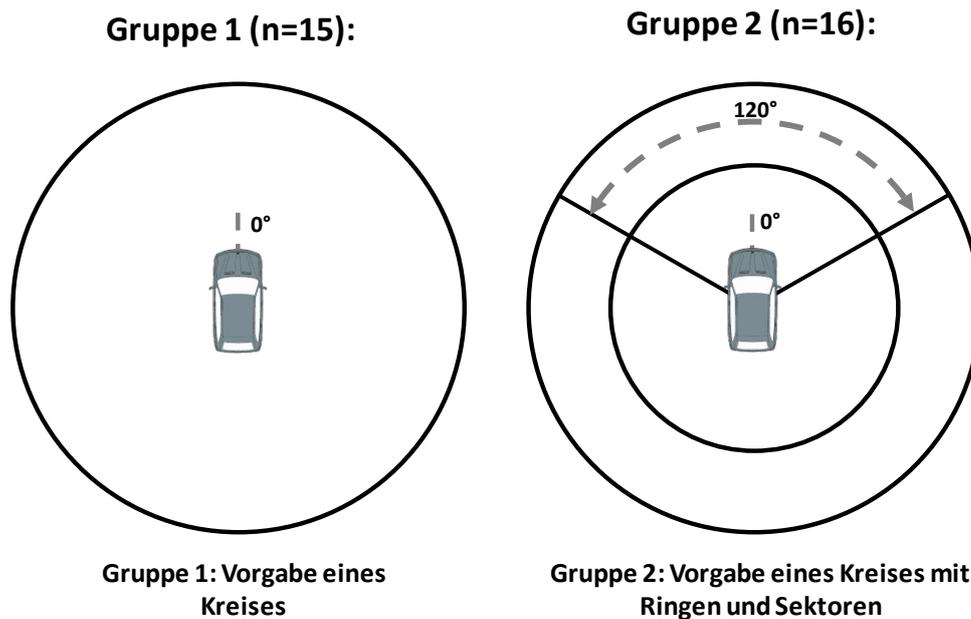
Die Entfernung der Gefahr vom Ego-Fahrzeug repräsentiert die *Kritikalität* – je weiter ein Problem entfernt ist, desto unkritischer ist es. Dies drückt sich darin aus, dass die Probanden Vorwarnungsfunktionen als geometrisch weiter entfernt vom Ego-Fahrzeug wahrnehmen als die sehr kritischen Akutwarnfunktionen.

Beide Hypothesen müssen für jedes System einzeln überprüft werden, da sie nur für einige davon gelten könnten – z.B. weil ein System wie OTW zur Verwirrung im mentalen Modell führt und sich die beiden einfachen Zusammenhänge nicht mehr nachweisen lassen.

### 7.4.2 Versuchsplan und Operationalisierung

Ähnlich den Sortierexperimenten aus Kapitel 5 soll das mentale Modell überprüft werden, indem Probanden Karten in eine geometrische Struktur einsortieren sollen. Auf diese Weise können sowohl die Richtung bzw. der Winkel zum Ego-Fahrzeug als auch die empfundene Entfernung visualisiert werden. Die acht Funktionen werden dabei wieder mit Karten repräsentiert. Im Unterschied zu den Experimenten aus Abschnitt 5.5.1 wird jedoch eine geometrische Struktur in zwei Detaillierungsgraden vorgegeben (Closed Card Sorting). Während die erste Struktur nur einen Kreis als Gesamtbegrenzung vorsieht, sind in der zweiten zwei Ringe vorhanden, die zusätzlich durch einen 120°-Winkel in Sektoren geteilt sein. Damit sind sowohl Richtungen als auch Entfernungen stärker vorgegeben, die Anordnung entspricht dem später zu prüfenden Bedienkonzept. Durch den Vergleich der beiden Strukturen kann ermittelt werden, ob sich durch die zusätzlichen Zwänge ein anderes Bild ergibt als bei einer freieren Sortierung.

Die Varianten werden von getrennten Gruppen bearbeitet, jeder Proband sieht nur einer der beiden Strukturen (between-subject design).



**Abbildung 7.9:** Kreisstrukturen zur Bewertung des mentalen Modells

Anhand der Positionen der einsortierten Karten in diesen Strukturen können die aufgestellten Hypothesen operationalisiert werden:

### **Hypothese 1 (Richtung)**

Die Richtungshypothese kann anhand der Orientierung der Karten zur 0°-Linie (Blickrichtung des Fahrers) überprüft werden:

- $H_{\text{Richtung}, 0}$ : Die Funktionskarten in der Kreisstruktur werden nicht in dem Winkel zur Blickrichtung des Fahrers gelegt, der dem Auftreten der Gefahr in der Realität entspricht.
- $H_{\text{Richtung}, 1}$ : Die Funktionskarten in der Kreisstruktur werden in dem Winkel zur Blickrichtung des Fahrers gelegt, der dem Auftreten der Gefahr in der Realität entspricht.

### **Hypothese 2 (Kritikalität)**

Die Kritikalitätshypothese drückt sich in der Entfernung der Karten vom Ego-Fahrzeug als Zentrum des Kreises aus:

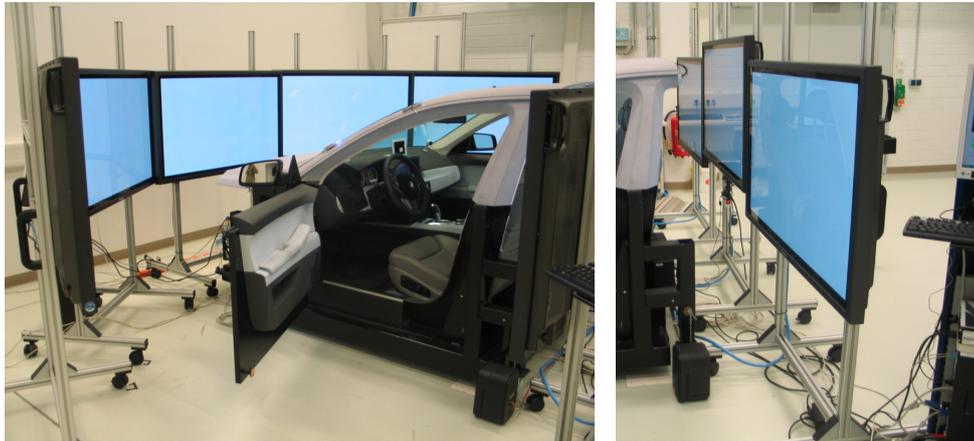
- $H_{\text{Kritikalität}, 0}$ : Die Probanden platzieren die Funktionskarte einer Akutwarnung nicht häufiger näher am Ego-fahrzeug als die dazugehörige Vorwarnung.
- $H_{\text{Kritikalität}, 1}$ : Die Probanden platzieren Funktionskarten für Akutwarnung überdurchschnittlich häufig näher am Ego-Fahrzeug als die dazugehörigen Vorwarnungen.

Für den Versuch muss sichergestellt werden, dass die Fahrer vor der Sortierung der Karten eine genaue Vorstellung der Wirkungsweise der Systeme haben. Aus diesem Grund

müssen alle Funktionen erlebbar umgesetzt sein und in genau definierten Nutzszenarien vorgeführt werden. Erst danach kann die eigentliche Sortierung stattfinden. Dabei ist nur die Interaktion im Gefahrenfall relevant (siehe Abbildung 7.2), weder Aktivierung noch Konfiguration der Systeme sind Gegenstand der Untersuchung.

### 7.4.3 Versuchsaufbau

Der Versuch wurde ähnlich wie in Kapitel 6 (Abschnitt 6.4.4) beschrieben in einem statischen Fahrsimulator der BMW Group Forschung und Technik GmbH aufgebaut. Im Unterschied zu früheren Versuchen kamen hier jedoch Plasma-Bildschirme statt Leinwände zum Einsatz. Architektur, Software und Hardware entsprachen davon abgesehen dem bekannten Aufbau (Anhang B.3).



**Abbildung 7.10:** Versuchsaufbau zur Kritikalitäts-Raum-Metapher

Durch fünf Bildschirme vor und drei hinter der Sitzkiste konnten sowohl Auffahrsituationen als auch Spurwechsel-Szenarien ausreichend gut dargestellt werden. Als Sitzkiste kam die aus Kapitel 6 verwendete Hardware inkl. Lenkrad-Vibrationsaktuator (LDW, LCA) und präparierten Spiegeln für LCA-Anzeigen zum Einsatz. Der Kurs zur Exploration der Assistenzsysteme entspricht im Grundlayout ebenfalls dem schon bekannten, jedoch wurden einfachere Verkehrsszenarien für die Demonstration der acht Funktionen programmiert.



**Abbildung 7.11:** Szenario zur Auslösung der akuten Auffahrwarnung

Abbildung 7.11 zeigt die Situation, die zur Auslösung des FCW provoziert wurde. Während der Proband auf der mittleren Spur fährt, lenkt ihn der Versuchsleiter mit einer Frage zum Instrumentenzustand ab. In diesem Moment wechselt ein Fahrzeug auf der rechten Spur schlagartig in die Mitte und löst damit eine Auffahrwarnung aus.

Für die Sortieraufgabe wurde weiterhin ein großer Tisch im gleichen Raum verwendet, auf dem die jeweilige grafische Vorgabe (Abbildung 7.9) auf einem A0-Plakat ausgedruckt auslag. Die Funktionskarten in der Größe A6 waren direkt darauf zu platzieren. Für die in zwei Richtungen erlebbaren Funktionen (Spurverlassen und Fahrbahnverlassen, Teilfunktionen LDW) waren jeweils zwei Karten vorgehalten, damit die Probanden beide Richtungen abdecken konnten. Abbildung 7.12 zeigt ein Beispiel für ein fertiges Sortierbild.

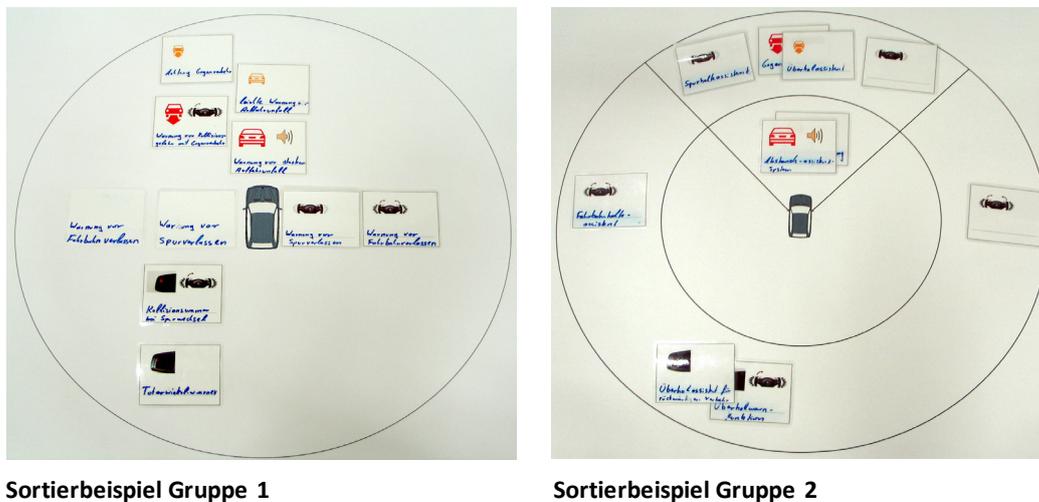


Abbildung 7.12: Beispiele für einsortierte FAS-Funktionen

### 7.4.4 Versuchsablauf

Nach der Begrüßung durch den Versuchsleiter mussten die Probanden einen demographischen Fragebogen ausfüllen. Als erster Versuchsteil folgte die Explorationsfahrt, in der alle Systeme in definierten Nutzfällen erlebt werden konnten. Der Fahrer wurde dabei zu lautem Denken angeregt, wodurch der Versuchsleiter sicherstellen konnte, dass die jeweilige Funktion, ihr Feedback und die dazugehörige Gefahr richtig verstanden worden war. Nach der Explorationsfahrt mussten die Teilnehmer die einzelnen Funktionen benennen. Die Namen wurden auf den jeweiligen Funktionskarten notiert, die zusätzlich ein Piktogramm als Denkhilfe enthielten (z.B. rotes Fahrzeug für FCW oder Lenkrad mit Vibrationslinien für LDW).

Nun folgte die eigentliche Sortieraufgabe. Je nach Gruppenzugehörigkeit sollten alle acht Karten in eine der beiden Kreisstrukturen einsortiert werden. Danach interviewte der Versuchsleiter den Probanden strukturiert, um die Motivation für die Sortierung zu erfahren. Dafür mussten Ausrichtung und relative Entfernung der Karten begründet werden, die Begründung wurde vom Versuchsleiter direkt in der Sortierung vermerkt. Nach dem Interview konnte die Sortierung gegebenenfalls verändert werden, falls der

Proband durch die Diskussionen neue Einsichten hatte. Der Versuchsleiter fotografierte die gelegte Struktur abschließend und verabschiedete den Teilnehmer.

#### 7.4.5 Stichprobe

Der Versuch fand im Oktober 2008 mit insgesamt 31 Probanden statt, aus Geheimhaltungsgründen konnten nur interne BMW-Mitarbeiter teilnehmen. 15 Personen entfielen auf die Gruppe 1 mit einfacher Kreisstruktur, 16 auf die zweite Gruppe mit stärker vorstrukturierter Geometrie. Tabelle 7.1 zeigt eine Übersicht:

**Tabelle 7.1:** Demographische Daten der Probanden für Versuch 1 (Tönert, 2009)

Warnstrategie	Probandengruppe	Alter
Gruppe 1 - Kreis	15 (11 m / 4 w)	Ø = 30,53 Jahre (sd = 7,74, min = 20 J, max = 43 J)
Gruppe 2 - Sektoren	16 (14 m / 2 w)	Ø = 32,31 Jahre (sd = 9,37, min = 23 J, max = 57 J)

Beide Gruppen unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich ihrer Altersdaten. Auch andere, im demographischen Fragebogen abgefragte Details wie der selbsteingeschätzte Fahrstil unterschieden sich nicht.

#### 7.4.6 Ergebnisse

Die Versuchsergebnisse geben Hinweise darauf, inwiefern ein auf der KRM basierendes ABK intuitiv verständlich ist. Als erstes wurden die von den Probanden gewählten Funktionsbegriffe betrachtet. Hier konnte zwischen Problemursache oder -folge (z.B. „Abstands-“, „Crash-“ etc.) im Wortstamm und der Ausgabe der Funktion im Zusatz unterschieden werden („-warnung“, „-hinweis“ etc.). Tönert (2009) identifizierte folgende Begriffe für die acht Funktionen:

**Tabelle 7.2:** Abgeleitete Begriffsbezeichnungen aus Versuch 1 zum mentalen Modell

Funktion	Abgeleitete Bezeichnung	Abkürzung
FCW Vorwarnung	Abstandshinweis	FCW-Vor
FCW Akutwarnung	Auffahrwarnung	FCW-Akut
OTW Vorwarnung	Gegenverkehrshinweis	OTW-Vor
OTW Akutwarnung	Gegenverkehrswarnung	OTW-Akut
LDW Spurverlassen	Spurverlassenshinweis	LDW-Spur
LDW Fahrbahnverlassen	Fahrbahnverlassenswarnung	LDW-Fahrb
LCA Information	Überholverkehrsanzeige	LCA-Info
LCA Akutwarnung	Spurwechselwarnung	LCA-Akut

Er achtete dabei auf eine gute Differenzierung der Vor- und Akutwarnfunktionen mittels der Zusätze „-hinweis“ und „-warnung“ – da der Zusatz „-warnung“ stark dominierte, musste hier von den Probandennennungen abgewichen werden. Darüberhinaus ist die

begriffliche Trennung zwischen einer frühen und späten Warnstufe (*Vor-* und *Akutwarnung*) für Laien nicht ohne weiteres nachvollziehbar.

### **Richtungshypothese**

Die Prüfung der Richtungshypothese ergab sinnvolle Ergebnisse für beide Gruppen. Für die erste Gruppe teilte Tönert den leeren Kreis nachträglich in Sektoren ein und zählte die pro Sektor gelegten Karten. In mehreren Iterationsschritten identifizierte er schließlich die in Abbildung 7.13 gezeigte Unterteilung des Kreises als sinnvollste Struktur. Diese besteht aus den Bereichen *vorn*, *hinten*, *seitlich* und *zentral* besteht und weist die wenigsten Abweichungen zwischen den Probanden. Dabei wurden OTW und FCW von allen Probanden vor das Ego-Fahrzeug positioniert. Etwas uneinheitlicher erscheinen die beiden LCA-Funktionen, die von 60% (LCA Akut) bzw. 63% (LCA Info) nach hinten, vom Rest jedoch jeweils seitlich gelegt wurden. Noch undifferenzierter erscheinen Spur- und Fahrbahnverlassen. Über die Hälfte der Teilnehmer positioniert beide Funktionen seitlich, der Rest verteilt sich auf den vorderen, zentralen und sogar hinteren Bereich. Dennoch erweisen sich neben OTW und FCW auch LCA und LDW in den jeweils stärksten Positionen als signifikant unterschiedlich von einer Gleichverteilung in allen Sektoren (Einstichproben- $\chi^2$  Test). Die Richtungshypothese  $H_{\text{Richtung}, 1}$  wird daher für Gruppe 1 angenommen.

Auch die zweite Gruppe zeigt ein deutliches Bild. Während FCW unverändert von allen Probanden vorn platziert wird, ergibt sich bei OTW eine Abweichung (OTW Akut: 13%; OT Vor: 6%), die sich damit erklären lässt, dass die Blickrichtung auf ein Gegenverkehrsfahrzeug von einigen Probanden stärker als 60% von der Nulllinie entfernt wahrgenommen wurde und die Karte damit im hinteren – seitlichen Sektor auftauchte. Wie bereits vermutet, kann auch die Querführungs-ähnliche Rückmeldung der Akutwarnung eine Rolle spielen. Keine Zweifel traten hingegen bei den LCA-Funktionen auf – beide wurden ausschließlich hinten-seitlich einsortiert. Bei LDW hingegen zeigt sich die bereits aus Gruppe 1 bekanntere größere Unsicherheit, die sich auch prozentual auf ähnlichem Level bewegt. Eine größere Minderheit der Probanden orientieren diese Funktionen vorn. Anhand der strukturierten Interviews fand Tönert heraus, dass diese Personen die Position mit der Blickrichtung nach vorn oder einer von vorn kommenden Kollision (nach dem eigentlichen Spur- / Fahrbahnverlassen) begründeten. Dennoch sind auch hier für alle 8 Funktionen die Schwerpunkte der Platzierungen signifikant unterschiedlich von einer zufälligen Gleichverteilung.  $H_{\text{Richtung}, 1}$  wird also auch hier bestätigt.

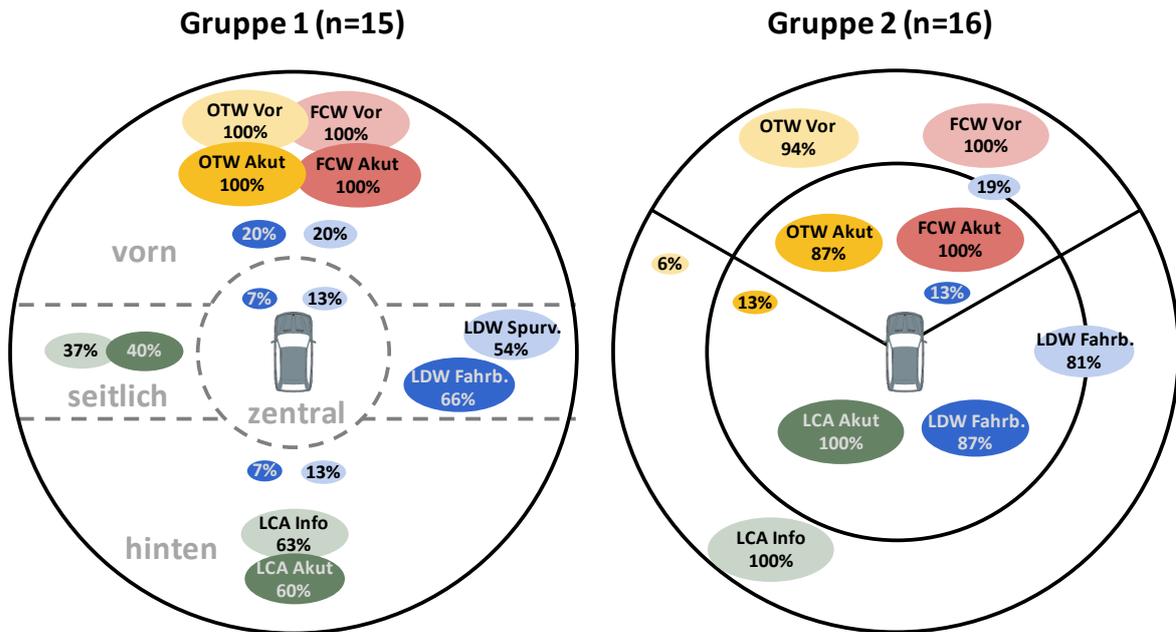


Abbildung 7.13: Verteilung der Funktionskarten in den Kreisstrukturen

### Kritikalitätshypothese

Die Relationen zwischen Vor- und Akutwarnung wurden für Gruppe 1 in drei Ausprägungen kodiert, damit sie mit Gruppe 2 vergleichbar wurden. Liegen die beiden Karten im Kreis aufeinander, werden sie als gleich weit und damit neutral behandelt. In allen anderen Fällen kann eine zum Fahrzeug nähere und eine fernere Karte bestimmt werden. Für die drei Systeme OTW, FCW und LCA konnte anschließend mit Hilfe von Chi<sup>2</sup>-Tests nachgewiesen werden, dass die Akutwarnungen statistisch häufiger näher zum Fahrzeug platziert wurden als die dazugehörigen Vorwarnungen (FCW: Chi<sup>2</sup>=8,067, p=0,005; OTW: Chi<sup>2</sup>=11,267, p=0,001; LCA: Chi<sup>2</sup>=5,400, p=0,020). Dies gilt jedoch nicht für Spur- und Fahrbahnverlassen – die LDW-Funktionen können nicht eindeutig fern oder nah zugeordnet werden. Für Gruppe 1 wird die Kritikalitätshypothese  $H_{\text{Kritikalität}, 1}$  daher nur für drei der vier Systeme angenommen.

Eine eventuelle Erklärung findet sich bei der Prüfung der Hypothese für die zweite Gruppe. Alle Funktionen lassen sich statistisch eindeutig einem der beiden Ringe und damit einer Kritikalitätsstufe zuweisen – mit Ausnahme von *Spurverlassen*. Die Probanden erkennen also die hohe Kritikalität der Fahrbahnverlassenswarnung, können das einfachere Spurverlassen jedoch nicht adäquat dazu positionieren. Auch hier kann  $H_{\text{Kritikalität}, 1}$  also nur eingeschränkt (d.h. für alle Funktionen außer LDW Spurverlassen) angenommen werden.

### Strukturierte Interviews

In den Gesprächen mit dem Versuchsleiter begründeten die Probanden die Ausrichtung ihrer Karten (Richtungshypothese) hauptsächlich anhand der drei Kriterien *Kollisionsobjekt*, *zukünftiger Kollisionsort* und *wahrgenommenes Feedback*. Speziell für die Systeme OTW, FCW und LCA spielte das gefährliche Fremdfahrzeug die entscheidende

Rolle für die räumliche Einordnung der Funktion. Abweichend davon gab die Mehrheit der Probanden für die LDW-Funktionen die Position der Spurmarkierung als Referenz wieder, eine deutliche Minderheit hingegen bezog sich auf die Fahrtrichtung in der Spur oder auf die nach dem Spur- / Fahrbahnverlassen drohende Kollision von vorn (siehe oben).

Hinsichtlich der Kritikalität bzw. Entfernung vom Ego-Fahrzeug nannte die überwiegende Mehrheit der Probanden die Entfernung des gefährlichen Objekts zum Warnzeitpunkt als ausschlaggebend. Damit einher gehen Reaktionszeit und Kollisionswahrscheinlichkeit – und damit die in 7.3.2 angenommenen Werte, die zur Auslösung von Warnungen führen. Bei LDW passt dieses Schema nicht – hier ist jede bewarnte Linie ist zum Zeitpunkt der Warnung direkt neben dem Fahrzeug. Einige Probanden erklärten die schlechte Passung auch damit, dass der Fahrbahnrand bei Fahrt auf der Mittelspur im Vergleich zur Spurlinie immer weiter weg erscheint. Unabhängig davon nannte jedoch ein großer Teil der Probanden den Begriff der *Kritikalität* als übergreifendes Entfernungskriterium nannten.

### 7.4.7 Zusammenfassung Versuch 1 zum mentalen Modell

Es konnte gezeigt werden, dass sich die Kritikalitäts-Raum-Metapher zum größten Teil mit den Erwartungen des Fahrers deckt. Einerseits werden wie vermutet Warnfunktionen mental der Richtung des gefährlichen Objekts zugeschlagen, andererseits werden weniger kritische Situationen als weiter entfernt wahrgenommen als hochkritische. Eine gewisse Ausnahme bildet LDW, das sich nur mit gewissen Verzerrungen in das Modell einfügen lässt, da Kritikalität und Position der Gefahr zum Egofahrzeug nicht eins zu eins mit den anderen Systemen vergleichbar sind. Dennoch zeigt die KRM ein großes Potenzial als umfassende Metapher für Sicherheits-FAS.

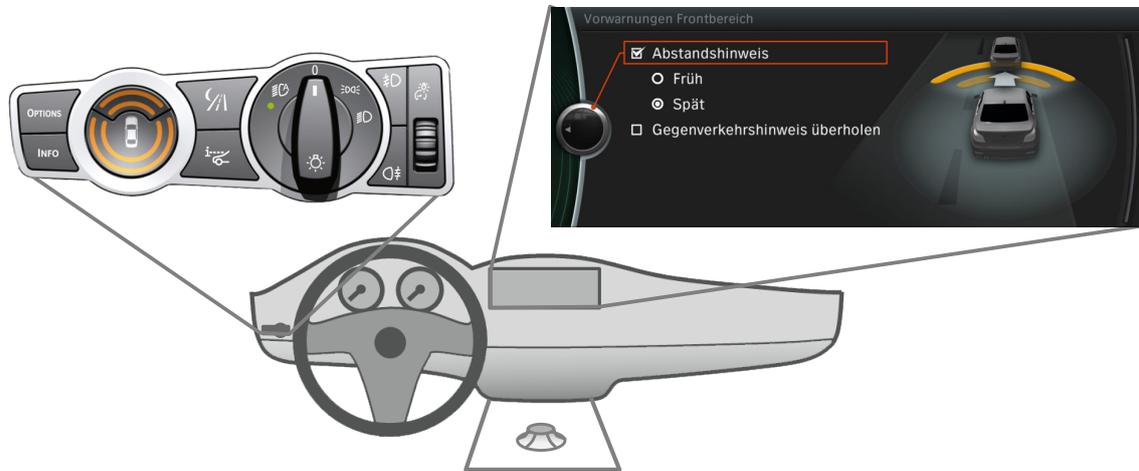
## 7.5 Versuch 2 – Vergleich von KRM und ESB

Die Kritikalitäts-Raum-Metapher (KRM) weicht deutlich von der Einzelsystembedienung (ESB) ab, die Sicherheits-FAS nach den Gestaltgesetzen gruppiert und für jedes der drei relevanten Systeme eine eigene Taste mit Status-LED bietet (Abbildung 7.1). Um Unterschiede in Verständnis und Gebrauchstauglichkeit herauszufinden, wurden beide Ansätze in einem zweiten Versuch verglichen. Tönert (2009) nutzte zu diesem Zweck zwei vorhandene ABK für KRM und ESB mit dem aus Versuch 1 bekannten Funktionsumfang. Die *Interaktion im Nutzfall* blieb in beiden Konzepten unverändert, sie unterschieden sich ausschließlich in den Anwendungsfällen *Aktivierung/Deaktivierung* und *Konfiguration* – hier kamen die verschiedenen mentalen Modelle zum Tragen. Die *Verfügbarkeit* einzelner Systeme wurde nicht angezeigt, da sie nicht im Fokus der Untersuchung lag – alle FAS waren immer funktionsfähig.

### 7.5.1 ABK auf Basis der Kritikalitäts-Raum-Metapher

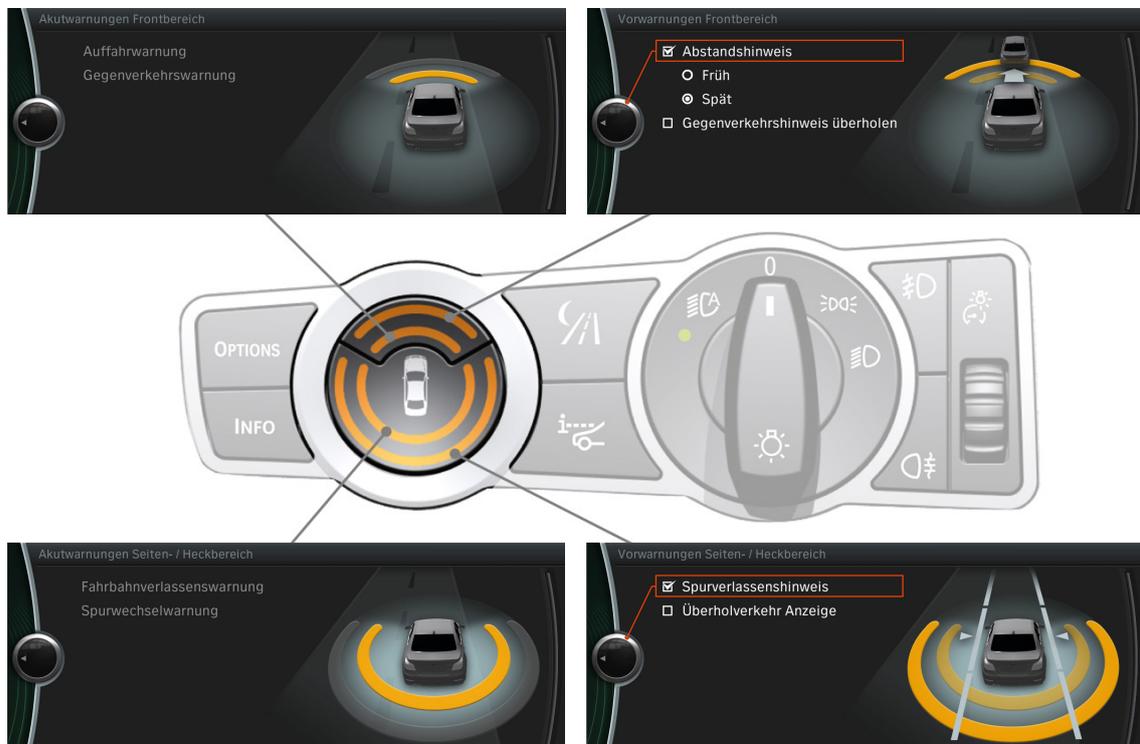
Für das KRM-Konzept wurden die Funktionen entsprechend Abschnitt 7.3.3 auf insgesamt 4 Ringsektoren verteilt. Das Bedienelement besteht aus zwei Tasten mit je zwei bogenförmigen LEDs, die jeweils den Einschaltzustand des jeweiligen Sektors repräsentieren. Es ist gemeinsam mit dem Lichtschalter in einem Panel links in der Instrumententafel untergebracht. Da in einem Sektor jeweils zwei Funktionen gruppiert

sind, leuchtet die LED immer dann, wenn mindestens eine davon aktiv ist. Mit jeder Tastenbetätigung werden die Sektor-LEDs im Kreis durchgeschaltet – beide LEDs aus, innere LED (Akutfunktionen) an, beide LEDs (Akut und Vor) an, beide LEDs aus usw., siehe Abbildung 7.15.



**Abbildung 7.14:** Platzierung von Bedienelementen und Anzeigen im KRM-ABK

Wenn eine LED aufleuchtet bzw. Funktionen aktiviert werden, zeigt das zentrale Display in der Mitte der I-Tafel (CID) eine erläuternde Grafik und eventuelle Konfigurationsmöglichkeiten.



**Abbildung 7.15:** Aktivierungs- und Konfigurationsanzeigen für KRM

Während die beiden inneren Sektoren für Akutwarnungen nicht konfiguriert werden können und durch die grafische Anzeige nur unterstützt werden, können die in den

äußeren Sektoren beheimateten Vorwarnungen abgeschaltet werden. Schaltet der Nutzer beide Vorwarnfunktionen des Sektors im Menü ab, erlischt auch die entsprechende LED am Bedienelement.

### 7.5.2 ABK für Einzelsystembedienung (ESB)

Das Vergleichskonzept für KRM lehnt sich an die Gruppierung von Einzelsystemen im BMW 7er (Abbildung 7.1). Es nutzt eine Gruppe von vier Tastern, die je eine eigene, einfarbige LED besitzen. Mittels des Tasters wird das Gesamtsystem an oder abgeschaltet, die LED zeigt dementsprechend den Einschaltzustand an. Taster und LEDs sind ebenfalls auf der linken Seite der Instrumententafel platziert.

Um vergleichbar zum KRM-Konzept zu sein, umfasst jedes System zwei Funktionen – Vor- und Akutwarnung. Aktiviert der Fahrer ein System per Taster, wird in jedem Fall die Akutwarnung eingeschaltet und die LED leuchtet. Zusätzlich erscheint eine Konfigurationstafel im CID, mit dem die jeweilige Vorwarnfunktion zu- oder abgeschaltet werden kann. Bei der Auffahrwarnung FCW kann zusätzlich noch der Zeitpunkt der Vorwarnung verändert werden. Die LED eines Gesamtsystems bleibt von der Konfiguration unbeeinflusst – sie ist also nicht geeignet, den Aktivierungsstatus der Vorwarnfunktion ablesen zu können. Alle Konfigurationsmenüs erscheinen nur beim Einschalten des Systems, ihre jeweilige Einstellung bleibt jedoch über den Einschaltzustand des Gesamtsystems hinaus erhalten. Die Benennung der Funktionen richtet sich nach den in Versuch 1 abgeleiteten Bezeichnungen – die jeweilige Akutwarnung erscheint als Überschrift in den CID-Tafeln, die Vorwarnfunktionen als Checkbox zum Aktivieren / Deaktivieren.

