

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Institut für Maschinen- und Fahrzeugtechnik

Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Informationsmanagement im Nutzfahrzeug

Dipl.-Ing. Univ. Maria Seitz

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Sonja Berensmeier

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp
2. Univ.-Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Die Dissertation wurde am 20.06.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 05.11.2013 angenommen.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München in Kooperation mit der MAN Truck & Bus AG. Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich auf diesem Weg begleitet und auf vielfältige Weise unterstützt haben.

An erster Stelle danke ich meinem Doktorvater, Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp. Durch seine Ideen, seine Kreativität, aber auch seinen sicheren Blick für das Wesentliche hat er maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Prof. Dr. phil. Klaus Bengler danke ich dafür, dass er meine Arbeit von Anfang an begleitet hat. Seine wertvollen Anregungen und sein aufrichtiges Interesse haben mich stets motiviert und meine Arbeit auf besondere Weise geprägt. Prof. Dr. rer. nat. Sonja Berensmeier danke ich für die Übernahme des Vorsitzes des Promotionsverfahrens.

Bei MAN wurde ich herzlich aufgenommen und stieß mit meinen Fragen auf offene Ohren. Eberhard Hipp danke ich sehr herzlich für das entgegengebrachte Vertrauen und die wohlwollende Unterstützung meiner Arbeit. Außerdem möchte ich mich bei Holger Mohra, Karlheinz Dörner und vor allem bei Andreas Zimmermann bedanken. Er gab die thematischen Leitplanken der Arbeit und ließ mir gleichzeitig die nötige Freiheit. Seine Ratschläge, Erfahrung und sachliche Sichtweise haben mich besonders in schwierigen Zeiten auf dem richtigen Weg gehalten. Bei Stefan Knecht möchte ich mich dafür bedanken, dass er diese Arbeit ermöglicht und mit gewinnbringenden Ratschlägen und Interesse begleitet hat.

Meinen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik danke ich für ihre Unterstützung und die anregenden Diskussionen. Vor allem aber möchte ich mich für die wunderschöne gemeinsame Zeit bedanken, während der viele Freundschaften entstanden sind. Vielen Dank für alles an Thomas Daun, Britta Michel und Gunnar Tigges. Ihr seid Wegbegleiter dieser Arbeit und ich danke Euch für Eure Unterstützung und Hilfe. Durch Euch werden mir nicht zuletzt die vielen Stunden am Simulator in lieber Erinnerung bleiben. Meinen kritischen und sorgfältigen Lektoren Thomas Daun und Dr. Frank Diermeyer danke ich für ihre Unterstützung während der gesamten Zeit meiner Arbeit.

Allen Studentinnen und Studenten, die gemeinsam mit mir an dem Projekt gearbeitet haben, gilt mein besonderer Dank. Sie haben jede noch so verwegene Idee von mir mitgetragen und maßgeblich zu dem Erfolg dieses Projekts beigetragen. Mein Dank gilt auch den wissenschaftlichen Hilfskräften am Fahrsimulator. Ihr Einsatz ging weit über das hinaus, was ich hätte erwarten können.

Meiner Oma danke ich dafür, dass sie mir beigebracht hat, wie wichtig Lernen ist. Meine Eltern ließen mich das lernen, was ich wollte, und haben mich dabei stets unterstützt. Dafür danke ich Euch von ganzem Herzen.

Mein größter Dank gilt Michael. Sein liebevoller Rückhalt hat mir die Kraft gegeben, diese Arbeit zu Ende zu bringen. Michael, danke für Deine Ausdauer und Geduld, danke für alles.

München, im Juni 2013,

Maria Seitz

„Nur wer imstande ist, das Wesentliche vom Unwesentlichen zu trennen, vermag etwas Wesentliches zu leisten.“ (Autor unbekannt)

für Lissi

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	2
2	Theoretische Grundlagen und Begriffsdefinitionen	4
2.1	Belastung und Beanspruchung.....	4
2.2	Mentale Beanspruchung von Berufskraftfahrern	9
2.3	Modelle menschlicher Informationsverarbeitung	11
2.4	Modelle der Fahrzeugführung.....	15
3	Stand der Forschung und Technik im Bereich Informationsmanagement	17
3.1	Hintergrund von Informationsmanagement	17
3.2	Statisches Informationsmanagement	19
3.3	Dynamisches Informationsmanagement	20
3.4	Herleitung der Aufgabenstellung	28
4	Konzept des Informationsmanagementsystems	30
4.1	Anforderungen an ein Informationsmanagementsystem im Nutzfahrzeug.....	30
4.2	Aufbau des Informationsmanagementsystems.....	32
5	Prioritäten von Fahrzeugmeldungen	33
5.1	Kategorisierung und Priorisierung von Fahrzeugmeldungen.....	33
5.2	Ableitung eines Prioritätensystems für das Informationsmanagementsystem im Nutzfahrzeug.....	36
6	Vorgehen zur Erfassung der mentalen Fahrerbeanspruchung	39
6.1	Möglichkeiten und Grenzen der Erfassung mentaler Beanspruchung im Fahrzeug.....	39
6.2	Schätzung der Fahrerbeanspruchung	41
7	Indirekte Schätzung der Fahrerbeanspruchung	44
7.1	Auswahl relevanter Situationen zur indirekten Beanspruchungsschätzung	44
7.1.1	Begriffsklärung Situation im Kontext Informationsmanagement	45
7.1.2	Explorative Fahrerbefragung.....	46
7.2	Erkennung relevanter Situationen durch eine Situationserkennung.....	48
7.2.1	Konzeptionelle Entwicklung der Situationserkennung	48
7.2.2	Implementierung und Evaluation der Situationserkennung.....	52
7.3	Fahrsimulatorstudie zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung	55
7.3.1	Experimentelles Design und Versuchsablauf.....	56
7.3.2	Methodik.....	57
7.3.3	Versuchspersonen	61
7.3.4	Apparatus.....	63
7.3.5	Ergebnisse	64

7.4	Realstudie zur Validierung der erfassten Fahrerbeanspruchung	68
7.4.1	Experimentelles Design und Versuchsablauf.....	68
7.4.2	Methodik.....	70
7.4.3	Versuchspersonen	71
7.4.4	Apparatus.....	71
7.4.5	Ergebnisse	72
7.5	Schätzung der Beanspruchung	75
7.6	Diskussion des Konzeptes.....	77
8	Steuerung der Meldungsangabe	79
8.1	Funktionsweise und Aufgaben der Ausgabesteuerung	79
8.2	Determinierung der Parameter der Ausgabesteuerung.....	81
9	Evaluation des Informationsmanagementsystems	86
9.1	Integration des Informationsmanagementsystems in den Lkw-Fahrsimulator....	86
9.2	Fragestellung und Ziel der Untersuchung.....	88
9.3	Experimentelles Design und Versuchsablauf	90
9.4	Methodik	95
9.5	Versuchspersonen.....	96
9.6	Apparatus und Material.....	98
9.7	Ergebnisse.....	99
10	Diskussion der Wirkung des Informationsmanagementsystems	106
11	Zusammenfassung und Ausblick.....	110
	Abbildungsverzeichnis	i
	Tabellenverzeichnis	v
	Literaturverzeichnis	vi
	Anhangsverzeichnis.....	xxv

Um die Arbeit lesefreundlich zu gestalten, wurde auf eine durchgehend explizite Nennung beider Geschlechter verzichtet.

Abkürzungsverzeichnis

ABS	<u>A</u> nti- <u>B</u> lockier- <u>S</u> ystem
ACC	<u>A</u> daptive <u>C</u> ruise <u>C</u> ontrol
AIDE	<u>A</u> daptive <u>I</u> ntegrated <u>D</u> river- <u>V</u> ehicle <u>I</u> nterface
ARIADNE	<u>A</u> pplication of <u>R</u> eal-time <u>I</u> ntelligent <u>A</u> id for <u>D</u> riving and <u>N</u> avigation <u>E</u> nhancement
CEMVOCAS	<u>C</u> entralised <u>M</u> anagement of <u>V</u> ocal interfaces aiming at a better <u>A</u> utomotive <u>S</u> afety
COMUNICAR	<u>C</u> ommunication <u>M</u> ultimedia <u>U</u> nit <u>I</u> nside <u>C</u> ar
DALI	<u>D</u> river <u>A</u> ctivity <u>L</u> oad <u>I</u> ndex
EDA	<u>E</u> lektrodermale <u>A</u> ktivität
EEG	<u>E</u> lektro- <u>E</u> nzephalographie
EMG	<u>E</u> lektromyogramm
ESP	<u>E</u> lektronisches <u>S</u> tabilitätsprogramm
EVA	<u>E</u> ingang <u>V</u> erarbeitung <u>A</u> usgang
GIDS	<u>G</u> eneric <u>I</u> ntelligent <u>D</u> river <u>S</u> upport <u>S</u> ystem
GPS	<u>G</u> lobal <u>P</u> ositioning <u>S</u> ystem
HMI	<u>H</u> uman- <u>M</u> achine- <u>I</u> nterface
ICA	<u>I</u> ndex of <u>C</u> ognitive <u>A</u> ctivity
IDIS	<u>I</u> ntelligent <u>D</u> river <u>I</u> nformation <u>S</u> ystem
IMM	<u>I</u> nformation <u>s</u> management <u>m</u> odul
INVENT	<u>I</u> ntelligenter <u>V</u> erkehr und <u>N</u> utzergerechte <u>T</u> echnik
LDW	<u>L</u> ane <u>D</u> eparture <u>W</u> arning
Lkw	<u>L</u> astkraftwagen
M	<u>M</u> ittelwert
NASA TLX	<u>N</u> ASA- <u>T</u> ask <u>L</u> oad <u>I</u> ndex
NEO-FFI	<u>N</u> EO- <u>F</u> ünf- <u>F</u> aktoren- <u>I</u> nventar
NHTSA	<u>N</u> ational <u>H</u> ighway <u>T</u> raffic <u>S</u> afety <u>A</u> dmistration
Pkw	<u>P</u> ersonenkraftwagen
POC	<u>P</u> erforming <u>O</u> perating <u>C</u> haracteristics
RSME	<u>R</u> ating <u>S</u> cale of <u>M</u> ental <u>E</u> ffort
SAVE-IT	<u>S</u> afety <u>V</u> ehicles using adaptive <u>I</u> nterface <u>T</u> echnology
SANTOS	<u>S</u> ituations-angepasste und <u>N</u> utzer- <u>T</u> yp-zentrierte <u>O</u> ptimierung von <u>S</u> ystemen zur Fahrerunterstützung

SD	<u>S</u> ta <u>n</u> d <u>a</u> r <u>d</u> a <u>b</u> w <u>e</u> i <u>c</u> h <u>u</u> ng
SEA	<u>S</u> ka <u>l</u> a zur Erfassung subjektiv <u>e</u> rl <u>e</u> b <u>t</u> e <u>r</u> <u>A</u> n <u>s</u> t <u>r</u> e <u>n</u> g <u>u</u> ng
TFT	<u>T</u> h <u>i</u> n <u>F</u> ilm <u>T</u> ransistor
TTC	<u>T</u> ime <u>t</u> o <u>C</u> ollision

1 Einleitung

Globale Handels- und Verkehrsströme führten in den vergangenen Jahren zu einem Zuwachs an Speditions- und Transportleistungen [Bun11, S. 4]. So meldet das Bundesamt für Güterverkehr [Bun12, S. 6] für die Transportbranche im Jahr 2011 eine gute Auftrags- und Beschäftigungslage, welche sogar in zeitweisen Laderaumengpässen resultierte. Der Straßengüterverkehr mit deutschen Lastkraftfahrzeugen verzeichnete einen deutlichen Zuwachs sowohl der beförderten Gütermenge als auch der Beförderungsleistung im Vergleich zum Vorjahr. Innerhalb dieser Entwicklung nimmt der Nahbereich mit einer Steigerung von 9,7% der Fahrleistung die bedeutendste Rolle ein. Gleichzeitig stieg die Anzahl der Neuzulassungen von Lastkraftwagen (Lkw) von 6481 im Jahre 2010 auf 8402 im darauffolgenden Jahr [Bun12, S. 6].

Vor diesem Hintergrund ist der „Arbeitsplatz Lkw“ nicht nur ein wichtiger Wirtschaftsfaktor, sondern stellt einen Beschäftigungszweig dar, der an Bedeutung gewinnt. Dies wird nicht zuletzt durch die Einführung des Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetzes im Jahre 2006 [BKr06] unterstrichen, das die Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen von Berufskraftfahrern intensiviert. Gleichzeitig erhöhten sich in den letzten Jahren die Anforderungen an Berufskraftfahrer. Das Bundesamt für Güterverkehr [Bun11, S. 92] führt dies in erster Linie auf die Zunahme verschiedener Fahrzeug- und Logistiktechnologien zurück, welche durch die Fahrer bedient werden müssen.

1.1 Motivation

Die technologischen Möglichkeiten erlauben heute eine Fülle an Funktionen im Fahrzeug, die in der Ausübung der Fahrtätigkeit Unterstützung bieten soll. Beispielsweise werden bestimmte Schäden oder Fehler des Fahrzeuges durch Sensoren detektiert und mittels Fehlermeldungen angegeben, während einst eine manuelle Kontrolle der Fahrzeugkomponenten nötig war. Assistenzsysteme bieten dem Fahrer Unterstützung, indem sie in monotonen oder bei schwierigen Aufgaben entlasten. Allerdings müssen diese Systeme bedient und überwacht werden, was wiederum eine zusätzliche Belastung für den Fahrer bedeutet. Dem zunehmenden Wunsch nach Vernetzung und nach einem kontinuierlichen Zugriff auf Information wird durch Fahrerinformationssysteme Rechnung getragen. Im Lkw wird dieser Trend noch um Logistiktechnologien erweitert, welche unter anderem ein effizientes Touren- und Flottenmanagement erlauben. Auch diese werden zusätzlich zur Fahraufgabe bedient. Viele dieser genannten Fahrzeugsysteme kommunizieren über visuelle, akustische oder haptische Rückmeldungen mit dem Fahrer. Dieser muss die Meldungen aufnehmen, verarbeiten und in eine geeignete Reaktion umsetzen. So bringt der technologische Fortschritt neben der Unterstützung auch Anforderungen an die kognitiven Kapazitäten des Fahrers mit sich.

In Zukunft wird die Anzahl an Fahrzeugsystemen weiter steigen, wobei die Menge an Information, die der Fahrer verarbeiten muss, mit der Zunahme der Systeme überproportional wächst. Als Beispiel für zukünftige Informationsquellen seien die sogenannten Car2X-Technologien genannt, die neue und umfangreiche Möglichkeiten des Informationsaustausches im Fahrzeug bieten.

1.2 Zielsetzung

Entsprechend oben beschriebener Entwicklung wird in letzter Zeit vermehrt die Metapher des „virtuellen Beifahrers“ bemüht. Dies geschieht meist im Zusammenhang mit Fahrzeugsystemen, die den Fahrer bestmöglich an dessen Zustand und an die Fahrsituation angepasst unterstützen. Beispiele finden sich bei Schröder [Schr09], ESG [ESG06] und dem Deutschen Verkehrssicherheitsrat [Deu11]. Anderswo wird unter dem virtuellen Beifahrer ein Telematiksystem verstanden, welches beispielsweise über Restaurants in der Nähe informiert, die Routenführung dorthin übernimmt, Parkplätze vor Ort lokalisiert und bei Bedarf einen Tisch reserviert [BMW11]. Ein menschlicher Beifahrer beherrscht beides. Er unterstützt den Fahrer bei dessen Fahrtätigkeit und versorgt ihn mit Information. Ein guter Beifahrer gleicht zusätzlich die Relevanz der Information mit den Anforderungen an den Fahrer durch die aktuelle Verkehrssituation ab. In Situationen, in denen erhöhte Anforderungen an den Fahrer bestehen und die Konzentration auf die Verkehrssituation gerichtet werden muss, gibt ein guter Beifahrer keine Information weiter. Ausnahmen hiervon sind sehr wichtige Meldungen, wie der Hinweis auf eine potentielle Gefahr. Dabei trifft ein Beifahrer die Entscheidung, ob eine weniger wichtige Information übermittelt wird, nicht allein abhängig von der Verkehrssituation, sondern vielmehr von der kognitiven Beanspruchung des Fahrers durch die Verkehrssituation. Laut Kern [Ker07, S. 2] ist die Möglichkeit des Beifahrers, sein Gesprächsverhalten an die aktuellen Gegebenheiten des Fahrers anpassen zu können, der wesentliche Unterschied zu einem Telefongespräch über Freisprecheinrichtung, welches nach Strayer [Str06] in hohem Maße beanspruchend wirkt.

Die Funktionen einzelner Fahrzeugsysteme, wie Fahrerassistenz, Infotainment oder Fehlerdiagnose, kommen bereits heute einem virtuellen Beifahrer sehr nahe. Für die Weiterentwicklung dieses virtuellen Beifahrers hin zu einem guten Beifahrer ist ein ganzheitliches Informationsmanagement im Lkw erforderlich, insbesondere vor dem Hintergrund der geschilderten Zunahme von Fahrzeugmeldungen. Die vorliegende Arbeit stellt einen Ansatz vor, die kognitive Beanspruchung des Fahrers zu erfassen und davon abhängig die Ausgabe von Fahrzeugmeldungen im Lkw zu regeln. Dabei wird neben der Fahrerbeanspruchung die Priorität der auszugebenden Fahrzeugmeldung berücksichtigt. Das Ziel dieses Informationsmanagements ist, den Fahrer in beanspruchenden Situationen nicht zusätzlich durch Meldungen zu belasten.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit ist in Abbildung 1.1 schematisch dargestellt und gliedert sich in folgende Kapitel. Die theoretischen Grundlagen, auf welche sich die Arbeit stützt, werden in Kapitel 2 dargestellt. In Kapitel 3 wird ein Überblick zum Stand der Forschung und Technik im Bereich des Informationsmanagements im Fahrzeug gegeben. Daraus abgeleitet stellt Kapitel 4 ein Konzept für ein Informationsmanagementsystem im Lkw vor. Dieses Konzept sieht eine zeitliche Steuerung der Informationsausgabe vor, welche auf der aktuellen Fahrerbeanspruchung einerseits und auf der Priorität der auszugebenden Fahrzeugmeldung andererseits basiert. Das Konzept des Informationsmanagements besteht demnach aus drei Modulen: einem Modul zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung, einem

Modul, in welchem die Priorität der Meldung betrachtet wird, sowie dem eigentlichen Modul zur Steuerung der Informationsausgabe.

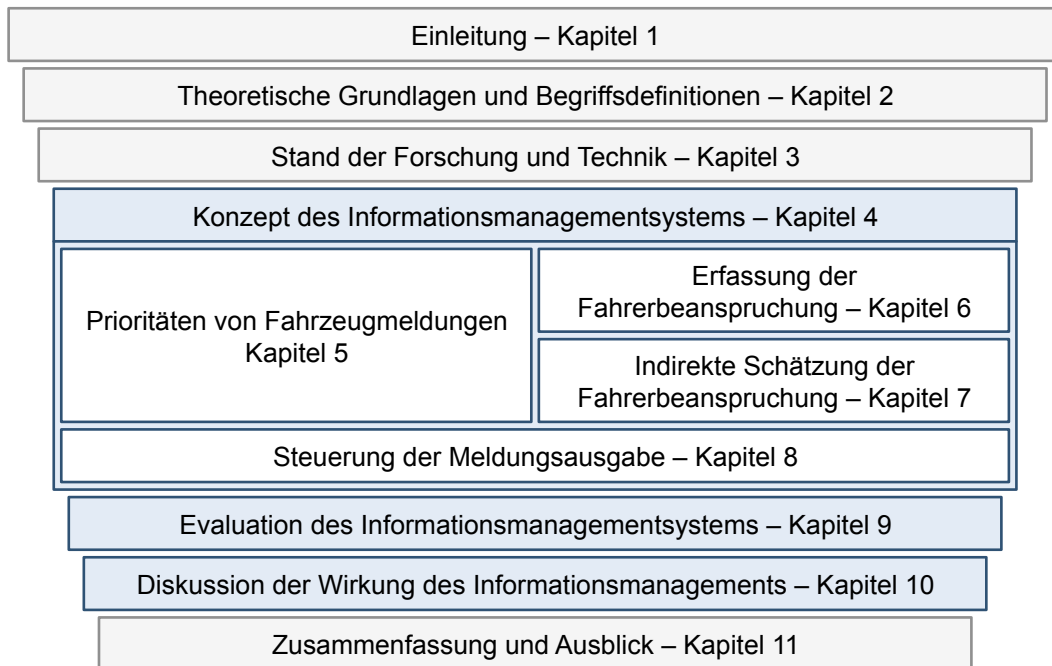


Abbildung 1.1: Struktur der Arbeit

Kapitel 5 behandelt die Priorisierung von Fahrzeugmeldungen. In Kapitel 6 werden grundsätzliche Möglichkeiten zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung vorgestellt. Anschließend wird auf den in dieser Arbeit gewählten Ansatz zur Beanspruchungsschätzung eingegangen. Hierbei handelt es sich um einen Ansatz, der die Beanspruchung indirekt auf der Ebene der Fahrzeugführung schätzt und in Kapitel 7 dargestellt wird. Das Modul zur Ausgabesteuerung erläutert Kapitel 8.

Kapitel 9 beschreibt die evaluierende Untersuchung des Gesamtsystems Informationsmanagement in einem dynamischen Lkw-Fahrsimulator. In Kapitel 10 erfolgt eine abschließende Diskussion des Gesamtkonzeptes, bevor in Kapitel 11 eine Zusammenfassung der Arbeit und ein Ausblick folgen.

2 Theoretische Grundlagen und Begriffsdefinitionen

Dieses Kapitel erläutert das theoretische Konstrukt Beanspruchung. Danach werden einige relevante Studien zur Beanspruchung von Lkw-Fahrern dargestellt sowie wesentliche Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung erklärt. Die Betrachtung von Modellen der Fahrzeugführung ergänzt dieses Kapitel um eine anwendungsnahe Sichtweise.

2.1 Belastung und Beanspruchung

Der Begriff Fahrerzustand fasst grundsätzlich fahrrelevante Information über den Fahrer zusammen und kann nach Kopf [Kop05, 118f] unterschiedlich weit ausgelegt werden. In einer breiten Definition werden unter Fahrerzustand sowohl langfristige Faktoren zusammengefasst, wie Fahrerfahrung oder motorische Fähigkeiten des Fahrers, als auch mittelfristige Faktoren, wie Ermüdung oder Alkoholeinfluss, und kurzfristige Faktoren, wie Aufmerksamkeit, Aktiviertheit, Situationsbewusstsein, Emotionen oder Beanspruchung. Im engeren Sinn werden lediglich die kurzfristigen Faktoren als Fahrerzustand verstanden. Diese Faktoren sind Schlüsselfaktor für sicheres Fahren [Kop05, 118f]. Im Folgenden wird auf die Beanspruchung als Komponente des Fahrerzustandes und Schwerpunkt des Informationsmanagementkonzepts dieser Arbeit eingegangen.

Definition von Belastung und Beanspruchung Arbeitswissenschaftler unterscheiden in Anlehnung an Rohmert [Roh84, S. 195ff] die Begriffe Belastung und Beanspruchung. Demnach meint Belastung alle Einflüsse, die von außen auf den Menschen einwirken. Diese Einflüsse sind gegeben durch die Arbeitsaufgabe, die Arbeitsmittel und die soziale, physische und organisatorische Arbeitsumgebung. Beanspruchung meint die Auswirkung der Belastung im Menschen [Roh84, S. 195]. Da individuelle Faktoren die Auswirkung der Belastung beeinflussen, stehen Belastung und Beanspruchung in keinem einfachen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang.

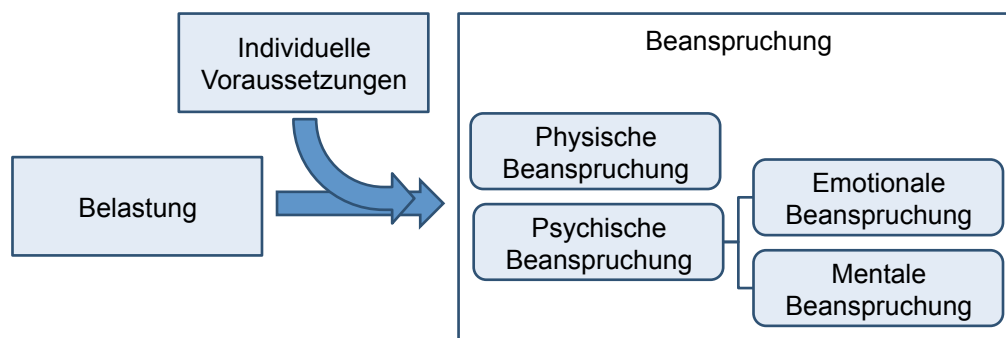


Abbildung 2.1: Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung

Gemeinhin wird von einer Mehrdimensionalität der Beanspruchung ausgegangen [Kuh94, S. 12ff], wie sie Abbildung 2.1 darstellt. Nahezu alle Beanspruchungsmodelle unterscheiden physische und psychische Beanspruchung [Bau10, S. 7]. Die DIN EN ISO 10075-1 definiert psychische Beanspruchung als „Die unmittelbare (nicht die langfristige) Auswirkung der psychischen Belastung im Individuum in Abhängigkeit von seinen jeweiligen überdauernden und augenblicklichen Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien.“ [DIN00, S. 3]. Psychische Beanspruchung kann weiter in emoti-

onale und mentale Beanspruchung unterteilt werden [Kuh94, S. 12, 16], [Schm93, S. 144], [Man98, S. 800]. Emotionale Beanspruchung entsteht durch ausführungsspezifische Belastungsfaktoren wie Zeitdruck, Gefahren oder soziale Konflikte. Mentale Beanspruchung resultiert aus aufgabenspezifischen Anforderungen, wie beispielsweise der Komplexität der Aufgabe [Wie92, S. 11]. Die Trennung psychischer Beanspruchung in emotionale und mentale stellt eine begriffliche Präzisierung dar. In der Forschungspraxis wird die Relevanz dieser Unterscheidung als eher gering betrachtet [Rib02, S. 12]. Auch wenn die Konstrukte Belastung und Beanspruchung vereinzelt kritisiert werden [Nac02], [Schm02], [Oes01], kommt ihnen nach wie vor eine bedeutende Rolle zu. Diese wird durch die Aufnahme in die europäische und deutsche Norm für psychische Arbeitsbelastung unterstrichen [Rib02, S. 10].

Das Belastungs-Beanspruchungskonzept ist auf die Fahrtätigkeit übertragbar. Hoyos und Kastner [Hoy86, S. 13] verstehen die Fahrtätigkeit als Kette einzelner Fahraufgaben, mit dem Ziel, einzelne Verkehrssituationen zu absolvieren. Dem folgend entstehen bei der Führung eines Fahrzeuges aufgaben- und ausführungsspezifische Belastungen, welche in einer psychischen Beanspruchung resultieren. Physische Beanspruchung bei der Erfüllung der Fahraufgabe tritt im Lkw mehr und mehr in den Hintergrund. Der technologische Fortschritt führt beispielsweise durch die Entwicklung von Systemen zur Lenkkraftunterstützung oder von Bremskraftverstärkern dazu, dass die Berufsbezeichnung Kraftfahrer mehr und mehr an wortwörtlicher Bedeutung verliert. Auch eine gute Schallisolierung des Fahrerhauses, komfortable Fahrersitze etc. tragen zu einer stetigen Verringerung der physischen Belastung während der Fahrt bei. Physische Beanspruchung wird daher im Folgenden nicht weiter betrachtet.

Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Fahrerleistung Beanspruchung nimmt Einfluss auf die Leistung des Menschen [Mei76, S. 18ff], [ODo86, S. 42-2]. De Waard [DeW96, S. 21ff] erweitert bestehende Modelle zum Zusammenhang zwischen Beanspruchung (Workload)¹ und Leistung (Performance) um die Abhängigkeit dieser beiden Größen von den Aufgabenanforderungen (Demand). Das resultierende sogenannte Workload-Regionenmodell ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Die dort dargestellten Kurven sind schematisch zu verstehen, weil Beanspruchung stets von den individuellen Leistungsvoraussetzungen des jeweiligen Menschen abhängig ist. Grundsätzlich jedoch ist die ideale Beanspruchung und damit höchste Leistung im Bereich mittlerer Anforderung gegeben (Bereich A2). Steigen die Anforderungen, so steigt auch die Beanspruchung (A3). Die Leistung kann durch erhöhte Anstrengung auf einem hohen Level gehalten werden. Sie sinkt erst im Bereich B und C, weil die weiter gestiegene Beanspruchung auch durch erhöhte Anstrengung nicht mehr ausgeglichen werden kann. Es liegt eine Überforderung des Menschen vor. Sind die Anforderungen an den Menschen gering, steigt die Workload abhängig von den individuellen Leistungsvoraussetzungen ebenfalls. Analog zu oben beschriebener Kurve sinkt die Leistung erst dann, wenn die steigende Beanspruchung nicht mehr durch erhöhte Anstrengung abgefangen werden kann. In diesem Fall

¹ Workload ist nach De Waard [DeW96, S. 15] der Anteil an mentalen Kapazitäten, der zur Erfüllung einer informatorischen Aufgabe notwendig ist. Sie wird ähnlich operationalisiert wie Beanspruchung, weswegen die Begriffe Workload und Beanspruchung in vielen deutschsprachigen Veröffentlichungen, so auch in vorliegender Arbeit, synonym verwendet werden [Eic11, S. 53].

wird von Unterforderung gesprochen. Diese tritt beispielsweise bei monotonen Tätigkeiten auf [DeW96, S. 21ff].

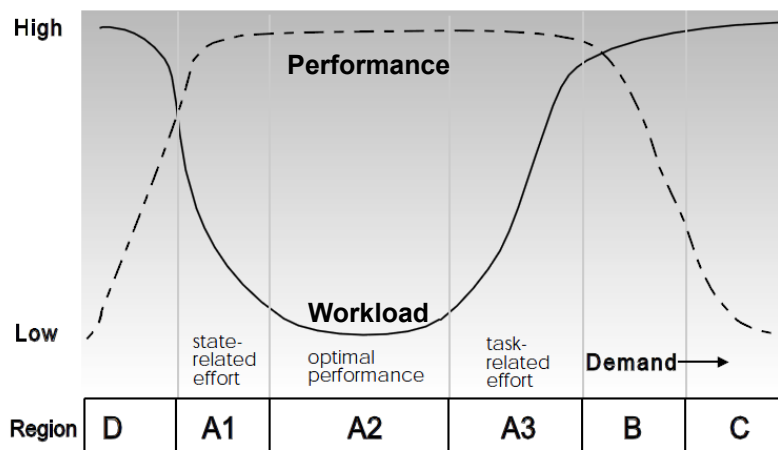


Abbildung 2.2: Workload-Regionenmodell [DeW96, S. 24]

Erfassung psychischer Beanspruchung Da eine direkte Beobachtung psychischer Beanspruchung nicht möglich ist, erfolgt deren Erfassung über Indikatoren, welche mit der Veränderung der psychischen Beanspruchung korrelieren [Hoy86, S. 18], [Kuh94, S. 173]. Trotz intensiver Bemühungen der Forschung [Rib02, S. 10] konnte bisher kein allgemeingültiger Indikator für psychische Beanspruchung gefunden werden, der über alle Regionen des Workload-Regionenmodells gleichermaßen sensitiv ist [DeW96, S. 101]. Für einzelne relevante Bereiche des Regionenmodells jedoch kann die psychische Beanspruchung über bestimmte Indikatoren erfasst werden. Die Auswahl der Indikatoren muss daher abgestimmt auf die jeweilige wissenschaftliche Untersuchung erfolgen. Der für vorliegende Arbeit relevante Bereich des Regionenmodells ist der Bereich A3.

O'Donnell & Eggemeier [ODo86, S. 42-2] unterscheiden drei Kategorien von Indikatoren für psychische Beanspruchung: Physiologische, leistungsbezogene und subjektive Indikatoren (Abbildung 2.3).

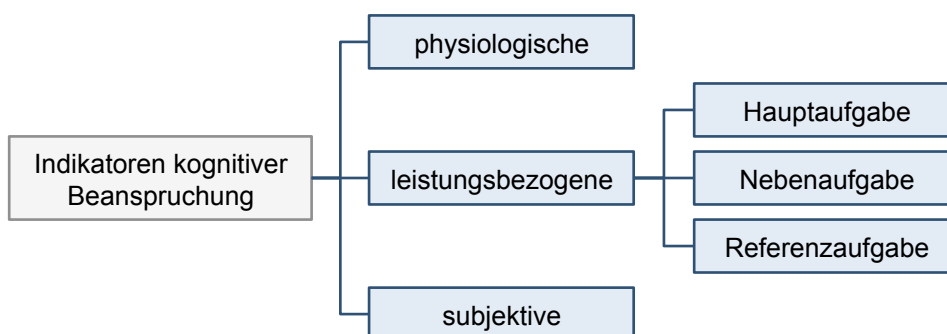


Abbildung 2.3: Indikatoren psychischer Beanspruchung in Anlehnung an [ODo86, S. 42-2]

Physiologische Indikatoren Um über physiologische Indikatoren auf psychische Beanspruchung schließen zu können, werden psychophysiologische Größen messtechnisch erfasst und ausgewertet. Typischerweise verwendete physiologische Indikatoren sind Herzfrequenz, Blutdruck, Hautleitwert, Pupillengröße, Elektro-Enzephalographie (EEG, Messung der Hirnströme) oder Elektromyogramm (EMG, Messung der Muskelaktivität) [Kra90]. Eine Erklärung für die beanspruchungsabhängige Veränderung physiologischer

Größen liefern sogenannte aktivierungstheoretische Ansätze, die eine Aktivierung des Organismus bei psychischer Beanspruchung postulieren (Kapitel 2.2). Die Vorteile der physiologischen Messung sind, dass keine direkte Rückmeldung der Versuchsperson nötig und keine willentliche Beeinflussung der Messdaten möglich ist. Physiologische Daten können kontinuierlich während der interessierenden Tätigkeit erhoben werden. Allerdings bedarf es für deren Auswertung Fachwissen. Die physiologische Reaktion auf Reize aus der Umgebung kann sowohl von Mensch zu Mensch (interindividuell) als auch beim selben Menschen zu unterschiedlichen Zeitpunkten (intraindividuell) schwanken, was bei der Auswertung physiologischer Daten zu berücksichtigen ist. Ferner können in den Messwerten sogenannte Artefakte auftreten. Unter Artefakten werden in diesem Zusammenhang Signale verstanden, die nicht durch den interessierenden physiologischen Prozess entstehen. Sie sind auf andere Faktoren zurückzuführen, wie zum Beispiel Bewegungen [Hus10, S. 100]. Zusätzlich wird die Interpretation der Ergebnisse durch die nicht restlos geklärten Zusammenhänge zwischen Beanspruchung und physiologischen Indikatoren erschwert [Gai00, S. 35]. Zur Datenerhebung sind spezielle, oft aufwändige Geräte oder Messverfahren nötig. Bei nahezu allen physiologischen Messverfahren ist ein Körperkontakt mit dem Messgerät erforderlich. Es existieren Bestrebungen, physiologische Daten körpernah, das heißt ohne direkten Körperkontakt zu erfassen. Die Entwicklung derartiger Messinstrumente befindet sich überwiegend in einem noch frühen Stadium.

Leistungsbezogene Indikatoren Die Erfassung der Beanspruchung über leistungsbezogene Indikatoren erfolgt über die Beurteilung von Mengen-, Güte- oder Geschwindigkeitsaspekten des Ergebnisses, das eine Person bei der Bearbeitung einer Aufgabe erzielen konnte [DeW96, S. 34ff], [Her99, S. 51ff]. Dieses Vorgehen basiert auf der Annahme, dass die Ressourcen zur Bearbeitung bestimmter Aufgaben und daher die Leistung des Menschen bei erhöhter Beanspruchung abnehmen. Leistungsbezogene Indikatoren lassen sich dahingehend unterscheiden, dass sie sich entweder auf die Hauptaufgabe, eine Nebenaufgabe oder eine Referenzaufgabe beziehen. Beziehen sie sich auf die Hauptaufgabe, wird direkt die Leistung in dieser Aufgabe betrachtet. Für das Führen eines Fahrzeuges als Hauptaufgabe beispielsweise wird die Fahrerleistung über Indikatoren wie Lenkwinkelmaße oder die Spurhaltegüte gemessen.

Hinter dem Ansatz, die Leistung in einer zusätzlich zur Hauptaufgabe gestellten Nebenaufgabe zu messen, steckt folgende Überlegung. Je höher die gemessene Leistung in der Nebenaufgabe ist, desto mehr Kapazitäten können zur Erfüllung dieser verwendet werden, desto weniger Kapazitäten sind durch die Hauptaufgabe gebunden und desto geringer ist folglich die psychische Beanspruchung durch die Hauptaufgabe (Abbildung 2.4). Typische Nebenaufgaben für derartige Untersuchungen sind Rechenaufgaben oder bestimmte Reaktionen auf Funksprüche o.ä. [Her99, S. 70], [ODo86, S. 42-2]. Nebenaufgaben können aufgrund der Ablenkungsgefahr von der Fahraufgabe in Feldstudien nicht immer gefahrlos eingesetzt werden.

Referenzaufgaben werden in der Forschung im Bereich Fahrer-Fahrzeug-Interaktion eher selten eingesetzt. Sie finden Anwendung in der Arbeits- und Organisationspsychologie [Spr08, S. 88], [DeW96, S. 36f]. Referenzaufgaben werden vor und nach der interessierenden Tätigkeit durchgeführt. Aus der Differenz zwischen den Leistungen in den beiden Referenzaufgaben wird auf die Beanspruchung durch die interessierende Tätigkeit geschlossen [Kli89, S. 19].

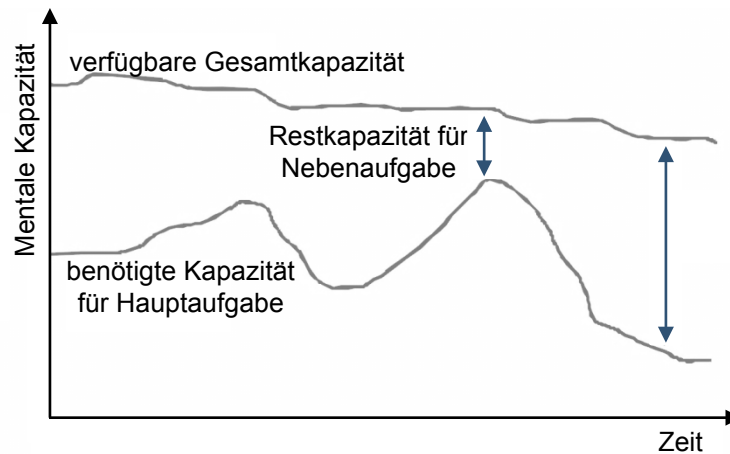


Abbildung 2.4: Prinzip der Erfassung der Leistung in der Nebenaufgabe als Beanspruchungsindikator nach [Far03, S. 5]

Obwohl Leistung einen wichtigen Aspekt von Beanspruchung ausdrückt und relativ einfach zu erheben ist, kann durch die Erfassung leistungsbezogener Indikatoren alleine nicht immer zuverlässig auf die Beanspruchung geschlossen werden. Denn die Leistung kann durch eine vermehrte Anstrengung über einen gewissen Zeitraum hinweg und bis zu einem gewissen Grad an Beanspruchung aufrechterhalten werden [DeW96, S. 23].

Subjektive Indikatoren Eine dritte Möglichkeit zur Erfassung von Beanspruchung sind subjektive Verfahren, in denen Personen ihr eigenes Erleben berichten. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass Personen selbst am besten beurteilen können, inwieweit sie beansprucht sind oder waren. Zur Erhebung subjektiver Beanspruchungsindikatoren werden meist Skalierungsverfahren verwendet, die den Aufwand bei der Erstellung, der Anwendung und der Auswertung gering halten. Die Nachteile der Methode sind unter anderem die zeitliche Verzögerung, die dadurch entsteht, dass die Person erst nach der beanspruchenden Tätigkeit befragt werden kann. Außerdem besteht die Gefahr von Verzerrungen durch bestimmte Muster im Antwortverhalten der Befragten [Scho09, S. 209ff].

Gütekriterien für Indikatoren zur Erfassung der Beanspruchung Für eine erfolgreiche Erfassung der Beanspruchung unter bestimmten Untersuchungsbedingungen müssen die Indikatoren und die Methoden zu deren Erhebung passgenau ausgewählt werden.

Zur Unterstützung der Auswahl passender Methoden dienen verschiedene Gütekriterien. Diese Gütekriterien fasst Abbildung 2.5 in einer Übersicht zusammen [ODO86, S. 42-2ff], [DeW96, S. 27ff], [Kra90, S. 2f], [Tsa97, S. 423f]. Neben den in Abbildung 2.5 gezeigten Kriterien sind die üblichen Gütekriterien, wie Objektivität, Validität und vor allem Reliabilität zu berücksichtigen, die jedes Messverfahren erfüllen sollte.

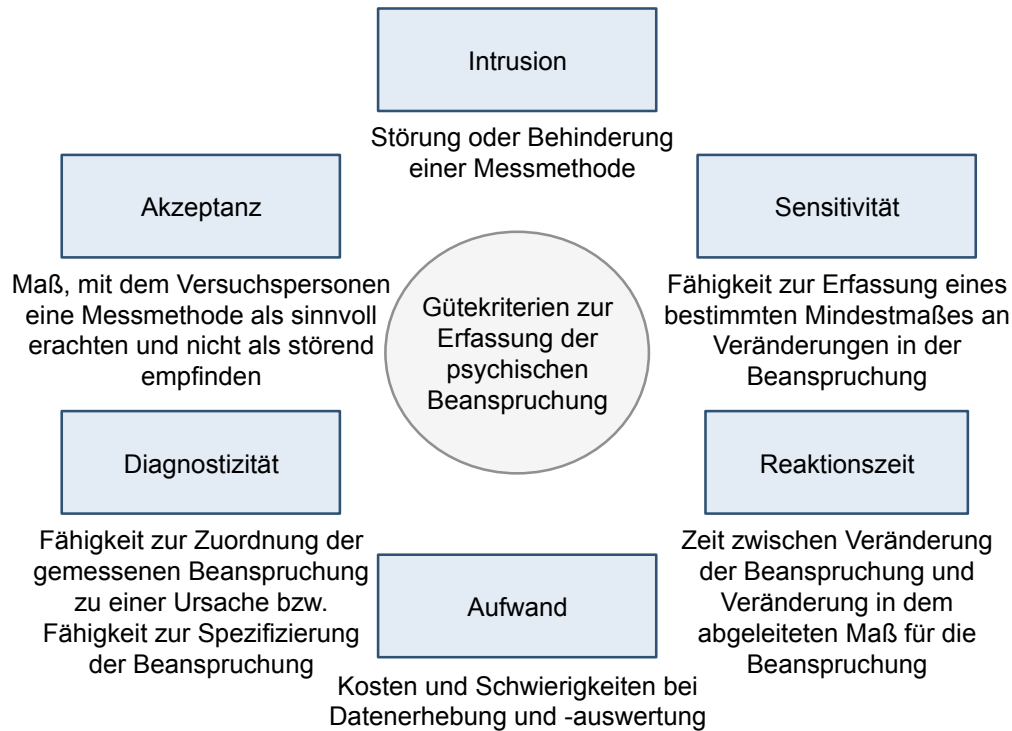


Abbildung 2.5: Gütekriterien für die Erfassung psychischer Beanspruchung

2.2 Mentale Beanspruchung von Berufskraftfahrern

Das Thema mentale Beanspruchung beim Führen eines Kraftfahrzeuges ist Gegenstand zahlreicher Forschungsvorhaben. Diese beziehen sich meist auf den Pkw-Bereich, welcher sich von den vorherrschenden Anforderungen im Lkw unterscheidet. Es kann keine gesicherte Aussage darüber getroffen werden, ob und inwiefern die Ergebnisse von Pkw-bezogenen Untersuchungen der Beanspruchung durch die Fahraufgabe auf den Lkw-Bereich übertragbar sind. Zum einen ergeben sich aus den größeren Fahrzeugabmaßen und dem Fahrverhalten von Lkws andere Anforderungen an den Fahrzeugführer. Zum anderen sind viele Lkw-Fahrer im Gegensatz zu den meisten Pkw-Fahrern ausgebildete Kraftfahrer oder zumindest hauptberuflich als Fahrer tätig und daher hochtrainiert im Umgang mit ihrem Fahrzeug. Daher beschränkt sich die folgende Darstellung relevanter Beiträge auf die Arbeiten, die speziell das Führen eines Lkws zum Gegenstand haben und deren Schwerpunkt auf der Bewertung der Beanspruchung durch fahrtbezogene Tätigkeiten liegt. Dennoch bieten die Arbeiten aus dem Pkw-Bereich wertvolle methodische Anregungen für die vorliegende Arbeit. Es sei an dieser Stelle insbesondere auf die Studien von Fastenmeier [Fas95] und Hoyos und Kastner [Hoy86] verwiesen, die sich intensiv mit der psychischen Beanspruchung beim Führen eines Pkws beschäftigen.

National Highway Traffic Safety Administration In einem Forschungsvorhaben der amerikanischen Verkehrssicherheitsbehörde NHTSA sollten Methoden und Werkzeuge zur Bewertung des Einflusses von Fahrzeugsystemen im Lkw auf die Sicherheit bei der Führung desselben entwickelt werden [Tij96, S. 2]. In diesem Kontext wurde in einer Befragung von 34 hauptberuflichen Lkw-Fahrern untersucht, welche Faktoren zu erhöhter Beanspruchung beim Führen eines Lkws beitragen [Kig96, S. 4ff]. Die höchste Beanspruchung verursachen demnach Fahrten innerorts, bei dichtem Verkehr, in Baustellenberei-

chen und bei schlechtem Wetter. Die Autoren führen dies auf die implizite Erhöhung des Zeitdrucks zurück, der sich durch den Zeitverzug bei Auftreten dieser Situationen ergibt [Kig96, S. 4ff]. In einer weiteren Befragung von 55 Lkw-Fahrern wurde die relative Bedeutung der fünf Einflussfaktoren Verkehrsdichte, Lichtverhältnisse, Straßentyp, Sichtbedingungen und Reibwert für die Fahrerbeanspruchung bestimmt [Kig96, S. 12ff]. Hierzu wurden je zwei Ausprägungen eines jeden Einflussfaktors definiert, beispielsweise Tag und Nacht als Ausprägungen des Faktors Lichtverhältnisse oder gut und schlecht als Ausprägungen des Faktors Sichtbedingungen. Eine Conjoint-Analyse ermöglichte die Bewertung der relativen Bedeutung der fünf Einflussfaktoren. Den Ergebnissen zufolge haben der Reibwert der Straße, die Sichtbedingungen und die Verkehrsdichte den größten Einfluss auf die empfundene Beanspruchung [Kig96, S. 12ff].

UNIROYAL Verkehrsuntersuchung Mit dem Ziel, ein Bild von der Sicherheitssituation und von den Problemen des Lkw-Verkehrs zu erhalten, wurde im Auftrag der Continental AG eine groß angelegte Studie [EII02] durchgeführt. In diesem Rahmen wurden 420 Lkw-Fahrer befragt, wobei zwischen Fahrern von schweren Lkws (310 Befragte) und leichten Lkws (110 Befragte) unterschieden wurde [EII02, S. 238]. Die Befragung deckt einzelne Aspekte von Belastung durch verkehrliche Situationen oder Umgebungsbedingungen ab. Auch wenn die Befragung explizit auf Belastungen, nicht Beanspruchung, abzielt, werden die Ergebnisse aufgrund ihrer inhaltlichen Relevanz für die vorliegende Arbeit kurz zusammengefasst. Analog zu den oben beschriebenen Ergebnissen der NHTSA-Studie stellt sich die Störung des Verkehrsflusses durch Staus oder dichten Verkehr als ein Hauptproblem heraus, sowohl für Fahrer schwerer als auch leichter Lkws. Die Fahrer leichter Lkws und die Stichprobenhälfte der erfahrenen Fahrer schwerer Lkws bewerten diese Situationen als leicht geringer belastend als die Fahrer schwerer Lkws und die Stichprobenhälfte mit einer geringeren jährlichen Fahrleistung [EII02, S. 48, 113]. Bei der Betrachtung einzelner Umgebungsbedingungen hinsichtlich ihrer Belastung ergibt sich bei den Fahrern schwerer Lkws eine klare Rangfolge. Fahrten bei Glätte werden belastender bewertet als Fahrten bei Nebel, welche wiederum belastender sind als Fahrten bei Regen. Fahrten bei Dunkelheit bzw. Nacht empfindet nur etwa jeder Dritte als mehr oder minder unangenehm, so dass die Autoren diesem Faktor ein neutral-positives Image unter Lkw-Fahrern zuschreiben. Für die Fahrer von Lieferfahrzeugen ergibt sich dieselbe Rangfolge, allerdings werden Fahrten bei Dunkelheit von diesen Fahrern belastender bewertet als von Fahrern schwerer Lkws [EII02, S. 59f, 124].

Evers Evers [Eve09] untersucht den Einfluss von Belastungen und Stress auf das Verkehrsverhalten von Lkw-Fahrern. In einer Befragung mit 555 auswertbaren Datensätzen zeigen sich die Umgebungsbedingungen schlechte Straße, hohe Verkehrsdichte und Stau als außerordentlich beanspruchend [Eve09, S. 242].

Wissenschaftliche Untersuchungen zum Thema Belastung oder Beanspruchung von Lkw-Fahrern beziehen sich meist auf arbeitsplatzbedingte Faktoren [Eve09, S. 56]. Auch physische Belastungen, zum Beispiel durch Be- und Entladetätigkeiten, und soziale Belastungen sind Bestandteil einiger Studien. Die situative Beanspruchung durch die Fahraufgabe an sich dagegen ist für die Berufsgruppe der Lkw-Fahrer bislang kaum untersucht worden. Auch in den drei oben genannten Studien werden lediglich einige wenige Situationen aus dem Fahralltag extrahiert und von Fahrern hinsichtlich ihrer Belastung oder Be-

anspruchung subjektiv bewertet. Eine Untersuchung der Beanspruchung von Lkw-Fahrern auf Basis leistungsbezogener oder physiologischer Indikatoren ist nicht bekannt.

2.3 Modelle menschlicher Informationsverarbeitung

Das Führen eines Fahrzeuges beruht wie alle menschlichen Tätigkeiten auf Prozessen der Informationsverarbeitung [Schl10, S. 286]. Konkret sind die drei Phasen Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Informationsabgabe zu unterscheiden. In der ersten Phase, der Aufnahmephase, werden über die menschlichen Sinneskanäle Reize aus der Umgebung aufgenommen. Höchste Relevanz für die Informationsaufnahme während des Fahrens kommt dem visuellen Sinneskanal zu. Als verbreitete Faustformel gilt, dass ungefähr 90% der Information visuell und 10% akustisch und haptisch aufgenommen wird [Schl09, S. 15]. Gustatorische oder olfaktorische Reize spielen bei der Fahrzeugführung eine untergeordnete Rolle. Bevor eine Reaktion auf aufgenommene Reize im Sinne der Informationsabgabe erfolgen kann, laufen mentale Prozesse zur Informationsverarbeitung ab, welche letztendlich die psychische Beanspruchung mit bestimmen.

Zu den mentalen Prozessen menschlicher Informationsverarbeitung existieren verschiedene Modellvorstellungen, die sich hinsichtlich ihrer Ausrichtung und Anwendung differenzieren lassen [Schl10, S. 286ff]. Der Fokus der phänomenologischen Modelle ist die Beschreibung von wahrnehmungs- und kognitionspsychologischen Funktionen der menschlichen Informationsverarbeitung. Im Folgenden werden relevante phänomenologische Modelle näher beschrieben [Schl10, S. 287ff] (Abbildung 2.6).

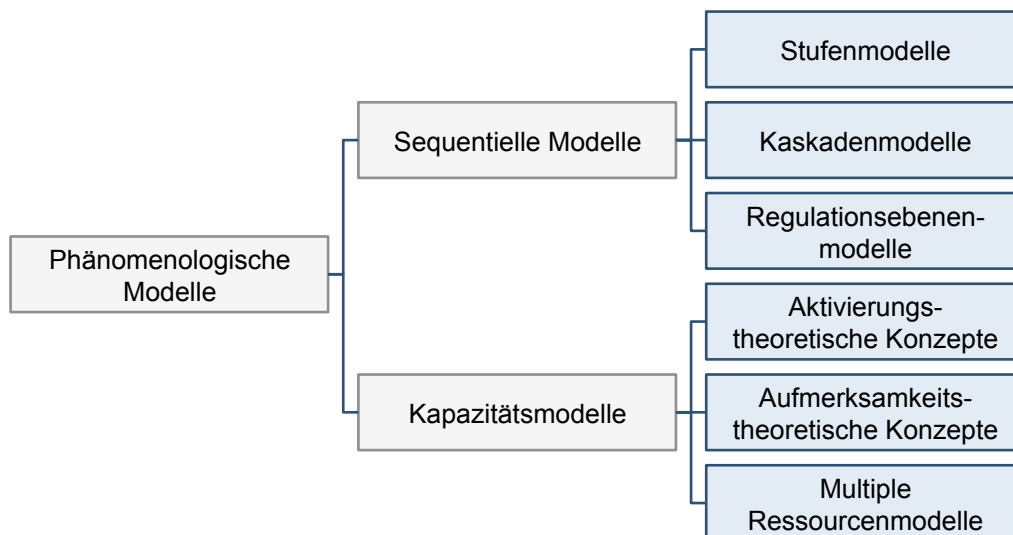


Abbildung 2.6: Modelle menschlicher Informationsverarbeitung in Anlehnung an [Schl10, S. 286ff]

Sequentielle Modelle In sequentiellen Modellen wird die menschliche Informationsverarbeitung als Fluss von Information von einer Verarbeitungsstufe zur nächsten verstanden. Diese Modelle beruhen auf der Grundannahme, dass Informationsverarbeitung Zeit braucht. Sie führen Leistungsschwankungen auf die Art und Anzahl der zu durchlaufenden Verarbeitungsstufen zurück [Schl10, S. 287]. Stufenmodelle, beispielsweise von Sternberg [Ste75], gehen davon aus, dass die nächste Verarbeitungsstufe erst nach Abschluss der vorherigen erreicht werden kann. Kaskadenmodelle, wie das Modell von

McClelland [McC79], nehmen eine parallele Informationsverarbeitung an. Sie gelten daher als erster Übergang zu den Kapazitätsmodellen [Schl10, S. 289]. Regulationsebenenmodelle gehen ebenfalls von einer parallelen Informationsverarbeitung aus. Sie erlauben darüber hinaus eine Betrachtung der Informationsverarbeitung auf verschiedenen Ebenen. Dadurch können unterschiedliche Lern- oder Trainingszustände ebenso berücksichtigt werden wie die Unterscheidung zwischen bewussten und unbewussten Prozessen der Informationsverarbeitung. Beispiele für Regulationsebenenmodelle finden sich bei Newell [New90], Hacker [Hac05, S. 239ff] oder Rasmussen [Ras83].

Drei-Ebenen-Modell nach Rasmussen Ein bekanntes Regulationsebenenmodell ist das Drei-Ebenen-Modell nach Rasmussen [Ras83]. Rasmussen grenzt fertigkeitbasiertes, regelbasiertes und wissensbasiertes Verhalten voneinander ab (Abbildung 2.7). Fertigkeitbasiertes Verhalten bezeichnet automatisiert ablaufende, hochtrainierte Handlungen, während regelbasiertes Verhalten teilweise und wissensbasiertes Verhalten voll bewusstseinspflichtig ist [Ras83].

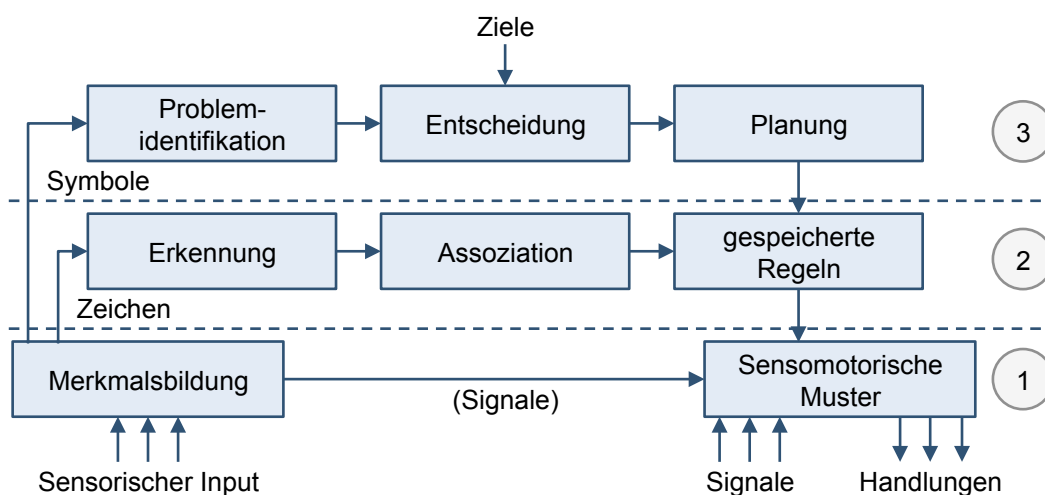


Abbildung 2.7: Drei-Ebenen-Modell nach Rasmussen [Ras83, S. 2]

Ebene 1 bezeichnet fertigkeitbasiertes Handeln (bei bekannten Situationen mit hoher Routine), Ebene 2 regelbasiertes Handeln (bei bekannten Situationen mit Interpretationsbedarf) und Ebene 3 wissensbasiertes Handeln (bei unbekanntem Situationen).

Kapazitätsmodelle Kapazitätsmodelle gehen davon aus, dass die Kapazität menschlicher Informationsverarbeitung begrenzt ist. Die Informationsverarbeitung wird durch die Zuweisung kognitiver Kapazität (aufmerksamkeitstheoretische Konzepte) beziehungsweise durch die Regulation des Energieeinsatzes (aktivierungstheoretische Konzepte) realisiert [Schl10, S. 291ff]. Eine eindeutige Klassifikation der konkreten Modelle menschlicher Informationsverarbeitung im Sinne der oben genannten Einteilung ist nicht immer möglich. Multiple Konzepte postulieren anstelle einer zentralen Ressource als Verarbeitungskapazität, wie sie aufmerksamkeits- und aktivierungstheoretische Konzepte annehmen, mehrere verschiedene Quellen von Ressourcen. Der Hintergrund der Kapazitätsmodelle allgemein ist die Schaffung eines theoretischen Zugangs zur Messung mentaler Beanspruchung [Schl10, S. 291]. Im Folgenden werden einige bedeutende Kapazitätsmodelle kurz zusammengefasst.

Ressourcenmodell nach Kahneman Kahneman [Kah73, S. 7ff] postuliert eine Ressource mit einer bestimmten Kapazität, die zur Erfüllung von Aufgaben zur Verfügung steht. Wie

viel Energie zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe bereitgestellt wird, ergibt sich aus einer meist unbewusst stattfindenden Bewertung der momentanen Leistung im Vergleich zu den Anforderungen, den eigenen Zielen sowie der aktuell verfügbaren Kapazität. Wird zur Aufgabenerfüllung mehr Kapazität benötigt als aktuell verfügbar, steigt das sogenannte Arousal² und damit die Anstrengung (Abbildung 2.8) [Kah73, S. 7ff]. Die mentale Beanspruchung wird in diesem Konzept durch die Kosten der Informationsverarbeitung ausgedrückt, welche wiederum dem Ausmaß des Arousal entsprechen. Arousal hängt eng mit der Aktivität des sympathischen Nervensystems zusammen und lässt sich daher mittels physiologischer Messungen erfassen (Kapitel 2.1). Bedeutendster Kritikpunkt an Kahnemans Ressourcenmodell ist die fehlende Spezifität des Arousal. Davon ausgehend nehmen Pribram und MacGuiness [Pri75, S. 134ff] in einer Erweiterung des Modells drei Ressourcensysteme an, die miteinander interagieren: Das Arousal-System, das vorwiegend selektive Aufmerksamkeitsprozesse steuert und physische Aktivierungsprozesse auslöst, das Activation-System, das die Reaktionsbereitschaft repräsentiert und das Effort-System, das Arousal- und Activation-System koordiniert.

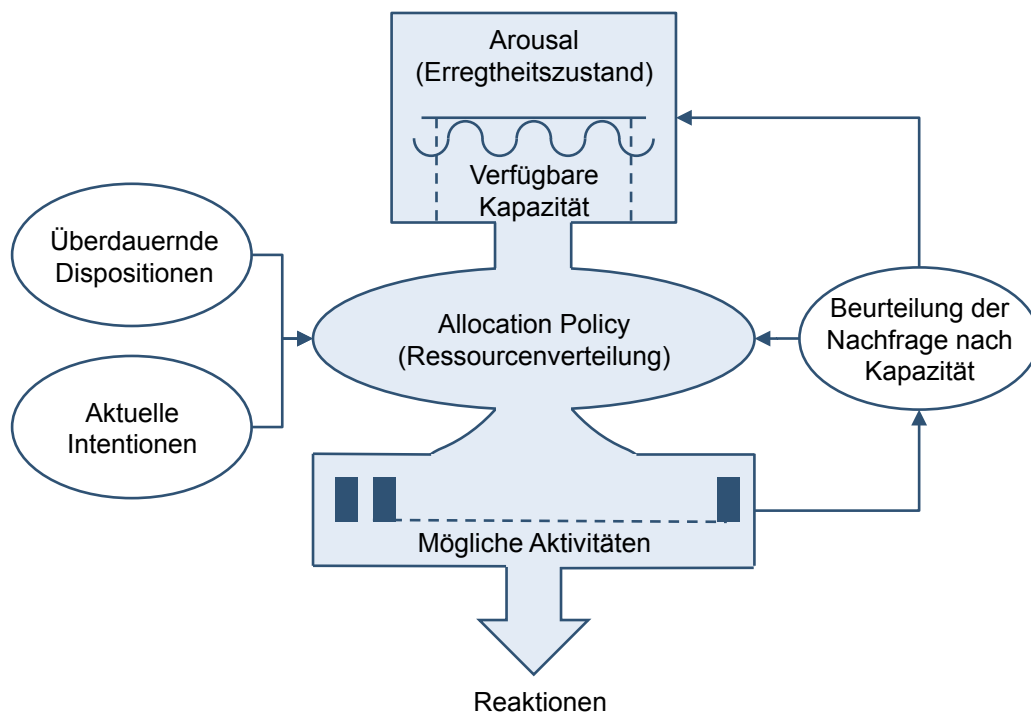


Abbildung 2.8: Ressourcenmodell nach Kahneman [Kah73, S. 10]

Informationsverarbeitungsmodell nach Wickens und Hollands Wickens und Hollands [Wic00, S. 10f] integrieren das Arbeits- und Langzeitgedächtnis in einen Ansatz, der auf sequentiellen Verarbeitungsstufen und einer zentralen Ressource zur Bearbeitung dieser basiert. Dies trägt der Erkenntnis Rechnung, dass die Selektion von aufgenommenen Reizen und die Wahrnehmung Gedächtnisleistungen mit einbeziehen. Außerdem berücksichtigen Wickens und Hollands das von Rasmussen [Ras83] postulierte fertigkeitbasierte Verhalten. So kann in ihrem Informationsverarbeitungsmodell bei hochautomatisierten Prozessen die Stufe Handlungsauswahl erreicht werden, ohne dass zuvor die Verarbei-

² Unter Arousal ist das Ausmaß der psychophysischen Aktivierung zu verstehen [Schl10, S. 293].

tungsstufe Kognition durchlaufen werden muss [Wic00, S. 10f]. Das Informationsverarbeitungsmodell nach Wickens und Hollands ist in Abbildung 2.9 dargestellt.

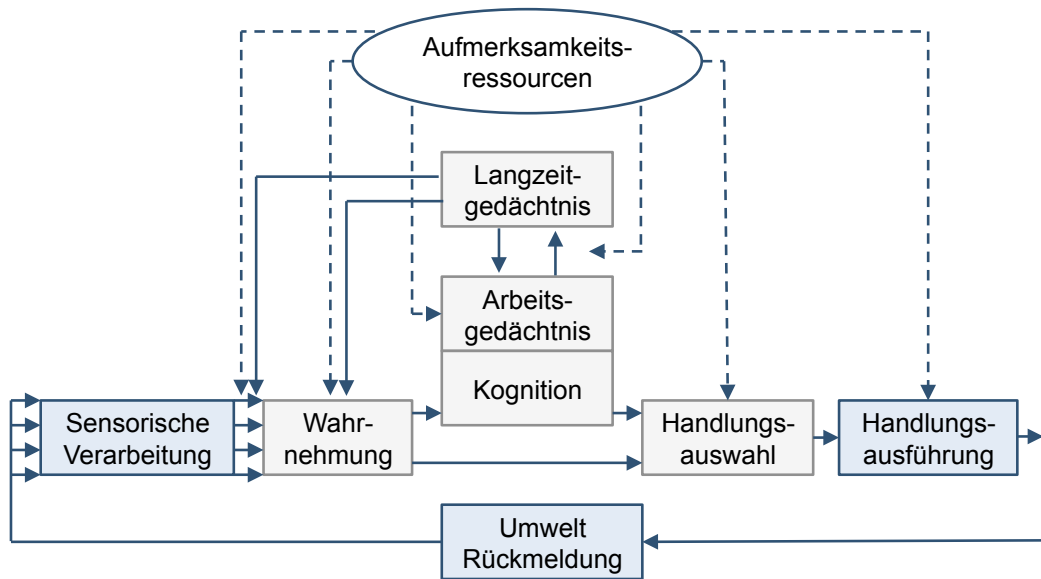


Abbildung 2.9: Informationsverarbeitungsmodell nach Wickens und Hollands [Wic00, S. 11]

Multiplres Ressourcenmodell nach Wickens Wickens [Wic84, S. 301ff] geht in seinem multiplen Ressourcenmodell statt von einer zentralen Ressource von mehreren Kapazitäten mit ressourcenartigen Eigenschaften aus. Demnach stehen zur Erfüllung einer Aufgabe verschiedene Ressourcen zur Verfügung, die in verschiedene Dimensionen eingeteilt werden können. Auf Grund der Mehrdimensionalität der Ressourcen ist die mentale Beanspruchung als mehrdimensionales Konstrukt zu verstehen [Wic84, S. 301ff]. Manzey [Man98, S. 848] schlägt daher vor, die Beanspruchung in verschiedene Teilbeanspruchungen zu gliedern, welche mit den Dimensionen des Ressourcenmodells korrespondieren.

Performance Operating Characteristic (POC) Die Theorie der multiplen Ressourcen nach Wickens [Wic84, S. 301ff] bildet die Grundlage einer Erklärung für die Auswirkung gleichzeitig bearbeiteter Aufgaben auf die Leistung in diesen Aufgaben. Den Zusammenhang zwischen gleichzeitig bearbeiteten Aufgaben und den resultierenden Leistungseinbußen beschreiben POCs.

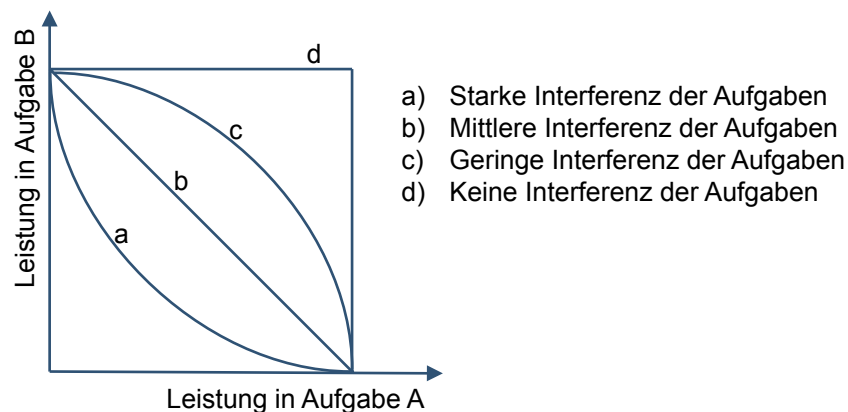


Abbildung 2.10: Performance Operating Characteristic nach [Sch10, S. 297]

Der Berechnung einer POC liegt die Annahme zugrunde, dass die verfügbare Ressourcenmenge zur Erledigung von Aufgaben konstant ist. Ergibt sich eine starke Interferenz zwischen zwei Aufgaben, so ist davon auszugehen, dass die parallel ausgeführten Aufgaben auf dieselbe Ressource zugreifen (Abbildung 2.10).

Die beschriebenen Modelle wurden zur Erforschung der menschlichen Informationsverarbeitung entwickelt. Sie bieten außerdem einen messtheoretischen Zugang für eine Analyse der mentalen Beanspruchung [Schl10, S. 287].

2.4 Modelle der Fahrzeugführung

Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umwelt Ein bewährtes Modell, um die komplexe Fahraufgabe auf einfache Weise zu veranschaulichen, ist ihre Darstellung in einem Regelkreis. Huang [Hua03, S. 75] versteht in seinem Modell der Fahrzeugführung den Fahrer als Regler und das Fahrzeug als Regelstrecke. Muigg [Mui09, S. 6] adaptiert diese Darstellung unter Einbeziehung der Umwelt als Störgröße zu dem Regelkreis, wie er in Abbildung 2.11 dargestellt ist.

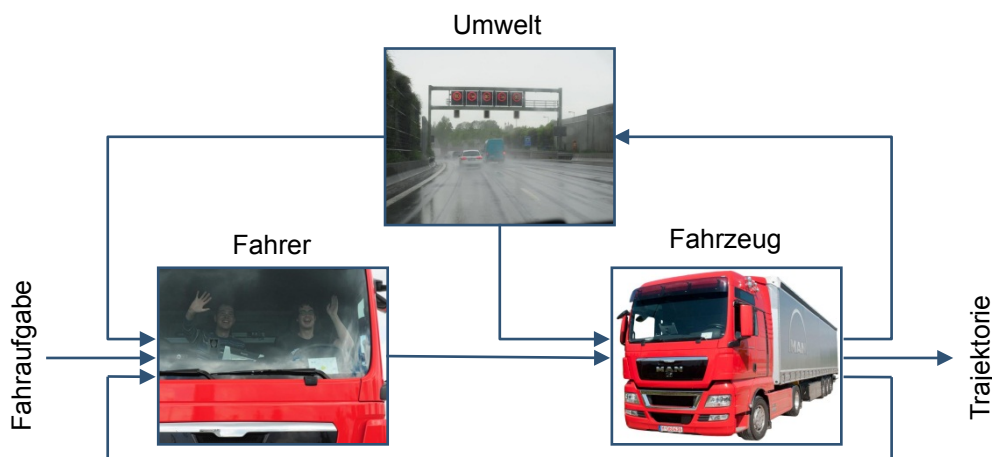


Abbildung 2.11: Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umwelt in Anlehnung an [Hua03, S. 75] und [Mui09, S. 6]

Zur Erfüllung der vorgegebenen Fahraufgabe nimmt der Fahrer über die Sinnesorgane Information auf, verarbeitet diese und leitet daraus notwendige Handlungen ab. Die Handlungen werden in Form einer Regelung des Fahrzeuges mittels Bedienelementen, wie Lenkrad, Gas- oder Bremspedal umgesetzt. Als Folge ergibt sich eine Änderung der Längs- und Querdynamik des Fahrzeuges, welche durch den Fahrer laufend überprüft und bei Bedarf angepasst wird. Die Umwelt als sogenannte Störgröße kann sowohl den Regler Fahrer beeinflussen, beispielsweise durch Verminderung der Sichtweite bei Regen, als auch die Regelstrecke Fahrzeug, beispielsweise durch Aquaplaning.

Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung Das Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung unterteilt die Fahraufgabe in die drei Ebenen Navigation, Führung und Stabilisierung [Don82]. Diese Ebenen unterscheiden sich hinsichtlich der Anforderungen, die sie an den Fahrer stellen. Auf der Navigationsebene wird die gewünschte Fahrtroute festgelegt, wofür normalerweise ein Horizont von mehreren Minuten bis hin zu Stunden zur Verfügung steht. Die Navigationsaufgabe erfolgt bewusst und erfordert daher ein hohes Maß an kog-

nitiven Ressourcen. Auf der Führungsebene erfolgt die Umsetzung der geplanten Route. Es wird dem Straßenverlauf gefolgt und auf andere Verkehrsteilnehmer sowie Verkehrszeichen reagiert. Außerdem werden auf der Führungsebene Manöver durchgeführt, wie Spurwechsel, Überhol- oder Abbiegevorgänge. Diese Aufgaben erfolgen ebenfalls weitestgehend bewusst, allerdings ist der Einsatz kognitiver Kapazitäten geringer als bei der Navigationsaufgabe. Die unterste Ebene, die Stabilisierungsebene, umfasst die Längs- und Querführung des Fahrzeuges. Diese erfolgt hoch automatisiert und bindet daher nur wenig kognitive Ressourcen [Don82], [Ber64 zitiert nach Ber70, S. 356].

Gliederung der Fahraufgaben nach Geiser Geiser [Gei85, S. 78] gliedert die Aufgaben des Fahrers in drei verschiedene Tätigkeitsklassen, die sich hinsichtlich ihrer Notwendigkeit zur Erfüllung der Fahraufgabe unterscheiden. Die sogenannte primäre Fahraufgabe ist jene, die dem eigentlichen Fahrprozess entspricht, also der Längs- und Querregelung des Fahrzeuges. Die sekundäre Fahraufgabe umfasst Aufgaben, die verkehrs- oder umweltbedingt anfallen, jedoch nicht dem Halten des Fahrzeuges auf der Spur zugerechnet werden. Dies sind beispielsweise das Blinken, Hupen oder die Betätigung des Scheibenwischers. Zur tertiären Fahraufgabe zählen Aufgaben, die zur Befriedigung von Komfort- und Informationsbedürfnissen dienen und nicht mit der Fahrtätigkeit an sich in Verbindung stehen. In Zukunft ist durch die Zunahme von Infotainmentsystemen und mobilen Applikationen im Fahrzeug mit einem Zuwachs an tertiären Fahraufgaben zu rechnen.

3 Stand der Forschung und Technik im Bereich Informationsmanagement

Das folgende Kapitel beleuchtet den Bedarf an Informationsmanagement im Fahrzeug und stellt vorhandene Informationsmanagementsysteme vor. Dabei wird zwischen statischen und dynamischen Informationsmanagementsystemen unterschieden. Im Anschluss wird die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit abgeleitet.

3.1 Hintergrund von Informationsmanagement

Mit ihren Anforderungen an die menschliche Informationsaufnahme und –verarbeitung ist das Führen eines Fahrzeuges eine der komplexesten Aufgaben, die der Mensch im Alltagsleben verrichtet. Der technologische Fortschritt bringt weitere Anforderungen an den Fahrer mit sich, weil verschiedene Assistenz- und Informationssysteme über optische, akustische oder haptische Meldungen mit dem Fahrer kommunizieren. Diese Systeme stellen dadurch zusätzlich Ansprüche an die menschliche Informationsverarbeitung während der Fahrt. Daher muss ein Ziel bei der Auslegung derartiger Systeme sein, die Kommunikation mit dem Fahrer so zu gestalten, dass eine möglichst geringe Ablenkung bzw. Beanspruchung auftritt. Vor diesem Hintergrund sind vermehrt Forschungsaktivitäten zu beobachten, welche die Fähigkeiten des Fahrers zur parallelen Informationsverarbeitung bzw. den Einfluss paralleler Zweitaufgaben auf den Fahrerzustand oder die Fahrerleistung zum Gegenstand haben. Nachfolgend wird auf einige relevante Beiträge und Studien zu diesem Thema eingegangen, mit dem Ziel, ein grundlegendes Verständnis für den Hintergrund von Informationsmanagement im Fahrzeug zu schaffen.

Eine von Reimer et al. [Rei01b, S. 936ff] durchgeführte Realstudie zeigt, wie mit der Ausführung einer kognitiven Zweitaufgabe während der Fahrt und mit steigender Komplexität dieser Zweitaufgabe die Beanspruchung der Fahrer messbar ansteigt. Als Zweitaufgabe wird im Rahmen der Studie der sogenannte MIT AgeLab Delayed Digit Recall Task eingesetzt. Dabei handelt es sich um eine Gedächtnisaufgabe, die in drei Schwierigkeitsstufen gestellt werden kann [Meh11]. Es zeigt sich eine signifikant höhere Beanspruchung während der Fahrt mit Zweitaufgabe in der geringsten Schwierigkeitsstufe verglichen mit der Fahrt ohne Zweitaufgabe [Rei01b, S. 936ff]. Mit steigender Schwierigkeit der Zweitaufgabe steigt die gemessene Beanspruchung weiter. Die Beanspruchung wird über die Herzrate, den Hautleitwert und über die Fehlerrate bei der Ausführung der Zweitaufgabe erfasst [Rei01b, S. 936ff]. Inwieweit die gestiegene Beanspruchung Einfluss auf die Fahrerleistung nimmt, wird in dieser Studie nicht betrachtet.

Körner [Kör06] zeigt mit ihrer Studie die Auswirkungen unterschiedlich komplexer paralleler Zweitaufgaben auf die Fahrerleistung. Bei den Zweitaufgaben handelt es sich im Gegensatz zu oben erläuterten Studie um Aufgaben mit zusätzlich visueller Ablenkung, nämlich um das Suchen eines vorgegebenen Listeneintrages in einer Liste. Diese Liste wird auf einem Sekundärbildschirm angezeigt. Die Fahraufgabe besteht aus dem Halten eines virtuellen Fahrzeuges möglichst mittig auf einer simulierten Strecke mithilfe eines Computerlenkrades. Die Geschwindigkeit des Fahrzeuges ist fest vorgegeben und kann nicht beeinflusst werden. Generell zeigt sich eine geringere Fahrerleistung (höhere Abweichung

von der Idealspur) während der parallelen Ausführung der Sekundäraufgabe verglichen mit einer Fahrt ohne zusätzliche Aufgabe, allerdings erst gegen Ende des Suchvorgangs in der Liste. Die Fahrerleistung sinkt außerdem bis zu einem gewissen Maß signifikant mit zunehmender Listenlänge. Nach Betrachtung aller erhobener Daten resümiert die Autorin die Annahme, dass die Studienteilnehmer grundsätzlich versuchen, die Fahraufgabe so gut wie möglich zu priorisieren [Kör06, S. 158]. Hierzu wenden sie verschiedene Strategien an mit dem Ziel, die eigene Beanspruchung zu senken. So sind beispielsweise längere Bearbeitungszeiten der Sekundäraufgabe bei höherer Geschwindigkeit des zu steuernden Fahrzeuges zu beobachten [Kör06, S. 158]. Dieses Verhalten der Versuchsteilnehmer kann bereits als individuelles Informationsmanagement verstanden werden.

Auch Rauch et al. [Rau09, S. 13ff] kommen zu der Schlussfolgerung, dass ein Fahrer bis zu einem gewissen Grad selbst für sein Informationsmanagement sorgt. In einer Fahrsimulatorstudie untersuchen sie das Fahrerverhalten bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben während der Fahrt. Dabei werden Hinweise darauf gefunden, dass Fahrer für die Entscheidung, ob sie mit der Bearbeitung einer Nebenaufgabe beginnen oder nicht, eine Situationseinschätzung im Hinblick auf die aus der Fahraufgabe zu erwartenden Anforderungen vornehmen. Wird eine schwierige Fahr- oder Umweltsituation antizipiert, so wird häufig erst gar nicht mit der Bearbeitung der Nebenaufgabe begonnen [Rau09, S. 10f].

Lermer [Ler10, S. 72ff] spezifiziert den allgemeinen Einfluss von Information, die zusätzlich zur Fahraufgabe verarbeitet werden muss. Sie untersucht in einer Fahrsimulatorstudie die Fähigkeit des Menschen zur Verarbeitung von parallel auftretenden Fahrzeugmeldungen. In dem Experiment wird eine Kollisionswarnung und zeitnah oder parallel je eine weitere Meldung ausgegeben. Es zeigt sich eine signifikant langsamere Reaktion auf die optisch-akustische Kollisionswarnung bei zeitnaher oder paralleler Ausgabe einer weiteren optisch-akustischen oder rein optischen Meldung [Ler10, S. 84]. Dies deckt sich mit Wickens Theorie der multiplen Ressourcen [Wic84, S. 301ff] (Kapitel 2.3) und zeigt die Kritikalität von Interferenzen bei der Verarbeitung von Informationen gleicher Modalität. Auch bei einer gleichzeitig mit der optisch-akustischen Kollisionswarnung ausgegebenen ungerichteten haptischen Meldung kommt es zu signifikant langsameren Reaktionen auf die Kollisionswarnung [Ler10, S. 85]. Die ungerichtete haptische Meldung warnt vor einem unbeabsichtigten Verlassen der Fahrspur und wird durch eine Vibration am Lenkrad realisiert. Diese Art der Meldung hat lediglich eine aufmerksamkeitssteigernde Wirkung und muss auf regelbasierter Ebene verarbeitet werden. Dies erfordert erhöhte kognitive Ressourcen und kann die verschlechterte Reaktion auf die Kollisionswarnung erklären [Ler10, S. 72ff].

Muigg et al. [Mui08] zeigen in einer Fahrsimulatorstudie, dass sich durch die Ausgabe von Fahrzeugmeldungen die Aufmerksamkeit eines Pkw-Fahrers unabhängig von der aktuellen Verkehrssituation in das Kombidisplay lenken lässt. Durch die damit einhergehende Blickabwendung von der Straße bedeutet dieser Umstand ein mögliches Sicherheitsrisiko, das es durch intelligentes Informationsmanagement zu minimieren gilt. Unabhängig davon bedeuten laut Muiggs Studie situativ ungelegene Meldungen eine Erhöhung der Belastung und führen zu Komforteinbußen [Mui08]. Die Untersuchung kann als erste Potentialabschätzung für ein Informationsmanagement im Fahrzeug verstanden werden.

Zusammenfassend legen die berichteten Studienergebnisse die Entwicklung eines Informationsmanagements im Fahrzeug nahe. Rauch et al. [Rau09] kommen zu dem Schluss, dass ein Fahrer für sein eigenes Informationsmanagement sorgen kann. Ihr Untersuchungsdesign ist allerdings so gewählt, dass die Versuchspersonen die Möglichkeit haben, selbst über den Zeitpunkt der Bearbeitung der Nebenaufgabe zu entscheiden. Bei fahrzeuginduzierten Meldungen kann ein Fahrer dagegen nicht über den Zeitpunkt der Meldungsausgabe bestimmen und hat wenig Möglichkeit, als Informationsmanagement zu fungieren. Ein Informationsmanagementsystem kann daher insbesondere bei fahrzeuginduzierten Meldungen dafür sorgen, Interferenzen mit der Ausführung der Fahraufgabe zu vermeiden.

3.2 Statisches Informationsmanagement

Ein erster Schritt in Richtung Koordination der Meldungsausgabe im Fahrzeug ist sogenanntes statisches Informationsmanagement. Das Ziel von statischem Informationsmanagement ist die Vermeidung der gleichzeitigen Ausgabe von Fahrzeugmeldungen. Die empfundene Gleichzeitigkeit umfasst einen Zeitraum von etwa drei Sekunden [Vaa01, S. 156].

Wolf, Paarweiser Vergleich Wolf [Wol05], [Wol06] schlägt mit dem Ziel, die Ausgabe von mehreren Meldungen innerhalb eines Zeitabstandes von drei Sekunden zu vermeiden, eine Priorisierung von Fahrzeugmeldungen vor. Sein Fokus liegt dabei auf Rückmeldungen von Fahrerassistenzsystemen. Um diese zu priorisieren, werden die jeweiligen Fahrerassistenzsysteme in einem ersten Schritt der primären, sekundären oder tertiären Fahraufgabe zugeordnet. Die Einteilung wird weiter spezifiziert, indem die Art der Unterstützung des Fahrers durch das Assistenzsystem festgehalten wird. Zuletzt erfolgt ein paarweiser Vergleich der einzelnen Assistenzsysteme nach ihrer sogenannten Informationspriorität. Ergibt dieser Vergleich, dass zwei Meldungen gleich wichtig sind, so sei bei deren gleichzeitigem Auftreten die gleichzeitige Ausgabe laut Wolf unvermeidbar. Bei unterschiedlicher Priorität der Meldungen wird bei Wolf lediglich der Fall betrachtet, dass zuerst ein System höherer Priorität eine Meldung ausgibt und innerhalb kürzester Zeit eine weniger wichtige Meldung folgt. Diese wird dann zeitlich verzögert und eventuell in abgewandelter Form ausgegeben [Wol05], [Wol06].

Enders, Warnungskoordinator Auch Enders [End09] beschränkt sich bei seinem Ansatz auf Meldungen, insbesondere Warnmeldungen, von Fahrerassistenzsystemen. Er betrachtet neben der Priorität auch den Inhalt der Meldungen. Infolgedessen können auftretende Meldungen nicht nur zeitlich verzögert, sondern in Abhängigkeit ihres Inhaltes auch miteinander kombiniert oder gänzlich unterdrückt werden. Es wird unter anderem die Möglichkeit geschaffen, nur eine von zwei gleichzeitig anliegenden Meldungen auszugeben, falls beide Meldungen dieselbe Reaktion des Fahrers erfordern. Beispielsweise könnte die Reaktion „Bremsen“ gleichzeitig von einem Kollisionswarnsystem und von dem abstandsgeregelten Tempomaten in Form einer Übernahmeaufforderung gefordert werden [End09, S. 23ff] (Abbildung 3.1, redundante Warnungen vermeiden). Voraussetzung für diese Art der Meldungskoordination ist eine Prädiktion der Verkehrssituation, die anhand der Parameter der einzelnen Fahrerassistenzsysteme vorgenommen wird [End09, S. 27f].

In einer Fahrsimulatorstudie wird der Warnungskoordinator untersucht. Die Auswertung von Kollisionen während des Versuchs ergibt, dass der Warnungskoordinator bei zwei gleichzeitig ausgegebenen Meldungen keinen Vorteil bringt. In komplexen Situationen mit drei Meldungen gleichzeitig wird eine Verringerung der Anzahl der Unfälle um 27% erreicht. Die Reaktionszeit der Versuchspersonen verringert sich durch den Warnungskoordinator im Mittel über alle Situationen um 10%. Die Beanspruchung der Versuchspersonen, welche über eine Befragung erhoben wird, unterscheidet sich nicht zwischen der Fahrt mit und der Fahrt ohne Warnungskoordinator. Für eine ausführliche Beschreibung der Untersuchung und der Ergebnisse sei auf [End09, S. 37ff] verwiesen.

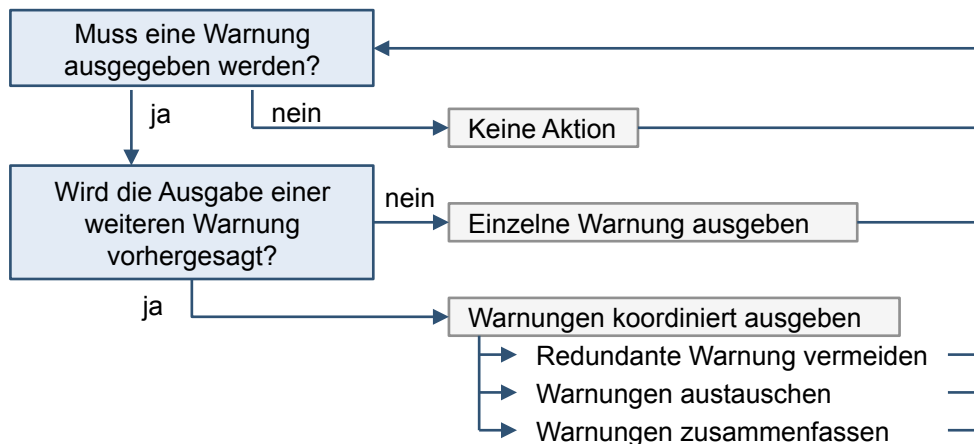


Abbildung 3.1: Funktionsweise des Warnungskoordinators nach Enders [End09, S. 29]

3.3 Dynamisches Informationsmanagement

Anders als beim statischen Informationsmanagement, bei dem die zeitliche Ausgabe von Fahrzeugmeldungen anhand vordefinierter Regeln und unabhängig von der Komplexität der vorherrschenden Fahrsituation oder Fahrerbeanspruchung geschieht, koordiniert dynamisches Informationsmanagement die Ausgabe von Fahrzeugmeldungen situationsadaptiv. Synonym zum Begriff dynamisches Informationsmanagement wird häufig der Begriff Workloadmanagement verwendet. Green [Gre04] versteht unter Workloadmanagern Systeme, die versuchen zu erkennen, ob ein Fahrer überlastet oder abgelenkt ist und daraufhin die Verfügbarkeit von Telematikdiensten sowie den Betrieb von Warnsystemen verändern. Er charakterisiert Workloadmanager nach den situativen Führungsgrößen, die sie zur Beurteilung heranziehen, ob ein Fahrer überlastet oder abgelenkt ist. Demnach sind die vier gängigen Führungsgrößen Fahrereingaben, Fahrzeugdaten, Fahrsituation und Fahrerzustand [Gre04]. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal von Informationsmanagementsystemen neben der Führungsgröße ist die Auswirkung einer detektierten Ablenkung oder Überlastung auf die Fahrer-Fahrzeug-Kommunikation (Stellgröße). Möglichkeiten zur Verringerung der Ablenkung oder Belastung sind, den Ausgabezeitpunkt von Fahrzeugmeldungen zu ändern, die Modalität der Ausgabe zu ändern, die Komplexität der Ausgabe zu ändern oder die Verfügbarkeit einzelner ablenkender Funktionen einzuschränken. Ein Informationsmanagementsystem kann sowohl mehrere Führungsgrößen als auch mehrere Stellgrößen gleichzeitig verwenden (Abbildung 3.2).

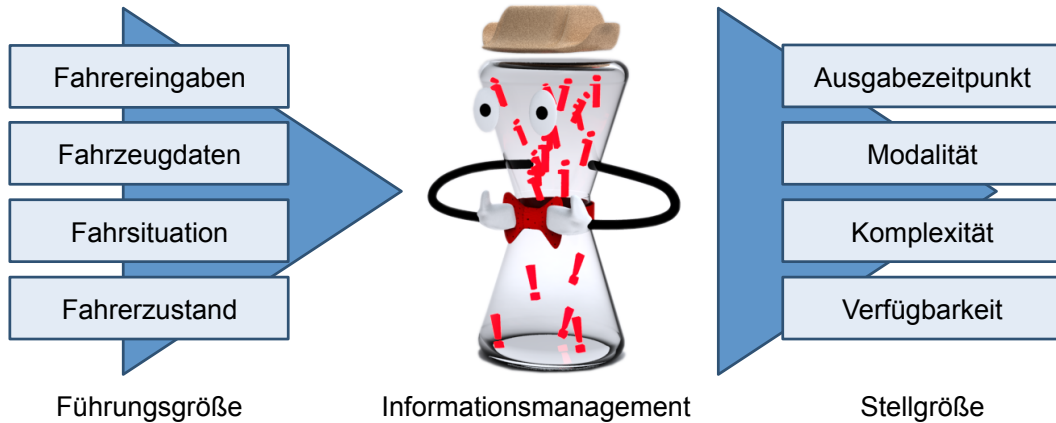


Abbildung 3.2: Gängige Führungsgrößen und Stellgrößen von Informationsmanagementsystemen

Bedingt durch die Zunahme von Fahrzeugsystemen und der daraus resultierenden Zunahme von Fahrzeugmeldungen ist ein reges Forschungsinteresse im Bereich Informationsmanagement zu verzeichnen. Sowohl öffentlich geförderte Gemeinschaftsprojekte als auch einzelne Projekte von Industrie und Forschungsinstituten beschäftigen sich mit der Entwicklung von dynamischen Informationsmanagementsystemen. Diese werden nachfolgend beschrieben.

Überblick über die Entwicklung des dynamischen Informationsmanagements Im Jahr 1989 wurde die Idee eines Informationsmanagements im Fahrzeugbereich erstmals aufgegriffen (Abbildung 3.3 oben). Damals sollten das von der Europäischen Union geförderte Forschungsprojekt GIDS und dessen Nachfolger ARIADNE Lösungen für die „Informationsflut im Fahrzeug“ finden [Hoe02, S. 13ff]. Nach Abschluss von ARIADNE 1994 wurde das Thema Informationsmanagement erst im Jahre 1997 im Rahmen des europäischen Gemeinschaftsprojektes CEMVOCAS fortgeführt [Hoe02, S. 13]. Daran schlossen sich das dreijährige Projekt COMUNICAR [Hoe02, S. 13] und das vierjährige Projekt AIDE auf europäischer Ebene an [Amd10]. In Deutschland wurde an der Thematik zwischen 1998 und 2001 in dem von der BMW Group und von der Robert Bosch GmbH initiierten und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt SANTOS [Kön03] geforscht. Außerdem beschäftigte sich zwischen 2001 und 2005 ein Gemeinschaftsprojekt von 23 Unternehmen namens INVENT mit Informationsmanagement im Fahrzeug [INV05]. In den Vereinigten Staaten von Amerika verfolgte das Projekt SAVE-IT von 2003 bis 2008 das Ziel, die Zahl der Unfälle aufgrund Fahrerablenkung zu verringern [Smi08].

In verschiedenen Forschungsvorhaben von Firmen und Forschungseinrichtungen wurden weitere Informationsmanagementkonzepte entwickelt (Abbildung 3.3 Mitte). Färber und Färber [Fär03] arbeiteten im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Bundesanstalt für Straßenwesen an dieser Thematik. Auch Dugarry [Dug04], Chen et al. [Che08] und Wu et al. [Wu07] entwickelten Konzepte für Informationsmanagementsysteme im Fahrzeug. Im Bereich der entwicklungsnahe Forschung ist Ende der 2000er Jahre verstärktes Interesse am Thema Informationsmanagement festzustellen. So beschäftigten sich Lermer [Ler10], Muigg [Mui09] und Totzke et al. [Tot08] zu dieser Zeit jeweils in Zusammenarbeit mit Automobilherstellern mit der Thematik. Die Firmen Motorola (in Zusammenarbeit mit Chrysler) [Buc03] und Toyota [Uch04] griffen Informationsmanagement in Konzeptpapie-

ren Mitte der 2000er Jahre auf. Die Automobilhersteller Volvo und Saab bieten ein Informationsmanagementsystem bereits in ihren Serienfahrzeugen an. Während Informationsmanagement bei Volvo seit 2003 verfügbar ist [Bro06], startete Saab schon im Jahre 1994 mit einem sehr einfach gehaltenen Workloadmanager in die Serienproduktion [Nåb08]. Dieser Workloadmanager war durch einen Knopf im Fahrzeuginnenraum realisiert. Fühlte sich der Fahrer durch zu viel Information überfordert, konnte er diesen Knopf betätigen. Dadurch wurden alle Anzeigen im Fahrzeuginnenraum mit Ausnahme der Geschwindigkeitsanzeige geschwärzt [Nåb08]. Abbildung 3.3 zeigt die beschriebenen Entwicklungen in einem zeitlichen Zusammenhang. In Anhang A werden die einzelnen Systeme im Detail beschrieben.

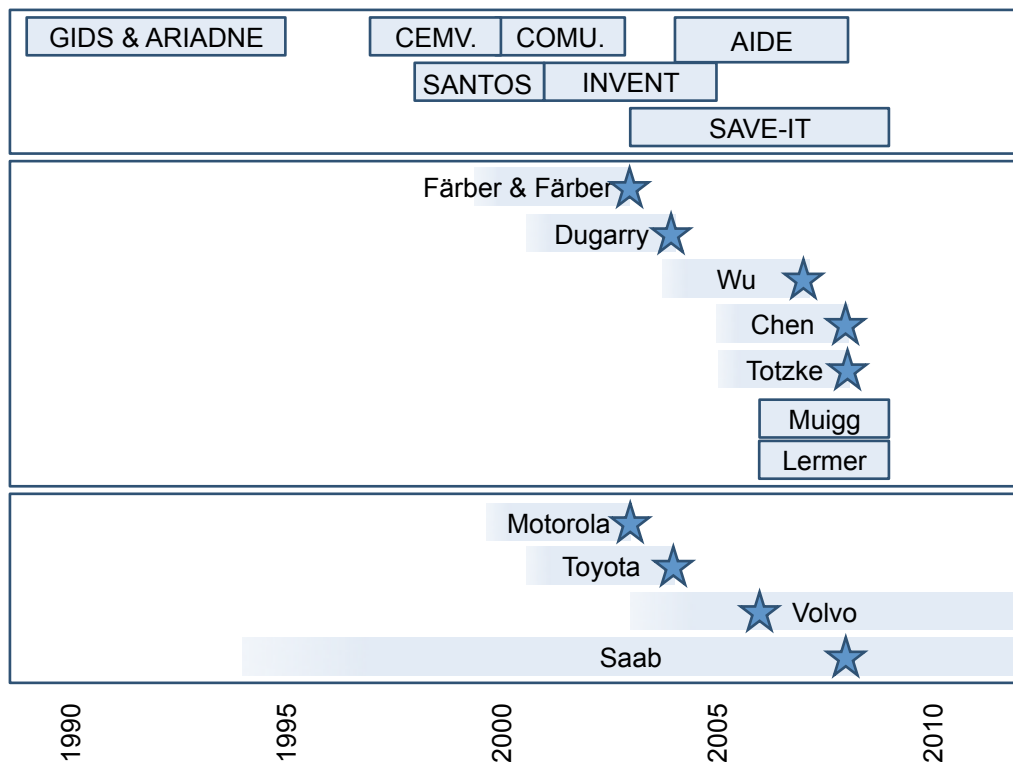


Abbildung 3.3: Übersicht über die Entwicklung von Informationsmanagementsystemen
Die Umrandung der Projekte entspricht der bekannten Projektlaufzeit. Die genaue Projektlaufzeit der nicht umrandeten Projekte ist unbekannt. Ein eingezeichneter Stern entspricht einer Veröffentlichung zu dem entsprechenden Projekt zum jeweiligen Zeitpunkt (CEMV = CEMVOCAS, COMU = COMUNICAR).

Stellgrößen von Informationsmanagementsystemen Die oben genannten Informationsmanagementsysteme lassen sich bezüglich der verwendeten Stellgrößen unterscheiden (Abbildung 3.2). Nachfolgend wird auf die einzelnen Stellgrößen näher eingegangen, eine zusammenfassende Übersicht zeigt Tabelle 3.1.

Verfügbarkeit Die Verfügbarkeit von Fahrzeugfunktionen adaptiv einzuschränken oder vollständig zu unterbinden resultiert aus der Intention, dem Fahrer möglichst wenig Gelegenheit zur Ablenkung von der Fahraufgabe zu bieten. Ein Problem der Stellgröße Verfügbarkeit ist deren Akzeptanz bei Fahrern, die eine Art Bevormundung durch das Fahrzeug empfinden könnten. Das Informationsmanagementsystem von Chen und Jordan [Che08] beeinflusst die Verfügbarkeit von Fahrzeugfunktionen. Chen und Jordan konzentrieren sich bei der Konkretisierung ihres Konzepts im Wesentlichen darauf, dass das Sys-

tem nicht „ausgetrickst“ werden kann, indem der Fahrer sein Verhalten gezielt so verändert, dass stets alle Funktionen zur Verfügung stehen [Che08]. Dies impliziert die Befürchtung, dass die Fahrer eine Beeinflussung der Verfügbarkeit von Funktionen ablehnen. Auch bei SAVE-IT wird bei hoher Komplexität der Fahrsituation die Nutzung bestimmter Fahrzeugfunktionen unterbunden. Bei mittlerer Komplexität wird durch eine farbliche Markierung von einer Benutzung abgeraten (Abbildung 3.4) [Smi08]. Die Bewertung der Akzeptanz in einer Probandenstudie zu dieser Funktion bezeichnen die Autoren als „lauwarm“ [Smi08, S. 40].








	Parken	Gering	Mittel	Hoch
Anforderung durch Fahraufgabe				
Status Fahrer-informations-systeme (FIS)	Alle FIS verfügbar	Fast alle FIS verfügbar, von der Nutzung einiger weniger wird abgeraten	Viele FIS verfügbar, von der Nutzung vieler wird abgeraten	Wenig FIS verfügbar, von der Nutzung fast aller wird abgeraten
				

Abbildung 3.4: Stufenweises Abraten (orange Darstellung der Bedienfelder) und Wegnehmen (Ausgrauen der Bedienfelder) von Fahrzeugfunktionen mit steigender Komplexität der Fahrsituation bei SAVE-IT nach [Smi08, S. 21]

Die Stellgröße Verfügbarkeit kann nur einen Teil der Information beeinflussen, die im Fahrzeug auf den Fahrer einwirkt, und zwar jenen, auf den ein Fahrer im Normalfall selbst Einfluss nehmen kann. Wie Rauch et al. [Rau09] in ihrer Studie zeigen, ziehen Fahrer die Komplexität der vorherrschenden Fahrsituation als Entscheidungskriterium heran, ob eine ablenkende Nebenaufgabe bearbeitet wird oder nicht. Auch nach Wierwille et al. [Wie96, S. 1-9] versuchen Fahrer vor einer beanspruchenden Situation, die Ausführung einer Nebenaufgabe abzuschließen oder wenn nötig zu unterbrechen. Die Information, die das Fahrzeug an den Fahrer schickt und auf die der Fahrer daher keinen Einfluss hat, wird durch die Stellgröße Verfügbarkeit dagegen nicht berücksichtigt. Bengler und Zimmer [Ben02] sehen in der Übermittlung von Information neben dem Risiko einer Ablenkung oder Überforderung des Fahrers auch das Potential, zu einer Entlastung des Fahrers und einer Senkung des Unfallrisikos beizutragen. Für sie stellt das reine Wegnehmen von Information daher kein zielführendes Vorgehen dar. Vielmehr sollte die Art und Weise der Informationsausgabe verbessert werden [Ben02]. Dem folgend wird die Stellgröße Verfügbarkeit in der vorliegenden Arbeit nicht weiter betrachtet.

Komplexität und Modalität Durch die Variation der Meldungskomplexität oder –modalität wird versucht, Meldungen so wenig störend oder ablenkend wie möglich zu präsentieren. Dugarry [Dug04] beispielsweise verändert in Anlehnung an Wickens multiple Ressourcentheorie [Wic84, S. 301ff] die Ausgabemodalität dahingehend, dass eine Meldung in einer Modalität ausgegeben wird, welche für den Fahrer in der augenblicklichen Situation eine

möglichst geringe Zusatzbelastung bedeutet. Die Komplexität und Modalität einer Meldung adaptiv zu gestalten ist eine geeignete Maßnahme für Meldungen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt ausgegeben werden müssen. Sie wird daher gerne als Ergänzung zu einem Informationsmanagement verwendet, welches den Ausgabezeitpunkt einer Meldung beeinflusst (Tabelle 3.1).

Ausgabezeitpunkt Die geringste Störung verursacht zweifelsohne eine Meldung, die nicht ausgegeben wird. Daher ist eine zeitliche Zurückstellung von Meldungen, sofern der Meldungsinhalt dies erlaubt, der größte Stellhebel zur Vermeidung einer kritischen Belastung oder Ablenkung des Fahrers. Wie Tabelle 3.1 zeigt, verwenden die meisten bekannten Informationsmanagementsysteme diese Stellgröße. Tabelle 3.2 detailliert die Informationsmanagementsysteme, die auf der Stellgröße Ausgabezeitpunkt basieren. Totzke et al. [Tot08] machen in ihrer Arbeit keine näheren Angaben zu der beabsichtigten Stellgröße ihres Systems und konzentrieren sich statt dessen auf die Erfassung der Führungsgröße (Anhang A).

Tabelle 3.1: Verwendete Stellgrößen der bekannten Informationsmanagementsysteme

Informationsmanagementsystem	Ausgabezeitpunkt	Modalität	Komplexität	Verfügbarkeit
GIDS & ARIADNE	x		x	
CEMVOCAS	x			
COMUNICAR	x			
AIDE	x	x	x	
SANTOS	x			
INVENT	x			
SAVE-IT	x			x
Lerner	x			
Muigg	x			
Totzke				
Chen				x
Wu	x			
Dugarry	x	x		
Färber & Färber	x			
Saab	x	x		x
Volvo	x			
Toyota	x			
Motorola	x			

Die Konzepte SANTOS [Kön03] und SAVE-IT [Smi08] verfolgen den Ansatz, eingehende Telefonanrufe bei Bedarf an die Mobilbox weiterzuleiten. Bei SAVE-IT wird dem Fahrer die Möglichkeit gegeben, zwischen drei Konfigurationen zu wählen (alle Anrufe durchstellen, keinen Anruf durchstellen, adaptives Durchstellen in Abhängigkeit von der Komplexität der Verkehrssituation), mit dem Ziel, die Akzeptanz des Systems zu steigern [Smi08]. Die ausschließliche Betrachtung von Telefonanrufen im Kontext Informationsmanagement stellt einen kleinen Ausschnitt aus der gesamten Kommunikation im Fahrzeug dar. Dennoch leistet dieser Ausschnitt vor dem Hintergrund der Auswirkung von Telefonieren am Steuer vermutlich einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit. Einen guten Überblick zu Studienergebnissen und Unfalldaten im Zusammenhang mit Telefonieren am Steuer bietet Sugano [Sug05].

Die ausschließliche Optimierung des Abstands zwischen der Ausgabe von einzelnen Meldungen betrifft einen Sonderfall, der durch die steigende Anzahl von Informationen im Fahrzeug immer häufiger auftreten dürfte. Wu et al. [Wu07] identifizieren einen minimal nötigen Abstand zwischen der Ausgabe zweier Meldungen von 5 bis 15 Sekunden je nach Fahrsituation.

Tabelle 3.2: Informationsmanagementsysteme mit Verwendung der Stellgröße Ausgabezeitpunkt Informationsmanagementsysteme, die Meldungen in komplexen oder beanspruchenden Situationen verzögern, betrachten meist auch die Weiterleitung eines Anrufs an die Mobilbox.

Informationsmanagementsystem	Verzögerung in komplexen / beanspruchenden Situationen	Abstand zwischen mehreren Meldungen	Ausschließlich Weiterleitung eines Anrufs an die Mobilbox
GIDS & ARIADNE	x		
CEMVOCAS	x		
COMUNICAR	x	x	
AIDE	x	x	
SANTOS			x
INVENT		x	
SAVE-IT			x
Lermer	x	x	
Muigg	x		
Wu		x	
Dugarry	x		
Färber & Färber	x		
Saab	x		
Volvo	x		
Toyota	x		
Motorola	x		

Wie bereits angedeutet, wird die zeitliche Verzögerung von Meldungen als größter Stellhebel zur Minimierung der Beanspruchung oder Ablenkung des Fahrers gesehen. Informationsmanagementsysteme, welche diese Stellgröße verwenden, schließen die Weiterleitung eines Telefonanrufs an die Mobilbox meist mit ein und befassen sich auch mit dem Abstand zwischen der Ausgabe mehrerer Meldungen. Diese Informationsmanagementsysteme werden nachfolgend hinsichtlich der Führungsgrößen, die sie für eine Entscheidung über die zeitliche Verzögerung von Meldungen heranziehen, weiter differenziert (Abbildung 3.2).

Führungsgrößen von Informationsmanagementsystemen Manche Informationsmanagementsysteme verwenden mehrere Führungsgrößen gleichzeitig, um eine bessere Kenntnis der Gesamtsituation zu erreichen. So können zum Beispiel Fahrsituation und Fahrereingaben gleichzeitig beobachtet werden. Dadurch lässt sich eine simple Fahrsituation erfassen, in welcher ein Fahrer aber ein Infotainmentsystem bedient und nicht durch andere Fahrzeugmeldungen gestört werden möchte. Der Mehrwert von Informationsmanagementsystemen, die sich auf Fahrereingaben stützen, ist allerdings anzuzweifeln. Wie in Kapitel 3.1 erläutert, werden komplexe Bedienhandlungen üblicherweise dann vorgenommen, wenn Fahrsituationen mit geringen Anforderungen an den Fahrer vorliegen, und unterbrochen, wenn die Anforderungen steigen. Aus diesem Grund wird auf die Führungsgröße Fahrereingaben im Weiteren nicht weiter eingegangen.

Die Führungsgrößen Fahrzeugdaten, Fahrsituation und Fahrerzustand sind nicht unabhängig voneinander. Denn es kann indirekt über Fahrzeugdaten auf konkrete Fahrsituationen und von konkreten Fahrsituationen auf den resultierenden Fahrerzustand geschlossen werden. Allein durch diese Betrachtung wird deutlich, dass der Fahrerzustand für Informationsmanagement die Führungsgröße der Wahl darstellt, allerdings im Fahrzeug schwierig zu erfassen ist. Abbildung 3.5 zeigt die bekannten Informationsmanagementsysteme mit einer Verzögerung des Ausgabezeitpunktes eingeteilt anhand der Führungsgrößen, die für die Steuerung der Meldungsabgabe herangezogen werden. Für diese Einteilung wird die „Basisführungsgröße“ verwendet. Basisführungsgröße meint in diesem Zusammenhang diejenige Führungsgröße, die tatsächlich im Fahrzeug erhoben und dem Informationsmanagement übergeben wird. Der möglicherweise in dieser Größe implizierte Schluss auf eine Fahrsituation oder den Fahrerzustand wird bei der schematischen Darstellung in Abbildung 3.5 nicht berücksichtigt.

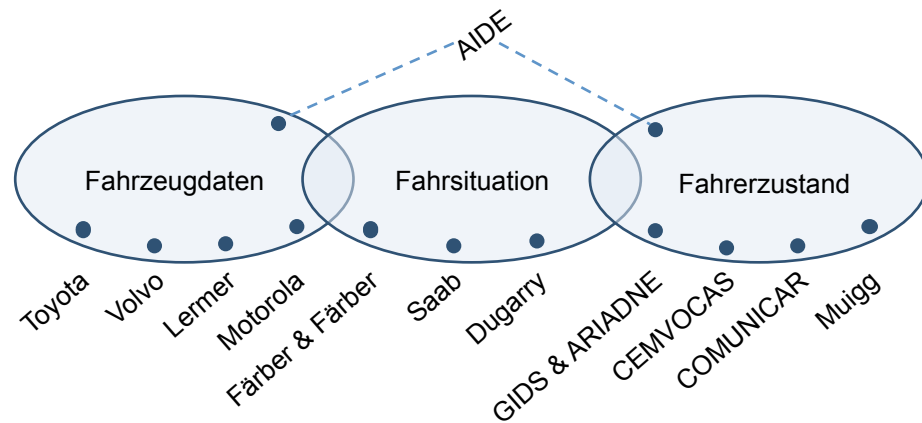


Abbildung 3.5: Übersicht über die verwendeten Führungsgrößen von Informationsmanagementsystemen zur zeitlichen Steuerung der Meldungsabgabe

Die Workloadmanager von Toyota [Uch04], Volvo [Bro06], Lermer [Ler10] und Motorola [Buc03] stützen sich bei der Steuerung der zeitlichen Meldungsabgabe auf relativ simpel zu gewinnende Fahrzeugdaten, wie die Blinkerstellung, Pedalstellungen oder Lenkbewegungen. Toyota verwendet ausschließlich die Gaspedalstellung, um über eine Meldungsabgabe zu entscheiden. In einer zu diesem Thema durchgeführten Studie zeigte sich, dass Fahrer in beanspruchenden Situationen den Fuß vom Gas nehmen [Uch04]. Bei allen vier Konzepten wird indirekt über Fahrzeugdaten auf besondere Verkehrssituationen mit erhöhten Anforderungen an den Fahrer geschlossen. Der Vorteil dabei ist die einfache und zuverlässige Erhebung der Daten, meist ohne zusätzlichen sensortechnischen Aufwand im Fahrzeug. Jedoch liegt weder eine genaue Kenntnis der Situation und dementsprechend der Anforderungen an den Fahrer vor (ein Blinker kann zum Beispiel ein komplexeres Abbiegen oder ein einfacheres Verlassen einer Autobahn bedeuten) noch kann von einer sicheren Abdeckung der relevanten Fälle ausgegangen werden (nicht jeder Fahrer blinkt in jeder Situation, in der Blinken vorgeschrieben ist). Daher kann von dem Vorliegen bestimmter Fahrzeugdaten nicht direkt auf den Fahrerzustand geschlossen werden. Für ein erstes einfaches Informationsmanagement stellt dieser Ansatz dennoch einen gangbaren Weg dar.

Einen Schritt weiter gehen Informationsmanagementsysteme, die versuchen, konkrete Situationen zu erkennen und diese als Führungsgröße nutzen. Dies entspricht letztendlich einer Schätzung der Belastung. Färber und Färber [Fär03] versuchen, Fahrer-, Fahrzeug- und Umweltsituationen anhand von Fahrzeugdaten zu erkennen. Unter Fahrersituation wird beispielsweise eine Bedienhandlung, unter Fahrzeugsituation beispielsweise ein Manöver und unter Umweltsituation beispielsweise Regen verstanden [Fär03, S. 41f, 43ff, 52]. Saab verwendete ab 1998 Fahrzeugdaten als Führungsgröße und strebt in der neuesten Generation des Workloadmanagers die Verwendung von Fahrsituationen an [Nåb08]. Bei diesem Workloadmanager werden die erkannten Situationen zusätzlich nach visuellen, motorischen und akustischen Anforderungen klassifiziert. Beispielsweise wird vorgeschlagen, während der visuell fordernden Situation „Passieren einer Schule“ keine unwichtigen Informationen, dafür die Geschwindigkeit als in dieser Situation wichtige Information akustisch auszugeben [Nåb08]. Auch Dugarry [Dug04, S. 51ff] verwendet bei seinem Informationsmanagement neben dem Ausgabezeitpunkt die Ausgabemodalität als Stellgröße und nutzt die Fahrsituation als Führungsgröße. Falls eine Meldung trotz hoher Anforderungen an den Fahrer ausgegeben werden muss, ist eine genaue Kenntnis der Situation für eine Optimierung der Meldungsausgabe von Vorteil. Dadurch kann die Meldung zumindest so übermittelt werden, dass der Fahrer möglichst wenig beansprucht wird. Dennoch sagt eine bestimmte Situation nicht direkt etwas über den Zustand des Fahrers aus, sondern dient lediglich als Anhaltspunkt für eine Schätzung desselben.

Bei AIDE wird versucht, ein möglichst ganzheitliches Bild sowohl vom Fahrerszustand, als auch von der umgebenden Fahrzeug- und Umweltsituation zu erhalten. Hierfür werden fünf Module verwendet, welche gemeinsam einen Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Status schätzen [Pag08]. Die einzelnen Module beschäftigen sich mit der Schätzung der Aktivität des Fahrers in sekundären und tertiären Fahraufgaben, der Schätzung der Änderung des Fahrerszustands, der Schätzung eines Fahrerprofils, der Schätzung des Risikos aus Verkehrs- und Umgebungsbedingungen und der Schätzung der aktuellen Fähigkeit des Fahrers, Information aufzunehmen und zu verarbeiten. Zur Schätzung dieser fünf Größen wird hauptsächlich auf Fahrzeugdaten zurückgegriffen. Der Einsatz von Head- oder Eye-tracking und eines Lidschlagsensors werden empfohlen. Außerdem ist die Hinterlegung statischer Werte zur Bildung eines Fahrerprofils vorgesehen [Pag08]. Durch die fünf verschiedenen Module und die Vielzahl von erhobenen Parametern sowie die nur teilweise erfolgte Umsetzung der Module ist nicht klar erkennbar, wie der Fahrerszustand bei AIDE konkret definiert ist und welches Gewicht er insgesamt im Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Status, der letztendlichen Führungsgröße, hat.

Den Fahrerszustand als alleinige Führungsgröße verwenden GIDS & ARIADNE, CEMVOCAS, COMUNICAR sowie das Informationsmanagement von Muigg. Die direkte Erfassung des Fahrerszustandes im Fahrzeug ist jedoch nach heutigem Stand der Technik schwer umsetzbar. Daher definieren CEMVOCAS, COMUNICAR und Muigg im Rahmen ihrer Informationsmanagementsysteme eigene Größen des Fahrerszustandes. Muigg [Mui09, S. 83ff] verwendet einen sogenannten „Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert“, der Werte zwischen 0% für geringste und 100% für höchste Aufmerksamkeitsbeanspruchung annehmen kann. Dieser Wert wird aus der vorherrschenden Fahr- und Umweltsituation abgeleitet, die wiederum mithilfe eines Bayesschen Netzes über Fahrzeugdaten erkannt wird [Mui09, S. 83ff]. Wie genau von der Fahr- und Umweltsituation auf den Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert geschlossen wird, bleibt unklar. Im Rahmen von

CEMVOCAS wird die „Fahrerverfügbarkeit“ als Größe des Fahrerzustandes definiert und mithilfe eines neuronalen Netzes aus Fahrzeugdaten abgeleitet. Verfügbarkeit meint dabei die aktuelle Fähigkeit des Fahrers, Information aufzunehmen, ohne dass dies einen negativen Einfluss auf die Fahraufgabe zur Folge hätte [Bel04]. Die Verfügbarkeit wird auch bei COMUNICAR als Führungsgröße verwendet und direkt aus CEMVOCAS übernommen [And05]. Die Verwendung eigener Hilfsgrößen zur Beschreibung des Fahrerzustandes geht einen Schritt über die Verwendung der Fahrsituation als Führungsgröße hinaus und versucht, der kognitiven Beanspruchung als Führungsgröße möglichst nah zu kommen. Allerdings erschweren die abstrakten Gebilde Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert und Fahrerverfügbarkeit und auch deren Ableitung aus Bayesschen bzw. neuronalen Netzen die Nachvollziehbarkeit. Bei GIDS & ARIADNE wird die Beanspruchungsschätzung über eine sogenannte Look up Table realisiert. Für 18 verschiedene Situationen sind dort zuvor erhobene Beanspruchungswerte hinterlegt [Hoe02, S. 15]. Der große Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass der Informationsfluss tatsächlich mit einer Größe des Fahrerzustandes, der Fahrerbeanspruchung, gesteuert wird. Allerdings waren die Arbeiten im Rahmen von GIDS Anfang der 1990er Jahre einigen Beschränkungen durch fehlende technische Möglichkeiten unterworfen [Mic93b]. So konnte das System nicht vollständig umgesetzt und nur sehr eingeschränkt getestet werden. Bereits damals wurde auf die modulare Auslegung des Konzeptes geachtet und die Look up Table als Brückentechnologie verstanden, bis genauere Verfahren zur Schätzung der Beanspruchung verfügbar sind [Mic93b, S. 84].

Zusammenfassend stellen sich die Führungsgröße Fahrerbeanspruchung und die Stellgröße Ausgabezeitpunkt als vielversprechend für ein Informationsmanagement dar. Eine besondere Herausforderung liegt in der Erfassung der Fahrerbeanspruchung, welche im Idealfall in einer für den Fahrer nachvollziehbaren Art und Weise geschieht.

3.4 Herleitung der Aufgabenstellung

Es ist davon auszugehen, dass Berufs-Lkw-Fahrer aufgrund ihrer Fahrpraxis einen höheren Trainingsgrad bei der Erfüllung der Fahraufgabe besitzen als Pkw-Fahrer. Außerdem sind die Fahrzeugabmaße eines Lkws, aber auch dessen Fahrverhalten, die Sichtbedingungen, das Fahrzeuggewicht oder die Bedingungen im Fahrerhaus nicht ohne Weiteres mit denen im Pkw zu vergleichen. Die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse zum Thema Fahrerbeanspruchung aus dem Pkw-Bereich auf den Bereich Nutzfahrzeug ist deshalb anzuzweifeln. Wie aus den Ausführungen in Kapitel 2.2 hervorgeht, wurden bislang kaum Untersuchungen über die Beanspruchung von Berufs-Lkw-Fahrern durch alltägliche Fahrsituationen angestellt. Daher ist ein Informationsmanagement auf Basis der Führungsgrößen Fahrzeugdaten oder Fahrsituationen neben den in Kapitel 3.3 genannten Einschränkungen auch deshalb kritisch zu sehen, weil nicht hinreichend bekannt ist, wie über Fahrzeugdaten oder Fahrsituationen auf die Beanspruchung eines Lkw-Fahrers geschlossen werden kann. Im Pkw-Bereich ist bislang nur ein Informationsmanagementsystem, GIDS [Mic93a], bekannt, welches tatsächlich die Führungsgröße Fahrerbeanspruchung verwendet. Das Projekt wurde vor über 20 Jahren abgeschlossen, nachdem das Informationsmanagement aufgrund der fehlenden technischen Möglichkeiten nur sehr eingeschränkt umgesetzt werden konnte. Umso mehr erstaunt es, dass die nachfolgenden Informationsmanagementsysteme trotz rasanten technischen Fortschritts auf einfach

zu erfassende Fahrzeugdaten oder Fahrsituationen ausweichen. Ein Informationsmanagement mit der Führungsgröße Fahrerbeanspruchung basierend auf den aktuellen technischen Möglichkeiten könnte einen entscheidenden Mehrwert für die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion bieten.

Die vorliegende Arbeit verfolgt daher das Ziel, ein Informationsmanagement für Lkws zu entwickeln, umzusetzen und zu testen, welches die Führungsgröße Fahrerbeanspruchung und die Stellgröße Ausgabezeitpunkt verwendet. Neben der Konzeptionierung des Informationsmanagements stellt der Erkenntnisgewinn über beanspruchende Fahrsituationen für Berufs-Lkw-Fahrer einen weiteren Schwerpunkt der Arbeit dar. Das Informationsmanagement soll in Phasen hoher Beanspruchung des Fahrers eine zusätzliche Belastung durch die Ausgabe von fahrzeuginduzierten Meldungen vermeiden. Neben der von Green [Gre04] definierten Intention von Informationsmanagementsystemen, eine Ablenkung oder Überlastung des Fahrers zu vermeiden, ist die Förderung der Aufnahmegüte des Meldungsinhaltes ein weiteres Ziel des Informationsmanagements der vorliegenden Arbeit. Für Transportunternehmen verursachen ungeplante Standzeiten der Fahrzeuge Gewinnverluste, wodurch die Wartung und Pflege der Lkws eine wichtige Rolle einnimmt. Zur Prävention längerer Reparaturzeiten sollten Fahrer auf Fehlermeldungen des Fahrzeuges entsprechend reagieren. Durch die Ausgabe von Meldungen in Situationen, in denen die kognitiven Kapazitäten des Fahrzeugführers nicht bereits überdurchschnittlich beansprucht sind, wird eine verbesserte Aufnahmegüte des Meldungsinhaltes durch den Fahrer und damit auch eine verbesserte Fehlerbehandlung erwartet. Außerdem ist ein Lkw-Fahrer für die termingerechte Lieferung der Ladung verantwortlich. Durch Telematiksysteme werden Touren, Änderungen der Tour und weitere logistikrelevante Informationen übermittelt. Die adäquate Aufnahme und Verarbeitung dieser Informationen durch den Fahrer ist ein wichtiges Element für einen reibungslosen Ablauf des Betriebs. Im folgenden Kapitel wird das Konzept des Informationsmanagementsystems im Lkw vorgestellt.

4 Konzept des Informationsmanagementsystems

Nachfolgend werden die Anforderungen an ein Informationsmanagement im Nutzfahrzeug formuliert und daraus das Konzept für ein serientaugliches Informationsmanagementsystem abgeleitet. Dieses wird in Kapitel 4.2 vorgestellt.

4.1 Anforderungen an ein Informationsmanagementsystem im Nutzfahrzeug

Da das Ziel des Informationsmanagements in erster Linie die Vermeidung einer Überforderung des Fahrers ist, sollte sich die Führungsgröße zur Steuerung der Informationsausgabe möglichst nah an diese Größe der Überforderung halten. Daher dient die Fahrerbeanspruchung als Komponente des Fahrerzustands als Führungsgröße des zu entwickelnden Informationsmanagements. Die Fahrerbeanspruchung spiegelt die aktuelle Auslastung kognitiver Ressourcen wider und gibt somit Aufschluss darüber, ob durch den Fahrer noch zusätzliche Informationseinheiten verarbeitet werden können (Abbildung 4.1).

Als Stellgrößen werden bei gängigen Informationsmanagementsystemen das zeitliche Zurückstellen von Meldungen, die Variation der Modalität oder Komplexität der Meldung sowie die Reduktion der Verfügbarkeit einzelner ablenkender Fahrzeugfunktionen verwendet. Die geringste zusätzliche Beanspruchung verursachen unbestritten Meldungen, die in beanspruchenden Situationen gar nicht erst ausgegeben werden. Daher verwendet vorliegendes Konzept den Ausgabezeitpunkt einer Meldung als Stellgröße. Bei hoher kognitiver Beanspruchung werden weniger wichtige Meldungen zeitlich zurückgestellt, bis die Beanspruchung sinkt und eine Meldungsausgabe durch den Fahrer adäquat verarbeitet werden kann. Die Meldungen werden für die Bewertung ihrer Wichtigkeit in verschiedene Prioritätsstufen eingeteilt. Bei der Entscheidung über den Ausgabezeitpunkt einer Meldung sollen zusätzlich zur Wichtigkeit deren zeitliche Dringlichkeit und deren Aktualität berücksichtigt werden.

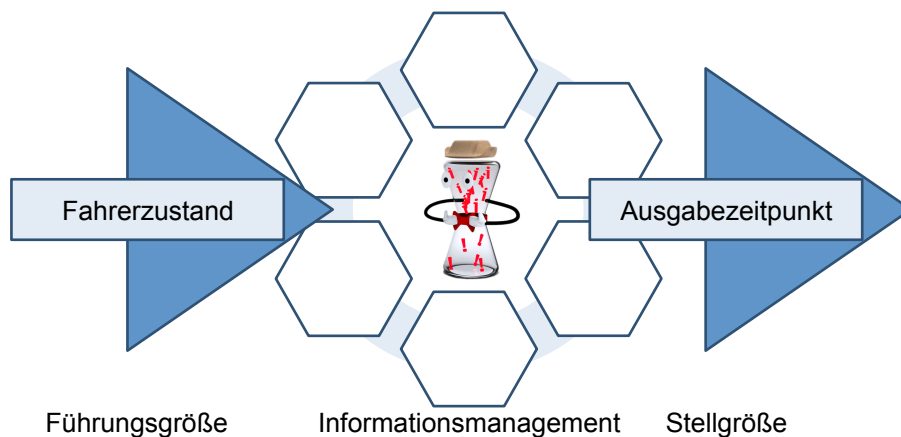


Abbildung 4.1: Führungs- und Stellgröße des Informationsmanagementsystems für Nutzfahrzeuge

Im Rahmen des Informationsmanagements sind grundsätzlich fahrzeug- oder umgebungsinduzierte Meldungen zu berücksichtigen. Dies schließt Informationen von verschiedenen Fahrerassistenzsystemen, Fahrerinformationssystemen, Status- und Diagno-

semeldungen aber auch Telefonanrufe und Meldungen von Telematiksystemen mit ein. Ausgenommen sind Meldungen, die ein Fahrer selbst initiiert. Dahinter steckt die Überlegung, dass ein Fahrer für sich selbst das beste Informationsmanagement darstellt und Nebentätigkeiten, welche unter anderem die Ausgabe von Information zur Folge haben, in beanspruchenden Situationen nicht aufnimmt bzw. unterbricht. Darüber hinaus könnte das Ausbleiben einer vom Fahrer initiierten Systemrückmeldung zu Unsicherheiten führen, was zu vermeiden ist.

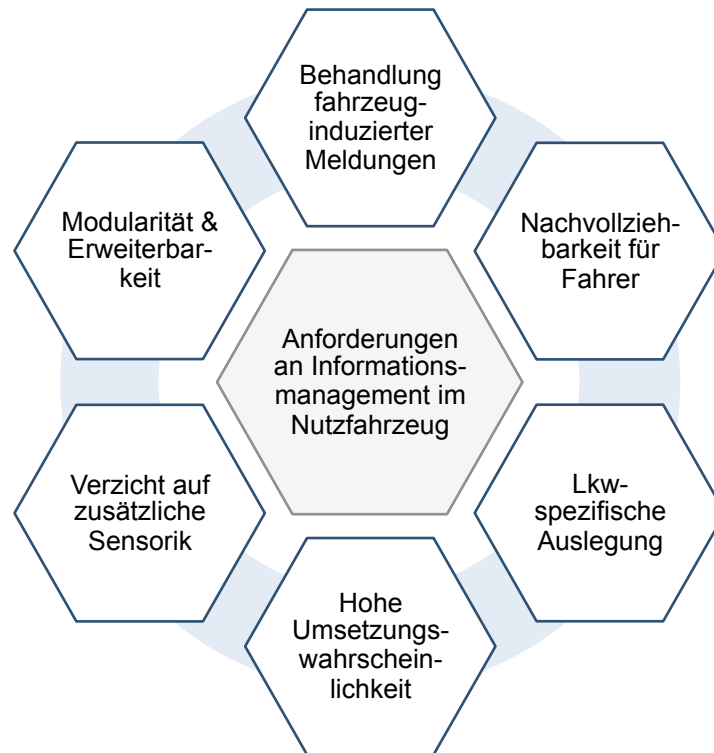


Abbildung 4.2: Anforderungen an das Informationsmanagement im Nutzfahrzeug

Eine wichtige Anforderung an das Informationsmanagement im Nutzfahrzeug ist die Nachvollziehbarkeit der Funktionsweise des Systems. Berufskraftfahrer sind im Allgemeinen technisch und im Speziellen an ihrem Fahrzeug stark interessiert. Das System sollte daher keine abstrakte Black Box sein, sondern ein für den Fahrer nachvollziehbares und verständliches Verhalten besitzen. Neben der besonderen Berücksichtigung der Nachvollziehbarkeit wird das Informationsmanagement insgesamt auf die Anwendung im Lkw ausgelegt, welche sich von der in einem Pkw in einigen Punkten unterscheidet. Insbesondere ist anzunehmen, dass Lkw-Fahrer Fahrzeuge beruflich führen und dadurch im Gegensatz zu einem Pkw-Fahrer im Umgang mit dem Fahrzeug trainiert sind.

Die Konzeptionierung und Umsetzung des Informationsmanagements beachtet einige weitere Randbedingungen. Entwickelt wird ein System, welches möglichst aufwandsarm in einen Serien-Lastkraftwagen integriert werden kann. Es wird derart konzipiert, dass eine spätere Umsetzung generell möglich ist und keinen erheblichen sensortechnischen Mehraufwand bedeutet. Zur Realisierung des Systems wird auf Sensorik zurückgegriffen, die innerhalb eines Zeithorizonts von etwa fünf Jahren serienreif zur Verfügung stehen wird. Das System wird flexibel, erweiterbar und modular gestaltet. Dadurch können einzelne Module entfernt, ersetzt oder ergänzt und die Funktionalität der einzelnen Module auch anderen Anwendungen zu Verfügung gestellt werden. Zum Beispiel wäre denkbar, die zu

erfassende Fahrerbeanspruchung nicht ausschließlich für ein Informationsmanagement, sondern auch für die Konditionierung von Assistenzsystemen zu verwenden. Die Anforderungen in einer Zusammenfassung zeigt Abbildung 4.2. Aus diesen Anforderung wird ein Konzept für Informationsmanagement im Nutzfahrzeug abgeleitet.

4.2 Aufbau des Informationsmanagementsystems

Die Forderung nach Modularität bestimmt die Architektur des Informationsmanagementsystems maßgeblich. Das System wird in drei wesentliche, für sich allein stehende Module unterteilt, welche in Abbildung 4.3 dargestellt sind. Die Module tauschen über definierte Schnittstellen relevante Informationen aus. Diese Informationen können aber auch anderen Anwendungen zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere die Größe Beanspruchung kann von verschiedenen Fahrzeugsystemen verwendet werden. Die Modularität setzt sich in der Architektur der jeweiligen Module fort. Hierauf wird in den Kapiteln näher eingegangen, welche die jeweiligen Module im Detail behandeln.

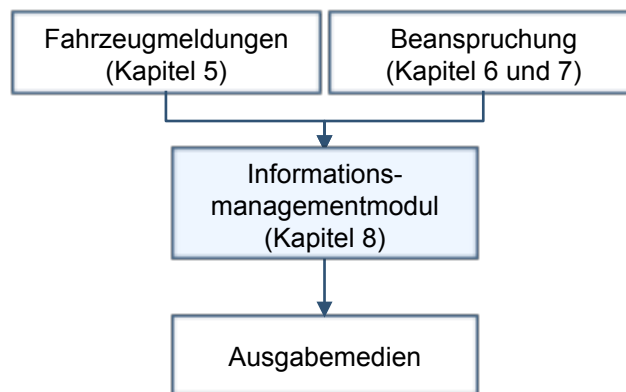


Abbildung 4.3: Architektur des Informationsmanagementsystems

Das Informationsmanagementmodul bildet das Kernstück des Systems und stellt das eigentliche Informationsmanagement dar. Das Modul trifft die Entscheidung darüber, ob die Ausgabe einer Meldung sofort erfolgen kann oder aufgrund erhöhter Beanspruchung des Fahrers zeitlich verzögert werden muss. Diese Entscheidung wird basierend auf den beiden Eingangsgrößen, den Eigenschaften der Fahrzeugmeldungen und der aktuellen Fahrerbeanspruchung, getroffen. Kann die Ausgabe erfolgen, wird die Meldung an die entsprechenden Ausgabemedien im Fahrzeug weitergeleitet. Alle im Informationsmanagement zu berücksichtigenden Fahrzeugmeldungen passieren das Informationsmanagementmodul, bevor sie an ein Ausgabemedium weitergeleitet werden.

5 Prioritäten von Fahrzeugmeldungen

Die Charakterisierung von Fahrzeugmeldungen hinsichtlich ihrer Wichtigkeit ist Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung des Informationsmanagementsystems. Nachfolgend sind unter Fahrzeugmeldungen (kurz: Meldungen) fahrzeuginduzierte Informationsausgaben an den Fahrer über akustische, optische oder haptische Ausgabemedien zu verstehen. Diese Definition bezieht sich auf alle fünf Informationsquellen im Fahrzeug nach Dugarry [Dug04, S. 17]: Sensordaten (Bsp. Geschwindigkeit), Fahrerassistenzsysteme, Entertainmentsysteme, Kommunikationsgeräte und Komfortsysteme. Im folgenden Kapitel werden Möglichkeiten zur Priorisierung von Meldungen beschrieben. Anschließend wird das Prioritätensystem vorgestellt, auf dem das Informationsmanagement im Lkw basiert.

5.1 Kategorisierung und Priorisierung von Fahrzeugmeldungen

Einer Priorisierung von Fahrzeugmeldungen geht stets die Definition von Kriterien voraus, anhand derer die Wichtigkeit von Meldungen festgelegt wird. Grundsätzlich orientieren sich diese Kriterien an den Aufgaben des Fahrzeuges, die wiederum selbst hinsichtlich ihrer Wichtigkeit betrachtet werden müssen. Als wichtigste Aufgaben eines Fahrzeuges können die Gewährleistung der Sicherheit der Insassen und des Fahrzeuges selbst sowie die Bewegung der Insassen von A nach B festgehalten werden. Die Bestimmung der Kriterien ist weiter von dem zugedachten Nutzer der Meldungsprioritäten abhängig, welcher im vorliegenden Anwendungsfall der Fahrer ist. Anhand der Kriterien werden Prioritätsindizes vergeben, welche zur Bewertung der Wichtigkeit einer Meldung im Fahrzeug dienen. Für die Ausgabe der Fahrzeugmeldungen an den Fahrer werden die Prioritätsindizes meist zu einigen wenigen fahrerorientierten Prioritätsstufen zusammengefasst, anhand derer der Fahrer die Wichtigkeit einer Meldung erkennen kann (Abbildung 5.1).

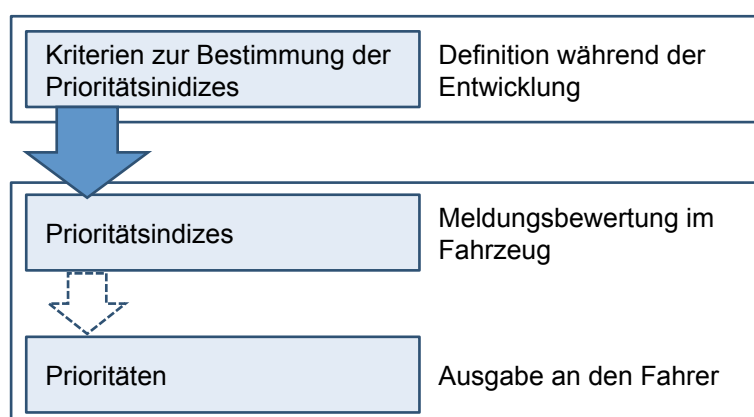


Abbildung 5.1: Begriffe im Kontext der Bewertung der Wichtigkeit von Fahrzeugmeldungen

Die Norm ISO 16951 legt ihren Fokus weniger auf das Prioritätensystem an sich als vielmehr auf die Vorgehensweise zur Bestimmung des Prioritätsindex von Fahrzeugmeldungen, insbesondere von Warnungen [Int04]. Dennoch lassen sich aus der Beschreibung der Vorgehensweise die zugrunde liegenden Kriterien extrahieren. Dies sind die beiden Kriterien Schadensausmaß („criticality“) und Dringlichkeit („urgency“), welche jeweils in

vier Stufen untergliedert werden (Tabelle 5.1). Der resultierende Prioritätsindex einer Meldung basiert auf der Bewertung ihres Inhaltes anhand dieser beiden Kriterien [Int04].

Tabelle 5.1: Stufen der Kriterien Schadensausmaß und Dringlichkeit der Norm ISO 16951 nach [Int04]

Stufe	Skala zur Bewertung von Schadensausmaß	Skala zur Bewertung von Dringlichkeit
3	Schwere oder tödliche Verletzung	Sofortige Reaktion
2	Verletzung oder mögliche Verletzung	Reaktion innerhalb weniger Sekunden
1	Keine Verletzung, Fahrzeugschaden	Vorbereiten einer Reaktion (bis zu 2 min)
0	Keine Verletzung, kein Fahrzeugschaden	Nur Information

Die Norm SAE J2395 [Soc02] priorisiert Fahrzeugmeldungen anhand der Kriterien Sicherheitsrelevanz, Handlungsrelevanz und Dringlichkeit, welche jeweils drei bzw. vier Stufen enthalten (Tabelle 5.2).

Tabelle 5.2: Stufen der Kriterien Sicherheitsrelevanz, Handlungsrelevanz und Dringlichkeit der Norm SAE J2395 [Soc02, S. 3]

Sicherheitsrelevanz	Handlungsrelevanz	Dringlichkeit
direkt	stark	0-3 Sekunden
indirekt	mittel	3-10 Sekunden
keine	schwach	10-20 Sekunden
		>20 Sekunden

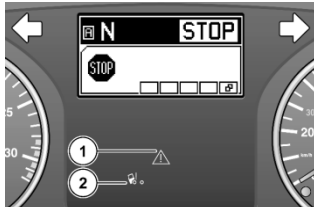
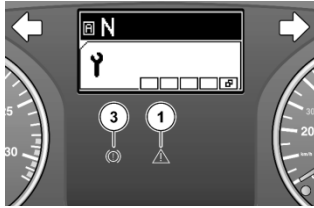
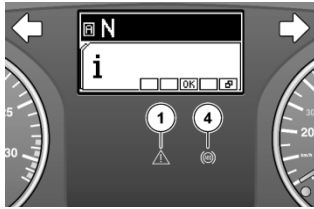
Wolf [Wol06] entwickelte den ergonomischen Lösungsansatz, der Meldungen von Fahrerassistenzsystemen mithilfe eines paarweisen Vergleiches priorisiert. In diesem Rahmen werden die Kriterien Fahraufgabe, Schadenseintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaßwahrscheinlichkeit vorgeschlagen. Bei Lermer [Ler10, S. 39] existieren als Kriterien für die Bewertung der Meldungsinhalte das Schadensausmaß, die zeitliche Dringlichkeit sowie die vom Fahrer gewünschte Handlung.