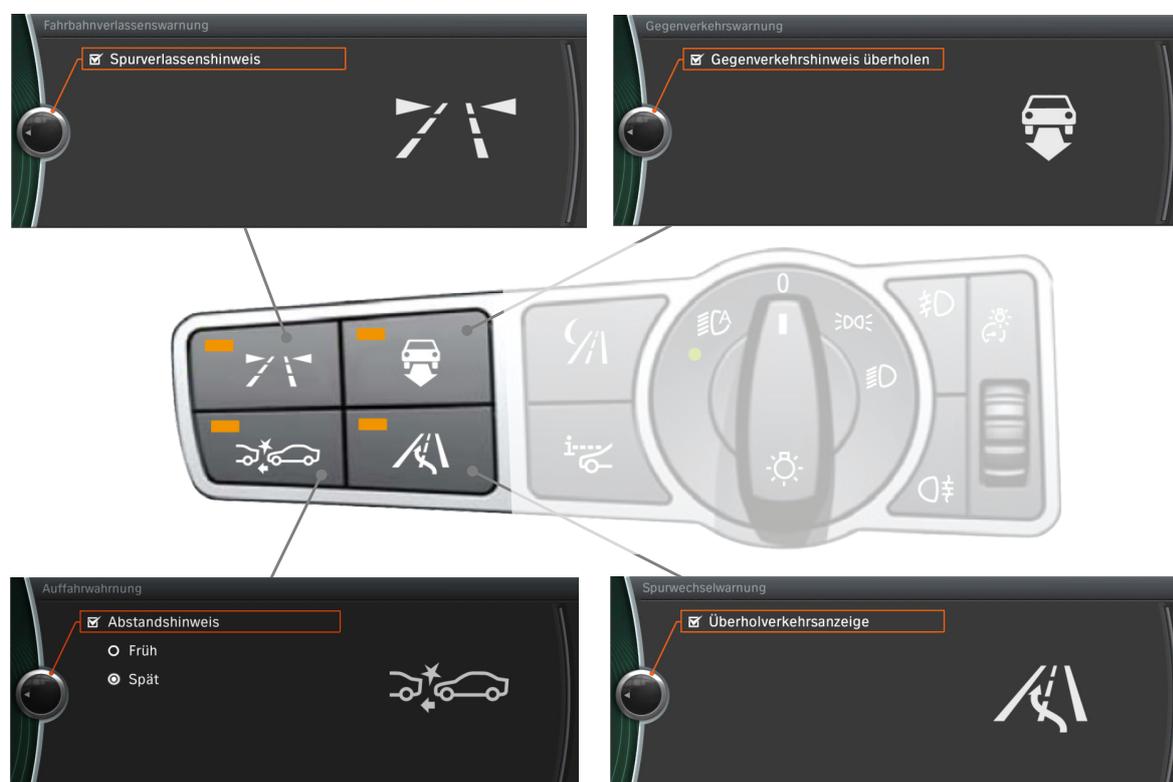


Abbildung 7.16: Einzelsystem-Bedienung (ESB) als Vergleich zum KRM-ABK

### 7.5.3 Fragestellungen und Hypothesen

Zum Vergleich der beiden Konzepte eignen sich grundsätzlich alle Fragestellungen, die die *Gebrauchstauglichkeit* betreffen. Die Norm ISO-9241-11 (1996) definiert den Begriff und gibt die drei Blöcke *Effektivität*, *Effizienz* und *Zufriedenstellung* vor, die mit geeigneten Methoden zu messen sind.

#### Effektivitätshypothese

Die *Effektivität* ist die Vollständigkeit und Genauigkeit, mit der der Nutzer das Ziel der Bedienung erreichen kann. Ist ein ABK effizient, so erkennt der Nutzer jederzeit den Systemzustand, macht wenig Fehler in der Bedienung und lernt die Zusammenhänge schnell. Als inhaltliche Hypothese wird angenommen, dass das Bedienziel mit dem KRM-Konzept effektiver erreicht wird als mit dem ESB-Modell. Zusätzlich wird vermutet, dass KRM schneller gelernt wird als ESB.

#### Effizienzhypothese

Der im Verhältnis zur Effektivität eingesetzte Aufwand bestimmt die *Effizienz*. Ein erstes Kriterium dafür ist die Bedienzeit, jedoch auch die Leistungsabnahme in der Primäraufgabe oder die subjektiv empfundene Belastung während der Bedienung stellen wertvolle Maße dar. Die Hypothese lautet, dass der Nutzer mit KRM effizienter, d.h. schneller und einfacher zum Ziel kommt als mit ESB.

#### Zufriedenstellungshypothese

Die positive Einstellung gegenüber der Nutzung des Produkts und möglichst wenig Beeinträchtigungen stellen die *Zufriedenstellung* mit dem Produkt sicher. Auch hier wird als Hypothese ein Vorteil des KRM-Modells angenommen: der Fahrer zeigt sich nach der Nutzung zufriedener, akzeptiert es besser und präferiert es gegenüber dem Vergleichskonzept.

### 7.5.4 Versuchsplan und Operationalisierung

Für den Gebrauchstauglichkeits-Versuch wurde ein einfaktorielles Design mit unabhängigen Stichproben gewählt. Als unabhängige Variable galt das gefahrene ABK mit den beiden Ausprägungen KRM und ESB. Unabhängige Stichproben (in-between design) waren nötig, da unter anderem der Lernaufwand gemessen werden sollte und die Probanden die mit dem ersten Konzept gelernten Inhalte zu leicht übertragen würden. Zur Überprüfung der in Abschnitt 7.6.3 formulierten inhaltlichen Hypothesen ließ Tönert (2009) die Probanden Bedienaufgaben durchführen. Insgesamt neun Aufgaben zur Veränderung von Einschaltzuständen der Funktionen sowie zwei Abfragen zum Zustandswissen wurden dabei zu einem Block zusammengefasst, der während einer einfachen Folgefahrt im Simulator absolviert werden musste. Zur Messung des Lernaufwands wurde dieser Aufgabenblock noch zweimal wiederholt (siehe Abbildung 7.18). Die FAS-Funktionen (bzw. deren Interaktion im Nutzfall) spielten bei der Bedienung der beiden ABKs keine Rolle mehr – sie wurden vor der Messung gezeigt und konnten

ausprobiert werden. Zusätzlich übten die Probanden vor der Messfahrt die Menü-Bedienung im CID und das Fahren im Simulator, um Störeinflüsse zu vermeiden.

Für jeden Bedienblock wurden folgende abhängige Variablen erhoben:

### **Effektivitätsmaße**

- Anzahl richtig genannter Funktionszustände (an / aus) bei den Zustandsabfragen
- Anzahl richtig erfüllter Bedienaufgaben pro Block
- Anzahl Bedienfehler pro Aufgabe

### **Effizienzmaße**

- Bedienzeit pro Aufgabe
- Anzahl der Bedienschritte pro Aufgabe
- Spurabweichung von der Mittellinie, Eigengeschwindigkeit und Abstand zum Vorderfahrzeug während der Bedienung als Maß für die Leistung in der primären Fahraufgabe
- Subjektive Belastung nach jedem Bedienblock, abgefragt mittels eines DALI-Fragebogens (Pauzié und Manzano, 2007)

Die Fahrdaten werden genutzt, um die Auswirkung der Nebenaufgabe messen zu können. Die jeweiligen Abweichungen vom Sollwert sind Indizien für eine stärkere Belastung des Fahrers durch die Nebenaufgabe (Knappe et al., 2009; Biever, 2002; Miličić und Lindberg, 2008).

Zur subjektiven Erfassung von Effektivität, Effizienz und Erlernbarkeit wurde zusätzlich die sogenannte System-Usability-Scale (SUS) nach Brooke (1996) erhoben.

### **Zufriedenheitsmaße**

Im Gegensatz zu den Effektivitäts- und Effizienzmaßen wurde die Zufriedenheit jeweils nur nach der Abarbeitung aller drei Bedienblöcke erfasst. Hier gingen folgende Variablen ein:

- Attraktivitätsbewertung anhand der semantischen Differentiale des AttrakDiff-Fragebogens nach Burmester et al. (2003)
- Präferenzbewertung beider Konzepte
- Rating per Schulnotenskala

Die letzten beiden Punkte machten es erforderlich, auch das jeweils andere Konzept erlebbar zu machen. Zu diesem Zweck ließ Tönert (2009) die Probanden am Ende der Messfahrt alle drei Bedienblöcke nochmals mit dem jeweils anderen ABK durchführen. Die Bedienung wurde nur im Stand durchgeführt, außerdem wurden nur die Zufriedenheitsmaße erhoben. Für eine detaillierte Aufzählung der operationalisierten Hypothesen, die mit Hilfe dieser Variablen geprüft werden konnten, sei aufgrund des großen Umfangs auf die Arbeit von Tönert verwiesen.

### 7.5.5 Versuchsaufbau

Für den zweiten Versuch konnte der bereits aus Abschnitt 7.5.3 bekannte Aufbau mit einer statischen Sitzkiste sowie fünf frontalen und drei hinteren Plasmaschirmen verwendet werden. Er wurde um ein wechselbares Bedienfeld (Panel) am linken Ende der Instrumententafel erweitert, mit dem schnell zwischen den jeweiligen Bedienkonzepten gewechselt werden konnte.



**Abbildung 7.17:** Umsetzung des KRM-Bedienkonzepts in der Sitzkiste

Das jeweils angezeigte Menü im CID wurde wie in BMW-Serienfahrzeugen mit dem iDrive-Controller eines BMW 5er (BJ 2006) bedient. Zur Auswertung wurden sowohl die Bedienelemente des linken Panels als auch die Bewegungen des iDrive-Controllers protokolliert. Die CID-Anzeigen, die LED-Zustände sowie die internen Systemzustände werden über die im Hintergrund agierende Fahrsimulation sowie diverse Zusatzplattformen beigesteuert (siehe Tönert, 2009). Zur Messung der Leistung der Primäraufgabe wurden Fahrzeuggeschwindigkeit, Abstand zum Vorderfahrzeug sowie die genaue Position in der Spur erhoben.

### 7.5.6 Versuchsablauf

Der gesamte Versuch setzte sich aus fünf Abschnitten zusammen. Nach der Begrüßung durch den Versuchsleiter erlebte der Proband die Nutzfälle der acht FAS-Funktionen auf der bereits aus Versuch 1 bekannten Strecke. Anschließend erläuterte der Versuchsleiter die Funktionen nochmals im Detail und vergab die im ersten Versuch gefundenen Begriffe dafür. Zum Abschluss des Explorationsteils musste ein demografischer Fragebogen ausgefüllt werden.

Im anschließenden Übungsabschnitt wurden iDrive-Bedienung und Simulatorfahren geübt, um Störeffekte aufgrund von Unerfahrenheit auszuschließen. Die erste gemessene Fahrt, die Baseline, sowie eine Prüfung der gelernten Funktionsbegriffe beendeten diesen Abschnitt. Die Baseline-Fahrt dient als Referenz für die Leistung in der Primäraufgabe ohne zusätzliche Nebenaufgabenbelastung.

Im dritten Abschnitt fand die eigentliche Messfahrt mit einem der beiden ABK statt. Die dafür nötige Bedingung KRM oder ESB wurde über die Teilnehmer permutiert. Der Fahrer musste dazu während einer Folgefahrt als erstes einen definierten Initialzustand aller Funktionen (an oder aus) ablesen und nennen. Anschließend folgten neun Bedienaufgaben, die jeweils Änderungen von Systemzuständen zum Ziel hatten und während der Fahrt vom Versuchsleiter angesagt wurden. Am Ende des Aufgabenblocks musste der Fahrer nochmals die veränderten Systemzustände nennen. Der Block wurde anschließend zu Erhebung des Lernaufwands zweimal wiederholt.

Da die Präferenz der Teilnehmer für eine der beiden Bedingungen KRM oder ESB erhoben werden sollte, wurde ein Teil der Messung nach der ersten Messfahrt mit dem jeweils zweiten Konzept wiederholt. Der Fahrer musste dieselben Aufgabenblöcke absolvieren, allerdings im Stand. Dies war nötig, um nicht zwei Stunden Gesamtversuchszeit zu überschreiten. Auch für das zweite ABK mussten SUS und AttrakDiff ausgefüllt werden. Den Abschluss im fünften Versuchsteil bildeten ein Interview sowie eine vergleichende Schlussbewertung. Die gesamte Versuchsdauer betrug damit ca. zwei Stunden.

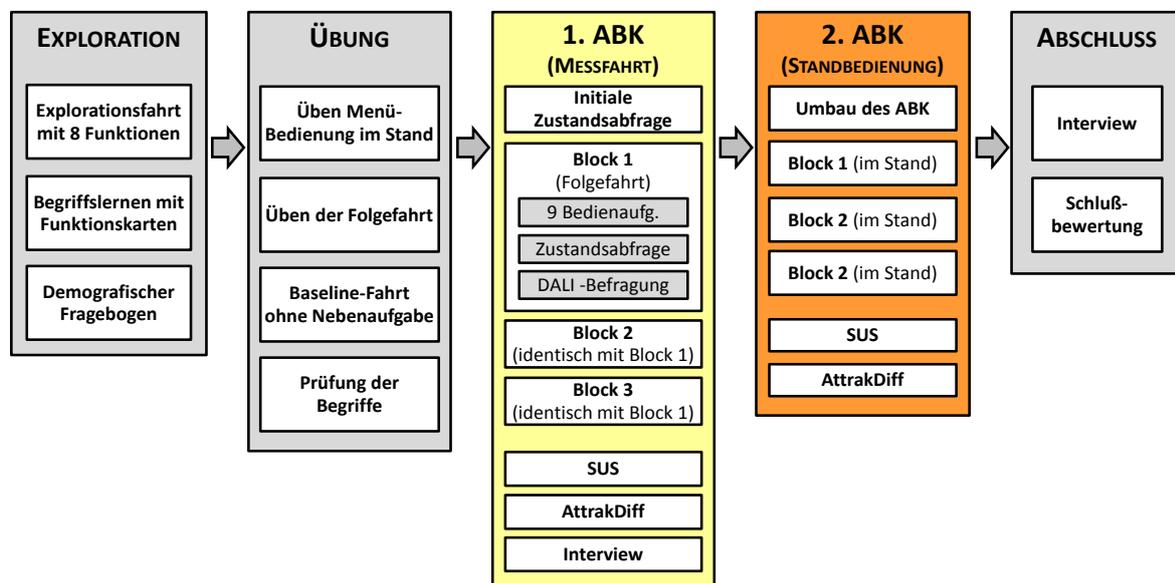


Abbildung 7.18: Versuch 2 zur Gebrauchstauglichkeit von KRM und ESB

### 7.5.7 Stichprobe

Tönert führte den Versuch zur Gebrauchstauglichkeit im November 2008 mit insgesamt 35 Probanden durch, wobei ausschließlich interne BMW-Mitarbeiter ohne spezielle Vorkenntnisse der Materie teilnahmen. Fünf Versuchspersonen konnten wegen

frühzeitigem Abbruch oder Durchführungsfehlern nicht gezählt werden, so dass letztlich genau 15 Versuchspersonen für jede Bedingung übrig blieben. Tabelle 7.3 gibt einen Überblick über die statistischen Daten.

**Tabelle 7.3:** Demographische Daten der Probanden für Vergleichsversuch KRM / ESB

Bedienkonzept	Probandengruppe	Alter
KRM	15 (13 m / 2 w)	Ø = 36,87 Jahre (SD = 9,94, min = 25 J, max = 58 J)
ESB	15 (14 m / 1 w)	Ø = 34,20 Jahre (SD = 7,96, min = 22 J, max = 49 J)

Beide Gruppen unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich ihrer Altersdaten. Auch andere, im demographischen Fragebogen abgefragte Details wie der selbsteingeschätzte Fahrstil unterschieden sich nicht, auch die von sechs Personen angegebene Sehschwäche beeinträchtigte die Versuchsdurchführung nicht. Bedingt durch die Stichprobenauswahl hatte ein Großteil der Personen (25 von 30) Erfahrung mit der iDrive-Bedienung. Obwohl einige Probanden FAS-Funktionen kannten, war niemand mit der bereits serienreif verfügbaren ESB-ähnlichen Bedienung des BMW 7er (Abbildung 7.1) vertraut, so dass diesbezüglich von Laien ausgegangen werden kann.

### 7.5.8 Ergebnisse

Im Folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse beim Vergleich der Kritikalitäts-Raum-Metapher (KRM) mit einer Einzelsystem-Bedienung (ESB) aufgeführt. Eine detailliertere Auswertung sämtlicher erhobener Variablen findet sich bei Tönert (2009). Ein Großteil der relevanten Variablen wurde während der Messfahrt erhoben, in der die drei Bedienblöcke absolviert wurden. Aufgrund eines Aufzeichnungsfehlers konnten zwei der neun Aufgaben (5 und 9) nur hinsichtlich ihrer Fahrleistungsdaten, nicht jedoch bezüglich Bedienfehler und Aufgabenzeit ausgewertet werden.

#### Effektivität

Die Effektivitätshypothese kann mit der richtigen Nennung der Systemzustände, der Anzahl richtig absolvierter Aufgaben und den Bedienfehlern geprüft werden.

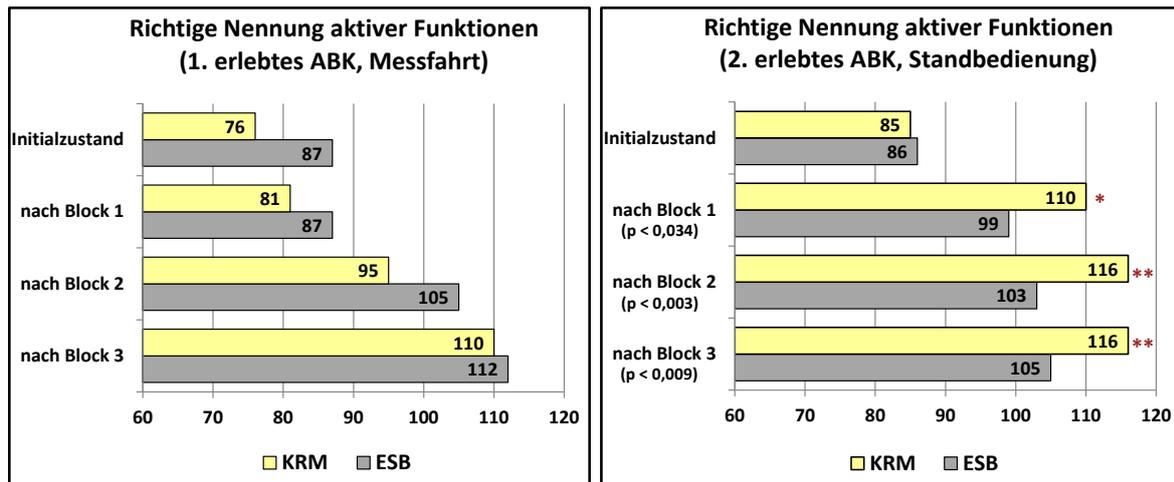


Abbildung 7.19: Nennung richtiger Systemzustände in den drei Aufgabenblöcken

Abbildung 7.19 zeigt die Summe aller richtig erkannten Zustände pro Block und Konzept. Maximal können dabei acht Funktionszustände \* 15 Probanden = 120 Zustände richtig genannt werden. Beim ersten erlebten Konzept (Messfahrt mit 1. ABK) ist zwar ein klarer Lerneffekt über die Blöcke, aber kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden ABK erkennbar. Nur bei der Gesamtsumme aller erkannten Zustände (ESB: 81,5% bzw. n=391; KRM: 75,4%, n=362) schneidet ESB signifikant besser ab ( $\chi^2=5,180$ ,  $p=0,023$ ). Beim zweiten erlebten ABK kehren sich die Verhältnisse um. Hier erkennen die Nutzer in den Blöcken 1..3 mit KRM signifikant mehr Zustände richtig, auch in der Gesamtsumme schneidet KRM bei einem  $\chi^2$ -Test hochsignifikant besser ab (ESB: 81,9%, n=393; KRM: 89,0%, n=427;  $\chi^2=9,677$ ,  $p=0,002$ ). In beiden erlebten Konzepten ist der steigende Lerneffekt über die Blöcke deutlich sichtbar, die Anzahl der erkannten Zustände nach Block 3 ist für beide Konzepte und für erstes sowie zweites ABK hochsignifikant größer als beim Erstkontakt (Initialzustand). Tönert (2009) konnte jedoch keinen Unterschied in der Entwicklung der Lernkurven feststellen – hinsichtlich der Systemzustände werden beide Konzepte mit gleichem Fortschritt gelernt.

Betrachtet man die richtig erfüllten Bedienungsaufgaben, so ergibt sich ein ähnliches Bild. Abbildung 7.20 zeigt die Anzahl richtig gelöster Aufgaben pro Block über alle Probanden, das Maximum von 100% liegt hier bei sieben gewerteten Aufgaben \* 15 Probanden = 105 Aufgaben pro Block. Der Lerneffekt kann hier teilweise nachgewiesen werden – für ESB ist der Unterschied zwischen Block 1 und 2 hochsignifikant ( $\chi^2=10,980$ ;  $p=0,001$ ), bei KRM ist der Sprung von Block 2 auf 3 ( $\chi^2=8,552$ ;  $p=0,003$ ) signifikant. Der Unterschied zwischen Block 1 und 3 ist wie erwartet in beiden Fällen hochsignifikant ( $\chi^2_{\text{ESB}}=21,337$ ,  $p=0,000$ ;  $\chi^2_{\text{KRM}}=20,140$ ,  $p=0,000$ ). Betrachtet man die sieben Aufgaben im Detail, so ergeben sich nur vereinzelt signifikante Unterschiede. So wurde z.B. die Aufgabe „Aktivieren Sie alle Hinweise und Anzeigen!“ im Block 1 mit KRM signifikant besser gelöst (ESB: n=2, KRM: n=9;  $\chi^2=7,033$ ;  $p=0,008$ ), in anderen Blöcken und Teilaufgaben schneidet ESB gelegentlich besser ab, es lässt sich jedoch kein konsistenter Effekt finden. Hinsichtlich des Lerneffekts bei der Bedienung differenziert die AKB-Ausprägung ebenfalls nicht.

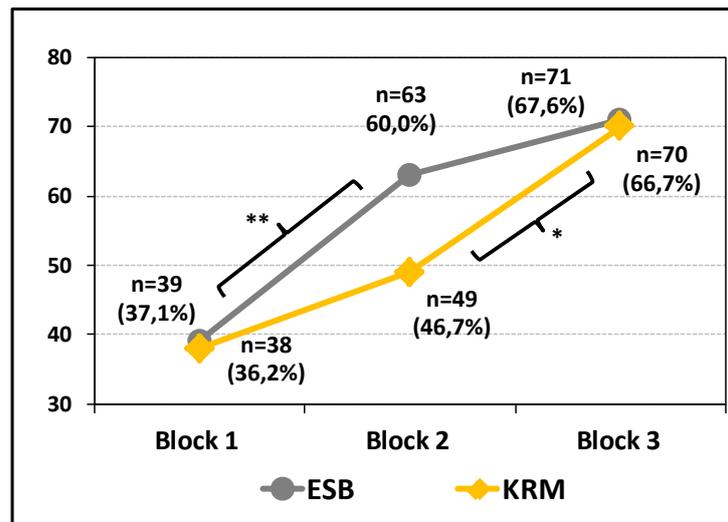


Abbildung 7.20: Anzahl richtig bedienter Aufgaben

Über die objektiven Maße hinaus gaben die Probanden eine subjektive Einschätzung der Effektivität wieder. Sie sollten dazu nach jedem Block die korrekte Ausführung der Aufgaben abschätzen und im Abschlussinterview reflektieren, inwiefern bestimmte Funktionen überflüssig waren oder fehlten. Dabei stellte sich heraus, dass 73,3% der Probanden ( $n=22$ ) bei KRM keine zusätzliche Bedienmöglichkeit vermissten. Sowohl die Gruppierung als auch die Tatsache, dass die im äußeren Ring gruppierten Hinweise und Anzeigen nur mit aktiven Akutwarnungen genutzt werden können, wurden von 86,7% ( $n=11$ ) akzeptiert. 12 Probanden wünschten sich eine noch stärkere Zusammenfassung, z.B. durch Entfall der Konfigurierbarkeit im äußeren Ring. Einzelne Probanden erwähnten die Zusammenfassung der Front- und Heck-Seiten-Sektoren oder die Reduktion auf einen Ring. ESB erzielte ähnliche Ergebnisse, auch hier sahen 63,3% ( $n=19$ ) keinen zusätzlichen Bedarf. Jedoch hätten 23,3% ( $n=7$ ) die Hinweise bzw. Vorwarnungen lieber über Tasten statt Menüs bedient, vereinzelt Probanden wünschten von den Akutwarnungen unabhängige Hinweise oder im Menü verankerte Akutwarnungen. Als Verbesserungsvorschlag tauchte auch hier die Zusammenfassung von Vor- und Akutwarnung auf, neben Vorschlägen für mehrstufige Taster und mehr Menübedienung. Tönert (2009) konnte hinsichtlich der subjektiven Bedienbarkeit insgesamt jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den Konzepten finden. Zusammengefasst ist das KRM-ABK also nicht per se effektiver, vielmehr erfüllen beide Ansätze ihren Zweck gleich gut. Obwohl der Lerneffekt unter beiden Bedingungen deutlich nachzuweisen ist, kann KRM hier keinen Vorteil erzielen. Die Effektivitätshypothese muss abgelehnt werden.

### Effizienzhypothese

Abbildung 7.21 zeigt die über alle sieben gewerteten Aufgaben gemittelte Bedienzeit in den einzelnen Blöcken. Aufgrund der fehlenden Normalverteilung der Gruppen muss mit einem Mediantest auf Unterschiede geprüft werden. Dabei zeigt sich nur im dritten Block ein signifikanter Vorteil für KRM ( $p=0,015$ ), bei den ersten beiden ist dieser nur tendenziell vorhanden. Bemerkenswert sind die verhältnismäßig langen Bedienzeiten mit einer Spannweite von 2,5 bis 36 Sekunden und die hohen Standardabweichungen

zwischen 9 und 14 Sekunden. Hier zeigt sich die hohe Komplexität der beiden Bedienkonzepte.

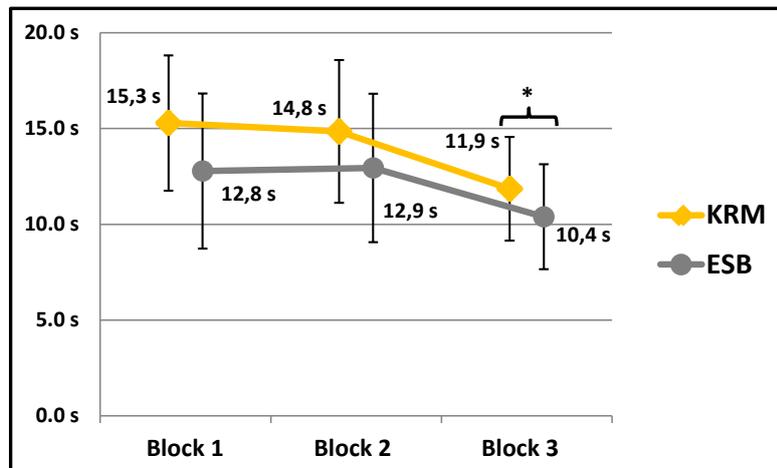


Abbildung 7.21: Mittlere Bedienzeiten über alle Aufgaben (1. ABK)

Aufgaben, die mit einem der beiden ABK einfacher gelöst werden, ergeben Unterschiede in der Bedienzeit. Die in Abbildung 7.22 abgebildete Aufgabe 2 lässt sich bei KRM mit zwei Tastendrücken erledigen, während bei ESB mehr Bedienschritte nötig sind. Dies schlägt sich nach der Einstiegshürde in hochsignifikant kürzeren Zeiten nieder (Block 2:  $p=0,000$ ; Block 3:  $p=0,001$ ). Im Gegenzug kann die Aufgabe 8 mit ESB schneller absolviert werden – der Gegenverkehrshinweis findet sich hinter einer Einzeltaste (OTW) und muss nicht über einen Ringsektor mit mehreren Funktionen abgewählt werden. Bis auf Block 2 ist hier die Bedienzeit bei ESB signifikant kürzer (Block 1:  $p = 0,007$ ; Block 3:  $p=0,008$ ).

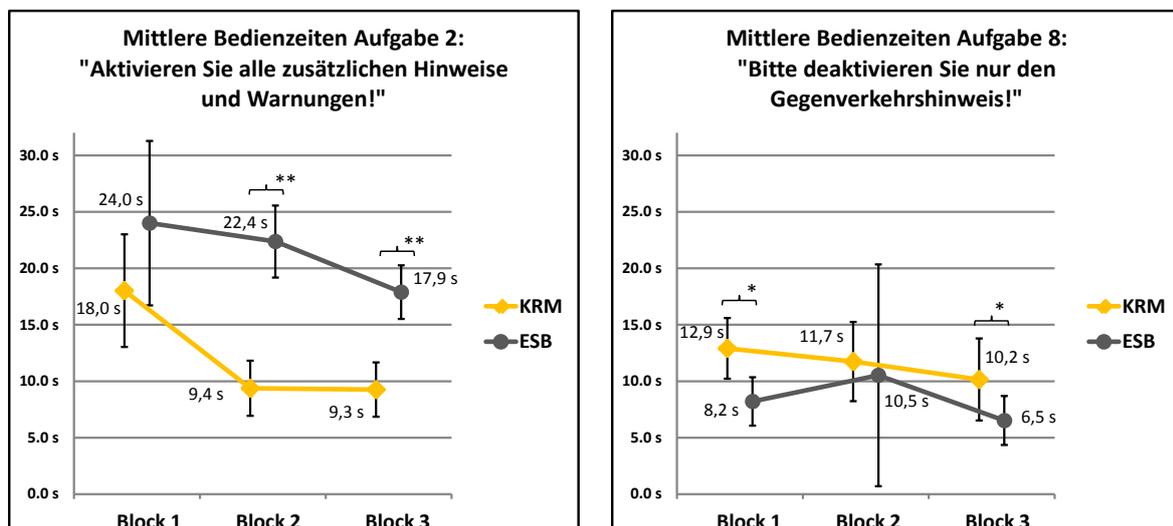


Abbildung 7.22: Mittlere Bedienzeiten der Aufgaben 2 und 8

Insgesamt fand Tönert (2009) keinen durchgängigen Effekt bei den Bedienzeiten, der auf einen Vorteil eines Konzepts schließen ließe. Die Fahrdaten bestätigen diese Tatsache. Die ESB-Probanden weichen tendenziell geringer von der Spur ab als die KRM-Versuchspersonen, jedoch ist nur in Block 1 ein signifikanter Vorteil nachzuweisen. Im

Vergleich zur Baseline lenken beide Konzepte den Fahrer deutlich ab – die Spurabweichungen sind anfänglich wesentlich höher als in der Baseline, verbessern sich bei beiden Konzepten aber mit wachsender Übung der Fahrer.

Tönert überprüfte die subjektive Beanspruchung mit Hilfe des DALI-Fragebogens. Die ESB-Bedienung beansprucht den Fahrer tendenziell weniger, der Trend lässt sich aber nur vereinzelt signifikant nachweisen. Bei beiden Konzepten erreichten die Dimensionen *Mentale Aufmerksamkeit* und *Interferenz zwischen Fahr- und Nebenaufgabe* die höchsten Werte, die Beanspruchung sank jedoch mit zunehmender Übung stetig und signifikant ( $KRM_{\text{Block 1} \rightarrow \text{Block 2}}: T=2,917 / p=0,011$ ;  $KRM_{\text{Block 2} \rightarrow \text{Block 3}}: T=4,265 / p=0,001$ ;  $ESB_{\text{Block 1} \rightarrow \text{Block 2}}: T=2,819 / p=0,014$ ;  $ESB_{\text{Block 1} \rightarrow \text{Block 2}}: T=4,682 / p=0,000$ )

Der Fragebogen zur System-Usability-Scale (Brooke, 1996) am Ende der Messfahrt (1. ABK) und der Standbedienung (2. ABK) rundete die Erhebung der Effektivitäts- und Effizienzdaten ab. In diesem genormten Fragebogen bewerten die Nutzer ein ABK mit Hilfe von zehn einfachen Items (5-stufige Likert-Skalen) zu den drei Dimensionen *Effektivität*, *Effizienz* und *Erlernbarkeit*. Die in den Items erreichten Punkte werden nach einer bestimmten Vorschrift verrechnet und ergeben einen Gesamtscore von maximal 100 Punkten. ESB und KRM erreichen beide nur relativ niedrige Werte, wie Tabelle 7.4 zeigt:

**Tabelle 7.4:** Gesamtscore auf der System Usability Scale

SUS-Bewertung		Effektivität	Effizienz	Erlernbarkeit	Gesamt
<b>1. erlebtes Konzept</b>					
	ESB	1,85	1,87	2,04** (Z=-3,315; p=0,001)	<b>47,83</b>
	KRM	1,50	1,56	1,18	<b>35,50</b>
<b>2. erlebtes Konzept</b>					
	ESB	2,52	2,36	2,56	<b>62,00</b>
	KRM	2,88	2,93** (Z=-2,516; p=0,011)	2,98	<b>73,17</b>

Es fällt auf, dass die SUS-Werte allgemein bei der Nutzung des zweiten Konzepts steigen, was auf den Lerneffekt zurückzuführen ist. Die ESB als zuerst erlebtes Konzept ist besser erlernbar, dafür wird jedoch KRM im Nachgang etwas effizienter empfunden (Mann-Whitney U-Test). Dennoch muss die aufgestellte Effizienzhypothese in ihrer Gesamtheit abgelehnt werden – die Daten können eine effizientere Bedienung mit dem KRM-ABK nicht stützen. Im Gesamtscore zeigt sich zwar ein tendenzieller Vorteil für KRM (73,17 vs. 62,00), der jedoch nicht signifikant wird.

### Zufriedenheitshypothese

Bei der Auswertung der subjektiven Zufriedenheit der Probanden zeigte der verwendete Fragebogen zum AttrakDiff (Abbildung 7.23) für das erste erlebte Konzept kaum signifikante Unterschiede in den semantischen Differentialen. Erst bei der Bewertung des

zweiten erlebten ABK konnte Tönert (2009) deutlichere Effekte aufzeigen. Danach wird KRM als signifikant umständlicher, hässlicher und abstoßender ( $p=0,002$ ;  $p=0,005$ ;  $p=0,002$ , Median-Tests) beurteilt, gleichzeitig jedoch auch als innovativer und sympathischer ( $p=0,002$ ;  $p=0,035$ ) als ESB. Fasst man die Items zu den vier Gesamtdimensionen zusammen (siehe Abbildung 7.23, Beschriftung links), so schneidet die Kritikalitäts-Raum-Metapher hedonistisch-stimulierender ab ( $p=0,006$ ) als die Einzelsystem-Bedienung, weist ihr gegenüber jedoch eine geringere Attraktivität auf ( $p=0,001$ ).