Anhand der Kriterien, wie sie obiger Absatz beispielhaft nennt, werden die Meldungsinhalte bewertet und der Prioritätsindex abgeleitet. Zur operativen Bewertung der Meldungsinhalte kann sich verschiedener Verfahren bedient werden. Die Norm ISO 16951 schlägt ein Verfahren vor, bei dem der Prioritätsindex auf Basis von unabhängigen Bewertungen durch mindestens fünf Experten und unter der Aufsicht eines Prüfers berechnet wird [Int04, S. 2-6]. Als Alternative zu diesem Vorgehen bieten die Norm 16951 [Int04, S. 11ff] und der Ergonomische Lösungsansatz [Wol06] einen paarweisen Vergleich als Methodik an. Bei dem Verfahren, welches die Norm SAE J2395 [Soc02] vorschlägt, werden die in Tabelle 5.2 gezeigten Stufen kombiniert, was 45 Prioritätsindizes ergibt. Hierbei ist es im Gegensatz zu einem paarweisen Vergleich von Meldungen möglich, dass verschiedene Meldungen denselben Prioritätsindex besitzen.

Die Prioritätsindizes, die üblicherweise feingliedrig in vielen Abstufungen im Fahrzeug vorliegen, werden zuletzt meist zu Prioritäten zusammengefasst. Die Prioritäten stellen die für den Fahrer unterscheidbaren Kategorien von Wichtigkeiten dar, weswegen sich die Ausgabeform der Meldungen an diesen Prioritäten orientiert. Im Nutzfahrzeugbereich werden vorwiegend drei bis vier Prioritätsstufen unterschieden. Zwischen den Herstellern variiert die inhaltliche Interpretation der Stufen in Bezug auf Fehlermeldungen kaum. Die höchste Priorität wird meist derart schwerwiegenden Fehlern oder Störungen zugewiesen,

die ein sofortiges oder zeitnahes Anhalten des Fahrzeuges erfordern. Die visuelle Anzeige dieser Priorität wird fast immer durch die Farbe Rot hervorgehoben und mit einem akustischen Warnton begleitet, um auf die besondere Gefahr hinzuweisen. Die Fehler, die kein sofortiges Anhalten, jedoch das Aufsuchen einer Werkstatt oder andere Handlungen durch den Fahrer verlangen, stellen die zweite Prioritätsstufe dar. Sie werden normalerweise in der Farbe Rot oder Gelb ausgegeben. Hinweise oder Informationen bilden die niedrigste Priorität und bedürfen üblicherweise keiner direkten Handlung des Fahrers. Volvo [Vol09, S. 1:117] unterscheidet sogenannte Stoppmeldungen, Warnmitteilungen und Informationsmeldungen. Iveco [Ive, S. 16] differenziert zwischen sogenannten schwerwiegenden Ausfällen, leichten Störungen und Betriebszuständen. Scania [Sca09, S. 242] arbeitet mit vier Kategorien, wobei die erste und zweite Kategorie einer Untergliederung der ersten Kategorie eines dreistufigen Systems entsprechen. Es wird zwischen äußerst schwerwiegenden Fehlern, Fehlern, nicht schwerwiegenden Fehlern und Information differenziert. Auch MAN [MAN08, S. 261ff] unterscheidet drei verschiedene Meldungstypen, die Tabelle 5.3 zeigt.

Tabelle 5.3: Meldungstypen in Fahrzeugen des Herstellers MAN

Meldungstyp	Beschreibung	Darstellung	
Stop-Meldung: Sicherheit	Gefährdung der Fahrzeugsicherheit bzw. Gefahr von Fahrzeugschäden. Fahrzeug unverzüglich anhalten.	Stop-Symbol, rot blinkende Zentrale Warnleuchte (1), Warnton, weitere Anzeigen je nach Meldung (2).	
Rot-Meldung: Werkstatt	Einschränkung der Fahrzeugsicherheit. Fahrzeug umgehend in eine Werkstatt bringen.	Werkstatt-Symbol (Schraubenschlüssel), rot leuchtende Zentrale Warnleuchte (1), Warnton, weitere Anzeigen je nach Meldung (3).	
Gelb-Meldung: Information	Anzeige von Informationen mit Handlungsempfehlungen vor Fahrtantritt oder während der Fahrt.	Informations-Symbol, gelb leuchtende Zentrale Warnleuchte (1), Warnton, weitere Anzeigen je nach Meldung (4).	

Um das Meinungsbild von Lkw-Fahrern zum Thema Meldungspriorisierung einzuholen, wird im Rahmen der Entwicklung des Informationsmanagementsystems eine Fahrerbefragung auf Rastplätzen durchgeführt. Es nehmen 83 hauptberufliche Lkw-Fahrer im Alter von 23 bis 83 Jahren ($M = 45,5$; $SD = 10,7$) teil, darunter zwei Frauen. Je 20 der Befragten sind überwiegend mit Fahrzeugen der Marke MAN und Mercedes unterwegs, je 10 mit Fahrzeugen der Hersteller DAF, Iveco, Scania und Volvo und drei der Fahrer mit einem Lkw des Herstellers Renault. 93% der befragten Fahrer finden es eher bzw. sehr sinnvoll, die Wichtigkeit einer Meldung auf den ersten Blick erkennen zu können. Auf die Frage „Können Sie bei Ihrem Fahrzeug an der Art und Weise, wie eine Fahrzeugmeldung ausgegeben wird, erkennen, ob diese eine hohe Wichtigkeit oder Dringlichkeit hat?“ antworten 89% der Befragten mit „ja“. Von den 20 befragten Fahrern, die überwiegend mit einem

Fahrzeug der Marke MAN unterwegs sind, geben 17 an, verschiedene Wichtigkeitsstufen von Meldungen in ihrem Fahrzeug unterscheiden zu können. Dabei unterscheiden 12 der 17 MAN-Fahrer zwei Prioritäten voneinander. Zwei Fahrer erkennen drei Wichtigkeitsstufen, ein Fahrer vier Wichtigkeitsstufen. Zwei Fahrer können sich auf keine eindeutige Anzahl festlegen und nennen zwei bis drei bzw. drei bis vier verschiedene Stufen. Die Unterscheidung der Stufen machen Lkw-Fahrer aller Marken von folgenden Indikatoren abhängig (offene Frage, Mehrfachnennungen möglich). 69 Fahrer geben die Farbe als Unterscheidungsmerkmal für die Wichtigkeit verschiedener Meldungen an. 14 Fahrer nennen Töne (Warntöne, Signaltöne, „Piepen“) als Indikator für die Wichtigkeit einer Meldung. Hierbei ist anzumerken, dass ein Ton meist als Hinweis darauf verstanden wird, dass eine optische Anzeige abzulesen ist. Ein Symbol dient sechs Fahrern, ein Blinken in der Anzeige fünf Fahrern und der Text einer Meldung drei Fahrern als Indikator für die Meldungspriorität (Abbildung 5.2). Zwei der Fahrer erkennen die Wichtigkeit einer Meldung aufgrund ihrer Erfahrung. Ein Fahrer erklärt, er quittiere Fehlermeldungen über die dafür vorgesehene Taste. Verschwindet die Meldung daraufhin vom Display, so sei sie nicht wichtig. Verschwindet sie trotz Quittierens nicht, so sei sie wichtig. Die letztgenannten Antworten sind in Abbildung 5.2 in der Kategorie „Sonstiges“ zusammengefasst.

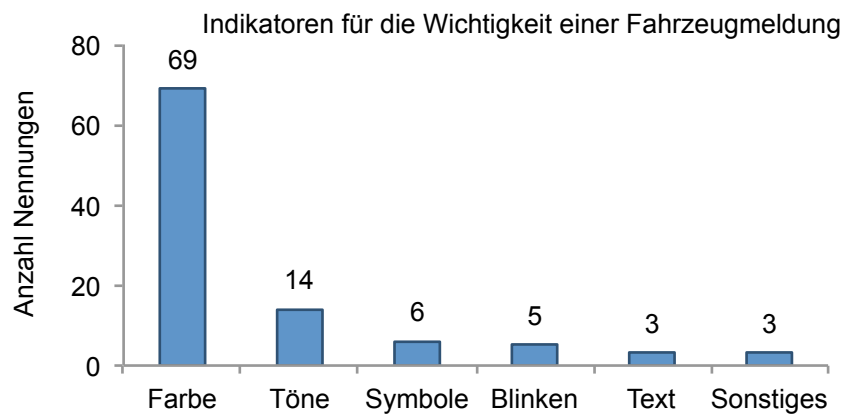


Abbildung 5.2: Indikatoren für die Wichtigkeit einer Fahrzeugmeldung, Ergebnis einer Fahrerbefragung

Zusammenfassend ist die Farbe, die überwiegend mit rot und gelb als Abstufungen angegeben wird, der wichtigste Indikator für die Wichtigkeit einer Fahrzeugmeldung. Der Großteil der Fahrer kann unterschiedliche Wichtigkeitsstufen unterscheiden und wünscht sich eine Kategorisierung der Meldungen anhand ihrer Wichtigkeit. Die Mehrheit der Fahrer, die hauptsächlich mit einem Fahrzeug der Marke MAN unterwegs sind, erkennt zwei unterschiedliche Wichtigkeitsstufen. Dies ist durchaus konform mit oben genannten drei Prioritäten, weil davon ausgegangen werden kann, dass die befragten Fahrer Hinweismeldungen bzw. Informationen nicht als Fahrzeugmeldung betrachten.

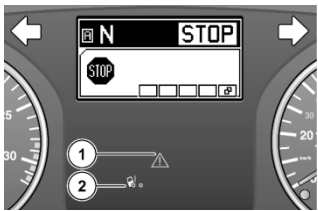
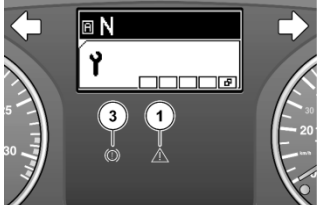
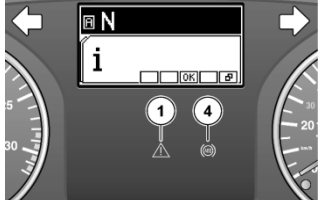
5.2 Ableitung eines Prioritätensystems für das Informationssystem im Nutzfahrzeug

Der Großteil der Nutzfahrzeughersteller arbeitet mit drei Prioritätsstufen (Kapitel 5.1). Die Ergebnisse der in Kapitel 5.1 dargestellten Befragung deuten auf ein gutes Verständnis der dreistufigen Gliederung Meldungsprioritäten hin. Die befragten Fahrer sind außerdem

in der Lage, die drei Wichtigkeitsstufen voneinander zu unterscheiden. Daher wird für das Informationsmanagement im Nutzfahrzeug ein dreistufiges Prioritätensystem vorgeschlagen. Das Informationsmanagement verzögert eine Ausgabe von Meldungen der niedrigsten Priorität 3 bereits ab einer geringen Fahrerbeanspruchung. Dadurch wird gewährleistet, dass Fahrer in beanspruchenden Situationen nicht mit weniger wichtigen Hinweisen belastet werden. Meldungen der Priorität 2 werden ab einer mittleren Fahrerbeanspruchung verzögert. Meldungen der Priorität 1 werden aufgrund ihrer Wichtigkeit stets sofort ausgegeben. Sind die Meldungen der Informationsquellen durchgängig priorisiert und passieren vor der Ausgabe an den Fahrer das Modul zur Steuerung der Informationsausgabe, kann ein einheitliches Informationsmanagement im Fahrzeug gewährleistet werden.

Das zu entwickelnde Informationsmanagementsystem wird in einem Lkw des Herstellers MAN Truck & Bus AG implementiert. Daher ist die Beschreibung der drei Prioritäten, mit denen das Informationsmanagement arbeitet, angelehnt an die Beschreibung der Prioritäten in Tabelle 5.3. Deren Fokus liegt auf der Priorisierung von Fehlermeldungen. Das Informationsmanagement soll sich jedoch über eine größere Vielfalt an Fahrzeugmeldungen erstrecken und alle fünf Informationsquellen im Fahrzeug nach Dugarry [Dug04, S. 17f] abdecken. Daher wird die Beschreibung dieser Prioritätsstufen erweitert. Priorität 1 wird um sicherheitskritische Hinweise ergänzt. Dazu zählen beispielsweise Fahrerhinweise, wie „Neutral schalten“, deren Nichtbeachtung die Sicherheit des Fahrzeuges gefährden würde. Weitere Beispiele für Meldungen der Priorität 1 sind „Ausfall zentraler Bordrechner“ oder „Getriebetemperatur zu hoch“. Priorität 2 umfasst Meldungen, wie „Schalter Warnblinker defekt“ oder „Retardertemperatur zu hoch“. Analog zum Vorgehen bei Priorität 1 wird Priorität 2 um funktionskritische Hinweise erweitert, wie zum Beispiel „Motordrehzahl zu hoch“. Hinweise zur Fahrerinformation werden in die Priorität 3 eingeordnet. Diese umfasst Meldungen, wie „Service fällig“ oder „Ausfall Abblendlicht“ (Tabelle 5.4).

Tabelle 5.4: Prioritäten von Fahrzeugmeldungen als Eingangsgröße für das Informationsmanagement

Prio	Meldungstyp	Beschreibung	Darstellung
1	Stop-Meldung: Sicherheit bzw. Sicherheitskritischer Hinweis.	Gefährdung der Fahrzeugsicherheit bzw. Gefahr von Fahrzeugschäden. Fahrzeug unverzüglich anhalten bzw. Anweisung des Hinweises befolgen.	
2	Rot-Meldung: Werkstatt bzw. Funktionskritischer Hinweis.	Einschränkung der Fahrzeugsicherheit. Fahrzeug umgehend in eine Werkstatt bringen bzw. Anweisung des Hinweises befolgen.	
3	Gelb-Meldung: Information.	Anzeige von Informationen mit Handlungsempfehlungen vor Fahrtantritt oder während der Fahrt.	

Zur Erklärung der in den bildlichen Darstellungen aufgeführten Ziffern siehe Tabelle 5.3

Insbesondere bei Fahrerinformationssystemen tritt der Fall auf, dass eine für den Fahrer in der jeweiligen Situation wichtige, jedoch unkritische Meldung auszugeben ist. Ein Beispiel für eine derartige Meldung ist die Richtungsanweisung des Navigationsgeräts. Diese sollte möglichst zeitnah zu ihrem Auftreten ausgegeben werden, ist jedoch weder sicherheits- noch funktionskritisch. Eine Zuweisung der Priorität 1 mit dem Ziel, dass diese Meldung nicht zurückgehalten wird, würde eine unerwünschte Aufweichung des Prioritätensystems bedeuten und ist zu vermeiden. Daneben existieren Meldungen, die zwar über einen gewissen Zeitraum zurückgehalten werden können, deren Wichtigkeit über die Zeit hinweg aber zunimmt. Ein Beispiel für eine derartige Meldung ist die Tankwarnung. Diese kann einige Minuten zurückgestellt werden, gewinnt allerdings, je länger sie zurückgestellt wird, an Wichtigkeit. Im ungünstigsten Fall bedeutet eine Nichtbeachtung durchaus eine Funktionsgefährdung des Fahrzeuges, welches mit leerem Kraftstofftank liegenbleiben könnte.

Um beiden Fällen, den einer hohen zeitlichen Dringlichkeit ohne einer Gefährdung des Fahrzeuges und den einer mit der Zeit steigenden Dringlichkeit, im Rahmen des Informationsmanagements gerecht zu werden, bietet sich die Einführung eines zusätzlichen meldungsspezifischen Parameters an. Dieser beinhaltet eine Zeitangabe, welche die maximale Dauer der erlaubten zeitlichen Zurückstellung der Meldung angibt. Dieser Parameter wird im Informationsmanagement vor der eigentlichen Meldungspriorität berücksichtigt. So werden beispielsweise zeitkritische Hinweise des Navigationsgerätes, welchen als maximale Zurückstelldauer nur wenige Millisekunden hinterlegt werden können, nahezu unabhängig von der aktuellen Fahrerbeanspruchung sofort ausgegeben. Weniger zeitkritischen Hinweisen des Navigationsgerätes, wie der Ankündigung einer Autobahnausfahrt einige Kilometer im Voraus, könnten dagegen höhere maximale Zurückstelldauern hinterlegt werden. Eine Tankwarnung würde so lange zurückgestellt werden, bis die Beanspruchung unter den entsprechenden Grenzwert gesunken oder die maximal mögliche zeitliche Verzögerung erreicht ist. So wird ein zufriedenstellender Kompromiss zwischen der Wichtigkeit und Dringlichkeit einzelner Fahrzeugmeldungen und der Berücksichtigung der Fahrerbeanspruchung bei deren Ausgabe erreicht.

6 Vorgehen zur Erfassung der mentalen Fahrerbeanspruchung

Zur Erfassung mentaler Beanspruchung bieten sich grundsätzlich die in Kapitel 2.1 beschriebenen physiologischen, leistungsbezogenen und subjektiven Indikatoren an. Jedoch sind diese Möglichkeiten nicht ohne weiteres auf einen Einsatz im Serienfahrzeug übertragbar. Die Grenzen hierbei werden im Folgenden geschildert, bevor Kapitel 6.2 alternative Lösungswege zur Erfassung mentaler Beanspruchung im Serienfahrzeug aufzeigt.

6.1 Möglichkeiten und Grenzen der Erfassung mentaler Beanspruchung im Fahrzeug

Vor dem Hintergrund, dass das Informationsmanagement für den Einsatz in einem Lkw entworfen wird, besteht insbesondere die Forderung nach geringer Intrusion der Methode zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung [Sei12c]. Da ein Berufskraftfahrer den Großteil seiner Zeit hinter dem Steuer verbringt, sollte die Messmethode möglichst wenig Einfluss auf das Komfortempfinden besitzen. Die Bewegungsfreiheit des Fahrers muss vollständig erhalten bleiben und eine explizite Bedienung des Messinstrumentes durch den Fahrer nicht oder nur in geringem Maße von Nöten sein. Die Messung erfolgt außerdem idealerweise kontinuierlich und für den Anwendungsfall Informationsmanagement zuverlässig [Sei12c].

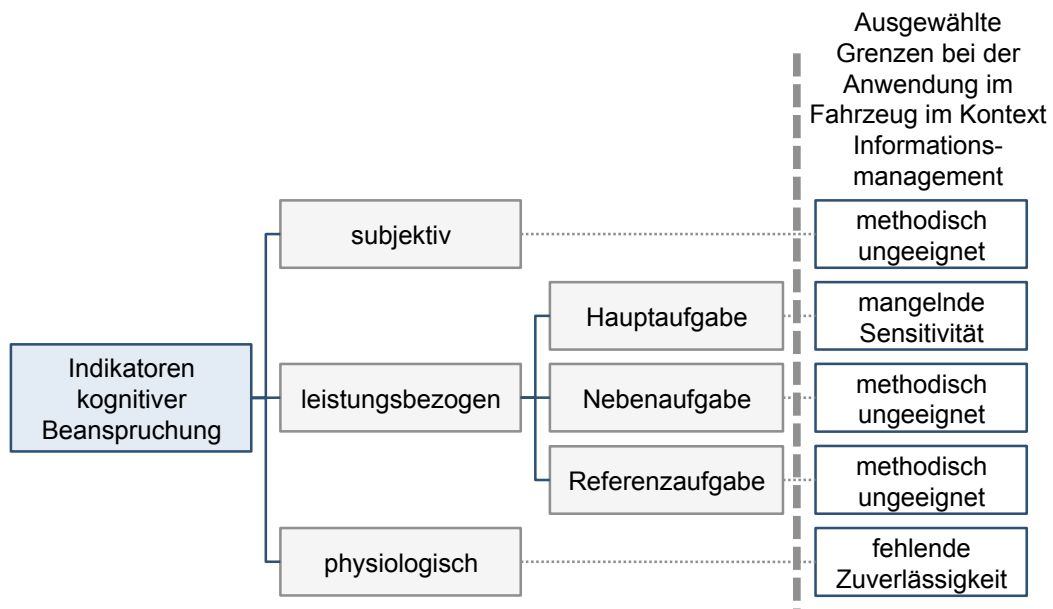


Abbildung 6.1: Grenzen der Erfassung mentaler Beanspruchung im Serienfahrzeug nach [Sei12c]

Eine Zusammenfassung ausgewählter Grenzen bei der Erfassung mentaler Beanspruchung im Serienfahrzeug zeigt Abbildung 6.1. Ausgehend von oben genannten Überlegungen erscheint der Einsatz subjektiver Indikatoren sowie der Einsatz einer Neben- oder Referenzaufgabe zur Erfassung der Beanspruchung im Serienfahrzeug nicht praktikabel [Sei12c]. Alle drei Indikatoren würden einen erheblichen Eingriff in den Fahralltag der Kraftfahrer bedeuten, weil zusätzliche Eingaben bzw. Tätigkeiten erforderlich wären. Au-

ßerdem werden diese Indikatoren der Forderung nach einer kontinuierlichen Beanspruchungserfassung nicht ausreichend gerecht, weil sie gewöhnlich punktuell erhoben werden [Sei12c]. Eine kontinuierliche subjektive Auskunft über den Fahrerzustand beispielsweise über die beständige Eingabe mittels eines Hebels oder Drehschalters ist denkbar, in der Realität jedoch aufgrund der zu erwartenden fehlenden Akzeptanz bei den Fahrern nicht umzusetzen.

Die Erfassung der Fahrerbeanspruchung über die Hauptaufgabe, die Fahrzeugführung, ist kontinuierlich und ohne Intrusion zu realisieren. Vorzugsweise wird hierbei auf Maße der Längs- und Querführung zurückgegriffen. Gängige Kenngrößen sind die Spurhalte- und Geschwindigkeitshaltegüte oder auch die Abstandshaltung zu einem Vorderfahrzeug. Da die Daten zur Determination dieser Kenngrößen üblicherweise ohnehin im Fahrzeug vorliegen, bietet diese Methode den Vorteil eines sehr geringen sensortechnischen Aufwands. Problematisch bei der Erfassung der Beanspruchung über die Hauptaufgabe im Kontext Informationsmanagement ist der Umstand, dass eine erhöhte Beanspruchung erst dann detektiert werden kann, wenn bereits Auswirkungen auf die Fahrerleistung vorliegen [Sei12c]. Die Sensitivität dieser Messmethode in dem für das Informationsmanagement relevanten Bereich des Workload-Regionenmodells A3 (Kapitel 2.1) ist nicht bzw. sehr eingeschränkt gegeben [DeW96, S. 101]. Dementsprechend kann ein Eingreifen des Informationsmanagementsystems mit dem Ziel, die Beanspruchung auf einem idealen Niveau zu halten, nur zu spät erfolgen. Innerhalb der nächsten Jahre ist mit einer weiteren Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen zur Unterstützung bei Längs- und Querführungsaufgaben zu rechnen. Diese Prognose gilt insbesondere für den Lkw-Bereich³. Werden grundlegende Aufgaben der Fahrzeugführung von Assistenzsystemen übernommen, entfallen die wichtigsten Kenngrößen für die Erfassung der Beanspruchung über die Hauptaufgabe. Daher erscheint der Indikator Hauptaufgabe nicht zukunftssicher und insgesamt ungeeignet als Basis für das zu konzipierende Informationsmanagementsystem [Sei12c].

Physiologische Indikatoren bieten die Möglichkeit einer kontinuierlichen Erfassung der mentalen Beanspruchung, bringen allerdings für einen Einsatz im Serienfahrzeug besondere Schwierigkeiten mit sich. So stellt die Interpretation der Daten, die inter- und intraindividuellen Schwankungen unterworfen sind, eine Herausforderung dar. Je nach verwendeter Messgröße spielen außerdem die vorherrschenden Umgebungsbedingungen eine relevante Rolle bei der Dateninterpretation. Schwankungen in der Umgebungstemperatur oder Helligkeit beispielsweise können das Messergebnis beeinträchtigen [DeW96, S. 43ff]. Manche Messgrößen verlangen daher zusätzlich die Messung von Umgebungsbedingungen. Um eine zuverlässige Erfassung physiologischer Indikatoren zu ermöglichen, ist heute meist noch ein direkter Kontakt zwischen Körper und Messgerät erforderlich. Dieser kann entweder durch Anbringen des Messgerätes direkt am Körper oder durch Auflegen bestimmter Körperstellen auf das Messgerät hergestellt werden. Diese Systeme bedeuten immer eine gewisse vorgegebene Körperhaltung für den Fahrer, was

³ In der EU Verordnung 660/2009/EC wird vorgeschrieben, dass ab 1.11.2015 in allen neuen Lkws radarbasierte Notbremssysteme und Spurverlassenswarner sowie ein Fahrstabilitätsregelsystem ab 2014 verbaut sein müssen [Eur09]. Dies macht deutlich, dass seitens des Gesetzgebers die Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen im Nutzfahrzeug gefördert wird.

insbesondere bei Berufskraftfahrern im Fahralltag zu Akzeptanzproblemen führen wird. Außerdem steigt durch die selbstständige und unter Umständen nicht fachgerechte Anbringung der Messinstrumente durch die Fahrer die Gefahr von Messfehlern. Tendenziell ist die Erfassung physiologischer Parameter technologisch aufwändiger und kostenintensiver als die Erfassung der Beanspruchung via Leistung in der Hauptaufgabe. Allerdings sind aufgrund der Vielfalt der Möglichkeiten und Messgrößen pauschale Aussagen kaum möglich. In letzter Zeit sind vermehrt Forschungsaktivitäten bezüglich einer ambienten physiologischen Erfassung von Fahrerbeanspruchung zu verzeichnen. Beispiele finden sich bei Daimler [Dai05] oder Eilebrecht [Eil11]. Unter ambient ist in diesem Zusammenhang ein Messsystem zu verstehen, das in die Umgebung eingebettet und für den Fahrer nicht bewusst zu berühren oder bedienen ist. Die Forschungsergebnisse sind durchaus vielversprechend. Jedoch liegt zum heutigen Zeitpunkt noch keine zuverlässige und praktikable Möglichkeit zur ambienten Beanspruchungsmessung im realen Fahralltag vor. Zum einen kann bei den aktuellen prototypischen Messverfahren noch nicht von vollständig ambienten Systemen gesprochen werden, weil nach wie vor bestimmte Voraussetzungen für eine erfolgreiche Erfassung der Beanspruchung erfüllt werden müssen. Beispielsweise sollte bei der Messung der Herzfrequenz über eingearbeitete Elektroden im Sitz dünne Kleidung getragen werden. Zum anderen werden Messungen im Realfahrzeug durch Störgrößen erschwert. Nach wie vor sind ein großer technischer Aufwand und Fachwissen bei der Installation und Nutzung ambienter Messverfahren und bei der Dateninterpretation von Nöten. Möglicherweise werden die aktuellen Hürden in naher Zukunft überwunden. Den physiologischen Indikatoren wird daher ein großes Zukunftspotential für den zuverlässigen und für Fahrer akzeptablen Einsatz zugeschrieben.

6.2 Schätzung der Fahrerbeanspruchung

Die Probleme der serienfähigen Erfassung mentaler Beanspruchung im Fahrzeug wurden in Kapitel 6.1 aufgezeigt. Um diese Probleme zu umgehen und dennoch eine Kenntnis der Fahrerbeanspruchung zu erhalten, ist die Schätzung der Beanspruchung eine sinnvolle Alternative. Das Modul zur Schätzung der Beanspruchung kann als in sich geschlossene Einheit umgesetzt werden, welche zu einem späteren Zeitpunkt durch ambiente physiologische Verfahren zur Erfassung der Beanspruchung ausgetauscht werden kann. Da beide Module, das Modul zur physiologischen Erfassung der Beanspruchung und das Modul zur Schätzung der Beanspruchung, einen Beanspruchungswert als Führungsgröße an das Informationsmanagementmodul weitergeben, hätte ein Austausch keine Auswirkungen auf das restliche Informationsmanagementsystem. Durch dieses Vorgehen wird ein zukunftsicherer Lösungsweg sichergestellt.

Es lassen sich zwei Ansätze zur Schätzung der Fahrerbeanspruchung unterscheiden: Die indirekte Schätzung und die direkte Schätzung der Beanspruchung [Dam05], [Hoe02], (Abbildung 6.2). Beide Ansätze stützen sich auf Fahrzeug- und Umweltdaten, anhand derer eine mittlere Beanspruchung geschätzt wird.

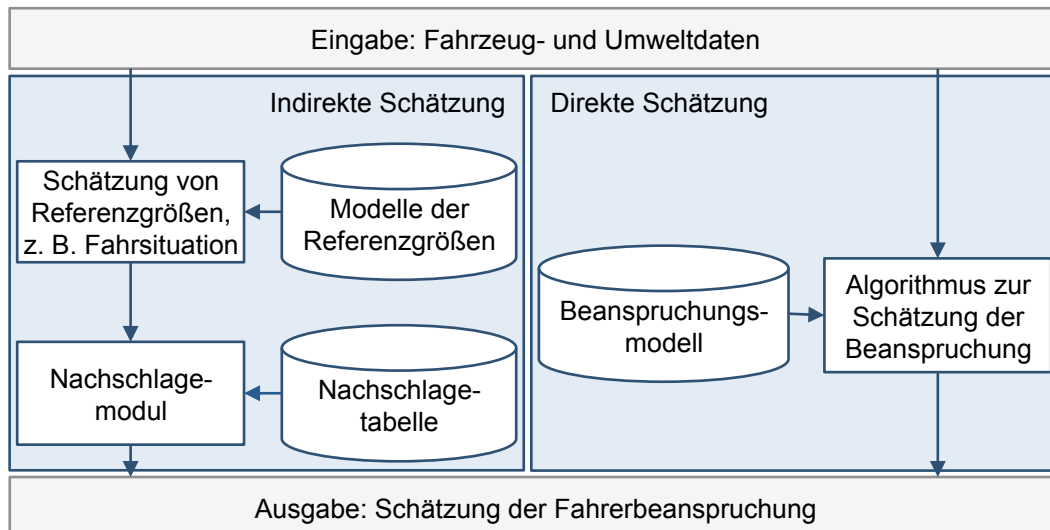


Abbildung 6.2: Abgrenzung der beiden Möglichkeiten zur Schätzung der Fahrerbeanspruchung nach [Dam05, S. 187]

Indirekte Schätzung der Beanspruchung Die indirekte Schätzung der Beanspruchung basiert auf der Erfassung einer Referenzgröße, welche in Zusammenhang mit der Fahrerbeanspruchung steht [Dam05], [Hoe02]. Als Referenzgröße für die Fahrerbeanspruchung bietet sich die vorherrschende Fahrsituation an. Diese kann über Fahrzeug- und Umweltdaten bestimmt werden. Für die verschiedenen Situationen sind in einer Nachschlagetabelle statische Beanspruchungswerte hinterlegt. Diese werden a priori beispielsweise in Probandenstudien erhoben und festgelegt. Über die Erkennung bestimmter Situationen kann so auf die vorliegende Fahrerbeanspruchung geschlossen werden [Dam05], [Hoe02].

Bei der indirekten Schätzung der Beanspruchung könnte beispielsweise die Situation „Spurwechsel“ erkannt werden. Dies geschieht auf Basis verschiedener Fahrzeug- und Umweltdaten, wie dem aktuellen Straßentyp aus der digitalen Karte, den Kameradaten zur Spurerkennung, der Blinkerstellung, dem Lenkwinkel etc. Die Algorithmen, anhand derer die Situation Spurwechsel auf der Basis dieser Daten erkannt wird, sind als Modell der Referenzgröße „Situation Spurwechsel“ hinterlegt. In der Nachschlagetabelle ist für die Situation Spurwechsel ein Beanspruchungswert hinterlegt. Dieser wird für die Dauer der erkannten Situation als aktuelle Fahrerbeanspruchung angenommen.

Da diesem Ansatz die Referenzgröße „Situation“ im Sinne von abgrenzbaren Fahrsituationen und Umweltbedingungen als Basis dient, kann von einer Betrachtung der Beanspruchung auf der Führungsebene gesprochen werden [Sei12c].

Direkte Schätzung der Beanspruchung Die direkte Schätzung der Beanspruchung schließt direkt anhand von Fahrzeug- und Umweltdaten auf die vorliegende Beanspruchung, ohne den Zwischenschritt über eine Referenzgröße zu gehen [Dam05], [Hoe02]. Dem Verfahren liegt ein Beanspruchungsmodell zugrunde, in welchem einzelnen Fahrzeug- und Umweltdaten Beanspruchungswerte zugewiesen werden [Dam05].

Im Gegensatz zur indirekten Schätzung wird die Beanspruchung bei der direkten Schätzung nicht auf Basis einer bestimmten erkannten Situation bestimmt, sondern direkt mit

den Fahrzeug- und Umweltdaten verknüpft. Beispielsweise wird der Wert der geschätzten Beanspruchung erhöht, wenn ein aktivierter Blinker detektiert wird. Bei der direkten Schätzung wird demnach nicht berücksichtigt, ob der Blinker auf einen Spurwechsel oder ein Abbiegen oder einen Hinweis für einen anderen Lkw-Fahrer etc. zurückzuführen ist.

Die Betrachtung der Beanspruchung erfolgt dementsprechend auf der Ebene der Stabilisierung [Sei12c]. Im Gegensatz zu den in Kapitel 3.3 genannten Informationsmanagementsystemen, die Fahrzeugdaten als Führungsgrößen verwenden, wird bei diesem Ansatz ein Beanspruchungswert als Führungsgröße verwendet, dessen Schätzung auf Fahrzeugdaten basiert. Die direkte Schätzung der Beanspruchung im Zusammenhang mit Informationsmanagement im Fahrzeug wurde in ähnlicher Form bei Muigg [Mui09] umgesetzt. Muigg schließt allerdings nicht auf die Beanspruchung, sondern auf einen sogenannten Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert. Dieser beschreibt, wie viel Aufmerksamkeit der Fahrer für die sichere Erfüllung seiner Fahraufgabe aufbringen muss [Mui09, S. 54].

Beide Verfahren bringen Vor- und Nachteile sowohl in der jeweils zugrunde liegenden Theorie des Beanspruchungsmodells als auch in der praktischen Umsetzung mit sich. Beiden Verfahren gemein ist die Tatsache, dass die geschätzten Beanspruchungswerte auf Mittelwerten beruhen und individuelle Stärken und Schwächen des jeweiligen Fahrers nicht oder nur kaum berücksichtigen. Wie in Kapitel 3.3 erwähnt, besteht für den Nutzfahrzeugbereich bislang kaum Wissen über die Beanspruchung von Berufskraftfahrern in einzelnen Situationen. Daher bietet der indirekte Ansatz, der auf im Vorfeld gemessenen Beanspruchungswerten in bestimmten Situationen basiert, neben dem praktischen Nutzen im Rahmen des Informationsmanagements auch einen erheblichen wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn in diesem Bereich. Die direkte Schätzung der Fahrerbeanspruchung auf der Stabilisierungsebene ist im Kontext Informationsmanagement als einfach gehaltene Alternativlösung zur aufwändigeren indirekten Schätzung zu sehen. Daher wird auf diesen Ansatz im Folgenden nicht näher eingegangen. Ausführungen zum Konzept und zur Umsetzung der direkten Schätzung der Beanspruchung, deren Vor- und Nachteile gegenüber der indirekten Schätzung sowie eine vergleichende Bewertung der beiden Konzepte im Rahmen einer Fahrstudie finden sich in [Sei12c]. Dort wird beschrieben, dass die Wahl zwischen direkter und indirekter Schätzung keinen wesentlichen Einfluss auf die Wirkung des Informationsmanagements hat. Kapitel 7 zeigt die Konzeptionierung und beispielhafte Umsetzung des indirekten Ansatzes zur Schätzung der Fahrerbeanspruchung auf der Führungsebene.

7 Indirekte Schätzung der Fahrerbeanspruchung

Die indirekte Beanspruchungsschätzung beruht auf einer begrenzten Menge an Situationen, die für die Fahrerbeanspruchung relevant sind. Die Vorauswahl dieser Situationen wird in Kapitel 7.1 beschrieben. Diese Situationen werden von einer Situationserkennung anhand von Fahrzeug- und Umweltdaten erkannt. Die Situationserkennung wird in Kapitel 7.2 erläutert. In einer Nachschlagetabelle wird jeder dieser Situationen ein Beanspruchungswert zugeordnet. Diese Werte wurden zuvor in Probandenstudien erhoben und validiert. Die Studien werden in den Kapitel 7.3 und 7.4 beschrieben. Die Schätzung der Gesamtbeanspruchung im Fahrzeug stellt Kapitel 7.5 dar, bevor in Kapitel 7.6 das Gesamtkonzept bewertet wird. Die beschriebene Gliederung des folgenden Kapitels verdeutlicht Abbildung 7.1.

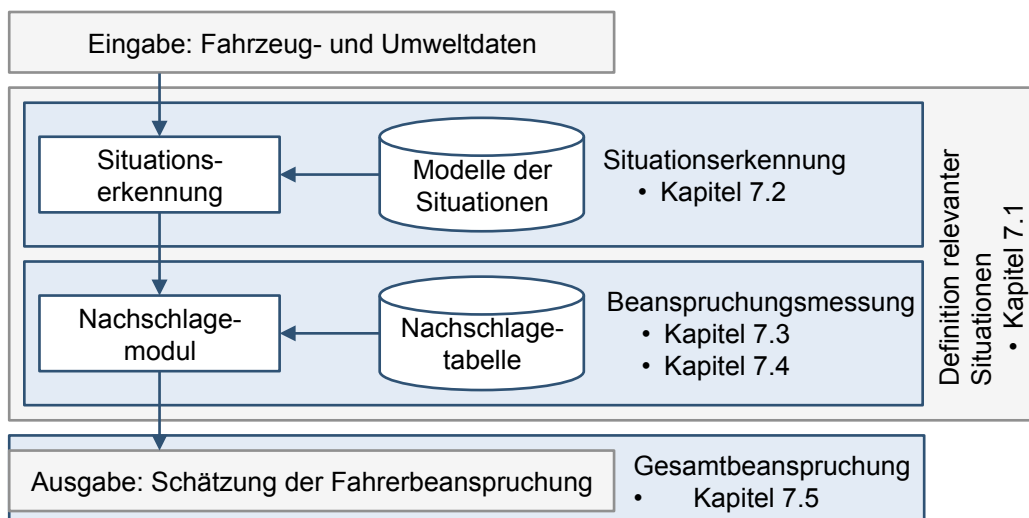


Abbildung 7.1: Aufbau des Kapitels 7 über die Umsetzung der indirekten Schätzung der Beanspruchung im Rahmen des Informationsmanagements

7.1 Auswahl relevanter Situationen zur indirekten Beanspruchungsschätzung

Die Auswahl der Situationen, welche die indirekte Schätzung der Beanspruchung berücksichtigen soll, ist für das Konzept der grundlegende Schritt. Denn es werden nur diejenigen Situationen Einfluss auf den geschätzten Beanspruchungswert haben, die in den Modellen der Situationen bzw. der Nachschlagetabelle hinterlegt sind.

Bevor ein Katalog mit potentiell zu berücksichtigenden Situationen aufgestellt werden kann, wird in Abschnitt 7.1.1 geklärt, was unter einer Situation zu verstehen ist. Da die Anzahl an Situationen bei der Umsetzung begrenzt ist, werden in einem zweiten Schritt diejenigen Situationen identifiziert, die tendenziell eine hohe Beanspruchung auslösen und dementsprechend einen hohen Nutzen im Kontext Informationsmanagement erzielen. Die Identifizierung relevanter Situationen erfolgt mittels einer explorativen Fahrerbefragung. Diese wird im Abschnitt 7.1.2 beschrieben.

7.1.1 Begriffsklärung Situation im Kontext Informationsmanagement

Es existiert keine einheitliche Definition des Begriffs „Situation“ im Kontext Straßenverkehr. Reichart [Rei01a] grenzt in diesem Zusammenhang drei Begriffe voneinander ab: Verkehrssituation, Fahrsituation und Fahrersituation. Als Verkehrssituation bezeichnet er die objektive Konstellation der Umgebungsbedingungen. Die Fahrsituation umfasst die Teilmenge daraus, die der Fahrer wahrnehmen könnte. Hiervon wiederum eine Teilmenge, die Fahrersituation, umfasst die tatsächlich wahrgenommene Information [Rei01a]. Fastenmeier [Fas94, S. 10] und von Benda et al. [Ben83, S. 1-8] definieren eine Verkehrssituation als Umgebung des Mensch-Maschine-Systems Fahrer-Fahrzeug aus Fahrersicht, und stimmen damit in etwa mit Reicharts Definition einer Fahrersituation überein. Die subjektive Komponente, die beide Definitionen berücksichtigen, entspricht den Anforderungen an die Betrachtungsweise von Situationen in der vorliegenden Arbeit. Denn die interessierende Beanspruchung ist laut Definition eine Folge des subjektiven Erlebens einer Situation. Die Fahrersituation nach Reichart gilt daher als Ausgangspunkt der nachfolgenden Betrachtungen.

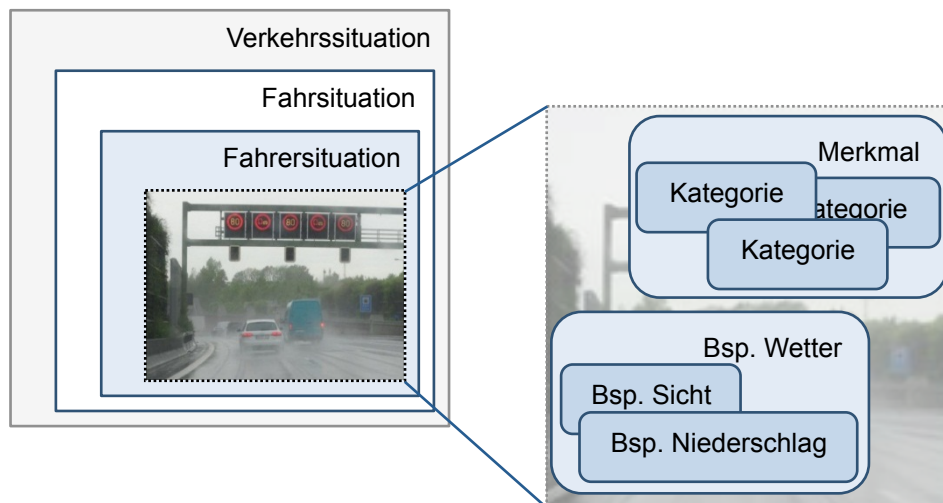


Abbildung 7.2: Zusammensetzung der Fahrersituation aus den Ausprägungen verschiedener Kategorien von Merkmalen

Zur übersichtlichen Darstellung und Abgrenzung einzelner Situationen im Kontext Straßenverkehr wurden verschiedene sogenannter Klassifikationssysteme entwickelt. Grundsätzlich setzt sich bei diesen Systemen die Fahrersituation zusammen aus verschiedenen Merkmalen mit verschiedenen Kategorien, welche wiederum verschiedene Ausprägungen annehmen (Abbildung 7.2). Ein Merkmal ist beispielsweise „Wetter“, eine Kategorie hiervon „Niederschlag“ mit den Ausprägungen „Base“⁴, „Regen“, „Schnee“ etc. Ein Beispiel eines Klassifikationssystems ist das System von Fastenmeier [Fas95, S. 49], aus welchem die Begriffe Merkmal, Kategorie und Ausprägung entnommen sind. Klebelsberg [Kle82, S. 119] beschreibt in Anbetracht der Vielzahl von denkbaren Ausprägungen und Kombinationsmöglichkeiten der Ausprägungen die Anzahl möglicher Situationen als praktisch unendlich groß. Daher sollte eine Situationsbeschreibung auf den jeweiligen Anwen-

⁴ Mit „Base“ ist in der vorliegenden Arbeit stets die Ausprägung „nicht vorhanden“ oder „ideal“ gemeint, im Falle des Beispiels „Niederschlag“ also die Ausprägung „kein Niederschlag“.

dungsfall angepasst und auf einen Umfang der Informationseinheiten ausgerichtet sein, der einen zielorientierten und effizienten Umgang ermöglicht. Für die indirekte Beanspruchungsschätzung ist eine Betrachtung der gesamten Fahrersituation nicht zielführend, weil die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten der Ausprägungen einem effizienten Erkennungsalgorithmus entgegensteht. Deshalb wird in einer tieferen Ebene der Taxonomie angesetzt. Es bietet sich die direkte Betrachtung der Ausprägungen der Kategorien selbst an. Zur Umsetzung der indirekten Beanspruchungsschätzung im Rahmen des Informationsmanagements werden daher in einem ersten Schritt relevante Ausprägungen identifiziert und erst dann in ihrer Kombination hinsichtlich der Gesamtbeanspruchung weiter betrachtet. Nachfolgend wird unter einer Situation also eine Merkmalsausprägung verstanden. Unter einer sogenannten Gesamtsituation bzw. Fahrersituation ist die Kombination verschiedener Merkmalsausprägungen unter dem Gesichtspunkt der resultierenden Gesamtbeanspruchung zu verstehen. Dies stellt einen vereinfachenden, jedoch sinnvollen Weg zur Umsetzung der indirekten Beanspruchungsschätzung dar.

Als Grundlage für die Identifikation beanspruchungsrelevanter Situationen dient ein Situationskatalog. Dieser wird aufbauend auf einer breiten Recherche von Klassifikationssystemen und speziell für den Lkw-Bereich anhand von Experteninterviews erstellt. Der Schwerpunkt dabei liegt auf Alltagssituationen, also Situationen, mit welchen Lkw-Fahrer in ihrem Fahralltag üblicherweise konfrontiert werden. Die Herleitung des Situationskatalogs ist in Anhang B beschrieben.

7.1.2 Explorative Fahrerbefragung

Um aus dem Situationskatalog diejenigen Situationen zu filtern, die für die weitere Betrachtung im Rahmen des Informationsmanagements im Nutzfahrzeug relevant sind, wird eine Fahrerbefragung auf Rastplätzen durchgeführt [Sei11]. 31 männliche Berufs-Lkw-Fahrer zwischen 23 und 66 Jahren ($M = 43,1$; $SD = 11,3$) werden basierend auf dem Gedanken der Methode der Critical Incidents⁵ gebeten, Situationen oder Umweltgegebenheiten zu nennen, in denen sie sich auf das Fahren konzentrieren müssen und keinesfalls abgelenkt werden möchten. Die Situationen, welche die Fahrer nennen, und die 70 Situationen, die der Situationskatalog umfasst, werden anschließend hinsichtlich der resultierenden Beanspruchung bewertet [Sei11].

Zur Erhebung der Beanspruchung wird die unidimensionale Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung (SEA) nach Eilers et al. [Eil86] herangezogen. Die SEA basiert auf der ursprünglich von Zijlstra [Zij93] entwickelten Rating Scale of Mental Effort (RSME) und misst die investierte Anstrengung, die zur Ausführung einer Aufgabe aufgebracht werden musste. Die RSME besteht aus einem 150mm langen Kontinuum und weist alle 10mm einen Skalenabschnitt auf. Sogenannte verbale Ankerpunkte, die entlang der Skala aufgebracht sind, sorgen für eine intersubjektiv einheitliche Interpretation der Skalenpunkte [Zij93]. Studien belegen die grundsätzliche Fähigkeit der RSME, Situationen mit und ohne

⁵ Die Critical Incident Technique oder auch Methode der kritischen Ereignisse ist eine teilstrukturierte Beobachtungs- und Befragungsmethode. Sie dient unter anderem der Sammlung sogenannter Schlüsselereignisse, wobei untypische, herausragende Ereignisse oder Verhaltensweisen erhoben werden [Fla54].

Beanspruchung zu unterscheiden [DeW96, S. 60]. Verwey und Veltman [Ver96] verwenden die RSME in einer Feldstudie und resümieren eine hohe Sensitivität der Skala für kurzzeitige Belastungserhöhungen während der Fahrt sowie für unterschiedlich lang andauernde Zusatzbelastungen. Die von Eilers et al. [Eil86] an den deutschsprachigen Raum angepasste SEA umfasst eine Skala von 0 bis 220 und Ankerpunkte von „kaum anstrengend“ bis „außerordentlich anstrengend“ (Anhang C). Schütte [Schü02] ist der Meinung, dass die SEA geringe Beanspruchungsunterschiede zwar nicht unterscheiden, visuelle Beanspruchung jedoch generell diagnostizieren könne.

Die SEA wird entsprechend den Anforderungen des vorliegenden Anwendungsfalls modifiziert. Die 70 zu bewertenden Situationen werden neben einer textuellen Beschreibung bildlich dargestellt, um sicherzustellen, dass die Befragten ihre Urteile basierend auf dem selben Stimulusmaterial abgeben [Sei11]. Die Bilder der Situationen werden auf Magneten, die SEA auf einer magnetischen Tafel angebracht. So können die Situationen in Form des Bildes entsprechend der resultierenden Anstrengung auf der Tafel angebracht werden (Abbildung 7.3) [Sei11]. Dieses Vorgehen ermöglicht den Befragten, die Situationen relativ zueinander zu bewerten. Die aktive Einbindung wirkt außerdem einer Ermüdung der Studienteilnehmer entgegen. Die in der Critical Incident Technique ergänzten Situationen werden ebenfalls anhand der SEA, jedoch ohne eine bildliche Darstellung bewertet [Sei11].



Abbildung 7.3: Durchführung der explorativen Fahrerbefragung zur Identifikation beanspruchungsrelevanter Situationen

Die Auswertung zeigt, dass Fahrten bei schlechter Witterung auf der verwendeten Skala als „einigermaßen beanspruchend“ empfunden werden. Dabei bewerten die Fahrer die Beanspruchung in den Situationen Nebel, Glätte und Schnee höher als bei Sonnenblendung und Regen [Sei11]. Dies ist konsistent zu den Ergebnissen der Studie der NHTSA [Kig96] (Kapitel 2.2). Außerdem werden Situationen anstrengend empfunden, in welchen Lkw-Fahrer die Gefährdung schwächerer Verkehrsteilnehmer befürchten [Sei11]. Dies ist zum einen bei der Präsenz von Passanten oder Radfahrern gegeben, zum anderen bei der Durchfahrt von Baustellenbereichen. Hier fürchten die Befragten insbesondere im Bereich von Bodenwellen oder Überleitungen auf die Gegenfahrbahn, einen überholenden Pkw zu streifen. Dies sei nicht unmittelbar ein Problem der verminderten Fahrbahnbreite, die für Berufskraftfahrer keine Schwierigkeit darstelle. Vielmehr fürchten die Fahrer den unvermeidbaren Versatz des Lastzuges bei Fahrbahnunebenheiten, welcher sich auch durch sofortiges Eingreifen bzw. Gegenlenken nicht vollständig vermeiden lasse. Stau und hohes Verkehrsaufkommen werden ebenfalls anstrengend erlebt, was möglicher-

weise auf die implizierte Erhöhung des Termindrucks durch Zeitverzug erklärt werden kann [Sei11]. Auch in den Studien der NHTSA [Kig96, S. 4ff], von Ellinghaus und Steinbrecher [Eil02, S. 230] sowie von Evers [Eve09, S. 242] werden Störungen im Verkehrsfluss von den befragten Fahrern als besondere Belastung gesehen. Insgesamt wird die Beanspruchung in den einzelnen Situationen tendenziell gering bewertet. Ein Vergleich mit einer Studie aus dem Pkw-Bereich von Muigg [Mui09, S. 73ff] bestätigt diesen Eindruck. Besonders Fahrmanöver, wie Überholen, Abbiegen oder Spurwechsel, werden mit geringen Beanspruchungen kleiner als „etwas anstrengend“ auf der SEA bewertet. Dies ist möglicherweise auf die hohe Routine der Berufskraftfahrer in der Fahrzeugführung zurückzuführen.

Für das Konzept der indirekten Beanspruchungsschätzung können basierend auf den Ergebnissen der explorativen Fahrerbefragung 44 Situationen identifiziert werden, die in der nachfolgenden Studie weiter betrachtet werden. Die Herleitung der 44 Situationen wird im Anhang B detailliert beschrieben. Die Situationen entstammen dem ursprünglichen Situationskatalog, der auf Basis einer breiten Recherche und zusätzlich durchgeführten Experteninterviews entstand. Außerdem sind einige wenige Situationen in den gefundenen 44 relevanten Situationen enthalten, welche die Lkw-Fahrer im Rahmen der Befragung basierend auf der Methode der Critical Incidents ergänzten. Durch das im Anhang B beschriebene Vorgehen ist davon auszugehen, dass die auftretenden beanspruchenden Situationen eines Berufs-Lkw-Fahrers mit den gefundenen 44 Situationen breit abgedeckt werden können. Dennoch könnte in weiteren Studien die Vollständigkeit dieser Situationen untersucht werden. Das Konzept der indirekten Beanspruchungsschätzung im Rahmen des Informationsmanagements sieht eine einfache Erweiterung um weitere Situationen vor.

7.2 Erkennung relevanter Situationen durch eine Situationserkennung

Um die 44 Situationen, die in der explorativen Fahrerbefragung gefunden wurden, über die Fahrzeugsensorik erkennen zu können, wird eine Situationserkennung konzipiert und umgesetzt. Maurer [Mau00, S. 35] bezeichnet eine Situationserkennung als die Analyse einer Situation hinsichtlich der Umstände, die für die Ausführung der aktuellen Aufgabe relevant sind. Er trifft damit eine wichtige Einschränkung dahingehend, als dass es nicht zwingend erforderlich ist, die vorherrschende Situation ganzheitlich zu erfassen. Übertragen auf die Anwendung der indirekten Beanspruchungsschätzung bedeutet dies, dass die Erfassung derjenigen Parameter ausreichend ist, die zur Identifizierung der a priori definierten Situationen führen.

7.2.1 Konzeptionelle Entwicklung der Situationserkennung

Für die Erkennung der Situationen werden Daten über das Fahrzeug sowie die Umwelt herangezogen. Zur Fehlerdiagnose sowie zur Überwachung des Fahrzustandes ist in heutigen Fahrzeugen eine Vielzahl an Sensoren verbaut. Die Fahrzeugsensoren arbeiten zuverlässig und hinreichend genau, so dass von einer guten Datenbasis über den Fahrzeugzustand ausgegangen werden kann. Die Erfassung der Umweltparameter stellt sich aufwändiger dar. Die Daten von Umweltsensoren, wie beispielsweise dem Radarsensor,

müssen in ihrem Zusammenspiel interpretiert werden, um eine Erfassung der vorliegenden interessierenden Situation zu ermöglichen.

Anforderungen an die Situationserkennung Bei der Umsetzung der Situationserkennung soll auf aufwändige Zusatzsensorik verzichtet werden. Dies trägt, neben grundsätzlich serienfähigen Algorithmen, zu einer hohen Umsetzungswahrscheinlichkeit in einem Serien-Lkw bei. Die Situationserkennung soll erweiterbar und modular aufgebaut sein. So kann sie im Rahmen anderer Anwendungen einfach wiederverwendet werden. Um ein transparentes Systemverhalten zu erreichen, sollen die Ergebnisse der Situationserkennung stets nachvollziehbar erzeugt werden. Die Situationserkennung erfolgt mit einer tendenziell sensiblen Auslöseschwelle. Diese Forderung ist darin begründet, dass eine positive Fehlerkennung im schlimmsten Fall zu einer verzögerten Meldungsabgabe führt, obwohl keine beanspruchende Situation vorliegt. Die Auswirkung dieses Fehlers ist für den Fahrer weniger relevant, verglichen mit der Auswirkung des umgekehrten Falls, dass eine Meldung in einer nicht erkannten, jedoch beanspruchenden Situation ausgegeben wird. Das tendenziell empfindliche Auslöseverhalten ist zu berücksichtigen, sollte das Konzept der Situationserkennung auf andere Anwendungen übertragen werden. Abbildung 7.4 zeigt die Anforderungen an eine Situationserkennung im Rahmen der indirekten Beanspruchungsschätzung in einer Zusammenfassung.



Abbildung 7.4: Anforderungen an die Situationserkennung im Rahmen der indirekten Beanspruchungsschätzung

Inferenzmechanismus Unter Inferenz wird das Folgern einer Aussage aus bekannten Fakten verstanden. Übertragen auf den Kontext Situationserkennung ist unter Inferenz das Schließen auf eine Situation über Sensordaten gemeint. Als Inferenzmechanismus im Kontext des Informationsmanagements dient ein sogenannter regelbasierter Ansatz. Bei einem regelbasierten Ansatz werden Variablen mithilfe boolescher Operatoren zu Entscheidungsregeln („Wenn-Dann-Regeln“) verknüpft. Der Vorteil des regelbasierten Ansatz-

zes ist die hohe Anschaulichkeit und leicht verständliche Darstellung der zugrunde liegenden Regeln. Wenn-Dann-Regeln können in natürlicher Sprache ausgedrückt werden und erleichtern so den Wissensaustausch zwischen den Entwicklern. Das Systemverhalten ist wegen der von vornherein festgelegten Logik einfach nachvollziehbar. Da auf komplexe Datenstrukturen verzichtet werden kann, ist das Konzept prinzipiell erweiterbar. Der Nachteil des regelbasierten Ansatzes ist, dass keine Information über die Verlässlichkeit der Erkennung vorliegt, weil Situationen nur binär als „vorliegend“ oder „nicht vorliegend“ erkannt werden [Hör11, S. 34]. Dieser Nachteil wäre bei wahrscheinlichkeitsbasierten Inferenzmechanismen nicht vorhanden. Jedoch steht der Anwendung dieser Verfahren insbesondere die Forderung nach der Nachvollziehbarkeit des Systemverhaltens entgegen.

Architekturmodell Die Situationserkennung wird anhand des EVA-Prinzips konzipiert [Hör11, S. 44ff], [Ste12, S. 24]. Das EVA-Prinzip (Eingang-Verarbeitung-Ausgang) gilt als Grundschema der Datenverarbeitung. Der Eingangsblock empfängt die Daten der verwendeten Sensorik und bereitet sie auf, beispielsweise indem eine Umrechnung der Einheiten vorgenommen wird. Im Ausgangsblock werden die erkannten Situationen zur weiteren Verwendung bereitgestellt. Im Verarbeitungsblock findet die eigentliche Inferenz statt. Dieser Block wird durch ein Drei-Ebenen-Modell beschrieben und besteht aus der Ebene der Untervariablen, der Ebene der Situationsvariablen und der Ebene der Situationen (Abbildung 7.5).

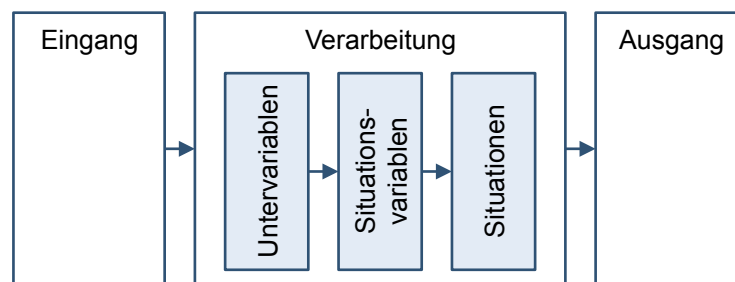


Abbildung 7.5: Drei-Ebenen-Modell der Situationserkennung

Die unterste Ebene im Verarbeitungsblock nimmt eine sensornahe Vorverarbeitung der Daten vor. Hier werden Zwischenergebnisse, sogenannte Untervariablen, berechnet, welche von den nächsthöheren Ebenen verwendet werden. So wird eine redundante Ausführung der selben Routinen vermieden. Als Beispiel für eine Untervariable sei die Information über einen Spurübertritt genannt, welche von diversen Funktionen zur Erkennung von Situationsvariablen herangezogen wird [Hör11, S. 45].

Die Ebene der Situationsvariablen wird eingeführt, um einen möglichst hohen Grad an Modularität und Wiederverwendbarkeit zu gewährleisten. Die Situationsvariablen stellen die kleinste Beschreibungseinheit einer Situation dar und können nach Bedarf ergänzt oder adaptiert und auch anderen Anwendungen zur Verfügung gestellt werden. Aufgrund der jeweils abgeschlossenen Einheiten in Form der Situationsvariablen entsteht eine hohe Übersichtlichkeit. Kapitel 7.1.1 definiert den Begriff Situation für die vorliegende Arbeit als die kleinste Einheit des Klassifikationssystems nach Fastenmeier [Fas94]. Dadurch entsprechen viele der Situationsvariablen den eigentlichen Situationen, wie sie in der Nachschlagetabelle hinterlegt sind. Dennoch ist bei manchen Situationen eine weitere Gliederung in Situationsvariablen zweckmäßig. Ein Beispiel hierfür ist die Situation Überholen,

die in die zeitlich gegliederten Situationsvariablen Ausscheren, Passieren und Einscheren zerlegt wird.

Eine Situation auf der höchsten Ebene des Drei-Ebenen-Modells der Situationserkennung wird ausschließlich durch Kombination von Situationsvariablen beschrieben. Sie gilt als erkannt, wenn die entsprechenden Ausprägungen der beschreibenden Situationsvariablen vorliegen. Wie bereits erwähnt, kann eine Situation auch durch eine einzige Situationsvariable beschrieben werden [Hör11, S. 44ff], [Ste12, S. 24].

Plausibilisierung Die größte Herausforderung bei der Erkennung von Situationen anhand von Fahrzeug- und Umweltdaten ist die Unterscheidung von Situationen, die einander sehr ähnlich sind. Dies betrifft beispielsweise Abbiegesituationen, die unter anderem anhand der vorherrschenden Kreuzungsregelung differenziert werden. Diese ist durch die Sensorik nicht immer eindeutig zu erkennen. So kann der Fall auftreten, dass mehrere, einander ähnliche Situationen gleichzeitig erkannt werden. Um diesen Fehlerfall auszuschließen, werden die erkannten Situationen in einem letzten Schritt plausibilisiert. Dazu werden Kategorien von Situationen gebildet, deren Auftreten sich gegenseitig ausschließt. Werden mehrere Situationen innerhalb einer dieser Kategorien gleichzeitig durch die Situationserkennung erkannt, so wird diejenige als vorliegend angenommen, deren hinterlegter Beanspruchungswert am höchsten ist [Ste12, S. 120f]. Diesem Vorgehen liegt die selbe Überlegung zugrunde, die bereits im Zusammenhang mit dem sensiblen Auslöseverhalten der Situationserkennung diskutiert wurde. So stellt ein unnötiges Zurückhalten einer Meldung aufgrund einer zu hoch geschätzten Beanspruchung eine geringere Beeinträchtigung für den Fahrer dar, als der umgekehrte Fall einer Meldungsausgabe trotz hoher Beanspruchung.

Verwendete Sensorik Die Erkennungsgüte der Situationserkennung hängt wesentlich von den zugrunde liegenden Fahrzeug- und Umweltdaten ab. Für die Umsetzung der vorliegenden Situationserkennung kommt Sensorik zum Einsatz, welche innerhalb eines Zeithorizonts von etwa fünf Jahren in einem Lkw serienfähig zur Verfügung stehen wird. In Expertengesprächen wurde diese identifiziert. Aufgrund der gravierenden Unterschiede der verfügbaren Sensorik je nach Ausstattungsvariante des jeweiligen Lkws werden zwei verschiedene Varianten der Situationserkennung umgesetzt und getestet (Abbildung 7.6).

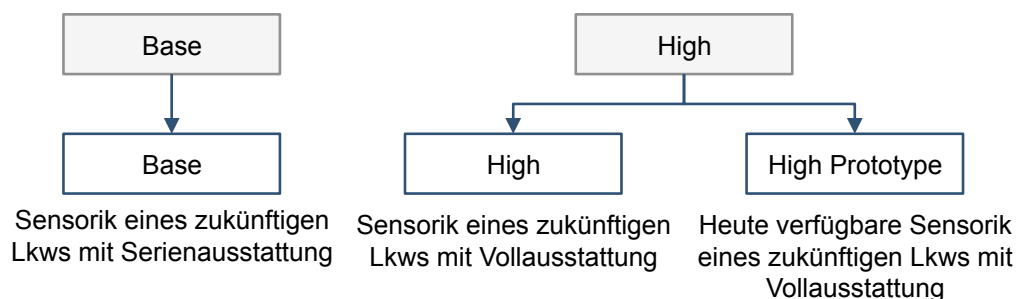


Abbildung 7.6: Varianten der Situationserkennung

Die Variante „Base“ verwendet die Sensorik, die in einem Lkw mit Serienausstattung vorhanden sein wird, während die Variante „High“ auf die Sensorik eines vollausgestatteten Fahrzeuges zurückgreift [Hör11, S. 43], [Ste12, S. 14]. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Varianten ist die Verwendung von Kameradaten und Informationen einer digitalen Karte in der High Variante. In beiden Ausstattungsvarianten werden unter

anderem Daten des Radarsensors zur Abstandserkennung, des Lane Guard Systems zur Spurerkennung, des Regen/Licht-Sensors, des digitalen Tachographen sowie weitere Fahrzeugdaten (Gang, Lenkwinkel, Pedalstellungen etc.) verwendet. Eine detaillierte Auflistung der verwendeten Daten bietet Anhang D. Durch die Realisierung und die vergleichende Bewertung der Varianten High und Base kann die maximale und minimale Erkennungsgüte ermittelt werden, die sich durch die Verwendung serienfähiger Sensorik erzielen lässt. Da zum heutigen Zeitpunkt die in der Variante High vorgesehene Sensorik nicht uneingeschränkt zur Verfügung steht, wird zur Evaluierung ein weiteres Derivat umgesetzt, die Variante „High Prototype“. Diese Variante basiert auf der Variante High. Allerdings werden diejenigen Daten simuliert, die aufgrund fehlender Sensorik aktuell nicht verfügbar sind.

7.2.2 Implementierung und Evaluation der Situationserkennung

Das in Kapitel 7.2.1 vorgestellte Konzept einer regelbasierten Situationserkennung wird für die Situationen der Nachschlagetabelle implementiert und getestet. Das Ziel hierbei ist nicht, eine möglichst umfassende, serientaugliche Situationserkennung umzusetzen bzw. umfangreiche Untersuchungen durchzuführen. Der Schwerpunkt des Vorhabens liegt auf der Entwicklung einer prototypischen Situationserkennung auf der Basis des hergeleiteten Architekturmodells, um das Potential des regelbasierten Ansatzes für einen Einsatz im Rahmen des Informationsmanagements abschätzen zu können.

Spezifikation der Situationen und der Sensorik Bevor die regelbasierte Situationserkennung umgesetzt werden kann, werden die einzelnen Situationen der Nachschlagetabelle unter dem Aspekt Situationserkennung spezifiziert. Im Mittelpunkt steht die genaue Beschreibung der jeweiligen Situationen anhand von Parametern, die idealerweise sensortechnisch erfasst werden können. Außerdem wird in Expertenrunden eine sinnvolle Gliederung der Situationen in wiederverwendbare Situationsvariablen vorgenommen. Für jede Situation bzw. Situationsvariable werden ein definierter Beginn, geltende Bedingungen während der Situation sowie ein definiertes Ende in Textform festgehalten. Aus diesen Beschreibungen, die in Schaubildern zusätzlich visualisiert werden, leiten sich Flussdiagramme ab. Diese dienen als Grundlage für die spätere Implementierung. Ein wichtiger Aspekt bei der Spezifikation der Situationen und Situationsvariablen ist eine möglichst frühzeitige Erkennung, wobei die resultierende steigende positive Fehlerkennungsrate in Kauf genommen wird. Liegt für jede der Situationen und Variablen eine eindeutige Definition der beschreibenden Parameter vor, werden die Sensoren, welche für die Erfassung dieser Parameter geeignet sind, aus der zur Verfügung stehenden Sensorik bestimmt. Unter Umständen erfordert fehlende Sensorik die iterative Anpassung der Flussdiagramme, um eine Erkennung anhand alternativer Daten zu ermöglichen. Die verwendete Sensorik wird auf Zuverlässigkeit getestet. Für kritische Eingangswerte werden Rückfalllösungen vorgesehen.

Implementierung Die Algorithmen zur Erkennung der Situationsvariablen werden anhand der erstellten Flussdiagramme umgesetzt. Die Implementierung der Variablen des Drei-Ebenen-Modells der Situationserkennung erfolgt mithilfe der Software Matlab/Simulink. Zur Realisierung werden je nach Anwendungsfall sowohl Signalflusspläne als auch Zustandsübergangdiagramme umgesetzt. Bei Bedarf werden beide Möglichkeiten in hybriden Modellen kombiniert.

Als Beispiel für die Erkennung einer Situationsvariablen anhand eines Signalflussplanes und für die Unterscheidung der beiden Ausstattungsvarianten High und Base wird die Erkennung von Schneefall herangezogen. Wie Abbildung 7.7 zeigt, werden bei dem regelbasierten Ansatz verschiedene Eingangsgrößen über boolesche Operatoren miteinander verknüpft, um zu einer Aussage über eine vorliegende Situation zu kommen. Im Falle der Erkennung von Schneefall wird die Aktivität des Scheibenwischers geprüft. Ist dieser aktiv, deutet das auf Niederschlag hin. In der High Variante steht zusätzlich ein Regensensor zur Verfügung, der ebenfalls Niederschlag detektiert. Zur Spezifizierung des Niederschlages wird die Außentemperatur hinzugezogen, anhand derer Regen und Schneefall differenziert werden [Ste12, S. 105].

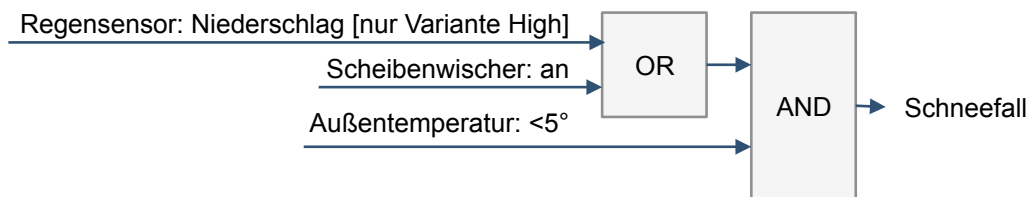


Abbildung 7.7: Signalflussplan der Situationsvariablen Regen bzw. Schneefall

Abbildung 7.8 zeigt ein Zustandsübergangsdiagramm beispielhaft für die Situationsvariable Rückwärts Fahren. Die Erkennung dieser Variable ist für die Varianten High und Base identisch. Das Zustandsübergangsdiagramm ist zu verstehen als vereinfachte Darstellung der Algorithmen mit dem Ziel, eine transparente Diskussionsgrundlage zu schaffen. So sind zum Beispiel nur diejenigen Bedingungen dargestellt, die zum Übertritt von einem Zustand in den nächsten führen, nicht jedoch die Ausschlusskriterien. Der Zustand Rückwärts Fahren wird über die Bedingung erreicht, dass der Rückwärtsgang eingelegt ist und zusätzlich entweder das Gaspedal betätigt oder die Fahrtgeschwindigkeit größer 0 ist. Die Fahrtgeschwindigkeit liegt unabhängig von der Fahrtrichtung stets positiv vor. Solange diese Bedingung erfüllt ist, wird in dem Zustand Rückwärts Fahren verblieben. Die Betrachtung sowohl des Gaspedals als auch der Fahrtgeschwindigkeit stellt die Berücksichtigung der beiden Sonderfälle sicher, dass ein Fahrzeug rollt (Fahrzeugbewegung ohne gedrücktes Gaspedal) sowie dass der Fahrer die Absicht hat, rückwärts zu fahren (gedrücktes Gaspedal, kurz bevor eine Fahrzeugbewegung einsetzt) [Ste12, S. 34].