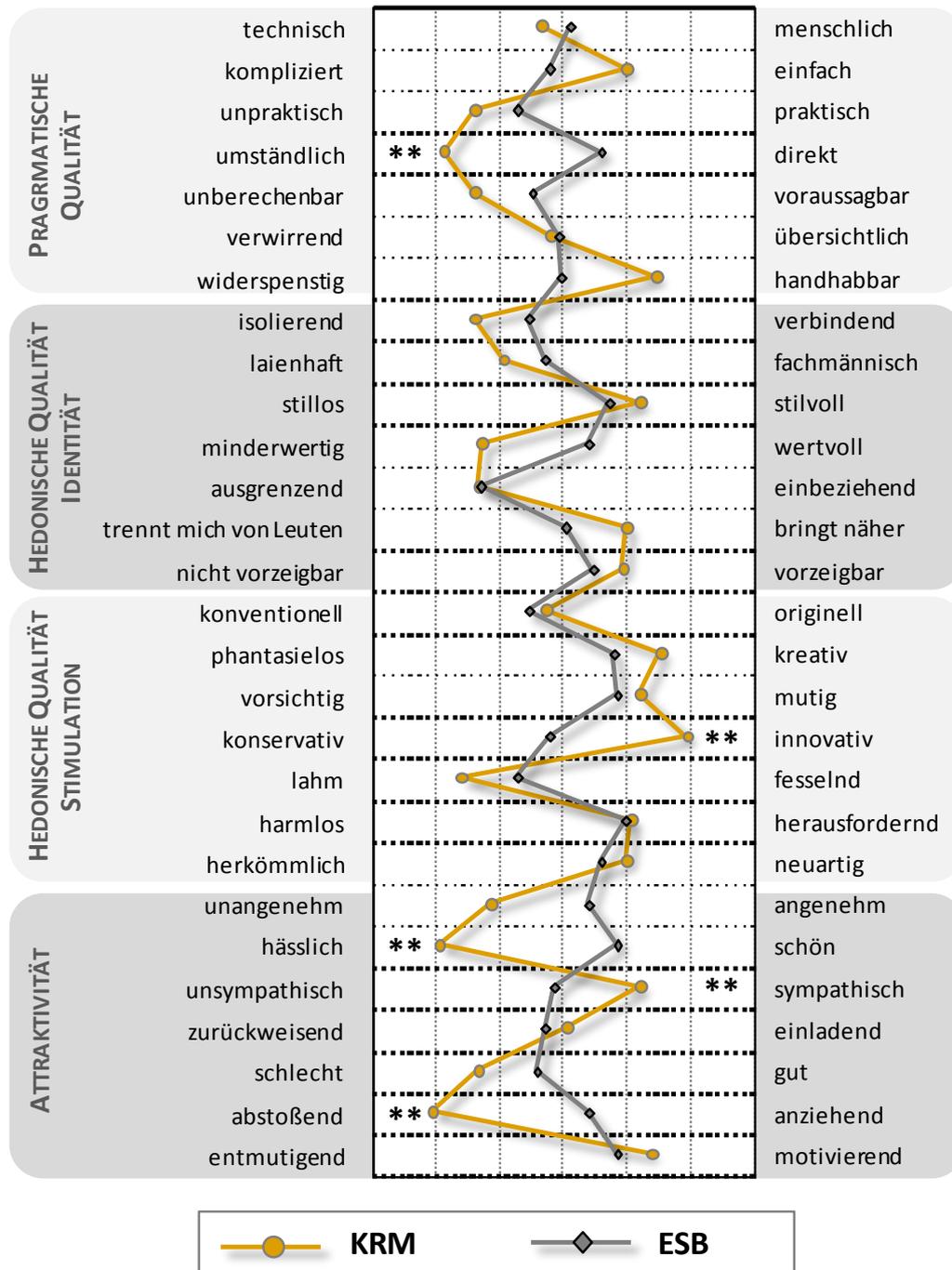


Abbildung 7.23: Bewertung mit AttrakDiff (Burmester et al., 2003)

Darüber hinaus sollten die Probanden nach dem Erleben beider Varianten Schulnoten von 1 bis 6 vergeben. Dabei fällt auf, dass die jeweils als zweites erlebten ABK grundsätzlich besser bewertet werden, außerdem hat KRM in beiden Fällen einen geringen Vorteil. Die neue Metapher schneidet daher auch bei einem Gesamtvergleich aller abgegebenen Noten mit einem Durchschnitt von 2,97 (sd = 1,40) signifikant besser ab (Wilcoxon-Test;  $Z=-2,100$ ;  $p=0,035$ ).

**Tabelle 7.5:** Abschlussbewertung mit Schulnoten

Schulnoten-Bewertung	als 1. ABK	als 2. ABK	Gesamt
KRM	3,53 (sd = 1,46)	2,40 (sd = 1,12)	<b>2,97 (sd = 1,40) *</b>
ESB	4,33 (sd = 0,90)	2,87 (sd =1,19)	<b>3,60 (sd = 1,28)</b>

Die Zufriedenheit der Nutzer fällt also bei beiden Konzepten relativ mäßig aus. Im abschließenden Rating bevorzugten 56,7% (n=17) die Kritikalitäts-Raum-Metapher, die Präferenz ist nach einem Chi<sup>2</sup>-Test jedoch nicht signifikant. Abschließend bleibt festzuhalten, dass KRM tendenziell gewisse Vorteile hat, diese aber nur selten signifikant ausspielen kann. Die Hypothese, dass das Konzept insgesamt attraktiver und beliebter ist bzw. präferiert wird, lässt sich damit nicht oder nur in Teilen halten.

### Strukturierte Interviews

Tönert (2009) befragte die Versuchspersonen nach Abschnitt zwei und am Ende des Versuchs in einem strukturierten Interview zu Eindrücken, Hintergründen der Bewertung sowie Verbesserungsvorschlägen. Im ersten Interview fiel auf, dass die Mehrheit der Fahrer bei sehr guter Systemqualität auf eine Abschaltbarkeit einiger Funktionen verzichten könnte, selbst wenn noch vereinzelt Falschwarnungen vorkommen. Diese Aussage ist für Auffahrwarnung und Gegenverkehrswarnung mit 76,7% und 83,3% der Probanden hochsignifikant ( $p=0,003$ ,  $\text{Chi}^2=8,533$  bzw.  $p=0,000$ ,  $\text{Chi}^2=13,333$ ). Für die Spurwechselwarnung (66,7%), die Spurwechsel-Info (66,7%), den Gegenverkehrshinweis (60%) und das Fahrbahnverlassen (60,0%) gilt diese Aussage zumindest noch tendenziell. Beim Abstandshinweis sowie beim Spurverlassen hingegen halten es signifikant mehr Fahrer für notwendig, die Funktionen abschaltbar zu gestalten (FCW-Vor: 70%,  $p=0,028$ ,  $\text{Chi}^2=4,800$ ; LDW-Spur: 73,3%,  $p=0,011$ ,  $\text{Chi}^2=6,533$ ).

In den Interviews wurde der notwendige Wechsel der Bedienung zwischen linker Seite der Instrumententafel und iDrive-Controller massiv bemängelt. Diese Problematik verschärft sich durch zwei Anzeigeorte für Statusinformationen. Die LEDs der Bedienelemente zeigen in beiden Bedingungen nur einen Gesamtsystem- bzw. Gesamtsektor-Status an – für die vollständige Auflösung des Systemstatus muss das CID herangezogen werden. Diese Aufteilung wird von den wenigsten toleriert. Das Prinzip verwirrt zusätzlich dadurch, dass den Probanden nicht klar wird, an welcher Stelle Funktionen definitiv ein- und ausgeschaltet werden. Die Interaktion führt leicht zu der Fehlannahme, die Bedienelemente links vom Fahrer seien nur für den Menüaufruf zuständig. Als weitere Schwäche beider Konzepte wurde genannt, dass zur Einsicht der Status die Systeme mit den Bedienelementen durchgeschaltet werden mussten – die Menütafeln erschienen nur beim Einschalten eines Systems (ESB) bzw. eines Sektors (KRM).

Trotz objektiv nicht besserer Ergebnisse empfand ein Großteil der Probanden die Logik der KRM als positiv und einleuchtend. Dabei war die grafische Aufbereitung im CID entscheidend, da sie die Erlernbarkeit des mentalen Modells förderte. Auch die Zusammenfassung von Akutwarnungen in den inneren Sektoren empfanden einige Teilnehmer als positiv. Die Einzelsystem-Bedienung hingegen überzeugte durch ihr minimalistisches ABK und die als „direkter“ empfundene Bedienung. Dabei halfen die expliziten Tastensymbole, die den gesamten Funktionsumfang repräsentieren. Die Symbolik von LDW und LCA führte jedoch zu Verwechslungen und stellte sich als schwer lernbar heraus.

### **7.5.9 Zusammenfassung Versuch 2 zum Vergleich von KRM und ESB**

Die zweite Studie zeigt, dass sowohl die Kritikalitäts-Raum-Metapher als auch die Einzelsystem-Bedienung gelernt werden können und sich bei wiederholter Nutzung die Erkennung der Funktionszustände als auch die Bedienrichtigkeit signifikant verbessern. Dies zeigt sich ebenso in den Fahrleistungsdaten sowie den subjektiven Beanspruchungsaussagen der Probanden. Auffallend ist, dass das KRM-ABK tendenziell im Vorteil ist, wenn es als zweites Konzept erlebt wird. Dies zeigt sich in signifikant besserem Zustandswissen, höherem SUS-Gesamtscore und dem abschließenden Schulnoten-Rating. Man kann dies folgendermaßen interpretieren: wenn die Probanden vorher Kenntnisse zur Bedienung von Einzelsystemen haben (gelerntes erstes ABK war ESB), dann erscheint ihnen die Zusammenfassung in der KRM verständlich. Treffen sie hingegen als Laien auf diesen neuen Denkansatz, fällt ihnen der Einstieg schwerer als bei einer Einzelsystem-Bedienung. Bei ESB erkennen sie auf Anhieb tendenziell mehr Zustände, bedienen schneller und werten das Konzept im SUS besser. Dies könnte dadurch begründet sein, dass das ihnen dieses herkömmliche mentale Modell von diversen anderen ABK im Fahrzeug vertraut ist. Da wenige der genannten Unterschiede statistisch signifikant sind, müsste diese Interpretation jedoch in einem gesonderten Versuch geprüft werden.

An den insgesamt recht dürftig ausfallenden Noten zeigt sich ein Verbesserungsbedarf für beide Konzepte. Dies lässt sich vorrangig auf die verteilte Bedienung zurückführen – der Nutzer nutzte im ersten Schritt die Bedienelemente links, musste dann jedoch ins iDrive wechseln (Konfiguration Vorwarnungen). Dieser Wechsel wurde als unnötig empfunden und führte vor allem beim KRM-Konzept zu Verständnisproblemen, da nicht allen Probanden klar war, ob ein System bzw. eine Zone per Taste oder Software-Menü aktiviert wurde. Da die Probanden u.a. im ersten geführten Interview aussagten, dass nicht alle Funktionen abschaltbar sein müssten und darüber hinaus deren Zusammenfassung gut verstanden wurde, können beide Konzepte verbessert werden, indem man die Konfigurationsmöglichkeiten weiter einschränkt. Obwohl damit einige der abgefragten Bedienaufgaben unmöglich werden, darf man in Frage stellen, ob gruppierte Funktionen bei vergleichbarer Qualität überhaupt einzeln abgeschaltet werden müssen. Ziel muss es daher sein, die Teilfunktionen soweit zu verbessern, dass individuelle Einstellungen unnötig werden und damit die Gesamtkomplexität des ABK reduziert wird. Unter dieser Bedingung ist die Kritikalitäts-Raum-Metapher dazu geeignet, eine Einzelsystem-Bedienung abzulösen und Sicherheits-FAS höher integriert ins Fahrzeug zu bringen.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Das Themengebiet der Fahrerassistenzsysteme bleibt auch zukünftig spannend, da neue Systeme wie Stauassistentz, Fußgängerschutz oder Kreuzungsassistentz das Portfolio erweitern. Mit der Menge an gleichzeitig vorkommenden FAS in einem Fahrzeug steigen die Herausforderungen an die Entwickler, einfache und verständliche Nutzerschnittstellen zu entwickeln. Die vorliegende Arbeit liefert einen Grundstein dafür, indem sie aus empirischen Erhebungen Gruppierungen von Fahrerassistenzsystemen ableitet. Diese Grundlagen werden sowohl bei der Integration von FAS-Funktionen als auch bei der Gruppierung von FAS-ABK beispielhaft angewandt.

### Funktionspool als Grundlage der empirischen Untersuchungen

Für alternative Anzeige-Bedienkonzepte müssen sowohl existierende als auch zukünftige FAS-Funktionen berücksichtigt werden. In Kapitel 4 wurde daher in Ergänzung zu bereits vorhandenen Arbeiten eine Bedarfsanalyse der Fahraufgabe durchgeführt, um potentielle zukünftige Assistenzfunktionen zu identifizieren. Dazu wurden die 18 Manöver der Fahraufgabe mit den sechs Handlungsphasen nach Wandke et al. (2005) analysiert. In Verbindung mit einer Recherche relevanter Forschungsprojekte konnten 91 neue FAS-Funktionen identifiziert werden, die zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht auf dem Markt erhältlich waren.

Da bei so vielen neuen Funktionen eine Priorisierung notwendig ist, wurden vor der weiteren Betrachtung Nutzen und Realisierbarkeit abgeschätzt. Ein Gremium aus sechs Fachleuten wählte aus der großen Menge möglicher Beschreibungskriterien für sinnvolle FAS die Punkte *Entlastungspotenzial*, *Sicherheitssteigerung* und *Fahrspaß* sowie zusätzlich das Gesamtkriterium *Nutzen* und die technische *Realisierbarkeit* bis 2015 als entscheidend aus. Anschließend wurden 18 Experten in einer Delphi-Studie gebeten, diese Kriterien für die 91 neuen Systeme einzuschätzen. Auf Basis der Ergebnisse wurden die 40 Funktionen mit dem höchsten Nutzen zur weiteren Betrachtung ausgewählt und zusammen mit existierenden Serien-FAS zum Funktionspool vereint.

### Strukturierung des FAS-Funktionspools nach mentalen Modellen der Nutzer

Nachdem die zu erwartenden Fahrerassistenzsysteme in groben Zügen abgeschätzt waren, stellte sich die Frage nach einer möglichen Strukturierung des Funktionspools aus Sicht der späteren Nutzer. Die Erwartungen der Fahrer bzw. ihre mentalen Modelle sind für die ABK-Entwicklung essentiell – je besser sie abgedeckt werden, desto leichter fallen den Nutzern Verständnis und Bedienung.

Ein Teil des mentalen Modells ist die Erwartung, welche FAS-Funktionen überhaupt zusammengehören und damit idealerweise im ABK gruppiert sind. Da die bis dato vorhandenen Klassifikationen (z.B. die drei Ebenen der Fahraufgabe oder der Automatisierungsstufe) von Experten und nicht von Endnutzern stammen, wurden in Kapitel 5 die bei Laien vorhandenen mentalen Strukturen mit Hilfe von Struktur-lege-Experimenten (Card Sortings) erforscht. Dazu strukturierten Probanden eine vorgegebene Menge an Karten mit Funktionsbeschreibungen nach eigenen Vorstellungen. Insgesamt

wurden vier Sortier-Experimente mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen vorgestellt. Die Stichproben setzten sich in drei Versuchen aus internen BMW Mitarbeitern und einmal aus externen Probanden zusammen, die repräsentativ für die Zielgruppe ausgewählt wurden. Die Teilnehmer legten im Schnitt 6-7 Gruppen aus einer Menge von 21 bis 63 Karten. Aus der großen Zahl verwendeter Begriffe für Kategorien erwiesen sich *Parken, ACC, Warnungen, Bremsen/Eingriff* und *Licht* über alle Experimente als relevant und stabil. Bei der weiteren Auswertung mit Hilfe hierarchischer Clusteranalysen und multi-dimensionaler Skalierung zeigten die dazugehörigen Cluster im Kern immer dieselben Funktionen. Zusätzlich konnten die Begriffe *Navigation* und *Information* identifiziert werden, ihre Inhalte variierten jedoch stark. Obwohl der Einfluss technischer Klassifikationsansätze (z.B. Automatisierungsstufe) deutlich sichtbar ist, lassen sich die gefundenen Kategorien nicht einer bekannten Klassifikation zuweisen.

### **Entwicklung und Bewertung von Integrationskonzepten**

Für jede der identifizierten Gruppierungen kann grundsätzlich ein integriertes ABK entwickelt werden. Die dafür notwendigen Design-Ansätze wurden bereits in Kapitel 3 ausgeführt, Kapitel 6 und 7 widmeten sich daher der konkreten Umsetzung zweier Beispiele anhand der gefundenen mentalen Modelle.

Als erstes wurden für die beiden Querführungsassistenten LDW und LCA drei Rückmeldestrategien entwickelt, die schrittweise die Trennung in Einzelsysteme auflösen (Kapitel 6) Dafür wurden vorrangig die haptischen Rückmeldungen (Lenkradvibrationen und Gegenmomente) variiert. Ein Fahrsimulationsversuch verglich diese drei Ansätze miteinander, indem die Fahrer durch die wichtigsten Nutzfälle geführt wurden und ihre Reaktionen sowie Präferenzen erfasst wurden. Dabei zeigte sich, dass Fahrer im Warnfall nur schwer verschiedene haptische Ausgaben am Lenkrad differenzieren können – dies gilt für Vibrationen und besonders für Gegenmomente. Dennoch sind differenzierbare haptische Ausgaben bei längerer Nutzung sinnvoll, um die Systemakzeptanz zu erhöhen. Insgesamt sprachen die Präferenzen der Probanden für eine kritikalitätsbasierte Rückmeldestrategie mit stärkerer Verflechtung der Einzelsysteme.

Als zweites Beispiel widmete sich Kapitel 7 einer neuen Bedienmetapher für die Gruppe der Sicherheits-FAS, bestehend aus den beiden Clustern Bremsen/Eingriff und Warnungen. Da eine Einzelsystem-Bedienung bei großer Funktionsanzahl nicht mehr zielführend ist, wurde ein neuer Ansatz entwickelt – die sogenannte *Kritikalitäts-Raum-Metapher* (KRM). Grundidee ist hierbei, dass jede Sicherheitsfunktion in einer Zone um das eigene Fahrzeug herum positioniert wird (Richtung der Gefahr im *Raum*) und zusätzlich zu einer von zwei Entfernungsstufen entsprechend der *Kritikalität* gehört. Zusammen mit der Trennung zwischen Längs- und Querführung ergeben sich daher vier Sektoren, in die sich jedes Sicherheits-FAS einordnen lässt. Die Frontsektoren umfassen beispielsweise Auffahrwarnung und Fußgängerwarnung, die Heck-Seitensektoren eine Kombination von LDW und LCA.

Die Kritikalitäts-Raum-Metapher wurde anschließend auf grundsätzliches Verständnis geprüft. Probanden sollten dazu acht repräsentative FAS-Funktionen, die sie in einem Fahrsimulationskurs erleben konnten, als Karten in verschieden strukturierte

Kreisstrukturen einsortieren. Der Versuch bestätigte, dass die Funktionskarten größtenteils in der *Richtung im Raum* positioniert werden, aus der die reale Gefahr droht. Die *Kritikalität* drückte sich grundsätzlich in der *Entfernung* vom Ego-Fahrzeug aus, wurde aber weniger eindeutig nachgewiesen. Sie konnte für die vordere Zone (Auffahrwarnung, Gegenverkehrswarnung) und in Teilen für die Heck-Seitenzone (Spurwechsel-Assistent) in beiden Gruppen signifikant bestätigt werden, bei den Funktionen der Spurverlassenswarnung waren sich die Probanden jedoch nicht einig. Dennoch ließ sich festhalten, dass das vermutete mentale Modell in weiten Teilen zutrifft.

Aufgrund der positiven Ergebnisse wurde auf Basis der Kritikalitäts-Raum-Metapher (KRM) ein ABK entwickelt und mit einer Einzelsystembedienung (ESB) verglichen. Während das KRM-ABK Gruppen von Sicherheits-FAS über zwei sektorförmige Bedienelemente schaltet, orientiert sich das ESB-ABK an Einzeltastern für jedes FAS. In beiden Fällen werden zusätzliche Informationen im zentralen Display (CID) angezeigt, außerdem sind Subkonfigurationen möglich. Beide Konzepte beinhalteten vier repräsentative Sicherheits-FAS (FCW, OTW, LDW und LCA) mit insgesamt acht Funktionen und wurden mit 30 Probanden im statischen Fahrsimulator auf Erlernbarkeit und Gebrauchstauglichkeit geprüft.

Die Probanden erlebten dazu wiederum alle Funktionen in entsprechenden Nutzfällen, bevor sie in einer separaten Folgefahrt eine Sequenz von Bedienaufgaben durchführen mussten. Ausgewertet wurden Bedienleistung (Bedienfehler, Verständnis der Systemzustände, Bedienzeit), objektive und subjektive Beanspruchung (Spurmitten-Abweichung und DALI) sowie subjektive Zufriedenheits-Maße (AttrakDiff, SUS, Rating und Interview).

Dabei zeigten sich nur wenige signifikante Unterschiede zwischen beiden Konzepten. Diejenigen Probanden, die ESB als erstes bedienten, erkannten signifikant mehr richtige Systemzustände als die Gruppe, die den Versuch mit KRM begonnen hatte. Mit KRM dagegen wurden Aufgaben, bei der mehrere Systemfunktionen aktiviert werden sollten, schneller und mit weniger Fehlern absolviert. Im abschließenden Rating schnitt letztlich das KRM-Konzept mit Schulnote 2,97 von 6 ( $sd=1,40$ ) signifikant besser ab als ESB (3,80;  $sd=1,28$ ), auch im SUS-Score zeigten sich signifikante Vorteile. Nach Auswertung der Interviews lassen sich diese relativ schlechten Noten darauf zurückführen, dass die Bedienung verteilt war – der Nutzer nutzte im ersten Schritt die Tasten (System oder Zone schalten), musste dann jedoch ins CID wechseln (Konfiguration Vorwarnungen). Dieser Wechsel wurde als unnötig empfunden und führte vor allem beim KRM-ABK zu Verständnisproblemen. Auffallend war jedoch, dass KRM besser verstanden und akzeptiert wurde, wenn vorher das mentale Modell der Einzelsysteme etabliert bzw. bekannt war. Das etwas abstraktere Gruppierungs-Konzept funktioniert also dann gut, wenn die Ausgangsbasis (Einzelsysteme) geläufig ist. Es ist daher geeignet, eine größere Anzahl von Einzelsystemen zusammenzufassen und damit die Gesamtkomplexität zu reduzieren. Voraussetzungen dafür sind jedoch ein weitgehender Verzicht auf Konfigurationsmöglichkeiten und eine einheitliche Systemqualität der gruppierten Funktionen.

### **Ausblick**

Die Kritikalitäts-Raum-Metapher bietet für die in Zukunft größere Menge an Sicherheits-FAS eine vereinfachte Nutzerschnittstelle. Sie beschränkt sich in der vorliegenden Arbeit jedoch auf die Zusammenfassung der Bedienelemente und Statusanzeigen. Großes Potenzial besteht darüberhinaus bei der Vereinfachung der Interaktionsanzeigen im Nutzfal – Warnsymbole, akustische Ausgaben und haptische Rückmeldungen können vermutlich stärker zusammengefasst werden als es heute der Fall ist. Hinweise darauf geben die Ergebnisse des Kapitels 6 zur Kombination von LCA und LDW, auch vorhandene Forschungsarbeiten zu generischen Warnungen (Master Alarm) lassen diesen Schluss zu. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf. Auch die als Bedingung für KRM genannte einheitliche Systemqualität ist heute nicht durchgängig sichergestellt – technische und funktionsimmanente Einschränkungen verhindern, dass z.B. LDW-Systeme die Akzeptanz von Auffahrwarnungen erreichen. Auch hier ist weitere Entwicklungsarbeit zu leisten.

## Anhang A: Bedarfsanalyse

### A.1 FAS-Funktionsliste mit Quellen-Angabe

Die folgende Tabelle enthält die aus diversen Quellen sowie der Bedarfsanalyse nach Kapitel 4 zusammengestellten potenziellen FAS-Funktionen ohne Berücksichtigung bereits vorhandener Seriensysteme (Stand 2007). Die 91 Funktionen sind in Anlehnung an Fastenmeier und Gstalter (2002) auf vier Bereiche aufgeteilt.

- Assistenten, die über die gesamte Fahraufgabe wirken bzw. bei Grundfahraufgaben behilflich sind
- Assistenten für den Längs- und Kolonnenverkehr
- Assistenten für den Kreuzungsbereich
- Assistenten für Parksituationen

**Tabelle 8.1:** Funktionspool für neue Fahrerassistenzsysteme

<b>Assistenten, die über die gesamte Fahraufgabe wirken</b>		<b>Quelle</b>
Diese Assistenten sind nicht explizit einem Teilbereich der Fahraufgabe zugeordnet, sondern können zu jeder Zeit verwendet werden und stellen damit globale Funktionen dar.		
1	<b>Routen-Assistent</b> - gibt die Möglichkeit, eine Route mit wenig Ampeln / Kreuzungen / Autobahnen und stattdessen mehr kurvigen Landstraßen auszusuchen, um mehr Fahrspaß erleben zu können (trotz evtl. längerer Gesamtstrecke)	Spies (2004)
2	<b>Tour-Guide</b> - wählt Route mit definierter Dauer und möglichst vielen Sehenswürdigkeiten aus, um z.B. Berlin in zwei Stunden per Auto zu erkunden, enthält zusätzliche Hinweise / Hintergrundinfos zu einzelnen Sehenswürdigkeiten (z.B. per Sprache)	Spies (2004)
3	<b>Traffic Flow</b> - detailliertes Verkehrsaufkommen wird durch vernetzte Fahrzeuge in Echtzeit verfügbar, Kartenansicht kann z.B. durch Markierungen aufbereitet werden (Pendler können situativ umplanen), Navigationssystem kann Alternativroute berechnen	Matheus und Morich (2004)
4	<b>Anlegen eines Logbuchs</b> - welche Route ist für die tägliche Pendelroute am schnellsten? Auf welcher war der Kraftstoff-Verbrauch minimal?	
5	<b>Spritspar-Tutor</b> - wie muss das Fahrzeug gefahren werden, um möglichst wenig Sprit zu verbrauchen? (Schaltpunkte, gemäßigte Beschleunigung, vorausschauendes Fahren etc.)	Neunzig und Benmimoun (2002)
6	<b>Hinweis / Warnung vor lokaler Gefahrenstelle</b> wie Unfall, Glatteis, Stau hinter Kurve, Laubglätte, Geisterfahrer etc., wenn sie in unmittelbarer Nähe des Fahrzeugs liegt (Übermittlung durch vernetzte Fahrzeuge)	Kosch (2004)

7	<b>Auslands-Assistent</b> - vom Heimatland abweichende StVO-Regeln sind abrufbar im Fahrzeug hinterlegt (z.B. Speed Limit im Ausland, Vorfahrtsregelungen etc.)	
8	<b>Tankstellen-Assistent</b> - Anzeige verfügbarer Tankstellen in der Nähe (POI) bzw. Hinweis, wenn Tankfüllung nicht bis zur übernächsten Tankstelle reicht, sondern dringend die nächste angesteuert werden sollte (z.B. auf Autobahn, Tank-Raststätten aller 50 km)	Kirsch (2004)
9	<b>Aufmerksamkeits-Assistent</b> - gibt Empfehlung für Pause ab oder ein konstantes Feedback des Müdigkeitszustand an den Fahrer, überwacht Verhalten des Fahrers zur Ermittlung von Unstimmigkeiten	Spies (2004), Seifert und Rötting (2001)
10	<b>Reduced Night Vision</b> - Infrarot-Bild wird nicht in einem Display angezeigt, sondern nur intern ausgewertet und mit Kollisionswarnsystem gekoppelt, bei Gefahr der Kollision mit Fußgänger wird eine Auffahrwarnung ausgegeben	Rösler et al. (2006)
11	<b>Schnappschuss</b> - per Knopfdruck kann das aktuelle Bild einer beliebigen Kamera gespeichert werden, z.B. als Erinnerungsfoto beim Vorbeifahren oder um Drängler / Rowdys nachher per Nummernschild zu identifizieren (z.B. Rückfahrkamera)	
12	<b>Sirenenassistent</b> - akustische Erkennung herannahender Einsatz- / Rettungsfahrzeuge per Außenmikro und Reduktion der Audio-Lautstärke, falls diese zu laut ist und der Fahrer die Sirene nicht mehr hören kann	
<b>Assistenten für den Längs- und Kolonnenverkehr</b>		<b>Quelle</b>
Der Mehrzahl der Vorschläge sind für das reguläre Fahren auf Autobahnen, Landstraßen und kreuzungsfreien Stadtstraßen konzipiert. Dabei werden Längs- und Querführung getrennt berücksichtigt bzw. ausdrücklich kombiniert		
13	<b>Radarfallen-Assistent</b> - weist rechtzeitig auf mobile und stationäre Radarfallen hin, Update der Daten per Internet, Online-Karte oder Sprachanalyse der Verkehrsmeldungen	
14	<b>Weckassistent</b> - Fahrer kann während eines langen Staus schlafen oder arbeiten und würde benachrichtigt, wenn dieser sich auflöst (Fahrzeug überwacht Bewegung umstehender Fahrzeuge)	
15	<b>Kurvenassistent 1</b> - Warnung bei zu hoher physikalischer Kurvengeschwindigkeit vor Kurveneintritt (Nichtbeachtung führt zum Abkommen von der Straße wg. Ausbrechen / Schleudern)	Pomerleau et al. (1999)
16	<b>Kurvenassistent 2</b> - Anzeige der optimalen Kurvengeschwindigkeit für jede Kurve auf Wunsch (Fahrer wird Aufgabe des Einschätzens der Kurve abgenommen)	Ebersbach (2005)
17	<b>Kontaktanaloge Anzeige des Fahrschlauchs</b> - in die Fahrszenarie überlagerte Anzeige der antizipierten Fahrzeugbewegung und des Bremswegs, damit immer zu erkennen ist, in welchen Grenzen sich das Fahrzeug die nächsten Sekunden bewegen wird	Tönnis et al. (2006)

18	<b>Straßen-Vorausschau</b> - kontinuierliche Visualisierung des direkt vorausliegenden Straßenverlaufs, um Kurven und Streckenverlauf besser einschätzen zu können (v.a. auf Landstraßen)	
19	<b>Bremswegassistent</b> - kontaktanaloge Anzeige des nötigen Bremswegs (z.B. als überlagerte virtuelle Haltelinie) in Abhängigkeit von Eigengeschwindigkeit und Reibwertschätzung)	Assmann (1985)
20	<b>Abstandsanzeige zum Vordermann</b> - konstante, visuelle Information (Sekunden- oder Meter-Abstand) über den Abstand zum Vorderfahrzeug, z.B. für Situationen mit schlechter Sicht - Nebel, Regen, dichtes Schneetreiben etc.	Buld et al. (2004)
21	<b>ACC in Verbindung mit Speed Limit Info</b> - Fahrzeug kann auf Wunsch durchgängig auf Speed Limit bzw. Richtgeschwindigkeit regeln	König et al. (2002)
22	<b>Autonome Notbremse</b> - Fahrzeug entscheidet Bremsvorgang selbstständig und führt ihn durch, z.B. wg. akuter Kollisionsgefahr mit Fahrzeug, Objekt, Fußgänger etc.	Becker et al. (1997), Färber und Färber (1999)
23	<b>ACC mit Kurvenassistent</b> - Fahrzeug regelt im Normalfall auf Wunschgeschwindigkeit, jedoch zusätzlich selbstständige Geschwindigkeits-Anpassung vor Kurven, Autobahn-Abfahrten etc., entspricht vollautonomer Geschwindigkeitsregelung	König et al. (2002)
24	<b>Autonomer Stauassistent</b> - Fahrzeug kann sich im Stau ( $v < z.B. 30 \text{ km/h}$ ) hoch automatisiert bewegen (Längs- / Querführung sind gleichzeitig aktiv), Fahrer kann im besten Fall nebenher anderen Tätigkeiten nachgehen	INVENT (2005)
25	<b>Engstellen-Assistent</b> - haptische Unterstützung der Querführung bei schwieriger Spurhaltung (z. B. Fahren durch Autobahn-Baustelle oder Überholen eines LKWs in Baustelle), Fzg. wird in der Mitte der Spur gehalten	
26	<b>Autonome Querführung</b> - vollständig Übernahme der Querführung über den gesamten Geschwindigkeitsbereich	Spies (2004)
27	<b>Beschleunigungs-Anzeige</b> - konstantes, visuelles Feedback über momentan ausgenutzte Beschleunigungsmöglichkeiten bzw. verbleibende "Restpower"	
28	<b>Kolonnenassistent 1</b> - gibt Spurwechsel-Empfehlung für die günstigste Spur im dichten Kolonnenverkehr ab, hilft somit beim Durchschlängeln	
29	<b>Autobahn-Assistent</b> - Spurwechsel-Empfehlung (Erkennung der eigenen Spur) für richtige Spurwahl und rechtzeitiges Einordnen an Autobahnauf- /abfahrten und unübersichtlichen Kreuzen etc., ggf. Empfehlung zum Verbleiben auf Spur wenn Abfahrt schon nah	INVENT (2005)

30	<b>Infarkt-Assistent</b> - Einleiten eines autonomen Not-Spurwechsels auf Standspur und/oder Stoppen des Fahrzeugs bei plötzlichem Ausfall des Fahrers (z.B. durch Übelsein, Infarkt etc.)	
31	<b>Überhol-Motivator</b> - gibt Empfehlung zum Überholen ab, weil Vorderfahrzeug im Schnitt zu langsam und Straße ansonsten frei ist, dabei Beachtung sämtlicher Einschränkungen wie Speed Limit, Überholverbot, Straßengeometrie etc.	
32	<b>Kolonnenassistent 2</b> - integrierte Anzeige, die riskante Objekte im Fahrzeug-Umfeld auf einen Blick abstrakt visualisiert und z.B. im HUD, damit keine im Cockpit verteilten Infos mehr und z.B. Spurwechsel ohne Sicherheitsblicke möglich	
33	<b>Einfädelassistent 1</b> - Anzeige / Hinweis auf freie Lücke im fließenden Verkehr auf Autobahn-Auffahrten bzw. Empfehlen des optimalen Ausscherzeitpunkts	Mark Vollrath et al. (2005a)
34	<b>Einfädelassistent 2</b> - Zielgeschwindigkeitsempfehlung bzw. Anzeige der Geschwindigkeit des fließenden Verkehrs (Autobahn-Auffahrt), so dass Spurwechsel einfacher geplant werden kann	Mark Vollrath et al. (2005a)
35	<b>Einfädelassistent 3</b> - Warnung / Hinweis bei extrem kurzen oder nicht vorhandenen Beschleunigungsspuren (z.B. für italienische Autobahnen oder Auffahrten innerhalb einer Autobahn-Baustelle)	Mark Vollrath et al. (2005a)
36	<b>Überhol-Assistent 1</b> - Warnung vor gefährlichem Überholen bzw. vor Gegenverkehr, wenn Überholabsicht erkannt wird und Gegenverkehr zu nah ist	Löwenau et al. (2006)
37	<b>Überhol-Assistent 2</b> - fordert während des Überholens rechtzeitig zum Abbrechen auf, wenn nicht mehr rechtzeitig eingeschert werden kann (Berücksichtigung des überholten Fahrzeugs, des Gegenverkehrs und z.B. kommender Kurve)	
38	<b>Überhol-Assistent 3</b> - Angabe der Streckenabschnitte ohne Überholmöglichkeit aufgrund von uneinsehbaren Kurven, Überholverbot etc., z.B. durch Markieren dieser Abschnitte in der Karte	
39	<b>Baustellen-Assistent (Autobahn)</b> - gibt Restlänge der Baustelle an (z.B. "noch 800m"), damit Entscheidungshilfe für Fahrer - lohnt sich Überholen eines LKWs noch?	
40	<b>Überhol-Assistent 4</b> - Übertragung eines Videobildes vorausfahrender Fahrzeuge, um Überholvorgänge besser planen zu können	
41	<b>Kontaktanaloge Überholweg-Anzeige</b> --> virtuelle Überlagerung der berechneten Überholwegstrecke in die Fahrzsenerie, damit die Entscheidung zum Überholen leichter getroffen werden kann	

42	<b>Überhol-Absprache</b> - Kommunikation mit Fahrzeugen, die z.B. in Kolonne hinter einem Lkw sind - Kolonnenenerster gibt Überholabsicht an folgende Fzg. durch, damit weniger Notwendigkeit zu riskanten Manövern	
43	<b>Zielgeschwindigkeits-Assistent</b> - zeigt notwendige Geschwindigkeit für sicheren Überholvorgang an	
44	<b>Überhol-Assistent 5</b> - empfiehlt Ausscheren zum Überholen, nachdem Fahrer vorher Überholwunsch ausgedrückt hat, wählt richtigen Zeitpunkt für Aus- und nachfolgendes Wiedereinscheren, dabei Integration aller notwendigen Informationen	
45	<b>Not-Ausweich-Assistent</b> - analog einem Notbrems-Assistent kann das Fahrzeug autonom einem Hindernis ausweichen, sobald der Fahrer die Ausweichrichtung "bestätigt" hat, z.B. durch Anreißen des Lenkrads in die entsprechende Richtung	
46	<b>Autonomes Ausweichen</b> - das Fahrzeug entscheidet selbstständig Not-Ausweichmanöver zur Unfallvermeidung und führt dieses durch (vgl. Autonome Notbremse)	Spies (2004)
47	<b>Blinker-Assistent</b> - setzt automatisch den Blinker, wenn er vom Fahrer vergessen wurde und ein Spurwechsel / Abbiegen etc. detektiert wird	Spies (2004)
48	<b>Einfädelassistent 4</b> - selbstständige Beschleunigung in Lücke im fließenden Verkehr an Autobahn-Auffahrt, wenn vom Fahrer gewünscht	
49	<b>Autonomer Spurwechsel in Verbindung mit einem Stauassistenten</b> (autonome Fahrzeugführung im Niedergeschwindigkeits-Bereich), selbstständige Durchführung des Spurwechsel wenn sicher möglich	
50	<b>Autonomer Spurwechsel</b> im gesamten Geschwindigkeitsbereich	
51	<b>Spurwechsel-Korrektur</b> - Eingriffe in Quer- und Längsführung, wenn Fahrer nicht ausreichend beschleunigt, lenkt und einen definierten Rahmen verlässt (z.B. bei zu weiten Auslenken), kann Fahrzeug in Lücke beschleunigen	
52	<b>Adaptive Spurverlassenswarnung</b> - Fahrer wird nur dann beim Verlassen der Spur gewarnt, wenn es unabsichtlich geschieht (Sekundenschlaf, Ablenkung etc.)	Hoch et al. (2007)
53	<b>Highscore-Zähler</b> für erfolgreiche Überholvorgänge	

<b>Kreuzungs-Assistenten</b>		
Der Themenkomplex Kreuzung beinhaltet vor allem Sicherheitssysteme, die das Durchfahren und Abbiegen an Kreuzungen sicherer machen sollen - inkl. einiger zusätzlicher Komfortfunktionen.		
54	<b>Rotlicht-Assistent</b> - Warnung bei drohender Überfahrt oder Anfahren an einer roten Ampel	Oltersdorf (2005)
55	<b>Stopschild-Assistent 1</b> - Vorabinformation über kommendes Stopschild (z.B. 70 m vorher)	Oltersdorf (2005)
56	<b>Stopschild-Assistent 2</b> - akute Warnung bei offensichtlicher Nichtbeachtung des Stopschilds	Oltersdorf (2005)
57	<b>Querverkehrs-Assistent 1</b> - Hinweis auf gefährlichen Querverkehr bereits vor Erreichen der Kreuzung (z.B. 100 m vorher)	Oltersdorf (2005)
58	<b>Querverkehrs-Assistent 2</b> - akute Warnung kurz vor Durchfahrt oder Anfahrt, wenn Kollision mit Querverkehr droht	Oltersdorf (2005)
59	<b>Querverkehrs-Assistent 3</b> - kontinuierliche Visualisierung des vom Querverkehr ausgehenden Risikos beim Warten auf Durchfahrtsmöglichkeit	
60	<b>Vorfahrts-Assistent</b> - Hinweis bei Missachtung einer Vorfahrtsregelung (z.B. "Hier rechts vor links!")	
61	<b>Falscheinfahrts-Assistent</b> - Warnung bei Falscheinfahrt in Straße, die in Karte als verboten verzeichnet ist (Autobahn-Abfahrt, Einbahnstraße etc.) oder anders detektiert werden kann (z.B. per Bilderkennung), damit Verhindern von Geisterfahrern	
62	<b>Abbiege-Assistent 1</b> - Hinweis / Warnung vor Radfahrer / Fußgänger beim Queren oder Abbiegen	Brakemeier (2002)
63	Erweiterte Navigation im Kreuzungsbereich - <b>Spurwechsel-Empfehlungen für optimale Abbiegespur</b> bzw. rechtzeitigen Wechsel vor der Kreuzung, spurgenaue Navigation inkl. Erkennung der eigenen Spur	Oltersdorf (2005)
64	<b>Ampelassistent 1</b> - Erkennung der Ampelphasen per Funk und dynamische Empfehlung, z.B. "Anhalten, Ampel schaltet demnächst auf Rot um!" oder "Fahren Sie 50 km/h, um bei Grün durchzukommen!"	Thoma et al. (2007)

65	<b>Ampelassistent 2</b> - Counter gibt Restzeit der Ampelphasen in Sekunden an	Thoma et al. (2007)
66	<b>Ampelassistent 3</b> - Fahrzeug wird gebremst bei Missachtung einer roten Ampel (seit mehr als 1 sec rot), langsames Durchfahren (Räumen für Ambulanz) sei gestattet	Oltersdorf (2005)
67	<b>Stopschild-Assistent</b> - Fahrzeug bei Missachtung autonom an Stopschild eingebremst (langsames Durchfahren ist jedoch möglich)	Meitinger et al. (2004)
68	<b>Querverkehrs-Assistent</b> - Fahrzeug wird vor dem Queren autonom eingebremst bei hoher Kollisionswahrscheinlichkeit mit Querverkehr	Oltersdorf (2005)
69	<b>Linksabbiege-Assistent 2</b> - beim Linksabbiegen trotz Gegenverkehr wird das Fzg. festgehalten bzw. eingebremst	Meitinger et al. (2004)
70	<b>Linksabbiege-Assistent 1</b> - kontinuierliche Visualisierung des vom Gegenverkehr ausgehenden Risikos beim Warten auf Abbiegemöglichkeit (z.B. mit Bargraph etc.)	INVENT (2005)
71	<b>Abbiege-Assistent 2</b> - Fzg. wird beim Rechtsabbiegen trotz Fahrradfahrer / Fußgänger eingebremst	INVENT (2005)
72	<b>Autonomer Kreuzungsassistent</b> - kann selbstständig abbiegen bzw. Kreuzung durchfahren, dabei Berücksichtigung aller Umgebungsbedingungen	
73	<b>Escape-Assistent</b> - Fzg. beschleunigt beim Linksabbiegen oder Durchqueren in Zielkorridor, wenn Gegen- / Querverkehr zu nahe ist und Abbremsen nicht hilft (weil z.B. Fzg. nach Anhalten direkt im Kollisionsraum wäre)	
74	<b>Kreuzungsassistent in Verbindung mit ACC</b> - bei aktiviertem ACC hält Fahrzeug selbstständig an roter Ampel, Vorfahrtsstraße etc. (Kreuzung wird Teil der Längsführungs-Automation), Fahrer muss ACC nicht mehr deaktivieren / übersteuern	
<b>Assistenten für Park-Situationen</b>		
Anfang und Ende einer Fahrt sind im Themenfeld Parken zusammengefasst. Diese Assistenten sollen sowohl das Auffinden eines Parkplatzes, als auch den Ein- / Ausparkvorgang selber unterstützen.		
75	<b>Müdigkeits-Assistent</b> - Vigilanzmonitor, der Pause vorschlägt und sich z.B. kurz vor Abfahrt zur Raststätte meldet	Bekiaris und Amditis (2002)

76	<b>Online-Parksystem</b> - Parkuhren / Parkhäuser geben Belegungszustand an lokale Server und Car2Car-Kommunikationssystem weiter, so dass freie Parkplätze schneller auffindbar sind, Größe, Position, Kosten etc. sind dadurch im Fahrzeug per Online-Dienst verfügbar	Matheus und Morich (2004)
77	<b>Parksuch-Licht</b> - rückwärtige Fahrzeuge werden auf Parkplatzsuche des Fahrers aufmerksam gemacht, z.B. per Warnblinklicht oder zusätzlicher Leuchte, verhindert spontane Ausweichmanöver und Ärgernis	Doisl (2007)
78	<b>Parkkostenassistent</b> - Kosteninformation für Parkplatz bereithalten, ggf. auf günstigeren in kurzer Entfernung hinweisen	Kosch (2004)
79	<b>Auspark-Assistent</b> - in Verbindung mit Spurwechsel-System gefährliche Ausfahrt verhindern (Längs- und Querparkplätze), Fzg. notfalls autonom einbremsen	
80	<b>Entscheidung für einen bestimmten Parkplatz erleichtern</b> durch Anzeige des Schwierigkeitsgrad bzw. alternativer Parkplätze in Umgebung bzw. , z.B. "Größerer (=einfacherer) Parkplatz in 200 m!"	
81	<b>Einpark-Kollisionsschutz</b> - Fzg. wird angebremsst oder autonom gestoppt, wenn Kollision mit Objekten beim Einparken droht (Einsatzbereich z.B. <10 km/h)	
82	<b>Einpark-Assistenz für Längsbuchten</b> - Hinweis / Warnung bei drohender Kollision mit Gegenverkehr (wenn Fahrzeugbug aus Spur ausschwenkt beim Rücksetzen)	
83	<b>Autonomes Parkhaus</b> - Fzg. wird am Eingang übergeben und durch Transportgestell automatisch zum Parkplatz gebracht, Fahrer verlässt Fahrzeug vorher	
84	<b>Autonomer Einparkassistent</b> - Fzg. kann nach Bestätigung vollautonom in Parklücke einparken (Längs- und Querführung)	Sacher (2004)
85	<b>Garagenparker</b> - Fzg. kann selbstständig nach dem Aussteigen des Fahrers in Garage einparken, damit z.B. engere Garagen realisierbar	
86	<b>Autonomer Auspark-Assistent</b> - Fzg. kann beim rückwärtigen Ausparken aus querstehender Parkbucht freie Straße abwarten und autonom (Längs- und Querführung) ausparken	
87	<b>Parktutor</b> - Feedback über Qualität des Einparkvorgangs - Position innerhalb der Parklücke, Highscore etc., um z.B. kontinuierliche Verbesserung zu ermöglichen	

88	<b>Parkuhr-Assistent</b> - Anruf / SMS auf Handy des Fahrers, wenn Parkuhr abgelaufen ist, gleichzeitig Verlängerung per Anruf / SMS möglich	
89	<b>Halteverbots-Assistent</b> - Warn-Hinweis bei Einparkversuch in Halteverbot / Feuerwehr-Zugangszone / Ausfahrt etc., weil vom Fahrer z.B. offensichtlich übersehen	
90	<b>Parkrempler-Assistent</b> - geparktes Fahrzeug aktiviert sämtliche Kameras bei unnatürlicher Erschütterung (z.B. durch Parkrempler oder Vandalismus) und nimmt Umgebungsvideo auf, so dass Verantwortliche leichter gefunden werden können	
91	<b>Auffinde-Assistent</b> - Koordinaten des Fahrzeugs außerhalb des Wagens verfügbar machen (vgl. welche Etage des Parkhauses?) --> z.B. per GPS / SMS und Mobiltelefon abfragbar	Spies (2004)

## A.2 Fragebogen der Delphi-Studie „FAS 2015“

Für die Expertenbewertung wurden die 91 Funktionen jeweils mit vier sechsstufigen Skalen für Entlastungspotenzial, Sicherheitssteigerung, Fahrspaß und Nutzen für den Fahrer versehen, ergänzt um eine dreiteilige Auswahl für die Realisierbarkeit. Ein Anschreiben sowie eine Erklärung vervollständigten den Fragebogen, wie auf den nächsten Seiten zu sehen ist.



Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer,

vielen Dank für Ihr Interesse an unserer Studie „Zukunft der Fahrerassistenz“. Sie haben mit Ihrer Teilnahme die Möglichkeit, eine persönliche Bewertung neuer Ideen auf dem Gebiet der Fahrerassistenz abzugeben, mit deren Hilfe wichtige Impulse für die Entwicklung entstehen sollen.

Die Zahl der im Fahrzeug verfügbaren Fahrerassistenz-Systeme ist in den letzten 10 Jahren bereits deutlich gestiegen und setzt sich allmählich auch in kleineren Fahrzeugklassen durch. Folgende Funktionen befinden sich bereits in Serienfahrzeugen oder sind Teil von Consumer Devices (z.B. TomTom) und werden daher in dieser Studie nicht berücksichtigt:

Navigationssysteme	Systeme zur Berechnung einer optimalen Route A → B und entsprechenden Richtungs-Hinweisen an jeder Kreuzung, Abfahrt etc.
Dynamische Routenplanung	Anpassung einer gewählten Route an Staus etc., die durch Verkehrsfunk gemeldet werden
ACC / ACC Stop&Go	abstandsgeregelter Tempomat in Verbindung mit Stop&Go-Tauglichkeit für Stau- und Kolonnenverkehr (Einsatzbereich 0...180 km/h)
Speed Limit Info	Anzeige der aktuell gültigen Höchstgeschwindigkeit (kartenbasierte Information)
Lane Departure Warning	Warnmeldung / Hinweis bei drohendem Verlassen der eigenen Spur
Lane Change Assist	Unterstützung des Fahrers bei der Durchführung von Spurwechseln, Warnung vor gefährlichen Spurwechseln
Kollisionswarnung	Warnung bei drohender Kollisionsgefahr mit Vorderfahrzeug
Bremsassistent	Verstärkung der Bremskraft in Notbrems-Situationen
Night Vision	Anzeige eines Infrarot-Bildes bei Nachtfahrten zu besserer Erkennung von Fußgängern, Wild etc., Erweiterung des bei Nacht eingeschränkten Sichtfeldes
Einpark-Assistent	Suchen einer geeigneten Parklücke und Übernahme der Querführung beim Einparken, Fahrer muß jedoch Längsführung weiterhin übernehmen



Die Autoren dieser Studie haben anhand verschiedener Analysen weitere theoretische Assistenzfunktionen abgeleitet, die nun hinsichtlich ihres Potenzials und Ihrer Realisierbarkeit bewertet werden sollen. Diese wurden mit schon existierenden, jedoch noch nicht in die Serie umgesetzten Ideen ergänzt. Ziel der Studie ist es, aus der verhältnismäßig großen Anzahl an denkbaren Funktionen die vielversprechendsten zu selektieren – und nicht so viele wie möglich in einem System zu integrieren. Die Vorschläge sind teilweise ungewöhnlich oder provokant und dürfen daher durchaus kritisch beurteilt werden. Folgende fünf Bewertungsdimensionen stehen Ihnen dafür zur Verfügung:

### Entlastungspotenzial

Hiermit soll abgeschätzt werden, inwieweit die vorgeschlagene Funktion den Fahrer bei seiner allgemeinen bzw. der jeweils beschriebenen Fahraufgabe entlasten kann. Beispielsweise würde einem klassischen Radio eher wenig Entlastungspotenzial hinsichtlich der Fahraufgabe zugeschrieben werden, einem ACC-System hingegen deutlich mehr.

### Sicherheitssteigerung

Assistenzsysteme sind häufig Systeme zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit bzw. Unfallvermeidung (siehe ABS oder Notbremsassistent). Mithilfe dieser Dimension soll beurteilt werden, inwieweit sich die Sicherheit des Fahrer-Fahrzeug-Systems innerhalb des Verkehrs durch die neue Funktion steigern ließe. Die Steigerung kann je nach Funktion aus einer reinen Unfallvermeidung resultieren (z.B. durch einen Notbremsassistenten) als auch aus einer erhöhten globalen Sicherheit, z.B. durch das Vermeiden gefährlicher Situationen, die zu Unfällen führen könnten.

### Fahrspaß / Vergnügen

Wie bereits erwähnt, konzentrieren sich aktuelle FAS vor allem auf Sicherheitsfunktionen und werden daher nicht primär mit Fahrspaß und Vergnügen in Verbindung gebracht. Im Vorfeld dieser Studie wurde daher verstärkt nach Funktionen gesucht, die sich positiv auf den Fahrspaß oder das Erleben der Fahrt auswirken könnten. Mit diesem Kriterium entscheiden Sie, ob eine bestimmte Idee explizit den Spaß beim Fahren erhöhen würde oder nicht.



**Nutzen für den Fahrer**

Der Nutzen eines Assistenten hat direkten Einfluß auf Akzeptanz und Kaufbereitschaft. Diese Dimension soll eine Einschätzung hinsichtlich der späteren Akzeptanz und Verwendung ermöglichen – gibt es eine Zielgruppe von BMW-Fahrern, die von einer bestimmten Funktion einen echten Vorteil haben oder handelt es sich um eine technologisch motivierte Entwicklung ohne echten Bedarf? Wenn Sie den Nutzen nur für eine spezielle Zielgruppe sehen (z.B. Motorradfahrer), so notieren Sie diese bitte unter „Anmerkungen“.

**Realisierbarkeit bis 2015**

Hierbei ist ausschließlich die technische Machbarkeit gefragt – sehen Sie Chancen, dass die vorgeschlagene Funktion bis ca. 2015 in einem Serienfahrzeug realisiert werden kann? Hierbei muß – abweichend von den anderen Spalten – nur zwischen „ja“, „evtl.“ und „nein“ unterschieden werden.

**Anmerkungen:**

Für zusätzliche Ideen oder Anmerkungen ist auf jeder Seite etwas Platz reserviert – jeder kreative / kritische Input ist willkommen. Für Rückfragen stehen wir unter 089/382-32510 (Thomas.Lindberg@bmw.de) oder 089/382-30628 (Stephan.Thoma@bmw.de) jederzeit zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen,

Thomas Lindberg  
BMW Forschung und Technik GmbH  
Hanauer Str. 46  
80922 München

Funktions-Vorschlag / Idee	Entlastungs-potenzial?		Sicherheits-Steigerung?		Fahrspaß / Vergnügen?		Nutzen für den Fahrer?		Realisierbar bis 2015?		
	kein Potenzial	hohes Potenzial	keine Steigerung	hohe Steigerung	kein Spaß	viel Spaß	nutzlos	sehr nützlich	nein	evtl.	ja
	[Scale]		[Scale]		[Scale]		[Scale]				
Autonomer Spurwechsel im gesamten Geschwindigkeitsbereich	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]			
Spurwechsel-Korrektur - Eingriffe in Quer- und Längsführung, wenn Fahrer nicht ausreichend beschleunigt, lenkt und einen definierten Rahmen verläßt (z.B. bei zu weiten Auslenken), kann Fahrzeug in Lücke beschleunigen	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]			
Adaptive Spurverlassenswarnung - Fahrer wird nur dann beim Verlassen der Spur gewarnt, wenn es unabsichtlich geschieht (Sekundenschlaf, Ablenkung etc.)	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]			
Highscore - Zähler für erfolgreiche Überholvorgänge	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]	[Scale]			
Anmerkung / Kommentar:											

(Die übrigen Seiten enthielten die weiteren Funktionen aus Tabelle A.1 in gleicher Form wie die hier gezeigten drei Beispiele).

**A.3 Ergebnis der Delphistudie „FAS 2015“**

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine vollständige Rangliste der bewerteten Funktionen der Delphi-Studie nach der zweiten Welle und der Berechnung der Gesamt-Utility. Die Mittelwerte der Einzeldimensionen sind von einer sechstufigen Ratingskala auf Prozentwerte umgerechnet.

Tabelle 8.2: Rangliste der Delphi-Studie "FAS 2015"

Rang Potenz.	Berechnetes Gesamtpot.	Funktion	Nr.	Entlastung	Sicherheit	Fahrspaß	Nutzen
1	73,2%	Stauassistent	24	87,8%	58,7%	58,7%	86,7%
2	60,9%	Engstellen-Assistent haptisch	25	74,4%	64,0%	38,9%	71,8%
3	60,7%	Kurvenwarnung	15	40,0%	68,9%	54,7%	73,3%
4	58,3%	ACC Kurvenregelung	23	63,3%	64,0%	40,0%	68,9%
5	57,9%	Traffic Flow	3	69,3%	26,7%	52,2%	74,4%
6	57,2%	Autonomes Einparken	84	73,3%	45,3%	36,0%	74,4%
7	56,3%	Autonomes Garagenparken	85	66,7%	28,0%	37,3%	84,0%
8	55,5%	Autonome Notbremse	22	50,7%	82,7%	17,8%	77,3%
9	55,0%	Radarfallen-Assistent	13	36,0%	12,2%	64,0%	82,2%
10	54,7%	Adaptive Spurverlassens-Warnung	52	54,7%	77,8%	18,9%	74,4%
11	54,6%	ACC reagiert auf Kreuzung	74	65,6%	47,8%	42,7%	63,3%
12	53,7%	Local Hazard Warning	6	52,0%	73,3%	20,0%	74,4%
13	52,6%	Spurgenaue Navigation Kreuzung	63	60,0%	42,4%	40,0%	65,9%
14	50,9%	ACC mit Speed Limit	21	69,3%	42,2%	30,0%	64,4%
15	50,8%	Online-Parkuhren mit Belegungszustand	76	68,9%	12,2%	33,3%	78,9%
16	50,6%	Abbiege-Assistent 1 - Warnung Fußgänger	62	53,3%	74,4%	17,8%	65,6%
17	50,4%	Parkbremse bei Kollisionsgefahr	81	58,7%	53,3%	22,2%	70,0%
18	50,3%	Auslands-StVO	7	54,7%	50,7%	22,2%	73,3%
19	49,9%	Route-Assistent	1	21,1%	13,3%	81,1%	58,9%
20	49,8%	Tour-Guide	2	25,6%	7,8%	70,7%	68,9%
21	47,8%	Reduced Night Vision	10	44,4%	72,2%	18,9%	62,2%
22	47,7%	Auspark-Assistent	79	54,4%	65,6%	16,7%	62,2%
23	46,9%	Autonomes Parkhaus	83	72,0%	22,7%	14,7%	76,0%
24	46,8%	Abstandsanzeige zum Vordermann	20	49,3%	57,6%	31,8%	52,9%
25	46,6%	Kurvengeschwindigkeits-Empfehlung	16	36,0%	46,7%	49,3%	50,0%
26	45,1%	Überholen 3 - Karte m. Überholmöglichk.	38	47,1%	46,7%	30,6%	56,5%
27	43,6%	Strassenvorausschau (kontinuierlich)	18	38,7%	40,0%	41,3%	50,7%
28	43,6%	Ampelassistent 1 - Empfehlung v_gruen	64	43,3%	34,4%	38,9%	53,3%
29	41,7%	Spurgenaue Navi Autobahn	29	56,0%	33,3%	26,7%	52,2%
30	41,4%	Einfaedeln 3 - Warnung kurze Spur	35	45,6%	54,4%	20,0%	51,1%
31	40,9%	Parkassistent - Vermeidung GV-Kollision	82	46,3%	52,5%	16,3%	53,8%
32	40,6%	Rote-Ampel Warnung	54	28,9%	73,3%	7,8%	58,9%
33	40,6%	Tankstellen-Assistent	8	44,0%	21,1%	18,9%	70,0%
34	39,5%	Falscheinfahts-Assistent - Warnung	61	27,8%	63,3%	13,3%	56,7%
35	38,7%	Stopschild 2 - Akutwarnung	56	29,3%	65,3%	7,8%	57,3%
36	38,0%	Abbiegen 2 - Einbremsen Fußgänger	71	27,8%	68,0%	8,9%	53,3%
37	36,1%	FindMe-Assistent	91	45,3%	6,7%	14,1%	68,0%
38	34,4%	Ampelassistent 2 - Countdown	65	28,0%	21,3%	34,7%	45,3%
39	34,2%	Baustelle - Anzeige Restlänge	39	30,7%	33,3%	23,3%	46,7%
40	32,8%	Logbuch	4	15,6%	7,8%	33,3%	56,7%

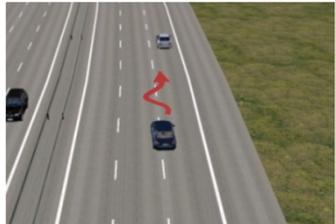
Rang Potenz.	Berechnetes Gesamtpot.	Funktion	Nr.	Entlastung	Sicherheit	Fahrspaß	Nutzen
41	32,5%	Muedigkeits-Feedback	9	18,9%	61,1%	6,7%	47,8%
42	32,3%	Sirenenassistent	12	30,7%	50,0%	6,7%	46,7%
43	31,6%	Einfaedeln 2 - Anzeige v_ziel	34	28,0%	34,4%	26,7%	36,7%
44	31,6%	Stopschild 1 - Vorabinfo	55	33,3%	45,6%	7,8%	44,4%
45	31,3%	Spritspar-Tutor	5	17,3%	10,0%	21,1%	61,1%
46	31,0%	Anruf bei abgelaufener Parkuhr	88	44,0%	1,2%	7,1%	62,7%
47	30,9%	Parkrempler-Assistent - Beweisvideo	90	8,2%	21,2%	8,2%	70,6%
48	30,8%	Bremsweganzeige kontaktanalog	19	25,6%	45,3%	22,2%	33,3%
49	29,5%	Vorfahrts-Assistent - Hinweis bei Mißachtung	60	25,6%	44,4%	11,1%	40,0%
50	29,4%	Parkkosten-Assistent - Kosteninfo	78	22,7%	3,3%	16,7%	60,0%
51	29,4%	Stopschild 3 - Überfahrt autonom einbremsen	67	15,6%	62,7%	4,4%	41,1%
52	29,0%	Snapshot Kameras	11	8,2%	9,4%	37,3%	44,7%
53	28,9%	Weckassistent	14	40,0%	8,9%	16,7%	45,3%
54	28,0%	Blinker-Assistent	47	29,3%	43,3%	13,3%	32,0%
55	26,7%	Müdigkeits-Assistent - Pausenvorschlag	75	21,1%	46,7%	3,3%	40,0%
56	26,3%	Restpower-Anzeige	27	5,6%	10,0%	46,7%	28,9%
57	25,6%	Halteverbots-Hinweis	89	24,4%	11,1%	8,9%	50,0%
58	20,9%	Parksuchlicht	77	16,7%	37,3%	10,0%	24,0%
59	17,4%	Parktutor - Feedback Einpark-Qualität	87	6,7%	6,7%	24,4%	23,3%
60	12,2%	Highscore ueberholte Fzg.	53	0,0%	0,0%	34,7%	5,6%
61	52,5%	Ueberholen 1 - Warnung gefährl. GV	36	60,0%	62,2%	30,0%	63,3%
62	48,2%	<b>Querverkehr 2 - Akutwarnung</b>	58	46,7%	72,2%	15,6%	65,3%
63	48,0%	<b>Autonomes Ausparken</b>	86	62,7%	53,3%	18,9%	63,3%
64	46,7%	Kreuzungsassistent - autonome Manöver	72	72,0%	64,0%	14,4%	52,0%
65	44,1%	Autonomes Notausweichen	46	41,3%	68,0%	7,8%	65,6%
66	43,6%	Kolonnen-Assistent 1 - günstigste Spur	28	38,7%	9,4%	55,3%	55,3%
67	43,2%	Kolonnen-Assistent 2 - integrierte Anzeige	32	52,0%	45,9%	29,3%	49,3%
68	40,8%	Autonome Querführung	26	53,3%	43,3%	17,8%	53,3%
69	40,3%	Notausweichen nach Bestätigung	45	28,9%	66,7%	11,1%	58,7%
70	39,2%	Autonomer Spurwechsel Stauassistent	49	56,0%	26,7%	22,7%	52,0%
71	39,0%	Einfaedeln 4 - Beschleunig. in Lücke	48	54,7%	36,0%	25,6%	44,0%
72	38,3%	Ueberholen 7 - Empfehlung Ausscheren	44	38,7%	37,3%	20,0%	55,6%
73	38,1%	<b>Einfaedeln 1 - Empfehlung Luecke</b>	33	47,8%	35,6%	26,7%	44,4%
74	37,9%	Querverkehr 4 - Autonom einbremsen	68	26,7%	62,2%	10,0%	56,0%
75	37,7%	Ueberholen 2 - Abbruch-Aufforderung	37	36,0%	54,7%	11,1%	53,3%
76	33,1%	<b>Linksabbiegen 2 - Einbremsen bei GV</b>	69	26,7%	60,0%	6,7%	45,6%
77	33,0%	Parkplatz-Schwierigkeitsgrad	80	43,3%	12,2%	20,0%	51,1%
78	31,3%	Querverkehr 1 - Hinweis auf gefaehrlichen QV	57	24,4%	56,0%	15,6%	35,6%
79	31,1%	Anzeige Ueberholweg kontaktanalog	41	30,7%	29,3%	25,3%	37,8%
80	29,7%	Infarkt-Not-Spurwechsel	30	0,0%	68,0%	0,0%	52,0%
81	28,1%	Ampelassistent 3 - Rotüberfahrt einbremsen	66	14,4%	52,0%	8,9%	40,0%
82	27,7%	Escape-Assistent - Beschleunigung	73	26,7%	41,3%	8,9%	37,8%
83	25,2%	Ueberholen 6 - Anzeige v_ziel	43	26,7%	27,8%	22,2%	25,6%
84	24,7%	Linksabbiegen 2 - Visualisierung	70	17,3%	33,3%	13,3%	34,4%
85	23,2%	Ueberhol-Motivator	31	20,0%	14,4%	25,3%	28,0%
86	22,3%	Querverkehr 3 - Visualisierung Risiko QV	59	22,2%	34,4%	8,9%	27,8%
87	22,3%	Fahrschlauch-Anzeige kontaktanalog	17	18,8%	27,1%	20,0%	23,5%
88	21,9%	Auto-Spurwechsel jederzeit	50	33,3%	17,3%	12,5%	26,7%
89	21,2%	Ueberholen 4 - Uebertragung Videobild	40	21,1%	17,8%	23,3%	21,3%
90	20,4%	Ueberholen 5 - Absprache mit anderen	42	21,1%	31,1%	7,8%	25,6%
91	20,4%	Spurwechsel-Korrektur	51	14,7%	25,3%	5,3%	34,7%

## Anhang B: Versuch zur Integration von Sicherheits-FAS der Querführung

### B.1 Nutzfälle für Querführungs-FAS in der Fahrsimulation

Die folgenden Tabellen beschreiben die in vier Fahrtabschnitten umgesetzten Nutzfälle für Querführungs-FAS.

Tabelle 8.3: Nutzfälle für Fahrtabschnitt 1

Fahrtabschnitt	Nutzfall	Illustration
1 – Autobahn	<p><b>AB1a (Autobahn) – SPV links</b></p> <p>Abdrängung mittels forcierter Gierwinkel- Abweichung von rechter Spur auf mittlere Spur, keine sonstigen Fahrzeug außer Führungsfahrzeug in eigener Spur (v = ca. 130 km/h)</p>	
	<p><b>AB1b (Autobahn) – SPW_mB rechts</b></p> <p>Notausweichen von linker auf mittlere Spur nötig, da Vorderfahrzeug im Stau stark bremst. Situation abweichend von den restlichen fünf, da Zielspur nicht belegt – Situation war ursprünglich als SPV- Nutzfall ausgelegt (v = ca. 60 km/h)</p>	
	<p><b>AB1c (Autobahn) – SPW_Info_oB</b></p> <p>Fahrer fährt auf rechter Spur, wird von schnellerem Fahrzeug links überholt. Keine Spurwechselabsicht, kein Blinken (v = ca. 130 km/h)</p>	
	<p><b>AB1e (Autobahn) – SPW_mB links</b></p> <p>Überholen eines langsamen LKW auf rechter Spur nötig. Mit Setzen des Blinkers beschleunigt ein auf Zielspur fahrendes Fahrzeug (grau) stark von hinten nach vorn (v = ca. 130 km/h)</p>	

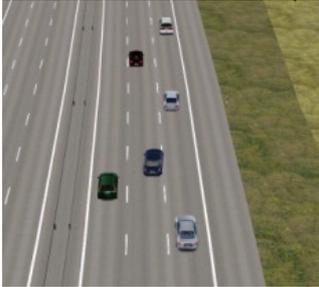
**Tabelle 8.4:** Nutzfälle für Fahrtabschnitt 2

Fahrtabschnitt	Nutzfalle	Illustration
2 – Landstraße	<p><b>LS1a – SPV_GV links</b></p> <p>Fahrer muss wegen einer Baustelle teilweise auf die linke Fahrbahn ausweichen, dort kommt Gegenverkehr (v = ca. 60 km/h)</p>	
	<p><b>LS1b – SPW_mB rechts</b></p> <p>Parkendes Fahrzeug (weiß) muss in Innenstadt überholt werden, mit Setzen des Blinkers schert rotes Fahrzeug hinter Ego-Fahrzeug aus und überholt zuerst (v = ca. 30 km/h)</p>	
	<p><b>LS1c – FBV rechts</b></p> <p>Abdrängung durch forcierte Gierwinkel-Abweichung während einer Kurverfahrt. Ego-Fahrzeug wird nach rechts aus Kurve getragen (v = ca. 80 km/h).</p>	

**Tabelle 8.5:** Nutzfälle für Fahrtabschnitt 3

Fahrtabschnitt	Nutzfalle	Illustration
3 – Landstraße	<p><b>LS2a – SPW_mB links</b></p> <p>Langsamer Lieferwagen (weiß) muss auf Landstrasse überholt werden. Zweiter Hintermann (rot) hat bereits vorher zum Überholen zweier Fahrzeuge angesetzt (graues Fahrzeug und Ego-Fahrzeug) und beschleunigt mit Setzen des Blinkers nach vorn (v = ca. 60 km/h)</p>	
	<p><b>LS2b1 – SPV_GV links</b></p> <p>Fahrer wird in einer leichten Rechtskurve durch Gierwinkel-Abweichung in den Gegenverkehr gedrängt (v = ca. 90 km/h)</p>	
	<p><b>LS2c – FBV rechts</b></p> <p>Fahrer muss in einer Engstelle einem entgegenkommenden LkW ausweichen und verlässt die Fahrbahn (v = ca. 50 km/h)</p>	

**Tabelle 8.6:** Nutzfälle für Fahrtabschnitt 4

Fahrtabschnitt	Nutzfall	Illustration
4 – Autobahn	<p><b>AB2a1 – SPV links</b></p> <p>Abdrängung nach links auf freie, linke Spur. Mehrere Fremdfahrzeuge auf mittlerer und rechter Spur</p> <p>(v = ca. 120 km/h)</p>	
	<p><b>AB2a2 – SPW_mB links</b></p> <p>Ego-Fahrzeug muss überholen, beim Blinkersetzen zieht Hintermann (grau) raus und überholt mit starker Beschleunigung</p> <p>(v = ca. 120 km/h)</p>	
	<p><b>AB2d – SPW_mB rechts</b></p> <p>Vorderfahrzeug auf mittlerer Spur bremst im Stau stark ab, Ego-Fahrzeug muss auf rechte Spur ausweichen, Mit Setzen des Blinkers beschleunigt der dort fahrende Hintermann (grau) und schließt die Lücke</p> <p>(v = ca. 80 km/h)</p>	
	<p><b>AB2e – FBV links</b></p> <p>Fahrer muss eine Gruppe von Personen am rechten Fahrbahnrand zählen, während er auf linker Autobahnspur fährt. Abdrängung durch Gierwinkel-Abweichung in Leitplanke</p> <p>(v = ca. 130 km/h)</p>	
	<p><b>AB2h – SPW_oB links</b></p> <p>Abdrängung Ego-Fahrzeug von mittlerer auf linke Spur während eines Überholvorgangs. Linke Spur belegt durch Kolonne an schnelleren Fremdfahrzeugen</p> <p>(v = ca. 130 km/h)</p>	