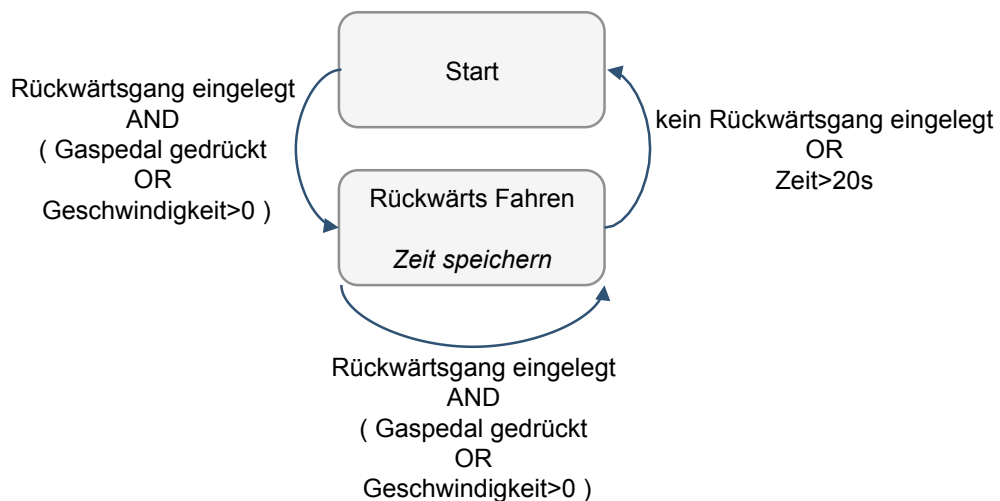


Abbildung 7.8: Zustandsübergangsdiagramm der Situationsvariablen Rückwärts Fahren

Evaluierung Die Evaluierung der regelbasierten Situationserkennung dient drei Zielen. Es wird untersucht, ob die definierten situationsbeschreibenden Parameter durch die Sensorik erkennbar und für eine Erfassung der Situationen ausreichend sind. Es werden iterativ Lösungsstrategien für Nicht- oder Fehlerkennungen entwickelt. Außerdem wird die Güte der Situationserkennung insgesamt überprüft, wobei der Schwerpunkt weniger auf umfassenden Tests, sondern vielmehr auf der Schaffung einer Bewertungsgrundlage des Konzepts liegt. Um diese Ziele zu erreichen, wird ein zweigleisiges Testkonzept angewendet. Die Variante High Prototype, welche die testbare Ableitung der Variante High darstellt, wird in einem Realversuch evaluiert. Bei diesem Versuch wird ein Großteil der in der Situationserkennung berücksichtigten Situationen getestet. Die genaue Herleitung der untersuchten Situationen beschreibt Anhang B. Als Versuchsträger wird eine MAN TGX Sattelzugmaschine verwendet, welche neben gängigen Fahrzeugsensoren über einen Radarsensor, bildverarbeitende Sensorik sowie einen GPS-Empfänger in Verbindung mit einer digitalen Karte ausgestattet ist. Bei der Untersuchung der Situationserkennung im realen Verkehrsgeschehen werden ein Testfahrer mit geringer Fahrerfahrung sowie zwei Berufs-Lkw-Fahrer eingesetzt. Die Testfahrer werden über die detaillierten Hintergründe der Versuchsfahrten im Unklaren gelassen, um eine Anpassung ihres Fahrverhaltens an den Untersuchungsgegenstand zu vermeiden. Durch den Einsatz von Fahrern mit unterschiedlicher Fahrerfahrung können verschiedene Fahrprofile überprüft werden. Die Untersuchung der Base Variante erfolgt mit Ausnahme der Situationen, die zur High Variante identisch umgesetzt sind, anhand im Vorfeld bzw. im Realversuch aufgezeichneter Fahrzeugdaten durch eine Offline-Simulation. Die Ergebnisse der Auswertung des Realversuchs sowie der Offline-Simulation für die beiden Varianten der Situationserkennung zeigt Anhang E im Detail. Situationen, deren Erkennung schwerpunktmäßig auf zuverlässig vorliegenden Fahrzeugdaten beruht, werden in beiden Ausstattungsvarianten gut erkannt. Bei Situationen, welche anhand von Umweltparametern erkannt werden, ergeben sich Unterschiede in der Erkennungsgüte zwischen der High und Base Ausführung. Den größten Mehrwert der High Variante bietet die digitale Karte, weil dadurch insbesondere infrastrukturgebundene Situationen, wie Auffahrten, Abbiegesituationen etc. zuverlässig erkannt und differenziert werden können.

Diskussion des Konzeptes der Situationserkennung Das vorgestellte Konzept der regelbasierten Situationserkennung erfüllt die grundsätzlichen Anforderungen an die Situationserkennung, die in Abbildung 7.4 gezeigt werden. Sie stellt daher eine gute Möglichkeit dar, die Schätzung der Referenzgröße Fahrsituation im Rahmen der indirekten Beanspruchungsschätzung zu realisieren. Für eine hohe Erkennungsgüte wird der Einsatz einer digitalen Karte zusätzlich zu der Sensorik, welche in einem Lkw mit Serienausstattung verfügbar ist, empfohlen. Neben der besseren Erkennung und besseren Differenzierung vor allem von Kreuzungssituationen bietet die Einbeziehung der digitalen Karte die Möglichkeit, bestimmte Situationen bereits sehr früh zu erkennen. Ein Beispiel hierfür ist die Fahrt in einem Kreisverkehr, welcher basierend auf dem charakteristischen Lenkwinkelverlauf erst während der Durchfahrt erkannt wird. Mit den Informationen der digitalen Karte kann ein Kreisverkehr rechtzeitig mit Beginn der Durchfahrt erkannt werden. Außerdem könnte im Kontext des Informationsmanagements bereits in der Vorbereitungsphase auf eine beanspruchende Situation eine Meldungsausgabe unterbunden werden (zum Thema Vorbereitungsphase siehe Kapitel 8.2). Die Untersuchung der Situationserkennung im Rahmen dieser Arbeit mit drei Fahrern und einer begrenzten Anzahl an Testfällen für jede

Situation geben einen ersten vielversprechenden Eindruck vom Potential des regelbasierten Ansatzes. Um eine umfassendere Aussage zur Güte der Situationserkennung treffen zu können, sind weiterführende Untersuchungen erforderlich. Der entscheidende Nachteil des vorgestellten Ansatzes ist, dass keine Aussage über die Verlässlichkeit der Angaben über die erkannten Situationen möglich ist. Es ist eine hohe Anzahl an Regeln für die Realisierung einer zuverlässigen regelbasierten Situationserkennung nötig, was zu Einbußen bei der Übersichtlichkeit führen könnte. Diesem Problem kann mit einer strengen Gliederung in kleine Einheiten, die Situationsvariablen, begegnet werden. Alles in allem scheint das entwickelte Konzept einer Situationserkennung grundsätzlich geeignet für die Anwendung im Kontext des Informationsmanagements.

7.3 Fahrsimulatorstudie zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung

Wie bereits erwähnt, stellt die Identifikation relevanter Situationen für das Informationsmanagement den grundlegenden Schritt für das Konzept der indirekten Beanspruchungsschätzung dar. In einer explorativen Fahrerbefragung wurden diese Situationen gefunden (Kapitel 7.1). Diese Situationen können durch die in Kapitel 7.2 vorgestellte Situationserkennung erkannt werden. Für jede dieser Situationen wird ein Beanspruchungswert determiniert und in der Nachschlagetabelle hinterlegt. Das beschriebene Vorgehen zeigt Abbildung 7.9.

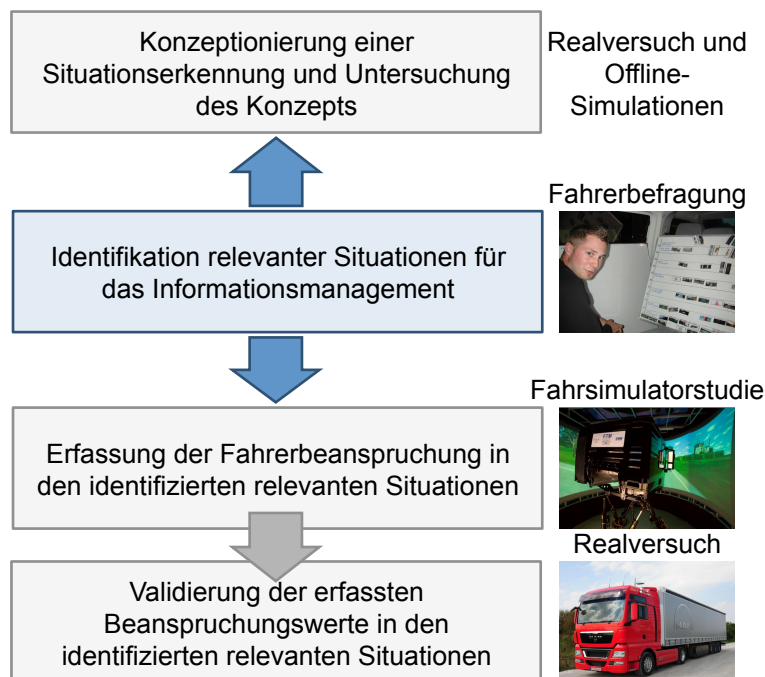


Abbildung 7.9: Vorgehen zur Umsetzung der indirekten Schätzung der Fahrerbeanspruchung

In einer Studie am dynamischen Lkw-Fahrsimulator werden die als relevant für das Informationsmanagement identifizierten Situationen hinsichtlich ihrer tatsächlich verursachenden Beanspruchung untersucht. Eine Fahrsimulatorstudie bietet den Vorteil, unter den stets gleichen Bedingungen gezielt bestimmte Situationen herbeizuführen, ohne die Versuchspersonen zu gefährden. Gerade der Ausschluss äußerer Einflussfaktoren, der eine Isolation der zu untersuchenden situativen Bedingungen erlaubt, macht den Fahrsimulator

zu einem geeigneten Instrument für die vorliegende Fragestellung. In Kapitel 7.4 wird die Validierung der Ergebnisse dieser Studie im Rahmen eines Realversuches beschrieben.

7.3.1 Experimentelles Design und Versuchsablauf

In der Fahrsimulatorstudie wird durch Variation der Fahrsituationen und der daraus folgenden Variation der Belastung die mentale Beanspruchung beeinflusst. Somit ist die jeweilige Situation als unabhängige, die Beanspruchung als abhängige Variable zu verstehen. Um einen repräsentativen Beanspruchungswert zu ermitteln, kommt ein Versuchsdesign mit Messwiederholung zum Einsatz. Die 44 getesteten Situationen werden auf sieben Fahrtabschnitte verteilt [Sei11]. Davon beinhalten zwei der sieben Abschnitte eine Fahrt auf Autobahnen, zwei eine Fahrt auf Landstraßen und drei der Abschnitte eine Fahrt in städtischer Umgebung. Die drei Blöcke (Autobahn, Landstraße, Stadt) werden in ihrer Reihenfolge permutiert, innerhalb der Blöcke ist sowohl die Reihenfolge der Abschnitte als auch die Reihenfolge der Situationen innerhalb eines Abschnittes fest vorgegeben. Die Ausnahme hiervon bildet der innerstädtische Block, bei welchem zusätzlich die drei darin enthaltenen Abschnitte permutiert werden. Jeder der Abschnitte enthält vier bis maximal 13 interessierende Situationen, die in einem ausreichenden zeitlichen Abstand voneinander auftreten. Bei der Implementierung der Situationen wird darauf geachtet, dass jeweils nur die interessierenden situativen Bedingungen den ausschlaggebenden Faktor für die Beanspruchung darstellen. So kann die Gefahr vermindert werden, dass die Beanspruchung von verschiedenen Bedingungen gleichzeitig beeinflusst wird (Konfundierungseffekt) [Sei11]. Da die untersuchten Situationen nahezu ausnahmslos alltägliche Herausforderungen für Berufs-Lkw-Fahrer darstellen, kann von einer hohen ökologischen Validität, d. h. allgemeinen Gültigkeit bzw. Verallgemeinerungsfähigkeit der Versuchsergebnisse, ausgegangen werden. Die Strecken zwischen den Situationen sind unauffällig gestaltet. Zusammen mit dem Umstand, dass die Anzahl der interessierenden Situationen innerhalb eines Fahrtabschnittes begrenzt ist, wird eine hohe Salienz, d. h. Auffälligkeit, der zu testenden Situationen angenommen, was insbesondere für die im Anschluss an die Fahrten erfolgten Befragungen hilfreich ist. Eine detaillierte Beschreibung des Streckendesigns bietet Anhang F.

Zu Beginn des Versuchs werden demografische und berufsspezifische Daten erhoben. Außerdem wird das Persönlichkeitsmerkmal Neurotizismus erhoben, um eine Aussage über die Belastbarkeit der teilnehmenden Versuchspersonen treffen zu können. Personen mit niedrigen Neurotizismuswerten sind eher ruhig, entspannt, zufrieden und stabil, während Personen mit hohen Neurotizismuswerten eher nervös, ängstlich, traurig und unsicher sind. Diese Personen haben außerdem Schwierigkeiten, angemessen auf Stresssituationen zu reagieren [Bor08]. Nach dieser Befragung erhalten die Versuchspersonen eine kurze Einweisung in die Bedienung des Fahrsimulators. Sie werden auf die mögliche Verwendung des Tempomaten hingewiesen und gebeten, Richtgeschwindigkeiten von 89 km/h auf der Autobahn, 70 km/h auf Landstraßen und 50 km/h innerorts zu beachten. Da viele Berufskraftfahrer geltende Geschwindigkeitsbegrenzungen überschreiten, kann durch diese Vorgaben ein möglichst realistisches Fahrverhalten herbeigeführt werden. Mit Ausnahme dieser adaptierten Geschwindigkeitsvorgaben sollen die Fahrer geltende Verkehrsregeln beachten und möglichst so fahren, wie in der Realität. Es besteht während der Einweisung die Gelegenheit, die Bedienung des Mobiltelefons via Multifunktions-

lenkrad, des Navigationssystems sowie des Heiz-Klima-Gerätes zu üben. Die Bedienung dieser Elemente stellt später im Versuch jeweils eine beanspruchungsrelevante Situation dar. Nach Anbringung der Messtechnik, die im nachfolgenden Kapitel beschrieben wird, absolvieren die Versuchspersonen eine Eingewöhnungsfahrt auf einer verkehrsfreien Autobahn. Während dieser können sie sich mit dem Fahrverhalten des Lkw-Simulators vertraut machen und die zuvor im Stand erlernten Bedienungsaufgaben wiederholen. Dann werden die sieben Fahrabschnitte entsprechend der im Permutationsplan definierten Reihenfolge absolviert. Während der Fahrten wird die Fahrtrichtung über ein integriertes Navigationsgerät vorgegeben. Im Anschluss an jede der Fahrten wird eine Befragung durchgeführt und eine kurze Pause angeboten. Insgesamt beträgt die Versuchsdauer zweieinhalb bis drei Stunden.

7.3.2 Methodik

Zur Erfassung der Beanspruchung kommt entsprechend der Empfehlung von de Waard [DeW96, S. 102] ein Methodenmix zum Einsatz. Generell stehen physiologische, subjektive und leistungsbezogene Beanspruchungsindikatoren zur Verfügung. Da die Beanspruchung unter möglichst realistischen Bedingungen erfasst werden soll, sind leistungsbezogene Indikatoren einer Neben- oder Referenzaufgabe im Rahmen der vorliegenden Studie nicht geeignet. Die zu untersuchenden Situationen weisen aufgrund des Anspruchs, die alltägliche Fahraufgabe eines Berufs-Lkw-Fahrers möglichst breit abzudecken, unterschiedliche Anforderungen und Charakteristika auf. Dieser Umstand verhindert die Verwendung eines einheitlichen Indikators für die Leistung in der Hauptaufgabe, der Fahrerleistung. Für die Anwendung einer subjektiven Bewertung empfiehlt de Waard [DeW96, S. 64] die Durchführung der Befragung erst nach Erfüllung der Aufgabe. Durch die Aufteilung der Versuchsstrecke in sieben Abschnitte kann die Befragung nach jedem Abschnitt durchgeführt werden. Somit erscheint die Anzahl der zu bewertenden Situationen innerhalb einer Befragung akzeptabel. Zusammenfassend eignet sich die subjektive Bewertung der Beanspruchung für den vorliegenden Anwendungsfall, ebenso wie die Verwendung physiologischer Indikatoren, sofern sie eine geringe Intrusivität aufweisen. In der Fahr-Simulatorstudie wird ein Mix aus folgenden Methoden zur Erfassung der Beanspruchung verwendet.

Pupillometrie Seit über hundert Jahren ist ein Zusammenhang zwischen Veränderungen des Pupillendurchmessers und kognitiven Prozessen bekannt [Schi74 zitiert nach Bea00, S. 143]. Eine systematische Erforschung des Effekts dauert seit den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts an [Schw09, S. 54]. In der Literatur existieren zahlreiche Studien und Berichte über die Möglichkeit, mentale Beanspruchung mittels Pupillenreaktionen zu erfassen⁶. Die genauen Hintergründe für eine Größenänderung der Pupille unter mentaler Beanspruchung sind dennoch nicht restlos geklärt [Ste04].

Die Größe der menschlichen Pupille wird durch den relativen Tonus der beiden antagonistischen Muskelgruppen der Iris bestimmt. Diese beiden Muskeln, der sympathisch innervierte Dilator und parasympathisch innervierte Shincter Muskel, sind für die Regulation

⁶ Schwalm [Schw09, S. 55f] bietet eine Übersicht über wesentliche Literaturstellen zum Nachweis mentaler Beanspruchungseffekte durch die Reaktionen der Pupille .

der in das Auge fallenden Lichtmenge sowie für die Adaption der Brechkraft des Auges zuständig (Abbildung 7.10). Neben diesen beiden Effekten wird die Pupillengröße durch den sogenannten psychosensorischen Reflex beeinflusst, der eine Weitung der Pupille bei mentaler Beanspruchung bedeutet [Loe99]. Der daraus resultierende absolute Größenanstieg der Pupille kann in Experimenten als Indikator für die mentale Beanspruchung herangezogen werden. Er bringt allerdings die Randbedingung mit sich, dass Beleuchtungsbedingungen und zu fokussierende Distanzen während des Experiments möglichst konstant gehalten werden sollten, um einer Konfundierung mit Licht- und Akkommodationseffekten vorzubeugen. Diese Randbedingung erschwert den Einsatz der Methode in einem anwendungsnahen Kontext, wie beispielsweise in einer Fahrsimulatorumgebung [Röß96]. Dennoch konnten einzelne Studien im Kontext einer Fahraufgabe den positiven Zusammenhang zwischen den kognitiven Anforderungen an den Fahrer und dessen Pupillengröße nachweisen. So gelang es Rößger [Röß96] nach einer Korrektur der gemessenen Pupillengröße von dem Einfluss wechselnder Lichtbedingungen, die Korrelation von Pupillengröße und Komplexität der Fahrsituation zu zeigen.

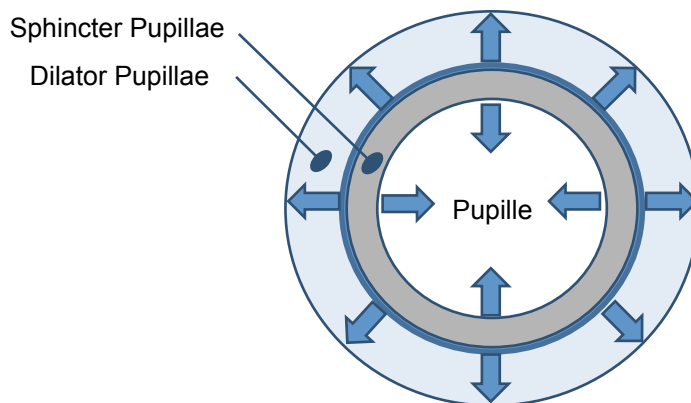


Abbildung 7.10: Die Muskeln der Iris nach [Schw09, S. 49]

Der sogenannte Hippus, eine rasche Fluktuation der Pupillengröße, wird ebenfalls auf mentale Beanspruchung zurückgeführt [Loe99], [McL92]. Marshall et al. [Mar00] stellen ein Verfahren vor, welches derartige charakteristische Veränderungsprofile im pupillometrischen Signal betrachtet. Die von Marshall postulierte Kenngröße „Index of Cognitive Activity“ (ICA) beschreibt die Anzahl von starken, kurzfristigen Weitungen der Pupille pro Zeiteinheit. Diese starken, kurzfristigen Weitungen begleiten den absoluten Größenanstieg der Pupille bei mentaler Beanspruchung und können von Licht- und Akkommodationseffekten unterschieden werden. Dadurch erscheint der ICA als Indikator für mentale Beanspruchung in anwendungsnahen Untersuchungen mit wechselnden Lichtbedingungen erfolgsversprechend [Mar02], [Mar07]. Die Eignung des ICA für den Einsatz in einem Fahrsimulator wurde von Schwalm [Schw09] gezeigt.

Ein Nachteil der Methode der Pupillometrie ist, dass nicht vollständig geklärt ist, welche Rückschlüsse die Daten tatsächlich auf kognitive Vorgänge erlauben [Gil10], [Sar09]. So findet sich keine restlose Klärung, wie genau die kognitive Aktivität die Pupillengröße beeinflusst [Ste04, S. 78]. Die pupillometrischen Daten sind als Indikator der globalen Arbeitsbelastung zu sehen und weniger als hoch diagnostisches Maß [DeW96, S. 27], was

für den vorliegenden Untersuchungsgegenstand jedoch vertretbar ist [Schw09, S. 59]. Durch die kopfbasierte Umsetzung des Messsystems, welche eine hohe Präzision bei der Vermessung der Pupille ermöglicht, ist von einer gewissen Intrusivität auszugehen. Zwar setzt eine Gewöhnung an das Kopfgestell nach Aussage der Versuchspersonen bereits nach wenigen Minuten ein, das Gewicht des Gestells ist dennoch nicht zu vernachlässigen. Wesentlicher Vorteil des Verfahrens der Pupillometrie, neben einer kontinuierlichen, objektiven und störungsfreien Messung der Beanspruchung, ist die geringe zeitliche Latenz der pupillometrischen Reaktion. Diese wird mit 100-200ms diskutiert [Bea00, S. 276]. Dadurch erlaubt die Pupillometrie eine zeitlich hoch auflösende Messung und somit eine Identifikation beanspruchungskritischer Teilaufgaben.

Auf Basis dieser Ausführungen wird der ICA in der Fahrsimulatorstudie zur Erfassung der Beanspruchung von Lkw-Fahrern eingesetzt. Als Messinstrument wird der Eyetracker Eye-Link II verwendet, welcher über zwei Hochgeschwindigkeitsvideokameras (700Hz) mit Infrarotbeleuchtung verfügt (Abbildung 7.11). Dies erlaubt eine Aufzeichnung der beiden Pupillendurchmesser mit einer Genauigkeit von 0,01%.



Abbildung 7.11: Versuchsperson mit dem Pupillometrie-Messsystem zur Erfassung des Index of Cognitive Activity

Hautleitwert Als zweiter physiologischer Indikator zur Erfassung der mentalen Beanspruchung dient ein Maß der elektrodermalen Aktivität (EDA). Unter dem Begriff EDA werden die verschiedenen elektrischen Phänomene der Haut zusammengefasst [Joh66, S. 8]. Féré [Fér88 zitiert nach Scha98, S. 183] beschrieb bereits 1888 Hautleitfähigkeitsänderungen im Zusammenhang mit psychischem Geschehen. Das Forschungsinteresse dauert seitdem an, was sich in einer Vielzahl von Arbeiten und Studien zu diesem Thema widerspiegelt [Daw00, S. 200]. Wie auch bei der pupillometrischen Reaktion ist der Zusammenhang zwischen psychischen Prozessen und dem physiologischen Phänomen der elektrodermalen Aktivität nicht restlos geklärt [Scha98, S. 188]. Wird über Elektroden eine Spannung an die Haut angebracht und der resultierende Stromfluss gemessen, zeigt sich, dass dieser sich mit mentaler Aktivität, tiefem Atemholen oder dem Einwirken von Stressreizen verändert. Zwar spielen die Schweißdrüsen eine wichtige Rolle, sind jedoch nicht alleinige Ursache für dieses Phänomen [Scha98, S. 188ff]. Eine Übersicht zu den physiologischen Grundlagen sowie empirische Evidenzen zum Zusammenhang zwischen EDA und mentaler Aktivität bieten Schandry [Scha98], Boucsein [Bou92] oder Dawson et al. [Daw00].

Der vorliegenden Arbeit dient als elektrodermale Kenngröße zur Erfassung der Beanspruchung der sogenannte Hautleitwert. Um diese Kenngröße zu messen, wird ein Gleichstrom im μA -Bereich über zwei Elektroden an den Hautwiderstand der Versuchspersonen angelegt. Die Änderung der Spannung über die Zeit wird messtechnisch erfasst und daraus der Hautleitwert errechnet. Da der Lkw-Fahrsimulator über ein automatisches Schaltgetriebe verfügt, wird der linke Fuß zur Fahrzeugstabilisierung nicht benötigt. Daher wird im Sinne einer möglichst geringen Intrusion die linke Fußsohle als Ableitungsort für den Hautleitwert gewählt (Abbildung 7.12).



Abbildung 7.12: Anbringung der Elektroden zur Hautleitwertmessung im Fahrsimulatorversuch

Der Hautleitwert kann in verschiedene Anteile zerlegt werden [Bou92], [Scha98, S. 198ff]. Der tonische Anteil wird durch eine sich langsam verändernde Grundlinie beschrieben und dient als Maß für die globale Aktiviertheit. Der phasische Anteil besteht aus kurzzeitigen Änderungen des Hautleitwertes. Diese stellen die Reaktion auf äußere oder innere Reize dar und sind somit Gegenstand der Betrachtungen im Rahmen der Studie zur Erfassung der Beanspruchung in bestimmten Fahrsituationen. Zwar variiert die Form des Reaktionsverlaufes intra- und interindividuell. Die Reaktion an sich ist jedoch stets eine Erhöhung des Wertes als Folge erhöhter Beanspruchung [Scha98, S. 198ff]. In Abbildung 7.13 wird der schematische Verlauf einer Hautleitwertsreaktion gezeigt [Bou92, S. 135]. Spontanfluktuationen treten im Rahmen phasischer Veränderungen auf, ohne dass ein äußerer Reiz vorhanden gewesen wäre. Je mehr dieser Spontanfluktuationen auftreten, desto höher ist die Erregung [Scha98, S. 199].

Die Absolutmaße des Hautleitwertes sind intra- und interindividuellen Schwankungen unterlegen. Dieser Umstand ist bei einer vergleichenden Betrachtung von Messwerten zu berücksichtigen, beispielweise in Form einer Normierung der Werte. Ein weiterer Nachteil der Hautleitwertmessung ist die Latenzzeit der elektrodermalen Reaktion, welche mit 1,4-2,5 Sekunden nach Stimulus diskutiert wird [Kra90, S. 30]. Ein Problem bei der Interpretation der Daten ist die häufig auftretende Überlappung zweier Amplituden, mit welcher normalerweise so verfahren wird, dass die Senke zwischen den beiden Gipfelpunkten als neues Grundniveau angenommen wird. Die Vorteile der Erfassung der Beanspruchung über den Hautleitwert sind die geringe Intrusivität der Messmethode sowie der vergleichsweise geringe Aufwand bei der Datenerhebung. Die Messung kann in einem Fahr-

simulator problemlos durchgeführt und die objektiven Daten können störungsfrei und kontinuierlich erhoben werden.

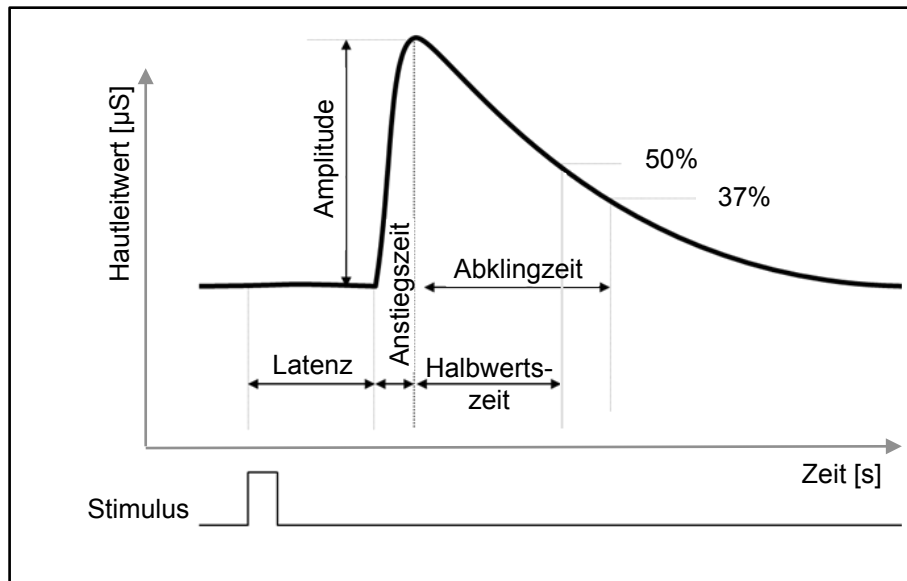


Abbildung 7.13: Schematischer Verlauf einer Hautleitwertsreaktion [Bou92, S. 135]

Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung Der Einsatz der SEA, die in Kapitel 7.1.2 ausführlich beschrieben wird, hat sich im Rahmen der explorativen Fahrerbefragung bewährt. Auch in der Fahrstudie wird die subjektive Beanspruchung daher mithilfe der modifizierten Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung erhoben. Die Befragung wird jeweils im Anschluss an die sieben Fahrtabschnitte durchgeführt. Dabei sind die interessierenden Situationen analog zur explorativen Fahrerbefragung bildlich dargestellt und werden von den Versuchspersonen auf einer magnetischen Tafel entsprechend ihrer resultierenden Beanspruchung angebracht. Die bildlichen Darstellungen der Situationen und die zeitliche Nähe der Befragung zu der Fahrt wirken Schwierigkeiten in der Erinnerung an einzelne Situationen entgegen.

7.3.3 Versuchspersonen

Für die Durchführung der Studie werden ausschließlich Versuchspersonen mit Lkw-Fahrerfahrung eingeladen. Nur so können die Urteile und Messwerte als valide eingestuft werden. Außerdem ist davon auszugehen, dass sich erfahrene Lkw-Fahrer schneller an die Bedienung des Lkw-Fahrersimulators gewöhnen als Novizen, insbesondere da viele von ihnen in ihrem Beruf mit wechselnden Fahrzeugen arbeiten. An der Studie nehmen 37 männliche Fahrer im Alter von 26 bis 69 Jahren teil ($M = 46,9$; $SD = 9,7$) [Sei11]. Die Altersverteilung (Abbildung 7.14 rechts) liegt normalverteilt vor. Der leicht erhöhte Anteil überdurchschnittlich älterer Versuchspersonen ist als repräsentativ für die Altersstruktur der Beschäftigten dieses Segments zu betrachten. Das Durchschnittsalter in der Gruppe der Berufs-Lkw-Fahrer liegt nach einer Untersuchung der Bundesanstalt für Straßenwesen [Frü08, S. 2] je nach Fahrzeugklasse bei 43 bis 48 Jahren. Eine der 37 teilnehmenden Versuchspersonen gibt an, etwas müde zu sein, sechs Versuchspersonen sind etwas aufgeregt. 21 Versuchspersonen sind zum Zeitpunkt der Studie hauptberuflich und 15 nebenberuflich als Lkw-Fahrer tätig. Eine Versuchsperson gibt an, ehemaliger Lkw-Fahrer zu sein. Die Verteilung der jährlichen Fahrleistung zeigt Abbildung 7.14 rechts.

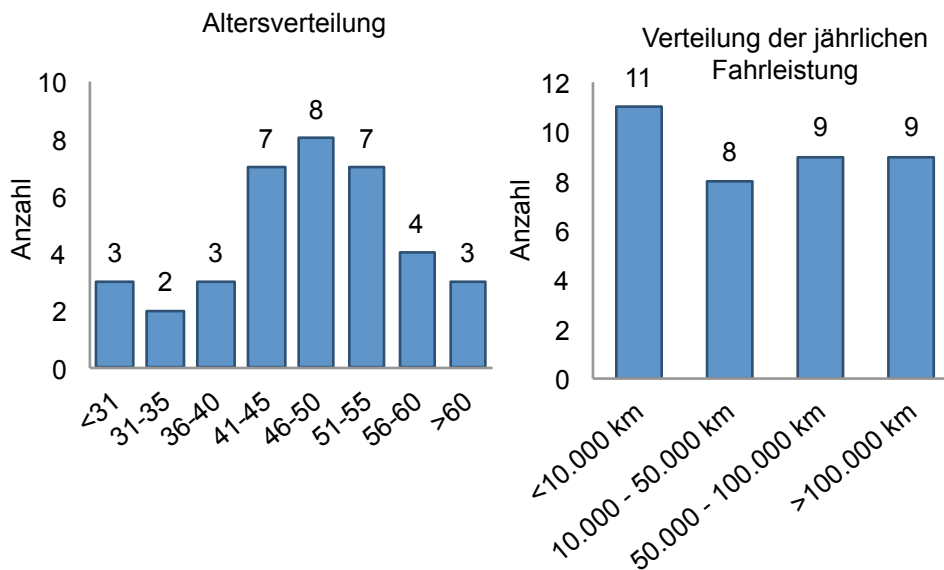


Abbildung 7.14: Altersverteilung (links) und Verteilung der jährlichen Fahrleistung (rechts) der Teilnehmer der Fahrsimulatorstudie

Mithilfe eines Persönlichkeitstests, des NEO-Fünf-Faktoren-Inventars (NEO-FFI) [Bor08], wurde die Ausprägung des Persönlichkeitsmerkmals Neurotizismus erhoben, welches unter anderem Aufschluss über die Belastbarkeit der Versuchspersonen in Stresssituationen gibt. Je höher die Ausprägung dieses Merkmals ist, desto größer sind die Schwierigkeiten, angemessen auf Stresssituationen zu reagieren. Für die 27 an dem Persönlichkeitstest teilnehmenden Versuchspersonen ergibt sich eine leicht unterdurchschnittliche Ausprägung von Neurotizismus bezogen auf die männliche Gesamtbevölkerung in der jeweiligen Altersklasse (Perzentil 43,8), (Abbildung 7.15). Aufgrund der Simulatorkrankheit müssen sechs der Versuchspersonen die Studie vorzeitig beenden. Von diesen gehen die bis zu diesem Zeitpunkt erhobenen Daten in die Auswertung mit ein. Die Versuchspersonen erhalten für ihre Teilnahme an der Studie eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 30€.

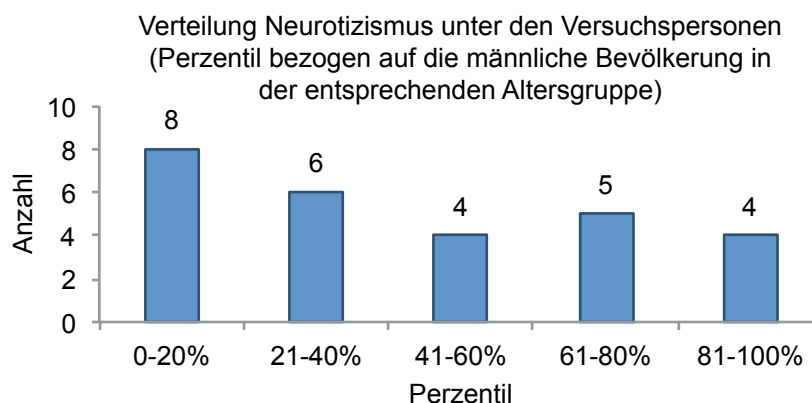


Abbildung 7.15: Verteilung des Persönlichkeitsmerkmals Neurotizismus unter den Versuchspersonen der Fahrsimulatorstudie

7.3.4 Apparat

Die Studie findet an einem dynamischen Lkw-Fahrsimulator statt (Abbildung 7.16). Des- sen MAN TGS Serienfahrerhaus, welches mit voll funktionsfähigen Anzeige- und Bedienelementen ausgestattet ist, vermittelt den Fahrern ein hohes Realitätsempfinden und ermöglicht den Einsatz von Serienbordsystemen. Der Fahrsimulator verfügt über ein automatisiertes Schaltgetriebe sowie über einen Tempomaten, der von den Versuchspersonen der vorliegenden Studie verwendet werden darf. Weiterhin relevant für die Studie sind das eingebaute Navigationssystem sowie das Mobiltelefon mit Freisprechanlage, die über das Multifunktionslenkrad bedient wird. Das Fahrerhaus ist auf einem Bewegungssystem montiert, das Beschleunigungseindrücke in sechs Freiheitsgraden vermittelt. Zur weiteren Steigerung der Immersion generiert ein in der Fahrerkabine angebrachtes Audiosystem Umgebungs- und Fahrgeräusche.

In einem Radius von 3 Metern um den Fahrer ist eine halbkreisförmige Leinwand angebracht, auf der fünf Projektoren das Bild der virtuellen Umgebung via Rücklichtprojektion erzeugen. Dieses Bild erstreckt sich über einen horizontalen Sichtwinkel von 210° und einen vertikalen Sichtwinkel von 45° bei einer Gesamtbildhöhe von 2,90 Metern. Damit deckt die Sichtsimulation einen Schulterblick nach links sowie den Blick aus dem rechten Seitenfenster der Kabine ab. Zwei Rückspiegel sowie ein zusätzlicher Weitwinkelspiegel rechts, realisiert über TFT-Monitore, komplettieren die Sichtsimulation zu einer für den Fahrer lückenlosen Rundumsicht. Für den durchgeführten Versuch erfolgt die Sicht- und Fahrdynamiksimulation in der Konfiguration „leerer Sattelzug“. Bei einer Fahrt mit leerem Sattelaufleger müssen die Versuchspersonen auf den vorhandenen Aufleger achten, allerdings wird ein zügigeres Beschleunigen des Fahrzeuges ermöglicht, verglichen mit einem halb- oder vollbeladenen Aufleger. Während des Versuchs ist zu definierten Abschnitten nötig, den Fahrern mündliche Anweisungen zukommen zu lassen. Damit diese stets in der gleichen Form erfolgen, kommt hierfür eine künstliche Sprachausgabe zum Einsatz.



Abbildung 7.16: Außen- und Innenansicht des dynamischen Lkw-Fahrsimulators

Die verwendete Fahrsimulationssoftware basiert auf einer statischen Datenbasis und erlaubt die Fahrt auf Autobahnstrecken, Landstraßen und in städtischer Umgebung unter verschiedenen Verkehrs- und Wetterbedingungen. Darüber hinaus können weitere Verkehrsteilnehmer und statische Objekte gezielt in der virtuellen Umgebung platziert werden. Eine Besonderheit stellt die Möglichkeit dar, ein Fahrzeug in der virtuellen Umgebung vom Simulatorleitstand aus per Hand zu steuern. Dies ermöglicht die Simulation von komplexem Verhalten dieses Fahrzeuges.

7.3.5 Ergebnisse

Das Ziel der durchgeführten Fahrsimulatorstudie ist die Determinierung je eines Beanspruchungswertes für die 44 Situationen, die in der Nachschlagetabelle hinterlegt sind. Für dieses Ziel zeigt sich, dass die subjektive Bewertung mittels der Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung (SEA) die am besten geeignete Methode ist.

Hautleitwert Die Messwerte des Hautleitwertes zeigen große intraindividuelle Unterschiede der elektrodermalen Reaktion, sowohl hinsichtlich des Levels des Grundtonus als auch der Höhe der Amplituden. Die Auswertung wird durch die tendenziell träge Reaktion des Hautleitwertes mit einer individuell unterschiedlichen Latenz von bis zu 3 Sekunden erschwert. Da die interessierenden Situationen meist nur wenige Sekunden kurz sind, ist die Zuordnung der Reaktion bei vielen Situationen schwierig. Außerdem zeigt sich wiederholt ein lediglich geringer Anstieg des Hautleitwertes, was eine sichere Interpretation der Daten zusätzlich beeinträchtigt. Das Maß des Hautleitwertes eignet sich besser für eine globale Beurteilung der Beanspruchung, beispielsweise für die Bewertung einer Fahrt auf der Autobahn verglichen mit einer Landstraßen- oder Stadtfahrt. Außerdem kann es im Rahmen der abschließenden Studie zur Beurteilung des Informationsmanagements eingesetzt werden, um die Beanspruchung bei einer Fahrt mit diesem System mit der Beanspruchung bei einer Fahrt ohne Informationsmanagement zu vergleichen. Für die Bestimmung eines Beanspruchungswertes für definierte Situationen erscheint das Maß dagegen ungeeignet. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle nicht näher auf die elektrodermalen Messergebnisse eingegangen. Einen Überblick zu den Ergebnissen der Hautleitwertmessung bietet [Sei12a].

Pupillometrie Das pupillometrische Maß ICA bringt mit einer Latenz der pupillometrischen Reaktion von 100-200ms den Vorteil einer hohen zeitlichen Auflösung mit sich [Bea82, S. 276]. Dies ermöglicht die Identifizierung kritischer Teilaufgaben innerhalb von einzelnen Situationen. Es zeigt sich zum Beispiel für die Situation außerorts links abbiegen an einer schildergeregelten Kreuzung mit Vorfahrtsberechtigung ein charakteristischer Verlauf der Beanspruchung. In Abbildung 7.17 sind der ICA sowie der Lenkradwinkel für diese Situation gemeinsam über die Zeit aufgetragen, so dass der Beanspruchungsverlauf während des Lenkens durch die Kreuzung beobachtet werden kann [Sei11]. Der ICA steigt vor Beginn des Abbiegevorgangs auf ein erstes Maximum. Es ist anzunehmen, dass dieser Effekt durch die Aufnahme und kognitive Verarbeitung von Information über die infrastrukturellen und verkehrsbezogenen Gegebenheiten der Kreuzung entsteht. Während die Zugmaschine dann in die Kreuzung gelenkt wird, sinkt die Beanspruchung. Möglicherweise ist diese Aufgabe, im Gegensatz zur Verarbeitung der Kreuzungsgegebenheiten, stark fertigkeitstbasiert und fordert nur wenig kognitive Ressourcen zur Bearbeitung. Erst während des Abbiegens steigt der ICA erneut. Zu diesem Zeitpunkt ist der Auflieger im linken Außenspiegel zu beobachten und sicherzustellen, dass dieser möglichst auf der eigenen Fahrspur gehalten wird. Diese Aufgabe erfordert die Aufmerksamkeit des Fahrers zur Beobachtung des Aufliegers und Anpassung der Fahrtrichtung der Zugmaschine. Der beschriebene Verlauf der gemessenen Werte findet sich qualitativ ähnlich bei 16 von 22 auswertbaren Datensätzen [Sei11].

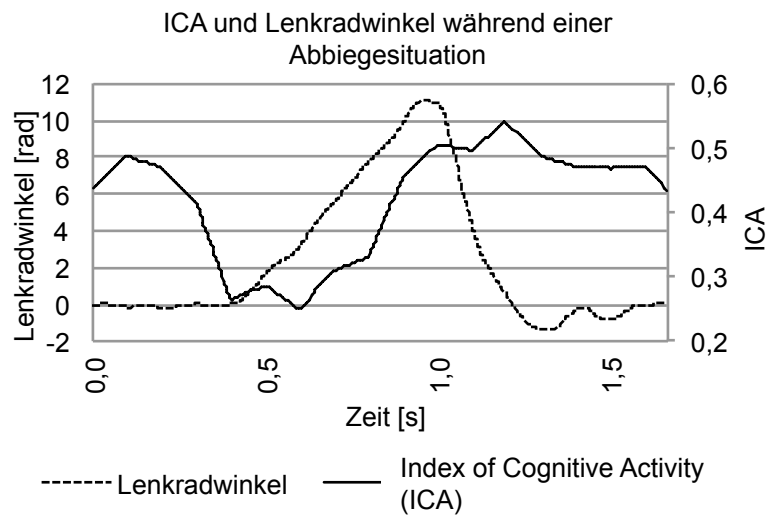


Abbildung 7.17: Index of Cognitive Activity und Lenkradwinkel für die Situation links abbiegen in der Fahrsimulatorstudie

Analog zu Abbildung 7.17 zeigt Abbildung 7.18 den Verlauf der im ICA widergespiegelten Beanspruchung für die Situation enge Linkskurve [Sei11]. Dieser Verlauf wird qualitativ vergleichbar in 90% der auswertbaren Datensätze gefunden. Auch für die enge 90° Kurve zeigt sich ein kleinerer Anstieg der Beanspruchung vor und ein weiterer Anstieg nach dem Einlenken in die Kurve [Sei11].

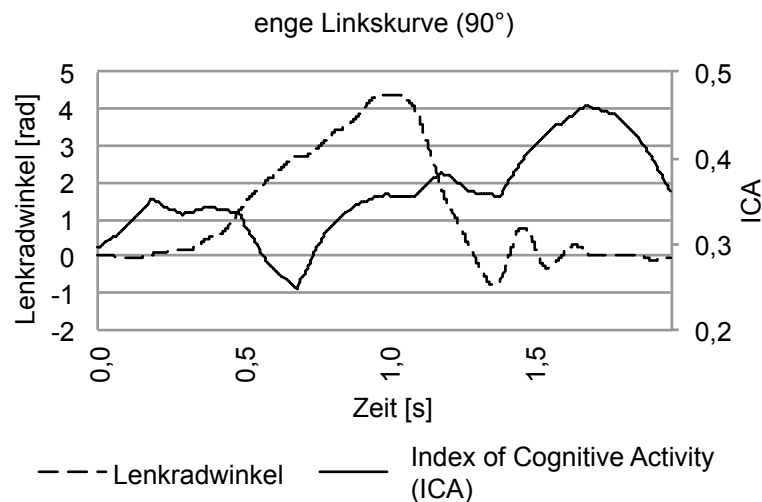


Abbildung 7.18: Index of Cognitive Activity und Lenkradwinkel für die Situation enge Linkskurve in der Fahrsimulatorstudie

Teilweise treten bei der Erfassung der pupillometrischen Daten technische Probleme bei der Datenaufzeichnung und fehlende Werte auf, die durch Verrutschen des Kopfgestells während der Fahrt entstehen. Wie auch bei dem physiologischen Maß der elektrodermalen Aktivität zeigen sich beim pupillometrischen Maß erhebliche interindividuelle Unterschiede in den quantitativen Daten. Diesen könnte mit einer geeigneten Datennormierung begegnet werden. Der ICA ist aufgrund seiner zeitlich hohen Auflösung dafür geeignet, kritische Teilaufgaben innerhalb einer Situation zu identifizieren. Er kann dazu beitragen, wertvollen Aufschluss über die Gründe für das Entstehen von Beanspruchung in einzel-

nen Situationen zu bringen. Allerdings erschwert dieser Vorteil das Erreichen des der Studie zugrunde liegenden Ziels, einen Beanspruchungswert pro Situation zu bestimmen. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Arbeit auf weitergehende Aufbereitungen und Untersuchungen der pupillometrischen Daten verzichtet. Zusammenfassend ist die Pupillometrie ein wertvolles Instrument zur Erforschung der Beanspruchung, insbesondere in einem anwendungsnahen Kontext wie in einer Fahrsimulatorstudie. Allerdings ist sie für das Ziel, die Nachschlagetabelle des Informationsmanagementsystems mit Beanspruchungswerten zu hinterlegen, weniger gut geeignet.

Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung Die subjektive Bewertung der Beanspruchung ergibt je einen Beanspruchungsmittelwert für jede der 44 Situationen. Dabei ist von einer hohen Reliabilität und Selektivität der SEA auszugehen. Außerdem wird dieser Methode für den im Kontext des Informationsmanagements relevanten Bereich des Workload-Regionenmodells A3 (Abbildung 2.2) eine hohe Sensitivität zugesprochen [DeW96, S. 64]. Johannsen et al. [Joh79] resümieren in diesem Zusammenhang: „If the person feels loaded and effortful, he is loaded and effortful whatever the behavioural and performance measures may show.“ [Joh79, S. 105].

Für die Auswertung der subjektiven Ergebnisse werden Ausreißer und Extremwerte aus den Daten entfernt. Die Bewertungen des Großteils der Situationen liegen nicht normalverteilt vor, weswegen im Folgenden nichtparametrische Tests zur Auswertung verwendet werden. Es wird der Einfluss des Alters, der Ausprägung des Persönlichkeitsmerkmals Neurotizismus sowie der Fahrerfahrung auf die subjektiven Bewertungen untersucht. Die Fahrerfahrung wird ausgedrückt in der Anzahl der Tage pro Woche, an denen die Personen mit einem Lkw unterwegs sind. Dies erscheint aussagekräftiger als eine Betrachtung der jährlichen Fahrleistung, weil bei diesem Verfahren eine Verwechslung erfahrener Fahrer im Verteilerverkehr mit weniger erfahrenen Fahrern im Fernverkehr stattfinden könnte. Versuchspersonen werden als erfahren eingestuft, wenn sie mindestens drei Tage pro Woche mit ihrem Lkw unterwegs sind. Ein Vergleich der im Fahrsimulatorversuch erhobenen Daten mit denen der explorativen Fahrerbefragung wird an dieser Stelle nicht vorgenommen und stattdessen auf [Sei11] verwiesen.

Wie auch in der explorativen Fahrerbefragung ist das Gesamtniveau der subjektiven Beanspruchungsbewertung eher gering. Die höchste Bewertung erhält die Situation Rangieren mit einem Wert von 117,9 auf der SEA, was dem verbalen Ausdruck „ziemlich anstrengend“ entspricht [Sei11]. Auch die Situation geradeaus Rückwärts Fahren findet sich unter den zehn am höchsten beanspruchenden Situationen wieder. Die Wetterbedingungen Glätte und Schnee werden mit höherer Beanspruchung bewertet, während Nebel und Regen im mittleren Bereich der Situationen bei ungefähr 50 auf der SEA angegeben werden [Sei11]. Dieses Ergebnis ist konsistent zur Studie der NHTSA [Kig96]. Dort wird der Reibwert als wesentlicher Einflussfaktor auf die Beanspruchung identifiziert [Kig96, S. 12ff]. Auch in der UNIROYAL Verkehrsuntersuchung wird Glätte belastender als Nebel und Regen bewertet [Eil02, S. 59f, 124] (Kapitel 2.2).

Auffällig ist, dass sich die Situationen, die eine direkte Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern beinhalten, allesamt unter den Situationen mit der höchsten Beanspruchung befinden. Die Situation knapper Einscherer wird mit 99,4 auf der SEA bewertet. Bei dieser Situation schert ein Fahrzeug auf der Autobahn knapp vor dem Lkw ein und bremst zu-

sätzlich ab, um die Autobahn über die kommende Ausfahrt zu verlassen [Sei11]. Diese Situation ist laut den Ergebnissen der explorativen Fahrerbefragung im realen Verkehrsgeschehen häufig zu beobachten. Für die Realisierung der Situation innerorts rechts abbiegen an einer rechts-vor-links-geregelten Kreuzung mit Abbremsen des Fahrzeuges in den Stand werden in der Simulatorstudie Fußgänger eingesetzt. Diese überqueren die Straße, in die der Lkw einbiegen sollte. Dies erfordert ein Abbremsen des Fahrzeuges. Möglicherweise stellt die Präsenz schwächerer Verkehrsteilnehmer die beanspruchende Komponente dieser Situation dar. Die Situation Passanten/Kinder/Radfahrer wird ähnlich hoch hinsichtlich der hervorgerufenen Beanspruchung bewertet, wie die zuvor beschriebene Kreuzungssituation. Die Fahrer der explorativen Fahrerbefragung geben an, in derartigen Situationen die Gefährdung schwächerer Verkehrsteilnehmer zu fürchten [Sei11]. Die Situation Pkw auf Autobahn Auffahrt, die sich ebenfalls unter den zehn Situationen mit der höchsten Beanspruchung befindet, beinhaltet einen Pkw, der sich auf einer Zufahrt zu einer Autobahn auf dem Beschleunigungsstreifen befindet. Währenddessen fährt der Lkw auf der rechten durchgehenden Fahrspur der Autobahn neben dem Pkw her. Diese Situation ist laut explorativer Fahrerbefragung anstrengend, weil sich die Fahrer hier genötigt fühlen, den Pkw genau zu beobachten. Zusätzlich versuchen sie, dessen Verhalten zu antizipieren, sofern das Beschleunigungsverhalten nicht eindeutig einen Schluss darauf zulässt, ob ein Einfädeln vor oder hinter dem Lkw angestrebt wird [Sei11]. Auch Fastenmeier [Fas95, S. 75] kommt zu dem Schluss, dass Antizipationsleistungen, das Kombinieren seitlicher und rückwärtiger Information und die möglicherweise folgende Notwendigkeit, ein Fahrmanöver durchführen zu müssen, hohe Anforderungen an den Fahrer bedeuten.

Die geringste Beanspruchung ergibt sich in zwei Kreuzungssituationen, bei welchen die Kreuzung ohne stehenbleiben zu müssen geradeaus überquert werden kann, in der Situation Auffahrt auf eine Autobahn und in den beiden Baselines Autobahn und Landstraße (Fahrt auf den jeweiligen Straßentypen ohne besondere Vorkommnisse).

Eine Korrelationsanalyse nach Spearman [Spe04] zeigt in vier der 44 Situationen einen auf dem α -Niveau von 5% signifikanten, jedoch schwachen Zusammenhang zwischen dem Alter der Versuchspersonen und den Bewertungen der Beanspruchung. Der stärkste Zusammenhang ergibt sich für die Situation Überqueren einer ampelgeregelten Kreuzung innerorts bei grün ($r_s(20) = -0,50, p < .05$). Für die Situationen Pkw auf Autobahn Auffahrt ($r_s(30) = -0,41, p < .05$), Abbremsen aufgrund eines langsameren Vorderfahrzeuges auf der Landstraße ($r_s(28) = -0,42, p < .05$) und Überholen auf der Landstraße ($r_s(33) = -0,40, p < .05$) ist der Zusammenhang schwach ausgeprägt⁷.

Für die Situation Abbiegen Planen ergibt sich ein signifikanter, jedoch schwacher Zusammenhang zwischen der Ausprägung des Persönlichkeitsmerkmals Neurotizismus und den Bewertungen der Beanspruchung ($r_s(25) = 0,40, p < .05$). Ein Mann-Whitney-U-Test zwischen den beiden unabhängigen Gruppen von erfahrenen und weniger erfahrenen Lkw-Fahrern zeigt bei den beiden Situationen Bedienung am Schalterblock ($U = 76.5, p < .05$) und Rangieren ($U = 69.0, p < .05$) einen signifikanten Einfluss der Fahrerfahrung auf die Beanspruchung in diesen Situationen. Insgesamt sind der Einfluss von Alter, Neurotizismus und Fahrerfahrung auf die Beanspruchung gering zu bewerten. In den genannten Ausnahmen sind die erfahreneren bzw. älteren Fahrer stets geringer beansprucht.

⁷ Im Anhang G sind die Angaben der statistischen Werte kurz erläutert.

Für das Ziel, je einen Beanspruchungswert für jede der identifizierten relevanten Situationen zu determinieren, stellt sich die subjektive Bewertung der Beanspruchung als am besten geeignet heraus. Der Hautleitwert als physiologische Größe eignet sich besser für eine globale als situationsbezogene Betrachtung der Beanspruchung, während die Pupillometrie aufgrund ihrer hohen zeitlichen Auflösung wertvollen Aufschluss über beanspruchungsrelevante Teilaufgaben bietet. Die inter- und intraindividuellen Schwankungen und Latenzen erschweren die Auswertung der physiologischen Daten unter dem Aspekt, Beanspruchungswerte für die Nachschlagetabelle zu generieren. Daher dienen die Ergebnisse der Bewertung auf der SEA als Grundlage für die Werte der Nachschlagetabelle zur indirekten Beanspruchungsschätzung im Serienfahrzeug. Anzumerken sind die relativ großen Standardabweichungen in der subjektiven Bewertung, die in der Diskussion des Gesamtkonzepts in Kapitel 7.6 aufgegriffen werden.

7.4 Realstudie zur Validierung der erfassten Fahrerbeanspruchung

Komplexe Wechselwirkungen zwischen Mensch und einer sich stetig ändernden Umwelt, wie sie in der natürlichen Umgebung des Menschen stets vorkommen und die Beanspruchung von Fahrzeugführern zu einem Großteil auslösen, sind unter Laborbedingungen schwer zu simulieren. Folglich wird Fahrsimulatorstudien, insbesondere im Zusammenhang mit Untersuchungen zum Fahrerezustand, die ökologische Validität oder Situationsvalidität vereinzelt abgesprochen. Dagegen zeigen beispielsweise Reimer et al. [Rei01b], dass sich die physiologisch via Herzrate und Hautleitwert erfasste Beanspruchung ihrer Simulatorstudie auf die Realität übertragen lässt. Um die Frage zu beantworten, inwieweit sich die Ergebnisse vorliegender Fahrsimulatorstudie auf das reale Verkehrsgeschehen übertragen lassen, wird eine Validierungsstudie im Realverkehr durchgeführt.

7.4.1 Experimentelles Design und Versuchsablauf

Ein Teil der Versuchspersonen, die an der Fahrsimulatorstudie teilnahmen, beteiligt sich an der Versuchsbedingung im realen Straßenverkehr. Diese Studie findet ungefähr zehn Monate nach der Durchführung der Studie am Lkw-Fahrsimulator statt. Erneut kommt ein Versuchsdesign mit Messwiederholung zum Einsatz, welches den Vorteil einer höheren statistischen Teststärke bei gleicher Stichprobengröße bietet. Analog zu der Fahrsimulatorstudie erfolgt durch die Variation der Situation (Belastung) die Beeinflussung der Beanspruchung [Sei12b]. Wie im Anhang B im Detail beschrieben, können aus Gründen der Ökonomie, Sicherheit und Kontrollmöglichkeit nicht alle Situationen der Fahrsimulatorstudie in die Realität übertragen werden [Sei12b]. Bei den diversen Abbiegevorgängen ist die Vorfahrtsregelung zwar von zentralem Interesse, jedoch besteht keine Möglichkeit, diese durch eine Steuerung der Ampeln beziehungsweise des Verkehrs zu beeinflussen. Dies muss bei der Auswertung berücksichtigt werden. Insgesamt können in der Realstudie 30 der 44 Fahrsimulatorsituationen hinsichtlich der ökologischen Validität überprüft werden [Sei12b]. Zusätzlich wird in der Realität die Situation schlechte Straße getestet, deren Darstellung im Simulator nicht möglich ist. Bei der Übertragung der Fahrsimulatorsituationen in die Realität wird darauf geachtet, dass diese eine hohe Ähnlichkeit zu den simulierten Situationen aufweisen. Die Umgebung, der Streckenverlauf und der Straßentyp sollen

für die jeweils untersuchten Situationen möglichst identisch sein. Analog zur Fahrstudie wird darauf geachtet, dass zwischen den interessierenden Situationen hinreichend Zeit gegeben ist. Die Fahrtabschnitte sind in ihrer Dauer und der Anzahl der enthaltenen Situationen begrenzt, was zu einer Steigerung der Saliens der untersuchten Situationen beiträgt und für die Versuchspersonen annehmbare Bedingungen schafft. Da die Fahrt im Realversuch auf realen Straßen unter alltäglichen Verkehrsbedingungen stattfindet und nicht eine hochkritische Fahraufgabe der nächsten folgt, ist von einer maximalen ökologischen Validität auszugehen. Die Lenk- und Ruhezeiten werden im Rahmen der Studie eingehalten [Sei12b].

Die 31 getesteten Situationen werden auf drei rundkursartige Fahrtschleifen verteilt, welche in ihrer Reihenfolge permutiert werden [Sei12b]. Die Reihenfolge und Lokalisation der Situationen innerhalb einer Fahrtschleife bleibt konstant. Die 55 Kilometer lange Schleife A umfasst neun Situationen, die allesamt auf einer Autobahn stattfinden. Außerdem wird hier auf einem geraden Autobahnabschnitt die Referenzmessung für die Situationen auf der Autobahn vorgenommen („Autobahn Base“). Schleife B untergliedert sich in zwei Teilabschnitte. Der erste der beiden Teilabschnitte enthält vier landstraßenspezifische Situationen sowie „Landstraße Base“. Der zweite Teilabschnitt enthält sieben stadt- und landstraßenspezifische Situationen. Insgesamt werden in Schleife B 42 Kilometer zurückgelegt. Die Schleife C mit einer Länge von 24 Kilometern besteht ebenfalls aus zwei Teilen. Teilabschnitt 1 beinhaltet vier Situationen in der Stadt und auf dem Land. Teilabschnitt 2 beinhaltet sechs Situationen in der Stadt und auf der Autobahn. Zusätzlich wird in Teilabschnitt 2 die Referenz für Stadtfahrten aufgenommen. Allen Abbiegevorgängen, die in den Schleifen B und C enthalten sind, geht jeweils eine Planungsphase voraus. Die Planungsphasen werden zu einer Situation zusammengefasst [Sei12b]. Anhang H beschreibt die einzelnen Situationen und Fahrtschleifen der Realstudie im Detail.

Der fünfstündige Versuch beginnt jeweils vormittags zur selben Uhrzeit, um Einflüsse durch unterschiedliche Verkehrsverhältnisse und Lichtverhältnisse zu minimieren [Sei12b]. Vor Beginn der Versuchsfahrt erhalten die Versuchspersonen eine Einweisung in die Bedienung des Fahrzeuges, des Heiz-Klima-Gerätes und der Freisprecheinrichtung über das Multifunktionslenkrad. Die Bedienung des Heiz-Klima-Gerätes sowie die Annahme und das Führen eines Telefonats via Freisprecheinrichtung stellen Situationen dar, in welchen während des Versuchs die Beanspruchung erhoben wird. Es ist ausreichend Zeit vorhanden, diese beiden Bedienungsaufgaben zu wiederholen und zu üben. Die Versuchspersonen werden gebeten, sich entsprechend der Straßenverkehrsordnung zu verhalten, Anweisungen nur zu befolgen, wenn dadurch kein Sicherheitsrisiko entstehe und nach Belieben den adaptiven Abstandstempomaten (ACC) zu benutzen. Während der Fahrt werden die Studienteilnehmer von einem Versuchsleiter auf dem Beifahrersitz begleitet, welcher von dort die Richtungsanweisungen und falls nötig Hinweise auf Gefahrensituationen gibt. Die Versuchspersonen werden gebeten, keine Konversation mit dem Beifahrer zu führen [Sei12b]. Nach dieser Einführung werden die drei Schleifen in permuierter Reihenfolge absolviert. Die Länge der Eingewöhnungsfahrt entspricht dabei der Fahrtzeit vom Startpunkt des Versuchs bis zur ersten untersuchten Situation und variiert somit je nach Reihenfolge der Fahrtschleifen. Nach jedem der fünf Teilabschnitte erfolgt die Befragung der Versuchspersonen bezüglich der erlebten Beanspruchung in den jeweiligen Situationen. Außerdem besteht dann die Möglichkeit, eine kurze Pause zu machen [Sei12b].

7.4.2 Methodik

Grundsätzlich sollen zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung die selben Methoden wie im Fahrsimulatorversuch zum Einsatz kommen, deren Auswahl und Funktionsweise ausführlich in Kapitel 7.3.2 beschrieben werden. Dies stellt eine maximale Vergleichbarkeit der Ergebnisse her. Auf den Einsatz der Pupillometrie muss jedoch aus sicherheitstechnischen Gründen verzichtet werden. Zum einen ist die empfindliche Messtechnik dieses Systems nicht auf Vibrationen und Erschütterungen, wie sie im realen Fahrbetrieb auftreten können, ausgelegt. Zum anderen stellt das Tragen des Kopfgestells zwar eine geringe, aber dennoch vorhandene Beeinträchtigung der Versuchspersonen bei der Ausübung ihrer Fahrtätigkeit dar, welche in einem Versuch im realen Straßenverkehr vermieden werden soll.

Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung In der Realstudie wird die subjektiv erlebte Beanspruchung über die modifizierte SEA erfasst, wie sie bereits in der explorativen Fahrerbefragung und in der Fahrsimulatorstudie verwendet wurde. Die zu bewertenden Situationen wurden im Vorfeld des Versuches fotografiert und die Bilder anschließend auf Magneten angebracht [Sei12b].

Die Fahrtunterbrechungen zur Erholung und Befragung der Versuchspersonen finden auf verschiedenen Parkplätzen statt. Daher werden die Magnettafel und die bildlichen Darstellungen der Situationen im Auflieger des Versuchsfahrzeuges mitgeführt. So kann eine zeitnahe Befragung ermöglicht und Erinnerungsschwierigkeiten entgegengewirkt werden [Sei12b]. Die Darstellung einer Befragungssituation im Rahmen der Realstudie zeigt Abbildung 7.19.



Abbildung 7.19: Subjektive Bewertung der Situationen im Rahmen der Realstudie anhand der modifizierten Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung

Hautleitwert Als physiologischer Indikator für die Beanspruchung wird der Hautleitwert erhoben. Wie in der Fahrsimulatorstudie wird diese Kenngröße über Elektroden abgeleitet, welche an den linken Fuß der Versuchsperson angebracht werden. Dieser wird aufgrund des automatischen Schaltgetriebes der verwendeten Sattelzugmaschine beim Fahren nicht benötigt [Sei12b]. Obwohl sich bereits in der Fahrsimulatorstudie gezeigt hat, dass der Hautleitwert keinen Beitrag zum Konzept der indirekten Beanspruchungsschätzung leisten kann, wird er mit abgeleitet, um ein möglichst vollständiges Bild der Beanspruchung während der Fahrt zu erhalten.

7.4.3 Versuchspersonen

Für die Teilnahme an der Realstudie wird nur bei denjenigen Personen angefragt, die bereits an der Fahrsimulatorstudie teilgenommen haben. Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie ist neben dem Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis der Klasse CE und einer Fahrerkarte eine möglichst hohe Fahrerfahrung (Abbildung 7.20 rechts). So kann davon ausgegangen werden, dass das Führen des an sich unbekanntes Versuchsfahrzeuges nach kurzer Eingewöhnungsdauer keine Anstrengung mehr bedeutet. An der Realstudie nehmen zwölf Männer im Alter von 29 bis 69 Jahren ($M = 44,9$; $SD = 9,8$) teil (Abbildung 7.20 links) [Sei12b].

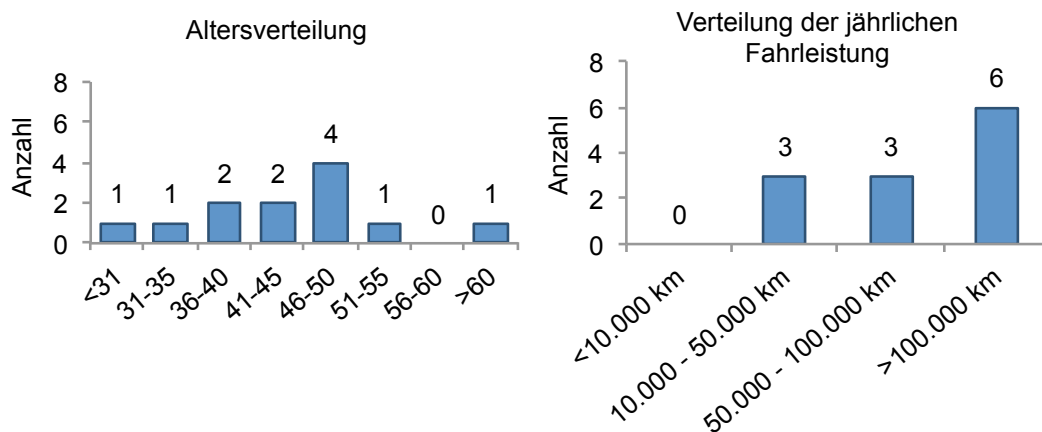


Abbildung 7.20: Altersverteilung (links) und Verteilung der jährlichen Fahrleistung (rechts) der Teilnehmer der Realstudie

Da der Versuch aufwändig und langdauernd ist und die Auswertung individuelle Unterschiede berücksichtigen soll, kann die Stichprobe nur klein gehalten werden. Mit Ausnahme eines nebenberuflichen Fahrers arbeiten zum Zeitpunkt der Studie alle Versuchspersonen hauptberuflich als Lkw-Fahrer. Eine Versuchsperson ist 1-2 Tage pro Woche mit dem Lkw unterwegs, alle anderen mindestens 3-4 Tage. Alle Versuchspersonen geben an, seit mindestens sechs Jahren als Lkw-Fahrer tätig zu sein. Neun der Studienteilnehmer sind in ihrem beruflichen Alltag hauptsächlich mit Fahrzeugen des Herstellers MAN unterwegs [Sei12b]. Die Auswertung des Persönlichkeitsmerkmals Neurotizismus ergibt im Mittel eine leicht geringere Ausprägung im Vergleich zu den Teilnehmern der Simulatorstudie (Perzentil 40,3). Eine der zwölf Fahrten findet bei leichtem Regen statt, alle anderen ohne Niederschlag oder Nebel. Für ihre Teilnahme an der Studie erhalten die Versuchspersonen eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 50€ [Sei12b].