## B.2 Streckenübersicht des verwendeten Kurs

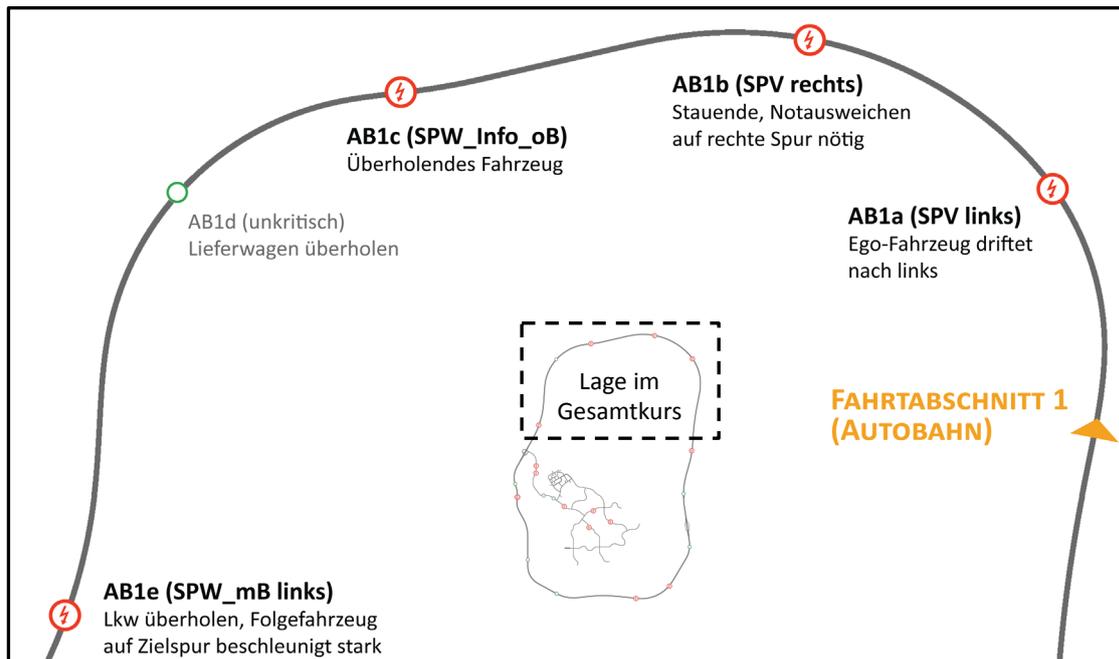


Abbildung 8.1: Fahrtabschnitt 1

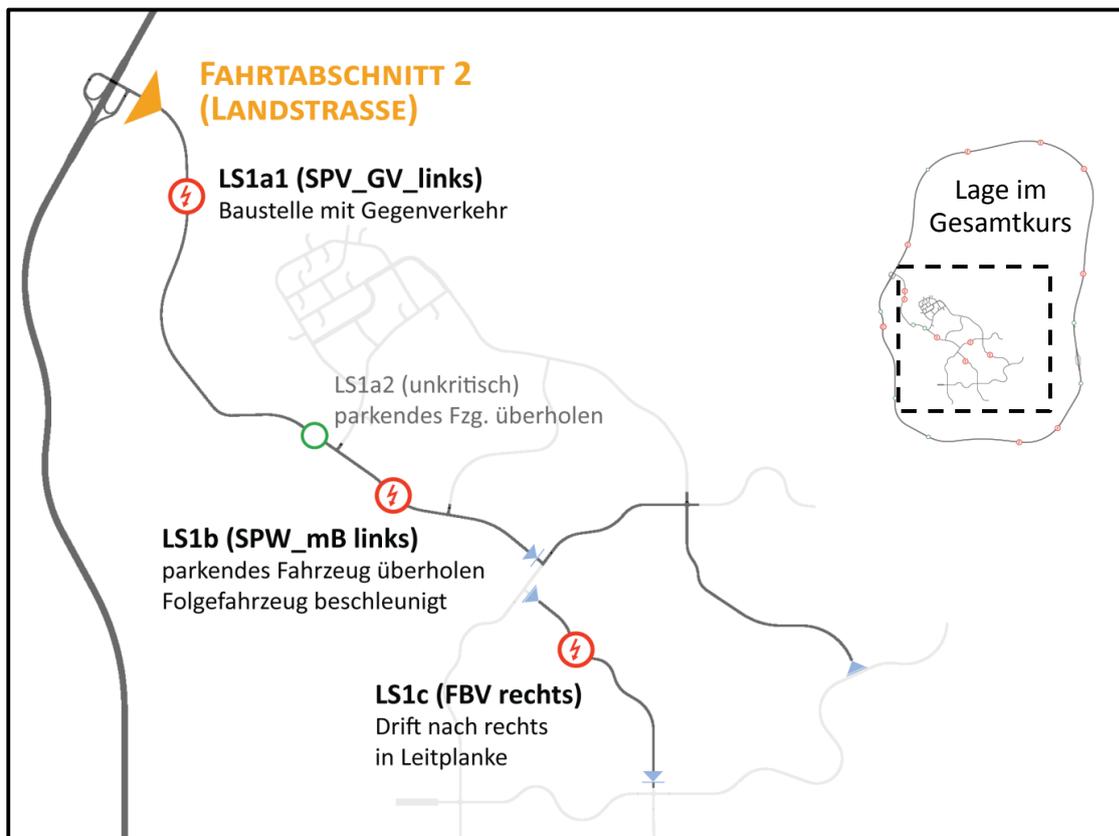


Abbildung 8.2: Fahrtabschnitt 2

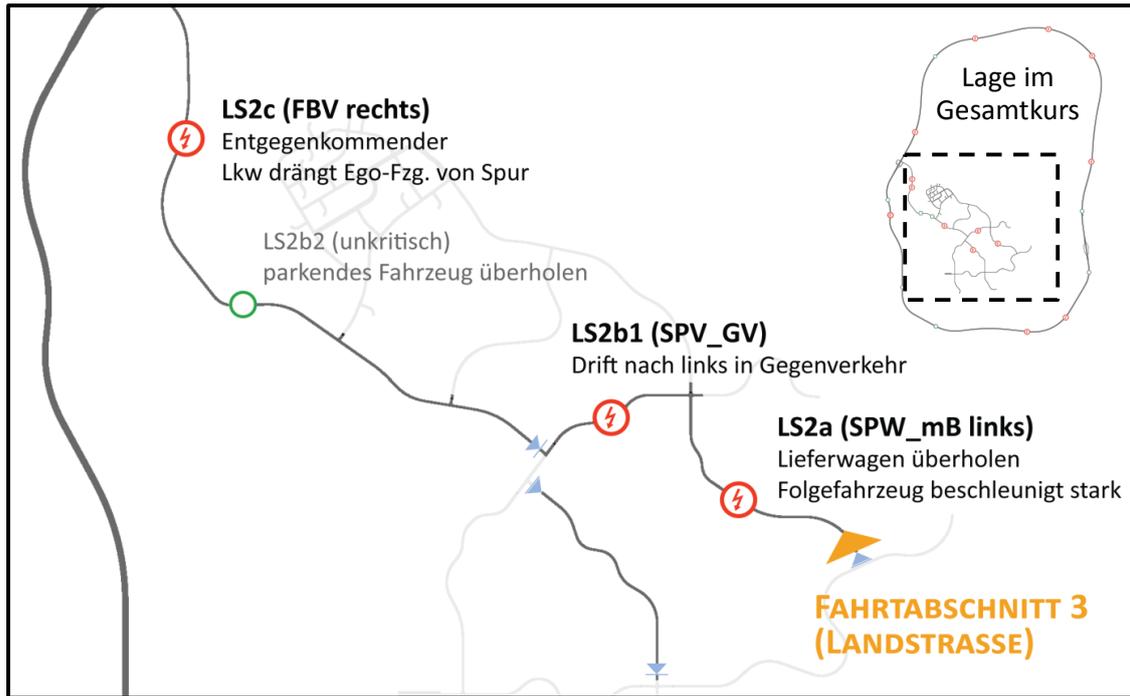


Abbildung 8.3: Fahrtabschnitt 3

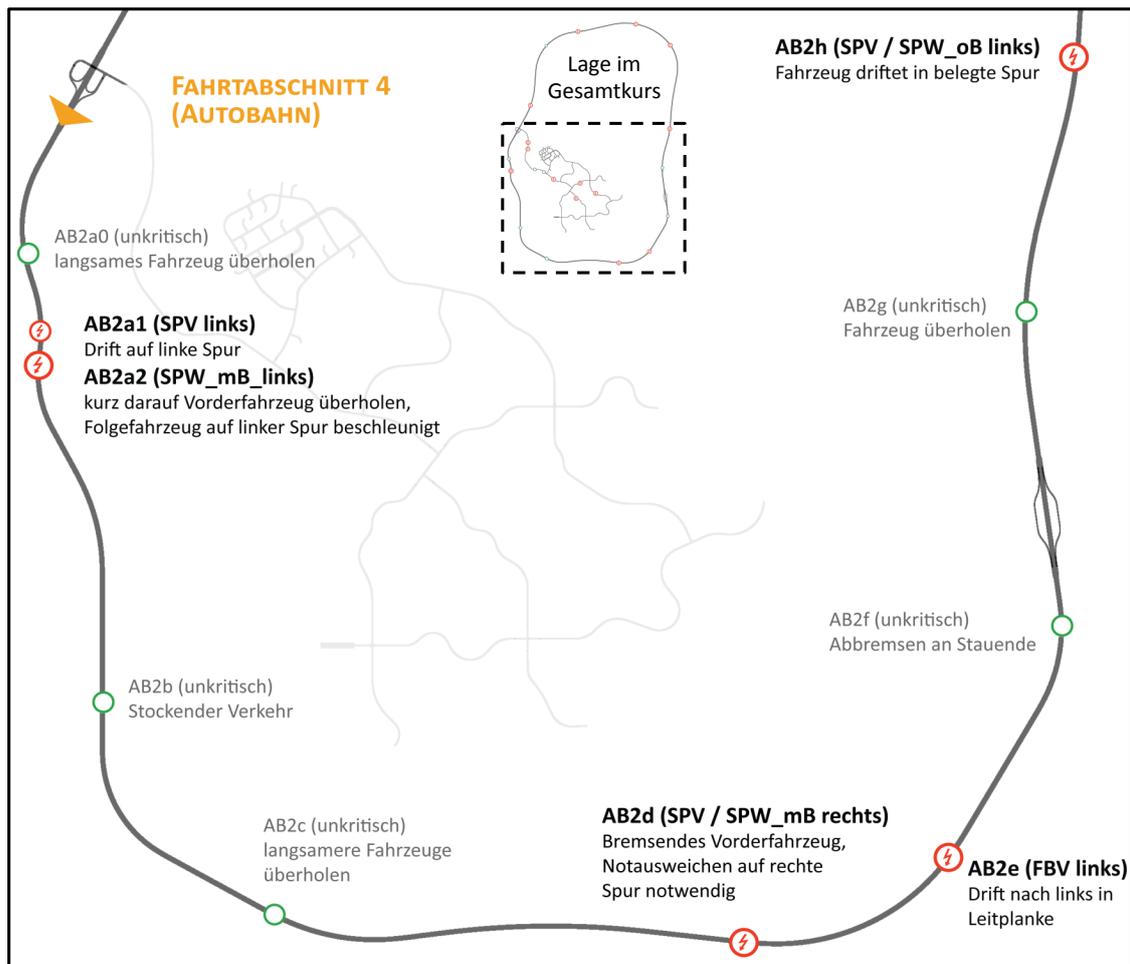


Abbildung 8.4: Fahrtabschnitt 4

### B.3 Technische Architektur und FAS-Modellierung

Der technische Aufbau der im Versuch verwendeten Sitzkiste in Verbindung mit der BMW-Fahrsimulation (SPIDER) ist modular orientiert. Beide kommunizieren hauptsächlich über CAN6 und UDP7-Schnittstellen. Über diese Kanäle werden beispielsweise das Drehmoment-Feedback am Lenkrad angesteuert, der Gaspedal-Winkel abgefragt oder die Anzeigen des Kombi-Instruments ausgegeben. Bei jeder Simulationsfahrt kann SPIDER alle relevanten Daten und die vollständige Kommunikation für spätere Auswertungen aufzeichnen.

#### Architektur Sitzkiste in Verbindung mit BMW Fahrsimulation

April 2008

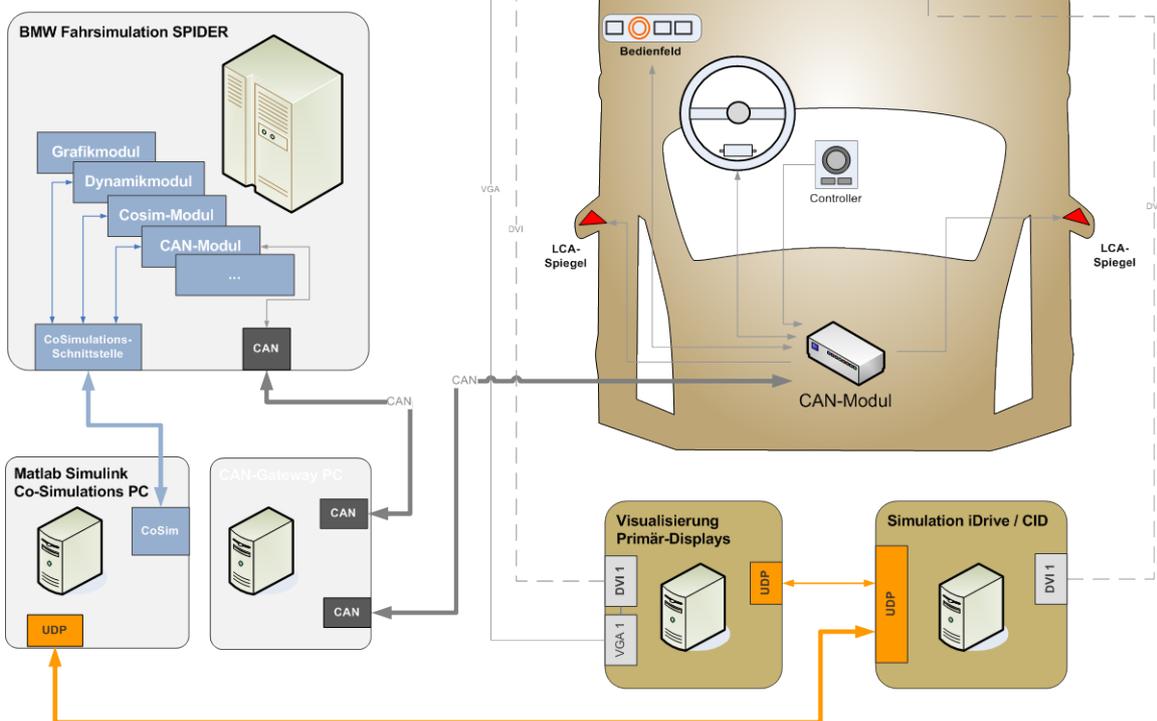


Abbildung 8.5: Architektur von Sitzkiste und Fahrsimulation

Auf einem der in Abbildung B.5 dargestellten PC (*Co-Simulation*) läuft eine speziell für die Fahrsimulation entwickelte FAS-Plattform auf Basis von Matlab Simulink. Der Begriff *Co-Simulation* bezeichnet dabei eine synchronisierte Kommunikationsschnittstelle, die den

6 Car Area Network, Standard-Bussystem für Signalübertragung im Fahrzeug

7 User Datagram Protocol, Standard-Protokoll für Netzwerk-Übertragung

Simulink-PC in den Rechnerverbund der SPIDER-Fahrsimulation einbindet. Mit diesem Konstrukt können Serien-Module aus Realfahrzeugen verhältnismäßig einfach in die Fahrsimulation eingebunden werden, denn diese sind häufig ebenfalls auf Simulink-Basis entwickelt. Der Co-Simulations PC stellt aus Sicht der Fahrsimulation ein externes Steuergerät für FAS dar (Software-in-the-loop), das in Echtzeit sämtliche relevanten Input-Daten wie Fahrzeug-Geschwindigkeit, Abstand zur Mittellinie, umgebende Fahrzeuge etc. von SPIDER erhält (Input). Mit diesen Daten können nun FAS-Software Module für ACC, LDW etc. betrieben und angepasst werden. Die im Realfahrzeug bestehenden Schnittstellen zu Antriebsstrang und Lenkung (Output) werden mit dem Co-Simulations-Rückkanal ersetzt und in Echtzeit vom dynamischen Fahrzeugmodell des SPIDER-Rechnerverbunds berücksichtigt. Da die von SPIDER gelieferten Input-Daten zu 100% perfekt sind und der Entwickler damit über das gesamte Umgebungswissen der Simulation verfügt, können z.B. LDW-Systeme hier auch Gegenverkehr berücksichtigen.

### FAS-Software-Plattform mit modifizierten Serienmodule

Für die in Kapitel 6 beschriebenen neuen LDW- und LCA-Funktionen wurde ein bereits entwickeltes Serien-Software-Modul LDW\_LCA der BMW-Entwicklung modifiziert. Dieses Modul wurde zusammen mit einem Software-Prototypen für FCW\_OTW in die erwähnte Simulink-Plattform integriert, deren Aufbau im Folgenden beschrieben ist.

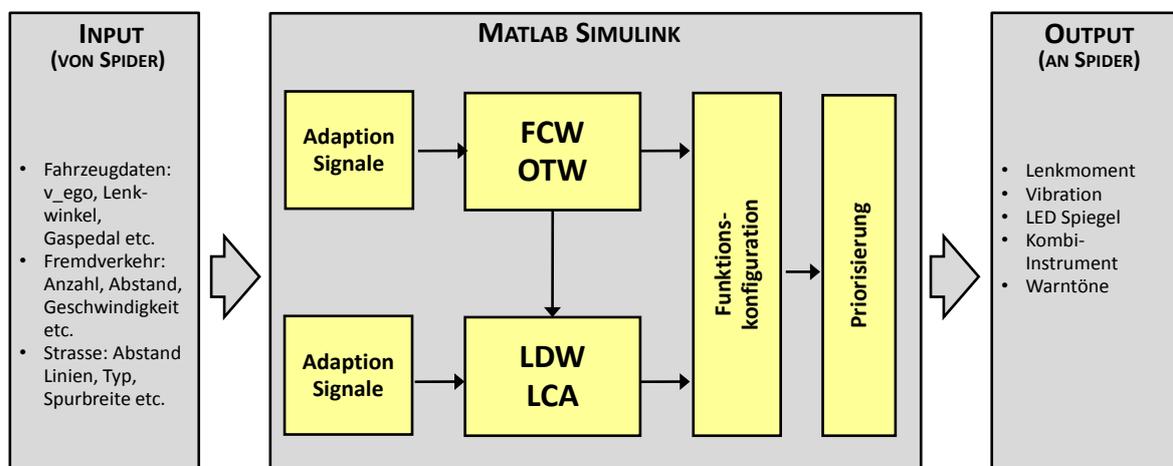


Abbildung 8.6: Architektur der eingebundenen Simulink-Plattform (Co-Simulation)

Die Blöcke *Adaption Signale* passen die von der Simulation gelieferten Rohdaten an die Funktionsblöcke (FCW\_OTW und LDW\_LCA) an. Dies betrifft z.B. Einheitenumrechnungen und kleinere Transformationen wie z.B. die Umrechnung des Abstands Fahrzeugmitte zu Spurlinie auf Rad zu Spurlinie. Zusätzlich werden die Daten des Fremdverkehrs (Geschwindigkeit, Bewegungsrichtung) vom absoluten Welt-Koordinatensystem der Simulation ( $KOS_{Welt}$ ) auf relative Werte bzw. ein fahrzeugfestes  $KOS_{Ego}$  umgerechnet. Dabei werden weitere Kenndaten wie relative Beschleunigung und Abstände für die nachfolgenden Funktionen bereitgestellt. Im Gegensatz zu einem realen Sensor (z.B. Radar) werden dabei nicht nur die direkt benachbarten bzw. nächsten Fahrzeuge erfasst, sondern auch die in zweiter Reihe und dritter Reihe davor oder dahinter. Alle

Fremdfahrzeug-Daten werden in einer Objektliste zusammengeführt, die der Ausgabe eines realen ACC bzw. LCA-Sensors ähnelt. Diese kann direkt von den dahinterliegenden Serien-Funktionen verwendet werden.

### Funktionsblock FCW / OTW

In diesem Block sind Auffahrwarnung (FCW) und Gegenverkehrswarnung (OCW) implementiert. Erstere basiert auf der Arbeit von Kopf (1994) und wird in ähnlicher Form im BMW 7er (BJ 2008) eingesetzt. Im Kern wird hier eine Brems-Zeit-Reserve (BZR) berechnet, die aussagt, wie viel Zeit dem Fahrer bis zur letztmöglichen Reaktion bleibt. Dabei wird zwischen einem statischen Fall (Hinterherfahren mit geringer Relativ-Geschwindigkeit, aber zu geringem Abstand) und einem dynamischen (Auffahren auf langsames oder bremsendes Vorderfahrzeug) unterschieden. Für eine detaillierte Darstellung sei auf Kopf (1994) oder Kopf et al. (2004b) verwiesen. Die Gegenverkehrs-Erkennung ist eine einfach gehaltene Erweiterung, die entgegenkommende Fahrzeuge berücksichtigt. Dazu werden als erstes die Geschwindigkeitsvektoren aller von SPIDER übergebenen Fremdfahrzeuge auf ihren Winkel  $\varphi$  zum Vektor des Ego-Fahrzeugs geprüft. Wenn

$$\varphi_{Ego} - \varphi_{Fremdfzg} > 90^\circ$$

ist, die aktuelle Straße eine Landstraße ist und das Fremdfahrzeug zusätzlich auf der gerade befahrenden Straße fährt und diese eine Landstraße ist, dann wird dieses als Gegenverkehr klassifiziert. In diesem Fall berechnet der Algorithmus die TTC<sub>OT</sub> mit

$$TTC_{OT} = \frac{d_{Ego,Fremdfzg}}{|v_{Ego} - v_{Fremdfzg}|}$$

und setzt bei weniger als 3 sec ein Flag „Gegenverkehrsspur belegt“, das u.a. an den Funktionsblock LDW\_LCA weitergereicht wird. Auf diese Weise kann entschieden werden, ob ein Spurverlassen über die Mittellinie der Landstraße als weniger kritisch (Nutzfall SPV) oder hochkritisch (SPV\_GV) eingestuft werden muss (Warnstrategie B).

### Funktionsblock LDW / LCA

Das bestehende Modul hatte bereits einen Algorithmus zur Ausgabe von Vibration und Gegenmoment implementiert. Das Moment wird aufgebaut, sobald sich das Fahrzeugrad näher als 40 cm an die Linie annähert. Stärke und Eingriffsdauer sind u.a. abhängig von Fahrzeuggeschwindigkeit, Orientierung in der Spur, Gierwinkel und einer Reihe weiterer Variablen (Gayko, 2009). Um zwischen Fahrbahn- und Spurverlassen differenzieren zu können, muss die Art der Spurbegrenzung bekannt sein. Aus der Fahrsimulation kann der Straßentyp (Land-/Stadtstraße oder Autobahn) bestimmt werden. Anhand des Linientyps (unterbrochen vs. durchgezogen) kann in erster Näherung festgelegt werden, ob die Linie nur die Spur (Nutzfall SPV) oder die gesamte Fahrbahn (Nutzfall FBV) begrenzt. Für

---

<sup>8</sup> Time-To-Collision, Zeit bis zur Kollision zwischen Ego-Fahrzeug und Fremdverkehr (OT = Oncoming Traffic)

Landstraßen und die linken Spurlinien der Autobahn ist diese Näherung ausreichend, für die Begrenzung hin zum Standstreifen nicht (Ego-Fahrzeug auf rechter Spur, rechte Begrenzungslinie). Der Standstreifen kann auf Autobahnen streng genommen noch als Spur gewertet werden, weswegen diese Begrenzungslinie nicht genauso kritisch ist wie die am weitesten links liegende – hier folgt die Leitplanke. Für den Versuch wurde daher kein Szenario umgesetzt, in dem der Fahrer nach rechts von der Autobahn abkommt, so dass letztlich alle FBV-Fälle hochkritische Ereignisse bleiben. Die Subfunktion SPG\_GV kann über das erwähnte Gegenverkehrs-Flag vom einfachen Spurverlassen (SPV) unterschieden werden.

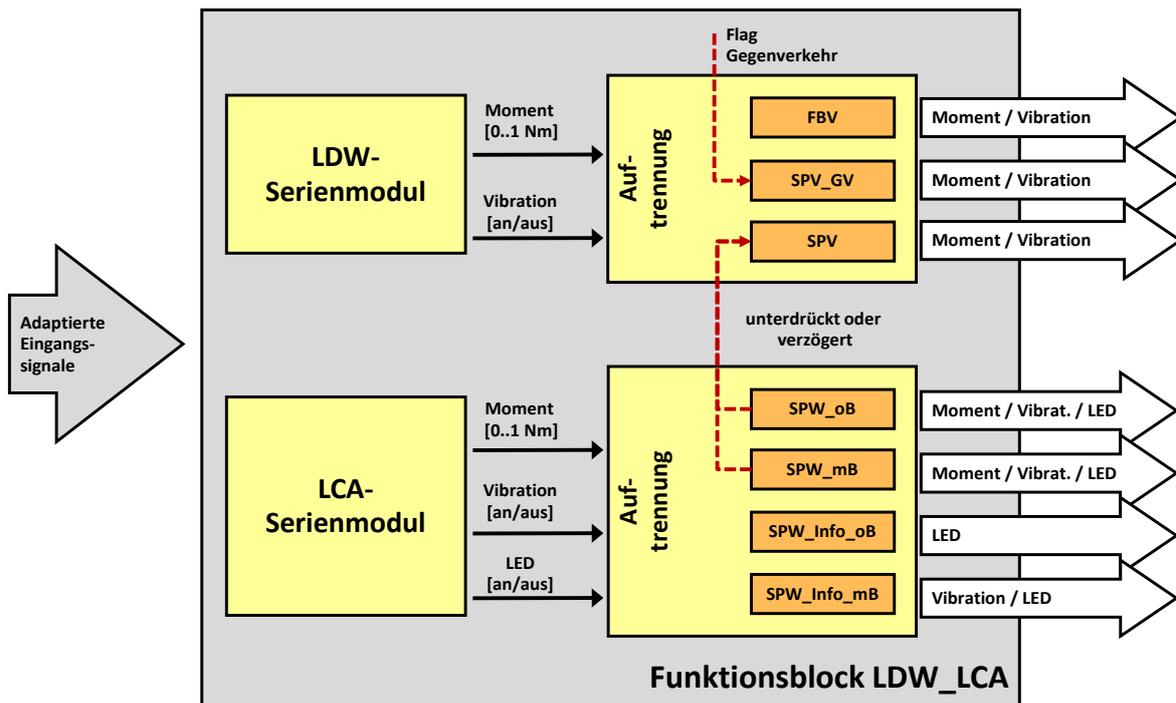


Abbildung 8.7: Modifikation des Funktionsblocks LDW\_LCA

Ebenso wie LDW beherrschte auch die LCA-Serienfunktion schon einen Großteil der Anforderungen aus den Warnstrategien A bis C. Als Neuerung wurde hier die Unabhängigkeit der Spurwechselwarnung vom Blinker eingeführt. Da Strategie B auch dann warnt, wenn der Fahrer ohne gesetzten Blinker auf eine belegte Zielspur wechselt, muss die Spurwechsel-Absicht erkannt werden. Diverse Publikationen widmen sich diesem anspruchsvollen Thema, das vor allem im Realfahrzeug einige Schwierigkeiten mit sich bringt. Da der Versuchsaufbau vorrangig der Untersuchung der Warnstrategien und nicht der Funktionsentwicklung diente, wurde auch diese Subfunktion vergleichsweise einfach umgesetzt. Aus dem Abstand des Spurlinien-nächsten Rades zur Spurlinie ( $d_{Rad, Spurlinie}$ ), der Fahrzeuggeschwindigkeit ( $v_{ego}$ ) und der Orientierung innerhalb der Spur lässt sich die *Time-to-Line Crossing* (TLC) berechnen:

$$TLC = \frac{d_{Rad, Spurlinie}}{v_{ego} \cdot \sin(\varphi_{Fzg, Spur})}$$

Diese Zeit gibt an, wie lange das Fahrzeug momentan brauchen würde, um mit dem Spurlinien-nächsten Rad die Linie zu überqueren. Der Winkel  $\varphi_{Fzg,Spur}$  ist zwischen dem Geschwindigkeitsvektor des Fahrzeugs und der Tangente an die Spur aufgespannt. Als versuchter Spurwechsel gelten nun alle Linien-Annäherungen mit einer TLC unter 0,8 Sekunden. In diesem Fall wird ein interner, virtueller Blinker aktiviert, der dieselben LCA-Ausgaben provoziert, die der Fahrer bei korrektem Blinken erhielt. Dieser einfache Algorithmus für den Nutzfal SPW\_oB erwies sich in Vorversuchen als ausreichend genau.

Der Funktionsblock übernimmt zusätzlich Priorisierungsaufgaben, die wegen der nötigen Rückkopplungen zwischen LDW und LCA direkt an der Quelle ansetzen müssen. So gibt es beispielsweise Situationen, in denen SPV für kurze Zeit unterdrückt bzw. verzögert wird. Das ist z.B. der Fall, wenn der Fahrer nach einer erlebten Spurwechsel-Warnung in die eigene Spur zurücklenkt, dabei zu stark reagiert und die gegenüberliegende Linie überfährt. Dieser Fall tritt im statischen Simulator im Gegensatz zur Realität häufig auf, da realistisches Bewegungs-Feedback und Lenkgefühl fehlen. SPV löst in diesem Fall später aus, da ansonsten zu viele Fehlwarnungen ausgegeben würden.

### **Warnkonfiguration**

In den Funktionsblöcken werden die benötigten Ausgaben für alle Nutzfälle berechnet (Momente, Vibrationen, optische Anzeigen). Die nachgelagerte *Warnkonfiguration* selektiert anschließend die relevanten Ausgaben für eine bestimmte Warnstrategie und unterdrückt den Rest. Welche Momente, Vibrationen etc. ausgegeben werden, wird in einem vollständigen Parametersatz pro Warnstrategie festgehalten werden, den der Versuchsleiter während des Versuchs einfach umschalten kann. Zusätzlich können mit Hilfe dieses Blocks alle Ausgaben temporär unterdrückt werden, was z.B. für den Versuch zu Querführungs-FAS (Kapitel 6) zwischen den auftretenden Warnsituationen notwendig war.

### **Priorisierung**

Vor der endgültigen Ausgabe müssen die Warnsignale priorisiert werden. Da LCA und LDW untereinander schon weitestgehend abgestimmte Signale abgeben, kommt diesem Block vorrangig für Anwendungen außerhalb dieser Arbeit besondere Bedeutung zu, z.B. um ACC-Übernahmeaufforderungen mit FCW-Warnungen abzugleichen.

Nach der Priorisierung werden die fertigen Signale über die Co-Simulationsschnittstelle an SPIDER gegeben und von dort an die entsprechenden Aktuatoren der Sitzkiste weitergeleitet (Abbildung B.5). Eine Ausnahme bilden hier Kombi-Instrument und Head-Up Projektion sowie alle akustischen Ausgaben. Die Simulink-Plattform überträgt die dafür notwendigen Signale direkt per UDP an einen in der Sitzkiste verbauten Kompakt-Rechner, auf dem eine Grafiksimitation läuft. Diese zweite Plattform auf Basis von Adobe Flash animiert Zeiger und Digitalanzeigen in Kombi-Instrument und Head-Up. Zusätzlich gibt sie alle Akustiksignale der Fahrerassistenzsysteme aus (siehe Tönert, 2009).



## B.5 Protokoll Messfahrt

<b>Protokoll Warnfahrt</b>							
<p><b>Einführungsfahrt für Nutzung der Skala Kritikalität und der Skala Intensität</b></p> <p>Instruktionen für die Lernfahrt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Lautes Denken (nach jeder Situation)</li> <li>○ Wie schätzen Sie die Kritikalität der Szene ein? (10stufig)</li> <li>○ Wie wurde ggf. gewarnt?</li> <li>○ Wie intensiv war die Warnung? (Skala: 1 = sehr schwach, 5 = sehr stark)</li> <li>○ Warum wurde gewarnt? (frei sagen)</li> </ul>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">Bei vorzeitigem Abbruch des Versuches:</th> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitpunkt: ____ . ____ Uhr</li> <li>• Bei Ablauf Punkt _____</li> <li>• Grund für Abbruch:                             <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Übelkeit des Probanden</li> <li><input type="checkbox"/> Sonstiges: _____</li> </ul> </li> </ul> </td> </tr> </table>	Bei vorzeitigem Abbruch des Versuches:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitpunkt: ____ . ____ Uhr</li> <li>• Bei Ablauf Punkt _____</li> <li>• Grund für Abbruch:                             <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Übelkeit des Probanden</li> <li><input type="checkbox"/> Sonstiges: _____</li> </ul> </li> </ul>				
Bei vorzeitigem Abbruch des Versuches:							
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitpunkt: ____ . ____ Uhr</li> <li>• Bei Ablauf Punkt _____</li> <li>• Grund für Abbruch:                             <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Übelkeit des Probanden</li> <li><input type="checkbox"/> Sonstiges: _____</li> </ul> </li> </ul>							
<p><b>Start 1</b> <b>Block AB 1</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Szene</th> <th style="width: 85%;">Was wurde wahrgenommen?</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: top;"> <p>AB1a (SPV links) Drift nach links</p> </td> <td> <p><u>Kritikalität d. Sit.:</u> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10      Situation nicht ausgelöst <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><u>Bewarnung:</u> Vibrationen   <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Spiegel        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Moment        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Intensität der wahrgenommenen Bewarnung:</p> <p style="text-align: center;">                  1   2   3   4   5</p> <p style="text-align: center;">                  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <u>keine</u> Bewarnung wahrgenommen</p> <p><u>Grund der Bewarnung:</u>   <input type="checkbox"/> Verlassen der Fahrbahn nach links/Seitenwind o.ä.</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Sonstiges _____</p> </td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: top;"> <p>AB1b (SPV rechts) Stauende Notausweichen auf rechte Spur nötig</p> </td> <td> <p><u>Kritikalität d. Sit.:</u> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10      Situation nicht ausgelöst <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><u>Bewarnung:</u> Vibrationen   <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Spiegel        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Moment        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Intensität der wahrgenommenen Bewarnung:</p> <p style="text-align: center;">                  1   2   3   4   5</p> <p style="text-align: center;">                  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <u>keine</u> Bewarnung wahrgenommen</p> <p><u>Grund der Bewarnung:</u>   <input type="checkbox"/> bremsendes vorausfahrendes Fahrzeug</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> nicht betätigter Blinker bei Spurwechsel</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Unterschreiten des Sicherheitsabstands</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> schnelleres Fahrzeug nähert sich auf mittlerer Spur</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Sonstiges _____</p> </td> </tr> </tbody> </table>		Szene	Was wurde wahrgenommen?	<p>AB1a (SPV links) Drift nach links</p>	<p><u>Kritikalität d. Sit.:</u> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10      Situation nicht ausgelöst <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><u>Bewarnung:</u> Vibrationen   <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Spiegel        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Moment        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Intensität der wahrgenommenen Bewarnung:</p> <p style="text-align: center;">                  1   2   3   4   5</p> <p style="text-align: center;">                  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <u>keine</u> Bewarnung wahrgenommen</p> <p><u>Grund der Bewarnung:</u>   <input type="checkbox"/> Verlassen der Fahrbahn nach links/Seitenwind o.ä.</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Sonstiges _____</p>	<p>AB1b (SPV rechts) Stauende Notausweichen auf rechte Spur nötig</p>	<p><u>Kritikalität d. Sit.:</u> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10      Situation nicht ausgelöst <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><u>Bewarnung:</u> Vibrationen   <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Spiegel        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Moment        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Intensität der wahrgenommenen Bewarnung:</p> <p style="text-align: center;">                  1   2   3   4   5</p> <p style="text-align: center;">                  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <u>keine</u> Bewarnung wahrgenommen</p> <p><u>Grund der Bewarnung:</u>   <input type="checkbox"/> bremsendes vorausfahrendes Fahrzeug</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> nicht betätigter Blinker bei Spurwechsel</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Unterschreiten des Sicherheitsabstands</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> schnelleres Fahrzeug nähert sich auf mittlerer Spur</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Sonstiges _____</p>
Szene	Was wurde wahrgenommen?						
<p>AB1a (SPV links) Drift nach links</p>	<p><u>Kritikalität d. Sit.:</u> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10      Situation nicht ausgelöst <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><u>Bewarnung:</u> Vibrationen   <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Spiegel        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Moment        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Intensität der wahrgenommenen Bewarnung:</p> <p style="text-align: center;">                  1   2   3   4   5</p> <p style="text-align: center;">                  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <u>keine</u> Bewarnung wahrgenommen</p> <p><u>Grund der Bewarnung:</u>   <input type="checkbox"/> Verlassen der Fahrbahn nach links/Seitenwind o.ä.</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Sonstiges _____</p>						
	<p>AB1b (SPV rechts) Stauende Notausweichen auf rechte Spur nötig</p>	<p><u>Kritikalität d. Sit.:</u> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10      Situation nicht ausgelöst <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><u>Bewarnung:</u> Vibrationen   <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Spiegel        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> schwach   <input type="checkbox"/> stark   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Moment        <input type="checkbox"/> ja   <input type="checkbox"/> nein</p> <p>                  Intensität der wahrgenommenen Bewarnung:</p> <p style="text-align: center;">                  1   2   3   4   5</p> <p style="text-align: center;">                  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <u>keine</u> Bewarnung wahrgenommen</p> <p><u>Grund der Bewarnung:</u>   <input type="checkbox"/> bremsendes vorausfahrendes Fahrzeug</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> nicht betätigter Blinker bei Spurwechsel</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Unterschreiten des Sicherheitsabstands</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> schnelleres Fahrzeug nähert sich auf mittlerer Spur</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Sonstiges _____</p>					

AB1c (un- kritisch) X5 überholt	Kritikalität d. Sit.: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Situation nicht ausgelöst <input type="checkbox"/>
	<u>Bewarnung:</u> Vibrationen <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> schwach <input type="checkbox"/> stark <input type="checkbox"/> nein Spiegel <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> schwach <input type="checkbox"/> stark <input type="checkbox"/> nein Moment <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Intensität der wahrgenommenen Bewarnung: 1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <u>keine</u> Bewarnung wahrgenommen	
<u>Grund der Bewarnung:</u> <input type="checkbox"/> Überholendes Fahrzeug <input type="checkbox"/> Spurverlassen <input type="checkbox"/> Sonstiges _____		
AB1e (SPW links) Lkw und be- schleu- nigender Ausschere- rer von hinten	Kritikalität d. Sit.: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Situation nicht ausgelöst <input type="checkbox"/>
	<u>Bewarnung:</u> Vibrationen <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> schwach <input type="checkbox"/> stark <input type="checkbox"/> nein Spiegel <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> schwach <input type="checkbox"/> stark <input type="checkbox"/> nein Moment <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Intensität der wahrgenommenen Bewarnung: 1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <u>keine</u> Bewarnung wahrgenommen	
<u>Grund der Bewarnung:</u> <input type="checkbox"/> Überholendes Fahrzeug <input type="checkbox"/> Spurwechsel <input type="checkbox"/> Spurverlassen <input type="checkbox"/> Sonstiges _____		

Die restlichen Fahrtabschnitte und Situationen (siehe Abs. oben) waren im Messfahrt-Protokoll analog angelegt. Die Messfahrt schloss mit der Frage nach wahrgenommenen unterschiedlichen Vibrationen ab:

Haben Sie eine unterschiedliche Vibrationsstärke während der Bewarnungen wahrgenommen?

ja

nein

wenn ja, ab wann nahmen Sie diesen Unterschied wahr?

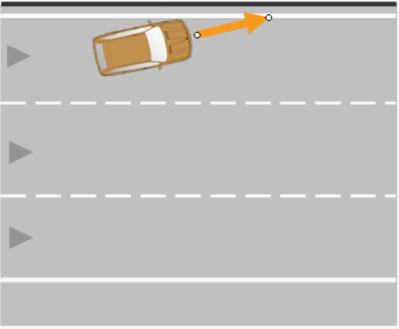
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

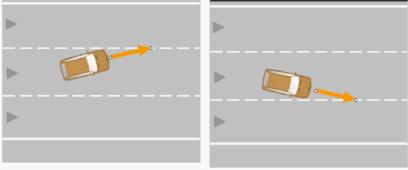
Zeitpunkt Ende der Warnfahrt: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ Uhr

## B.6 Protokoll Explorationsfahrt

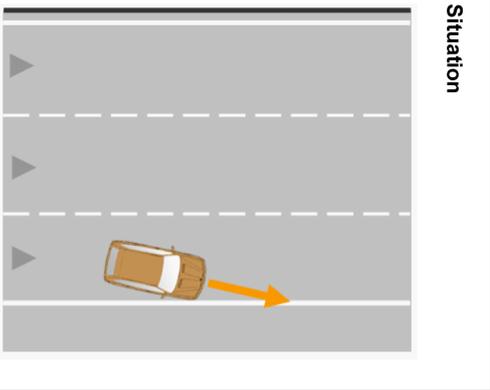
### FAHRBAHN-VERLASSEN - Leitplanke links

Situation																																																																																																																																																																																											
																																																																																																																																																																																											
Verlassen der Fahrbahn auf der linken Seite (Leitplanke)																																																																																																																																																																																											
<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>Wahrnehmbarkeit der Warnung</b></td> </tr> <tr> <td>Moment + starke Vibration</td> <td>sehr schlecht wahrnehmbar</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>sehr gut wahrnehmbar</td> </tr> <tr> <td>leichte Vibration</td> <td>sehr schlecht wahrnehmbar</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>sehr gut wahrnehmbar</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Verständlichkeit der Warnung</b></td> </tr> <tr> <td>Moment + starke Vibration</td> <td>sehr schlecht verständlich</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>sehr gut verständlich</td> </tr> <tr> <td>leichte Vibration</td> <td>sehr schlecht verständlich</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>sehr gut verständlich</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Passung der Warnung zur Situation</b></td> </tr> <tr> <td>Moment + starke Vibration</td> <td>Warnung passt</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>Warnung passt</td> </tr> <tr> <td></td> <td>sehr schlecht zur Situation</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>sehr gut zur Situation</td> </tr> <tr> <td>leichte Vibration</td> <td>Warnung passt</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>Warnung passt</td> </tr> <tr> <td></td> <td>sehr schlecht zur Situation</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>sehr gut zur Situation</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Empfinden Sie die Warnung als hilfreich?</b></td> </tr> <tr> <td>Moment + starke Vibration</td> <td>Warnung ist gar nicht hilfreich</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>Warnung ist sehr hilfreich</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Warnung ist gar nicht hilfreich</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>Warnung ist sehr hilfreich</td> </tr> <tr> <td>leichte Vibration</td> <td>Warnung ist gar nicht störend</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>Warnung ist sehr störend</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Warnung ist gar nicht störend</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>Warnung ist sehr störend</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Empfinden Sie die Warnung als störend?</b></td> </tr> <tr> <td>Moment + starke Vibration</td> <td>Warnung ist gar nicht störend</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>Warnung ist sehr störend</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Warnung ist gar nicht störend</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>Warnung ist sehr störend</td> </tr> <tr> <td>leichte Vibration</td> <td>Warnung ist gar nicht störend</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>Warnung ist sehr störend</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Warnung ist gar nicht störend</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td>Warnung ist sehr störend</td> </tr> </table>		<b>Wahrnehmbarkeit der Warnung</b>		Moment + starke Vibration	sehr schlecht wahrnehmbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr gut wahrnehmbar	leichte Vibration	sehr schlecht wahrnehmbar	<input type="checkbox"/>	sehr gut wahrnehmbar	<b>Verständlichkeit der Warnung</b>		Moment + starke Vibration	sehr schlecht verständlich	<input type="checkbox"/>	sehr gut verständlich	leichte Vibration	sehr schlecht verständlich	<input type="checkbox"/>	sehr gut verständlich	<b>Passung der Warnung zur Situation</b>		Moment + starke Vibration	Warnung passt	<input type="checkbox"/>	Warnung passt		sehr schlecht zur Situation	<input type="checkbox"/>	sehr gut zur Situation	leichte Vibration	Warnung passt	<input type="checkbox"/>	Warnung passt		sehr schlecht zur Situation	<input type="checkbox"/>	sehr gut zur Situation	<b>Empfinden Sie die Warnung als hilfreich?</b>		Moment + starke Vibration	Warnung ist gar nicht hilfreich	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr hilfreich		Warnung ist gar nicht hilfreich	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr hilfreich	leichte Vibration	Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend		Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend	<b>Empfinden Sie die Warnung als störend?</b>		Moment + starke Vibration	Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend		Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend	leichte Vibration	Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend		Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend																																																																																																													
<b>Wahrnehmbarkeit der Warnung</b>																																																																																																																																																																																											
Moment + starke Vibration	sehr schlecht wahrnehmbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr gut wahrnehmbar																																																																																																																																																																																	
leichte Vibration	sehr schlecht wahrnehmbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr gut wahrnehmbar																																																																																																																																																																																	
<b>Verständlichkeit der Warnung</b>																																																																																																																																																																																											
Moment + starke Vibration	sehr schlecht verständlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr gut verständlich																																																																																																																																																																																	
leichte Vibration	sehr schlecht verständlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr gut verständlich																																																																																																																																																																																	
<b>Passung der Warnung zur Situation</b>																																																																																																																																																																																											
Moment + starke Vibration	Warnung passt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnung passt																																																																																																																																																																																	
	sehr schlecht zur Situation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr gut zur Situation																																																																																																																																																																																	
leichte Vibration	Warnung passt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnung passt																																																																																																																																																																																	
	sehr schlecht zur Situation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr gut zur Situation																																																																																																																																																																																	
<b>Empfinden Sie die Warnung als hilfreich?</b>																																																																																																																																																																																											
Moment + starke Vibration	Warnung ist gar nicht hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr hilfreich																																																																																																																																																																																	
	Warnung ist gar nicht hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr hilfreich																																																																																																																																																																																	
leichte Vibration	Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend																																																																																																																																																																																	
	Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend																																																																																																																																																																																	
<b>Empfinden Sie die Warnung als störend?</b>																																																																																																																																																																																											
Moment + starke Vibration	Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend																																																																																																																																																																																	
	Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend																																																																																																																																																																																	
leichte Vibration	Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend																																																																																																																																																																																	
	Warnung ist gar nicht störend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Warnung ist sehr störend																																																																																																																																																																																	

**SPUR-VERLASSEN - gestrichelte Mittellinie**

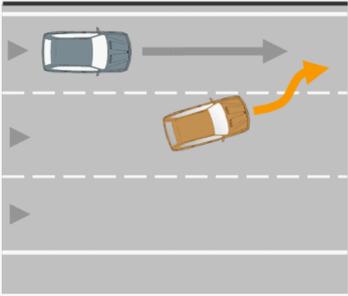
Situation	
 <p>Verlassen einer Spur über eine gestrichelte Linie (nach rechts/ links)</p>	
<p><b>Wahrnehmbarkeit der Warnung</b> leichtes Moment + leichte Vibration leichte Vibration</p>	<p>sehr schlecht wahrnehmbar sehr schlecht wahrnehmbar</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>sehr gut wahrnehmbar sehr gut wahrnehmbar</p>
<p><b>Verständlichkeit der Warnung</b> leichtes Moment + leichte Vibration leichte Vibration</p>	<p>sehr schlecht verständlich sehr schlecht verständlich</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>sehr gut verständlich sehr gut verständlich</p>
<p><b>Passung der Warnung zur Situation</b> leichtes Moment + leichte Vibration leichte Vibration</p>	<p>Warnung passt sehr schlecht zur Situation Warnung passt sehr schlecht zur Situation</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung passt sehr gut zur Situation Warnung passt sehr gut zur Situation</p>
<p><b>Empfinden Sie die Warnung als hilfreich?</b> leichtes Moment + leichte Vibration leichte Vibration</p>	<p>Warnung ist gar nicht hilfreich Warnung ist gar nicht hilfreich</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung ist sehr hilfreich Warnung ist sehr hilfreich</p>
<p><b>Empfinden Sie die Warnung als störend?</b> leichtes Moment + leichte Vibration leichte Vibration</p>	<p>Warnung ist gar nicht störend Warnung ist gar nicht störend</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung ist sehr störend Warnung ist sehr störend</p>

**FAHRBAHN-VERLASSEN - auf den Standstreifen**

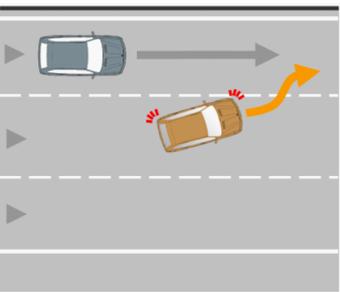
<p><b>Situation</b></p> 	<p>Verlassen der Fahrbahn auf der rechten Seite (Standstreifen)</p>			
<p><b>Wahrnehmbarkeit der Warnung</b></p> <p>Moment + starke Vibration</p> <p>sehr schlecht wahrnehmbar</p> <p>sehr schlecht wahrnehmbar</p> <p>leichte Vibration</p> <p>sehr schlecht wahrnehmbar</p>	<p><b>Verständlichkeit der Warnung</b></p> <p>Moment + starke Vibration</p> <p>sehr schlecht verständlich</p> <p>sehr schlecht verständlich</p> <p>leichte Vibration</p> <p>sehr schlecht verständlich</p>	<p><b>Passung der Warnung zur Situation</b></p> <p>Moment + starke Vibration</p> <p>Warnung passt</p> <p>sehr schlecht zur Situation</p> <p>Warnung passt</p> <p>sehr schlecht zur Situation</p> <p>leichte Vibration</p> <p>Warnung passt</p> <p>sehr gut zur Situation</p> <p>Warnung passt</p> <p>sehr gut zur Situation</p>	<p><b>Empfinden Sie die Warnung als hilfreich?</b></p> <p>Moment + starke Vibration</p> <p>Warnung ist gar nicht hilfreich</p> <p>Warnung ist gar nicht hilfreich</p> <p>leichte Vibration</p> <p>Warnung ist gar nicht hilfreich</p> <p>Warnung ist sehr hilfreich</p> <p>Warnung ist sehr hilfreich</p>	<p><b>Empfinden Sie die Warnung als störend?</b></p> <p>Moment + starke Vibration</p> <p>Warnung ist gar nicht störend</p> <p>Warnung ist gar nicht störend</p> <p>leichte Vibration</p> <p>Warnung ist sehr störend</p> <p>Warnung ist sehr störend</p>



**SPURWECHSEL – Spurwechsel OHNE Betätigung des Blinkers, mit Fremdfahrzeug auf Nebenspur**

<p><b>Situation</b></p>  <p>- kein Blinker - Spur-Wechsel wird durchgeführt</p>	
<p><b>Wahrnehmbarkeit der Warnung</b></p> <p>schwaches Leuchten Spiegel-LED <span style="float:right">sehr schlecht wahrnehmbar</span> <input type="checkbox"/> <span style="float:right">sehr gut wahrnehmbar</span></p> <p>starke Vibration, Gegenmoment und helle, blinkende Spiegel-LED <span style="float:right">sehr schlecht wahrnehmbar</span> <input type="checkbox"/> <span style="float:right">sehr gut wahrnehmbar</span></p>	
<p><b>Verständlichkeit der Warnung</b></p> <p>schwaches Leuchten Spiegel-LED <span style="float:right">sehr schlecht verständlich</span> <input type="checkbox"/> <span style="float:right">sehr gut verständlich</span></p> <p>starke Vibration, Gegenmoment und helle, blinkende Spiegel-LED <span style="float:right">sehr schlecht verständlich</span> <input type="checkbox"/> <span style="float:right">sehr gut verständlich</span></p>	
<p><b>Passung der Warnung zur Situation</b></p> <p>schwaches Leuchten Spiegel-LED <span style="float:right">Warnung passt sehr schlecht zur Situation</span> <input type="checkbox"/> <span style="float:right">Warnung passt sehr gut zur Situation</span></p> <p>starke Vibration, Gegenmoment und helle, blinkende Spiegel-LED <span style="float:right">Warnung passt sehr schlecht zur Situation</span> <input type="checkbox"/> <span style="float:right">Warnung passt sehr gut zur Situation</span></p>	
<p><b>Empfinden Sie die Warnung als hilfreich?</b></p> <p>schwaches Leuchten Spiegel-LED <span style="float:right">Warnung ist gar nicht hilfreich</span> <input type="checkbox"/> <span style="float:right">Warnung ist sehr hilfreich</span></p> <p>starke Vibration, Gegenmoment und helle, blinkende Spiegel-LED <span style="float:right">Warnung ist gar nicht hilfreich</span> <input type="checkbox"/> <span style="float:right">Warnung ist sehr hilfreich</span></p>	
<p><b>Empfinden Sie die Warnung als störend?</b></p> <p>schwaches Leuchten Spiegel-LED <span style="float:right">Warnung ist gar nicht störend</span> <input type="checkbox"/> <span style="float:right">Warnung ist sehr störend</span></p> <p>starke Vibration, Gegenmoment und helle, blinkende Spiegel-LED <span style="float:right">Warnung ist gar nicht störend</span> <input type="checkbox"/> <span style="float:right">Warnung ist sehr störend</span></p>	

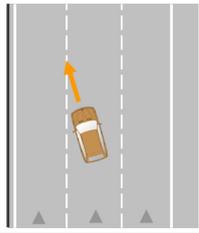
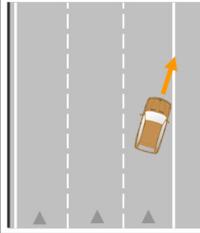
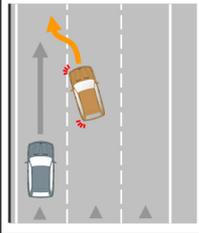
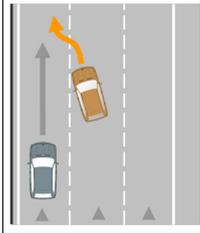
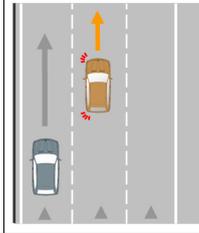
**SPURWECHSEL – Spurwechsel MIT Betätigung des Blinkers, mit Fremdfahrzeug auf Nebenspur**

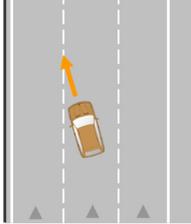
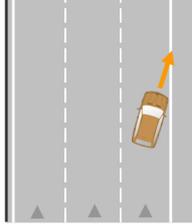
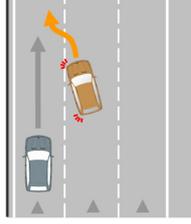
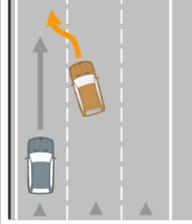
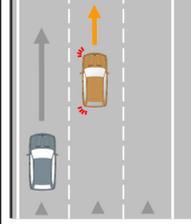
Situation	
 <p>- Blinker ist gesetzt - Spur-Wechsel wird durchgeführt</p>	
<p><b>Wahrnehmbarkeit der Warnung</b></p> <p>pulsierende Vibration + helle, blinkende Spiegel-LED</p> <p>starke Vibration, Gegenmoment und helle, blinkende Spiegel-LED</p>	<p>sehr schlecht wahrnehmbar <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>sehr schlecht wahrnehmbar <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>sehr gut wahrnehmbar <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>sehr gut wahrnehmbar <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Verständlichkeit der Warnung</b></p> <p>pulsierende Vibration + helle, blinkende Spiegel-LED</p> <p>starke Vibration, Gegenmoment und helle, blinkende Spiegel-LED</p>	<p>sehr schlecht verständlich <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>sehr schlecht verständlich <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>sehr gut verständlich <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>sehr gut verständlich <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Passung der Warnung zur Situation</b></p> <p>pulsierende Vibration + helle, blinkende Spiegel-LED</p> <p>starke Vibration, Gegenmoment und helle, blinkende Spiegel-LED</p>	<p>Warnung passt sehr schlecht zur Situation <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung passt sehr schlecht zur Situation <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung passt sehr gut zur Situation <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung passt sehr gut zur Situation <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Empfinden Sie die Warnung als hilfreich?</b></p> <p>pulsierende Vibration + helle, blinkende Spiegel-LED</p> <p>starke Vibration, Gegenmoment und helle, blinkende Spiegel-LED</p>	<p>Warnung ist gar nicht hilfreich <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung ist gar nicht hilfreich <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung ist sehr hilfreich <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung ist sehr hilfreich <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Empfinden Sie die Warnung als störend?</b></p> <p>pulsierende Vibration + helle, blinkende Spiegel-LED</p> <p>starke Vibration, Gegenmoment und helle, blinkende Spiegel-LED</p>	<p>Warnung ist gar nicht störend <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung ist gar nicht störend <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung ist sehr störend <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Warnung ist sehr störend <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>

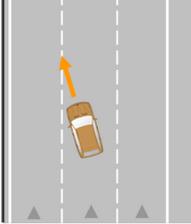
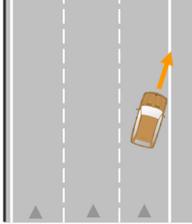
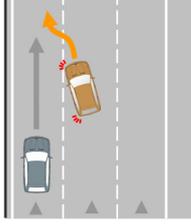
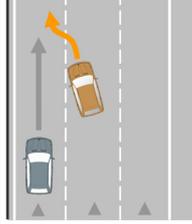
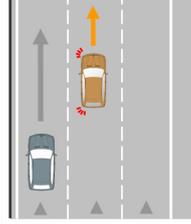
**SPURWECHSEL – Fahrzeug auf Nebenspur vorhanden, aber Fahrer blinkt nicht und führt keinen Spurwechsel durch**

	<p><b>Situation</b></p>
<p>Information über kritisches Fahrzeug im Heckbereich:          - schwach leuchtende LED im Spiegel          - Blinker ist <i>nicht</i> gesetzt</p>	
<p><b>Wahrnehmbarkeit der Warnung</b>          schwach leuchtende LED</p> <p style="text-align: center;">sehr schlecht wahrnehmbar</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> </p> <p style="text-align: center;">sehr gut wahrnehmbar</p>	<p><b>Verständlichkeit der Warnung</b>          schwach leuchtende LED</p> <p style="text-align: center;">sehr schlecht verständlich</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> </p> <p style="text-align: center;">sehr gut verständlich</p>
<p><b>Passung der Warnung zur Situation</b>          schwach leuchtende LED</p> <p style="text-align: center;">Warnung passt sehr schlecht zur Situation</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> </p> <p style="text-align: center;">Warnung passt sehr gut zur Situation</p>	<p><b>Empfinden Sie die Warnung als hilfreich?</b>          schwach leuchtende LED</p> <p style="text-align: center;">Warnung ist gar nicht hilfreich</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> </p> <p style="text-align: center;">Warnung ist sehr hilfreich</p>
<p><b>Empfinden Sie die Warnung als störend?</b>          schwach leuchtende LED</p> <p style="text-align: center;">Warnung ist gar nicht störend</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> </p> <p style="text-align: center;">Warnung ist sehr störend</p>	

## B.7 Gesamtbewertung

<b>Gesamtbewertung Variante A</b>				
<b>Spurverlassen links/rechts</b>	<b>Fahrbahnverlassen links/rechts</b>	<b>Spurwechsel mit Blinker</b>	<b>Spurwechsel ohne Blinker</b>	<b>Blinken ohne Spurwechsel</b>
				
				
<p><b>Unterscheidbarkeit der Warnungen</b> Kann man als Fahrer die Warnungen voneinander unterscheiden?</p> <p>sehr schlecht unterscheidbar    <input type="checkbox"/>    sehr gut unterscheidbar</p>				
<p><b>Entsprechung von Intensität &amp; Relevanz</b> Entsprechen die Intensitäten der Warnungen der jeweils zugehörigen Gefährdung?</p> <p>sehr unklare Entsprechung    <input type="checkbox"/>    sehr gute Entsprechung</p>				
<p><b>Stimmigkeit</b> Sind die Warnungen gut aufeinander abgestimmt? Ergibt sich ein „stimmiges Ganzes“</p> <p>sehr schlecht abgestimmt    <input type="checkbox"/>    sehr gut abgestimmt</p>				
<p><b>Gesamturteil</b> Wie beurteilen Sie diese Variante insgesamt?</p> <p>sehr schlecht    <input type="checkbox"/>    sehr gut</p>				

<b>Gesamtbewertung Variante B</b>				
<b>Spurverlassen links/rechts</b>	<b>Fahrbahnverlassen links/rechts</b>	<b>Spurwechsel mit Blinker</b>	<b>Spurwechsel ohne Blinker</b>	<b>Blinken ohne Spurwechsel</b>
				
				
<p><b>Unterscheidbarkeit der Warnungen</b> Kann man als Fahrer die Warnungen voneinander unterscheiden?</p> <p>sehr schlecht unterscheidbar    <input type="checkbox"/>    sehr gut unterscheidbar</p>				
<p><b>Entsprechung von Intensität &amp; Relevanz</b> Entsprechen die Intensitäten der Warnungen der jeweils zugehörigen Gefährdung?</p> <p>sehr unklare Entsprechung    <input type="checkbox"/>    sehr gute Entsprechung</p>				
<p><b>Stimmigkeit</b> Sind die Warnungen gut aufeinander abgestimmt? Ergibt sich ein „stimmiges Ganzes“</p> <p>sehr schlecht abgestimmt    <input type="checkbox"/>    sehr gut abgestimmt</p>				
<p><b>Gesamturteil</b> Wie beurteilen Sie diese Variante insgesamt?</p> <p>sehr schlecht    <input type="checkbox"/>    sehr gut</p>				

<b>Gesamtbewertung Variante C</b>				
Spurverlassen links/rechts	Fahrbahnver- lassen links/rechts	Spurwechsel mit Blinker	Spurwechsel ohne Blinker	Blinken ohne Spurwechsel
				
				
<p><b>Unterscheidbarkeit der Warnungen</b> Kann man als Fahrer die Warnungen voneinander unterscheiden?</p> <p>sehr schlecht unterscheidbar    <input type="checkbox"/>    sehr gut unterscheidbar</p>				
<p><b>Entsprechung von Intensität &amp; Relevanz</b> Entsprechen die Intensitäten der Warnungen der jeweils zugehörigen Gefährdung?</p> <p>sehr unklare Entsprechung    <input type="checkbox"/>    sehr gute Entsprechung</p>				
<p><b>Stimmigkeit</b> Sind die Warnungen gut aufeinander abgestimmt? Ergibt sich ein „stimmiges Ganzes“</p> <p>sehr schlecht abgestimmt    <input type="checkbox"/>    sehr gut abgestimmt</p>				
<p><b>Gesamturteil</b> Wie beurteilen Sie diese Variante insgesamt?</p> <p>sehr schlecht    <input type="checkbox"/>    sehr gut</p>				

## Anhang C: Versuch zum mentalen Modell KRM

### C.1 Demografischer Fragebogen

Bitte ergänzen Sie die ‚offenen Fragen‘	_____ ihr Text						
bzw. kreuzen Sie die jeweilig zutreffende Antworte an.	<input checked="" type="checkbox"/>						
<b>Demographische Daten</b>							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%;">1. Alter:</th> <th style="width: 33%;">2. Geschlecht:</th> <th style="width: 33%;">3. Führerscheinbesitz:</th> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">_____ Jahre</td> <td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> m    <input type="checkbox"/> w</td> <td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ja    <input type="checkbox"/> nein</td> </tr> </table>	1. Alter:	2. Geschlecht:	3. Führerscheinbesitz:	_____ Jahre	<input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
1. Alter:	2. Geschlecht:	3. Führerscheinbesitz:					
_____ Jahre	<input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein					
<b>Selbsteinschätzung zum Fahrverhalten und Vorwissen</b>							
<b>4. Im Vergleich zu anderen Autofahrern würde ich mich folgendermaßen einschätzen...</b>							
sehr unerfahren	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr erfahren					
<b>5. Ich würde meinen Fahrstil beschreiben als...</b>							
ruhig / ausgeglichen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sportlich / dynamisch					
<b>6. Haben Sie bereits Erfahrung mit Sicherheits- oder Fahrassistenzsystemen sammeln können? Wenn ja mit welchen?</b>							
<input type="checkbox"/> ja, und zwar...	<input type="checkbox"/> Spurverlassenswarner	<input type="checkbox"/> Spurwechselwarner	<input type="checkbox"/> iBrake				
	<input type="checkbox"/> Gegenverkehrswarner						
<input type="checkbox"/> nein							
<b>Versuchsbeurteilung</b>							
<b>7. Haben Sie Anmerkungen?</b>							
<b>8. Empfinden Sie den Versuch als Belastung?</b>							
Ja, sehr	Ja	Eher ja	Eher nicht	Nein	Gar nicht		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<b>9. Würden Sie wieder an einem Fahrversuch teilnehmen?</b>							
<input type="checkbox"/> Ja, weil:							
<input type="checkbox"/> Nein, weil: _____							

## C.2 Strukturiertes Interview

### 1. Funktionskarten erklären

Anweisung:

Platzieren Sie die Funktionskarten innerhalb des Kreises um ihr Fahrzeug.  
Denken Sie dabei laut mit

(frei – andere Gründe als die unteren Vorgaben merken)

- FOTO 1-

Anweisung:

Wir werden jetzt Ihre gelegte Struktur weiter differenzieren und im Einzelnen Begründungen für die Positionierung Ihrer Karten finden.

Sie können dabei die Lage Ihrer Karten jederzeit verändern.

Haben Sie bei der **Platzierung der einzelnen Karte X** die Position **bewusst** hinsichtlich des **Abstandes der Karte zum eigenen Fahrzeug** **bewusst** hinsichtlich der **Ausrichtung auf der Unterlage** gewählt?

Wenn nein, können Sie die Lage der Karten jetzt verändern.

1. **Weshalb** haben Sie die **Funktionskarte A** nach Vorne.. zur Seite.. nach Hinten **ausgerichtet**?

- **Richtung ihres Blickes**
- **Richtung der Fahrzeugfeedbacks?**
- **Richtung des Verursachers**
- **Andere, ... welche**

**KARTEN beschriften**

2. **Weshalb** haben Sie die **Funktionskarte A** weiter weg / näher zum eigenen Fahrzeug **gelegt** als Funktionskarte B?

- **Distanz zwischen Fahrzeugen / Markierung**
- **Zeit zum kritischen Ereignis**
- **Zeitreihenfolge des Feedbacks**
- **Dringlichkeit der eigenen Reaktion**
- **Stärke des Feedbacks**

**KARTEN beschriften!**

- FOTO 2 -

## Anhang D: Versuch zum Vergleich von ESB und KRM

### D.1 Begriffskennntnis (nach Einföhrungsfahrt)

Vom Versuchsleiter auszuföllen!

#### Begriff - Kennntnis

Aufgabe: Begriffsnennung durch Proband Rekapitulation der Situation / Erklärung der Funktion durch VL

Test 1: Nach Explorationsfahrt

Test 2: Nach Lernfahrt

Test ff: Nach eventuell erforderlichen weiteren Lernabschnitt en

Gemeinsames Item für Test und Bedienwunsch zusammen abfragen

Begriff	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Fahrbahnverlassenswarnung	<input type="checkbox"/>				
Spurverlassenshinweis	<input type="checkbox"/>				
Spurwechselwarnung	<input type="checkbox"/>				
Überholverkehrsanzeige	<input type="checkbox"/>				
Auffahrwarnung	<input type="checkbox"/>				
Abstandshinweis	<input type="checkbox"/>				
Gegenverkehrswarnung	<input type="checkbox"/>				
Gegenverkehrshinweis	<input type="checkbox"/>				

#### Würden Sie die vorgestellten Funktionen häufiger an/abschalten wollen oder eher nicht?

	gar nicht	eher selten	eher häufig
Fahrbahnverlassenswarnung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spurverlassenshinweis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spurwechselwarnung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Überholverkehrsanzeige	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auffahrwarnung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abstandshinweis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gegenverkehrswarnung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gegenverkehrshinweis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## D.2 Systemzustands-Kenntnis (vor und während der Messfahrt)

Vom Versuchsleiter auszufüllen!

### Systemzustands – Kenntnis

Aufgabe: Zustandsnennung der Systemfunktionen durch Proband / Abfrage jeder Fkt. durch VL

Abfragereihenfolge permutieren!

Reihenfolge der Konzepte permutieren!

Konzept 1	
<input type="checkbox"/> SARAH	<input type="checkbox"/> L6 mod.

KONZEPT 1 Funktion	Block 1		Block 2	Block 3
	Vor	Nach	Nach	Nach
Fahrbahnverlassenswarnung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Spurverlassenshinweis	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Spurwechselwarnung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Überholverkehrsanzeige	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Auffahrwarnung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Abstandshinweis	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Gegenverkehrswarnung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Gegenverkehrshinweis	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A

KONZEPT 2 Funktion	Block 1		Block 2	Block 3
	Vor	Nach	Nach	Nach
Fahrbahnverlassenswarnung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Spurverlassenshinweis	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Spurwechselwarnung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Überholverkehrsanzeige	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Auffahrwarnung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Abstandshinweis	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Gegenverkehrswarnung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A
Gegenverkehrshinweis	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> J N k.A

### D.3 Konzeptbewertung per strukturiertem Interview

<b>Strukturiertes Interview</b>										
<b>Freie Fragen – vom Versuchsleiter auszufüllen</b>										
<b>Hat Ihnen die Bedienbarkeit einer bestimmten Funktion gefehlt?</b>										
<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, und zwar _____									
<b>War die Bedienbarkeit einer bestimmten Funktion Ihrer Meinung nach überflüssig?</b>										
<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, und zwar _____									
<b>Würden Sie andere Funktionen erwarten, wenn Sie sich vorstellen, ohne Vorwissen das Konzept zum ersten mal zu sehen?</b>										
<input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja, und zwar <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr><td style="padding: 0 10px;">1.</td><td style="padding: 0 10px;">5.</td></tr> <tr><td style="padding: 0 10px;">2.</td><td style="padding: 0 10px;">6.</td></tr> <tr><td style="padding: 0 10px;">3.</td><td style="padding: 0 10px;">7.</td></tr> <tr><td style="padding: 0 10px;">4.</td><td style="padding: 0 10px;">8.</td></tr> </table>		1.	5.	2.	6.	3.	7.	4.	8.
1.	5.									
2.	6.									
3.	7.									
4.	8.									
<b>Was empfanden Sie konkret problematisch oder gut an diesem Bedienkonzept?</b>										
problematisch	unproblematisch									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bildschirmmentü								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Grafiken								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Informationsgehalt								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Menütext Bedeutung								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Menütext Lesbarkeit								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tastergestaltung								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tastensymbolik								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bedeutung der Tasten-LEDs								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Cursorwahlmöglichkeit								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zusammenhang FAS-Bedienfeld und CID-Controller-Bedienung								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zuschaltprinzip für zusätzliche Funktionen								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									

## D.4 Demographische Daten (vor Messfahrt)

Sehr geehrte/r Versuchsteilnehmer/in,

vielen Dank, dass Sie sich bereiterklärt haben an einem Fahrversuch teilzunehmen.

Wir möchten mit Ihrer Hilfe Fahrzeugkonzepte untersuchen und entwickeln, die die Fahrsicherheit und die Bedienfreundlichkeit erhöhen.

Um die Ergebnisse wissenschaftlich fundiert auswerten zu können, möchten wir Sie bitten, folgenden Fragebogen vorab auszufüllen.

Sollten Sie Fragen haben, stellen Sie diese bitte jederzeit dem Versuchsbetreuer.

Bitte ergänzen Sie die ‚offenen Fragen‘

Ihr Text \_\_\_\_\_

bzw. kreuzen Sie die jeweilig zutreffende Antwort an.