7.4.4 Apparat

Zur Durchführung der Realstudie wird ein Sattelzug verwendet, welcher eine möglichst hohe Ähnlichkeit zu der Fahrerkabine bzw. dem simulierten Gesamtfahrzeug in der Fahrsimulatorstudie aufweist. Die Zugmaschine, ein MAN TGX 18.440, verfügt ebenso wie der Fahrsimulator über ein automatisches Schaltgetriebe sowie über einen adaptiven Abstandstempomaten. Auch die Freisprecheinrichtung und deren Bedienung über das Multifunktionslenkrad entsprechen der des Fahrsimulators. Beim Sattelaufleger handelt es

sich um einen dreiachsigen, leeren Auflieger mit gehobener Liftachse und Planenaufbau. Die Versuchspersonen werden vor Fahrtantritt auf die durch die angehobene Liftachse veränderte Lenkcharakteristik hingewiesen. Über einen im Beifahrerbereich platzierten Messrechner werden zeitsynchron zu Videodaten zahlreiche Fahrdaten sowie die aktuelle GPS-Position aufgezeichnet (Abbildung 7.21), [Sei12b].



Abbildung 7.21: Außen- und Innenansicht des in der Realstudie verwendeten Versuchsfahrzeugs

7.4.5 Ergebnisse

Wie in Kapitel 7.3.5 erläutert, sind die Ergebnisse der Hautleitwertmessung für die Erstellung der Nachschlagetabelle im Kontext Informationsmanagement nicht relevant. Daher wird an dieser Stelle auf ihre Darstellung verzichtet und auf [Sei12b] und [Sei12a] verwiesen. Der Realversuch dient dazu, die ökologische Validität der Ergebnisse der Fahrstudie zu überprüfen. Aus diesem Grund liegt der Fokus der folgenden Darstellung der Ergebnisse auf einem Vergleich mit den Ergebnissen der Fahrstudie. Hierzu werden die Ergebnisse der Fahrstudie von den zwölf Versuchspersonen herangezogen, die am Realversuch teilnehmen (verbundene Stichprobe). Außerdem werden in die nachfolgend beschriebene Auswertung nur diejenigen Bewertungen aus dem Realversuch mit einbezogen, die sich auf Situationen beziehen, die kongruent zur jeweiligen Situation der Fahrstudie vorliegen. Das heißt, es werden beispielsweise bei Abbiegesituationen an ampelgeregelten Kreuzungen nur diejenigen Fälle betrachtet, in denen die vorliegende Ampelphase im Realversuch identisch ist zu der Ampelphase der Fahrstudie. Dadurch ergibt sich für bestimmte Situationen eine geringere Anzahl an gültigen Fällen. Die Situationen Baustelle, Bedienung am Schalterblock, Pkw auf Autobahn Auffahrt, Tunnel, schlechte Straße sowie zwei Abbiegesituationen werden um Ausreißer bereinigt. Bei der Auswertung der Ergebnisse werden nichtparametrische Tests verwendet.

Nach Leonard und Wierwille [Leo75] können Situationen dann als ökologisch valide eingestuft werden, wenn keine signifikanten Beanspruchungsunterschiede zwischen Simulation und Realität bestehen. Für die folgenden Betrachtungen wird ein Signifikanzniveau von $\alpha=5\%$ angenommen. Entsprechend den Ergebnissen eines Wilcoxon-Tests sind demnach 28 der 34 im Realversuch getesteten Situationen hinsichtlich der erhobenen Beanspruchungswerte als ökologisch valide, das heißt realistisch und aussagekräftig zu betrachten. Insgesamt ist daher von einer hohen ökologischen Validität der Fahrstudie zu sprechen. Eine Situation, die Situation schlechte Straße, kann nur im Realversuch getestet werden. Die Darstellung dieser Situation im Simulator ist nicht möglich.

Daher können die Ergebnisse nicht verglichen werden. In den verbleibenden 5 der 34 Situationen ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen aus Simulator- und Realversuch. Die fünf Situationen werden nachfolgend näher betrachtet [Dro12, S. 41ff].

Beschreibung der fünf nicht ökologisch validen Situationen Für die Situation Autobahn Auffahrt ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Simulator und Realität ($z = -1,98, p < .05$), wobei die Situation in der Realität beanspruchender erlebt wird. Da die infrastrukturellen Gegebenheiten der Autobahn Auffahrt in Simulation und Realität einander sehr ähnlich sind (Abbildung 7.22 links), sind die Beanspruchungsunterschiede in erster Linie auf die veränderte Verkehrslage zurückzuführen. Während im Simulatorversuch auf eine freie Autobahn aufgefahren werden kann, ist in der Realität Fließverkehr vorhanden, in welchen einzufädeln ist. Da in anderen Situationen auf der Autobahn trotz ebenfalls unterschiedlicher Verkehrsdichte kein Beanspruchungsunterschied zu finden ist, scheint die Verkehrsdichte speziell in dieser Situation Einfluss auf die Beanspruchung zu nehmen. Diese Annahme wird durch einen Befund von Buld et al. [Bul06, S. 58f] gestützt, welche den Verkehr als ausschlaggebenden Faktor für die Beanspruchung bei einer Auffahrt auf die Autobahn finden.



Abbildung 7.22: Vergleich der infrastrukturellen Gegebenheiten zwischen Simulation und Realität für die Situationen Autobahn Auffahrt (links), Pkw auf Autobahn Auffahrt (Mitte) und eine Kreuzungssituation außerorts, Fahrtrichtung geradeaus, schildergeregelt, Vorfahrt (rechts)

Für die Situation Pkw auf Autobahn Auffahrt ergibt sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen simulierter und realer Fahrt, wobei die Situation in der Realität weniger beanspruchend ist ($z = -2,32, p < .05$). Hinsichtlich der Infrastruktur unterscheiden sich beide Situationen durch die Anzahl der Spuren der Autobahn, auf welche der Pkw auffahren möchte. Während in der Realität eine dreispurige Fahrbahn vorliegt, fährt der Lkw in der simulierten Welt auf einer zweisepurigen Autobahn, von der die linke Fahrspur durch Warnbaken gesperrt ist. Diese sollen vermeiden, dass der Lkw-Fahrer auf der ansonsten verkehrsfreien Autobahn nach links ausweicht, um dem Pkw die Auffahrt zu erleichtern (Abbildung 7.22 Mitte). Nach Fastenmeier [Fas95, S. 75f] hat die Anzahl der Fahrspuren der Autobahn keinen Einfluss darauf, wie anstrengend das Auffahren weiterer Verkehrsteilnehmer erlebt wird, so dass diese Diskrepanz zwischen Fahr Simulator- und Realversuch bei der Versuchsplanung in Kauf genommen wurde. Eine Erklärung für die dennoch fehlende ökologische Validität dieser Situation bietet womöglich die Tatsache, dass der Fahrer des realen Pkws aus Sicherheitsgründen nicht ebenso lange auf der Auffahrt parallel neben dem Lkw herfahren kann, wie das simulierte Fahrzeug im Fahr Simulatorversuch. Außerdem kann der Pkw aufgrund der erhöhten Verkehrsdichte in der Realität nicht so intensiv durch die Versuchsperson beobachtet werden, wie in der Simulatorstudie. Die

dadurch geringere Saliens dieses Ereignisses trägt möglicherweise zu der geringer empfundenen Beanspruchung im Realversuch bei.

Die Situation Passieren einer schildergeregelten Kreuzung außerorts mit Vorfahrt ist ebenfalls als nicht ökologisch valide einzustufen ($z = -2,13, p < .05$). Hier unterscheidet sich die Situation des Realversuchs dahingehend von der des Simulatorversuchs, dass die Straße leicht kurvig und schlechter einsehbar ist. Nach Fastenmeier [Fas95, S. 75] ist die Kurvigkeit bei Landstraßen eine zentrale Einflussgröße auf die Aufgabenkomplexität für Pkw-Fahrer. Zum anderen verdecken in der realen Situation Bäume und Sträucher den Verlauf der kreuzenden Straße und schränken so die Sicht auf sich eventuell nähernde Verkehrsteilnehmer ein (Abbildung 7.22 rechts). Für diese Situation ergibt sich in der Realität ein höherer Beanspruchungswert als in der Fahrsimulatorstudie.

Für die Situation Telefonieren ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Simulator- und Realversuch ($z = -2,02, p < .05$) mit einer höheren Bewertung der Beanspruchung in der Realität. Der Inhalt des Telefonats sowie die Bedienung des Telefons über das Multifunktionslenkrad sind identisch zur Fahrsimulatorstudie. Hier kann als Ursache lediglich das höhere Verkehrsaufkommen im Realversuch vermutet werden. Im Simulatorversuch ist während der Situation Telefonieren keinerlei Fremdverkehr vorhanden.

Die Situation Rangieren wird im Simulatorversuch signifikant beanspruchender erlebt als in der Realität ($z = -2,20, p < .05$). Das Rangieren beinhaltet die Aufgabe, in eine Parklücke seitlich einzuparken, die sowohl von vorne als auch hinten durch parkende Fahrzeuge oder Hindernisse begrenzt ist. Der Unterschied zwischen Simulator und Realität, auf welchen die verschiedenen Bewertungen möglicherweise zurückgeführt werden können, ist der, dass in der Realität aus Sicherheitsgründen ein Einweiser vorhanden ist. Im Fahrsimulator ist die technische Umsetzung eines Einweisers in der simulierten Welt nicht möglich [Dro12, S. 41ff].

Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den Bedingungen im Simulator- und Realversuch ist die Höhe des Verkehrsaufkommens. Im Simulatorversuch ist kein Fremdverkehr vorhanden, außer die Situation erfordert dies explizit. Diesem Vorgehen liegt das Bestreben zugrunde, nach Möglichkeit alle Einflussfaktoren auf die Beanspruchung mit Ausnahme des interessierenden auszuschließen, um Konfundierungseffekten vorzubeugen. Dagegen ist im Realversuch meist Fremdverkehr vorhanden, insbesondere bei den autobahn- und stadtspezifischen Situationen. Einen Einfluss auf die Beanspruchung nimmt dieser Umstand offensichtlich lediglich in der Situation Autobahn Auffahrt und möglicherweise in der Situation Telefonieren. Kritisch anzumerken ist die teilweise geringe Anzahl kongruenter und damit ausgewerteter Fälle im Realversuch. Dies betrifft insbesondere Kreuzungssituationen, weil deren aktuelle Vorfahrtsregelung nicht manipuliert werden kann. Die Situationen Tunnel, Blendung bei Tunnelausfahrt und Baustelle finden im Realversuch auf anderen Straßentypen als im Simulatorversuch statt, weswegen von unterschiedlichen Anforderungen an den Fahrer ausgegangen werden muss. Die dennoch gefundene ähnliche Beanspruchung kann nach Leonard und Wierwille [Leo75] nicht als eindeutiges Zeichen für ökologische Validität verstanden werden. Für diese Situationen ebenso wie für diejenigen mit einer geringen Anzahl auswertbarer Datensätze ist eine weiterführende Untersuchung sinnvoll. Eine mögliche Störquelle bei der Validitätsanalyse ist der Umstand, dass die Versuchspersonen für

die Bedingung im Realverkehr hochtrainiert sind, für die Bedingung im Fahrsimulator dagegen wenig oder keine Vorerfahrung mitbringen. Durch eine ausführliche Eingewöhnungsfahrt im Fahrsimulator sowie durch den hohen Realitätsgrad des Simulators kann dieser Einfluss unter Umständen abgemildert werden. Dennoch ist die unterschiedliche Erfahrung der Versuchspersonen mit den beiden Fahrzeugarten als Einfluss auf die Analyse zu vermuten. Eine weitere Störquelle könnte die Versuchsreihenfolge sein. Alle Versuchspersonen absolvierten erst die Simulatorstudie und danach mit einem Abstand von etwa zehn Monaten die Realstudie. Dadurch können Lern- und Reihenfolgeeffekte nicht ausgeschlossen werden. Außerdem kann das in der Realstudie fehlende Kopfgestell zur Erfassung der pupillometrischen Daten Einfluss auf die Bewertung der Beanspruchung nehmen. Ein Teilnehmer der Realstudie absolviert diese bei Regen, was ebenfalls zu einer leicht verzerrten Empfindung von Beanspruchung führen kann [Dro12, S. 41ff].

Die in der Fahrsimulatorstudie erhobenen Beanspruchungswerte der 28 Situationen, die als ökologisch valide eingestuft werden, sind als realitätsnah und geeignet für die Verwendung im Informationsmanagement zu sehen. Dies unterstreicht die Eignung des Fahrsimulators für die gegebene Untersuchungsfrage. Die ökologische Validität ist dennoch von den spezifischen Versuchsbedingungen abhängig und bezieht sich lediglich auf die subjektiv empfundene Beanspruchung. Durch die Zusammensetzung der Stichprobe können die erhobenen Werte als repräsentativ für die Gruppe der Lkw-Fahrer in Deutschland betrachtet werden.

7.5 Schätzung der Beanspruchung

Die in der Fahrsimulator- und Realstudie erhobenen Werte für die Fahrerbeanspruchung in bestimmten alltäglichen Situationen werden in der Nachschlagetabelle zur indirekten Schätzung der Fahrerbeanspruchung hinterlegt. Zusätzlich wird ein Konzept zur Schätzung der Gesamtbeanspruchung entwickelt. Auf beide Aspekte wird nachfolgend eingegangen.

Nachschlagetabelle Für das Befüllen der Nachschlagetabelle mit Beanspruchungswerten wird folgendes Vorgehen angewendet:

- Grundsätzlich wird den Situationen die in der Fahrsimulatorstudie erhobene subjektive Beanspruchung hinterlegt, weil diese Studie auf dem größeren Stichprobenumfang basiert.
- Die Situation schlechte Straße konnte in der Simulatorstudie aus technischen Gründen nicht untersucht werden. Daher wird die subjektive Beanspruchung aus der Realstudie verwendet.
- Den Situationen, deren ökologische Validität nicht gegeben ist und die in der Realstudie beanspruchender als in der Simulatorstudie empfunden werden, wird die subjektive Beanspruchung aus der Realstudie hinterlegt.
- Die so determinierten Beanspruchungswerte werden auf einen Wertebereich von 0-100% skaliert und in der Nachschlagetabelle hinterlegt.

Bei fünf der in der Realität untersuchten Situationen ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Fahrsimulator- und Realstudie. Diese fünf Situationen sollten in weiterführenden Studien genauer untersucht werden. Aus einem pragmatischen

Ansatz heraus werden diese fünf Situationen für die prototypische Umsetzung des Informationsmanagements mit dem jeweils höheren Beanspruchungswert versehen. Dies geschieht auf Basis der selben Überlegung, die bereits in Kapitel 7.2.1 im Zusammenhang mit der Auslöseschwelle der Situationserkennung angedeutet wurde. So führt eine fälschlicherweise zu hoch angenommene Beanspruchung zu einer unnötigerweise verzögerten Meldungsabgabe. Dies dürfte geringere negative Auswirkungen zur Folge haben, als eine fälschlicherweise zu gering angenommene Beanspruchung, während welcher eine Meldung ausgegeben wird. Folglich wird für die drei Situationen Autobahn Auffahrt, Telefonieren und Passieren einer schildergeregelten Kreuzung außerorts mit Vorfahrt der Beanspruchungswert aus der Realstudie verwendet. Den Anforderungen nach Modularität, Flexibilität und insbesondere Erweiterbarkeit des Informationsmanagementsystems folgend, werden die Beanspruchungsbewertungen auf der SEA skaliert auf einen Wertebereich von 0-100%. Dies erleichtert die Erweiterung der Nachschlagetabelle um weitere Situationen, deren Beanspruchung eventuell mit anderen Erhebungsverfahren erfasst wird. Darüber hinaus steigt die Anschaulichkeit und Nachvollziehbarkeit des Beanspruchungswertes sowohl bei Entwicklern als auch bei Fahrern.

Schätzung der Gesamtbeanspruchung Bisher wurde die auftretende Beanspruchung in isolierten Situationen untersucht, die jeweils durch nur einen hauptsächlich belastenden Faktor gekennzeichnet sind. Im realen Verkehrsgeschehen ist mit dem zeitweiligen parallelen Auftreten mehrerer belastender Faktoren zu rechnen. Insbesondere das parallele Auftreten schwieriger Umgebungsbedingungen zeitgleich mit Fahrmanövern oder Bedienhandlungen ist wahrscheinlich. Es ist nicht hinreichend bekannt, welche Auswirkungen dies auf die resultierende Gesamtbeanspruchung hat. In Studien zum Thema Fahrerbeanspruchung und in den in Kapitel 3.3 vorgestellten Konzepten zu Informationsmanagement wird der Aspekt des gleichzeitigen Auftretens mehrerer Situationen nicht explizit aufgegriffen. Dieser Umstand ist vermutlich der überproportional steigenden Komplexität durch die Kombination verschiedener Einflüsse auf die Beanspruchung geschuldet. Um den Fall, dass mehrere Situationen gleichzeitig vorliegen, dennoch im Rahmen des zu entwickelnden Informationsmanagementsystems prototypisch handhaben zu können, wird ein vereinfachender Ansatz gewählt. Die Gründe hierfür sind einerseits die in der Literatur fehlenden Hinweise darauf, wie es sich mit der Kombination verschiedener „Einzelbeanspruchungen“ zu einer „Gesamtbeanspruchung“ verhält. Andererseits ist es in einem angemessenen Rahmen nicht möglich, alle denkbaren Kombinationsmöglichkeiten der 44 relevanten Situationen hinsichtlich ihrer resultierenden Gesamtbeanspruchung zu untersuchen. Daher werden in dem gewählten Ansatz Gewichtungsfaktoren determiniert unter der vereinfachenden Annahme, dass sich die „Einzelbeanspruchungen“ additiv zueinander verhalten.

Für die Determinierung der Gewichtungsfaktoren wird eine Conjoint-Analyse angewendet [Sei12f]. Eine Conjoint-Analyse kommt im Zusammenhang mit einer Bewertung der Fahrerbeanspruchung auch in der Studie der NHTSA (Kapitel 2.2) zum Einsatz. Mithilfe dieses Verfahrens wird in der Marktforschung der Teilnutzen bestimmt, den einzelne Komponenten bzw. deren Ausprägungen zum Gesamtnutzen eines Objektes beitragen. Die Vorteile des Verfahrens sind das flexible Skalenniveau sowie der Umstand, dass für eine Bestimmung der Teilnutzenwerte nicht alle theoretisch möglichen Kombinationen von Ausprägungen abgefragt werden müssen. Für eine ausführliche Darstellung der Conjoint-Analyse wird auf Backhaus et al. [Bac03, S. 543ff] verwiesen. Im vorliegenden Anwen-

dungsfall entsteht durch Kombination der isolierten beanspruchenden Situationen eine Gesamtsituation. Durch Bewertung der Beanspruchung in der Gesamtsituation kann auf die Teilnutzenwerte der isolierten Situationen geschlossen werden. Diese Teilnutzenwerte können wiederum als Gewichtungsfaktoren interpretiert werden. In einer Lkw-Fahrerbefragung bewerten 170 Lkw-Fahrer die Beanspruchung in 134 Gesamtsituationen [Sei12f]. Hieraus kann ein Gewichtungsverfahren entwickelt werden, mit dessen Anwendung eine „Gesamtbeanspruchung“ aus den einzelnen Beanspruchungswerten der isolierten Situationen bestimmt werden kann. Dieses Gewichtungsverfahren ist als ein stark vereinfachendes Instrument zu verstehen, dessen Intention eine ungefähre Schätzung der Gesamtbeanspruchung mit handhabbarem Aufwand ist.

7.6 Diskussion des Konzeptes

Es wurde ein Konzept entwickelt und umgesetzt, mit dessen Hilfe über Fahrzeug- und Umweltdaten indirekt auf die Fahrerbeanspruchung geschlossen werden kann. Hierzu wurden relevante, alltägliche Situationen identifiziert, welche von einer Situationserkennung erkannt werden. In einer Nachschlagetabelle ist für jede Situation ein Beanspruchungswert hinterlegt. Die Werte wurden in einer Fahrsimulatorstudie erhoben und in einer Realstudie validiert. Die Konzeptionierung der Beanspruchungsschätzung ist von den in Kapitel 4 definierten Anforderungen geprägt. Eine Übersicht über die Vor- und Nachteile des Konzeptes der indirekten Beanspruchungsschätzung bietet Tabelle 7.1.

Tabelle 7.1: Vor- und Nachteile des Konzeptes der indirekten Beanspruchungsschätzung

Vorteile des Konzeptes indirekte Schätzung	Nachteile des Konzeptes indirekte Schätzung
Beanspruchung als Führungsgröße	Hoher Aufwand im Vorfeld zur Erhebung der Beanspruchung
Wissensgewinn durch genaue Untersuchung der Situationen hinsichtlich Beanspruchung	Ausreißer und relativ hohe Standardabweichung bei subjektiver Bewertung der Beanspruchung
Individuelle Konfigurierbarkeit der Nachschlagetabelle umsetzbar	Verwendung eines Beanspruchungsmittelwertes für alle Fahrer
Hohe Nachvollziehbarkeit des Systemverhaltens für Fahrer und Entwickler	Mehrere Situationen gleichzeitig: Untersuchung der Möglichkeit Conjoint-Analyse
Einfache Erweiterbarkeit von Situationserkennung und Nachschlagetabelle	Festgelegt auf a priori definierte Situationen
Ohne zusätzliche Sensorik umsetzbar	Verwendung vieler verschiedener Sensoren, aufwändige Fehlerbehandlung
Genauer Kenntnis der vorliegenden Situation	
Wiederverwendbarkeit der Situationserkennung	
Vorausschau auf Situationen teilweise möglich	

Die in Kapitel 4.1 formulierte Anforderung nach der Beanspruchung als Führungsgröße des Informationsmanagementsystems wird durch die indirekte Schätzung erfüllt. Zwar ist ein relativ hoher Aufwand erforderlich, um die Beanspruchungswerte im Vorfeld zu erfassen, jedoch wird dadurch ein Wissen über die beanspruchenden Faktoren beim Führen eines Lkws generiert, das dem Informationsmanagement, aber auch anderen Fahrzeugfunktionen zugutekommen kann. Die in der Nachschlagetabelle enthaltenen Werte sind Mittelwerte der subjektiven Beanspruchung, die um Ausreißer bereinigt werden mussten und eine relativ hohe Standardabweichung aufweisen. Auch Hoyos und Kastner [Hoy86]

berichten von dem Problem einer breiten Streuung der Ergebnisse von Beanspruchungsmessungen, welche den individuellen Charakter von Beanspruchung unterstreichen. Durch die Verwendung der Nachschlagetabelle werden die individuellen Fähigkeiten desjenigen Fahrers, der das Fahrzeug tatsächlich führt, nicht berücksichtigt. Dieser Nachteil könnte durch eine konfigurierbare Gestaltung der Nachschlagetabelle ausgeglichen werden. So wäre es theoretisch denkbar, eine individuelle Gewichtung der Beanspruchung durch den Fahrer vorzusehen, zum Beispiel einmalig bei der Konfiguration des Fahrzeuges. Dadurch könnte ein Fahrer Situationen, in denen er sich besonders auf das Fahren konzentrieren möchte, höher und Situationen, in denen die Aufnahme ausgegebener Meldungen kein Problem darstellt, geringer gewichten. Durch die feste Zuweisung von Beanspruchungswerten in Situationen ist eine gute Nachvollziehbarkeit des Systemverhaltens in den jeweiligen Situationen gegeben. Der regelbasierte Ansatz, mithilfe dessen die Situationserkennung umgesetzt wurde, trägt zusätzlich zur Nachvollziehbarkeit des Systemverhaltens bei. Für den Fall des Auftretens mehrerer beanspruchender Situationen gleichzeitig bietet die Anwendung der Conjoint-Analyse eine prototypische Lösung, die jedoch noch näher zu untersuchen ist. Die indirekte Schätzung der Beanspruchung ist festgelegt auf die a priori als relevant definierten Situationen. Allerdings können aufgrund des modularen Konzepts sowohl die Nachschlagetabelle als auch die Situationserkennung um weitere Situationen erweitert werden. Das Architekturmodell der Situationserkennung wurde explizit nach dieser Anforderung konzipiert. Die Situationserkennung, welche in den beiden Varianten High und Base umgesetzt wurde, basiert ausschließlich auf Sensorik, die in Serienfahrzeugen in naher Zukunft verfügbar sein wird. Insbesondere in der High-Variante wird dabei auf eine Vielzahl von Sensoren zurückgegriffen, deren Zusammenspiel komplex ist. Der Fehlerbehandlung muss daher bei der Umsetzung Aufmerksamkeit geschenkt werden. Durch die Situationserkennung ist neben der aktuellen Beanspruchung auch die genaue Ursache für diese Beanspruchung bekannt. Dieser Umstand kann für die weitere Optimierung der Meldungsausgabe von Vorteil sein. Beispiele für eine situationsabhängige Optimierung der Meldungsausgabe bieten die Informationsmanagementkonzepte von Dugarry [Dug04], Saab [Nåb08] oder AIDE (Anhang A). Aber auch für andere Anwendungen ist die Wiederverwendbarkeit der Information über die vorliegende Situation unter Berücksichtigung der implementierten sensiblen Auslöseschwellen gegeben. Insbesondere durch die Verwendung von Informationen der digitalen Karte in der High-Variante der Situationserkennung können bestimmte Situationen bereits im Voraus detektiert werden. So kann beispielsweise die Vorbereitung des Fahrers auf eine Situation im Informationsmanagement berücksichtigt werden.

8 Steuerung der Meldungsausgabe

Das Informationsmanagementmodul (IMM) steuert die Ausgabe von Fahrzeugmeldungen mit dem Ziel, eine zusätzliche Belastung des Fahrers in beanspruchenden Situationen zu verhindern. Nachfolgend wird die grundsätzliche Funktionsweise des IMM beschrieben und anschließend auf die konkrete Determinierung einiger Parameter des Moduls eingegangen.

8.1 Funktionsweise und Aufgaben der Ausgabesteuerung

Das IMM arbeitet mit zwei Eingangsgrößen, der Fahrerbeanspruchung und der Fahrzeugmeldung. Die Fahrerbeanspruchung wird auf einen Wertebereich von 0-100% skaliert übergeben. So kann sie im IMM unabhängig von ihrem Erhebungsverfahren verwendet werden. Dies fördert die Modularität des Gesamtkonzeptes. Die Fahrzeugmeldung enthält zwei für das IMM relevante Eigenschaften: Die Priorität in drei Prioritätsstufen sowie die maximal mögliche zeitliche Verzögerung der Meldung in Millisekunden. Anhand dieser Größen wird im IMM über den Ausgabezeitpunkt der Meldung entschieden. Wird der Ausgabezeitpunkt aufgrund zu hoher Beanspruchung verzögert, besteht eine weitere Aufgabe des IMM darin, die zurückgestellte Meldung zu verwalten.

Entscheidung über eine Meldungsausgabe Erreicht eine auszugebende Meldung das IMM, wird zuerst die Meldungseigenschaft *maximal mögliche Verzögerungsdauer* betrachtet. Beträgt diese 0ms, wird die Meldung sofort an das jeweilige Ausgabemedium übermittelt. Ist sie größer als 0ms, wird ein Timer ausgelöst. Dieser dient als Grundlage dafür, dass eine Überschreitung der maximalen Verzögerungsdauer verhindert wird. Außerdem wird in diesem Fall die zweite Meldungseigenschaft *Priorität* für die Entscheidung über eine verzögerte Meldungsausgabe herangezogen.

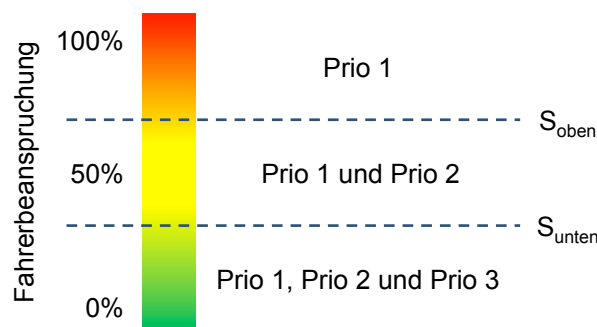


Abbildung 8.1: Schematische Darstellung der Schwellen des Informationsmanagementmoduls nach [Sei12d]

Da die Meldungspriorität in einer von drei Prioritätsstufen vorliegt, werden für die Entscheidung über eine Meldungsausgabe in Abhängigkeit von der aktuellen Fahrerbeanspruchung zwei Beanspruchungsschwellen benötigt. Meldungen der Priorität 1 werden aufgrund ihres sicherheitskritischen Inhalts stets sofort ausgegeben, unabhängig von der aktuellen Beanspruchung. Meldungen der Priorität 2 übermitteln funktionskritischen Inhalt und werden daher bis zu einem mittleren Beanspruchungsbereich ausgegeben. Dieser Bereich wird nach oben hin begrenzt durch die Schwelle S_{oben} , nach unten durch die

Schwelle S_{unten} . Meldungen der Priorität 3 werden bereits bei geringer Beanspruchung oberhalb von S_{unten} zurückgestellt (Abbildung 8.1). Theoretisch würde der Parameter *maximal mögliche Verzögerungsdauer* für die Realisierung der Funktion Informationsmanagement ausreichen. Die Berücksichtigung der Meldungspriorität als weitere Grundlage zur Entscheidung über eine Meldungsausgabe bringt jedoch einige Vorteile mit sich. Sie erhöht die Transparenz des Informationsmanagements für den Fahrer, dem die Bedeutung der Meldungsprioritäten geläufig ist. Außerdem wird der Aufwand bei der Parametrierung der Meldungseigenschaften gering gehalten. Meldungen, deren Wichtigkeit zeitunabhängig ist, kann ein Default-Wert für die Verzögerungsdauer hinterlegt werden. Bei alleiniger Berücksichtigung der Verzögerungsdauer müsste ein Zeitwert bestimmt und hinterlegt werden, der die Wichtigkeit dieser Meldung im korrekten Verhältnis zur Wichtigkeit anderer Meldungen widerspiegelt.

Verwaltung zurückgestellter Meldungen Meldungen, deren Ausgabe verzögert wird, werden bis zu ihrer Ausgabe oder Löschung durch das IMM verwaltet. Unter der Verwaltung von zurückgestellten Meldungen sind folgende Aspekte zusammengefasst:

- Berücksichtigung des Timers zur maximal erlaubten Verzögerungsdauer der Meldung.
- Anstoß zur Meldungsausgabe bei Unterschreitung der entsprechenden Beanspruchungsschwelle.
- Festlegung der Ausgabereihenfolge von zurückgestellten Meldungen mithilfe der Kriterien maximal mögliche Verzögerung, Priorität der Meldung und Laufnummer.
- Berücksichtigung einer Erholungszeit.
- Überprüfung der Aktualität der Meldung vor ihrer Ausgabe.

Eine Meldung wird unabhängig von der aktuell vorliegenden Beanspruchung ausgegeben, sobald die Dauer ihrer maximal erlaubten Verzögerung erreicht ist. Um ein einheitliches Informationsmanagement zu erreichen, ist eine durchgängige Determinierung der Meldungseigenschaften essentiell. Daher ist die maximale Verzögerungsdauer so festzulegen, dass nach deren Ablauf die Wichtigkeit der Meldung der einer Meldung der Priorität 1 entspricht.

Zurückgestellte Meldungen, deren maximale Verzögerungsdauer noch nicht erreicht wurde, können ausgegeben werden, sobald die Beanspruchung die entsprechende Schwelle unterschreitet. Der Anstoß zur Ausgabe erfolgt demzufolge nach dem Pull-Prinzip. Wurden mehrere Meldungen zurückgestellt, muss die Ausgabereihenfolge dieser Meldungen festgelegt werden. Das wichtigste Kriterium hierfür ist die verbleibende Zeit, die eine Meldung noch maximal zurückgestellt werden kann. Liegt diese unterhalb eines vorgegebenen Grenzwertes, wird die entsprechende Meldung zuerst ausgegeben. Liegen mehrere Meldungen unterhalb des Grenzwertes, werden sie in aufsteigender Reihenfolge ihrer jeweils verbleibenden Zeit ausgegeben. Der Hintergrund für die Berücksichtigung der verbleibenden Verzögerungsdauer als wichtigstes Kriterium für die Ausgabereihenfolge ist folgender: Sollten während einer beanspruchenden Situation mehrere Meldungen zurückgehalten worden sein, dauert deren Ausgabe nach dem Absinken der Beanspruchung eine gewisse Zeit, weil jeweils zwischen der Ausgabe von Meldungen eine Erholungszeit abgewartet wird. Im ungünstigsten Fall steigt die Beanspruchung erneut, bevor alle zurückgehaltenen Meldungen ausgegeben werden konnten. Läuft dann die maximal mögli-

che Verzögerungsdauer einer Meldung ab, wird diese trotz hoher Beanspruchung ausgegeben. Dies kann unter Umständen vermieden werden, indem jene Meldung mit geringer verbleibender Verzögerungsdauer als erstes ausgegeben wird. Als nächstes Kriterium zur Bestimmung der Ausgabereihenfolge dient die Priorität der Meldungen, wobei Meldungen mit höherer Priorität zuerst ausgegeben werden. Sind mehrere Meldungen gleicher Priorität vorhanden, entscheidet eine Laufnummer über die Ausgabereihenfolge. Diese Laufnummer wird entsprechend der Reihenfolge des Auftretens der Meldungen vergeben.

Bevor eine Meldung letztendlich ausgegeben wird, wird eine Erholungszeit (Kapitel 8.2) eingehalten und zuletzt überprüft, ob die Meldung noch aktuell ist. Veraltete Meldungen werden gelöscht. Der Fall, dass eine Meldung nicht mehr aktuell ist, kann beispielsweise bei aufeinander aufbauenden Meldungen auftreten. Wurde etwa eine niedrig priorisierte Meldung über einen geringen Reifendruckverlust zurückgehalten, in der Zwischenzeit jedoch eine darauf aufbauende höher priorisierte Meldung über weiteren Reifendruckverlust ausgegeben, ist die erste, niedrig priorisierte Meldung nicht mehr aktuell und kann gelöscht werden.

8.2 Determinierung der Parameter der Ausgabesteuerung

Im Folgenden wird die Determinierung der relevanten Parameter des IMM beschrieben. Dies sind die beiden Schwellen S_{oben} und S_{unten} und Erholungs- und Vorbereitungszeiten. Um den Forderungen nach Erweiterbarkeit und Flexibilität gerecht zu werden, wird das IMM parametrierbar ausgelegt, so dass diese Parameter im Nachhinein einfach angepasst werden können.

Determinierung der Schwellen Die beiden Schwellen S_{oben} und S_{unten} sind die für die Entscheidung über eine Meldungsabgabe bestimmenden Parameter des IMM. Sie teilen den Wertebereich der Beanspruchung in drei Segmente ein.

Muigg [Mui09] verwendet bei seinem Informationsmanagement ebenfalls definierte Schwellen, um die Abgabe von Meldungen unterschiedlicher Priorität zu regeln (Anhang A). Als Führungsgröße seines Informationsmanagements wird der sogenannte Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert verwendet, welcher sich ebenfalls auf einen Wertebereich von 0% bis 100% erstreckt. Zur Determination der Schwellen bei Muigg [Mui09, S. 122] wurden mehrere hundert Testkilometer absolviert. Die daraufhin festgelegten Schwellen wurden anschließend in weiteren Testfahrten gezielt erprobt und als praktikabel befunden. Das genaue Vorgehen bei der Festlegung und Validierung der Schwellen wird in seiner Arbeit nicht beschrieben. Da sich das Informationsmanagement bei Muigg auf vier Stufen von Meldungsprioritäten stützt, definiert er drei Schwellen [Mui09, S. 122]:

- Komforthinweise (Prio4) werden ab einem Wert von 20% zurückgehalten.
- Systemhinweise (Prio3) werden ab einem Wert von 30% zurückgehalten.
- Sicherheitshinweise (Prio2) werden ab einem Wert von 47% zurückgehalten.
- Gefahrenhinweise (Prio1) werden stets sofort ausgegeben.

Die oben genannten Werte dienen als erste Anhaltspunkte für die Determinierung der Schwellen des Informationsmanagements im Nutzfahrzeug. Der Schwellwert 47% für Meldungen der Priorität 2 wird als Orientierungswert für die Schwelle S_{oben} verwendet, die

sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit ebenfalls auf Prio2-Meldungen bezieht. Oben genannte Komfort- und Systemhinweise werden zu einer gemeinsamen Kategorie zusammengefasst, welche der Priorität 3 im Prioritätensystem vorliegender Arbeit entspricht. Laut Muiggs Untersuchungen sollten unkritische Meldungen der Priorität 4 bereits ab einem Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert von 20% zeitlich zurückgestellt werden. Folglich dient dieser Schwellwert als Orientierungswert für S_{unten} . Genannte Werte beziehen sich auf den Pkw-Bereich. Im Lkw ist aufgrund der höheren Fahroutine der Berufskraftfahrer mit Unterschieden in der optimalen Schwellenhöhe zu rechnen. Außerdem basiert das Konzept des Informationsmanagements im Lkw auf einer anderen Führungsgröße als jenes von Muigg, nämlich auf der indirekt geschätzten Beanspruchung.

Die für den Lkw-Bereich gefundenen Beanspruchungswerte für die einzelnen Situationen werden einer explorativen Datenanalyse unterzogen. Die Verteilung der Beanspruchungswerte über die Situationen wird logarithmisch vermutet, weshalb eine Datenanpassung vorgenommen wird. Die transformierten, normalverteilten Daten werden anschließend einer hierarchischen Clusteranalyse unterzogen, mit dem Ziel, Gruppen in den Daten zu identifizieren. Dadurch ergeben sich die folgenden Schwellen:

- Informationen (Prio3) werden ab einem Wert von 29% zurückgehalten.
- Funktionskritische Meldungen (Prio2) werden ab einem Wert von 53% zurückgehalten.
- Sicherheitskritische Meldungen (Prio1) werden stets sofort ausgegeben.

In Abbildung 8.2 wird das Verhältnis der Schwellen nach Muiggs Testfahrten im Pkw und nach der Clusteranalyse der Beanspruchungswerte von Lkw-Fahrern gegenübergestellt. Wie zu erkennen ist, liegen die beiden Schwellen der Clusteranalyse erwartungsgemäß leicht über denen nach Muigg.

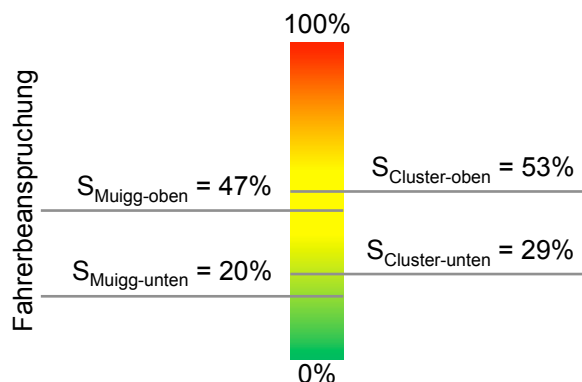


Abbildung 8.2: Gegenüberstellung der Schwellen nach Muigg und nach der Clusteranalyse

Für die nachfolgende Untersuchung des Informationsmanagements werden die Schwellen der Clusteranalyse implementiert. Damit fallen 20% der berücksichtigten Situationen in den Bereich oberhalb von der Schwelle S_{oben} , in welchem lediglich Meldungen der Priorität 1 ausgegeben werden. Dies sind vor allem Situationen, in denen schlechte Wetterbedingungen oder schwächere Verkehrsteilnehmer eine Rolle spielen. Außerdem fallen die Situationen Rangieren und Rückwärts Fahren, knapper Einscherer, Bedienung Navigationsgerät, Tunnel sowie Pkw auf Autobahn Auffahrt in diese höchste Kategorie. In diesen Situationen werden Meldungen der Priorität 2 und der Priorität 3 zurückgehalten. Insbe-

sondere den funktionskritischen Meldungen der Priorität 2 ist die im vorigen Kapitel vorgestellte maximal mögliche Verzögerungsdauer hinterlegt, so dass zu keiner Zeit eine Gefährdung des Fahrzeugs durch zu langes Zurückhalten der Meldungen entstehen kann.

60% der im Informationsmanagement berücksichtigten Situationen fallen in den Bereich zwischen S_{oben} und S_{unten} , in welchem Meldungen der Priorität 1 und 2 ausgegeben und Meldungen der Priorität 3 zeitlich zurückgestellt werden. Meldungen der Priorität 3 sind ausnahmslos Meldungen, deren Inhalt keinen Einfluss auf die Fahrzeugsicherheit nimmt und deren zeitliche Verzögerung daher keine Gefahr für Insassen oder Fahrzeug bedeutet. In 20% der Situationen ist keine Meldungsfilterung notwendig. Beispiele derartiger Situationen sind verschiedene Kreuzungen, die geradeaus überquert werden, die Situation schlechte Straße aber auch zum Beispiel die Situation Telefonieren.

Determinierung von Erholungs- und Vorbereitungszeiten Das Konzept der indirekten Schätzung der Beanspruchung über die Erkennung bestimmter Situationen hat zur Folge, dass die Beanspruchung über der Zeit nicht in Form einer Kurve vorliegt, sondern in Form einer Aneinanderreihung verschiedener Beanspruchungsplateaus. Der Beginn eines Plateaus, d. h. die Erhöhung der Beanspruchung, ist an den Anfangszeitpunkt der Erkennung einer Situation gekoppelt. Ebenso ist das Sinken der Beanspruchung nach einer Situation mit dem Ende des Erkennens der Situation verknüpft. Die Form des resultierenden Beanspruchungsverlaufs ist in Abbildung 8.3 beispielhaft für die Situation Abbiegen dargestellt. Durch den beschriebenen Umstand wird eine etwaige Vorbereitung des Fahrers auf beanspruchende Situationen nicht berücksichtigt. Dies hat zur Folge, dass eine Meldung, die kurz vor einer beanspruchenden Situation ausgelöst wird, auch sofort ausgegeben wird (Beispiel Meldung 1 in Abbildung 8.3). Auch eine möglicherweise benötigte Erholungszeit nach einer beanspruchenden Situation wird nicht berücksichtigt. Denn das sprunghafte Absinken der Beanspruchung nach einer Situation in Kombination mit dem oben beschriebenen Pull-Prinzip der Ausgabe zurückgestellter Meldungen hat zur Folge, dass die Ausgabe zurückgestellter Meldungen sofort nach Situationsende erfolgen würde (Beispiel Meldung 2 in Abbildung 8.3), [Sei12e].

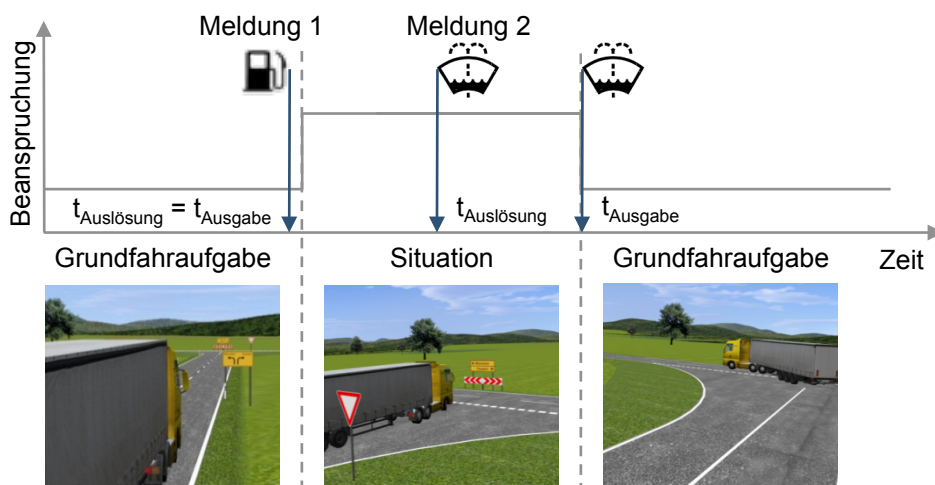


Abbildung 8.3: Auslöse- und Ausgabezeitpunkte zweier Meldungen und schematischer Beanspruchungsverlauf bei erkannter Situation Abbiegen ohne Berücksichtigung von Vorbereitungs- und Erholungszeiten

Um einen Fahrer weder in seiner Vorbereitungsphase auf noch in seiner Erholungsphase nach einer beanspruchenden Situation zu stören und gleichzeitig den Vorteil einer eindeutig anhand Beginn und Ende definierbaren Situation nicht aufzugeben, werden zwei Parameter eingeführt: Die Vorbereitungszeit t_{vor} und die Erholungszeit t_{erh} (Abbildung 8.4).

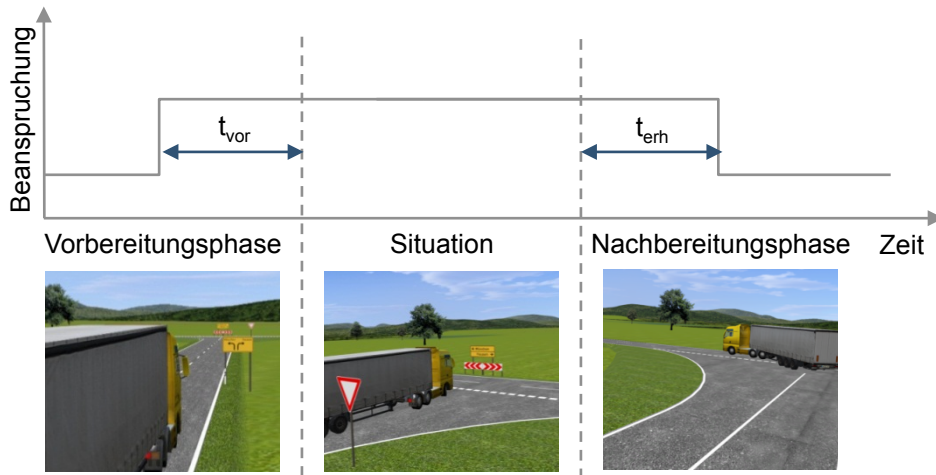


Abbildung 8.4: Vorbereitungs- und Erholungszeiten als Parameter des Informationsmanagementmoduls

Mithilfe einer explorativen Studie an einem statischen HMI-Prüfstand, an der 29 Versuchspersonen mit Lkw-Fahrerfahrung teilnehmen, wird geklärt, ob die beiden Parameter Vorbereitungszeit und Erholungszeit grundsätzlich im Informationsmanagement vorgesehen werden sollen [Sei12e]. Außerdem wird ein Einfluss der beiden Beanspruchungsdimensionen Höhe und Dauer, wie Kastner [Kas78 zitiert nach Hoy86, S. 8] sie vorschlägt, auf t_{vor} und t_{erh} untersucht. Würde ein Einfluss vorliegen, könnten die Parameter dynamisch in Abhängigkeit von Beanspruchungshöhe bzw. -dauer ausgelegt werden [Sei12e]. Eine ausführliche Beschreibung der Studie befindet sich im Anhang I.

Ein Einfluss der Dauer der Beanspruchung auf t_{erh} kann nicht festgestellt werden. Es wird ein signifikanter, jedoch schwacher Zusammenhang zwischen der Höhe der Beanspruchung und t_{erh} gefunden ($R^2=.42$, $p<.001$) [Sei12e]. Vor dem Hintergrund des schwachen Zusammenhangs sowie dem Wunsch nach einem möglichst nachvollziehbaren Algorithmus zur zeitlichen Optimierung der Meldungsausgabe wird auf eine dynamische Auslegung von t_{erh} verzichtet. T_{erh} wird statisch umgesetzt und sollte nach den Ergebnissen der Studie mit einem Wert zwischen zwei und drei Sekunden versehen werden. Auch die Vorbereitungszeit t_{vor} , die eine bedeutendere Rolle im Vergleich zu t_{erh} einzunehmen scheint, wird statisch und um den Faktor fünf länger als t_{erh} vorgesehen. Die Studie zeigt die Notwendigkeit insbesondere von Vorbereitungszeiten und dient als Basis für eine prototypische Determinierung der beiden Parameter t_{vor} und t_{erh} . Für eine genaue Festlegung der Werte sind weitere, detaillierte Untersuchungen nötig. Jedoch ist bereits durch die prototypische Parametrierung mit einer Verbesserung des Informationsmanagements zu rechnen.

Die Erholungszeit ist ein Parameter des IMM. Sie wird vor der Ausgabe einer Meldung nach einer beanspruchenden Situation abgewartet. Außerdem dient sie als Orientierungsgröße für den einzuhaltenden zeitlichen Abstand zwischen der Ausgabe zweier Mel-

dungen. Die Berücksichtigung der Vorbereitungszeit dagegen erfolgt nicht im IMM, sondern wird aus Gründen der Modularität und Durchgängigkeit des Konzeptes im Modul der Situationserkennung vorgesehen. Die Umsetzung der Berücksichtigung von Vorbereitungszeiten erfolgt über die Ergänzung je einer neuen Situationsvariablen pro Situation. Dies ist durch das Architekturkonzept der Situationserkennung problemlos möglich. Die Definition eigener Situationsvariablen für die Vorbereitungsphasen erhält die Transparenz und Wiederverwendbarkeit der Situationserkennung. Allerdings ist nicht für jede Situation eine zuverlässige Erkennung im Voraus möglich. Insbesondere in Situationen, die durch eine Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern gekennzeichnet sind, ist eine Erkennung im Voraus schwierig bzw. nicht möglich. Dagegen sind Situationen, die durch die Infrastruktur definiert sind, über digitale Karten im Voraus erkennbar. In der Nachschlagetafel wird für die Vorbereitungsphase auf eine Situation derselbe Beanspruchungswert hinterlegt, der auch für die eigentliche Situation hinterlegt ist. So bleibt die Schnittstelle zwischen IMM und Beanspruchungsmodul, an welcher ausschließlich ein Wert für die Beanspruchung zwischen 0% und 100% übergeben wird, unverändert erhalten.

9 Evaluation des Informationsmanagementsystems

Das Informationsmanagementsystem wird abschließend in einer Studie am dynamischen Lkw-Fahrsimulator evaluiert. Nachfolgend wird die Integration des Gesamtsystems in den Fahrsimulator beschrieben. Anschließend werden die Fragestellung und das Ziel der Studie aufgezeigt, die Methoden der Untersuchung erläutert sowie die Ergebnisse dargestellt.

9.1 Integration des Informationsmanagementsystems in den Lkw-Fahrsimulator

Für die Untersuchung muss das entwickelte Informationsmanagementsystem an die Architektur des dynamischen Lkw-Fahrsimulators adaptiert werden. Die Adaption erfolgt getrennt für die fünf Komponenten des Informationsmanagements, die in Abbildung 9.1 dargestellt sind. Dabei sind einige Randbedingungen zu berücksichtigen, die im Folgenden beschrieben werden.

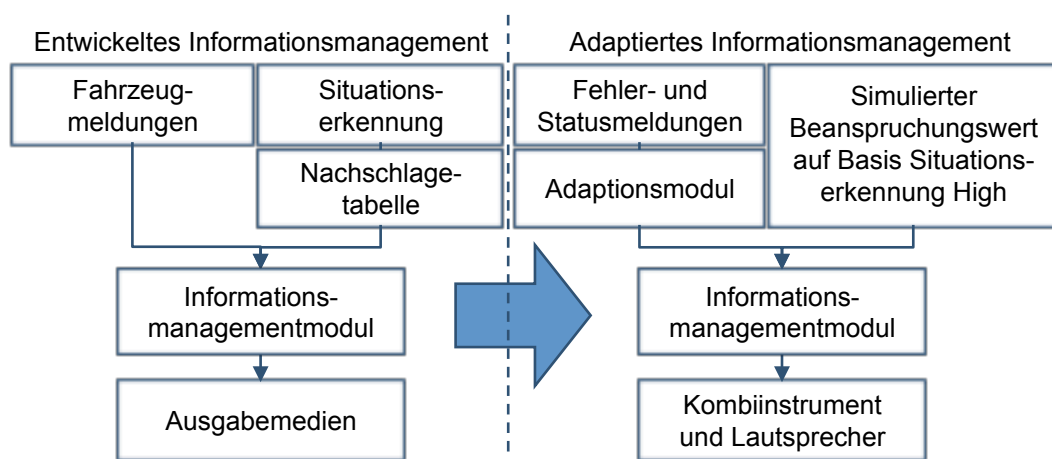


Abbildung 9.1: Adaption der einzelnen Module des Informationsmanagements an die Architektur des Fahrsimulators

Ausgabemedien Für eine durchgängige Optimierung des Informationsflusses vom Fahrzeug zum Fahrer sollten nach Möglichkeit alle Meldungsarten und dementsprechend alle Ausgabemedien in das Informationsmanagement einbezogen werden. Als Ausgabemedien stehen im Fahrsimulator ein serienmäßiges Kombiinstrument mit integriertem Display (Abbildung 9.2) sowie ein Lautsprecher zur Verfügung. Weitere Ausgabemedien, wie ein Sekundärdisplay, ein Head-up Display oder haptische Ausgabeelemente könnten zusätzlich in den Simulator integriert werden. Dadurch wäre zwar eine allgemeinere Untersuchung des Potentials von Informationsmanagement möglich. Allerdings würden die ergänzten Ausgabemedien prototypisch integrierte Elemente darstellen, über welche prototypische Meldungen ausgegeben werden. Hierbei besteht die Gefahr, dass der Einfluss der prototypischen Art sowohl des Ausgabemediums als auch der Meldung an sich die Untersuchungsergebnisse beeinflusst. Aus diesem Grund wird im Rahmen der Studie ausschließlich auf die vorhandenen serienmäßigen Ausgabemedien zurückgegriffen.

Fahrzeugmeldungen Wie oben erwähnt, sollen für ein ganzheitliches Informationsmanagement möglichst alle Meldungsarten, das heißt optische, akustische und haptische

Meldungen unterschiedlicher Fahrzeugsysteme berücksichtigt werden. Im Rahmen der evaluierenden Abschlussstudie muss aus zeitlichen und technischen Gründen sowie zur Reduzierung der Komplexität der Studie ein Untersuchungsschwerpunkt gesetzt werden. Es wird daher nur eine Meldungsart stellvertretend für alle möglichen Meldungsarten untersucht. Des Weiteren haben die Einschränkungen im Bereich der Ausgabemedien direkten Einfluss auf die Wahl der während der Studie auszugebenden Meldungen. Es werden ausschließlich Meldungen verwendet, die in einem heutigen Serien-Lkw implementiert sind und die über die serienmäßigen Ausgabemedien Kombidisplay und Lautsprecher ausgegeben werden. Basierend auf diesen Randbedingungen werden im Rahmen der Fahrstudie Fehler- und Statusmeldungen zur Untersuchung des Informationsmanagements herangezogen. Abbildung 9.2 zeigt ein Beispiel einer derartigen Meldung. Charakteristisch ist die visuelle Anzeige im Kombidisplay in Textform sowie je nach Meldung ein zusätzliches Aufleuchten der zentralen Warnleuchte (Kapitel 5) und unter Umständen einer Kontrollleuchte im Kontrollleuchtenblock unterhalb des Kombidisplays. Jede Fehler- oder Statusmeldung wird außerdem durch ein akustisches Signal begleitet.



Abbildung 9.2: Ausgabe einer Fahrzeugmeldung im Kombidisplay des Fahrstudios

Wie in Kapitel 5.2 beschrieben, wird ein dreistufiges Prioritätensystem zur zeitlichen Optimierung der Meldungsausgabe empfohlen. Den aktuell serienmäßigen Fehler- und Statusmeldungen, wie sie im Fahrstudio implementiert sind, liegt ein leicht unterschiedliches Prioritätensystem zugrunde. Daher werden diese Prioritäten auf das empfohlene dreistufige System umgerechnet. Dies geschieht in einem sogenannten Adaptionmodul, welches die Meldungen vor dem IMM passieren.

Situationserkennung und Nachschlagetabelle Die Situationserkennung wurde in zwei verschiedenen Ausstattungsvarianten umgesetzt (Kapitel 7.2), welche auf teilweise unterschiedliche Sensordaten zurückgreifen. Beide Varianten wurden bereits in Realversuchen und Offline-Simulationen getestet, so dass ihr jeweiliges Verhalten hinreichend bekannt ist. Die Variante High, die auf den Sensordaten eines vollausgestatteten Fahrzeuges basiert, erreicht eine leicht höhere Erkennungsrate und vor allem eine bessere Unterscheidungsgüte ähnlicher Situationen. Im Rahmen der evaluierenden Abschlussstudie steht die Funktion Informationsmanagement im Vordergrund, die unter idealen Laborbedingungen untersucht werden soll. Deswegen wird für die Studie die Variante High der Situationserkennung verwendet. Einschränkungen der Funktionalität des Informationsmanagements durch die Variante Base können auf Basis der Untersuchungen im Rahmen der Entwicklung der Situationserkennung abgeschätzt werden.

Die Algorithmen der Situationserkennung High sind nicht unmittelbar auf den Einsatz im Fahrsimulator übertragbar. Sie basieren auf einer Vielzahl von unterschiedlichen Daten, wie beispielsweise Daten der Umfeldsensorik oder der digitalen Karte. Teilweise stehen die Daten am Simulator in anderer Form, teilweise überhaupt nicht zur Verfügung. Zur Umsetzung der Situationserkennung im Simulator bieten sich daher zwei Möglichkeiten an. Eine Möglichkeit ist die Anpassung der Algorithmen an die Gegebenheiten des Simulators. Dies erfordert beispielsweise die Verwendung von sogenannten virtuellen Sensoren, welche in der Simulationssoftware als Ersatz für reale Umfeldsensorik implementiert werden können. Dieser Weg ist relativ aufwändig und fehleranfällig, weil das Verhalten jeder einzelnen Datenquelle in Anlehnung an das reale Verhalten modelliert werden muss. Die andere Möglichkeit ist die Bereitstellung einer simulierten Beanspruchungsgröße als Eingangsgröße für das IMM. Das Verhalten der Situationserkennung ist aus der Auswertung der Realtests und Offline-Simulationen vorhersagbar und die jeweils resultierenden Beanspruchungswerte sind aus der Nachschlagetabelle bekannt. Es ist daher zur Untersuchung der Funktion Informationsmanagement ausreichend, das Verhalten der Situationserkennung in Kombination mit den Werten der Nachschlagetabelle nachzustellen. Teilweise können die Beanspruchungswerte direkt in der virtuellen Versuchsstrecke hinterlegt werden, falls Beginn und Ende einer beanspruchenden Situation an infrastrukturellen Gegebenheiten festzumachen sind. Dies ist beispielsweise bei der Situation enge Kurve oder bei bestimmten Kreuzungssituationen möglich. Bei den Situationen, deren Beginn und Ende nicht an die Infrastruktur oder ein implementiertes Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer gebunden ist, genügt die Beobachtung einfacher Fahrzeugdaten, um Beginn und Ende einer Situation erkennen zu können. Die aufwändigere Variante der gesamten Modellierung der Situationserkennung bringt gegenüber der Variante der simulierten Bereitstellung des Beanspruchungswertes lediglich den Vorteil, dass die Funktion der Situationserkennung getestet werden kann. Da dies zuvor in Realversuchen und Offline-Simulationen geschehen ist, wird die einfachere Variante zur Implementierung im Fahrsimulator umgesetzt.

Informationsmanagementmodul Das IMM wird wie in Kapitel 8 beschrieben umgesetzt und in die Fahrsimulatorumgebung implementiert.

9.2 Fragestellung und Ziel der Untersuchung

Grundsätzlich ist das Ziel der abschließenden Fahrsimulatorstudie zu untersuchen, inwieweit der Einsatz des entwickelten Informationsmanagements im Nutzfahrzeug sinnvoll ist. Dies wird anhand folgender fünf Aspekte überprüft, die Abbildung 9.3 in einer Übersicht zeigt [Sei12c].

Durch die Steuerung der Ausgabe von Fahrzeugmeldungen in Abhängigkeit von der aktuellen Fahrerbeanspruchung wird in erster Linie beabsichtigt, den Fahrer in beanspruchenden Situationen nicht zusätzlich durch eine Meldungsausgabe zu belasten. Daraus lässt sich folgende gerichtete Hypothese ableiten.

- Hypothese 1: Während beanspruchender Situationen, in welchen eine Fahrzeugmeldung auftritt, ist die Fahrerbeanspruchung bei einer Fahrt mit Informationsmanagement geringer als bei einer Fahrt ohne Informationsmanagement.

Die zeitliche Optimierung der Meldungsabgabe in Abhängigkeit von der Fahrerbeanspruchung verfolgt außerdem das Ziel, insgesamt für eine Entspannung bei der Aufnahme ausgegebener Meldungen und für eine Entzerrung der Meldungsabgabe zu sorgen. Sie soll global über den gesamten Zeitraum einer Fahrt einen entspannten Umgang mit Fahrzeugmeldungen ermöglichen.

- Hypothese 2: Betrachtet über eine gesamte Fahrt, während welcher Fahrzeugmeldungen auftreten, ist die Fahrerbeanspruchung bei einer Fahrt mit Informationsmanagement geringer als bei einer Fahrt ohne Informationsmanagement.

Eine Studie von Muigg et al. [Mui08] zeigt, dass sich der Blick eines Fahrers unabhängig von den Anforderungen durch die aktuelle Fahrsituation von einer Meldungsabgabe in den Fahrzeuginnenraum lenken lässt. Durch die Vermeidung dieser Blickabwendung ergeben sich laut Muigg Potentiale für die Verkehrssicherheit. Diese Hypothese soll ebenfalls im Rahmen der evaluierenden Abschlussstudie untersucht werden.

- Hypothese 3: Sicherheitskritische beanspruchende Situationen, in welchen eine Fahrzeugmeldung auftritt, können bei einer Fahrt mit Informationsmanagement sicherer absolviert werden als bei einer Fahrt ohne Informationsmanagement.

Standzeiten von Lkws aufgrund von Reparaturen bedeuten Gewinnverluste für die Transportunternehmen. Um unnötige bzw. vermeidbare Standzeiten zu umgehen, spielt eine adäquate Fehlerbehandlung eine wichtige Rolle. Voraussetzung hierfür ist unter anderem die Aufnahme und kognitive Verarbeitung ausgegebener Fehlermeldungen und Ableitung einer geeigneten Handlung durch den Fahrer. Außerdem werden im heutigen Flottenmanagement Informationen über Routen, Kunden, Termine etc. via Telematiksysteme an den Fahrer übermittelt. Die zuverlässige und sichere Aufnahme dieser Informationen ist essentiell für einen reibungslosen Arbeitsalltag. Mit einem Informationsmanagement, welches Meldungen in beanspruchenden Situationen zurückstellt, kann unter Umständen die Aufnahmegüte der Meldungen verbessert werden. Hieraus wird folgende Hypothese abgeleitet.

- Hypothese 4: Meldungen, welche während beanspruchender Situationen auftreten, können bei einer Fahrt mit Informationsmanagement besser aufgenommen und verarbeitet werden als bei einer Fahrt ohne Informationsmanagement.

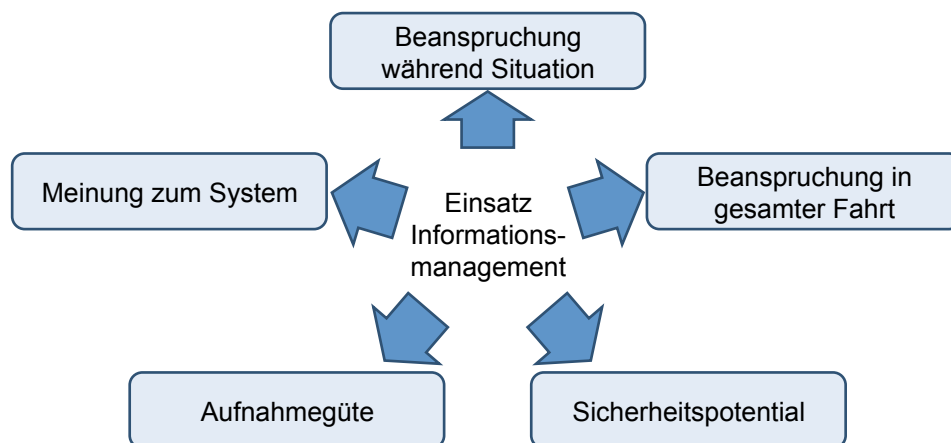


Abbildung 9.3: Untersuchungsfragen bei der Evaluation des Informationsmanagements

In der Fahrsimulatorstudie wird untersucht, ob die aus den oben formulierten Hypothesen abgeleiteten Nullhypothesen zu bestätigen oder zu widerlegen sind [Sei12c].

- H01: Die Beanspruchung während beanspruchender Situationen, in welchen eine Fahrzeugmeldung auftritt, ist unabhängig vom Einsatz eines Informationsmanagements.
- H02: Die Beanspruchung während einer Fahrt, in welcher Fahrzeugmeldungen auftreten, ist unabhängig vom Einsatz eines Informationsmanagements.
- H03: Die sichere Fahrzeugführung in sicherheitskritischen beanspruchenden Situationen, in welchen eine Fahrzeugmeldung auftritt, ist unabhängig vom Einsatz eines Informationsmanagements.
- H04: Die Aufnahmegüte von Meldungen, welche während beanspruchender Situationen auftreten, ist unabhängig vom Einsatz eines Informationsmanagements.

Darüber hinaus werden qualitative Untersuchungen zur Meinung der Lkw-Fahrer über den Einsatz von Informationsmanagement im Nutzfahrzeug erhoben [Sei12c].

9.3 Experimentelles Design und Versuchsablauf

Bei der Durchführung der Fahrsimulatorstudie kommt ein Versuchsdesign mit Messwiederholung zum Einsatz [Sei12c]. Der Ausgabezeitpunkt einer Meldung, welcher durch das Informationsmanagement verändert werden kann, dient als unabhängige Variable. Fahrerbeanspruchung, Sicherheitspotential und Aufnahmegüte werden als abhängige Variablen erhoben. Deren Operationalisierung beschreibt Kapitel 9.4.

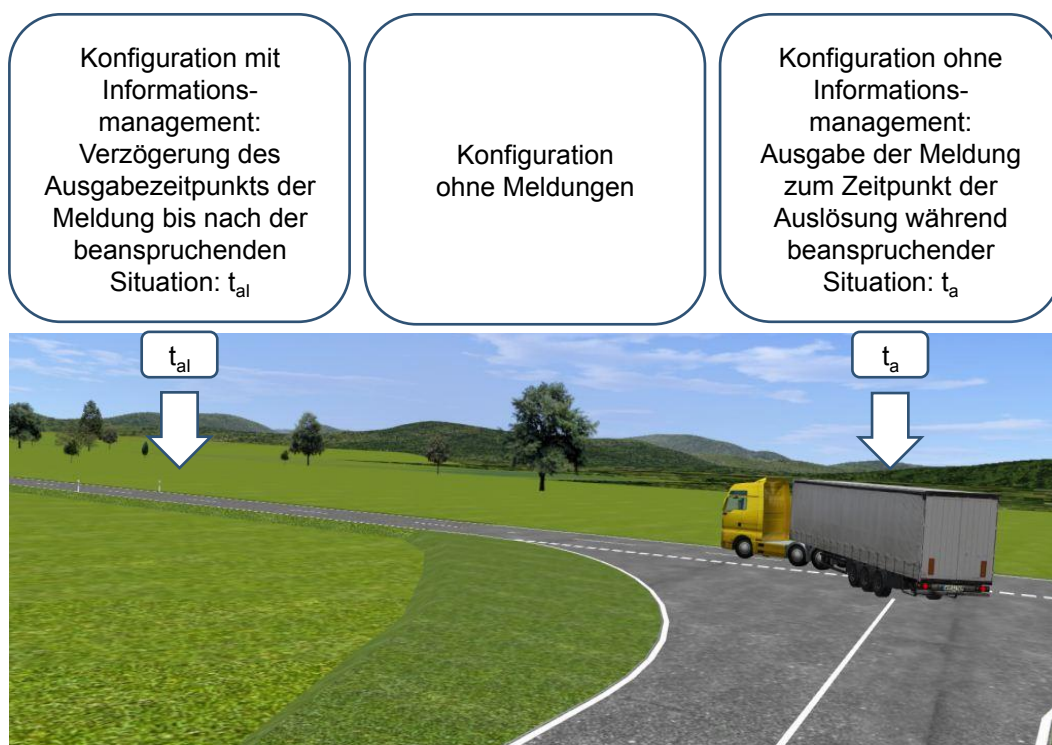


Abbildung 9.4: Darstellung der drei Konfigurationen zur Evaluation des Informationsmanagements am Beispiel der Situation Abbiegen

Da die Intention der Studie die Untersuchung des Potentials des entwickelten Informationsmanagementsystems ist, werden Fahrzeugmeldungen gezielt in beanspruchenden Situationen ausgelöst. Bei einer Fahrt ohne Informationsmanagement werden diese Meldungen sofort ausgegeben, während sie bei einer Fahrt mit Informationsmanagement verzögert und erst nach der beanspruchenden Situation und einer Erholungszeit ausgegeben werden [Sei12c].

Zur Untersuchung der oben formulierten Hypothesen werden verschiedene Versuchsfahrten mit verschiedenen Konfigurationen durchgeführt [Sei12c]. Eine Versuchsfahrt dient als Referenz. Sie wird mit der Konfiguration „ohne Meldungen“ durchgeführt. Während dieser Fahrt wird die grundsätzliche Beanspruchung durch die Erfüllung der reinen Fahraufgabe sowie die grundsätzliche Kritikalität aufgenommen. In den beiden anderen Konfigurationen werden Meldungen in beanspruchenden Situationen ausgelöst. Die Konfigurationen unterscheiden sich dadurch, dass bei der einen Konfiguration das Informationsmanagement inaktiv ist und die Meldungen sofort bei Auslösung an den Fahrer ausgegeben werden. In der anderen Konfiguration ist das in Kapitel 9.1 beschriebene Informationsmanagement aktiv und verzögert die Ausgabe der Meldungen, falls sie in beanspruchenden Situationen ausgelöst werden (Abbildung 9.4) [Sei12c].

Die Fahrtzeit je Konfiguration wird auf 15 Minuten begrenzt, um einer Ermüdung der Versuchspersonen entgegenzuwirken [Sei12c]. Außerdem wird auf einen ausreichenden Abstand zwischen den Meldungsabgaben geachtet. So steht hinreichend Zeit zur Verfügung, damit die Fahrerbeanspruchung, die möglicherweise durch die Meldungsabgabe ansteigt, wieder auf ihr Ausgangsniveau absinken kann. Dadurch wird Konfundierungseffekten vorgebeugt. Aufgrund dieser Randbedingungen wird die Anzahl der während einer Fahrt ausgegebenen Meldungen auf acht begrenzt, so dass in etwa alle zwei Minuten eine Meldungsabgabe erfolgt. Von diesen acht Meldungen werden zwei als Referenzmeldungen verwendet. Diese werden in Situationen ohne erhöhte Beanspruchung ausgelöst und sofort ausgegeben. Eine Referenzmeldung wird auf einer geraden, gut einsehbaren und verkehrsfreien Landstraße ausgegeben. Die Ausgabe der anderen Referenzmeldung erfolgt auf einer zweispurigen, geraden Autobahn. Die sechs verbleibenden Meldungen werden während beanspruchender Situationen ausgelöst [Sei12c]. Die Beschreibung der Meldungen erfolgt in Kapitel 9.6. Die verschiedenen Konfigurationen werden von den Versuchspersonen in permutierter Reihenfolge absolviert⁸.

Für die Auswahl der beanspruchenden Situationen, die im Rahmen der Abschlussstudie verwendet werden, gelten die folgenden Randbedingungen [Sei12c]. Die Situationen müssen am Fahrsimulator realistisch darstellbar sein. Die Anzahl innerstädtischer Situationen sowie Situationen mit Richtungsänderung größer als 90° ist zu minimieren, um der Simulatorkrankheit vorzubeugen. Die verwendeten Situationen sollen im Sinne einer optimalen Vergleichbarkeit der Ergebnisse möglichst ähnlich von Versuchsperson zu Ver-

⁸ Im Rahmen der Studie wird neben den drei beschriebenen eine vierte Konfiguration untersucht. In einer weiteren Fahrt wird ein alternatives Konzept des Informationsmanagements aktiviert. Dieses Konzept unterscheidet sich von dem beschriebenen durch einen bewusst einfachen direkten Schätzer der Fahrerbeanspruchung. Die direkte Beanspruchungsschätzung wird in Kapitel 6.2 kurz vorgestellt, ausführlichere Beschreibungen sowie die Ergebnisse des Vergleiches der beiden Informationsmanagementkonzepte im Rahmen der durchgeführten Studie finden sich in [Sei12c].

suchsperson ablaufen. Situationen, die zu sehr auf dem individuellen Fahrerverhalten basieren, wie beispielsweise das Überholen eines anderen Fahrzeuges, sind zu vermeiden. Aufgrund der kurzen Fahrtdauer von 15 Minuten werden keine Wetter- oder Tageszeitänderungen vorgenommen, weil für einen realistischen Wechsel des Wetters oder der Umgebungshelligkeit eine gewisse „Übergangszeit“ benötigt werden würde. Von den sechs zu definierenden beanspruchenden Situationen werden fünf anhand der oben genannten Randbedingungen aus den Situationen ausgewählt, die in der Nachschlagetabelle hinterlegt sind. Als letzte beanspruchende Situation wird bewusst eine Situation gewählt, die nicht in der Nachschlagetabelle hinterlegt ist. Damit ergeben sich die sechs beanspruchenden Situationen, die in Abbildung 9.5 dargestellt sind [Sei12c].

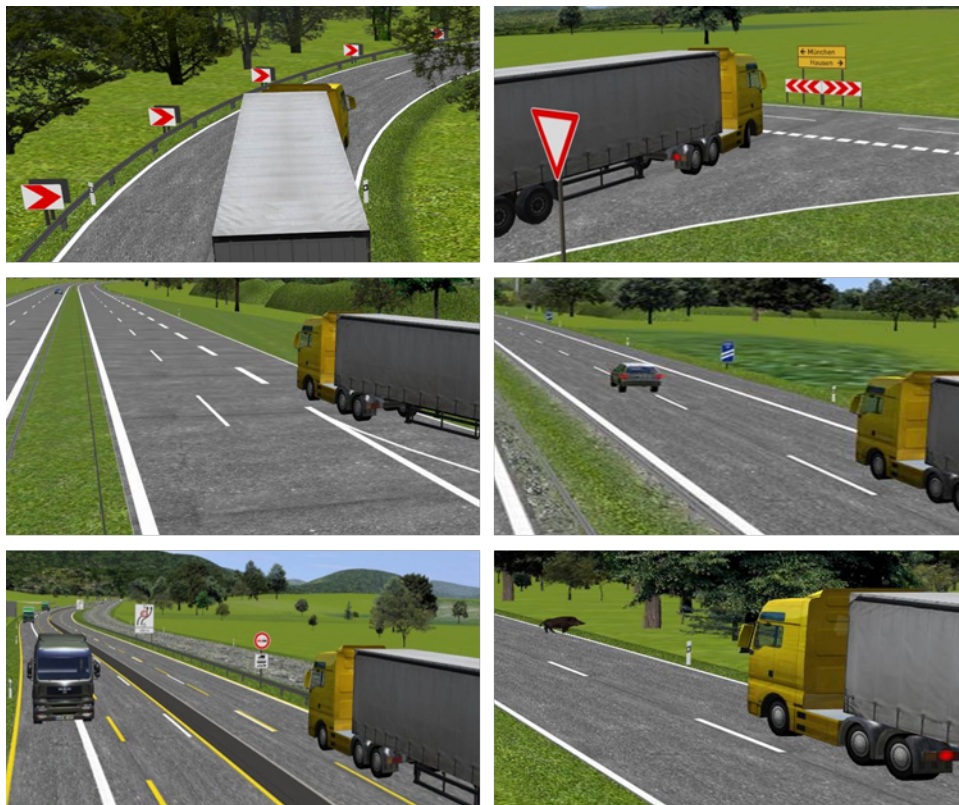


Abbildung 9.5: Im Rahmen der Evaluation des Informationsmanagements untersuchte beanspruchende Situationen mit Meldungsauslösung

Von links nach rechts und von oben nach unten: enge Kurve, links Abbiegen außerorts, Autobahn Auffahrt, knapper Einscherer, Baustelle, Wildschwein

Die in Abbildung 9.5 oben links dargestellte Situation enge Kurve besteht aus einem Landstraßenabschnitt mit einer Länge von 100m und einem konstanten Kurvenradius von 60m. Die enge Kurve wird im Vorfeld über ein Verkehrszeichen sowie in der Kurve selbst über Warnschilder gekennzeichnet. Die Auslösung der Meldung erfolgt mit der Intention einer größtmöglichen Störung des Fahrers gegen Ende der Kurve bei Streckenmeter 80, weil hier insbesondere auf die Spurführung des Aufliegers geachtet werden muss. Die in Kapitel 7.3.5 vorgestellten Ergebnisse der Pupillometrie zeigen, dass zu diesem Zeitpunkt grundsätzlich eine hohe Beanspruchung vorliegt.

Die Situation Abbiegen bezeichnet ein Abbiegen nach links außerorts an einer schildergegerten T-Kreuzung mit Vorfahrt achten. Aufgrund mehrerer Fahrzeuge, die sich auf der durchgehenden Vorfahrtsstraße befinden, wird die Versuchsperson dazu gezwungen, den

Lkw bis in den Stillstand abzubremsen. Die Meldungsauslösung erfolgt aus den selben Überlegungen wie bei der engen Kurve zu dem Zeitpunkt, zu dem zusätzlich zur Führung der Zugmaschine um die Kurve das Verhalten des Aufliegers beobachtet werden muss. Konkret wird dieser Zeitpunkt an das Überfahren der Mittellinie der durchgehenden Straße gekoppelt. Die Situation endet analog zu dem in der Situationserkennung implementierten Verhalten 50m hinter der Kreuzung.

Die Situation Autobahn Auffahrt beginnt, sobald sich das Versuchsfahrzeug auf dem Zubringer zur Autobahn befindet und endet, sobald der linke Blinker zurückgesetzt wird. Sollte kein Blinker betätigt worden sein, endet die Situation auf Höhe des Endpunkts des Beschleunigungsstreifens. Mit dem Ziel einer größtmöglichen Störung des Fahrers wird die Meldung am Übergang des Zubringers zum Beschleunigungsstreifen ausgelöst (Abbildung 9.6). Zu diesem Zeitpunkt wird normalerweise der rückwärtige Verkehr beobachtet, um eine Lücke zum Einfädeln auf die Autobahn zu finden. In der Situation Autobahn Auffahrt wird eine Meldung der Priorität 1 ausgelöst. Daher wird diese Meldung sowohl bei der Konfiguration mit als auch bei der Konfiguration ohne Informationsmanagement stets sofort ausgegeben.

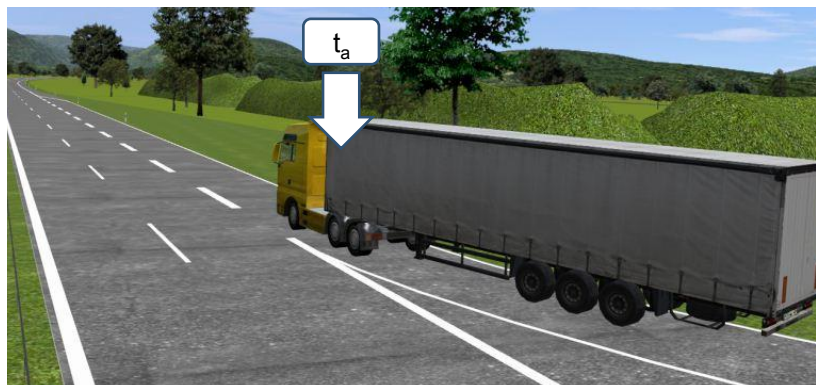


Abbildung 9.6: Zeitpunkt t_a der Auslösung der Meldung in der Situation Autobahn Auffahrt

Die Beanspruchung in der Situation knapper Einscherer resultiert vermutlich zu einem wesentlichen Teil aus dem Überraschungsmoment bei dem plötzlichen Einscheren eines Fahrzeuges vor dem Lkw. Da im Rahmen der Fahrsimulatorstudie jede Situation mehrmals absolviert wird, ist nicht auszuschließen, dass die Versuchspersonen die Situation antizipieren können, falls sie in jeder Fahrt an der gleichen Stelle erfolgt. Daher wird die Situation knapper Einscherer in zwei verschiedenen Varianten umgesetzt, welche in ihrem Auftreten abgewechselt werden. Pro Fahrt wird je eine der Varianten absolviert. Eine Variante findet auf der Autobahn, die andere auf der Landstraße statt. Auf der Autobahn wird der Lkw von einem Pkw überholt, der dann zwei Spurwechsel von der linken Spur der Autobahn nach rechts zum Verzögerungsstreifen einer Autobahnabfahrt durchführt, um diese rechtzeitig zu erreichen. Auf der Landstraße wird der Lkw ebenfalls von einem Pkw überholt, der kurz vor einem Geschwindigkeitsbegrenzungsschild wieder vor dem Lkw einschert und aufgrund dieses Schildes abbremst. In beiden Fällen ist die Plausibilisierung des Verhaltens des Pkw-Fahrers unterschiedlich, das Verhalten jedoch exakt gleich umgesetzt. Durch dieses Verhalten werden die Lkw-Fahrer gezwungen zu bremsen. Die Situation beginnt beide Male entsprechend der realen Situationserkennung mit Beginn der Bremsbetätigung des Lkw-Fahrers. Die Auslösung der Meldung erfolgt 1s nach Bremsbeginn.

Die Situation Baustelle ist so gestaltet, dass der Verkehr in Fahrtrichtung des Egofahrzeuges auf die Gegenfahrbahn umgeleitet wird. Dies hat eine Verengung der Fahrspuren und den Wegfall des Standstreifens zur Folge. Die Teilstücke zur Überleitung auf die Gegenfahrbahn besitzen eine Länge von je 400m. Der Baustellenbereich selbst ist 800m lang. Die Meldungsauslösung erfolgt exakt in der Mitte des Baustellenbereichs.

Ein querendes Wildschwein ist in der Situationserkennung nicht hinterlegt und wird dementsprechend vom Informationsmanagement nicht als beanspruchende Situation erkannt. Innerhalb eines kleinen Waldstücks beginnt ein Wildschwein zu dem Zeitpunkt, zu dem das Egofahrzeug 400m entfernt ist, die Straße von links nach rechts zu überqueren. Zu Beginn wird das Wildschwein von Sträuchern verdeckt. Um die Versuchspersonen zu einem Abbremsen zu zwingen, bleibt das Wildschwein so lange am rechten Fahrbahnrand stehen, bis das Egofahrzeug einen Abstand von 30m unterschreitet. Erst dann verschwindet es im Wald. Die Meldung wird 50m vor Erreichen des Wildschweins ausgelöst und dadurch, dass keine beanspruchende Situation erkannt wird, sofort ausgegeben.

Die beschriebenen sechs Situationen und die zwei Situationen der Referenzmeldungen werden in jeder der Fahrten absolviert [Sei12c]. Sie werden in der Reihenfolge ihres Auftretens permutiert, um Lern- und Reihenfolgeeffekte zu vermeiden. Jede Versuchsperson absolviert daher verschiedene Versuchsstrecken, die sich in der Reihenfolge der Situationen sowie dadurch unterscheiden, dass der knappe Einscherer entweder auf der Landstraße oder auf der Autobahn auftritt. Die Konfigurationen (ohne Meldungen, ohne Informationsmanagement, mit Informationsmanagement) sind unabhängig von der Versuchsstrecke, so dass in jeder der Strecken jede der Konfigurationen hinterlegt werden kann.

Zu Beginn eines Versuchsdurchlaufs werden demographische Daten sowie Daten zum Beruf und zur Fahrerfahrung der Studienteilnehmer erhoben. Außerdem wird das Persönlichkeitsmerkmal Neurotizismus erhoben. Im Anschluss erhalten die Versuchspersonen eine Einweisung in den Fahrsimulator und die an sie gerichtete Untersuchungsfrage. Mithilfe einer Coverstory (Kapitel 9.4) werden sie darauf vorbereitet, dass während der Fahrt vermehrt Fehler- und Statusmeldungen auftreten werden. Die Teilnehmer werden gebeten, sich diese zu merken und auf bestimmte Meldungsinhalte zu reagieren. Trotz dieser Nebenaufgaben solle das sichere Fahren im Vordergrund stehen. Die Versuchspersonen sollen die geltende Straßenverkehrsordnung beachten und nach Möglichkeit so fahren, wie in der Realität. Es wird explizit auf die Bedienung der Lichthupe sowie des Multifunktionslenkrads hingewiesen. Mithilfe einer Taste auf dem Multifunktionslenkrad können Fehlermeldungen quittiert werden, sofern sie nicht von Priorität 1 sind. Im Anschluss wird die zur Erhebung der pupillometrischen Daten und des Hautleitwerts erforderliche Messtechnik angebracht. Danach wird eine Eingewöhnungsfahrt durchgeführt, während welcher zwei Fehlermeldungen ausgegeben werden. Anschließend werden die verschiedenen Konfigurationen anhand der verschiedenen Versuchsstrecken entsprechend der im Permutationsplan hinterlegten Reihenfolge absolviert. Während der Fahrten erfolgen die Richtungsanweisungen über ein Navigationsgerät. Die Ansagen werden stets in Situationen mit geringer Beanspruchung ausgegeben. Im Anschluss an jede der Fahrten werden die Versuchspersonen befragt. Außerdem ist die Möglichkeit zu einer kurzen Pause gegeben. Insgesamt beträgt die Versuchsdauer zweieinhalb bis drei Stunden.

9.4 Methodik

Die abhängigen Variablen, anhand derer das Informationsmanagementsystem bewertet wird, sind die Fahrerbeanspruchung, das Sicherheitspotential und die Aufnahmegüte der Meldungen [Sei12c]. Ihre Operationalisierung wird in Abbildung 9.7 dargestellt. Außerdem wird in einem Fragebogen die Meinung der Fahrer zu den Fahrten mit und ohne Informationsmanagement sowie zu dem System Informationsmanagement abgefragt [Sei12c].

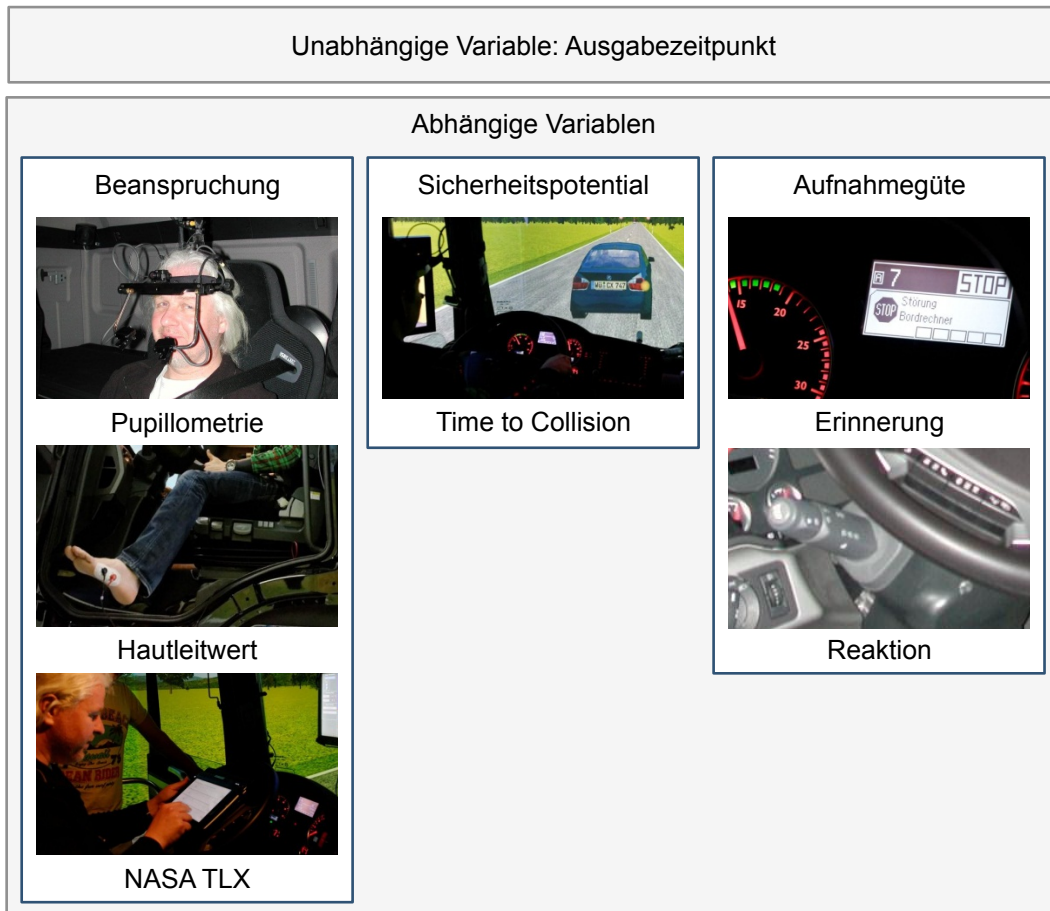


Abbildung 9.7: Abhängige Variablen zur Evaluation des Informationsmanagements

Die Fahrerbeanspruchung wird entsprechend der Empfehlung von De Waard [DeW96, S. 102] mithilfe mehrerer Methoden erhoben. Zum einen werden die beiden physiologischen Indikatoren Hautleitwert und Index of Cognitive Activity (ICA) herangezogen. Deren physiologischer Hintergrund und Erhebungsverfahren werden in Kapitel 7.3.2 erörtert. Im Rahmen der dort beschriebenen Fahrsimulatorstudie werden die beiden Methoden als weniger gut geeignet zur Erhebung eines mittleren Beanspruchungswertes für bestimmte Fahrsituationen befunden. Für eine Beurteilung eines möglichen Unterschiedes zwischen einer Fahrt mit bzw. ohne Informationsmanagement dagegen wird den Methoden ein hohes Potential zugeschrieben. Neben den physiologischen Verfahren dient der von Hart und Staveland [Har88] entwickelte Fragebogen NASA-Task-Load-Index (NASA TLX) zur Erhebung der Beanspruchung. Dieser erfasst die subjektiv erlebte Beanspruchung mehrdimensional auf sechs Subskalen von 0-22. Die sechs Subskalen beziehen sich auf die Bereiche mentale Beanspruchung, physische Beanspruchung, zeitliche Anforderungen, Aufgabenerfüllung, Anstrengung und Frustration. Laut Bauch [Bau10, S. 37] hat sich der NASA TLX zur Erhebung der Beanspruchung beim Führen von Kraftfahrzeugen bewährt.

Er scheint sensitiv für Unterschiede in der Fahrerbeanspruchung in Abhängigkeit von zusätzlichen Aufgaben zu sein.

Zur Bewertung des Sicherheitspotentials des Informationsmanagements wird die Situation knapper Einscherer verwendet (Abschnitt 9.3). Diese könnte im schlimmsten Fall in einem Auffahrunfall enden, falls die Versuchsperson nicht rechtzeitig oder stark genug bremst. Zur Operationalisierung dient das Maß „Time to Collision“ (TTC). Es bezeichnet die Zeit in Sekunden, die bis zu einer Kollision zweier Verkehrsteilnehmer bleibt, sollten beide ihre aktuelle Geschwindigkeit und Richtung beibehalten. Die Situation ist umso gefährlicher, je kleiner die TTC ist. Üblicherweise wird für einen Vergleich der Kritikalität die TTC_{min} , also die kleinste TTC während der interessierenden Situation, verwendet.

Die Aufnahmegüte wird mithilfe zweier Größen bewertet: Erinnerungsgüte und Reaktion auf bestimmte Meldungsinhalte. Hierfür wird den Versuchspersonen zu Beginn des Versuchs folgende Coverstory erzählt. Das Fahrzeug, mit dem sie heute unterwegs wären, hätte kleinere, sicherheitsunkritische Mängel und würde demnächst in die Werkstatt gebracht werden. Daher möge sich der Fahrer alle auftretenden Fehler- und Statusmeldungen gut merken, am besten wortwörtlich, damit diese der Werkstatt mitgeteilt werden könnten. Außerdem würden immer wieder Fehlermeldungen auftreten, die etwas mit dem Licht zu tun hätten, beispielsweise „Abblendlicht defekt“. Diese Meldungen sind auf einen Elektronikfehler zurückzuführen und treten auf, obwohl die Bauteile intakt sind. Der Fahrer möge daher bei allen Meldungen, die etwas mit Licht zu tun hätten, kurz die Lichthupe betätigen. Dadurch würde die fälschlicherweise ausgegebene Fehlermeldung gelöscht werden. Durch diese Anweisungen kann sichergestellt werden, dass sich die Versuchspersonen dem Inhalt einer auftretenden Meldung widmen. Im Anschluss an die Fahrten mit Meldungsausgabe werden die Versuchspersonen gebeten, die ausgegebenen Meldungen möglichst getreu dem Wortlaut wiederzugeben. Für jede Meldung erfolgt die Bewertung der Erinnerungsgüte durch geschultes Versuchspersonal auf einer vierstufigen Skala von 1 (wortwörtlich erinnert) bis 4 (vollständig vergessen). Die Erinnerungsgüte kann auch als Indikator für die erlebte Beanspruchung während der Fahrt herangezogen werden. Es ist davon auszugehen, dass sich Fahrer bei höherer Beanspruchung weniger gut an die Meldungen erinnern. Durch die Erhebung der Reaktion auf einzelne Meldungen durch die Betätigung der Lichthupe kann die Fähigkeit der Versuchspersonen untersucht werden, den Meldungsinhalt aufzunehmen, kognitiv zu verarbeiten und in eine korrekte Handlung umzuwandeln. Es werden die Anzahl der vergessenen Reaktionen sowie die Reaktionszeit der stattgefundenen Reaktionen ausgewertet.

Neben den drei abhängigen Variablen Beanspruchung, Kritikalität und Aufnahmegüte wird über Befragungen die Meinung der Fahrer zu den einzelnen Fahrten und zu dem Informationsmanagementsystem erhoben. Alle eingesetzten Fragebögen werden auf einem Tablet PC mithilfe eines Online-Tools bearbeitet und sind mit Ausnahme des NEO-FFI in Anhang J zusammengestellt.

9.5 Versuchspersonen

Zur Teilnahme an der Studie werden ausschließlich Personen mit Lkw-Fahrfahrung angefragt. Dies trägt dazu bei, dass die gewonnenen Messwerte als valide eingestuft werden können. Es nehmen 38 Fahrer im Alter von 21 bis 69 Jahren teil ($M = 41,4$;

$SD = 10,0$), darunter 4 Frauen [Sei12c]. Eine Versuchsperson gibt im Vorfeld der Studie an, müde zu sein. Vier Teilnehmer bezeichnen sich als eher müde. Jeweils eine Versuchsperson ist aufgeregt bzw. eher aufgeregt. Unter den Versuchspersonen sind 15 Fahrer hauptberuflich und 8 ehemals hauptberuflich als Lkw-Fahrer tätig. Vier dieser acht Fahrer arbeiten zum Zeitpunkt der Studie noch nebenberuflich als Lkw-Fahrer. 13 Versuchsteilnehmer sind nebenberuflich als Fahrer tätig, 2 ehemals nebenberuflich. In Abbildung 9.8 ist neben der Altersverteilung, welche normalverteilt vorliegt, die Verteilung der jährlichen Fahrleistung dargestellt.

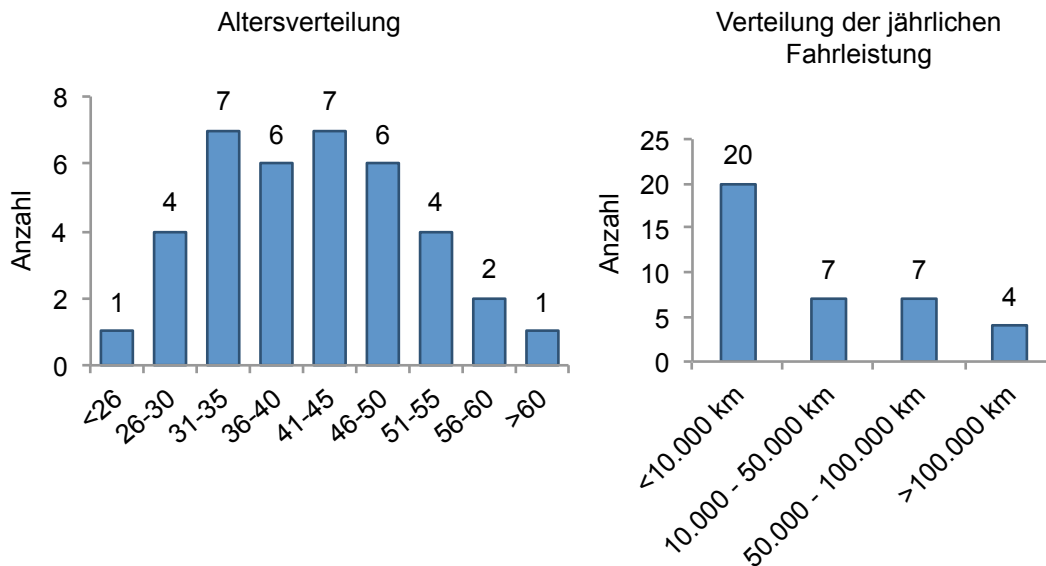


Abbildung 9.8: Altersverteilung (links) und Verteilung der jährlichen Fahrleistung (rechts) der Studienteilnehmer der evaluierenden Abschlussstudie

Obwohl bei der Stichprobenszusammensetzung auf eine hohe Fahrerfahrung Wert gelegt wird, geben 20 der Fahrer eine Fahrleistung von unter 10.000km pro Jahr an. Dies ist auf zwei Gründe zurückzuführen. Zum einen erreichen die 15 der 38 Versuchspersonen, die nebenberuflich als Fahrer tätig sind oder waren, geringere Fahrleistungen. Mit Ausnahme von 2 Versuchspersonen können diese Fahrer allerdings auf eine langjährige Fahrpraxis von mindestens 7 Jahren zurückblicken. Außerdem gibt über die Hälfte dieser Fahrer an, mindestens einmal pro Woche einen Lkw zu steuern. Der zweite Grund ist, dass an der Studie nur 10 Fernverkehrsfahrer teilnehmen. Die verbleibenden 28 Fahrer sind im Verteilerverkehr (15 Personen) oder anderen Segmenten (13 Personen) beschäftigt, wie beispielsweise bei der Feuerwehr oder Autobahnmeisterei. Insgesamt wird daher trotz der durchschnittlich eher geringen jährlichen Fahrleistung von einer Stichprobe mit hinreichend Fahrerfahrung ausgegangen.

Mithilfe des NEO-FFI wird erneut die Ausprägung des Persönlichkeitsmerkmals Neurotizismus erhoben (Kapitel 7.3.3). Auf die Gesamtbevölkerung in der jeweiligen Altersklasse und auf das jeweilige Geschlecht bezogen ergibt sich für die Stichprobe eine unterdurchschnittliche Ausprägung von Neurotizismus (Perzentil 37,9). Die Verteilung der Ausprägung des Neurotizismus ist in Abbildung 9.9 dargestellt. Vier Versuchspersonen müssen den Versuch aufgrund der Simulatorkrankheit vorzeitig abbrechen und gehen daher nicht in die Auswertung mit ein. Für die Teilnahme an der Studie erhalten die Versuchspersonen eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 30€.

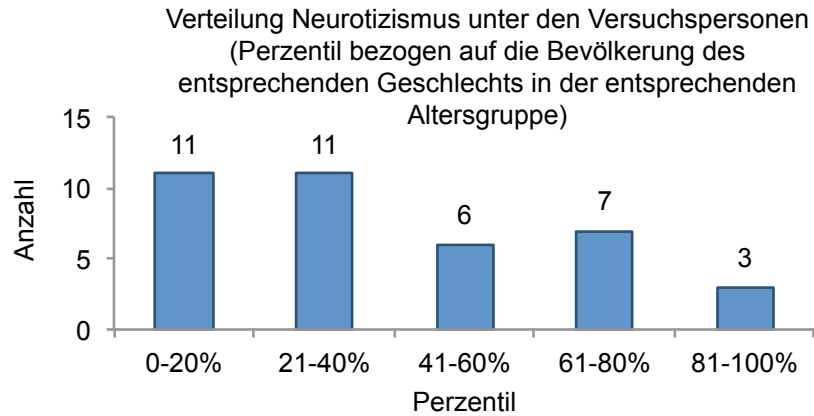


Abbildung 9.9: Verteilung des Persönlichkeitsmerkmals Neurotizismus unter den Versuchspersonen der evaluierenden Abschlussstudie

9.6 Apparat und Material

Die Studie wird am dynamischen Lkw-Fahrsimulator durchgeführt. Dieser ist in Kapitel 7.3.4 beschrieben. Im Gegensatz zu der eingesetzten statischen Datenbasis im Versuch zur Erhebung der Beanspruchung wird im Versuch zur Bewertung des Informationsmanagements eine freie Datenbasis verwendet. Daher können die untersuchten Situationen nach Belieben gestaltet und in der Reihenfolge ihres Auftretens permutiert werden.

Während der Versuchsfahrten mit Meldungsausgabe werden insgesamt acht Fehler- oder Statusmeldungen über das Kombiinstrument in Kombination mit einem Warnton ausgegeben [Sei12c]. Die visuelle Anzeige dieser Meldungen verschwindet nach acht Sekunden aus dem Kombidisplay. Sie kann alternativ durch Drücken einer Taste am Multifunktionslenkrad quittiert werden. Die Versuchspersonen werden auf beide Möglichkeiten aufmerksam gemacht und sollen sich so verhalten, wie es ihrem alltäglichen Verhalten entspricht.

Bei der Auswahl der Meldungen werden folgende Randbedingungen beachtet. Es werden ausschließlich Meldungen verwendet, die Serienstand darstellen. Diese können zum einen ohne Aufwand im Fahrsimulator ausgegeben werden. Zum anderen stellen sie für die Fahrer Fehler in vertrautem Erscheinungsbild dar und minimieren so die Gefahr, Konfundierungseffekte durch ihre Neuartigkeit hervorzurufen. Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit für die Versuchspersonen werden keine Meldungen von Systemen ausgegeben, die während der Fahrt inaktiv sind. Die Fehler, die über die Meldungen mitgeteilt werden, sollten nicht zu kritisch sein. Diese Randbedingung gewährleistet ein Fortsetzen der Fahrt mit einem sicheren Gefühl bzw. vermeidet eine Einschränkung des Realitätsempfindens der Versuchspersonen. Aus dem selben Grund soll der Fehler, auch wenn er in einem realen Fahrzeug auftreten würde, lediglich über die Meldung ersichtlich sein und keine hör- oder spürbaren Auswirkungen auf das Fahrzeug haben. Würde beispielsweise eine Fehlermeldung einen Motorschaden mitteilen, das Fahrzeug aber ohne Einschränkungen funktionieren und die Motorgeräusche unverändert klingen, könnte dies das Realitätsempfinden der Versuchspersonen verringern.

Satz 1	Satz 2	Satz 1	Satz 2

Abbildung 9.10: Ausgelöste Meldungen im Rahmen der Evaluationsstudie

Um Lerneffekten vorzubeugen, werden zwei Meldungssätze á acht Meldungen definiert, so dass in zwei aufeinanderfolgenden Fahrten verschiedene Meldungen ausgegeben werden können. Die beiden Meldungen eines Meldungspaares besitzen die gleiche Priorität und sind sich im Meldungsinhalt möglichst ähnlich. Ein Meldungspaar besitzt die Priorität 1. Die Ausgabe dieser Meldungen erfolgt in der Situation Autobahn Auffahrt (Kapitel 9.3). Alle anderen Meldungen besitzen die Priorität 2 oder 3. Die für die Studie anhand dieser Randbedingungen ausgewählten Meldungen zeigt Abbildung 9.10.

9.7 Ergebnisse

Anhand der in Kapitel 9.2 formulierten Hypothesen werden im Folgenden die Ergebnisse der evaluierenden Abschlussstudie vorgestellt. Es wird für alle Prüfungen ein Signifikanzniveau von $\alpha=5\%$ angenommen. Die Daten des Hautleitwertes können aufgrund technischer Probleme bei der Datensynchronisierung nicht ausgewertet werden.

H1: Beanspruchung während Situation Zur Betrachtung des Einflusses von Informationsmanagement auf die Beanspruchung während beanspruchender Situationen werden vier Situationen der Versuchsfahrten herangezogen. Dies sind die Situationen Baustelle, enge Kurve, Abbiegen außerorts und knapp einscherendes Fahrzeug. Nicht betrachtet werden die Situationen Autobahn Auffahrt und Wildschwein, weil in diesen Situationen kein Unterschied zwischen den Konfigurationen mit und ohne Informationsmanagement vorliegt. Zur Auswertung der Beanspruchung in den vier Situationen werden jeweils drei Versuchsfahrten miteinander verglichen. Während bei einer Fahrt keine Meldungsausgabe erfolgte, wurden in einer weiteren Fahrt Meldungen zu einem jeweils ungünstigen Zeitpunkt während der Situation ausgelöst und ausgegeben. In einer weiteren Versuchsfahrt wurden die Meldungen zum selben Zeitpunkt ausgelöst, ihre Ausgabe jedoch von dem Informationsmanagement solange verzögert, bis die Situation vorüber war. Demzufolge ist die Fahrt mit Informationsmanagement bezogen auf den jeweiligen Ausschnitt der beanspruchenden Situationen identisch zu der Fahrt ohne Meldungen.

Für jede Versuchsperson wird der Mittelwert des ICA während der vier Situationen in den drei Versuchsfahrten betrachtet. Bei manchen Datensätzen wurden durch einen technischen Fehler nicht alle Daten aufgezeichnet. Außerdem gab es vereinzelt Probleme bei der Erkennung der Pupillen. Daher reduziert sich die Anzahl der in die Auswertung eingehenden Datensätze⁹. Die um Ausreißer bereinigten Werte liegen mit Ausnahme der Situation Abbiegen außerorts bei der Konfiguration ohne Informationsmanagement normalverteilt mit einer tendenziell hohen Standardabweichung vor. Eine einfaktorielle ANOVA zeigt in keiner der vier Situationen signifikante Unterschiede zwischen den drei Konfigurationen ohne Meldungen, ohne Informationsmanagement und mit Informationsmanagement. Die Betrachtung der jeweiligen Maximalwerte ergibt ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Konfigurationen. Die Mittelwerte des ICA werden zusätzlich hinsichtlich eines Einflusses von Alter, Fahrerfahrung und Neurotizismus untersucht. Eine Korrelationsanalyse zeigt einen signifikanten, schwachen Einfluss des Alters in der Situation Baustelle ohne Informationsmanagement ($r_p(22)=-0,50$, $p<.05$). Je älter die Versuchspersonen sind, desto geringer ist der mittlere ICA. Die Fahrerfahrung wird analog zu den Ausführungen in Kapitel 7.3.5 anhand der Anzahl der Tage pro Woche, an denen die Fahrer mit einem Lkw unterwegs sind, definiert. Hier wird kein signifikanter Einfluss auf die Daten der Pupillometrie während der beanspruchenden Situationen gefunden. Die Untersuchung des Einflusses von Neurotizismus auf den mittleren ICA ergibt einen schwachen signifikanten Zusammenhang in den Situationen Abbiegen mit Informationsmanagement ($r_s(19)=-0,47$, $p<.05$) und Einscherer mit Informationsmanagement ($r_s(17)=-0,47$, $p<.05$). Zusammenfassend zeigen obige Ausführungen, dass die Ausgabe einer Fahrzeugmeldung während der Situationen Baustelle, enge Kurve, Abbiegen außerorts und knapp einscherendes Fahrzeug den Mittelwert des ICA sowie das Maximum desselben nicht signifikant verändert. Ein Einsatz des Informationsmanagements führt folglich ebenfalls zu keinen signifikanten Veränderungen des ICA.

H2: Beanspruchung während Fahrt Zur Beurteilung der Beanspruchung der Fahrer während der gesamten Fahrt mit je einer der drei Konfigurationen werden erneut der ICA sowie die subjektiven Bewertungen der Fahrten mithilfe des NASA TLX herangezogen. Die Mittelwerte des ICA über die gesamten drei Fahrten liegen, um Ausreißer bereinigt, für die Fahrten ohne Meldungen und ohne Informationsmanagement normalverteilt vor. Eine einfaktorielle ANOVA ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Konfigurationen. Alter, Fahrerfahrung und Neurotizismus nehmen keinen signifikanten Einfluss auf den mittleren ICA.

Der NASA TLX betrachtet die subjektive Beanspruchung in den sechs Dimensionen mentale Beanspruchung, physische Beanspruchung, zeitliche Anforderung, Aufgabenerfüllung, Anstrengung und Frustration. Für den vorliegenden Anwendungsfall erscheint die Dimension Aufgabenerfüllung wenig relevant und wird nicht weiter betrachtet. Die Ergebnisse der Befragung zeigt Abbildung 9.11, in welcher die Fehlerbalken die jeweilige, relativ hohe Standardabweichung kennzeichnen. Signifikanzen¹⁰ kleiner 0.05 sind mit einem Doppelpfeil, größer 0.2 mit einem Kugelbalken markiert.

⁹ Für eine der insgesamt 12 Situationen konnten 17 auswertbare Datensätze herangezogen werden, für eine weitere 20. Alle anderen Situationen werden durch 21-27 Datensätze beschrieben.

¹⁰ Ergebnisse einer einfaktoriellen ANOVA; Post-Hoc Fehlerkorrektur nach Bonferroni.

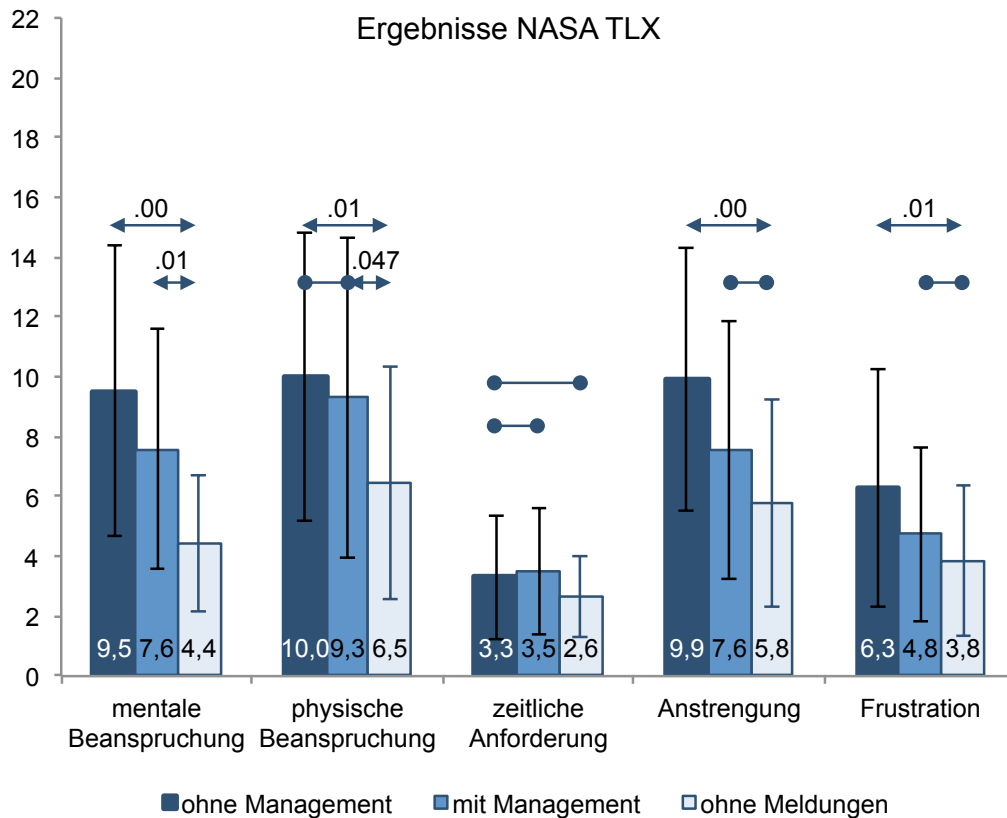


Abbildung 9.11: Ergebnisse des NASA TLX

Insgesamt bewerten die befragten Lkw-Fahrer die Beanspruchung in allen sechs Dimensionen des NASA TLX auf der Skala von 0-22 relativ gering, insbesondere die zeitliche Anforderung. Zwischen den Konfigurationen zeigt eine einfaktorielle ANOVA hinsichtlich mentaler Beanspruchung ($F(2,96) = 13.80, p < .001$) ebenso wie hinsichtlich physischer Beanspruchung ($F(2,101) = 5.14, p < .01$) einen signifikanten Unterschied. Die Ergebnisse eines Post-Hoc Tests nach Bonferroni zeigt Abbildung 9.11. Die Ausgabe mehrerer Meldungen während einer Fahrt erhöht signifikant mentale und physische Beanspruchung. Der Ausgabezeitpunkt tritt hierbei in den Hintergrund. Bei der mentalen Beanspruchung ist ein Trend erkennbar, wonach eine Fahrt mit Informationsmanagement im Vergleich zu einer Fahrt ohne eine geringere mentale Beanspruchung hervorruft ($p = .13$). Bei der physischen Beanspruchung, die in der Befragung auf die Anstrengung der Augen zum Ablezen der Meldung bezogen war, zeigt sich kein Unterschied zwischen der Fahrt mit und ohne Informationsmanagement. Hinsichtlich zeitlicher Anforderung können keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Konfigurationen festgestellt werden. In den Dimensionen Anstrengung ($F(2,971) = 4.83, p < .05$) und Frustration ($F(2,102) = 8.18, p < .01$) unterscheidet sich jeweils die Fahrt ohne Informationsmanagement signifikant von der ohne Meldungen. Die Daten des NASA TLX werden hinsichtlich eines Einflusses von Alter, Fahrerfahrung und Neurotizismus untersucht. Für Alter und Fahrerfahrung ergeben sich keine signifikanten Einflüsse, für Neurotizismus ein schwacher signifikanter Einfluss bei der zeitlichen Anforderung in der Konfiguration ohne Meldungen ($r_s(31) = 0.43, p < .05$).

H3: Sicherheitspotential Zur Untersuchung des Einflusses des Informationsmanagements auf die Kritikalität einzelner Situationen wurde die Situation knapper Einscherer in die Studie integriert und die minimale Time to Collision (TTC_{min}) während der Situation als

Kenngroße für die Kritikalität ausgewertet (Abbildung 9.12). Es gehen 24 Datensätze in die Situation ohne Meldungsausgabe und je 22 Datensätze in die Auswertung der beiden Situationen mit Meldungsausgabe ein. Dadurch, dass das Informationsmanagement die Meldungsausgabe bis nach der Situation knapper Einscherer verzögert und sich die Betrachtung der TTC_{min} nur auf den Ausschnitt der Situation bezieht, gleichen sich die Situationen ohne Meldungsausgabe und mit Informationsmanagement hinsichtlich der nicht erfolgten Meldungsausgabe.

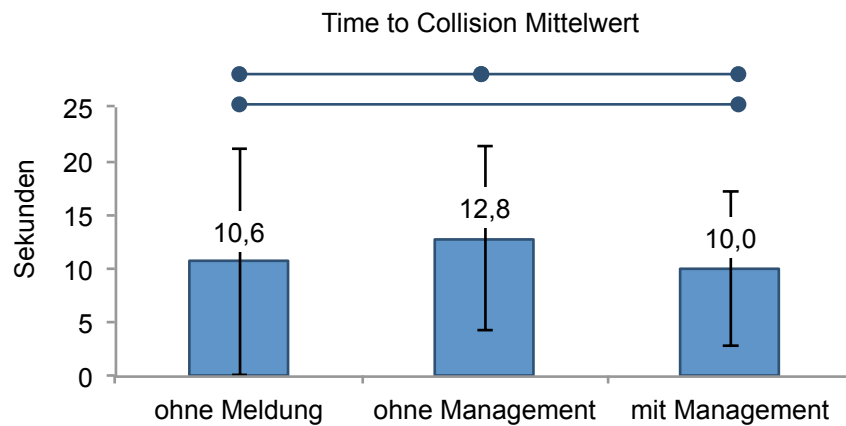


Abbildung 9.12: Mittlere minimale Time to Collision in der Situation knapper Einscherer

Es ergibt sich eine mittlere TTC_{min} von 10,6s für die Situation knapper Einscherer ohne Meldungsausgabe. Bei den Fahrten mit Meldungsausgabe beträgt die mittlere TTC 12,8s ohne Informationsmanagement und 10,0s mit Informationsmanagement. Die Standardabweichungen sind mit 10,7s, 8,7s und 7,3s relativ hoch. Eine ANOVA zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Konfigurationen. Allgemein ist eine TTC_{min} in den vorliegenden Größenordnungen unkritisch. Von einem kritischen Wert wird ab einer TTC_{min} kleiner 1,5s gesprochen.

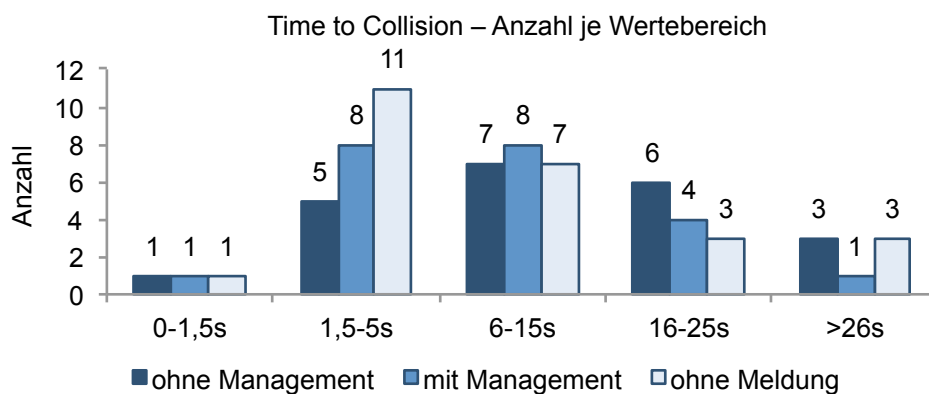


Abbildung 9.13: Anzahl der aufgetretenen minimalen Time to Collision-Werte je Wertebereich in der Situation „knapper Einscherer“

Für eine genauere Analyse werden die einzelnen TTC_{min} -Werte, welche die Versuchspersonen erzeugen, fünf Wertebereichen zugeteilt. Die Verteilung der TTC_{min} -Werte auf diese fünf Wertebereiche zeigt Abbildung 9.13. In den Wertebereich bis zu einer TTC_{min} von 1,5 Sekunden, welcher als kritisch gilt, fällt pro Konfiguration ein TTC_{min} -Wert. Zwischen 1,5 und 5 Sekunden ist die TTC_{min} zwar nicht kritisch, nichts desto trotz gering. Bei der

Konfiguration ohne Informationsmanagement fallen fünf Werte in diesen Bereich. Bei der Konfiguration mit Informationsmanagement erreichen acht Werte und bei der Konfiguration ohne Meldung elf Werte eine TTC_{min} zwischen 1,5 und 5 Sekunden. Es wird kein signifikanter Einfluss von Alter, Fahrerfahrung und Neurotizismus auf die TTC_{min} gefunden.

H4: Aufnahmegüte Zur Untersuchung der Aufnahmegüte der ausgegebenen Meldungen wird die Erinnerung der Versuchspersonen an den Wortlaut der Meldungen ausgewertet. Diese wurde durch geschultes Versuchspersonal auf einer Skala von 1 bis 4 bewertet. Wird die Bewertung aller acht Meldungen, die während der beiden Fahrten mit Meldungsausgabe auftraten, in die Auswertung einbezogen, ergibt sich eine mittlere Erinnerungsgüte von je 2,8 für die Fahrt mit und ohne Informationsmanagement. Bezogen auf lediglich die vier Meldungen, die sich hinsichtlich ihres Ausgabezeitpunktes zwischen den Konfigurationen mit und ohne Informationsmanagement unterscheiden, ergibt sich eine mittlere Erinnerungsgüte von jeweils 2,9. Die Auswertung des Wilcoxon-Tests zur mittleren Erinnerungsgüte ergibt für alle acht ausgegebenen Meldungen einer Fahrt, dass der Einsatz von Informationsmanagement keinen signifikanten Einfluss auf die Erinnerungsgüte nimmt. Eine separate Analyse der vier Meldungen mittels eines T-Tests zeigt ebenfalls keinen signifikanten Einfluss durch das zeitliche Zurückstellen von Fahrzeugmeldungen (Abbildung 9.14). Alter, Fahrerfahrung und Neurotizismus nehmen keinen Einfluss auf die Erinnerungsgüte.

Zur weiteren Analyse der Daten zur Erinnerungsgüte wird die Anzahl der wortwörtlich und sinngemäß erinnerten Meldungen der Anzahl an teilweise und vollständig vergessenen Meldungen gegenübergestellt. Bei der Fahrt ohne Informationsmanagement können 40,1%, bei der Fahrt mit Informationsmanagement 40,7% der Meldungen erinnert werden. Ein Chi-Quadrat-Test ergibt keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Anzahl der erinnerten Meldungen.

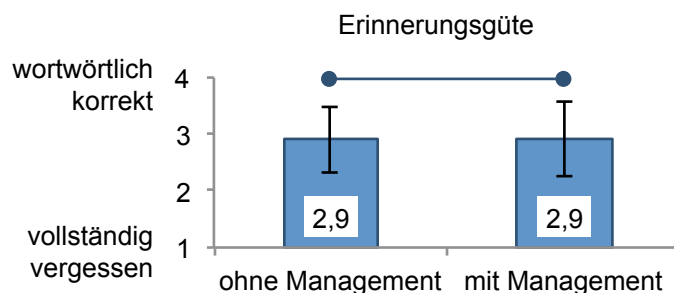


Abbildung 9.14: Erinnerungsgüte der vier Meldungen mit zeitlicher Verzögerung

Als zweite Größe zur Untersuchung der Aufnahmegüte wird die Reaktion der Versuchsteilnehmer auf bestimmte Meldungsinhalte untersucht, nämlich die Betätigung der Lichthupe bei Auftreten einer Meldung, deren Inhalt etwas mit Licht zu tun hat. Es werden die Anzahl der stattgefundenen Reaktionen sowie die Reaktionszeit ausgewertet. In der Situation enge Kurve wird in beiden Meldungssätzen (Abbildung 9.10) eine Meldung ausgegeben, die das Licht betrifft. In dieser Situation vergessen 8 von 27 Versuchspersonen in der Konfiguration ohne Informationsmanagement und 9 von 23 Versuchspersonen in der Konfiguration mit Informationsmanagement die Betätigung der Lichthupe. Die mittlere Reaktionszeit beträgt 4,6s ohne Informationsmanagement und 4,3s mit Informationsmanagement. Die zweite Situation, die aufgrund der Ausgabe einer Licht-Meldung in beiden

Meldungssätzen zur Auswertung der Aufnahmegüte betrachtet wird, ist die Situation Baustelle. In der Konfiguration ohne Informationsmanagement betätigen 18 von 27 Versuchspersonen die Lichthupe mit einer mittleren Reaktionszeit von 3,6s. In der Konfiguration mit Informationsmanagement erreichen 18 von 23 Versuchspersonen eine mittlere Reaktionszeit von 3,3s. Beide Kenngrößen, Anzahl sowie Reaktionszeit der Betätigung, werden durch den Einsatz von Informationsmanagement nicht signifikant beeinflusst (Abbildung 9.15).

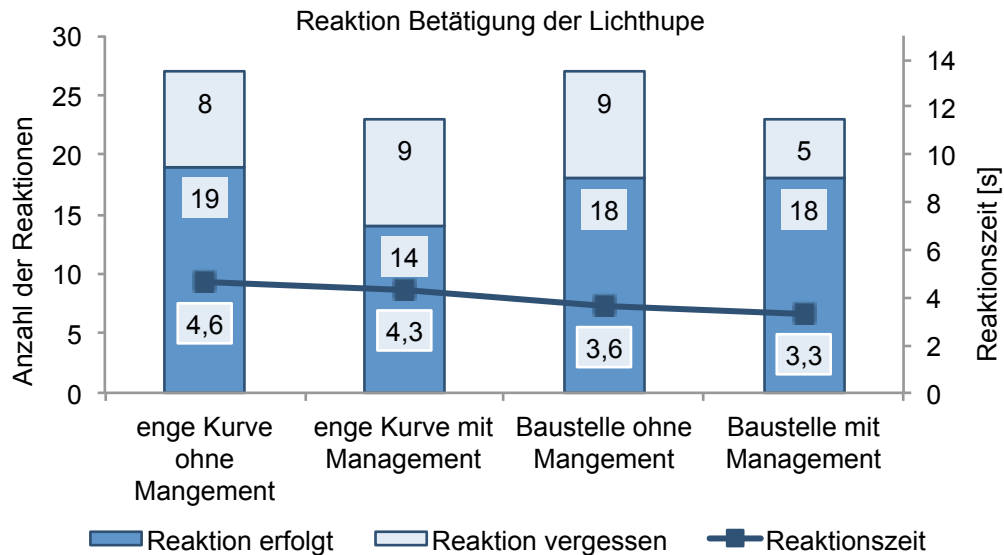


Abbildung 9.15: Anzahl der Reaktionen und Reaktionszeiten bei der Betätigung der Lichthupe

Meinung zum System Im Anschluss an die Fahrten mit Meldungsausgabe wird den Versuchspersonen eine Landkarte gezeigt. In diese sind der Verlauf der zuvor gefahrenen Versuchsstrecke sowie wichtige Landmarken zur besseren Orientierung eingezeichnet. Die Versuchspersonen werden gebeten, anhand der Karte zu beschreiben bzw. zu zeigen, an welchen Stellen Fahrzeugmeldungen ausgegeben wurden. Auf diese Aufgabe wurden sie vor Fahrtantritt hingewiesen. Anhand der Beschreibung wird durch das geschulte Versuchspersonal entschieden, ob die Versuchsperson die jeweilige Meldung geistig einer beanspruchenden Situation zuordnet oder unabhängig davon erlebt hat. Ein Chi-Quadrat-Test zeigt für die Anzahl der Meldungen, welche einer beanspruchenden Situation zugeordnet werden, einen signifikanten Unterschied zwischen der Fahrt mit und der Fahrt ohne Informationsmanagement ($\chi^2(1, N=152)=5.57, p<.05$). In der Fahrt ohne Informationsmanagement werden mehr Meldungen beanspruchenden Situationen zugewiesen.

Nach der Absolvierung der Fahrten wird der jeweiligen Versuchsperson die Funktionsweise des Informationsmanagementsystems im Detail erklärt. Anschließend sollen die Versuchspersonen auf einer siebenstufigen Skala angeben, inwieweit sie sechs verschiedenen Aussagen zu diesem System zustimmen oder diese ablehnen. Die Aussagen betreffen die Absicht, das Informationsmanagementsystem zu nutzen, dessen Einfluss auf die Fahrerleistung, dessen Nutzen, die Ersichtlichkeit der Ergebnisse der Nutzung, dessen Sinn sowie dessen Vertrauenswürdigkeit. Die Mittelwerte der Bewertung der sechs Aussagen zeigt Abbildung 9.16. Die dort eingezeichneten Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar.

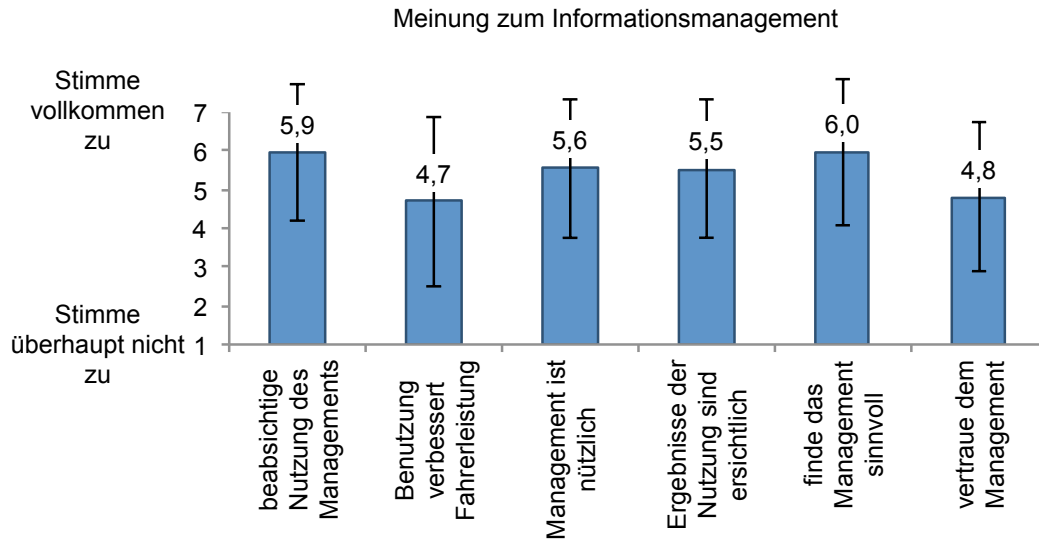


Abbildung 9.16: Meinung der Versuchspersonen zum Informationsmanagementsystem

Insgesamt wird das System Informationsmanagement positiv bewertet. Die Versuchspersonen finden das System sinnvoll ($M = 6,0$; $SD = 1,9$) und würden es benutzen ($M = 5,9$; $SD = 1,8$). Die Mehrheit der Fahrer findet außerdem, dass das System nützlich ist ($M = 5,6$; $SD = 1,8$) und erkennt die Ergebnisse der Nutzung ($M = 5,5$; $SD = 1,8$). Die Zustimmung zu den Aussagen, dass dem Informationsmanagement vertraut werde ($M = 4,8$; $SD = 1,9$) sowie dass ein Informationsmanagement die Fahrerleistung verbessere ($M = 4,7$; $SD = 2,2$) fällt im Vergleich dazu leicht geringer aus. Alter, Fahrerfahrung und Neurotizismus besitzen keinen signifikanten Einfluss auf diese Bewertung.

10 Diskussion der Wirkung des Informationsmanagementsystems

Im Rahmen der evaluierenden Abschlussstudie wurde der Einfluss des Informationsmanagements auf Beanspruchung, Kritikalität und Aufnahmegüte von Meldungsinhalten untersucht. Außerdem wurde die Einstellung der Versuchspersonen zu diesem System erhoben. Nachfolgend werden die in Kapitel 9.7 vorgestellten Ergebnisse und deren Bedeutung für das Informationsmanagementsystem besprochen. Außerdem wird die Versuchsmethodik diskutiert.

Die Auswertung des ICA zur Untersuchung der Beanspruchung während der einzelnen Situationen ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Versuchsfahrten. Hierbei ist anzumerken, dass sich für die alleinige Betrachtung der Situationen die Fahrten ohne Meldungen und mit Informationsmanagement nicht unterscheiden. Einzig die Konfiguration ohne Informationsmanagement unterscheidet sich von den beiden anderen Fahrten durch die Ausgabe einer Fahrzeugmeldung. Dieses Ereignis scheint jedoch keinen entscheidenden Einfluss auf den ICA zu nehmen. Möglicherweise tritt die Beanspruchung durch die Ausgabe einer Meldung gegenüber der Beanspruchung durch die Situation an sich in den Hintergrund. Eine mögliche Erklärung kann eine relativ kleine Effektstärke sein, die durch einen größeren Stichprobenumfang ausgeglichen werden könnte.

Bei der Betrachtung der gesamten Fahrt erhöht sich der ICA für die Fahrt mit Meldungsausgabe ohne Informationsmanagement im Vergleich zu einer Fahrt ohne Meldungen nicht. Der Ausgabezeitpunkt der Meldung besitzt ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf den ICA während einer gesamten Fahrt. Die Fahrten dauerten jeweils in etwa 15 Minuten, die Ausgabe der acht Meldungen je acht Sekunden. Die Meldungsausgaben stellen bezogen auf die Gesamtfahrt vermutlich zu kurze Ereignisse dar, um entscheidenden Einfluss auf den Mittelwert der physiologischen Größe ICA zu nehmen. Weiterhin ist anzumerken, dass die Ausgabe von acht Fahrzeugmeldungen, von denen nur vier in ihrer zeitlichen Ausgabe variiert wurden, die Ergebnisse bezogen auf die gesamte Fahrt in ihrer Deutlichkeit abschwächen könnte.

Bei der subjektiven Bewertung der Beanspruchung bezogen auf die Gesamtfahrt ist die Dauer einer Meldungsausgabe im Vergleich zur gesamten Fahrdauer weniger entscheidend. Hier bewerten die Versuchspersonen ihr subjektives Erleben, welches durchaus durch kurze, jedoch in Erinnerung bleibende Ereignisse geprägt werden kann. Allerdings ist auch hier ein Einfluss der vier Referenzmeldungen anzunehmen, welcher unter Umständen die Deutlichkeit der Ergebnisse beeinflusst. In der Dimension zeitliche Anforderungen werden keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Konfigurationen gefunden. Offenbar empfinden die Fahrer trotz der Aufforderung, sich die Fahrzeugmeldungen bestmöglich zu merken, keinen Zeitdruck durch den vorgegebenen Ausgabezeitpunkt. Die Anzeigedauer von acht Sekunden scheint ausreichend für ein zufriedenstellendes Studium des Meldungsinhalts zu sein. Hinsichtlich mentaler Beanspruchung unterscheidet sich die Fahrt mit Meldungen signifikant von der Fahrt ohne Meldungen. Zwischen den Fahrten mit und ohne Informationsmanagement kann in der Bewertung der mentalen Beanspruchung kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Es ist jedoch ein Trend dahingehend zu erkennen, dass eine Fahrt mit Informationsmanagement gerin-

gere mentale Beanspruchung verursacht. Die Dimension physische Beanspruchung meint insbesondere die Anstrengung der Augen beim Ablesen der Fahrzeugmeldungen. Der Blick muss zur Aufnahme des Meldungsinhaltes immer von der Straße in das Kombidisplay gerichtet und akkommodiert werden. Folglich wird ein signifikanter Unterschied zwischen den Fahrten mit und ohne Meldungsanzeige gefunden, wohingegen sich die Fahrten mit und ohne Informationsmanagement nicht unterscheiden. Der Ausgabezeitpunkt von Meldungen ist demnach unerheblich für die physische Beanspruchung der Augen. Im Gegensatz dazu erhöht die Anzeige von Fahrzeugmeldungen während beanspruchender Situationen die empfundene Anstrengung und Frustration. Zwischen der Fahrt mit und ohne Informationsmanagement wird in diesen Dimensionen kein signifikanter Unterschied gefunden. Allerdings ähnelt eine Fahrt mit Meldungen, deren zeitliche Anzeige von einem Informationsmanagementsystem optimiert wird, einer Fahrt ohne Meldungen in beiden Dimensionen. Demnach trägt der Einsatz eines Informationsmanagements zu einer hinsichtlich Anstrengung und Frustration angenehm empfundenen Meldungsanzeige bei.

Die Lkw-Fahrer bewerten alle sechs Dimensionen des NASA TLX mit relativ geringen Werten. Dies könnte darauf zurückgeführt werden, dass die Fahrten trotz der ausgegebenen Meldungen und beanspruchenden Situationen für hochtrainierte Lkw-Fahrer unkritisch waren. Den höchsten Wert erreicht die physische Beanspruchung bei einer Fahrt ohne Informationsmanagement mit einem Mittelwert von 10,0 auf der Skala von 0-22. Dies entspricht den Erfahrungen aus den Studien zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung von Lkw-Fahrern, wonach Berufskraftfahrer allgemein niedrige Beanspruchung beim Führen eines Fahrzeuges empfinden.



Abbildung 10.1: Situation knapper Einscherer auf der Landstraße

Anhand der Kenngröße TTC_{min} wird das Sicherheitspotential der zeitlichen Optimierung der Meldungsanzeige untersucht. Für Situationen, in denen der Verkehrssituation erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken ist, soll geklärt werden, inwieweit die Anzeige von Fahrzeugmeldungen das Risiko eines Unfalls erhöht und ob ein Informationsmanagement positiv auf dieses Risiko einwirken kann. Die zur Beantwortung dieser Frage verwendete Situation knapper Einscherer (Abbildung 10.1) wird jedoch nur jeweils in einem von 22 bzw. 24 Fällen pro Konfiguration sicherheitskritisch. In den restlichen Fällen unterschreitet die TTC_{min} die Grenze von 1,5s nicht, ab welcher von einer kritischen TTC_{min} gesprochen wird. Die Situation wurde in zwei Varianten, auf der Landstraße und auf der Autobahn, umgesetzt und jeweils nur eine Situation pro Fahrt permutiert eingesetzt, um Lerneffekte zu vermeiden. Allerdings scheint der Überraschungseffekt über ein derartiges Verhalten von Pkw-Fahrern bei erfahrenen Lkw-Fahrern relativ gering zu sein, so dass diese dem

einscherenden Pkw erhöhte Aufmerksamkeit schenken und die Kritikalität der Situation gering halten. Eine Bewertung des Sicherheitspotentials von Informationsmanagement anhand der Situation knapper Einscherer ist somit nicht möglich.

Eine interessante Erkenntnis zeigt sich bei einer detaillierten Betrachtung der Anzahl der Fälle, in denen die TTC_{min} in den Bereich von 1,5-5 Sekunden fällt. Hier wird zwar nicht mehr von einem kritischen Bereich gesprochen, dennoch ist die TTC_{min} relativ gering. Bei der Fahrt ohne Informationsmanagement liegt die TTC_{min} in fünf Fällen in diesem Bereich, bei der Fahrt mit Informationsmanagement in acht Fällen und bei der Fahrt ohne Meldungen in elf Fällen. Dieser Trend könnte folgendermaßen erklärt werden. Tritt genau in dem Augenblick eine Meldung auf, in dem ein Vorderfahrzeug in geringem Abstand einschert und abbremst, versuchen die Versuchspersonen, die Situation zu entschärfen. Der Abstand zum Vorderfahrzeug und damit die TTC_{min} werden durch Abbremsen des Lkws vergrößert. Durch dieses Verhalten schaffen sich die Versuchspersonen mehr Zeit bzw. eine höhere Sicherheit, um die ausgegebene Meldung ablesen zu können. Bei den Fahrten, in denen die Meldung nicht oder erst später ausgegeben wird, können die Fahrer das Verhalten des einscherenden Pkws besser beobachten, weil sie nicht durch eine Meldungsausgabe abgelenkt werden. In diesen Fällen verzichten die Lkw-Fahrer auf ein starkes Abbremsen des Fahrzeuges und nutzen die Möglichkeit, dieses sanfter zu bremsen oder rollen zu lassen und die weitere Entwicklung der Situation abzuwarten. Dieses Verhalten ist aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten das sinnvollere, weil ein unter Umständen unnötiges oder zu starkes Abbremsen vermieden wird. Ein vergleichbares Verhalten von Versuchspersonen findet auch Körner [Kör06, S. 158] in ihrer Studie, die in Kapitel 3.1 beschrieben wird. Hoyos und Kastner [Hoy86, S. 92] finden ebenfalls Hinweise darauf, dass Fahrer durch eine Reduzierung der Geschwindigkeit versuchen, eine erhöhte Beanspruchung zu kompensieren und sprechen in diesem Zusammenhang von einer „Beanspruchungshomöostase“.

Die Aufnahmegüte von Meldungen wird anhand der Erinnerungsgüte an den Wortlaut der ausgegebenen Meldungen sowie der Anzahl der richtigen Reaktionen und der Reaktionszeit untersucht. Für die genannten Kenngrößen ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei untersuchten Konfigurationen. Es ist anzunehmen, dass Berufskraftfahrer überwiegend technikaffine Personen sind, welche einen engen Bezug zu ihren Fahrzeugen haben. Die intensive Beschäftigung mit dieser Thematik mag ein Grund sein, weswegen die Berufskraftfahrer relativ gut und über alle Konfigurationen hinweg die acht ausgegebenen bzw. vier vom Informationsmanagement behandelten Fahrzeugmeldungen am Ende der Fahrt wiedergeben können. Hinsichtlich der Reaktionszeit stellt auch Bengler [Ben12] bei einer vergleichbaren Aufgabe (Reaktion auf Fehler in einer vorgelesenen Zahlenreihe) einen nur eingeschränkten Mehrwert dieses Parameters zur Bewertung der Beanspruchung fest. Er führt dies unter anderem auf Kompensationsstrategien der Versuchspersonen zurück, welche der Reaktionsaufgabe einen höheren Stellenwert einräumen und dafür die Bearbeitungsgeschwindigkeit in der primären Aufgabe drosseln [Ben12, S. 4922].