### Demografische Daten

<b>1. Alter:</b> _____ Jahre	<b>2. Geschlecht:</b> <input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w	<b>3. Beruf:</b> _____
---------------------------------	--	---------------------------

<b>4. Führerscheinbesitz:</b> <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, seit _____ Jahren	<b>5. Rechts- oder Linkshänder</b> <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links
---	--

<b>6. Wie hoch ist Ihre jährliche Fahrleistung in Kilometern?</b>	
<input type="checkbox"/> weniger als 5.000 km	<input type="checkbox"/> 10.000 km bis 20.000 km
<input type="checkbox"/> 5.000 km bis 10.000 km	<input type="checkbox"/> mehr als 20.000 km

<b>7. Welches Fahrzeug (Marke / Typ) führen Sie überwiegend</b> _____
--

<b>8. Sind bei Ihnen Einschränkungen des Sehapparates bekannt (z.B. Rot-Grün-Blindheit)</b> <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, und zwar _____
--

<b>9. Benötigen Sie eine Sehhilfe zum Autofahren?</b> <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
--

<b>Selbsteinschätzung Fahrverhalten</b>			
<b>1. Im Vergleich zu anderen Autofahrern würde ich mich folgendermaßen einschätzen...</b>			
sehr unerfahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	5	6
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3

## D.5 Erhebung DALI (während der Messfahrt)

<b>Bedienblock 1 – Konzept 1</b>						
Bitte schätzen Sie Ihr empfundenenes Maß an Beanspruchung während der Durchführung der Bedienaufgabe ein.						
[DALI]	geringe hohe Beanspruchung					
	0	1	2	3	4	5
1. Aufwand an mentaler Aufmerksamkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Visuelle Beanspruchung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Auditive Beanspruchung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Taktile Beanspruchung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Verursachter Stress	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Verursachter zeitlicher Druck	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Interferenz zwischen der Fahr- und Nebenaufgabe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bitte bewerten Sie folgende Aussagen hinsichtlich der Bedienaufgabe.						
	Völlige Ablehnung	Ablehnung	eher Ablehnung	eher Zustimmung	Zustimmung	Völlige Zustimmung
Alle Aufgaben habe ich problemlos erfüllt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es war bei allen Aufgaben sofort klar, wie die geforderten Funktionen zu aktivieren / zu deaktivieren waren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Analog: Abfrage der Bedienblöcke 2 und 3

## D.6 SUS-Bewertung (nach Messfahrt)

<b>Konzept 1 Bewertung – SUS</b>					
Bitte bewerten Sie folgende Aussagen hinsichtlich der Bedienungsaufgaben. Kreuzen Sie dazu das Feld jeder Aussage an, dass Ihrer Meinung am ehesten entspricht.					
	lehne stark ab				stimme stark zu
1. Ich kann mir vorstellen, dass ich dieses System häufig benutzen werde.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
2. Ich empfand dieses System als unnötig komplex.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
3. Ich fand dieses System einfach zu nutzen.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
4. Ich benötige die Unterstützung eines Experten, um dieses System bedienen zu können.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
5. Meiner Meinung nach waren die unterschiedlichen Systemfunktionen gut integriert.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
6. Ich empfand dieses System als zu inkonsistent.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
7. Ich könnte mir vorstellen, dass die meisten Anwender die Nutzung des Systems schnell erlernen würden.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
8. Ich fand, dass sich das System nur sehr mühsam nutzen lies.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
9. Ich fühlte mich beim Gebrauch mit dem System sehr sicher.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
10. Ich musste viele Dinge erlernen, bevor ich mit dem System umgehen konnte.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

Analog: SUS-Bewertung Konzept 2

## D.7 AttrakDiff-Bewertung (nach Messfahrt)

### Konzept 1 Bewertung - Attraktivität

Nachfolgend finden Sie Wortpaare, mit deren Hilfe Sie die Beurteilung vornehmen können. Sie stellen jeweils extreme Gegensätze dar, zwischen denen eine Abstufung möglich ist.

Denken Sie nicht lange über die Wortpaare nach, sondern geben Sie bitte die Einschätzung ab, die Ihnen spontan in den Sinn kommt. Vielleicht passen einige Wortpaare nicht so gut auf das Produkt, kreuzen Sie aber trotzdem bitte immer eine Antwort an. Denken Sie daran, dass es keine "richtigen" oder "falschen" Antworten gibt - nur Ihre persönliche Meinung zählt!

menschlich	<input type="radio"/>	technisch						
isolierend	<input type="radio"/>	verbindend						
angenehm	<input type="radio"/>	unangenehm						
originell	<input type="radio"/>	konventionell						
einfach	<input type="radio"/>	kompliziert						
fachmännisch	<input type="radio"/>	laienhaft						
hässlich	<input type="radio"/>	schön						
praktisch	<input type="radio"/>	unpraktisch						
sympathisch	<input type="radio"/>	unsympathisch						
umständlich	<input type="radio"/>	direkt						
stilvoll	<input type="radio"/>	stillos						
voraussagbar	<input type="radio"/>	unberechenbar						
minderwertig	<input type="radio"/>	wertvoll						
ausgrenzend	<input type="radio"/>	einbeziehend						
bringt mich den Leuten näher	<input type="radio"/>	trennt mich von Leuten						
nicht vorzeigbar	<input type="radio"/>	vorzeigbar						
zurückweisend	<input type="radio"/>	einladend						
phantasielos	<input type="radio"/>	kreativ						
gut	<input type="radio"/>	schlecht						
verwirrend	<input type="radio"/>	übersichtlich						
abstoßend	<input type="radio"/>	anziehend						
mutig	<input type="radio"/>	vorsichtig						
innovativ	<input type="radio"/>	konservativ						
lahm	<input type="radio"/>	fesselnd						
harmlos	<input type="radio"/>	herausfordernd						
motivierend	<input type="radio"/>	entmutigend						
neuartig	<input type="radio"/>	herkömmlich						
widerspenstig	<input type="radio"/>	handhabbar						

Analog: AttrakDiff-Bewertung Konzept 2

## D.8 Schlussbewertung (Abschluss)

<b>Schlussbewertung</b>						
<b>Konzepte im Vergleich</b>						
<b>Wie würden Sie mit einer Schulnote die beiden Konzepte bewerten?</b>						
Konzept 1:	<input type="checkbox"/>					
	1	2	3	4	5	6
Konzept 2:	<input type="checkbox"/>					
	1	2	3	4	5	6
<b>Würden Sie eher Schutzzonen oder eher Einzelsysteme in Ihrem Fahrzeug haben wollen?</b>						
Schutzzonen		egal			Einzelsysteme	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
<b>Haben Sie sonstige Verbesserungsvorschläge oder Anmerkungen zu den Konzepten</b>						
<b>Empfanden Sie den Versuch als Belastung?</b>						
Ja, sehr	Ja	Eher ja	Eher nicht	Nein	Gar nicht	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Würden Sie wieder an einem Fahrversuch teilnehmen?</b>						
<input type="checkbox"/> Ja						
<input type="checkbox"/> Nein, weil: _____						
<b>Vielen Dank für Ihre Unterstützung und Teilnahme am Versuch!</b>						

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Fahrerassistenz-Roadmap des Projekts ADASE2 (Ehmanns, 2004).....	1
Abbildung 1.2: Fahrerassistenzsysteme in Deutschland (Becker und Dosch, 2007) .....	2
Abbildung 2.1: Drei-Ebenen-Modell der Fahraufgabe nach Donges (1982) .....	6
Abbildung 2.2: Kombiniertes Drei-Ebenen-Modell der Fahraufgabe nach Donges (2009) ...	8
Abbildung 3.1: Auswirkungen von Integration und Gruppierung auf das ABK .....	24
Abbildung 3.2: Modifikation der FGR-Bedienung bei Einführung ACC im BMW 7er .....	26
Abbildung 3.3: Gruppierung bestehender Systeme und Funktionen im ABK .....	27
Abbildung 3.4: Fahrerassistenz-Bedienleiste im BMW 7er (BJ 2008).....	28
Abbildung 3.5: ACC-Anzeigen im BMW 5er (BJ 2003) .....	28
Abbildung 3.6: Bedienelemente für USW und FSW im SANTOS-Versuchsfahrzeug.....	30
Abbildung 4.1: Systematische Erfassung potenzieller Assistenzfunktionen .....	40
Abbildung 4.2: Fragebogen der Delphi-Studie „FAS 2015“ .....	49
Abbildung 5.1: Beispiel für ein Card Sorting.....	57
Abbildung 5.2: Beispiele für Karten aus den Card Sorting Versuchen 1 und 2 .....	60
Abbildung 5.3: Kategorien-Bezeichnungen aus Versuch 1 .....	64
Abbildung 5.4: Dendrogramm der Clusteranalyse zu Versuch 1 .....	65
Abbildung 5.5: Multi-Dimensionale Gruppierung für Versuch 1 (Standardsicht) .....	67
Abbildung 5.6: Multi-Dimensionale Gruppierung für Versuch 1 (Sicht von oben) .....	69
Abbildung 5.7: Kategorien-Bezeichnungen aus Versuch 2 .....	71
Abbildung 5.8: Dendrogramm der Clusteranalyse zu Versuch 2 .....	73
Abbildung 5.9: Multi-Dimensionale Gruppierung für Versuch 2 (Standardsicht) .....	75
Abbildung 5.10: Multi-Dimensionale Gruppierung für Versuch 2 (Sicht von oben) .....	76
Abbildung 5.11: Beispiel für Systemkarte (Spurwechselwarnung) aus Versuch 3 .....	77
Abbildung 5.12: Dendrogramm der Clusteranalyse zu Versuch 3 (Helmer, 2007) .....	79
Abbildung 6.1: Darstellung der virtuellen Fahrscene im BMW Fahrsimulator .....	98
Abbildung 6.2: Positionierung Sitzkiste und Monitor-Raum für Versuchsleitung.....	98
Abbildung 6.3: LCA-Außenspiegelanzeige, Kombi und Unwucht-Erreger im Lenkrad .....	99
Abbildung 6.4: Übersicht Versuchsablauf.....	101
Abbildung 6.5: Bewertung der subjektiven Kritikalität nach Neukum et al. (2008).....	102
Abbildung 6.6: Skala zur Bewertung der subjektiven Intensität einer Warnung .....	102
Abbildung 6.7: Skala zur Akzeptanzbewertung .....	103
Abbildung 6.8: Kritikalitätsbewertung der Situation AB1d während der Lernfahrt.....	107
Abbildung 6.9: Kritikalitätswerte der dreizehn ausgewerteten Situationen .....	108
Abbildung 6.10: Vergleich der Intensitätsbewertungen über alle Situationen .....	109
Abbildung 6.11: Einteilung der Kritikalitäten in zwei Gruppen nach Vorannahme .....	111
Abbildung 6.12: Neue Hypothesen zur Aufteilung der Nutzfälle in Kritikalitätsgruppen .	112
Abbildung 6.13: Subjektive Bewertung der drei Warnstrategien in der Explorationsfahrt .	115
Abbildung 7.1: Fahrerassistenz-Bedienleiste des BMW 7er (BJ 2008) .....	118
Abbildung 7.2: ABK-Anteile für FCW und LDW.....	118
Abbildung 7.3: Field of Safe Travel nach Gibson und Crooks (1938) .....	123
Abbildung 7.4: Safety Zone nach Summala (2007).....	124
Abbildung 7.5: Veranschaulichung der Metapher anhand eines Auffahrwarnsystems ....	126
Abbildung 7.6: Ableitung der Kritikalitäts-Raum-Metapher.....	127
Abbildung 7.7: Vor- und Akutwarnung der Auffahrwarnung FCW.....	129

Abbildung 7.8: FAS-Funktionen für die Bewertung der Kritikalitäts-Raum-Metapher .....	130
Abbildung 7.9: Kreisstrukturen zur Bewertung des mentalen Modells.....	132
Abbildung 7.10: Versuchsaufbau zur Kritikalitäts-Raum-Metapher .....	133
Abbildung 7.11: Szenario zur Auslösung der akuten Auffahrwarnung.....	133
Abbildung 7.12: Beispiele für einsortierte FAS-Funktionen.....	134
Abbildung 7.13: Verteilung der Funktionskarten in den Kreisstrukturen .....	137
Abbildung 7.14: Platzierung von Bedienelementen und Anzeigen im KRM-ABK .....	139
Abbildung 7.15: Aktivierungs- und Konfigurationsanzeigen für KRM .....	139
Abbildung 7.16: Einzelsystem-Bedienung (ESB) als Vergleich zum KRM-ABK .....	140
Abbildung 7.17: Umsetzung des KRM-Bedienkonzepts in der Sitzkiste .....	143
Abbildung 7.18: Versuch 2 zur Gebrauchstauglichkeit von KRM und ESB.....	144
Abbildung 7.19: Nennung richtiger Systemzustände in den drei Aufgabenblöcken .....	146
Abbildung 7.20: Anzahl richtig bedienter Aufgaben .....	147
Abbildung 7.21: Mittlere Bedienzeiten über alle Aufgaben (1. ABK) .....	148
Abbildung 7.22: Mittlere Bedienzeiten der Aufgaben 2 und 8.....	148
Abbildung 7.23: Bewertung mit AttrakDiff (Burmester et al., 2003).....	150
Abbildung 8.1: Fahrtabschnitt 1.....	174
Abbildung 8.2: Fahrtabschnitt 2.....	174
Abbildung 8.3: Fahrtabschnitt 3.....	175
Abbildung 8.4: Fahrtabschnitt 4.....	175
Abbildung 8.5: Architektur von Sitzkiste und Fahrsimulation.....	176
Abbildung 8.6: Architektur der eingebunden Simulink-Plattform (Co-Simulation).....	177
Abbildung 8.7: Modifikation des Funktionsblocks LDW_LCA .....	179

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Zusammenhang zwischen den Stufen des Handlungsmodells nach Rasmussen (1983) und den Ebenen der Fahraufgabe nach (Gründl, 2005) ....	8
Tabelle 2.2: Automatisierungsstufen nach Endsley und Kiris (1995), Übersetzung in Anlehnung an Lange (2007) .....	11
Tabelle 2.3: Automatisierungsstufen nach Sheridan und Verplank (1978) .....	12
Tabelle 2.4: Übersicht über die bekanntesten Fahrerassistenzsysteme .....	15
Tabelle 2.5: Problemfelder der Automatisierung .....	19
Tabelle 2.6: Assistenz auf verschiedenen Ebenen der Fahraufgabe (modifiziert nach Reichart, 2000) .....	20
Tabelle 2.7: Einteilung von Fahrerassistenzsystemen nach Automatisierungsstufen.....	21
Tabelle 2.8: Zuordnung von FAS zu einzelnen Handlungsphasen.....	22
Tabelle 4.1: Prognostizierte Assistenzfunktionen für 2013 nach Zöllner (2004) .....	36
Tabelle 4.2: Unterstützungspotenziale in der primären Fahraufgabe nach Lange (2007)..	37
Tabelle 4.3: Manöver der Bahnführungsebene .....	39
Tabelle 4.4: Gewichtung der Bewertungskriterien nach der 100-Punkte-Verteilungsmethode (Winterfeldt und Edwards, 1986).....	51
Tabelle 4.5: Rangplätze 1 bis 5 der potenziell sinnvollsten Fahrerassistenzsysteme.....	52
Tabelle 5.1: Anhaltswerte zur Beurteilung des Stress.....	60

Tabelle 5.2: Set mit 53 Funktionskarten für den ersten Pilotversuch .....	61
Tabelle 5.3: Zusätzliche Funktionskarten als Erweiterung des 53-Karten-Sets für Versuch 2 .....	70
Tabelle 5.4: Set mit 21 Systemkarten für Versuch 3 (Helmer, 2007) .....	78
Tabelle 6.1: Kriterien zur Gruppierung von Funktionen und Ausgaben sicherheitsrelevanter FAS.....	84
Tabelle 6.2: Sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme aus der Gruppierungsanalyse mit Einteilung in Längs- und Querführung .....	85
Tabelle 6.3: Modalitäten des Menschen .....	86
Tabelle 6.4: Beispiel für eine Integration über mehrere Warnanteile.....	88
Tabelle 6.5: Nutzfälle aktiver Sicherheitssysteme der Querführung.....	92
Tabelle 6.6: Warnstrategie A (systembasiert).....	94
Tabelle 6.7: Zuordnung Nutzfälle zu Kritikalitätsstufen für Strategie B.....	94
Tabelle 6.8: Zuordnung Nutzfälle zu Kritikalitätsstufen und Ausprägung über die Warnanteile für Strategie B .....	95
Tabelle 6.9: System- und kritikalitätsbasierte Warnstrategie C.....	96
Tabelle 6.10: Realisierte Gefahrensituationen im Fahrsimulator .....	105
Tabelle 6.11: Demographische Daten der Probanden.....	106
Tabelle 6.12: Korrelationen zwischen Kritikalität und Intensität nach Spearman.....	113
Tabelle 6.13: Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Explorationsfahrt .....	114
Tabelle 7.1: Demographische Daten der Probanden für Versuch 1 (Tönert, 2009) .....	135
Tabelle 7.2: Abgeleitete Begriffsbezeichnungen aus Versuch 1 zum mentalen Modell....	135
Tabelle 7.3: Demographische Daten der Probanden für Vergleichsversuch KRM / ESB ...	145
Tabelle 7.4: Gesamtscore auf der System Usability Scale .....	149
Tabelle 7.5: Abschlussbewertung mit Schulnoten.....	151
Tabelle 8.1: Funktionspool für neue Fahrerassistenzsysteme .....	157
Tabelle 8.2: Rangliste der Delphi-Studie "FAS 2015" .....	168
Tabelle 8.3: Nutzfälle für Fahrtabschnitt 1 .....	170
Tabelle 8.4: Nutzfälle für Fahrtabschnitt 2 .....	171
Tabelle 8.5: Nutzfälle für Fahrtabschnitt 3 .....	172
Tabelle 8.6: Nutzfälle für Fahrtabschnitt 4 .....	173

## Literaturverzeichnis

- AAM (2006): *Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and Communication Systems*. Washington: Driver Focus-Telematics Working Group. Verfügbar unter: [http://www.umich.edu/~driving/guidelines/AAM\\_DriverFocus\\_Guidelines.pdf](http://www.umich.edu/~driving/guidelines/AAM_DriverFocus_Guidelines.pdf) [19.03.2011].
- AKTIV (2006): *AKTIV - Adaptive und kooperative Technologien für den intelligenten Verkehr*. Projektübersicht: AKTIV Büro. Verfügbar unter: <http://www.aktiv-online.org/deutsch/aktuell-downloads.html> [20.03.2011].
- ALLEN, T.M.; LUNENFELD, H.; ALEXANDER, G.J. (1971): *Driver Information Needs*. Highway Research Record, No. 366.
- AMDITIS, A.; POLYCHRONOPOULOS, A.; KAISER-DIECKHOFF, U.; MIGLIETTA, M. ET AL. (2005): *Integrated Driver's Lateral Support System: the Lateral Safe Project*. 5th European Congress on ITS. Hannover, 03.06.2005.
- ARISTOTELES (384-322 v.Chr.): *Metaphysik VII 10*.
- ASSMANN, E. (1985): *Untersuchung über den Einfluss einer Bremsweganzeige auf das Fahrerverhalten*. Dissertation, Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Technische Universität München.
- AUDI.DE (2010): *Kurz-Bedienungsanleitung Audi A8*. Online-Präsenz der Audi AG. Verfügbar unter: [http://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/a8/a8/ausstattung/assistentensysteme/audi\\_lane\\_assist.html](http://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/a8/a8/ausstattung/assistentensysteme/audi_lane_assist.html) [19.03.2011].
- AUDI.DE (2011): *Audi Lane Assist*. Online-Präsenz der Audi AG. Verfügbar unter: [http://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/a8/a8/ausstattung/assistentensysteme/audi\\_lane\\_assist.html](http://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/a8/a8/ausstattung/assistentensysteme/audi_lane_assist.html) [14.03.2011].
- BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.; WEIBER, R. (2000): *Multivariate Analysemethoden: eine anwendungsorientierte Einführung*. 9. überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Springer-Verlag.
- BAHNER, J.E. (2008): *Übersteigertes Vertrauen in Automation: Der Einfluss von Fehlererfahrungen auf Complacency und Automation Bias*. Dissertation, Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, Berlin. Verfügbar unter: [http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2008/2013/pdf/bahner\\_jennifer.pdf](http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2008/2013/pdf/bahner_jennifer.pdf) [17.03.2011].
- BAINBRIDGE, L. (1983): *Ironies of Automation*. *Automatica*, 19(6), S. 775-779.

- BARTELS, A.; STEINMEYER, S.; BROSIG, S.; SPICHALSKY, C. (2009): Fahrstreifenwechselassistentz. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- BECKER, S.; BRAUSWETTER, C.; BROCKMANN, M.; HOFMANN, O. ET AL. (1997): *Experimentelle Analyse von Anwenderbedürfnissen innerhalb der Entwicklung von Fahrerunterstützungssystemen*. VDI / BMW-Gemeinschaftstagung, VDI-Bericht 1317 (S. 51-61). Braunschweig: VDI-Verlag.
- BECKER, S.; JOHANNING, T.; FELDGES, J.; KOPF, M. (2001): *The Integrated Approach of User, System, and Legal Perspective: Final Report on Recommendations for Testing and Market Introduction of ADAS*. RESPONSE Project TR4022, Deliverable No. D2.2. Verfügbar unter: [http://www.aide-eu.org/pdf/sp2\\_deliv/aide\\_d2-1-2\\_S](http://www.aide-eu.org/pdf/sp2_deliv/aide_d2-1-2_S) [
- BECKER, U.K.; DOSCH, B. (2007): *Umhegt oder überwacht? So sehen es die Autofahrer*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert. VDI-Bericht Nr. 2015 (S. 3-12). Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik.
- BEIER, G. (1999): *Kontrollüberzeugungen im Umgang mit Technik*. Report Psychologie, 9, S. 684-694.
- BEIER, G.; BOEMAK, N.; RENNER, G. (2001): Sinn und Sinnlichkeit - psychologische Beiträge zur Fahrzeuggestaltung und -bewertung. In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung*. Berlin: Springer-Verlag.
- BEKIARIS, E.; AMDITIS, A. (2002): *Advanced Driver Monitoring: The Awake Project*. Proceedings of the e-Safety Conference. Lyon.
- BELZ, J.; NÖVER, N.; MÜHLENBERG, M.; NITSCHKE, B. ET AL. (2004): *Fahrerassistenz im Spannungsfeld zwischen Komfort- und Sicherheitsanforderungen*. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Bericht 1864 (S. 441-468). Düsseldorf: VDI.
- BERNOTAT, R. (1970): *Anthropotechnik in der Fahrzeugführung*. Ergonomics, 13, S. 353-377.
- BIEHL, B.; ASCHENBRENNER, U.; WURM, G. (1987): *Einfluss der Risikokompensation auf die Wirkung von Verkehrsmaßnahmen am Beispiel ABS*. Unfall- und Sicherheitsforschung im Straßenverkehr, BASt, Heft 63, S. 67.
- BIEVER, W. (2002): *Auditory based supplemental information processing demand effects on driving performance*. Master Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute & State University.
- BILLINGS, C.E. (1997a): *Aviation Automation - The Search for a Human-Centered Approach*. Human Factors in Transportation. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum.

- BILLINGS, C.E. (1997b): Evolution of Aircraft Automation. In *Aviation Automation: The Search For A Human-Centered Approach* (S. 73). Mahwah, NJ 07430: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- BLASCHKE, C.; BREYER, F.; FÄRBER, B.; FREYER, J. ET AL. (2009): *Spurhalteassistentz – Nutzen und Gefahren*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 2085. Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik.
- BMW.COM (2008a): *Die Spurwechselwarnung*. BMW Innovationen Online, BMW Group München. Verfügbar unter: [http://www.bmw.de/de/de/insights/technology/innovations/lane\\_change\\_warning.html](http://www.bmw.de/de/de/insights/technology/innovations/lane_change_warning.html) [14.03.2011].
- BMW.COM (2008b): *Lane Departure Warning*. Pressemitteilung, BMW Group München. Verfügbar unter: [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/lane\\_departure\\_warning.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/lane_departure_warning.html) [04.08.2008].
- BMW.DE (2008): *Der neue BMW 7er*. Pressemitteilung, BMW Group München. Verfügbar unter: <http://www.press.bmw.de> [
- BORTZ, J. (2005): *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. 6. vollständig überarbeitete Auflage. Heidelberg: Springer Verlag.
- BOSCH (2010): *Meilenstein der aktiven Fahrsicherheit - ESP® von Bosch seit 15 Jahren in Serie*. Bosch Media Service. Verfügbar unter: [http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?txtID=4731&tk\\_id=108](http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?txtID=4731&tk_id=108) [18.03.2011].
- BRAKEMEIER, A. (2002): *Fußgängererkennung mit Telematik*. Telematik im Kfz, VDI Bericht 1728. Düsseldorf: VDI.
- BREUER, J. (2009): Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- BREUER, J.; GLEISSNER, S. (2006): *Neue Systeme zur Vermeidung bzw. Folgenminderung von Auffahrunfällen*. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI Bericht 1960 (S. 393-402). Düsseldorf: VDI.
- BREZNITZ, S. (1984): *The Psychology of False Alarms*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- BRIEST, S.; VOLLRATH, M. (2006): *In welchen Situationen machen Fahrer welche Fehler? Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme durch In-Depth-Unfallanalysen*. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI Bericht Nr. 1960 (S. 449 - 463). Düsseldorf: VDI.

- BRÖDNER, P. (1969): Betrachtungen zum Erfassen eines Automatisierungsgrades von Fertigungssystemen. In W. Simon (Hrsg.), *Produktivitätsverbesserungen mit NC-Maschinen und Computern* (S. 43-64). München: Carl Hanser Verlag.
- BROOKE, J. (1996): SUS: a quick and dirty usability scale. In P. Jordan, B. Thomas, B. Weerdemeester & A. McClelland (Hrsg.), *Usability Evaluation in Industry* (S. 189-194). London.
- BUBB, H. (1993a): Informationswandel durch das System. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie*. München: Carl Hanser Verlag.
- BUBB, H. (1993b): Systemergonomie. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (S. 305-458). München: Carl Hanser Verlag.
- BUBB, H. (2003): *Fahrerassistenz - primär ein Beitrag zu Komfort oder für die Sicherheit?* Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 1768 (S. 257-268). Düsseldorf: VDI.
- BÜKER, U.; SCHMIDT, R.; WIESNER, S.; SEIFERT, K. (2007): *Fahrerzustandserkennung und -identifikation mit einer Innenraumkamera*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert. VDI-Bericht Nr. 2015 (S. 193-204). Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik.
- BULD, S.; HOFFMANN, S.; KRUEGER, H.-P. (2003): *INVENT - Das Learnability-Lab bei der Untersuchung von Fahrerassistenzsystemen*. Informations- und Assistenzsysteme im Automobil - Erlernbarkeit als Beitrag zur Fahrsicherheit. Bergisch-Gladbach.
- BULD, S.; HOFFMANN, S.; KRÜGER, H.-P. (2004): *Forschungsinitiative INVENT Projekt Fahrerassistenz, Aktive Sicherheit FAS Teilprojekt Fahrverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion, FVM AP 2200 Methode zur Feststellung des Lernfortschritts bzw. des Systemverständnisses*. Abschlußbericht: INVENT Büro. Verfügbar unter: <http://www.invent-online.de/de/downloads/INVENT%20Ergebnisbericht.pdf> [
- BULD, S.; KRÜGER, H.-P.; HOFFMANN, S.; KAUSSNER, A. ET AL. (2002): *Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit*. Veröffentlichter Abschlussbericht Projekt EMPHASIS: Effort-Management und Performance-Handling in sicherheitsrelevanten Situationen (Förderkennzeichen: 19 S 9812 7). Würzburg: IZVW.
- BURMESTER, M.; HASSENZAHL, M.; KOLLER, F. (2003): *AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität*. Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung (S. 187-196). Stuttgart, 7. bis 10. September: Teubner.
- CAMPBELL, J.L.; RICHARD, C.M.; BROWN, J.L.; MCCALLUM, M. (2007): *Crash Warning System Interfaces: Human Factors Insights and Lessons Learned*. DOT HS 810 697 Final Report. Springfield, Virginia 22161: NHTSA.

- CARSTEN, O. (2007): From Driver Models to Modelling the Driver: What Do We Really Need to Know About the Driver? In P.C. Cacciabue (Hrsg.), *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments* (S. 105-120). London: Springer-Verlag Limited.
- COXON, A.P.M. (1999): *Sorting Data. Collection and Analysis*. Quantitative Applications in the Social Sciences, 127. Thousand Oaks: Sage.
- CUHLS, K. (1998): *Technikvorausschau in Japan. Ein Rückblick auf 30 Jahre Delphi-Expertenbefragungen*. Heidelberg: Physica Verlag.
- CUMMINGS, M.L.; KILGORE, R.M.; WANG, E.; TIJERINA, L. ET AL. (2007): *Effects of Single Versus Multiple Warnings on Driver Performance*. Human Factors, 49(6), S. 1097–1106.
- DAMBÖCK, D.; KIENLE, M.; BENGLER, K.; FLEMISCH, F. ET AL. (2009): *Vom Assistierten zum Hochautomatisierten Fahren – Zwischenbericht aus den Projekten DFG-H-Mode und EU-HAVEit*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 2085 (S. 139-152). Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik.
- DEGANI, A. (1997): Do you know what mode you're in? An analysis of mode error in everyday things. In M. Mouloua & J.M. Koonce (Hrsg.), *Human-automation interaction: Research and practice* (S. 19-28). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum. Verfügbar unter: <http://ase.arc.nasa.gov/people/asaf/hai/pdf/Do%20you%20know%20what%20mode.pdf> [
- DEGANI, A.; SHAFTO, M.; KIRLIK, A. (1997): *Modes in Human-Machine Systems: Review, Classification and Application*. International Journal of Aviation Psychology, 9(2).
- DEGANI, A.; SHAFTO, M.; KIRLIK, A. (2006): What makes vicarious functioning work? Exploring the geometry of human-technology interaction. In A. Kirlik (Hrsg.), *Adaptive Perspectives on Human-Technology Interaction*. New York: Oxford University Press.
- DEML, B.; FREYER, J.; FÄRBER, B. (2007): *Ein Beitrag zur Prädiktion des Fahrstils*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 2015 (S. 47-60). Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik.
- DEREGIBUS, E.; BIANCO, E.; ANDREONE, L.; AMDITIS, A. ET AL. (2004): *Driver-vehicle interaction and communication management*. AIDE IST-1-507674-IP, Deliverable 3.4.1. Verfügbar unter: [http://www.aide-eu.org/pdf/sp2\\_deliv/aide\\_d2-1-2\\_S](http://www.aide-eu.org/pdf/sp2_deliv/aide_d2-1-2_S) [
- DEUBZER, E.M. (2002): *Die Ordnung im Kopf - Begriffliche Wissensstrukturen zur Entwicklung benutzerorientierter Anordnungen von Funktionen im Raum*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- DISTLER, A.; DURACH, S.; ECKSTEIN, L.; KEINATH, A. ET AL. (2008): *Das Anzeige- und Bedienkonzept des neuen BMW 7er*. ATZ online. Verfügbar unter: <http://www.atzonline.de/index.php;do=show/id=9030/alloc=3> [21.07.2009].

- DOISL, C. (2007): *Systemergonomische Analyse von Anzeige- und Bedienkonzepten zur Unterstützung des Parkvorgangs*. Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.
- DONGES, E. (1982): *Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen*. Automobil-Industrie, 2.
- DONGES, E. (1999): *A conceptional framework for active safety in road traffic*. Vehicle Systems Dynamics, S. 113-128.
- DONGES, E.; NAAB, K. (1996): *Regelsysteme zur Fahrzeugführung und -stabilisierung in der Automobiltechnik*. Automatisierungstechnik, 5, S. 226-236.
- DONGES, E. (2009): Fahrerverhaltensmodelle. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- EBERSBACH, D. (2005): *Entwurfstechnische Grundlagen für ein Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung des Fahrers bei der Wahl seiner Geschwindigkeit*. Dissertation, Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List", Technische Universität Dresden.
- ECKSTEIN, L. (2001): *Entwicklung und Überprüfung eines Bedienkonzepts und von Algorithmen zum Fahren eines Kraftfahrzeugs mit aktiven Sidesticks*. Dissertation, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 12, Nr. 471. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- ECKSTEIN, L. (2008): *Souveräne Interaktion mit Fahrerassistenzsystemen*. VDA Technischer Kongress. Ludwigsburg.
- ECKSTEIN, L.; KNOLL, C.; KÜNZNER, H.; NIEDERMAIER, B. ET AL. (2008): *Interaktion mit Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen im neuen 7er BMW*. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Bericht Nr. 2048. Wolfsburg, 29.-30.10.2008: VDI-Verlag.
- EDWARDS, W. (1954): *The theory of decision making*. Psychological Bulletin, 51(4), S. 380-417.
- EDWORTHY, J.; ADAMS, A. (1996): *Warning Design: A Research Prospective*. CRC Press.
- EHMANN, D. (2002): *Modellierung des taktischen Fahrerhaltens bei Spurwechselvorgängen*. Dissertation, Institut für Kraftfahrwesen, RWTH Aachen [21.07.2009].
- EHMANN, D. (2004): *ADASE2 - Roadmap*. CarTALK final workshop. Italy: Information Society Technologies.
- EHMANN, D.; GELAU, C.; NICKLISCH, F.; WALLENTOWITZ, H. (2000): *Zukünftige Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen und Methoden zu deren Bewertung*. 9. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik. Aachen.

- EHRENFELS, C.V. (1890): *Über Gestaltqualitäten*. Vierteljahresschrift für wissenschaftliche Philosophie, Bd. 14.
- ENDSLEY, M.R. (1996): Automation and Situation Awareness. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Hrsg.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications* (S. 163-181). Mahway, NJ: Lawrence Erlbaum.
- ENDSLEY, M.R. (1997): *Situation Awareness, Automation & Free Flight*. Verfügbar unter: <http://www.satechnologies.com/Papers/pdf/Saclay1997-SA-ATC.pdf> [21.07.2009].
- ENDSLEY, M.R.; KABER, D.B. (1999): *Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task*. Ergonomics, 42, S. 30.
- ENDSLEY, M.R.; KIRIS, E.O. (1995): *The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation*. Human Factors, 37(2), S. 381-394.
- ERKE, H. (1993): Vorgaben an die Verkehrsplanung. Anforderungen an den Menschen aus Sicht der ökologischen Psychologie. In E. Lang & K. Arnold (Hrsg.), *Der Mensch im Straßenverkehr*. Stuttgart: Enke.
- FÄRBER, B.; FÄRBER, B. (1999): *Telematik-Systeme und Verkehrssicherheit*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, Heft M104. München: Universität der Bundeswehr, Institut für Arbeitswissenschaft.
- FASTENMEIER, W. (1991): *Review on studies and research work about driving task analysis*. Expert study realized by order of DRIVE Central Office CEC. Brüssel: Commission of the European Communities, DG XIII/F-5.
- FASTENMEIER, W. (1995): Autofahrer und Verkehrssituation - Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme. In H. Häcker (Hrsg.), *Reihe Mensch-Fahrzeug-Umwelt (Band 33)*. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- FASTENMEIER, W.; GSTALTER, H. (2002): *INVENT-FAS/FVM, AP 1200: Fahraufgabenklassifikation*. Abschlußbericht im Auftrag der BMW AG, Robert Bosch GmbH, DaimlerChrysler AG & Volkswagen AG. München: Mensch-Verkehr-Umwelt, Institut für Angewandte Psychologie.
- FASTENMEIER, W.; REICHART, G.; HALLER, R. (1992): *Welche Informationen brauchen Fahrer wirklich?* VDI-Berichte 948. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- FLEMISCH, F.O.; GOODRICH, K.; CONWAY, S. (2005a): *At the crossroads of manually controlled and automated transport: The H-Metaphor as a guideline for vehicle automation and interaction*. Intelligent Transportation Systems. The 5th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services HITS. Hannover.

- FLEMISCH, F.O.; SCHOMERUS, J.; KELSCH, J.; SCHMUNTZSCH, U. (2005b): *Vom Fahrer zum Reiter? Zwischenbericht 2005 auf dem Weg von der H-Metapher zum H-Mode für Bodenfahrzeuge*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 1919 (S. 63-74). Düsseldorf: VDI.
- FULLER, R. (1984): *A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance*. Ergonomics, 27(5), S. 1139.
- FULLER, R. (2007): Motivational Determinants of Control in the Driving Task. In P.C. Cacciabue (Hrsg.), *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments* (S. 165-188). London: Springer-Verlag Limited.
- GAYKO, J. (2009): Lane Departure Warning. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- GEISE, W. (2006): Zur Anwendung der Struktur-lege-Technik bei der Rekonstruktion subjektiver Impulskauftheorien. In E. Bahrs, S.v. Cramon-Taubadel, A. Spiller, L. Theuvsen & M. Zeller (Hrsg.), *Unternehmen im Agrarbereich vor neuen Herausforderungen. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Bd. 41* (S. 121-131). Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag.
- GEISER, G. (1985): *Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug*. ATZ 87, S. 74-77.
- GIBSON, J.J.; CROOKS, L.E. (1938): *A theoretical field-analysis of automobile-driving*. American Journal of Psychology, 51, S. 453-471.
- GIGERENZER, G. (1981): *Messung und Modellbildung in der Psychologie*. München: Ernst Reinhardt Verlag.
- GIJSSEL, A.V.; BRUNNER, G.; KÜNZNER, H. (2007): *Assistance for the Sovereign Vehicle Driver – A Driver-Vehicle Interface for Sustained Situation Expectancy and Anticipative Vehicle Control*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 2015 (S. 251-256). Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik.
- GRIMMER, W.; ADEL, P.J.; STEPHAN, E.R. (1995): *Die Akzeptanz von Navigations- und Verkehrsführungssystemen der Zukunft. Eine AXA Direkt Verkehrsstudie*. Bonn: Deutscher Psychologen Verlag.
- GRÜNDL, M. (2005): *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, Universität Regensburg.
- GRUPP, H. (1993): *Deutscher Delphi-Bericht zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik*. Bonn: Bundesministerium für Forschung und Technologie, Öffentlichkeitsarbeit.
- HACKER, W. (1998): *Allgemeine Arbeitspsychologie - Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern: Hans Huber Verlag.

- HÄDER, M. (2009): *Delphi-Befragungen - ein Arbeitsbuch*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH.
- HÄDER, M.; HÄDER, S. (2000): Die Delphi-Methode als Gegenstand methodischer Forschungen. In M. Häder & S. Häder (Hrsg.), *Die Delphi-Technik in den Sozialwissenschaften. Methodische Forschungen und innovative Anwendungen* (S. 11-32). Wiesbaden: Westdeutscher Verlag GmbH.
- HAINES, R.F. (1991): A breakdown in simultaneous information processing. In G. Obrecht & L. Stark (Hrsg.), *Presbyopia Research* (S. 171-175). New York: Plenum.
- HAKULI, S.; BRUDER, R.; FLEMISCH, F.O.; LÖPER, C. ET AL. (2009): Kooperative Automation. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- HALL, E.T. (1966): *The Hidden Dimension*. New York: Anchor Books.
- HALLER, R. (2001): Fahrer-Assistenz versus Fahrerbevormundung: Wie erreicht man, dass der Fahrer Herr der Situation bleibt? In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung*. Berlin: Springer-Verlag.
- HALLER, R.; KUHN, F.; JUNG, C.; BAUM, R. ET AL. (1995): *PROMETHEUS Pro-Driver*. Abschlußdokumentation. München. Verfügbar unter: [http://www.prevent-ip.org/download/deliverables/IP\\_Level/PR-04000-IPD-080222-v15\\_PReVENT\\_Final\\_Report\\_Amendments%206%20May%202008.pdf](http://www.prevent-ip.org/download/deliverables/IP_Level/PR-04000-IPD-080222-v15_PReVENT_Final_Report_Amendments%206%20May%202008.pdf) [
- HAPPE, J.; LÜTZ, M. (2008): *Fahrerassistenz: Trends in der Fahrerakzeptanz - Kundennutzen, Bekanntheitsgrad und Kaufbereitschaft*. 3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, 7.- 8. April. Garching bei München
- HARLOFF, J.; COXON, A.P.M. (2007): *How To Sort - Eine kurze Anleitung für Sortier-Untersuchungen*. Verfügbar unter: [http://www.softuse.com/HowToSort1-2\\_deutsch.pdf](http://www.softuse.com/HowToSort1-2_deutsch.pdf) [04.08.2008].
- HAUß, Y.; TIMPE, K.-P. (2002): Automatisierung und Unterstützung in Mensch-Maschine-Systemen. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (Vol. 2). Düsseldorf: Symposion.
- HELMER, O. (1966): *The Use of the Technique Delphi in Problems of Educational Innovation*. Santa Monica, CA: The Rand Corporation.
- HELMER, T. (2007): *Bewertungsaspekte zur Stimmigkeit eines Verbundes von Fahrerassistenzsystemen*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, Garching.
- HEMMERLING, S. (2002): Evaluation in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses am Beispiel von Gebrauchsgütern. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (Vol. 2, S. 299-316s). Düsseldorf: Symposion.

- HIESEL, C. (2008): *Empirische Untersuchung zur erfahrungsbasierten Gruppierung von Fahrerassistenzsystemen*. Diplomarbeit, Fachhochschule Technikum Wien, Wien.
- Ho, A.W.L. (2006): *Integrating automobile multiple intelligent warning systems : performance and policy implications*. Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology. Verfügbar unter: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/38571> [21.07.2009].
- HOCH, S.; SCHWEIGERT, M.; ALTHOFF, F.; RIGOLL, G. (2007): *The BMW SURF Project: A Contribution to the Research on Cognitive Vehicles*. IEEE Intelligent Vehicle Symposium (S. 692-697). Istanbul, Turkey, June 13-14.
- HOFFMANN, J. (1983): *Das aktive Gedächtnis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- HOFFMANN, J. (1986): *Die Welt der Begriffe*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- HOFFMANN, J.; GAYKO, J. (2009): Fahrerwarnelemente. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- HUANG, P.-S. (2003): *Regelkonzepte zur Fahrzeugführung unter Einbeziehung der Bedienelementeigenschaften*. Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München. Verfügbar unter: <http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/mw/2004/huang.pdf> [21.07.2009].
- HUESMANN, A.; WISSELMANN, D.; FREYMAN, R. (2003): *Der neue dynamische Fahrsimulator der BMW Fahrzeugforschung*. Simulation und Simulatoren - Mobilität virtuell gestalten, VDI Berichte 1745. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- HULST, M.v.D. (1999): *Adaptive control of safety margins in driving*. Dissertation, University of Groningen.
- INVENT (2005): *Ergebnisbericht INVENT: "erfahren" - mobil mit 8 Sinnen*. Gemeinsamer öffentlicher Abschlussbericht der Projektpartner. München: INVENT Büro. Verfügbar unter: <http://www.invent-online.de/de/downloads/INVENT%20Ergebnisbericht.pdf> [20.03.2011].
- ISO-9241-11 (1996): *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze*. International Standard DIN EN ISO 9241-11. Berlin: Beuth Verlag. Verfügbar unter: [http://www.aide-eu.org/pdf/sp2\\_deliv/aide\\_d2-1-2\\_S](http://www.aide-eu.org/pdf/sp2_deliv/aide_d2-1-2_S) [
- ISO-15623 (2002): *Transport information and control systems — Forward vehicle collision warning systems — Performance requirements and test procedures*. International Standard ISO 15623:2002 (E). Verfügbar unter: [http://www.aide-eu.org/pdf/sp2\\_deliv/aide\\_d2-1-2\\_S](http://www.aide-eu.org/pdf/sp2_deliv/aide_d2-1-2_S) [

- ISO-17361 (2007): *Intelligent transport systems — Lane departure warning systems — Performance requirements and test procedures*. International Standard ISO 17361:2007 (E). Verfügbar unter: [http://www.aide-eu.org/pdf/sp2\\_deliv/aide\\_d2-1-2\\_S](http://www.aide-eu.org/pdf/sp2_deliv/aide_d2-1-2_S) [
- ISO-17387 (2006): *Intelligent Transportation Systems — Lane Change Decision Aid Systems — Performance requirements and test procedures*. International Standard ISO 17387. Verfügbar unter: [http://www.aide-eu.org/pdf/sp2\\_deliv/aide\\_d2-1-2\\_S](http://www.aide-eu.org/pdf/sp2_deliv/aide_d2-1-2_S) [
- JAKOB, G. (2007): *Einflussgrößen auf die subjektive Sicherheit - Eine empirische Untersuchung am Beispiel eines deutschen Premiumanbieters aus der Automobilindustrie*. Diplomarbeit, Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion, Universität Karlsruhe (TH).
- JOHANNING, T. (2004): *Ergebnisse der Multimediabefragung "Querführungsassistent"*. Innovations- und Marktforschung. Köln: TÜV Kraftfahrt GmbH.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983): *Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- JÜRGENSOHN, T. (1997): *Hybride Fahrermodelle*. Dissertation, Technische Universität Berlin, ZMMS Spektrum, Bd. 4. Sinzheim: Pro Universitate Verlag.
- KAMMEL, S. (2009): *Autonomes Fahren*. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- KARRER, K.; GLASER, C.; CLEMENS, C.; BRUDER, C. (2009): *Technikaffinität erfassen - der Fragebogen TA-EG*. In A. Lichtenstein, C. Stöbel & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme: 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. ZMMS-Spektrum, Band 22* (S. 196-201). Berlin: VDI-Verlag.
- KATZWINKEL, R.; AUER, R.; BROSIG, S.; MICHAEL ROHLFS ET AL. (2009): *Einparkassistent*. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- KHANH, T.Q.; HUHN, W. (2009): *Sichtverbesserungssysteme*. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- KINDSMÜLLER, M.C.; HUSFELDT, A.; BIERWAGEN, T. (2002): *Evaluation im Bereich der Flugsicherung mit Hilfe der kanonischen Synthese*. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (Vol. 2). Düsseldorf: Symposium.
- KIRSCH, M. (2004): *Entwurf und Evaluierung eines anthropozentrischen Anzeige-Bedien-Konzeptes im Fahrzeug*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, Technische Universität München, München.

- KLIX, F. (1971): *Information und Verhalten*. Bern: Hans Huber Verlag.
- KLIX, F. (1992): *Die Natur des Verstandes*. Göttingen: Hogrefe.
- KNAPPE, G.; KEINATH, A.; MEINECKE, C. (2009): Die Sensitivität verschiedener Maße zur Fahrzeugquerregelung im Vergleich. In J. Schade & A. Engeln (Hrsg.), *Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie* (S. 237-256): Shaker.
- KOMPASS, K. (2008): Fahrerassistenzsysteme der Zukunft – auf dem Weg zum autonomen Pkw? In V. Schindler & I. Sievers (Hrsg.), *Forschung für das Auto von morgen – Aus Tradition entsteht Zukunft*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- KOMPASS, K.; REICHART, G. (2006): *Freude am Fahren zwischen Selbstbestimmung und autonomer Technik*. AAET 2006 - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel. Beiträge zum gleichnamigen 7. Braunschweiger Symposium. 22. und 23. Februar 2006, GZVB Braunschweig.
- KÖNIG, W.; WEIB, K.-E.; MAYSER, C. (2002): *S.A.N.T.O.S. - Situations-Angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung*. Gemeinsamer Projektabschlussbericht der Robert Bosch GmbH und der BMW Group.
- KOPF, M. (1994): *Ein Beitrag zur modellbasierten, adaptiven Fahrerunterstützung für das Fahren auf deutschen Autobahnen*. Dissertation, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 12 Verkehrstechnik/ Fahrzeugtechnik, Nr. 203. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- KOPF, M. (1998): *Warnungen und ihre Auswirkungen auf den Fahrer*. Technischer Bericht. München: BMW AG.
- KOPF, M.; FARID, M.; DOISL, C. (2004a): *Methoden zur Erhöhung der Akzeptanz und Effizienz eines Systems der aktiven Fahrsicherheit*. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Bericht Nr. 1864 (S. 543-560). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- KOPF, M.; FARID, M.; STEINLE, J. (2004b): *Bausteine zu Entwicklung eines Systems der aktiven Sicherheit*. 1. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz. Garching: TÜV Süddeutschland.
- KOSCH, T. (2004): *Situationsadaptive Kommunikation in Automobilen Ad-hoc Netzen*. Dissertation, Fakultät für Informatik, Technische Universität München.
- KOZAK, K.; POHL, J.; BIRK, W.; GREENBERG, J. ET AL. (2006): *Evaluation of Lane Departure Warnings for Drowsy Drivers*. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting (S. 2400-2404). San Francisco, 16-20 October.
- KRAISS, K.-F. (1990): *Benutzergerechte Automatisierung - Grundlagen und Realisierungskonzepte*. at - Automatisierungstechnik, 43 (10), S. 457-467.
- KREMS, J. (1994): *Wissensbasierte Urteilsbildung: Diagnostisches Problemlösen durch Experten und Expertensysteme*. Bern: Hans Huber Verlag.

- KRÜGER, H.-P.; BULD, S.; KAUSSNER, A.; HOFFMANN, S. (2002): *AP 2100 Erstellen eines Modells des Lernverhaltens*. INVENT Abschlußbericht "Fahrverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion (FVM). Würzburg: IZVW.
- KÜÇÜKAY, F.; HAMEY, D. (2004): Assistenzsysteme in der Fahrzeugtechnik. In G.f.V. Braunschweig (Hrsg.), *Automatisierungs- und Assistenzsysteme für Transportmittel. Möglichkeiten, Grenzen, Risiken. Beiträge zum gleichnamigen 5. Braunschweiger Symposium vom 17.-18. Februar 2004, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.* (S. 122-143). Braunschweig: GZVB.
- LAMANTIA, J. (2003): *Analyzing Card Sort Results with a Spreadsheet Template*. Verfügbar unter:  
[http://www.boxesandarrows.com/view/analyzing\\_card\\_sort\\_results\\_with\\_a\\_spreadsheet\\_template](http://www.boxesandarrows.com/view/analyzing_card_sort_results_with_a_spreadsheet_template) [04.08.2008].
- LANGE, C. (2007): *Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades*. Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München. Verfügbar unter:  
<http://www.lfe.mw.tum.de/~lange/Lange.pdf> [21.07.2009].
- LERMER, R.; FÄRBER, B. (2008): *Warn- und Informationsmanagement (WIM). Optimierte MMI durch situations- und fahrerzustandsadaptive Ausgaben*. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme. Wolfsburg, 29.-30.10.2008: VDI-Verlag.
- LEVESON, N.; PINNELL, L.D.; SANDYS, S.D.; KOGA, S. ET AL. (1997): *Analyzing Software Specifications for Mode Confusion Potenzial*. Seattle, WA: Computer Science and Engineering, University of Washington. Verfügbar unter:  
<http://citeseer.ist.psu.edu/leveson97analyzing.html> [
- LINDBERG, T.; SCHALLER, T.; GRADENEGGER, B. (2007): *Stauassistentz - Unterstützung des Fahrers durch Übernahme der Quer- und Längsführung im Stau*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 2015. Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik.
- LÖWENAU, J.; GRESSER, K.; WISSELMANN, D. (2006): *Dynamic Pas Prediction - A New Driver Assistance System for Superior and Safe Overtaking*. Advanced Microsystems for Automotive Applications, S. 66-77.
- MALHOTRA, N.; BIRKS, D. (2005): *Marketing Research: An Applied Approach*. London: Prentice Hall.
- MAMMAR, S.; GLASER, S.; NETTO, M. (2006): *Time to Line Crossing for Lane Departure Avoidance: A Theoretical Study and an Experimental Setting*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 7 (2), S. 234-243.
- MANN, M. (2007): *Benutzerorientierte Entwicklung und fahrergerichte Auslegung eines Querführungsassistenten*. Dissertation, Technische Universität München. Audi Dissertationsreihe, Band 2. Göttingen: Cuvillier Verlag.

- MANSTETTEN, D.; KRAUTTER, W. (2002): *AP 2000: Standards und Richtlinien für die Entwicklung von Fahrerassistenz- und -informationssystemen*. INVENT Abschlußbericht "Fahrverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion (FVM): Selbsterklärendes Fahrerassistenzsystem". Stuttgart.
- MARSHALL, D.C.; LEE, J.D.; AUSTRIA, P.A. (2007): *Alerts for In-Vehicle Information Systems: Annoyance, Urgency, and Appropriateness*. Human Factors, 49(1), S. 145-157.
- MATHEUS, K.; MORICH, R. (2004): *NOW: Network on Wheels. Business Model and Market Introduction for Car-to-Car Communication*. Project Report: Carmeq.
- MCKNIGHT, A.J.; ADAMS, B.B. (1970): *Driver Education Analysis. Vol. I: Task Descriptions*. Alexandria: Human Resources Research Organisation HumRRO.
- MEITINGER, K.-H.; EHMANN, D.; HEIBING, B. (2004): *Systematische Top-Down-Entwicklung von Kreuzungsassistenzsystemen*. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Bericht Nr. 1864. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- METZGER, W. (1975): *Die Gesetze des Sehens*. Frankfurt: Kramer.
- MICHON, J.A. (1985): A critical view of driver behavior model: what do we know, what should we do? In Evans & R.C. Schwings (Hrsg.), *Human Behavior and Traffic Safety* (S. 485-520). New York: Plenum Press.
- MILIČIĆ, N. (2010): *Sichere und ergonomische Nutzung von Head-Up Displays im Fahrzeug*. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität München [21.07.2009].
- MILIČIĆ, N.; LINDBERG, T. (2008): *Menu interaction in Head-Up Displays*. Human Factors and Ergonomic Society, Annual Meeting. Soesterberg, The Netherlands.
- MILLER, G.A. (1969): *A psychological method to investigate verbal concepts*. Journal of Mathematical Psychology, 6, S. 169-191.
- MITROFF, I.I.; TUROFF, M. (2002): Philosophical and Methodological Foundations of Delphi. In H.A. Linstone & M. Turoff (Hrsg.), *The Delphi Method. Techniques and Applications (eBook)* (S. 17-34). Newark, NJ: College of Computing Sciences, New Jersey Institute of Technology. Verfügbar unter: <http://is.njit.edu/pubs/delphibook/> [21.07.2009].
- NAAB, K. (2000): *Automatisierung im Straßenverkehr*. Automatisierungstechnik, 5(48), S. 211-223.
- NÄÄTÄNEN, R.; SUMMALA, H. (1976): *Road User Behaviour and Traffic Accidents*. Amsterdam (NL): North-Holland Publishing Co.
- NAGEL, H.-H. (1994): *A Vision of "Vision and Language" Comprises Action: An Example From Road Traffic*. Artificial Intelligence Rev., 8 (2-3), S. 189-214.

- NAGEL, H.-H. (1995): *Sichtsystemgestützte Fahrzeugführung und Fahrer-Fahrzeug-Wechselwirkung*. Sankt Augustin: infix-Verlag.
- NEUENDORF, N.; KNORR, R.; KULP, K.; LENZ, A. (2006): *Pilot-in-the-loop - Auf dem Weg zum 'artificial co-pilot' im Automobil*. 2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz. Garching.
- NEUKUM, A.; LÜBBEKE, T.; KRÜGER, H.-P.; MAYSER, C. ET AL. (2008): ACC-Stop&Go: Fahrerverhalten an funktionalen Systemgrenzen. In M. Maurer & C. Stiller (Hrsg.), *5. Workshop Fahrerassistenzsysteme* (S. 141-150). Karlsruhe: fmrt Karlsruhe e.V.
- NEUNZIG, D.; BENMIMOUN, A. (2002): *Potenziale der vorausschauenden Fahrerassistenz zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs*. 11. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik. Aachen.
- NITZ, G.; ZAHN, P. (2008): *Nutzergerechte Eingriffsstrategien für ein aktives Gefahrenbremsystem*. 17. Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik. Aachen.
- NORMAN, D. (1983): Some Observations on Mental Models. In D. Gentner & A. Stevens (Hrsg.), *Mental Models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- NORMAN, D. (1988): *The Design of Everyday Things*. Newprint, 2002.
- OLTERSDORF, K. (2005): *Onlinebefragung Kreuzungsassistent*. Innovations- und Marktforschung. Köln: TÜV Kraftfahrt GmbH. Verfügbar unter: [http://www.tuv.com/web/media\\_get.php?mediaid=5399&fileid=7024](http://www.tuv.com/web/media_get.php?mediaid=5399&fileid=7024) [
- PARASURAMAN, R.; RILEY, V. (1997): *Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, and Abuse*. Human Factors, 39(2), S. 230-253. .
- PARASURAMAN, R.; SHERIDAN, T.B.; WICKENS, C. (2000): *A model for Types and Levels of Human Interaction with Automation*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 30, S. 286-297.
- PATAKI, K.; SCHULZE-KISSING, D.; MAHLKE, S.; THÜRING, M. (2005): Anwendung von Usability-Maßen zur Nutzeneinschätzung von Fahrerassistenzsystemen. In K. Karrer, B. Gauss & C. Steffens (Hrsg.), *Beiträge zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis* (S. 221-228). Düsseldorf: Symposion.
- PAUZIÉ, A.; MANZANO, J. (2007): *Evaluation of driver mental workload facing new in-vehicle information and communication technology*: INRETS - National Research Institute on Transport and Safety.
- POHL, J.; EKMARK, J. (2003): *Development of a Haptic Intervention System for Unintended Lane Departure*. Proceedings of SAE 2003 World Congress & Exhibition, March 2003 (S. 243-247). Detroit, MI: Society of Automotive Engineers.

- POLYCHRONOPOULOS, A.; GEMOU, M.; DANIELSON, L.; AMDITIS, A. ET AL. (2005): *Design of a friendly HMI combining multiple sources of warnings, for the Lateral Safe applications*. Proceedings of the 24th Annual European Conference on Human Decision Making and Manual Control (EAM2005). Athen, 17.-19.10.2005.
- POMERLEAU, D.; JOCHEM, T.; THORPE, C.; BATAVIA, P. ET AL. (1999): *Run-Off-Road Collision Avoidance Using IVHS Countermeasures*. DOT HS 809 170 Final Report: NHTSA.
- PREVENT (2008): *PREVENT - Preventive and Active Safety Applications Integrated Project*. PRevent Final Report (Deliverable IP\_D15). Verfügbar unter: [http://www.prevent-ip.org/download/deliverables/IP\\_Level/PR-04000-IPD-080222-v15\\_PReVENT\\_Final\\_Report\\_Amendments%206%20May%202008.pdf](http://www.prevent-ip.org/download/deliverables/IP_Level/PR-04000-IPD-080222-v15_PReVENT_Final_Report_Amendments%206%20May%202008.pdf) [
- RASKIN, J. (2000): *The humane interface: new directions for designing interactive systems*. New York, NY: ACM Press / Addison-Wesley Publishing Co.
- RASMUSSEN, J. (1983): *Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and symbols, and other distinctions in human performance models*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 15, S. 234-243.
- RASMUSSEN, J. (1986): *Information processing and human-machine interaction: An Approach to Cognitive Engineering*. New York, NY: Elsevier Science Inc.
- REICHART, G. (2001): *Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen*. Dissertation, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 22, Nr. 7. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- RESPONSE3 (2006): *Code of Practice for the Design and Evaluation of ADAS*. RESPONSE 3 - a PReVENT Project, Final Report. Verfügbar unter: [http://www.aide-eu.org/pdf/sp2\\_deliv/aide\\_d2-1-2\\_S](http://www.aide-eu.org/pdf/sp2_deliv/aide_d2-1-2_S) [
- RINZA, P.; SCHMITZ, H. (1992): *Nutzwert-Kosten-Analyse: eine Entscheidungshilfe*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- ROCKWELL, T.H. (1972): *Eye movement analysis of visual information acquisition in driving: An overview*. Proceedings of the 6th Conference of the Australian Road Research Board (S. 316-331).
- RÖSLER, D.; KREMS, J.; MAHLKE, S.; THÜRING, M. ET AL. (2006): Evaluation of night vision enhancement systems: Driver needs and acceptance. In M. Maurer & C. Stiller (Hrsg.), *4. Workshop Fahrerassistenzsysteme* (S. 97-103). Karlsruhe: fmrt Karlsruhe e.V.
- SACHER, H. (2004): *Erfahrene Fahrzeugführer als Experten für Nutzerbedarfe: Entwicklung einer Methodik zur Bedarfserfassung an das Fahrzeug der Zukunft*. TUMMIC: Mensch-Maschine-Interaktion im Kraftfahrzeug. Abschlussbericht der Phase I. München: Lehrstuhl für Ergonomie der TU München.

- SACKMAN, H. (1975): *Delphi Critique: Expert Opinions, Forecasting and Group Process*. Lexington, MA: D.C. Heath.
- SAE-J2802 (2006): *Blind Spot Monitoring System (BSMS): Operating Characteristics and User Interface*. SAE J 2802-2010. Verfügbar unter: [http://www.aide-eu.org/pdf/sp2\\_deliv/aide\\_d2-1-2\\_S](http://www.aide-eu.org/pdf/sp2_deliv/aide_d2-1-2_S) [
- SARTER, N.B.; WOODS, D.D.; BILLINGS, C.E. (1997): Automation Surprises. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors & Ergonomics* (2nd ed.). Wiley.
- SCHALLER, T.; SCHIELEN, J.; GRADENEGGER, B. (2008): *Stauassistentz - Unterstützung des Fahrers in der Quer- und Längsführung: Systementwicklung und Kundenakzeptanz*. 3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz. Garching.
- SCHIERGE, F. (2005): *Welche Fahrerassistenz wünschen sich die Fahrer? Methoden und Ergebnisse zur Nutzerakzeptanz von FAS aus der Forschungsinitiative INVENT*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 1919 (S. 207-220). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- SCHINDHELM, R.; GELAU, C.; KEINATH, A.; BENGLER, K. ET AL. (2004): *Report on the review of the available guidelines and standards ns*. AIDE IST-1-507674-IP, Deliverable 4.3.1.
- SCHUMANN, J. (1994): *On the use of discrete proprioceptive-tactile warning signals during manual control – The steering wheel as an active control device*. Internationale Hochschulschriften, Band 99. Münster: Waxmann Verlag 1994.
- SCHWARZ, J. (2007): *Code of Practice für die Entwicklung, Validierung und Markteinführung von künftigen Fahrerassistenzsystemen (ADAS)*. Rechtliche Rahmenbedingungen zur Einführung von Fahrerassistenzsystemen. Bergisch Gladbach: BAST.
- SCHWEIGERT, M.; BUBB, H.; WOHLFARTER, M. (2005): *Langzeituntersuchung des Blickverhaltens auf Fahrerassistenzanzeigen im Head-Up Display*. Unveröffentlichter Vortrag Tagung „Der Fahrer im 21. Jahrhundert“. Braunschweig, 22.-23.11.2005.
- SEIFERT, K.; RÖTTING, M. (2001): Registrierung von Blickbewegungen im Kraftfahrzeug. In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung*. Berlin: Springer-Verlag.
- SHERIDAN, T.B. (1997): Supervisory Control. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors* (Vol. 2, S. 137). New York: John Wiley & Sons.
- SHERIDAN, T.B.; VERPLANK, W.L. (1978): *Human and computer control of undersea teleoperators*. Cambridge, MA: MIT Man-Machine Systems Laboratory Report.
- SPIES, R. (2004): *Systematische Erfassung und vollständige Gliederung von Nutzerbedarfen an Fahrerassistenzsystemen*. TUMMIC: Mensch-Maschine-Interaktion im Kraftfahrzeug. Abschlussbericht der Phase I. München: Lehrstuhl für Ergonomie der TU München.

- STEININGER, U.; BUBB, P.; WESTERHOLT, E.V. (2008): *Gefühlte Sicherheit - was Kunden von Fahrerassistenzsystemen erwarten und wie sie sicher damit umgehen*. 3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, 7.- 8. April. Garching bei München
- SUMMALA, H. (2007): Towards understanding motivational and emotional factors in driver behaviour: comfort through satisficing. In P.C. Cacciabue (Hrsg.), *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments* (S. 189-207). London: Springer-Verlag Limited.
- TAKANE, Y.; LEEUW, F.W.Y.J.D. (1977): *Nonmetric individual differences multidimensional scaling: An alternating least squares method with optimal scaling features*. Psychometrika, 42, S. 7-67.
- THOMA, S. (2010): *Mensch-Maschine-Interaktionskonzepte für Fahrerassistenzsysteme im Kreuzungsbereich*. Dissertation, Lehrstuhl für Informatikanwendungen in der Medizin & Augmented Reality, Technische Universität München, München. Verfügbar unter: <http://ar.in.tum.de/pub/thoma2010Diss/thoma2010Diss.pdf> [18.03.2011].
- THOMA, S.; KLINKER, G.; LINDBERG, T. (2007): *Speed Recommendations During Traffic Light Approach: A Comparison of Different Display Concepts*. Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter, Annual Meeting. Braunschweig, October 2007.
- THRUN, S.; MONTEMERIO, M.; STROHBAND, S.; DUPONT, C. ET AL. (2005): *Stanley: The Robot That Won the DARPA Grand Challenge*. Verfügbar unter: [http://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=8&ved=0CFAQFjAH&url=http%3A%2F%2Fmarcmbrs.ucsc.edu%2Fdocuments%2Fthrun.stanley05.pdf&rct=j&q=darpa%20grand%20challenge&ei=YFB-TaOUIYSevQPdo6DSBw&usg=AFQjCNHv\\_VC5Ax2YFNsRbIY94QXqSHsGKA&cad=rja](http://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=8&ved=0CFAQFjAH&url=http%3A%2F%2Fmarcmbrs.ucsc.edu%2Fdocuments%2Fthrun.stanley05.pdf&rct=j&q=darpa%20grand%20challenge&ei=YFB-TaOUIYSevQPdo6DSBw&usg=AFQjCNHv_VC5Ax2YFNsRbIY94QXqSHsGKA&cad=rja) [19.06.2011].
- TIME (18.06.1965): *Touchdown by Computer*. Time Magazine. Verfügbar unter: <http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,898891,00.html?promoid=googlep> [15.03.2011].
- TIMPE, K.-P.; KOLREP, H. (2002): Das Mensch-Maschine-System als interdisziplinärer Gegenstand. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (Vol. 2). Düsseldorf: Symposion.
- TÖNERT, L. (2009): *Evaluation eines integrativen Bedienkonzeptes für aktive Sicherheits-Fahrerassistenzsysteme*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Sportpsychologie, Technische Universität München.
- TÖNNIS, M.; LANGE, C.; KLINGER, G.; BUBB, H. (2006): *Transfer von Flugschlauchanzeigen in das HUD von Kraftfahrzeugen*. 22. Internationale VDI/VW Gemeinschaftstagung "Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme". Wolfsburg: VDI-Verlag.

- TOTZKE, I. (2006): *Wirkungsmessung - Psychologische Messmethoden*. Vorlesungsunterlagen am Virtuellen Institut für Humane Automation im Verkehr. Würzburg.
- TULLIS, T.; WOOD, L. (2007): *How Many Users Are Enough for a Card-Sorting Study?* Verfügbar unter: <http://home.comcast.net/~tomtullis/publications/UPA2004CardSorting.pdf> [16.10.2007].
- VOLLRATH, M.; KNAKE-LANGHORST, S.; NEUNZIG, D.; BENMIMOUN, A. ET AL. (2005a): *Adaptivität von Fahrerassistenz an den Verkehrszustand - ein Baustein für humane Automation im Verkehr*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 1919 (S. 151-159). Düsseldorf: VDI.
- VOLLRATH, M.; SCHIEBL, C.; ALTMÜLLER, T.; DAMBIER, M. ET AL. (2005b): *Erkennung von Fahrmanövern als Indikator für die Belastung des Fahrers*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 1919 (S. 103-112). Düsseldorf: VDI.
- VOLLRATH, M.; SCHIEBL, C.; KNAKE-LANGHORST, S.; NEUNZIG, D. ET AL. (2006): *Anpassung von Fahrerassistenz an Verkehrszustände - Was braucht der Fahrer wann?* AAET 2006 - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel. Beiträge zum gleichnamigen 7. Braunschweiger Symposium (S. 88-101). 22. und 23. Februar 2006, GZVB Braunschweig.
- VON BENDA, H. (1977): *Die Skalierung der Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen. 1. Teil: Ein Klassifikationssystem für Verkehrssituationen aus Fahrersicht*. München: FP 7320 im Auftrag der BAST. TU München, Lehrstuhl für Psychologie.
- WANDKE, H.; RÖTTING, M. (2008): Akzeptanz und Validierung. In H.-P. Willumeit & H. Kolrep (Hrsg.), *Wohin führen Unterstützungssysteme?* Sinzheim: Pro Universitate.
- WANDKE, H.; WETZENSTEIN, E.; POLKEHN, K. (2005): *Handlungsbezogene Elementarbausteine für Fahrerassistenzsysteme*. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Bericht Nr. 1919 (S. 41-62). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- WERTHEIMER, M. (1923): *Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. II*. Psychologische Forschung, 3(4), S. 301-350.
- WICKENS, C.D. (1984): Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D.R. Davies (Hrsg.), *Varieties of attention*. New York, USA: Academic Press.
- WICKENS, C.D.; HOLLANDS, J.G. (1999): *Engineering psychology and human performance*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- WILDE, G.J.S. (1982): *The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health*. Risk Analysis, 2, S. 209-225.

- WILTSCHKO, T. (2003): *Sichere Information durch infrastrukturgestützte Fahrerassistenzsysteme zur Steigerung der Verkehrssicherheit an Straßenknotenpunkten*. Fakultät Bau- und Umweltingenierywissenschaften, TU Stuttgart, Stuttgart.
- WINNER, H. (2009): Frontalkollisionsschutzsysteme. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 522-542). Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- WINNER, H.; DANNER, B.; STEINLE, J. (2009a): Adaptive Cruise Control. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- WINNER, H.; HAKULI, S.; BRUDER, R.; KONIGORSKI, U. ET AL. (2006): *Conduct-by-Wire - ein neues Paradigma für die Entwicklung der Fahrerassistenz*. 4. Workshop Fahrerassistenzsysteme.
- WINNER, H.; HAKULI, S.; WOLF, G. (2009b): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- WINTERFELDT, D.V.; EDWARDS, W. (1986): *Decision analysis and behavioral research*. Cambridge University Press.
- ZIEMS, D. (2004): *Zur psychologischen Akzeptanz von Sicherheits- und Fahrerassistenz-Systemen*. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Bericht 1864 (S. 619-624). Düsseldorf: VDI.
- ZÖLLNER, R. (2004): *Was löst beim Fahrer den Wunsch aus, ein Fahrer-Assistenzsystem zu nutzen? Die Delphi-Expertenbefragung als Methode zur Bewertung der motivationalen Relevanz von Einflußgrößen*. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Bericht Nr. 1864. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- ZWERSCHKE, S. (2006): *Untersuchung zu Bekanntheit, Akzeptanz und Kaufinteresse von Fahrerassistenzsystemen*. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI Bericht Nr. 1960 (S. 343-358). Düsseldorf: VDI.