Bei einer Fahrt ohne Informationsmanagement bringen signifikant mehr Versuchspersonen den Ausgabezeitpunkt der Meldungen in Verbindung mit beanspruchenden Situationen. Die Versuchspersonen bemerken also, wenn Meldungen zu einem ungünstigen Zeitpunkt ausgegeben werden. Dass dieser Umstand aus Sicht der Fahrer zu vermeiden ist,

bestätigt die Auswertung der abschließenden Befragung zur Einstellung zu einem Informationsmanagement im Nutzfahrzeug. Demnach findet die Mehrheit der Fahrer das Informationsmanagementsystem sinnvoll und würde dieses auch nutzen. Die Ergebnisse der Nutzung des Informationsmanagementsystems sind für die meisten Fahrer ersichtlich. Außerdem finden sie dieses nützlich. Den Aussagen, das Informationsmanagement sei vertrauenswürdig und verbessere die Fahrerleistung, wird etwas verhaltener zugestimmt.

Zusammenfassend kann für das in der Studie verwendete Informationsmanagement kein signifikanter Einfluss auf die physiologisch erhobene Beanspruchung nachgewiesen werden. Die subjektive Bewertung der Beanspruchung lässt aufgrund der gefundenen Unterschiede vermuten, dass den Fahrern die Ausgabe von Meldungen zu einem ungünstigen Zeitpunkt negativ auffällt und dieses Ereignis durch die selektive Wahrnehmung in ihrem negativen Effekt verstärkt wird. Diese Vermutung wird durch die signifikant häufigere Zuordnung von Meldungsausgaben zu beanspruchenden Situationen in der Fahrt ohne Informationsmanagement unterstrichen. Ein Einfluss von Informationsmanagement auf die Kritikalität einzelner Situationen kann mit dem gewählten Versuchsdesign nicht nachgewiesen werden. Allerdings finden sich Hinweise darauf, dass die zeitlich optimierte Meldungsausgabe den Fahrern die Möglichkeit verschafft, angemessener auf beanspruchendes Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer zu reagieren. Auf die Aufnahmegüte von Meldungen kann kein Einfluss durch das Informationsmanagement gefunden werden. Eine abschließende Befragung zu dem Gesamtsystem Informationsmanagement ergibt ein positives Meinungsbild. Insbesondere der Nutzen und der Sinn des Systems werden von den Fahrern gesehen. So kann resümiert werden, dass Lkw-Fahrer ein Informationsmanagement im Nutzfahrzeug für eine objektive Reduzierung der Beanspruchung zwar nicht benötigen, was auf deren Routine und Erfahrung zurückgeführt werden kann. Der Wunsch nach einem derartigen System ist bei den Fahrern jedoch vorhanden, weil durch die geregelte Informationsausgabe die negative Wahrnehmung von Meldungen und die subjektive Beanspruchung der Fahrer reduziert und so ein angenehmeres Fahren ermöglicht werden kann.

11 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Arbeit wird ein Informationsmanagementsystem für Nutzfahrzeuge konzipiert, umgesetzt und getestet. Dieses regelt die zeitliche Ausgabe von Fahrzeugmeldungen in Abhängigkeit von deren Wichtigkeit sowie der aktuellen Fahrerbeanspruchung. Das Ziel ist, die Fahrerbeanspruchung in beanspruchenden Situationen nicht zusätzlich durch die Ausgabe einer Meldung zu erhöhen. Außerdem soll eine verbesserte Aufnahmegüte von Fahrzeugmeldungen durch den Fahrer erreicht werden. Die Umsetzung des Informationsmanagementsystems erfolgt anhand definierter Anforderungen. Die Forderung nach Modularität, Flexibilität und Erweiterbarkeit gibt die Grundstruktur des Systems vor. Randbedingungen, wie die Verwendung von Serientechnologie und eine hohe Umsetzungswahrscheinlichkeit in einem Serien-Lkw, werden bei der Umsetzung beachtet. Das Informationsmanagement soll nachvollziehbar für den Fahrer arbeiten und grundsätzlich alle fahrzeuginduzierten Meldungen berücksichtigen können. Als Führungsgröße für die Regelung der Meldungsabgabe wird die Fahrerbeanspruchung, als Stellgröße der Ausgabezeitpunkt verwendet.

Die Umsetzung des Informationsmanagements erfolgt über voneinander unabhängige Module, die Abbildung 11.1 darstellt. Alle fahrzeuginduzierten Meldungen, die das Informationsmanagement berücksichtigen soll, werden mit zwei Parametern versehen: Mit der Priorität der Meldung sowie mit der Angabe der Zeit, die die Ausgabe der Meldung maximal zurückgestellt werden darf. Die Beanspruchung des Fahrers wird über eine indirekte Schätzung bereitgestellt. Bei einer indirekten Beanspruchungsschätzung sind in einer Nachschlagetabelle Beanspruchungswerte für bestimmte relevante Situationen hinterlegt. Diese Situationen wurden zuvor in einer Fahrerbefragung als relevant für das Informationsmanagement identifiziert. Mithilfe einer Situationserkennung können diese Situationen über die Fahrzeugsensorik erkannt werden. Die Situationserkennung wird in zwei verschiedenen Varianten, je nach Ausstattungsvariante bzw. verfügbarer Sensorik des Fahrzeuges, regelbasiert umgesetzt und in Realversuchen sowie Simulationen getestet. Es ergibt sich eine für die Anwendung Informationsmanagement angemessene Erkennungsgüte. Aufgrund der Ergebnisse einer Fahrsimulatorstudie wird empfohlen, die Phase der Vorbereitung des Fahrers auf antizipierbare beanspruchende Situationen zusätzlich mit in das Konzept der indirekten Schätzung der Beanspruchung aufzunehmen.

Die Beanspruchungswerte, die den Situationen in der Nachschlagetabelle hinterlegt sind, werden in einer Studie am dynamischen Lkw-Fahrsimulator mittels subjektiver Bewertung erhoben. Dabei ist das Niveau der resultierenden Beanspruchungswerte im Vergleich zu Studien aus dem Pkw-Bereich insgesamt eher gering. Dies kann auf die hohe Routine der Berufskraftfahrer beim Führen ihres Fahrzeuges zurückgeführt werden. Höchste Beanspruchung liegt in der Situation Rangieren vor. Schlechte Witterungsverhältnisse und Situationen, in denen eine Gefährdung anderer, schwächerer Verkehrsteilnehmer befürchtet wird, sind ebenfalls beanspruchend. Auch die Situationen Rückwärts Fahren, Tunnel und Bedienung des Navigationsgeräts werden beanspruchend erlebt. Die Validierung der Ergebnisse in einem Realversuch zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Fahrsimulatorstudie. Das Modul zur indirekten Schätzung der Beanspruchung kann zu einem späteren Zeitpunkt durch ein Modul zur ambienten Erfassung der Beanspruchung ersetzt werden.

Das Informationsmanagementmodul stellt das Kernstück des Systems dar. Hier wird in Abhängigkeit von den Meldungsparametern sowie der aktuell vorliegenden Fahrerbeanspruchung entschieden, ob eine Meldung ausgegeben wird oder ob die Meldungsausgabe zeitlich verzögert wird. Im Falle einer Verzögerung verwaltet dieses Modul die Meldung bis zu ihrer Ausgabe. Die Ausgabe der Meldung wird angestoßen, sobald die Beanspruchung entsprechend gesunken und eine Erholungszeit verstrichen ist oder sobald die maximal mögliche Verzögerungsdauer der Meldung abgelaufen ist. Außerdem wird im Informationsmanagementmodul die Ausgabereihenfolge mehrerer zurückgestellter Meldungen festgelegt und die Aktualität der Meldung vor der Ausgabe geprüft.

Ein Parameter, der zur Verbesserung der Funktionsweise des Informationsmanagements sowie der Beanspruchungsschätzung berücksichtigt werden könnte, ist die Gewöhnung an beanspruchende Situationen. Es ist anzunehmen, dass bei längerer Fahrt unter den selben beanspruchenden Bedingungen eine Gewöhnung an diese eintritt und die Beanspruchung dadurch sinkt [Mui09, S. 112ff]. Somit könnten nach einer gewissen Zeit, nach welcher der Gewöhnungseffekt eintritt, wieder Meldungen durch den Fahrer aufgenommen werden. Ferner würde durch die Berücksichtigung von Gewöhnungszeiten die Gefahr verringert werden, dass es zu einem Meldungsstau bei langanhaltend beanspruchenden Situationen kommt.

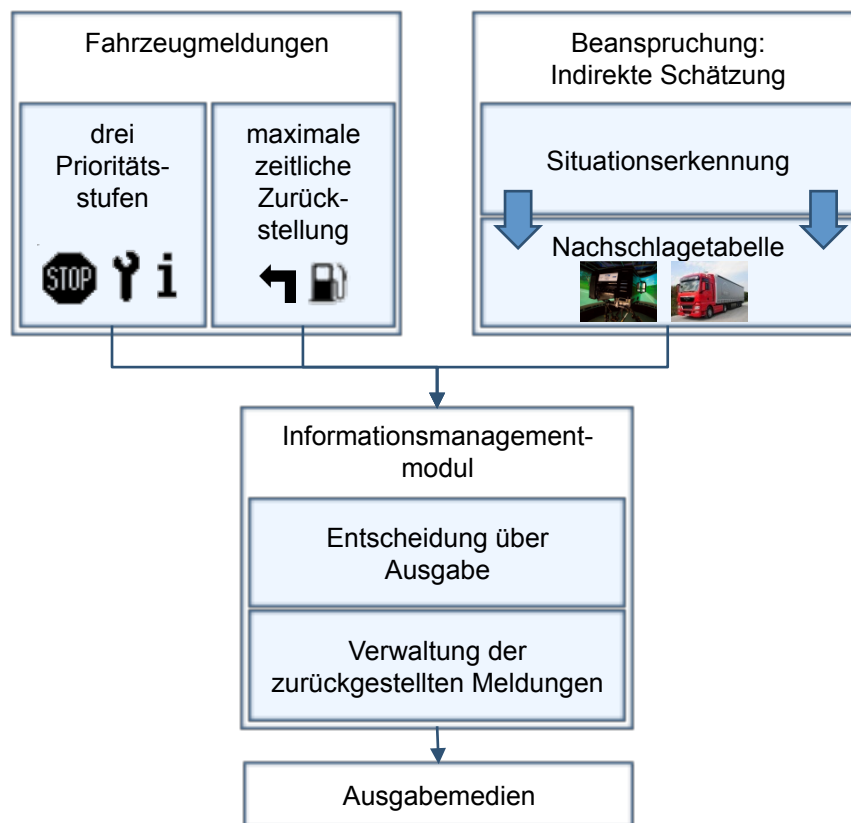


Abbildung 11.1: Struktur des Informationsmanagementsystems

Die Wirkung des Informationsmanagements wird in einer Fahrsimulatorstudie mit 38 Versuchspersonen getestet. Diese absolvieren im Rahmen der Studie Fahrten mit den Konfigurationen ohne Meldungsausgabe, mit Meldungsausgabe ohne Informationsmanagement sowie mit Meldungsausgabe mit Informationsmanagement. In den beiden Konfigurationen mit Meldungsausgabe erfolgt die Meldungsauslösung unter anderem gezielt

während beanspruchender Situationen. Bei der Konfiguration mit Informationsmanagement wird die Ausgabe dieser ausgelösten Meldung zeitlich verzögert.

Die Auswertung der physiologischen Beanspruchung ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Konfigurationen. Die Auswertung der subjektiven Beanspruchung dagegen zeigt, dass die Fahrt mit Meldungsausgabe zu ungünstigen Zeitpunkten mentale Beanspruchung, Anstrengung und Frustration signifikant erhöht im Vergleich zu einer Fahrt ohne Meldungen. Dies ist als Zeichen dafür zu sehen, dass die unregelmäßige Ausgabe von Fahrzeugmeldungen zu vermeiden ist. Die Fahrt mit Informationsmanagement unterscheidet sich in den drei Dimensionen mentale Beanspruchung, Anstrengung und Frustration nicht signifikant von der Fahrt ohne Informationsmanagement. Jedoch ist ein Trend dahingehend erkennbar, dass die Regelung der Meldungsausgabe zu einer Senkung der mentalen Beanspruchung, Anstrengung und Frustration beiträgt. Hinsichtlich der Kritikalität in der Situation, in der ein Pkw knapp vor dem Lkw einschert und abbremst, wird kein Einfluss des Informationsmanagementsystems festgestellt. Indes kann beobachtet werden, dass eine geregelte Meldungsausgabe den Fahrern in dieser Situation die Möglichkeit gibt, den umgebenden Verkehr aufmerksamer zu beobachten und dessen Verhalten zu antizipieren. So wird im Falle der sofortigen Meldungsausgabe der Abstand zum einscheren Fahrzeug durch stärkeres Bremsen vergrößert, um die Situation zu entschärfen und Zeit zur Meldungsaufnahme zu gewinnen. Hinsichtlich der Aufnahmegüte wird kein Einfluss des Informationsmanagements gefunden. Die Meinung der Versuchspersonen zu dem Informationsmanagementsystem ist insgesamt positiv, so dass die Mehrzahl der Fahrer das Informationsmanagement auch nutzen würde.

Die Studie zur Wirkung des Informationsmanagementsystems betrachtet nur einen sehr kleinen Ausschnitt aus der Vielfalt an Informationen, die im Fahrzeug auf den Fahrer einwirken können. Dieser Ausschnitt der Fehler- und Statusmeldungen stellt die klassische Informationsquelle im Fahrzeug dar, nämlich die Kommunikation zwischen dem Fahrer und dem Fahrzeug selbst. Für diesen kleinen, den Fahrern vertrauten Ausschnitt der Fehler- und Statusmeldungen wirkt sich ein Informationsmanagement positiv auf die subjektive Bewertung der Beanspruchung aus. Es ist daher als ein Baustein für eine angemessene Fahrzeugnutzung der modernen Informationsgesellschaft zu verstehen. Im ersten Schritt jedoch liegt der Grundstein einer erfolgreichen Fahrer-Fahrzeug-Kommunikation nicht im Informationsmanagement, sondern in einem verantwortungsbewussten Maß an Information bzw. Meldungen im Fahrzeug.

In Zukunft wird die Anzahl an Systemen, die mit dem Fahrer kommunizieren, weiter steigen. Der technologische Fortschritt birgt vielfältige Möglichkeiten, das Führen eines Fahrzeuges sicherer, ökonomischer und komfortabler zu gestalten. So ist mit einer weiteren Zunahme von Fahrerassistenzsystemen zu rechnen. Insbesondere Car2X-Technologien werden die Informationsmenge im Fahrzeug mit der Intention einer sicheren und wirtschaftlichen Fahrweise ansteigen lassen. Durch Car2Car Kommunikation beispielsweise kann ein Fahrer von Vorderfahrzeugen auf bevorstehende Hindernisse oder Gefahren aufmerksam gemacht werden. Speziell im Nutzfahrzeugbereich erlauben moderne Telematiksysteme ein effizientes Tour- und Flottenmanagement. Aufträge, Änderungen der Route, Terminvereinbarungen und vieles mehr können dem Fahrer direkt ins Fahrerhaus mitgeteilt werden. Die Aufgaben eines Lkw-Fahrers gehen dadurch auch während der Fahrt über die reine Fahrzeugführung hinaus. Bereits die folgende Generation von Fah-

ren ist mit der Nutzung von Medien und Kommunikationsmitteln aufgewachsen. Für eine moderne Informationsgesellschaft wird der Wunsch nach Vernetzung und Mediennutzung nicht mit dem Einstieg ins Fahrzeug enden. So muss ein Weg gefunden werden, entsprechende Systeme in das Fahrzeug zu integrieren und deren Nutzung im Fahrzeug vereinbar mit der Fahraufgabe zu gestalten.

Über die eingangs erwähnte Metapher des virtuellen Beifahrers kann die Richtung der oben beschriebenen Entwicklungen zusammengefasst werden. Ein Fahrer erhält von seinem Fahrzeug und dessen Systemen neben den Informationen zum Fahrzeug selbst Informationen, für die ein Beifahrer zuständig sein könnte. Ein Beifahrer assistiert beim Fahren, beispielsweise indem er auf Gefahren aufmerksam macht. Ein Beifahrer unterstützt in der Routenplanung, kann Richtungsanweisungen geben und das Terminmanagement übernehmen. Er tätigt zum Beispiel bei einer Verspätung einen Anruf, um darüber Bescheid zu geben. Nicht zuletzt kann ein Beifahrer für Kommunikation und Entertainment sorgen. All diese Aufgaben eines Beifahrers können in Zukunft durch das Fahrzeug und dessen Systeme übernommen werden. Um aus einem Beifahrer jedoch einen guten Beifahrer zu machen, ist auch nötig zu erkennen, wann besser keine Information weitergegeben werden sollte.

Auch wenn in der evaluierenden Abschlussstudie keine signifikante Verbesserung der objektiven Beanspruchung durch das Informationsmanagement nachgewiesen wurde, ist mit dem oben geschilderten steigendem Informationsaufkommen im Fahrzeug und dem gefundenen subjektiven Nutzen von Informationsmanagement davon auszugehen, dass ein Informationsmanagement im Nutzfahrzeug erforderlich wird. Das gezeigte erweiterbare und skalierbare System legt hierfür die Basis.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Struktur der Arbeit	3
Abbildung 2.1: Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung.....	4
Abbildung 2.2: Workload-Regionenmodell	6
Abbildung 2.3: Indikatoren psychischer Beanspruchung.....	6
Abbildung 2.4: Prinzip der Erfassung der Leistung in der Nebenaufgabe als Beanspruchungsindikator	8
Abbildung 2.5: Gütekriterien für die Erfassung psychischer Beanspruchung.....	9
Abbildung 2.6: Modelle menschlicher Informationsverarbeitung	11
Abbildung 2.7: Drei-Ebenen-Modell nach Rasmussen.....	12
Abbildung 2.8: Ressourcenmodell nach Kahneman.....	13
Abbildung 2.9: Informationsverarbeitungsmodell nach Wickens und Hollands	14
Abbildung 2.10: Performance Operating Characteristic	14
Abbildung 2.11: Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umwelt	15
Abbildung 3.1: Funktionsweise des Warnungskoordinators nach Enders.....	20
Abbildung 3.2: Gängige Führungsgrößen und Stellgrößen von Informationsmanagementsystemen	21
Abbildung 3.3: Übersicht über die Entwicklung von Informationsmanagementsystemen	22
Abbildung 3.4: Stufenweises Abraten (orange Darstellung der Bedienfelder) und Wegnehmen (Ausgrauen der Bedienfelder) von Fahrzeugfunktionen mit steigender Komplexität der Fahrsituation bei SAVE-IT	23
Abbildung 3.5: Übersicht über die verwendeten Führungsgrößen von Informationsmanagementsystemen zur zeitlichen Steuerung der Meldungsausgabe	26
Abbildung 4.1: Führungs- und Stellgröße des Informationsmanagementsystems für Nutzfahrzeuge	30
Abbildung 4.2: Anforderungen an das Informationsmanagement im Nutzfahrzeug	31
Abbildung 4.3: Architektur des Informationsmanagementsystems.....	32
Abbildung 5.1: Begriffe im Kontext der Bewertung der Wichtigkeit von Fahrzeugmeldungen.....	33
Abbildung 5.2: Indikatoren für die Wichtigkeit einer Fahrzeugmeldung, Ergebnis einer Fahrerbefragung.....	36
Abbildung 6.1: Grenzen der Erfassung mentaler Beanspruchung im Serienfahrzeug	39
Abbildung 6.2: Abgrenzung der beiden Möglichkeiten zur Schätzung der Fahrerbeanspruchung	42

Abbildung 7.1: Aufbau des Kapitels 7 über die Umsetzung der indirekten Schätzung der Beanspruchung im Rahmen des Informationsmanagements	44
Abbildung 7.2: Zusammensetzung der Fahrersituation aus den Ausprägungen verschiedener Kategorien von Merkmalen	45
Abbildung 7.3: Durchführung der explorativen Fahrerbefragung zur Identifikation beanspruchungsrelevanter Situationen	47
Abbildung 7.4: Anforderungen an die Situationserkennung im Rahmen der indirekten Beanspruchungsschätzung	49
Abbildung 7.5: Drei-Ebenen-Modell der Situationserkennung.....	50
Abbildung 7.6: Varianten der Situationserkennung	51
Abbildung 7.7: Signalfussplan der Situationsvariablen Regen bzw. Schneefall	53
Abbildung 7.8: Zustandsübergangsdiagramm der Situationsvariablen Rückwärts Fahren	53
Abbildung 7.9: Vorgehen zur Umsetzung der indirekten Schätzung der Fahrerbeanspruchung	55
Abbildung 7.10: Die Muskeln der Iris	58
Abbildung 7.11: Versuchsperson mit dem Pupillometrie-Messsystem zur Erfassung des Index of Cognitive Activity	59
Abbildung 7.12: Anbringung der Elektroden zur Hautleitwertmessung im Fahrsimulatorversuch	60
Abbildung 7.13: Schematischer Verlauf einer Hautleitwertsreaktion	61
Abbildung 7.14: Altersverteilung (links) und Verteilung der jährlichen Fahrleistung (rechts) der Teilnehmer der Fahrsimulatorstudie	62
Abbildung 7.15: Verteilung des Persönlichkeitsmerkmals Neurotizismus unter den Versuchspersonen der Fahrsimulatorstudie	62
Abbildung 7.16: Außen- und Innenansicht des dynamischen Lkw-Fahrsimulators	63
Abbildung 7.17: Index of Cognitive Activity und Lenkradwinkel für die Situation links abbiegen in der Fahrsimulatorstudie	65
Abbildung 7.18: Index of Cognitive Activity und Lenkradwinkel für die Situation enge Linkskurve in der Fahrsimulatorstudie	65
Abbildung 7.19: Subjektive Bewertung der Situationen im Rahmen der Realstudie anhand der modifizierten Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung	70
Abbildung 7.20: Altersverteilung (links) und Verteilung der jährlichen Fahrleistung (rechts) der Teilnehmer der Realstudie	71
Abbildung 7.21: Außen- und Innenansicht des in der Realstudie verwendeten Versuchsfahrzeuges	72
Abbildung 7.22: Vergleich der infrastrukturellen Gegebenheiten zwischen Simulation und Realität für die Situationen Autobahn Auffahrt (links), Pkw auf	

Autobahn Auffahrt (Mitte) und eine Kreuzungssituation außerorts, Fahrrichtung geradeaus, schildergeregt, Vorfahrt (rechts).....	73
Abbildung 8.1: Schematische Darstellung der Schwellen des Informationsmanagementmoduls	79
Abbildung 8.2: Gegenüberstellung der Schwellen nach Muigg und nach der Clusteranalyse	82
Abbildung 8.3: Auslöse- und Ausgabezeitpunkte zweier Meldungen und schematischer Beanspruchungsverlauf bei erkannter Situation Abbiegen ohne Berücksichtigung von Vorbereitungs- und Erholungszeiten	83
Abbildung 8.4: Vorbereitungs- und Erholungszeiten als Parameter des Informationsmanagementmoduls	84
Abbildung 9.1: Adaption der einzelnen Module des Informationsmanagements an die Architektur des Fahrsimulators	86
Abbildung 9.2: Ausgabe einer Fahrzeugmeldung im Kombidisplay des Fahrsimulators..	87
Abbildung 9.3: Untersuchungsfragen bei der Evaluation des Informationsmanagements	89
Abbildung 9.4: Darstellung der drei Konfigurationen zur Evaluation des Informationsmanagements am Beispiel der Situation Abbiegen	90
Abbildung 9.5: Im Rahmen der Evaluation des Informationsmanagements untersuchte beanspruchende Situationen mit Meldungsauslösung	92
Abbildung 9.6: Zeitpunkt t_a der Auslösung der Meldung in der Situation Autobahn Auffahrt	93
Abbildung 9.7: Abhängige Variablen zur Evaluation des Informationsmanagements	95
Abbildung 9.8: Altersverteilung (links) und Verteilung der jährlichen Fahrleistung (rechts) der Studienteilnehmer der evaluierenden Abschlussstudie	97
Abbildung 9.9: Verteilung des Persönlichkeitsmerkmals Neurotizismus unter den Versuchspersonen der evaluierenden Abschlussstudie	98
Abbildung 9.10: Ausgelöste Meldungen im Rahmen der Evaluationsstudie	99
Abbildung 9.11: Ergebnisse des NASA TLX	101
Abbildung 9.12: Mittlere minimale Time to Collision in der Situation knapper Einscherer	102
Abbildung 9.13: Anzahl der aufgetretenen minimalen Time to Collision-Werte je Wertebereich in der Situation „knapper Einscherer“	102
Abbildung 9.14: Erinnerungsgüte der vier Meldungen mit zeitlicher Verzögerung	103
Abbildung 9.15: Anzahl der Reaktionen und Reaktionszeiten bei der Betätigung der Lichthupe	104
Abbildung 9.16: Meinung der Versuchspersonen zum Informationsmanagementsystem	105

Abbildung 10.1: Situation knapper Einscherer auf der Landstraße	107
Abbildung 11.1: Struktur des Informationsmanagementsystems	111

Die Screenshots in Abbildung 8.3, Abbildung 8.4, Abbildung 9.4, Abbildung 9.5, Abbildung 9.6 und in Abbildung Anhang I.1 stammen aus der Fahrsimulationssoftware Silab.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1:	Verwendete Stellgrößen der bekannten Informationsmanagementsysteme	24
Tabelle 3.2:	Informationsmanagementsysteme mit Verwendung der Stellgröße Ausgabezeitpunkt	25
Tabelle 5.1:	Stufen der Kriterien Schadensausmaß und Dringlichkeit der Norm ISO 16951	34
Tabelle 5.2:	Stufen der Kriterien Sicherheitsrelevanz, Handlungsrelevanz und Dringlichkeit der Norm SAE J2395	34
Tabelle 5.3:	Meldungstypen in Fahrzeugen des Herstellers MAN	35
Tabelle 5.4:	Prioritäten von Fahrzeugmeldungen als Eingangsgröße für das Informationsmanagement	37
Tabelle 7.1:	Vor- und Nachteile des Konzeptes der indirekten Beanspruchungsschätzung	77

Literaturverzeichnis

- [Alm93] ALM, Håkan: *Designing the car of the future : III : What is the minimal time interval between two auditory RTI messages?* Linköping : VTI Swedish Traffic Research Institute, 1993. Forschungsbericht. Report ARIAD-NE/TR/TNO/WV931215/1
- [Amd08] AMDITIS, Angelos ; ANDREONE, Luisa: *Sub-Project 3: Design and Development of an Adaptive Integrated Driver-Vehicle Interface*. Presentation at the AIDE final workshop and exhibition. Göteborg : AIDE, 2008.
- [Amd10] AMDITIS, Angelos ; ANDREONE, Luisa ; PAGLE, Katia ; MARKKULA, Gustav ; DEREGIBUS, Enrica ; ROMERA RUÉ, Maria ; BELLOTTI, Francesco ; ENGELSBURG, Andreas ; BROUWER, Rino ; PETERS, Björn ; DE GLORIA, Alessandro: *Towards the Automotive HMI of the Future : Overview of the AIDE-Integrated Project Results*. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* Vol. 11, No. 3 (2010), S. 567-578.
- [And05] ANDREONE, Luisa ; AMDITIS, Angelos ; DEREGIBUS, Enrica ; DAMIANI, Sergio ; MORREALE, Domenico ; BELLOTTI, Francesco: *Beyond Context-Awareness: Driver-Vehicle-Environment adaptivity : From the COMUNICAR project to the AIDE concept*. In: ZITEK, Pavel (Hrsg.): *Proceedings of the 16th IFAC World Congress*. Prag : Elsevier Science & Technology, 2005, S. 1196-1202.
- [Arm11] ARMBRUSTER, Daniel: *Optimierung der visuellen Informationsübermittlung durch adaptive Kraftfahrzeugsignalleuchten*. München : Herbert Utz Verlag : Wissenschaft, Diss., 2011.
- [Bac03] BACKHAUS, Klaus ; ERICHSON, Bernd ; PLINKE, Wulff ; WEIBER, Rolf: *Multivariate Analysemethoden : Eine anwendungsorientierte Einführung*. 10. Aufl. Berlin : Springer, 2003, S. 543-603.
- [Bau10] BAUCH, Cord Volker: *Minimalsensorisches Konzept zur multimodalen Fahrerzustandsüberwachung auf Basis physiologischer Daten - Validierung einer neuen Methode*. Paderborn, Universität Paderborn, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Diss., 2010.
- [Bea82] BEATTY, Jackson: *Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources*. In: *Psychological Bulletin* Vol. 91, No. 2 (1982), S. 276-292.
- [Bea00] BEATTY, Jackson ; LUCERO-WAGONER, Brennis: *The pupillary system*. In: CACIOPPO, John T. ; TASSINARY, Louis G. ; BERNTSON, Gary G. (Hrsg.): *Handbook of Psychophysiology*. 2. Aufl. New York : Cambridge University Press, 2000, S. 142-162.
- [Bel04] BELLET, Thierry: *Driver's Availability Diagnosis : A First Step toward an Adaptive Management of On-Board Information*. NHTSA Workshop. Washington : NHTSA, 2004.

- [Bel05] BELLOTTI, Francesco ; DE GLORIA, Alessandro ; MONTANARI, Roberto ; DOSIO, Norberto ; MORREALE, Domenico: *COMUNICAR: designing a multimedia, context-aware human-machine interface for cars*. In: *Cognition, Technology and Work* Vol. 7, No. 1 (2005), S. 36-45.
- [Ben83] BENDA, Helga von ; HOYOS, Carl Graf ; SCHAIBLE-RAPP, Agnes: *Klassifikation und Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen*. Bergisch-Gladbach : Bundesanstalt für Straßenwesen, 1983. Forschungsbericht. Bericht zum Forschungsprojekt 7320 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung
- [Ben02] BENGLER, Klaus ; ZIMMER, Alf: *Kompetenzentwicklung: Gestaltungsziel für Fahrerassistenzsysteme und Fahrerinformationssysteme der Zukunft*. In: *Proceedings 38. BDP-Kongress für Verkehrspsychologie. Arbeitsgruppe 7: Verkehr und Information – Die Optimierung des Mobilitätssystems*. Regensburg : BDP, 2002.
- [Ben12] BENGLER, Klaus ; KOHLMANN, Martin ; LANGE, Christian: *Assessment of cognitive workload of in-vehicle systems using a visual peripheral and tactile detection task*. In: *Work : A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation* Vol. 41, Supplement 1/2012 (2012), S. 4919-4923.
- [Ber64] BERNOTAT, Rainer: *Der Mensch als Element des Flugführungssystems*. In: *Zeitschrift für Luftfahrttechnik/Raumfahrttechnik* 10, Nr. 3 (1964), S. 66-68.
- [Ber70] BERNOTAT, Rainer: *Plenary Session : Operation Functions in Vehicle Control : Anthropotechnik in der Fahrzeugführung*. In: *Ergonomics* Vol. 13, No. 3 (1970), S. 353-377.
- [BKr06] BKrFQG (v. 14.08.2006).
- [BMW11] BMW: *BMW Vision ConnectedDrive. Komfort - das Fahrzeug als persönlicher Concierge*. München : BMW Presse-Information, 2011.
- [Bor05] BORTZ, Jürgen: *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. 6. Aufl. Berlin : Springer, 2005.
- [Bor08] BORKENAU, Peter ; OSTENDORF, Fritz: *NEO-Fünf-Faktoren Inventar nach Costa und McCrae (NEO-FFI) : Manual*. 2. Aufl. Göttingen : Hogrefe, 2008.
- [Bou92] BOUCSEIN, Wolfram: *Electrodermal Activity*. 2. Aufl. New York : Plenum Press, 1992.
- [Bro06] BROSTRÖM, Robert ; ENGSTRÖM, Johan ; AGNVALL, Anders ; MARKKULA, Gustav: *Towards the next generation Intelligent Driver Information System (IDIS): the Volvo Car Interaction Manager Concept*. In: *Proceedings of the 13th ITS World Congress*. London : ERTICO, 2006.
- [Buc03] BUCHHOLZ, Kami: *Driver Advocate for Chrysler*. In: *Automotive Engineering International*, Oktober 2003 (2003), S. 42.

- [Bul06] BULD, Susanne ; HOFFMANN, Sonja ; KRÜGER, Hans-Peter: *Fahrerassistenz auf der Grundlage von Umgebungs- und Fahrervariablen*. In: STILLER, Christoph ; MAURER, Markus (Hrsg.): *4. Fahrerassistenzsysteme-Workshop*. Löwenstein/Hößlinsülz : Freundeskreis Mess- und Regelungstechnik Karlsruhe e.V., 2006, S. 52-59.
- [Bun11] BUNDESAMT FÜR GÜTERVERKEHR: *Marktbeobachtung Güterverkehr. Auswertung der Arbeitsbedingungen in Güterverkehr und Logistik 2011-I*. Köln : Bundesamt für Güterverkehr, 2011.
- [Bun12] BUNDESAMT FÜR GÜTERVERKEHR: *Marktbeobachtung Güterverkehr Jahresbericht 2011*. Köln : Bundesamt für Güterverkehr, 2012.
- [Cen03] CENTRO RICERCA FIAT: *COMUNICAR : Final Report* / University of Siena, Volvo Car, DaimlerChrysler, Borg Instruments, Metravib, ICCS/NTUA, DIBE, FHG/IAO, BAST, TNO. Orbassano : Centro Ricerche FIAT, 2003. Forschungsbericht. COMUNICAR, IST-1999-11595 Communication Multimedia Unit inside CAR, Final Report
- [Che08] CHEN, Fang ; JORDAN, Patrick W: *Zonal Adaptive Workload Management Systems: Limiting Secondary Tasks While Driving*. In: *Proceedings of the 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Eindhoven: IEEE, 2008, S. 997-1002.
- [Dai05] Schutzrecht DE10331800 A1 (3. Februar 2005). DaimlerChrysler AG.
- [Dam05] DAMBIER, Michael ; ALTMÜLLER, Tobias ; WOLF, Werner: *Konzepte zur Beanspruchungsschätzung: Ein standardisiertes Beanspruchungsmodell als Basis oder doch mehr Individualisierung?* In: URBAS, Leon ; STEFFENS, Christiane (Hrsg.): *Zustandserkennung und Systemgestaltung : 6. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme : 13. bis 15. Oktober 2005 (ZMMS Spektrum Band 19)*. Fortschritt-Berichte VDI, Mensch-Maschine-Systeme, Band 22. Düsseldorf : VDI Verlag, 2005, S. 187-190.
- [Daw00] DAWSON, Michael E. ; SCHELL, Anne M. ; FILION, Diane L.: *The electrodermal System*. In: CACIOPPO, John T ; TASSINARY, Louis G. ; BERNTSON, Garry G. (Hrsg.): *Handbook of Psychophysiology*. 2. Aufl. New York : Cambridge University Press, 2000, S. 200-223.
- [Der08] DEREGIBUS, Enrica: *ICA - Interaction and Communication Assistant*. Presentation at the AIDE final workshop and exhibition. Göteborg : AIDE, 2008.
- [Deu11] DEUTSCHER VERKEHRSSICHERHEITSRAT E.V.: *Bester Beifahrer*. URL <http://www.bester-beifahrer.de>. - Zugriff am 18.07.2012.
- [DeW96] DE WAARD, Dick: *The Measurement of Drivers' Mental Workload*. Haren : The Traffic Research Centre VSC, University of Groningen, Diss., 1996.
- [DIN00] NORM DIN EN ISO 10075-1 2000. *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. Teil 1: Allgemeines und Begriffe*.

- [Don82] DONGES, Edmund: Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. In: *Automobil-Industrie* Nr. 2/82 (1982), S. 183-190.
- [Dro12] DROTLEFF, Dieter: *Die situative Beanspruchung von Lkw-Fahrern – ein Vergleich zwischen Simulation und Realität im Kontext der Entwicklung einer zeitlich-situativen Informationsfilterung*. Ludwig-Maximilians-Universität München, unveröffentlichte Bachelorarbeit, 2012.
- [Dug04] DUGARRY, Alexandre: *Advanced Driver Assistance Systems Information Management and Presentation*. Cranfield, Cranfield University, School of Engineering, Applied Mathematics and Computing Group, Phd Thesis, 2004.
- [Eic11] EICHINGER, Armin: *Bewertung von Benutzerschnittstellen für Cockpits hochagiler Flugzeuge*. Regensburg, Universität Regensburg, Philosophische Fakultät II Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft, Diss., 2011.
- [Eil86] EILERS, Karin ; NACHREINER, Friedhelm ; HÄNECKE, Kerstin: Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 40(12NF)/4 (1986), S. 215-224.
- [Eil11] EILEBRECHT, Benjamin ; WARTZEK, Tobias ; LEM, Jeroen ; VOGT, Rainer ; LEONHARDT, Steffen: Kapazitives Elektrokardiogramm-Messsystem im Autositz. In: *Automobiltechnische Zeitschrift* 113. Jg. Nr. 3 (2001), S. 232-237.
- [Eil02] ELLINGHAUS, Dieter ; STEINBRECHER, Jürgen: *Lkw im Strassenverkehr - Eine Untersuchung über die Beziehungen zwischen Lkw- und Pkw-Fahrern - / Continental AG. Köln : UNIROYAL, 2002. Forschungsbericht. UNIROYAL Verkehrsuntersuchung 27*
- [End09] ENDERS, Sebastian: *Entwicklung und Test eines Konzepts zur Koordination von Warnungen im Fahrzeug*. Berichte aus der Fahrzeugtechnik. Aachen : Shaker Verlag, Diss., 2009.
- [ESG06] ESG ELEKTRONIKSYSTEM- UND LOGISTIK GMBH: Der künstliche Beifahrer. In: *Spektrum* 3 (2006), S. 3-6.
- [Eur09] EUROPÄISCHE UNION: Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des europäischen Parlamentes und des Rates vom 13. Juli 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit. In: *Amtsblatt der Europäischen Union* L200/1, Luxemburg : Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, 2009.
- [Eve09] EVERS, Claudia: *Auswirkungen von Belastungen und Stress auf das Verkehrsverhalten von Lkw-Fahrern*. Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Philosophische Fakultät, Diss., 2009.
- [Fär03] FÄRBER, Brigitte ; FÄRBER, Berthold: *Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf das Fahrerverhalten*. Bergisch-Gladbach : Bundesanstalt für Straßenwesen, 2003. Forschungsbericht. Bericht zum Forschungsprojekt

- 82.128 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Mensch und Sicherheit, Heft M 149
- [Far03] FARMER, Eric ; BROWNSON, Adam: *Review of Workload Measurement, Analysis and Interpretation Methods* / European organisation for the safety of air navigation. Brüssel : European organisation for the safety of air navigation, 2003. Forschungsbericht. CARE-Integra-TRS-130-02-WP2
- [Fas94] FASTENMEIER, Wolfgang: *Verkehrstechnische und verhaltensbezogene Merkmale von Fahrstrecken : Entwicklung und Erprobung einer Typologie von Straßenverkehrssituationen*. München, Technische Universität München, Lehrstuhl für Psychologie, Diss., 1994.
- [Fas95] FASTENMEIER, Wolfgang: *Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem*. In: FASTENMEIER, Wolfgang (Hrsg.): *Autofahrer und Verkehrssituation - Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme*. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1995, S. 27-78.
- [Fér88] FÉRÉ, Charles: Note sur les modifications de la résistance électrique sous l'influence des excitations sensorielles et des émotions. In: *Comptes Rendus des Seances de la Société de Biologie*, 5 (1888), S. 217-219.
- [Fla54] FLANAGAN, John C: The Critical Incident Technique. In: *Psychological Bulletin* Vol. 51, No. 4 (1954), S. 327-358.
- [Frü08] FRÜHAUF, Nicolas ; ROTH, Jens-Jochen ; SCHYGULLA, Michael: *Aus- und Weiterbildung von Lkw- und Busfahrern zur Verbesserung der Verkehrssicherheit*. Bergisch-Gladbach : Bundesanstalt für Straßenwesen, 2008. Forschungsbericht. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Mensch und Sicherheit, Heft M197
- [Gai00] GAILLARD, Anthony W. K. ; KRAMER, Arthur F.: *Theoretical and Methodological Issues in Psychophysiological Research*. In: BACKS, Richard W. ; BOUCSEIN, Wolfram (Hrsg.): *Engineering Psychophysiology – Issues and Applications*. Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates, 2000, S. 31 - 58.
- [Gei85] GEISER, Georg: Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug. In: *Automobiltechnische Zeitschrift* 87. Jg. Nr. 2 (1985), S. 77-84.
- [Gil10] GILZENRAT, Mark S. ; NIEUWENHUIS, Sander ; JEPMA, Marieke ; COHEN, Jonathan D.: Pupil diameter tracks changes in control state predicted by the adaptive gain theory of locus coeruleus function. In: *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 10 (2) (2010), S. 252-269.
- [Gre04] GREEN, Paul: Driver Distraction, Telematics Design, and Workload Managers: Safety Issues and Solutions. SAE Paper Number 2004-21-0022. In: *Convergence International Congress & Exposition On Transportation Electronics*. Detroit : SAE International, 2004.

- [Gös05] GÖSSEL, Frank: *Informationsentropische, spektrale und statistische Untersuchungen fahrzeuggenerierter Verkehrsdaten unter besonderer Berücksichtigung der Auswertung und Dimensionierung von FCD-Systemen*. Dresden, Technische Universität Dresden, Fakultät für Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Diss., 2005.
- [Hac05] HACKER, Winfried: *Allgemeine Arbeitspsychologie : Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit*. Bern : Huber, 2005.
- [Har88] HART, Sandra G. ; STAVELAND, Lowell E.: *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research*. In: HANCOCK, Peter A. ; MESHKATI, Najmedin (Hrsg.): *Human mental workload*. North : Elsevier Science Publishers B.V., 1988, S. 139-183.
- [Her99] HERING, Klaus: *Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr : Literaturübersicht und empirische Felduntersuchung*. Köln, Universität zu Köln, Philosophische Fakultät, Diss., 1999.
- [Hoe02] HOEDEMAEKER, Marika ; DE RIDDER, Selma N. ; JANSSEN, Wiel H: *Review of European Human Factors Research on Adaptive Interface Technologies for Automobiles*. Soesterberg : TNO Human Factors, 2002. Forschungsbericht. TNO-report TM-02-C031, Contractor US DOT/RSPA/Volpe Center, Cambridge, MA, USA. Project Numer 013.72103
- [Hör11] HÖRWICK, Christian: *Umsetzung einer echtzeitfähigen Situationserkennung zur impliziten Ermittlung der mentalen Beanspruchung des Fahrers*. Technische Universität München, unveröffentlichte Diplomarbeit, 2011.
- [Hoy86] HOYOS, Carl Graf ; KASTNER, Michael: *Belastung und Beanspruchung von Kraftfahrern* / VON BENDA, Helga ; GALSTERER, Herbert ; GSTALTER, Herbert ; GUILLOT, Günther ; SÖMEN, Hans Dieter. Bergisch Gladbach : Bundesanstalt für Straßenwesen, 1986. Forschungsbericht. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Bereich Unfallforschung, Heft 59
- [Hua03] HUANG, Pei-shih: *Regelkonzepte zur Fahrzeugführung unter Einbeziehung der Bedienelementeigenschaften*. Garching, Technische Universität München, Fakultät für Maschinenwesen, Diss., 2003.
- [Hus10] HUSSY, Walter ; SCHREIER, Margrit ; ECHTERHOFF, Gerald: *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften*. Berlin : Springer, 2010.
- [Int04] INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION: *Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems (TICS) - Procedures for determining priority of on-board messages presented to drivers*. Technical Specification, ISO/TS 16951. Genf : ISO, 2004.
- [INV05] INVENT: *INVENT „erfahren“ - mobil mit 8 Sinnen* / Bundesministerium für Bildung und Forschung. Kirchheim unter Teck : INVENT-Büro, 2005. Forschungsbericht.

- [Ive] IVECO: *Eurocargo 12-18t : Betriebs - und Wartungsanleitung*. Turin : IVECO, circa 2008.
- [Jan95] JANSSEN, Wiel H: *An extended evaluation of driving a prototype intelligent vehicle*. In: *Proceedings of the 2nd World Congress on ITS*. Yokohama : ITS Japan, 1995, S. 1771-1776.
- [Joh66] JOHNSON, Laverne, C ; LUBIN, Ardie: Spontaneous electrodermal activity during waking and sleeping. In: *Psychophysiology* Vol. 3, Issue 1 (1966), S. 8-17.
- [Joh79] JOHANNSEN, Gunnar ; MORAY, Neville ; PEW, Richard W. ; RASMUSSEN , Jens ; SANDERS, A. ; WICKENS, Christopher D.: *Final Report of Experimental Psychology Group*. In: MORAY, Neville (Hrsg.): *Mental workload : Its Theory and measurement : Proceedings of the NATO Symposium on Theory and Measurement of Mental Workload*. New York : Plenum Press, 1979, S. 101-114.
- [Kah73] KAHNEMAN, Daniel: *Attention and Effort*. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1973.
- [Kan04] KANEVSKY, Dimitri ; CHURCHILL, Barbara ; FAISMAN, Alex ; NAHAMOO, David ; SICCONI, Roberto: *Safety Driver Manager*. Yorktown : IBM Research Division, Thomas J. Watson Research Center, 2004. Forschungsbericht. IBM Research Report, RC23301 (W0408-092) August 19, 2004, Computer Science
- [Kas78] KASTNER, Michael: *Entwicklung von Verfahren und Validierung von Indikatoren zur Beanspruchungsmessung bei Kraftfahrern*. Köln : Bundesanstalt für Straßenwesen, 1978. Forschungsbericht. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, FP 7707/1 (Teil I). Aachen, RWTH, Institut für Psychologie, 1978
- [Ker07] KERN, Dagmar ; SCHMIDT, Albrecht ; PITZ, Michael ; BENGLER, Klaus: *Status- und Kontextinformationen für die Telekommunikation im Auto*. In: GROSS, Tom (Hrsg.): *Mensch & Computer 2007 : Konferenz für interaktive und kooperative Medien : Interaktion im Plural*. München : Oldenbourg Verlag, 2007, S. 119-128.
- [Kig96] KIGER, Steven ; ROCKWELL, Thomas ; NISWONGER, Steve ; TIJERNA, Louis ; MYERS, Louis ; NYGREN Thomas: *Heavy Vehicle Driver Workload Assessment. Task 3: Task Analysis Data Collection* / Battelle Memorial Institute, Office of Crash Avoidance Research, National Highway Traffic Safety Administration. Columbus : National Highway Traffic Safety Administration, 1996. Forschungsbericht. DOT HS 808 467
- [Kle82] KLEBELSBERG, Dieter: *Verkehrspsychologie*. Berlin : Springer, 1982.
- [Kli89] KLIMMER, Felix ; RUTENFRANZ, Josef: *Methoden zur Erfassung mentaler und emotionaler Belastung und Beanspruchung*. In: SCHWABERGER, Günther ; PESSENHOFER, Herfried ; KENNER, Thomas (Hrsg.): *Aktuelle Probleme der angewandten und experimentellen Stressforschung*. Frankfurt am Main : Verlag Peter Lang, 1989, S. 13-43.

- [Kön03] KÖNIG, Winfried ; WEIß, Karl-Ernst ; MAYSER, Christoph: *S.A.N.T.O.S - Ein Konzept für integrierte Fahrerassistenzsysteme*. In: VDI VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (Hrsg.): *Elektronik im Kraftfahrzeug*. VDI-Berichte, Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Band 1789. Düsseldorf : VDI Verlag, 2003, S. 351-365.
- [Kop05] KOPF, Matthias: *Was nützt es dem Fahrer, wenn Fahrerinformations- und -assistenzsysteme etwas über ihn wissen?* In: MAURER, Markus ; STILLER, Christoph (Hrsg.): *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung*. Berlin : Springer, 2005, S. 117-141.
- [Kör06] KÖRNER, Julia: *Searching in Lists While Driving : Identification of Factors Contributing to Driver Workload*. München, Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Psychologie und Pädagogik, Diss., 2006.
- [Kra90] KRAMER, Arthur F: *Physiological Metrics of Mental Workload : A Review of Recent Progress* / MCLACHLAN, John C.. San Diego : Navy Personnel Research and Development Center, 1990. Forschungsbericht. Report Number NPRDC-TN-90-23
- [Kuh94] KUHMAN, Werner: *Leistungsgüte und Beanspruchung bei mentalen Tätigkeiten*. Bern : Verlag Hans Huber, 1994.
- [Leo75] LEONARD, James J. ; WIERWILLE, Walter W.: *Human performance validation of simulators: theory and experimental verification*. In: HALE, Robert N. ; MCKNIGHT, Robert A. ; MOSS, James R. (Hrsg.): *Human Factors in Our Expanding Technology : Proceedings : Human Factors Society : 19th Annual Meeting*. Dallas : Human Factors Society, 1975, S. 446- 456.
- [Ler08] LERMER, Ramona ; SCHUMANN, Josef: *Warn- und Informationsmanagement (WIM) im PKW: Zeitkritikalität, Fahrerleistung, Fahrsituation*. In: ITS NIEDERSACHSEN (Hrsg.): *AAET 2008. Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel*. Braunschweig : ITS Niedersachsen, 2008, S. 198-214.
- [Ler10] LERMER, Ramona: *Konzeption und Bewertung eines fahrsituations- und fahrerleistungsadaptiven Warn- und Informationsmanagers*. München, Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik, Diss., 2010.
- [Loe99] LOEWENFELD, Irene E.: *The Pupil: Anatomy, Physiology, and clinical Applications*. Oxford : Butterworth-Heinemann, 1999.
- [Man98] MANZEY, Dietrich: *Psychophysiologie mentaler Beanspruchung*. In: BIRBAUMER, Nils ; FREY, Dieter ; KUHL, Julis ; PRINZ, Wolfgang ; WEINERT, Franz E. (Hrsg.): *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Serie 1, Band 5 (Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie, Hrsg. Rößler, Frank)*. Göttingen : Hogrefe-Verlag, 1998, S. 799-864.
- [MAN08] MAN NUTZFAHRZEUGE AKTIENGESELLSCHAFT: *Betriebsanleitung : Trucknology Generation TGX. Mit Multifunktionslenkrad*. München : MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft, 2008.

- [Mar00] Schutzrecht US 6090051 (18. Juli 2000). MARSHALL, Sandra P.. US 09/261,641 1999-03-03
- [Mar02] MARSHALL, Sandra P.: *The Index of cognitive Activity: Measuring Cognitive Workload*. In PERSENSKY, J.J. ; HALLBERT, Bruce ; BLACKMAN, Harold (Hrsg.): *Proceedings of the 2002 IEEE 7th Conference on Human Factors and Power Plants*. Scottsdale : IEEE, 2002, S. 7-5 – 7-9.
- [Mar07] MARSHALL, Sandra P.: Identifying Cognitive State from Eye Metrics. In: *Aviation, Space, And Environmental Medicine* Vol. 78, No. 5, Section II (2000), S. B165 - B175.
- [Mau00] MAURER, Markus: *Flexible Automatisierung von Straßenfahrzeugen mit Rechnersehen*. München, Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik, Diss., 2000.
- [McC79] MCCLELLAND, James L.: On the time relations of mental processes: An examination of systems of processes in cascade. In: *Psychological Review* Vol. 86, No. 4 (1979), S. 287-330.
- [McL92] MCLAREN, Jay W. ; Erie, Jay C. ; Brubaker, Richard F.: Computerised analysis of pupillograms in studies of alertness. In: *Investigative Ophthalmology & Visual Science* Vol. 33, No. 3 (1992), S. 671-676.
- [McL93] MCLOUGHLIN, Henry B. ; MICHON, John A. ; VAN WINSUM, Wim ; WEBSTER, Eamonn: *GIDS intelligence*. In: MICHON, John A. (Hrsg.): *Generic Intelligent Driver Support : A Comprehensive Report on GIDS*. London : Taylor & Francis, 1993, S. 89-112.
- [Meh11] MEHLER, Bruce ; REIMER, Bryan ; DUSEK, Jeffery A.: *MIT AgeLab Delayed Digit Recall Task (n-back)*. Working Paper 2011-3B. Cambridge : Agelab, Massachusetts Institute of Technology, 2011.
- [Mei76] MEISTER, David: *Behavioral foundations of system development*. New York : John Wiley & Sons, 1976.
- [Mic93a] MICHON, John A.: *Generic Intelligent Driver Support : A Comprehensive Report on GIDS*. London : Taylor & Francis, 1993.
- [Mic93b] MICHON, John A. ; PIERSMA, Ep H. ; SMILEY, Alison ; VERWEY, Willem B. ; WEBSTER Eamonn: *Design considerations*. In: MICHON, John A. (Hrsg.): *Generic Intelligent Driver Support : A Comprehensive Report on GIDS*. London : Taylor & Francis, 1993, S. 69-87.
- [Mic93c] MICHON, John A. ; SMILEY, Alison: *Introduction: a guide to GIDS*. In: MICHON, John A. (Hrsg.): *Generic Intelligent Driver Support : A Comprehensive Report on GIDS*. London : Taylor & Francis, 1993, S. 3-18.
- [Mui08] MUIGG, Andreas ; MEUERLE, Jürgen ; RIGOLL, Gerhard: *Negative effects of inappropriate messages*. In: *3. Tagung Aktive Sicherheit durch*

- Fahrerassistenz*. Garching : Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik München, TÜV Süd Akademie GmbH, 2008.
- [Mui09] MUIGG, Andreas: *Implizites Workloadmanagement - Konzept einer zeitlich-situativen Informationsfilterung im Automobil*. München, Technische Universität München, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diss., 2009.
- [Nåb08] NÅBO, Arne: *Dialog Management System : IVSS Project Report*. Göteborg : IVSS, 2008. Forschungsbericht. AL80B 2004:10254
- [Nac02] NACHREINER, Friedhelm: Über einige aktuelle Probleme der Erfassung, Messung und Beurteilung der psychischen Belastung und Beanspruchung. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 56/1-2 (2002), S. 10-21.
- [New90] NEWELL, Allen: *Unified Theories of Cognition*. Cambridge : Harvard University Press, 1990.
- [ODo86] O'DONNELL, Robert D. ; EGGEMEIER, F. Thomas: *Workload assessment methodology*. In: BOFF, Kenneth R. ; KAUFMANN Lloyd ; THOMAS, James P. (Hrsg.): *Handbook of perception and human performance : Volume II : cognitive processes and performance*. New York : John Wiley & Sons, 1986, S. 42-1-42-49.
- [Oes01] OESTERREICH, Rainer: Das Belastungs-Beanspruchungskonzept im Vergleich mit arbeitspsychologischen Konzepten. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 55/3 (2001), S. 162-178.
- [Pag08] PAGLE, Katia: *Driver-Vehicle-Environment monitoring modules*. Presentation at the AIDE final workshop and exhibition. Göteborg : AIDE, 2008.
- [Pie02] PIECHULLA, Walter ; MAYSER, Christoph ; GEHRKE, Helmar ; KÖNIG, Winfried: *Online-Fahrerbeanspruchungsschätzung*. In: 38. *BDP-Kongress für Verkehrspsychologie*. Regensburg : Berufsverband Deutscher Psychologinnen und Psychologen, 2002.
- [Pie03] PIECHULLA, Walter ; MAYSER, Christoph ; GEHRKE, Helmar ; KÖNIG, Winfried: Reducing drivers' mental workload by means of an adaptive man-machine interface. In: *Transportation Research Part F* Vol. 6 (2003), S. 233-248.
- [Pri75] PRIBRAM, Karl H. ; MCGUINNESS, Diane: Arousal, Activation and Effort in the Control of Attention. In: *Psychological Review* Vol. 82, No. 2 (1975), S. 116-149.
- [Ras83] RASMUSSEN, Jens: Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* SMC-13, No. 3 (1983), S. 257-266.
- [Rau09] RAUCH, Nadja ; GRADENEGGER, Barbara ; KRÜGER, Hans-Peter: Darf ich oder darf ich nicht? Situationsbewusstsein im Umgang mit Nebenaufgaben während der Fahrt. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 63/1 (2009), S. 3-17.

- [Rei01a] REICHART, Günter: *Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22, Nr. 7. Düsseldorf : VDI Verlag, Diss., 2001.
- [Rei01b] REIMER, Bryan ; MEHLER, Bruce: The impact of cognitive workload on physiological arousal in young adult drivers: a field study and simulation validation. In: *Ergonomics* Vol. 54, No. 10 (2001), S. 932-942.
- [Rib02] RIBBACK, Sven: *Psychologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Potsdam, Universität Potsdam, Humanwissenschaftliche Fakultät, Diss., 2002.
- [Roh84] ROHMERT, Walter: Das Belastungs-Beanspruchungskonzept. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 38(10NF)/4 (1984), S. 193-200.
- [Röß96] RÖßGER, Peter: *Die Entwicklung der Pupillometrie zu einer Methode der Messung mentaler Beanspruchung in der Arbeitswissenschaft*. Berlin, Technische Universität Berlin, Fachbereich Maschinenbau und Produktionstechnik, Diss., 1996.
- [Sar09] SARA, Susan J: The locus coeruleus and noradrenergic modulation of cognition. In: *Nature Reviews Neuroscience* Vol. 10, No. 3 (2009), S. 211-223.
- [Sca09] SCANIA: *Fahrerhandbuch Komplett*. Södertälje : Scania, 2009.
- [Scha98] SCHANDRY, Rainer: *Lehrbuch Psychophysiologie. Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens*. Studienausgabe. Weinheim : Beltz, 1998.
- [Schi74] SCHIFF, J. M. ; FOA, P.: La pupille considerée comme esthésiomètre / DE CHOISITY, R. G. (übers.). In: *Marseille Médical* Nr. 2 (1874), S. 736-741.
- [Schi04] SCHINDHELM, Roland ; GELAU, Christhard ; HOEDEMAEKER, Marika: *COMUNICAR Information Manager: Ergebnisse der Felduntersuchungen*. In: *1. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz*. Garching : Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik München, TÜV Süd Akademie GmbH, 2004.
- [Schl09] SCHLAG, Bernhard ; PETERMANN, Ina ; WELLER, Gert ; SCHULZE, Christoph: *Visuelle Wahrnehmung und Informationsaufnahme im Straßenverkehr*. In: SCHLAG, Bernhard ; PETERMANN, Ina ; WELLER, Gert ; SCHULZE, Christoph (Hrsg.): *Mehr Licht - mehr Sicht - mehr Sicherheit?* Wiesbaden : VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2009, S. 15-58.
- [Schl10] SCHLICK, Christopher ; BRUDER, Ralph ; LUCZAK, Holger: *Arbeitswissenschaft*. Berlin : Springer, 2010.
- [Schm02] SCHMIDTKE, Heinz: Vom Sinn und Unsinn der Messung psychischer Belastung und Beanspruchung. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 56/1-2 (2002), S. 4-9.
- [Schm93] SCHMIDTKE, Heinz: *Mentale Beanspruchung durch informatorische Belastung*. In: SCHMIDTKE, Heinz (Hrsg.): *Ergonomie*. München : Hanser, 1993, S. 143-160.

- [Scho09] SCHOLL, Armin: *Die Befragung : Sozialwissenschaftliche Methode und kommunikationswissenschaftliche Anwendung*. 2. Aufl. Konstanz : UVK Verlagsgesellschaft mbH, 2009.
- [Schr09] SCHRÖDER, Caterina: *Virtueller Beifahrer macht Lkw noch sicherer*. In: *ATZ online*. 30. 07 2009. URL <http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/10174/Virtueller-Beifahrer-macht-Lkw-noch-sicherer.html>. - Zugriff am 18.07.2012
- [Schü02] SCHÜTTE, Martin: Bestimmung der bedingungsbezogenen Messgenauigkeit der Anstrengungsskala. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 56/1-2 (2002), S. 37-45.
- [Schw09] SCHWALM, Maximilian: *Pupillometrie als Methode zur Erfassung mentaler Beanspruchung im automotiven Kontext*. Saarbrücken, Universität des Saarlandes, Philosophische Fakultäten, Diss., 2009.
- [Sei11] SEITZ, Maria ; ZIMMERMANN, Andreas ; DLUGOSCH, Carsten ; HASLBECK, Andreas ; BENGLER, Klaus ; LIENKAMP, Markus: *Pupillometrie als Werkzeug zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung im Nutzfahrzeug*. In: VDI VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (Hrsg.): *Der Fahrer im 21. Jahrhundert : Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit*. VDI-Berichte, Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Band 2134. Düsseldorf : VDI-Verlag, 2011, S. 105-116.
- [Sei12a] SEITZ, Maria ; DAUN, Thomas J. ; ZIMMERMANN, Andreas ; LIENKAMP, Markus: *Measurement of electrodermal activity to evaluate the impact of environmental complexity on driver workload*. In: SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF CHINA (SAE CHINA) ; INTERNATIONAL FEDERATION OF AUTOMOTIVE ENGINEERING SOCIETIES (FISITA) (Hrsg.): *Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress*. Volume 12: Intelligent Transport System (ITS) & Internet of Vehicles. Heidelberg : Springer, 2012, S. 245-254.
- [Sei12b] SEITZ, Maria ; FELDMEIERS, Daniel ; ZIMMERMANN, Andreas ; LIENKAMP, Markus: *Eine Feldstudie zur Erfassung der kognitiven Beanspruchung von Lkw-Fahrern*. In: *Commercial Vehicle Technology Symposium*. Kaiserslautern : Commercial Vehicle Alliance, 2012, S. 59-68.
- [Sei12c] SEITZ, Maria ; MAAS, Michael ; ZIMMERMANN, Andreas ; LIENKAMP, Markus: *Möglichkeiten zur kontinuierlichen Schätzung der Fahrerbeanspruchung im Serienfahrzeug*. In: VDI VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (Hrsg.): *Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit 2012*. VDI-Berichte, Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Band 2166. Düsseldorf : VDI-Verlag, 2012, S. 237-250.
- [Sei12d] SEITZ, Maria ; MAAS, Michael ; ZIMMERMANN, Andreas ; LIENKAMP, Markus: *Möglichkeiten zur kontinuierlichen Schätzung der Fahrerbeanspruchung im Serienfahrzeug*. In: *Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit 2012*. Vortragsfolien. Wolfsburg : VDI, 2012.
- [Sei12e] SEITZ, Maria ; MATYSIAK, David ; ZIMMERMANN, Andreas ; LIENKAMP, Markus: *Untersuchungen zur zeitlich optimierten Ausgabe von Fahrzeugmeldungen*. In:

5. *Tagung Fahrerassistenz*. München : Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik München, TÜV Süd Akademie GmbH, 2012.
- [Sei12f] SEITZ, Maria ; ZIMMERMANN, Andreas ; FRANKL, Stephanie ; LIENKAMP, Markus: *Die Bedeutsamkeit verschiedener Einflüsse auf die Fahrerbeanspruchung im Nutzfahrzeug*. In: 5. *Grazer Nutzfahrzeug Workshop*. Vortragsfolien. Graz : Institut für Fahrzeugtechnik, 2012.
- [Smi08] SMITH, Matthew R. H. ; WITT, Gerald J. ; BAKOWSKI, Debi L.: *A Final Report of SAfety VEhicles using adaptive Interface Technology (Task 15): SAVE-IT Summary and Benefits Estimation*. Kokomo : Delphi Electronics & Safety, 2008. Forschungsbericht.
- [Soc02] SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS: *ITS In-Vehicle Message Priority*. SAE J2395. Surface Vehicle Recommended Practice. Warrendale : SAE, 2002.
- [Spe04] SPEARMAN, Charles: "General Intelligence," Objectively Determined and Measured. In: *The American Journal of Psychology*, Vol. 15, No. 2 (1904), S. 201-292.
- [Spr08] SPRENGER, Regina: *Empirische Forschungsmethoden für die Evaluation visueller Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug*. Paderborn, Universität Paderborn, Fakultät für Kulturwissenschaften, Diss., 2008.
- [Ste75] STERNBERG, Saul: Memory scanning: New findings and current controversies. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 27 (1975), S. 1-32.
- [Ste04] STEINHAUER, Stuart R. ; SIEGELE, Greg J. ; CONDRAY, Ruth ; PLESS, Misha: Sympathetic and parasympathetic innervation of pupillary dilation during sustained processing. In: *International Journal of Psychophysiology* 52 (2004), S. 77-86.
- [Ste12] STEMMER, Andreas: *Umsetzung und Validierung einer echtzeitfähigen Situationserkennung*. Hochschule München, unveröffentlichte Bachelorarbeit, 2012.
- [Str06] STRAYER, David L. ; DREWS, Frank A. ; CROUCH, Dennis J.: A Comparison of the Cell Phone Driver and the Drunk Driver. In: *Human Factors : The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* Vol. 48, No. 2 (2006), S. 381-391.
- [Sug05] SUGANO, Dean: *Cell phone use and motor vehicle collisions: a review of the studies*. Honolulu : Legislative Reference Bureau, 2005.
- [Tij96] TIJERINA, Louis: *Heavy Vehicle Driver Workload Assessment*. / Battelle Memorial Institute, Office of Crash Avoidance Research, National Highway Traffic Safety Administration. Columbus : National Highway Traffic Safety Administration, 1996. Forschungsbericht. DOT HS 808 467
- [Tot08] TOTZKE, Ingo ; RAUCH, Nadja ; UFER, Eric ; KRÜGER, Hans-Peter ; ROTHE, Siegfried: *Workload-Management im Verkehr: Prädiktion von Fahrerbeanspruchung durch Informationen in digitalen Karten*. In: SCHADE, Jens ; ENGELN, Arnd

- (Hrsg.): *Fortschritte der Verkehrspsychologie : Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*. Wiesbaden : VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2008, S. 159-182.
- [Tsa97] TSANG, Pamela S. ; WILSON, Glenn F.: *Mental Workload*. In: SALVENDY, Gavriel (Hrsg.): *Human Factors and Ergonomics*. 2. Aufl. New York : John Wiley & Sons, 1997, S. 417-489.
- [Uch04] UCHIYAMA, Yuji ; KOJIMA, Shinichi ; HONGO, Takero ; TERASHIMA, Ryuta ; WAKITA, Toshihiro: Voice Information System that Adapts to Driver's Mental Workload. In: *R&D Review of Toyota CRDL : Special Issue: Speech-Based Interfaces in Vehicles* Vol. 39, No. 1 (2004), S. 16-22.
- [Vaa01] VAAS, Rüdiger: *Zeit und Gehirn*. In: HANSER, Hartwig ; SCHOLTYSSSEK, Christine (Hrsg.): *Lexikon der Neurowissenschaft in vier Bänden : Vierter Band : Ergänzungs- und Aktualisierungsteil A-Z : Register*. Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag, 2001, S. 154-167.
- [Ver96] VERWEY, Willem B. ; VELTMAN Hans A.: Detecting Short Periods of Elevated Workload: A Comparison of Nine Workload Assessment Techniques. In: *Journal of Experimental Psychology* Vol. 2, No. 3 (1996), S. 270-285.
- [Vol03] VOLVO CAR CORPORATION: *The all-new Volvo S40: IDIS helps the driver avoid distractions in busy situations*. Press Release. Göteborg : Volvo Car Corporation, 2003.
- [Vol09] VOLVO TRUCK CORPORATION: *Fahrerhandbuch FE* (Bestellnummer 88917403). Göteborg : Volvo Truck Corporation, 2009.
- [Wic84] WICKENS, Christopher D.: *Engineering Psychology and Human Performance*. 2. Aufl. Columbus : Charles E. Merrill Publishing Company, 1984.
- [Wic00] WICKENS, Christopher D. ; HOLLANDS, Justin G.: *Engineering Psychology and Human Performance*. 3. Aufl. Upper Saddle Ricer : Prentice-Hall Inc., 2000.
- [Wie92] WIELAND-ECKELMANN, Rainer: *Kognition, Emotion und psychische Beanspruchung*. Göttingen : Hogrefe, 1992.
- [Wie96] WIERWILLE, Walter ; TIJERINA, Louis ; KIGER, Steven ; ROCKWELL, Thomas ; LAUBER, E. ; BITTNER, Alvah C: *Heavy Vehicle Driver Workload Assessment. Task 4: Review of Workload and Related Research* / Battelle Memorial Institute, Office of Crash Avoidance Research, National Highway Traffic Safety Administration. Columbus : National Highway Traffic Safety Administration, 1996. Forschungsbericht. DOT HS 808 467
- [Wol05] WOLF, Hagen ; ZÖLLNER, Rolf ; BUBB, Heiner: Ergonomische Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion bei gleichzeitig agierenden Fahrerassistenzsystemen. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 51, Nr. 3 (2005), S. 119-124.
- [Wol06] WOLF, Hagen ; ZÖLLNER, Rolf ; BUBB, Heiner: *Ergonomischer Lösungsansatz für die gleichzeitige Rückmeldung mehrerer Fahrerassistenzsysteme an den*

Fahrer. In: 2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz. Garching : Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik München, TÜV Süd Akademie GmbH, 2006.

- [Wu07] WU, Changxu ; TSIMHONI, Omer ; LIU, Yili: *Development of an Adaptive Workload Management System using Queueing Network-Model of Human Processor*. In: HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY (Hrsg.): *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Vol. 51, 24. Baltimore : Human Factors and Ergonomics Society, 2007, S. 1540-1544.
- [Zij93] ZIJLSTRA, Fred R. H.: *Efficiency in Work Behaviour. A Design Approach for Modern Tools*. Delft : Delft University Press, Diss.,1993.

Verzeichnis studentischer Arbeiten

Während der Anfertigung dieser Dissertation entstanden unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung der Autorin die nachfolgend aufgeführten studentischen Arbeiten, in welchen verschiedene Fragestellungen zu Informationsmanagement im Nutzfahrzeug untersucht werden. Entstandene Ergebnisse sind teilweise in das vorliegende Dokument eingeflossen. Vielen Dank an die Bearbeiterinnen und Bearbeiter für Ihre Unterstützung im Rahmen dieses Forschungsprojektes.

BRÜCKL, Simon: *Literaturrecherche: Entwicklungstendenzen und Potential körpernaher Sensorik zur Ablösung impliziter Ansätze im Workloadmanagement*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2011.

DROTLEFF, Dieter: *Die situative Beanspruchung von Lkw-Fahrern – ein Vergleich zwischen Simulation und Realität im Kontext der Entwicklung einer zeitlich-situativen Informationsfilterung*. Ludwig-Maximilians-Universität München, Bachelorarbeit, 2012.

FELDMEIER, Daniel: *Planung und Umsetzung einer Feldstudie zur Validierung von Messdaten einer Fahrsimulatorstudie*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2012.

GUGGEMOS, Matthias: *Konzeption und Durchführung einer Fahrsimulatorstudie zur Messung der Beanspruchung in bestimmten Verkehrssituationen*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2011.

HEINL, Julian: *Informationsmanager in Automobilen*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2013.

HOEGENER, Linda; HILLER, Caroline: *Priorisierung von Fahrzeugmeldungen bei Nutzfahrzeugen*. Technische Universität München, Teamsemesterarbeit, 2011.

HOLZER, Andreas: *Integration von Messtechnik und Versuchsvorbereitung am Lkw-Fahrsimulator*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2012.

HÖRWICK, Christian: *Umsetzung einer echtzeitfähigen Situationserkennung zur impliziten Ermittlung der mentalen Beanspruchung des Fahrers*. Technische Universität München, Diplomarbeit, 2011.

MAAS, Michael: *Konzeption und programmiertechnische Umsetzung eines CAN-Daten basierten Beanspruchungsschätzers zur beanspruchungsadaptiven Ausgabe von Fahrzeugmeldungen*. Technische Universität München, Bachelorarbeit, 2012.

MATYSIAK, David: *Entwicklung eines Filteralgorithmus für Fahrzeugmeldungen zur Fahrerentlastung*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2011.

MATYSIAK, David: *Optimierung eines Filteralgorithmus für Fahrzeugmeldungen zur Fahrerentlastung*. Technische Universität München, Diplomarbeit, 2012.

PÖTZINGER, Claudia: *Komplexitätsanalyse von Verkehrssituationen aus Sicht eines Lkw-Fahrers*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2011.

RESSEL, Markus: *Konzepterstellung und technische Umsetzung einer Fahrsimulatorstudie zur Validierung eines neuartigen Fahrerassistenzsystems*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2012.

SCHMID, Lisa-Magdalena: *Klassifikation von Verkehrssituationen unter dem Aspekt Fahrerbeanspruchung*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2012.

SCHOLL, Kristina: *Wie anstrengend sind verschiedene Fahrsituationen für Lkw-Fahrer?* Technische Universität München, Semesterarbeit, 2012.

SCHUBERT, Maximilian: *Untersuchung der situativen Beanspruchung von Lkw-Fahrer – Auswertung und Vergleich von Messdaten*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2012.

STEMMER, Andreas: *Umsetzung und Validierung einer echtzeitfähigen Situationserkennung*. Hochschule München, Bachelorarbeit, 2012.

STOCKERT, Sonja: *Entwicklung und Evaluation beanspruchungsoptimierter HMI-Konzepte*. Technische Universität München, Diplomarbeit, 2012.

VON STADEN, Michael: *Untersuchung von Fahrerassistenzsystemen zur Reduzierung der Fahrerbeanspruchung in kritischen Situationen*. Technische Universität München, Bachelorarbeit, 2012.

WENZELIS, Andreas: *Konzeptentwicklung zur Umsetzung einer Situationserkennung auf Basis von CAN-Daten*. Technische Universität München, Semesterarbeit, 2011.

Verzeichnis eigener Veröffentlichungen im Kontext Informationsmanagement

HASLBECK, Andreas ; SEITZ, Maria ; KOHLMANN, Martin ; POPOVA, Severina ; KRAUSE, Michael ; EICHINGER, Armin: Das Usability-Labor am Lehrstuhl für Ergonomie. In: *Ergonomie Aktuell* 12 (2011), S. 21-23.

SEITZ, Maria ; ZIMMERMANN, Andreas ; DLUGOSCH, Carsten ; HASLBECK, Andreas ; BENGLER, Klaus ; LIENKAMP, Markus: *Pupillometrie als Werkzeug zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung im Nutzfahrzeug*. In: VDI VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (Hrsg.): *Der Fahrer im 21. Jahrhundert : Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit*. VDI-Berichte, Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Band 2134. Düsseldorf : VDI-Verlag, 2011, S. 105-116.

SEITZ, Maria: *Ist Lkw-Fahren eigentlich schwierig? Die kognitive Beanspruchung von Lkw-Fahrern*. In: *ÖVK – Vortragsreihe 2012/2013*. Vortragsfolien. Graz : Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, 2012.

SEITZ, Maria ; DAUN, Thomas J. ; ZIMMERMANN, Andreas ; LIENKAMP, Markus: *Measurement of electrodermal activity to evaluate the impact of environmental complexity on driver workload*. In: SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF CHINA (SAE CHINA) ; INTERNATIONAL FEDERATION OF AUTOMOTIVE ENGINEERING SOCIETIES (FISITA) (Hrsg.): *Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress*. Volume 12: Intelligent Transport System (ITS) & Internet of Vehicles. Heidelberg : Springer, 2012, S. 245-254.

SEITZ, Maria ; FELDMIEIER, Daniel ; ZIMMERMANN, Andreas ; LIENKAMP, Markus: *Eine Feldstudie zur Erfassung der kognitiven Beanspruchung von Lkw-Fahrern*. In: *Commercial Vehicle Technology Symposium*. Kaiserslautern : Commercial Vehicle Alliance, 2012, S. 59-68.

SEITZ, Maria ; MAAS, Michael ; ZIMMERMANN, Andreas ; LIENKAMP, Markus: *Möglichkeiten zur kontinuierlichen Schätzung der Fahrerbeanspruchung im Serienfahrzeug*. In: VDI VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (Hrsg.): *Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit 2012*. VDI-Berichte, Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Band 2166. Düsseldorf : VDI-Verlag, 2012, S. 237-250.

SEITZ, Maria ; MATYSIAK, David ; ZIMMERMANN, Andreas ; LIENKAMP, Markus: *Untersuchungen zur zeitlich optimierten Ausgabe von Fahrzeugmeldungen*. In: *5. Tagung Fahrerassistenz*. München : Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik München, TÜV Süd Akademie GmbH, 2012.

SEITZ, Maria ; ZIMMERMANN, Andreas ; FRANKL, Stephanie ; LIENKAMP, Markus: *Die Bedeutsamkeit verschiedener Einflüsse auf die Fahrerbeanspruchung im Nutzfahrzeug*. In: *5. Grazer Nutzfahrzeug Workshop*. Vortragsfolien. Graz : Institut für Fahrzeugtechnik, 2012.

HIPP, Eberhard ; SEITZ, Maria ; HEYES, Daniel: *Beanspruchungsadaptive Fahrerunterstützung, der Weg zum sicheren und effizienten Fahren*. In: WINNER, Hermann ; BRUDER, Ralph (Hrsg.): *Maßstäbe des sicheren Fahrens. Darmstädter Kolloquium*

„*mensch + fahrzeug*“, *Technische Universität Darmstadt*, 6./7. März 2013. Stuttgart : ergonomia, 2013, S. 97-106.

Anhangsverzeichnis

Anhang A:	Bekannte Informationsmanagementsysteme	xxvi
Anhang B:	Herleitung der Situationen der Nachschlagetabelle	xxxv
Anhang C:	Verwendete Skala zur Erhebung der erlebten Beanspruchung (SEA).....	xlii
Anhang D:	Verwendete Daten der Situationserkennung.....	xliii
Anhang E:	Ergebnisse der Untersuchung zur Erkennungsgüte der Situationserkennung.....	xliv
Anhang F:	Beschreibung der Fahrsimulatorstudie zur Erfassung mentaler Beanspruchung	xlvi
Anhang G:	Erklärung der Angaben von statistischen Werten	lv
Anhang H:	Beschreibung der Realstudie zur Validierung der Fahrsimulatorergebnisse	lvii
Anhang I:	Beschreibung der explorativen Studie zu Vorbereitungs- und Erholungszeiten.....	lxii
Anhang J:	Fragebögen der evaluierenden Abschlussstudie	lxvi

Anhang A: Bekannte Informationsmanagementsysteme

GIDS Von 1989 bis 1992 wurde im Rahmen des Projekts GIDS (Generic Intelligent Driver Support System) der Europäischen Union ein prototypisches System entwickelt, welches dem Fahrer dabei helfen soll, mit der Informationsflut im Fahrzeug besser zurechtzukommen [Hoe02, S. 13]. An dem Gemeinschaftsprojekt waren 13 Partner aus Industrie und Forschung beteiligt [Mic93c]. Der Aufbau und die Funktionsweise von GIDS werden ausführlich in [Mic93b], [McL93] und [Hoe02, S. 13ff] beschrieben. In einer Einheit zur Schätzung der Workload, dem sogenannten Workload Estimator, sind für 18 Verkehrssituationen, Fahreraktivitäten und Straßengegebenheiten vorab bestimmte Workloadwerte hinterlegt. Diese Workloadwerte werden entsprechend Wickens multipler Ressourcentheorie [Wic84, S. 301ff] in beispielsweise akustische, visuelle oder kognitive Workload unterschieden. Die 18 Situationen werden anhand von Daten der Fahrzeugsensorik und des Navigationsgerätes erkannt. Es wird versucht, einzelne beanspruchende Situationen vorherzusehen, um im Voraus auf eine erhöhte Workload schließen zu können. Ein sogenannter Scheduler regelt die Ausgabe von Meldungen auf Basis der geschätzten Workload und weiterer Daten. Der Scheduler kann Meldungen zeitlich verzögern, vollständig unterdrücken oder in ihrer Komplexität variieren. Im Rahmen von GIDS werden noch weitere Funktionalitäten zur Unterstützung des Fahrers umgesetzt, wie zum Beispiel die Ausgabe einer Warnung, sobald eine Verkehrsregel missachtet wird [Mic93b], [McL93], [Hoe02, S. 13ff]. Der Fahrer kann GIDS ganz oder teilweise abschalten. In einer abschließenden Akzeptanzstudie schätzen 80% der Versuchspersonen, dass das System die Sicherheit erhöhen würde. Allerdings geben nur 50% der Versuchspersonen an, dass sie es auch kaufen und/oder benutzen würden [Hoe02, S. 20].

ARIADNE Das Projekt ARIADNE (Application of Real-time Intelligent Aid for Driving and Navigation Enhancement) ist das Nachfolge-Projekt von GIDS. Zwischen 1992 und 1994 war es die wesentliche Intention der acht Projektpartner, GIDS unter Beibehaltung dessen grundlegender Funktionsweise und Systemarchitektur weiterzuentwickeln [Hoe02, S. 20ff]. Im Rahmen dieser Weiterentwicklung wird ein Radarsensor zur besseren Detektion der Umwelt einbezogen. Außerdem werden die Modelle der Umwelt insgesamt verfeinert, das System kompakter und robuster gestaltet und das individuelle Fahrerprofil (Erfahrung, Alter etc.) bei der Schätzung der Workload stärker berücksichtigt [Hoe02, S. 20ff]. In einer Studie wird die Langzeitwirkung des Informationsmanagements auf das Fahrerverhalten untersucht. Nach zehn Stunden Fahrtzeit mit dem System zeigt sich keine Adaption des Fahrverhaltens, die nicht auch schon zu Beginn der Fahrt zu beobachten gewesen wäre. Das heißt, eine Adaption des Fahrverhaltens findet entweder überhaupt nicht statt, oder gleich zu Beginn des Experiments ohne sich während dessen Verlaufs weiter zu verändern [Jan95 zitiert nach Hoe02, S. 24].

CEMVOCAS Von 1997 bis 2000 wurde im Rahmen des Europäischen Gemeinschaftsprojekts CEMVOCAS (Centralised Management of Vocalinterfaces aiming at a better Automotive Safety) das Ziel verfolgt, ein realistisches und kostengünstiges Informationsmanagement zu entwickeln. Dabei wird ausschließlich die zeitliche Optimierung der Ausgabe von akustischen Sprachausgaben berücksichtigt [Bel04, S. 4]. Basierend auf Fahrzeugdaten wird die „Verfügbarkeit“ des Fahrers als Führungsgröße zur Steuerung der Informationsausgabe geschätzt. Verfügbarkeit in diesem Kontext meint zum einen die ak-

tuelle Fähigkeit des Fahrers zur Informationsaufnahme und –verarbeitung, zum anderen, dass die Erfüllung der Fahraufgabe durch die Informationsaufnahme nicht beeinträchtigt wird [Bel04, S. 5f]. Die Schätzung der Verfügbarkeit erfolgt mithilfe eines neuronalen Netzes, das auf einfach zu gewinnende Fahrzeugdaten zurückgreift (Gaspedal, Bremse, Kupplung, Lenkradwinkel, Geschwindigkeit, Blinker) [Bel05, S. 38]. In zwei Studien kann gezeigt werden, dass CEMVOCAS die störende Wirkung von Meldungen deutlich senken kann und ein grundsätzliches Interesse der Studienteilnehmer an einem derartigen System vorhanden ist [Bel04, S. 10ff]. Zum genauen Zusammenhang zwischen der geschätzten Verfügbarkeit und den Auswirkungen auf die Ausgabe der akustischen Meldungen wurden keine näheren Informationen gefunden.

COMUNICAR Das Projekt COMUNICAR (Communication Multimedia Unit Inside Car) mit einer Projektlaufzeit von 2000 bis 2003 und elf Projektpartnern aus Forschung und Industrie befasst sich mit der Koordination des Informationsflusses im Fahrzeug [Cen03, S. 1], [Schi04]. Es sollen Informationen zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Modalität ausgegeben werden. Außerdem soll eine Interferenz sowohl zwischen Meldungsaufnahme und Fahraufgabe als auch zwischen der Aufnahme verschiedener, zeitnah zueinander ausgegebener Meldungen vermieden werden. Bei COMUNICAR wird regelbasiert entschieden, ob, wann und wie eine Meldung ausgegeben wird [Schi04]. Es werden vier verschiedene Meldungsarten berücksichtigt [Cen03, S. 5]:

- Herkömmliche Anzeigen (Bsp. Tachometer).
- Anzeigen von Fahrerassistenzsystemen (Bsp. Kollisionswarnung).
- Anzeigen von Telematikdiensten (Bsp. Navigationssystem).
- Anzeigen von Infotainmentsystemen (Bsp. Radio).

Zur Entscheidung über Zeitpunkt und Art der Meldungsausgabe wird die Fahrerbelastung in Form eines „Total Level of Risk“ geschätzt [And05], [Cen03], [Bel05]. Diese Schätzung basiert auf der Aktivität des Fahrers in der primären und sekundären Fahraufgabe und auf der vorliegenden Fahr- und Umweltbedingung, welche über Fahrzeug- und Sensordaten ermittelt wird. Das Modul zur Schätzung der Aktivität wurde aus dem Projekt CEMVOCAS übernommen und entspricht der dortigen Schätzung der Verfügbarkeit des Fahrers [Bel05, S. 38]. Außerdem wird die Priorität einer auszugebenden Meldung berücksichtigt. Diese Priorität ergibt sich aus dem Zeitfenster, innerhalb dessen ein Fahrer den Meldungsinhalt verarbeitet haben sollte. Basierend auf der Priorität der Meldung und dem Total Level of Risk werden dann Regeln angewandt, die den Ausgabezeitpunkt und die Modalität der Meldung bestimmen [And05], [Cen03], [Bel05, S. 37ff].

AIDE In dem von 2004 bis 2008 mit insgesamt 31 Projektpartnern durchgeführten Projekt AIDE (Adaptive Integrated Driver-Vehicle Interface) der Europäischen Union sollte ein System entwickelt werden, das den Informationsfluss zwischen Fahrer und Fahrzeug ganzheitlich und kontextadaptiv steuert [Amd10, S. 567]. Da das System in Fahrzeuge verschiedener Hersteller integrierbar sein soll, liegt besonderes Augenmerk auf einer hohen Flexibilität und Modularität [Amd10, S. 570]. Das zentrale Modul des AIDE, der „Interaction and Communication Assistant“ (ICA) regelt die Ausgabe aller Meldungen im Fahrzeug [Der08]. Auch die Kommunikation mobiler Endgeräte mit dem Fahrer wird über diese Schnittstelle geregelt. Möchte eine Applikation eine Meldung ausgeben, wird die Meldung zusammen mit einem Vektor an Meldungseigenschaften an den ICA geschickt. Anhand dieser Eigenschaften wird die Priorität der Meldung bestimmt. Um zu entscheiden, ob die

Meldung ausgegeben oder zeitlich zurückgestellt wird, wird neben der Priorität auch Information über Fahrer, Fahrzeug und Umwelt herangezogen [Der08]. Diese Information wird aus fünf verschiedenen Modulen gewonnen [Pag08]:

- einem Modul zu Schätzung der Aktivität des Fahrers in sekundären und tertiären Fahraufgaben, um auf kognitive Ablenkung und Blickabwendung zu schließen (Cockpit Activity Assessment, CAA) auf Basis von Fahrzeugdaten, Spurhalte- und Kopf- oder Eyetracking,
- einem Modul zur Schätzung des Risikos aus Verkehrs- und Umgebungsbedingungen (Traffic Environment Risk Assessment, TERA) auf Basis von Radar-, Kamera- und Fahrzeugdaten sowie einer digitalen Karte und den Ergebnissen des CAA-Moduls,
- einem Modul zur Schätzung des Fahrerzustandes bzw. der Änderung des Fahrerzustands (Driver State Degradation, DSD) auf Basis des Lidschlags und der Spurhalte- und Spurgehöhen,
- einem Modul zur Schätzung der aktuellen Fähigkeit des Fahrers, Information aufzunehmen und zu verarbeiten (Driver Availability Estimation, DAE) auf Basis des TERA-Moduls, von Fahrzeugdaten und digitalen Kartendaten. Dies entspricht einer Schätzung der Anforderungen durch die primäre Fahraufgabe.
- einem Modul zur Definition und Schätzung eines Fahrerprofils (Driver Characteristic, DC) auf Basis fest hinterlegter Werte und Fahrzeugdaten [Pag08].

Jeder auszugebenden Meldung ist die bevorzugte Ausgabeform durch Angabe von Modalität und Ausgabekanal hinterlegt (Bsp. visuelle Anzeige im Head up Display). Diese wird gemeinsam mit der Meldung und dem Eigenschaftsvektor an den ICA übermittelt. Kann die Ausgabe einer Meldung aufgrund ihrer Priorität und den Informationen über Fahrer, Fahrzeug und Umwelt erfolgen, wird als nächstes die Verfügbarkeit der gewünschten Ausgabeform geprüft [Der08]. Ist der entsprechende Ausgabekanal belegt, kann auf einen alternativen Kanal ausgewichen werden, sofern der Meldung eine Alternative hinterlegt ist. Außerdem kann die Komplexität einer Meldungsausgabe abhängig von den Anforderungen durch Fahrer, Fahrzeug und Umwelt variiert werden [Der08]. Dadurch werden sowohl negative Einflüsse einer Meldungsausgabe auf die Fahraufgabe als auch eine Interferenz zwischen der Ausgabe mehrerer Meldungen vermieden [Amd10, S. 571]. Weiterhin wird eine Erholungszeit vorgesehen. Diese muss nach dem Wegfall von hohen Anforderungen abgewartet werden, bevor die Ausgabe einer zurückgestellten Meldung erfolgen kann. Eine Erholungszeit wird auch zwischen der Ausgabe zweier Meldungen eingehalten [Der08].

Das System wird in drei verschiedenen Fahrzeugen, einem Oberklasse-Pkw, einem Stadtauto und einem Lkw, in drei unabhängig voneinander stattfindenden, jedoch möglichst ähnlichen Versuchsreihen getestet [Amd10, S. 573ff]. Im Rahmen dieser Studien absolvieren Versuchspersonen jeweils eine Fahrt ohne Nebenaufgaben oder Systemausgaben als Baseline, eine Fahrt mit AIDE und eine Fahrt ohne AIDE. Zusammenfassend zeigt sich bei den objektiven Daten zur Beanspruchung (Geschwindigkeitsmaße, Lenkbewegungsmaße) eine höhere Ähnlichkeit der AIDE-Fahrt zu der Baselinefahrt verglichen mit der Nicht-AIDE-Fahrt zur Baselinefahrt. Die subjektive Bewertung der Beanspruchung zeigt keine klaren Unterschiede zwischen einer Fahrt mit und einer Fahrt ohne AIDE. Die Ergebnisse der Lkw-Studie zeigen, dass die Beanspruchung gemessen über die Lenkbewegung in fünf von acht getesteten Szenarios mit Nebenaufgabe im Vergleich zu der Ba-

xxviii

seline-Fahrt ansteigt. In einem der acht Szenarios kann ein Unterschied zwischen einer Fahrt mit und einer Fahrt ohne AIDE gefunden werden. Auch in der subjektiven Bewertung mithilfe der sogenannten Rating Scale of Mental Effort findet sich für eines der acht Szenarios ein Unterschied zwischen der Fahrt mit und der Fahrt ohne System. Die Daten der Befragung der Versuchspersonen mithilfe des sogenannten DALI (driver activity load index) zeigen für keines der Szenarios einen signifikanten Unterschied [Amd10, S. 573ff].

SANTOS Die BMW Group und die Robert Bosch GmbH initiierten 1998 das dreijährige, vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt SANTOS (Situations-angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung). Im Rahmen von SANTOS soll das Konzept einer integrierten, situationsadaptiven und individualisierbaren Fahrerassistenz entwickelt, umgesetzt und getestet werden [Kön03, S. 351]. In diesem Kontext wird eine Fahrerbeanspruchungsschätzung realisiert, mit deren Hilfe Telefonanrufe in beanspruchenden Situationen an die Mobilbox umgeleitet werden. Die Beanspruchungsschätzung erfolgt in zwei Stufen. Zuerst wird die Position des Fahrzeuges auf einer bestimmten Strecke festgestellt und anhand dieser Position ein statischer Beanspruchungswert angenommen [Pie03]. Hierfür wurde die Strecke zuvor anhand der Taxonomie nach Fastenmeier [Fas95] in einzelne Abschnitte klassifiziert und die Beanspruchung in jedem der Abschnitte in einer Probandenstudie erfasst. Anders als bei Totzke [Tot08] (Seite xxxii) wird die Beanspruchung also nicht indirekt über vorhandene Informationen der digitalen Karte geschätzt, sondern direkt aus einem in der digitalen Karte hinterlegten Beanspruchungsverlauf gewonnen. In Stufe zwei erfolgt die Feinjustierung dieser statischen Beanspruchung durch die Berücksichtigung dynamischer Größen [Pie03]. Hierfür wird eine Bewertung von Sensordaten des Fahrzeuges vorgenommen. Über diese Daten wird auf das Vorliegen spezieller Situationen, wie eine Folgefahrt, ein Überholmanöver, ein Abbremsmanöver, eine Übernahmeaufforderung des ACC, Regen oder Dunkelheit etc. geschlossen. Für die Situationen sind jeweils Gewichtungsfaktoren hinterlegt, mit welchen die statische Beanspruchungsschätzung verfeinert wird [Pie02]. Vorteil dieses Konzeptes ist die Möglichkeit, mithilfe der digitalen Karte beanspruchende Situationen bereits im Voraus erkennen zu können [Pie03]. Nachteilig ist der große Aufwand, der im Vorhinein nötig ist, um die verschiedenen Streckenabschnitte zu klassifizieren und mit Beanspruchungswerten zu versehen. Aufgrund dieses Umstands darf die Realisierbarkeit des Konzeptes angezweifelt werden.

INVENT Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt INVENT (Intelligenter Verkehr und Nutzergerechte Technik), eine Forschungsinitiative von 23 deutschen Unternehmen mit einer Projektlaufzeit von 2001 bis 2005, befasst sich in dem Teilbereich „Vorausschauende, Aktive Sicherheit“ unter anderem mit Informationsmanagement im Fahrzeug [INV05, S. 44]. Ziel dieses Warn- und Informationsmanagements ist die gezielte Lenkung der Fahreraufmerksamkeit auf die erfolgreiche Erledigung der Fahraufgabe. Aus digitalen Karten und Fahrzeugdaten, wie beispielsweise Lenkbewegungen, wird die aktuelle Fahrsituation abgeleitet und binär in anspruchsvoll/nicht anspruchsvoll klassifiziert. Darauf aufbauend wird die Ausgabe gleichzeitig vorliegender Meldungen geregelt [INV05, S. 44].

SAVE-IT Das US-amerikanische Projekt SAVE-IT (Safety Vehicles using adaptive Interface Technology) mit einer Projektlaufzeit von 2003 bis 2008 und sechs Projektpartnern aus Industrie und Forschung hatte zum Ziel, die Zahl an Unfällen durch Fahrerablenkung zu verringern [Smi08, S. iii]. Hierzu wurden mehrere Ansätze verfolgt. Zum einen sollen

Warnmeldungen adaptiv gestaltet, zum anderen Ablenkungsmöglichkeiten im Fahrzeug während kritischer Situationen gezielt verringert werden. Außerdem wird dem Fahrer am Ende der Fahrt ein sogenannter Trip Report angezeigt, in welchem er zusammenfassend für die gefahrene Route Feedback zu seiner Aufmerksamkeitsverteilung erhält [Smi08, S. 19ff]. Für den Trip Report sowie für die adaptive Auslegung der warnenden Systeme wird die Kopfposition des Fahrers via Kameras erfasst. Bei einer Kopfabwendung größer als 20° wird angenommen, dass der Blick nicht auf das Verkehrsgeschehen gerichtet und der Fahrer somit abgelenkt ist [Smi08, S. 11f]. Zur Verringerung der Ablenkung werden in kritischen Situationen Infotainmentfunktionen entweder vollständig unterbunden oder es wird durch farbliche Markierung der Funktionen von einer Bedienung abgeraten. Außerdem werden Anrufe zur Mobilbox weitergeleitet, sofern der Fahrer diese Funktion aktiviert hat [Smi08, S. 20ff]. Die Kritikalität einer Situation wird über Fahrzeugdaten, wie Geschwindigkeit oder Bremspedalstellung und über Umweltdaten, wie Abstand zum Vorderfahrzeug, determiniert [Smi08, S. 12f].

Färber & Färber, Informations-Manager Im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Bundesanstalt für Straßenwesen untersuchten Färber und Färber [Fär03] die Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf das Fahrerverhalten und entwickelten einen prototypischen Informations-Manager. Dieser soll zum einen das gleichzeitige Auftreten von Meldungen, zum anderen die Meldungsabgabe in ungünstigen Situationen vermeiden. Der Informations-Manager sieht eine Konfigurationsmöglichkeit durch den Fahrer bzw. bei Firmenwägen durch die Firma vor. Bei Firmenwägen könnten beispielsweise arbeitsrelevante Informationen vor privaten Belangen berücksichtigt werden. Färber und Färber [Fär03] teilen die Meldungen im Fahrzeug einzelnen Funktionsgruppen bzw. Systemen zu. Anschließend werden für jede dieser Gruppen in einem aufwändigen Verfahren Ausgaberegeln erstellt [Fär03, S. 37ff]. Zur Entscheidung über die Ausgabe von Meldungen wird die Belastung des Fahrers, d. h. die aktuelle Situation, herangezogen. Fahrmanöver werden beispielsweise anhand von Fahrzeugdaten, Umgebungsbedingungen werden beispielsweise anhand von Scheibenwischer- und Scheinwerferstellung erkannt. Diese Belastungsschätzung wird allerdings nicht vollständig ausgearbeitet bzw. ist an einigen Stellen nicht durchgängig [Fär03, S. 55]. In einem Feldversuch mit einem prototypischen System, in dem die meisten Komponenten der Belastungsschätzung mit der Wizard of Oz-Methode umgesetzt werden, befürworten 97% der 36 Teilnehmer die Einführung eines Informations-Managers [Fär03, S. 87].

Dugarry, Information Management and Presentation Der Schwerpunkt bei Dugarrys [Dug04] Information Management liegt nicht auf einer zeitlichen Verzögerung von Meldungen, sondern auf der Auswahl einer optimalen Modalität für die Ausgabe einer Meldung [Dug04, S. 49]. Hierfür wird zum einen die auszugebende Meldung klassifiziert hinsichtlich:

- Risiko bei Nichtbeachtung,
- Relevanz abhängig von der vorherrschenden Fahrsituation,
- Möglichkeit zur Veränderung der Ausgabemodalität der Information,
- Zeitfenster zur Meldungsabgabe und
- Informationshäufigkeit [Dug04, S. 51].

Darauf aufbauend werden verschiedene theoretisch mögliche Ausgabeformen generiert. Zum anderen wird die aktuelle Fahrerbeanspruchung in Form einer Matrix berücksichtigt,

welche die aktuelle Auslastung der einzelnen Informationskanäle des Menschen entsprechend den Dimensionen des multiplen Ressourcenmodells nach Wickens enthält. Auf Basis dessen wird aus den theoretisch möglichen Ausgabeformen diejenige ausgewählt, welche den Fahrer am ehesten vor einer Überlastung einer einzelnen Ressource schützt. Die Beanspruchungsmatrix soll anhand der vorherrschenden Fahrsituation befüllt werden [Dug04, S. 51ff]. Zur genauen Vorgehensweise hierbei macht der Autor keine Angaben¹¹.

Wu, Adaptive Workload Management System using Queuing Network-Model of Human Processor Wu et al. [Wu07] identifizieren bei herkömmlichen Informationsmanagementsystemen zwei Ansatzpunkte zur Verbesserung: zum einen sollten die Fähigkeiten des Menschen bei der Informationsverarbeitung, insbesondere bei Multitasking, stärker Berücksichtigung finden. Zum anderen sollte neben dem reinen zeitlichen Zurückstellen der Meldungen auch der Abstand zwischen der Ausgabe zweier Meldungen untersucht werden. Während der erste Verbesserungspunkt nicht weiter detailliert wird, wird als Ziel von Wus Workload Management die Regulierung der Ausgaberate von Meldungen formuliert [Wu07]. Als Größen, in deren Abhängigkeit die Ausgaberate bestimmt wird, dienen die Fahrzeugdaten Lenkwinkel und Geschwindigkeit. Die Berücksichtigung von Alter und Erfahrung des Fahrers sowie der Komplexität der auszugebenden Meldungen wird erwähnt, jedoch nicht näher ausgeführt. In einer Probandenstudie werden in Abhängigkeit von je zwei Ausprägungen der Fahrgeschwindigkeit und des aktuellen Kurvenradius der Versuchsstrecke vier verschiedene ideale Verzögerungszeiten zwischen fünf und 15 Sekunden identifiziert. Grundsätzlich zeigt sich bei höherer Geschwindigkeit und engerem Kurvenradius ein höherer gewünschter Abstand zwischen zwei Meldungen [Wu07]. Durch die Betrachtung nur zweier Parameter ist die Allgemeingültigkeit bzw. Übertragbarkeit des Workload Managements in das reale Verkehrsgeschehen kritisch und die Arbeit eher als Denkanstoß für eine adaptive Optimierung des zeitlichen Abstandes zwischen zwei Meldungen zu sehen.

Chen, Zonal Adaptive Workload Management System Chen und Jordan [Che08] beziehen sich in ihren Überlegungen zu Workload Management auf das Unterbinden von Funktionen der sekundären und tertiären Fahraufgabe als Konsequenz einer hohen detektierten Beanspruchung. Sie befürchten allerdings, dass Fahrer derartige Systeme auszutricksen versuchen, um stets Zugang zu allen Funktionen zu behalten. Bei Systemen, welche die Beanspruchung auf der Basis von von Fahrzeugdaten schätzen, könnte dieser Versuch gelingen. Fahrer könnten ihr Fahrverhalten gezielt so anpassen, dass eine geringe Beanspruchung detektiert wird und dementsprechend Zugang zu allen Funktionen bestehen bleibt [Che08]. Chen und Jordan schlagen daher eine Workloadschätzung auf der Basis von externen Bedingungen vor, wie beispielsweise dem Straßenverlauf, der Verkehrsdichte, der Tageszeit oder Wetterbedingungen. Ausgehend von diesen Daten wird einer von drei möglichen Workloadlevels angenommen, welcher die Art und Menge der abrufbaren Fahrzeugfunktionen bestimmt. Außerdem wird in Chens Arbeit [Che08] eine Prädiktion der Workload vorgesehen. Dadurch soll die Situation vermieden werden, in der eine bei niedriger Workload begonnene Nebenaufgabe durch später steigende Workload aufgrund einer veränderten Verkehrssituation unterbrochen werden muss [Che08]. Wie

¹¹ Da keine näheren Angaben gemacht werden, wie von einer erkannten Fahrsituation auf eine Beanspruchung geschlossen wird, erfolgt die Einteilung dieses Systems in Abbildung 3.5 anhand der Führungsgröße Fahrsituation.

genau die Umgebungsbedingungen erfasst und daraus ein Workloadlevel bestimmt wird, bleibt in Chens Arbeit [Che08] offen.

Totzke (DaimlerChrysler), Prädiktion von Fahrerbeanspruchung durch Informationen in digitalen Karten Totzke et al. [Tot08] untersuchten im Zusammenhang mit Workload-Management die Möglichkeit, Fahrerbeanspruchung allein aus Informationen in digitalen Karten vorherzusagen. Vorteil dieses Verfahrens ist die Prädizierbarkeit von Phasen erhöhter Beanspruchung. In einer Probandenstudie werden vier relevante straßenbauliche Parameter identifiziert, die in digitalen Karten verfügbar und für eine Schätzung der Beanspruchung geeignet sind: Fahrtrichtung, Art des Kontenpunktes, Straßenrangdifferenz (diese gibt einen Hinweis auf die Vorfahrtsregelung an einer Kreuzung) und Kurvigkeit [Tot08]. Über die Schätzung der Beanspruchung auf Basis dieser Parameter kann laut Totzke et al. [Tot08] eine grobe Annäherung an die tatsächlich erlebte Beanspruchung erreicht werden. Die Regeln, anhand derer die Optimierung der Meldungsausgabe abhängig von der geschätzten Beanspruchung vorgenommen wird, werden in Totzkes Arbeit nicht betrachtet.

Muigg (Audi), Implizites Workloadmanagement Muiggs [Mui09] implizites Workloadmanagement hat zum Ziel, die Ausgabe von situativ unpassenden Fahrzeugmeldungen zu vermeiden. Es konzentriert sich daher auf eine zeitliche Optimierung der Meldungsausgabe [Mui09, S. 69]. Als Entscheidungskriterium für die Ausgabe einer Meldung wird ein sogenannter Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert als Größe des Fahrerzustandes herangezogen. Dieser wird anhand der vorherrschenden Fahr- und Umweltsituation geschätzt und nimmt Werte von 0 bis 100% an. Wie genau von der Fahr- und Umweltsituation auf den Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert geschlossen wird, geht aus der Arbeit nicht hervor. Die Fahr- und Umweltsituation wird mittels eines Bayesschen Netzes auf Basis der Daten vorhandener Fahrzeugsensorik abgeleitet [Mui09, S. 83ff]. Ist die Aufmerksamkeit des Fahrers durch die vorherrschende Situation beansprucht, werden weniger wichtige Meldungen zeitlich zurückgestellt. Dies geschieht in drei Stufen, je nach Wichtigkeit der Meldung und Höhe der Aufmerksamkeitsbeanspruchung [Mui09, S. 107ff]. In einer abschließenden Probandenstudie im realen Fahrzeug werden unter anderem Blickabwendungszeiten untersucht. Diese geben Aufschluss darüber, wie lange die Versuchspersonen ihren Blick in das Kombiinstrument richten, um eine ausgegebene Meldung aufzunehmen. Es zeigen sich gleiche Blickabwendungszeiten für eine Fahrt mit im Vergleich zu einer Fahrt ohne Workloadmanager. Die subjektive Beanspruchung dagegen kann mithilfe des Workloadmanagements signifikant verringert werden [Mui09, S. 126ff].

Lerner (BMW), Warn- und Informationsmanager Lermers [Ler10] Warn- und Informationsmanager basiert auf zwei Systemkomponenten, einer statischen und einer dynamischen Priorisierung. Der Schwerpunkt ihrer Arbeit liegt auf der statischen Priorisierung [Ler10, S. 117f]. Alle statisch zu priorisierenden Meldungen werden in einer Matrix gegenübergestellt und gegeneinander hinsichtlich Schadensausmaß bei ausbleibender Fahrerreaktion und Zeitbudget für die Fahrerreaktion gewichtet. Dies dient der Bestimmung einer zeitlichen Ausgabereihenfolge bei gleichzeitigem Auftreten mehrerer Meldungen. Das genaue Vorgehen bei der Gewichtung wird nicht angegeben [Ler10, S. 118ff]. Die dynamische Priorisierung wird von Lerner [Ler10] am Rande betrachtet. Die drei Bereiche Fahrzeugzustand (über die Aktivität von Fahrdynamikregelsystemen), Fahrsituation (über Kurvenradius und Daten des Regen-/Lichtsensors) und Fahrer (über etwaige Bedienerhandlungen) werden hierbei berücksichtigt. Liegen für mindestens einen der drei Berei-

che „erschwerte Bedingungen“ vor, werden unwichtige Meldungen zeitlich verzögert, wichtigere Meldungen, wie Rückmeldungen von Fahrerassistenzsystemen, zeitlich vorverlagert [Ler10, S. 120ff]. Eine Expertenevaluation dieses Algorithmus zeigt für manche getestete Usecases Verbesserungspotential, insgesamt resümiert die Autorin aber ein positives Feedback [Ler10, S. 135ff].

Saab, Dialog Management System Bereits im Jahre 1994 wurde bei Saab ein „manueller Workloadschätzer“ in Form eines Knopfes verbaut. Durch Drücken dieses Knopfes wurden alle Fahrzeugdisplays mit Ausnahme der Geschwindigkeitsanzeige geschwärzt, um eine Ablenkung des Fahrers vom Fahrgeschehen zu vermeiden [Nåb08, S. 7]. Ab 1998 erfolgte in den Fahrzeugen des Herstellers eine dynamische Workloadschätzung auf der Basis von Fahrzeugdaten, wie dem Blinkersignal oder den Pedalstellungen. Bei hoher geschätzter Workload wurde die Ausgabe unwichtiger Meldungen unterdrückt. Vier Jahre später wurde die Regelung des Informationsflusses auf die entgegengesetzte Richtung, vom Fahrer zum Fahrzeug, erweitert. Bei hoher geschätzter Beanspruchung wurden Funktionen der sekundären oder tertiären Fahraufgabe unterbunden, die zu Ablenkung führen könnten [Nåb08, S. 7]. Die aktuellste Generation des Dialog Management Systems, 2008 in einem Konzeptpapier vorgestellt [Nåb08], sieht sich als ganzheitliches Konzept zur Optimierung des Informationsflusses. Die Fahrsituation wird als Führungsgröße verwendet. Daraus wird eine Schätzung der Fahrerbeanspruchung in den drei Dimensionen motorisch, visuell und kognitiv abgeleitet. So sollen zum Beispiel in Situationen mit hoher visueller Beanspruchung, wie in einer Fahrt vorbei an einer Schule, Eingabefunktionen unterbunden und die aktuelle Geschwindigkeit als wichtige Information akustisch ausgegeben werden [Nåb08, S. 9]. Details zu einzelnen Situationen und zur Erkennung der Situationen gehen aus dem Konzeptpapier nicht hervor.

Volvo, Intelligent Driver Information System (IDIS) Im Jahre 2003 verbaute Volvo erstmals ein serienmäßiges Informationsmanagementsystem, das Intelligent Driver Information System (IDIS) [Bro06]. IDIS analysiert verschiedene, im Fahrzeug standardmäßig vorhandene Fahrzeugdaten (Beschleunigung, Verzögerung, Blinkersignal etc.) und entscheidet in Abhängigkeit davon über die zeitliche Verzögerung von eingehenden Anrufen und Textmeldungen [Vol03]. Dies stellt laut Broström et al. [Bro06] eine sehr einfache, allerdings für die zugeordneten Anwendungsfälle ausreichende Umsetzung eines Informationsmanagements dar. In Testfahrten im Rahmen der Arbeit von Muigg [Mui09, S. 49] sowie von Lermer [Ler08, S. 203] kann die Funktionsweise des Systems dagegen nicht identifiziert werden. Broström et al. [Bro06] stellen eine mögliche Erweiterung des IDIS zu einem sogenannten Interaction Manager vor. Dieser soll die Koordination von sämtlichen im Fahrzeug existierenden Anwendungen übernehmen und Konflikte zwischen einzelnen Systemausgaben lösen. Der Interaction Manager greift auf eine breitere Datenbasis einschließlich Fahrerzustandsdaten zu und generiert daraus einen Vektor zur Beschreibung der Anforderungen aus der Fahraufgabe, dem Fahrerzustand sowie der Aktivität des Fahrers bei der Erledigung von Sekundäraufgaben [Bro06]. Broström nimmt lediglich eine grobe Beschreibung der Architektur vor, so dass zu dieser Erweiterung des IDIS keine detaillierteren Aussagen möglich sind.

Toyota, Voice Information System that Adapts to Driver's Mental Workload Toyota präsentierte 2004 ein simpel gehaltenes System, das die Ausgabe von akustischen Nachrichten zeitlich optimiert [Uch04]. Randbedingung für dieses System ist die ausschließliche Verwendung von ohnehin im Fahrzeug vorhandenen Daten zur Schätzung der Work-

load. In einer vorab durchgeführten Probandenstudie stellte sich die Gaspedalstellung als bester Indikator für die Beanspruchung heraus [Uch04]. Die Versuchspersonen nahmen in beanspruchenden Situationen den Fuß vom Gas. Auf der Basis dieser Erkenntnis werden ab Unterschreitung einer Gaspedalstellung von 8%¹² akustische Meldungen für einen Zeitraum von fünf Sekunden zurückgehalten [Uch04].

Motorola, Driver Advocate Im Jahre 2003 stellte Motorola gemeinsam mit dem Massachusetts Institute of Technology und Chrysler den Driver Advocate vor, ein System zur Koordination der Meldungsausgabe der drei Bereiche Telefon, Navigationssystem und Diagnosemeldungen im Fahrzeug [Buc03]. Der Driver Advocate ist ein bewusst einfach gehaltenes System, welches in der ersten Ausbaustufe ausschließlich auf vorhandene Fahrzeugdaten zugreift. Anhand von Daten des Lenkwinkels, des Getriebes (Rückwärtsgang), der Bremse sowie anhand der Geschwindigkeit wird entschieden, ob eine Meldung aus einem der drei Bereiche ausgegeben werden kann oder zurückgehalten wird [Buc03]. Die Besonderheit bei diesem System besteht in drei am Lenkrad angebrachten Tastern für die drei koordinierten Bereiche Telefon, Navigationssystem und Diagnosemeldungen. Wird eine Meldung aus einem der drei Bereiche zurückgehalten, so leuchtet der entsprechende Taster auf. Durch Drücken des Tasters kann die Meldungsfilterung übersteuert und die Meldung trotz hoher geschätzter Beanspruchung abgerufen werden [Buc03]. Es ist vorgesehen, in einer zweiten Generation des Driver Advocates Daten der Umfeldsensoren zur Beanspruchungsschätzung mit einzubeziehen. In einer dritten Generation soll eine Personalisierung des Systems erfolgen [Buc03].

IBM, Driver Safety Manager IBM stellt in einem Konzeptpapier ein sprachbasiertes Dialogsystem vor, welches einen Fahrer unter anderem durch Quizspiele, Witze oder Fragen vor unterforderungsbedingter Müdigkeit schützen soll [Kan04]. In diesem Zusammenhang wird die Notwendigkeit eines Workload Managers zur Vermeidung von Überforderung erwähnt und ein Konzept hierfür angedeutet. Dieses Konzept sieht vor, aus mehreren Größen eine Workloadschätzung vorzunehmen. Hierzu werden zwei Achsen mit einem Wertebereich von jeweils 0 bis 1 betrachtet. Auf einer Achse werden die Anforderungen an das Fahrzeug, auf der anderen die Anforderungen an den Fahrer aufgetragen [Kan04]. Jedoch wird nicht genauer darauf eingegangen, wie diese Kenngrößen im Detail hergeleitet und in diesem Diagramm abgebildet werden. Zusätzlich sollen Sensordaten sowie eine Abschätzung des Komplexitätsgrades der vorherrschenden Situation in die Workloadschätzung mit einbezogen werden [Kan04]. Auch hier bleibt offen, wie dies im Detail geschieht. Die Information über die Workload wird in einem Event Manager verarbeitet, der die Fahrer-Fahrzeug-Interaktionen steuert. Zusätzlich berücksichtigt der Event Manager Auswertungen des sprachbasierten Dialogmanagers über Sprechgeschwindigkeit, Verzögerung der Antworten etc. zur Verfeinerung der Workloadschätzung [Kan04]. Dieser Workload Manager ist eine Randkomponente des Driver Safety Managers und entsprechend nicht Hauptbestandteil der Überlegungen zu diesem System. Daher sind die Beschreibungen als grober Konzeptvorschlag zu sehen, für dessen Umsetzung keine ausreichend detaillierte Grundlage besteht. Das System wird als Idee und Denkanstoß verstanden und in Kapitel 3.3 nicht betrachtet.

¹²Ein Wert von 100% für die Gaspedalstellung entspricht dem vollen Durchdrücken des Gaspedals.

Anhang B: Herleitung der Situationen der Nachschlagetabelle

Als Basis für die indirekte Beanspruchungsschätzung werden Situationen identifiziert, die für die Fahrerbeanspruchung relevant sind. Hierfür wird in einem ersten Schritt ein Situationskatalog mithilfe von Recherchen und Experteninterviews erstellt. Aus diesem Katalog werden mittels einer Fahrerbefragung diejenigen Situationen identifiziert, die im Informationsmanagement weiter berücksichtigt werden sollen. Diese Situationen werden in einer Fahrsimulatorstudie hinsichtlich der resultierenden Beanspruchung untersucht. In einer anschließenden Realstudie werden die Ergebnisse validiert. Aufgrund der gegebenen Randbedingungen im Fahrsimulator und im realen Verkehrsgeschehen können nicht alle Situationen untersucht werden, die in der explorativen Befragung als relevant identifiziert wurden. Im realen Fahrzeug identifiziert eine Situationserkennung die Situationen unter Verwendung von Fahrzeug- und Umweltdaten. Das beschriebene Vorgehen verdeutlicht Abbildung Anhang B.1.

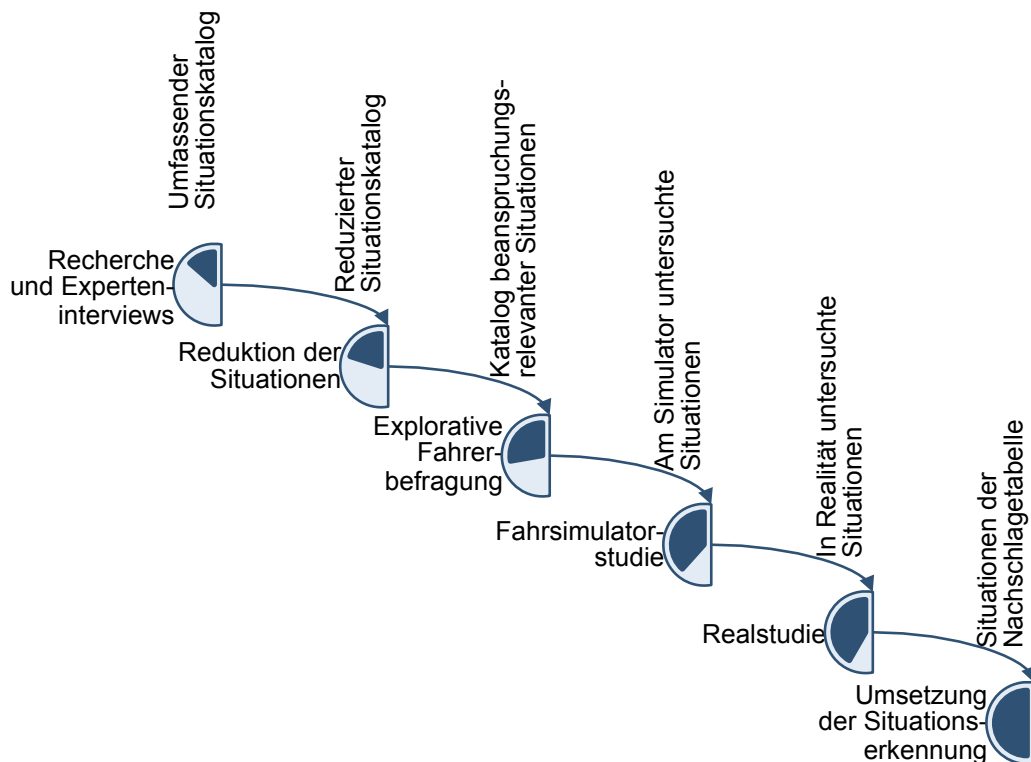


Abbildung Anhang B.1: Vorgehen zur Herleitung der in die indirekte Beanspruchungsschätzung einbezogenen Situationen

Umfassender Situationskatalog Der ursprüngliche, umfassende Situationskatalog beinhaltet 93 Situationen. Diese stellen größtenteils alltägliche Herausforderungen für Berufs-Lkw-Fahrer dar und sind untergliedert in die Merkmale konstant, variabel, situativ und allgemein. Die Unterscheidung dieser Merkmale erfolgt hinsichtlich des Zeithorizonts, innerhalb dessen eine Veränderung der in den Merkmalen enthaltenen Situationen eintreten kann. Das Merkmal konstant beinhaltet die Kategorien Fahrzeugart und Transportgut. Die Situationen dieser beiden Kategorien ändern sich während einer Lkw-Fahrt nicht. Unter variabel werden die Kategorien geführt, deren enthaltene Situationen über eine längere

re Zeit hinweg konstant bleiben, sich jedoch während einer Fahrt ändern können. Hierunter fallen der Straßentyp, der Straßenverlauf, die Verkehrsdichte, Tageszeit und Lichtverhältnisse, das Wetter und der Reibwert der Straße sowie das Vorhandensein von Passanten und die Verwendung von Assistenzsystemen. Unter situativen Kategorien werden diejenigen Kategorien zusammengefasst, die zeitlich abgeschlossene Handlungen oder Manöver umfassen. Um die Bewertungen der Beanspruchung, welche die einzelnen Teilnehmer der explorativen Fahrerbefragung vornehmen, besser einschätzen zu können, enthält der Situationskatalog die allgemeinen Ausprägungen Zeitdruck, Müdigkeit und Wut [Mui09, S. 178]. Da diese im Folgenden keine Bedeutung für die vorliegende Arbeit haben, wird nicht weiter darauf eingegangen.

Der umfassende Situationskatalog entsteht zum einen auf der Basis von verschiedenen Klassifikationsschemata von Verkehrssituationen. Diese enthalten je nach Anwendungskontext unterschiedliche Situationen und dienen so als Ideenpool zur Erstellung des Kataloges. Es wird die in Kapitel 7.1.1 erwähnte Kategorisierung von Verkehrssituationen nach Fastenmeier [Fas95] ebenso herangezogen wie die Arbeit von Armbruster [Arm11, S. 24ff], welcher in seinem Klassifikationsschema den Schwerpunkt auf Relativbewegungen von Fahrzeugen legt. Außerdem werden Modelle zur Charakterisierung des Verkehrsflusses betrachtet (nach einer Übersicht von [Gös05, S. 9f]). Da die genannten Klassifikationsschemata im Kontext Pkw entstanden sind, wird die Sammlung von Situationen durch Lkw-spezifische ergänzt. Zu diesem Zweck werden Experteninterviews mit Entwicklern von Lastkraftwagen und mit Lkw-Fahrern durchgeführt. Der umfassende Situationskatalog verzichtet im Sinne einer effizienten Handhabung desselben auf eine zu differenzierte Betrachtung der Situationen. Beispielsweise werden die einzelnen Wetterbedingungen nicht hinsichtlich der Stärke (schwacher Nebel – starker Nebel etc.) unterschieden. Die Kreuzungssituationen werden charakterisiert durch die Lokalisierung (außerorts, innerorts), die Abbiegerichtung (links, rechts, geradeaus), die Regelung der Kreuzung (durch Ampel, Schilder oder die Rechts-vor-Links-Regel) sowie durch die herrschende Vorfahrtsituation, welche in „Vorfahrt“ und „wartepflichtig“ unterteilt wird. Im Vergleich zur Bedeutung in der Straßenverkehrsordnung kommt diesen beiden Begriffen im Kontext Informationsmanagement eine leicht abgewandelte Bedeutung zu. Das Charakteristikum wartepflichtig ist dadurch gekennzeichnet, dass das Fahrzeug in den Stillstand abgebremst werden muss. Im Gegensatz dazu bedeutet Vorfahrt, dass eine Kreuzung ohne anzuhalten passiert werden kann. Gilt an einer schildergeregelten Kreuzung Vorfahrt achten und die Kreuzung ist frei von anderen Verkehrsteilnehmern, so dass sie ungehindert passiert werden kann, ist nach dieser Definition die Ausprägung „Vorfahrt“ aktiv. Der Hintergrund dieser Betrachtungsweise ist der Wunsch, die Notwendigkeit des Abbremsens des Fahrzeuges an einer Kreuzung mit zu berücksichtigen, sofern sie sich als relevant für die Beanspruchung zeigt. An dieser Stelle sei angemerkt, dass der beschriebene umfassende Situationskatalog auf die Anwendung Informationsmanagement ausgelegt ist und nicht den Anspruch einer Allgemeingültigkeit erhebt.

Reduzierter Situationskatalog Die explorative Fahrerbefragung soll ökonomisch durchgeführt werden können, ohne die Befragten zu überfordern. Daher wird der umfassende Situationskatalog um etwa 25% der enthaltenen Situationen gekürzt und die Durchführung der Befragung so innerhalb von 20 Minuten ermöglicht. Zur Reduktion der Situationen wird die Ausprägung „Base“ in allen Kategorien entfernt. Da das Informationsmanagementsystem in beanspruchenden Situationen keine Meldungen ausgeben soll, die

Base-Situationen jedoch der „Grundbeanspruchung“ beim Führen eines Fahrzeuges entsprechen, ist eine Vernachlässigung dieser vertretbar. Manche Situationen des umfassenden Situationskataloges werden für die Befragung zu einer Situation zusammengefasst. Dies betrifft verschiedene Straßentypen, bei welchen die Unterscheidung hinsichtlich der Anzahl der Spuren teilweise vernachlässigt wird, sowie die Unterscheidung der Situation „Passanten“ hinsichtlich der Anzahl der Passanten. Die Anzahl der Kreuzungssituationen wird dahingehend reduziert, als dass nur bestimmte Kombinationen der Charakteristika Lokalisierung, Abbiegerichtung, Regelung und Vorfahrtssituation in den reduzierten Situationskatalog aufgenommen werden. Einzelne Situationen des umfassenden Katalogs stellen sich als nicht relevant für die Anwendung Informationsmanagement heraus, andere weisen derart ähnliche Anforderungen an den Fahrzeugführer auf, dass sie zu einer Situation zusammengefasst werden. Insgesamt ergibt sich damit ein reduzierter Situationskatalog, der 70 Situationen umfasst. Dieser wird bei der explorativen Fahrerbefragung (Kapitel 7.1.2) eingesetzt. Auch der reduzierte Situationskatalog ist explizit auf die Anwendung Informationsmanagement ausgelegt und kann nicht ohne Weiteres auf andere Anwendungsfälle übertragen werden.

Katalog beanspruchungsrelevanter Situationen In der Fahrerbefragung werden die 70 Situationen des reduzierten Situationskataloges hinsichtlich der resultierenden Beanspruchung auf der SEA (Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung) bewertet [Sei11]. Situationen mit einer Bewertung höher als „etwas anstrengend“, was dem Wert 40 auf der SEA entspricht, werden in die weiteren Untersuchungen einbezogen. Daneben werden die Befragten mithilfe der Critical Incidents Technique sowie einer abschließenden Befragung zur Ergänzung weiterer beanspruchender Situationen angeregt. Als Bedingung für die weitere Betrachtung hierbei ergänzter Situationen gilt die Nennung oder Beschreibung einer Situation durch mindestens drei Befragte [Sei11]. Die so ergänzten Situationen werden nachfolgend dargestellt.

Zehn von 31 Fahrern beschreiben Situationen, die unter „Abbremsen aufgrund eines anderen Verkehrsteilnehmers“ zusammengefasst werden können [Sei11]. Zum einen bezeichnen die Fahrer das Abbremsen aufgrund eines langsameren Vorderfahrzeuges als beanspruchend. Dies kann auf den Zeitverzug sowie auf den Diskomfort durch die Fahrerhausbewegung, die bei Bremsvorgängen auftritt, zurückgeführt werden. Bei entsprechend hohen Relativgeschwindigkeiten bergen derartige Situationen außerdem die Gefahr eines Auffahrunfalles. Zum anderen werden wiederholt Situationen skizziert, in welchen das Abbremsen durch ein Fehlverhalten des Vorderfahrzeuges erzwungen wird. Als Gründe für die erhöhte Beanspruchung in dieser Situation können ebenfalls oben genannte Aspekte genannt werden, die aufgrund des Fehlverhaltens des Vordermannes möglicherweise emotionaler bewertet werden. Hinzu kommt, dass in vielen modernen Lkws der Kraftstoffverbrauch, teilweise auch der Bremsenverschleiß, aufgezeichnet und speditionintern ausgewertet wird. Die Fahrer geben an, dass sich das Fehlverhalten des Vorderfahrzeuges negativ auf diese Aufzeichnungen auswirken könnte. Sie befürchten daher unverschuldeterweise Konsequenzen durch ihren Arbeitgeber. Ein charakteristisches Beispiel für ein Fehlverhalten eines Vorderfahrzeuges, welches die Befragten wiederholt beschreiben, ist die Situation „knapper Einscherer“. Hierunter wird eine Konstellation zusammengefasst, in welcher der Lkw von einem Fahrzeug überholt wird, welches anschließend in geringem Abstand zum Lkw einschert. Diese Situation ereignet sich typischerweise in unmittelbarer Nähe von Autobahnausfahrten, wenn der überholende Pkw-

Fahrer von der Autobahn abfahren möchte. Laut den Aussagen der befragten Lkw-Fahrer ist das charakteristische Verhalten in dieser Konstellation ein zu knappes Einscheren gepaart mit einem Abbremsen des Fahrzeuges [Sei11]. Neben der Situation „Abbremsen aufgrund eines anderen Fahrzeuges“ wird die Situation „schlechte Straßen/Spurrinnen“ durch sechs Fahrer und die Situation „Seitenwind“ durch drei Fahrer ergänzt. Drei Fahrer beschreiben eine Situation, in welcher der eigene Lkw auf der rechten Fahrspur einer Autobahn fährt, während sich rechts ein Pkw auf dem Beschleunigungsstreifen befindet. Die Lkw-Fahrer fühlen sich in einer derartigen Situation dazu genötigt, das Verhalten des Pkw-Fahrers aufmerksam zu beobachten, sofern dessen Beschleunigungsverhalten nicht eindeutig einen Schluss darauf zulässt, ob er ein Einfädeln vor oder hinter dem Lkw anstrebt. Außerdem wird die Situation „Tunnel“ sowie die Situation „Blendung bei der Ausfahrt aus einem Tunnel“ ergänzt [Sei11].

Die Befragung zeigt, dass die Kategorien Fahrzeugart und Transportgut keiner weiteren Berücksichtigung im Informationsmanagement bedürfen. Die Fahrer geben an, dass die Beanspruchung durch die Fahrzeugart und das Transportgut stark von der jeweiligen Erfahrung abhängig sei. Für die Konstellation, welche üblicherweise gefahren wird, liege keine erhöhte Beanspruchung vor. Die Fahrer beschreiben eine hohe Beanspruchung in dem Fall, dass mit einer unbekanntem Fahrzeugart bzw. Ladung gefahren wird. Dieser seltene Fall wird im Rahmen des Informationsmanagements nicht berücksichtigt. Die Fahrt mit bestimmten Fahrerassistenzsystemen wird ebenfalls nicht weiter berücksichtigt. Auch hier überwiegen der Gewohnheitseffekt und die persönliche Vorliebe bei der Beurteilung der Beanspruchung. Tendenziell geben die Fahrer eine höhere Beanspruchung bei der Fahrt mit dem abstandsgeregelten Tempomaten (ACC) oder dem Spurverlassenswarner (LDW) an, wenn sie über wenig Erfahrung mit Assistenzsystemen verfügen. Die Situationen mittleres Verkehrsaufkommen, vormittags, mittags und nachmittags fahren, Bedienung am Lenkstockhebel, Autobahn Ausfahrt, Spurwechsel planen sowie Anfahren am Berg und weite Kurve werden als gering beanspruchend bewertet und gehen daher nicht in die weiteren Untersuchungen mit ein.

Eine einfaktorielle ANOVA zeigt für die Situationen Passanten, Kinder und Radfahrer keine Unterschiede in der Bewertung der Beanspruchung, weswegen auf eine weitere Differenzierung dieser Situationen verzichtet wird [Sei11]. Paarweise Vergleiche der Situationen Spurwechsel und Überholen, Telefonklingeln und Telefonieren, nachts Fahren und Dunkelheit sowie abends Fahren und Dämmerung bestätigen die Vermutung, dass sich die angegebene Beanspruchung bei diesen Ausprägungen nicht unterscheidet. Aufgrund der jeweils sehr ähnlichen Anforderungen an den Fahrer und der identischen Bewertungen der Beanspruchung in diesen Situationspaaren werden diese im Folgenden zu je einer Situation zusammengefasst [Sei11]. Aufgrund der Hinweise der Befragten wird die Situation Überholen um den Straßentyp, auf dem das Manöver stattfindet, erweitert. Nachfolgend werden die Situationen Überholen Autobahn und Überholen Landstraße voneinander unterschieden. Die Straßentypen Landstraße, Stadt und Autobahn werden in Form von Bezugsgrößen (Baselines) weiter betrachtet. Konkret werden eine vierspurige Autobahn mit Standstreifen, nachfolgend Autobahn genannt, eine zweispurige Landstraße sowie eine vierspurige Straße innerorts, nachfolgend Stadt genannt, als Baselines für die folgende Fahr Simulatorstudie umgesetzt.

Die Fahrmanöver Autobahn Auffahrt, Überholen, Rangieren und Rückwärts Fahren sowie die Fahrt durch einen Kreisverkehr und einige Abbiegesituationen samt zugehörigem Plaxxviii

nungsprozess werden in der Befragung als gering beanspruchend bezeichnet. Sie werden in der Fahrsimulatorstudie dennoch untersucht, um zu klären, inwieweit die erhöhte Beanspruchung, die in derartigen Situationen aus Studien aus dem Pkw-Bereich bekannt ist (zum Beispiel [Mui09, S. 79]), durch die Routine und Erfahrung von Berufs-Lkw-Fahrern ausgeglichen werden kann [Sei11]. Die Kreuzungssituationen werden anhand ihrer Charakteristika am Simulator leicht variierend zur explorativen Fahrerbefragung umgesetzt. Dies ist der statischen Datenbasis des Fahrsimulators geschuldet. Diese verfügt nur über eine begrenzte Anzahl an unterschiedlichen Kreuzungen in einem für eine ökonomische Versuchsdurchführung akzeptablen Abstand voneinander. Außerdem werden die beiden Situationen Bedienung am Schalterblock sowie Bedienung des Handys trotz geringer Bewertung der Beanspruchung in der explorativen Befragung mit in die weiteren Untersuchungen aufgenommen. Die niedrige Bewertung der Beanspruchung in diesen beiden Situationen könnte von einem Störfaktor, der sogenannten sozialen Erwünschtheit, beeinflusst worden sein. Dabei handelt es sich um ein Antwortverhalten, nach dem Studienteilnehmer in Befragungen Antworten geben, von denen sie denken, sie treffen auf allgemeine Zustimmung und werden so von der Gesellschaft erwartet.

Die Situationen Eingriff des ABS, Eingriff des ESP, Erreichen von Systemgrenzen, Sonnenblendung und schlechte Straße sind am Fahrsimulator nicht darstellbar. Sie werden daher in einer Befragung im Anschluss an die Fahrsimulatorstudie bewertet. In der explorativen Befragung liegt die Bewertung der Beanspruchung bei einem ABS-Eingriff sowie bei Erreichen der Systemgrenzen unterhalb von 40 auf der SEA. Dennoch werden die Situationen zur besseren Vergleichbarkeit mit dem dritten berücksichtigten Regeleingriff durch das ESP abgefragt.

Damit ergeben sich insgesamt 44 Situationen, die in der nachfolgenden Simulatorstudie untersucht werden [Sei11]. Diese Situationen sowie deren Einbettung in die Versuchsstrecke werden im Detail im Anhang F beschrieben und bildlich dargestellt.

Situationen der Realstudie Die in der Simulatorstudie gefundenen Beanspruchungswerte in den 44 getesteten Situationen werden in einer Realstudie validiert. Von wesentlicher Bedeutung hierbei ist, dass die Situationen der Realstudie eine möglichst hohe Ähnlichkeit zu denen der Simulatorstudie aufweisen. Es können insgesamt 31 Situationen bzw. falls die Baselines Autobahn, Landstraße und innerorts mitgezählt werden, 34 Situationen in der Realität getestet werden [Sei12b].

Aus ökonomischen Gründen kann in der Realstudie eine Kreuzungssituation (außerorts – geradeaus – Schilder – wartepflichtig) nicht untersucht werden, weil eine derartige, für Lkw geeignete Konstellation der Kreuzungsbedingungen im näheren Umfeld der Versuchsstrecke nicht vorhanden ist. Eine längere Anfahrt, um diese Kreuzung untersuchen zu können, hätte den zeitlich möglichen Aufwand im Rahmen der Studie überstiegen [Sei12b]. Auch die Untersuchung der beiden Situationen Dämmerung und Dunkelheit würde einer effizienten Versuchsdurchführung entgegenstehen, weil der Zeitraum zwischen Helligkeit und einsetzender Dunkelheit eine angemessene Versuchsdauer übersteigt. Die gezielte Manipulation von Wetterbedingungen ist in der Realität nicht möglich, weswegen die Situationen Regen, Nebel, Schnee, Glätte, Sonnenblendung und Seitenwind nicht untersucht werden können [Sei12a]. Im Gegensatz zu hohem Verkehrsaufkommen ist die Situation Stau nicht antizipierbar und wird daher im Realversuch nicht getestet. Aus Sicherheitsgründen wird auf die Untersuchung der Situationen ABS, ESP und

Erreichen von Systemgrenzen verzichtet. Die Situation Bedienung des Navigationsgerätes wird ebenfalls aus sicherheitstechnischen Gründen nicht untersucht. Auch auf die Untersuchung der Situationen Überholen Autobahn, Überholen Landstraße, knapper Einscherer und Abbremsen aufgrund eines langsameren Fahrzeuges muss aus Sicherheitsgründen verzichtet werden. Diese hätten gezielt durch ein weiteres Versuchsfahrzeug provoziert werden müssen [Sei12b]. Die 34 Situationen der Realstudie werden bildlich im Anhang H dargestellt.

Situationserkennung Die Aufgabe der Situationserkennung (Kapitel 7.2) besteht darin, die 44 beanspruchungsrelevanten Situationen mithilfe der Fahrzeugsensorik zu erkennen. In diesem Kontext wird die Beschreibung einiger Situationen leicht variiert. Die Definition der Situation Autobahn Auffahrt wird dahingehend erweitert, als dass auch Auffahrten auf Landstraßen erkannt werden, sofern sie ähnliche Anforderungen an den Fahrer aufweisen wie eine Autobahnauffahrt. Dies ist im Wesentlichen der Fall, sobald ein Beschleunigungsstreifen vorhanden ist. Die Situation wird nachfolgend verallgemeinert als Auffahrt bezeichnet. Die Baseline-Situationen Stadt und Autobahn sind für die Situationserkennung unabhängig von der Anzahl der Fahrspuren bzw. vom Vorhandensein eines Standstreifens. Die Situation Spurwechsel wird in der Situationserkennung als eigene Situation berücksichtigt. Nach der explorativen Befragung war die Situation Spurwechsel mit der Situation Überholen zusammengefasst worden, weil beide Situationen die selbe Beanspruchung hervorrufen und ähnliche Anforderungen an den Fahrer stellen. Die Situation knapper Einscherer wird aus technischen Gründen eingeschränkt auf die von den Fahrern in der explorativen Befragung wiederholt beschriebene Konstellation vor Ausfahrten. Dadurch wird mit den heutigen technischen Möglichkeiten eine höhere Erkennungsrate ermöglicht. Diese Einschränkung kann in Zukunft aufgehoben werden, sobald eine Abdeckung des seitlichen Raums neben dem Lkw mittels Radar vorhanden ist.

Im Rahmen der Evaluierung der Situationserkennung können nicht alle Situationen getestet werden. Auf die Evaluierung der Situationserkennung wird bei Situationen verzichtet, deren Erkennung stark auf simulierten Eingangsgrößen basiert. Auf simulierte Eingangsgrößen wird zurückgegriffen, wenn die entsprechende Sensorik in heutigen Fahrzeugen noch nicht zur Verfügung steht. Dies betrifft die Bediensituationen Navigationsgerät, Schalterbedienung und Telefonbedienung. Ein Abgreifen dieser Benutzereingaben ist in heutigen Fahrzeugen nicht vorgesehen, für zukünftige Fahrzeuge jedoch geplant. Der Aufwand einer prototypischen Umsetzung zum Abgreifen der Benutzereingaben ist im Vergleich zu der erwarteten Erkenntnis nicht angemessen. Die Situationen Regen und Schnee sowie Seitenwind können aufgrund fehlender Manipulationsmöglichkeit nicht getestet werden. Der für zukünftige Fahrzeuge vorgesehene Regen-/Lichtsensor steht im Rahmen der Evaluierung der Situationserkennung nicht zur Verfügung. Daher basiert die Erkennung dieser Situationen wie auch die der Bediensituationen größtenteils auf simulierten Eingangsdaten, was eine Erweiterung des Testzeitraumes bis zu einem Wetterumschwung unnötig erscheinen lässt. Auch die Erkennung von Fußgängern basiert größtenteils auf Daten, die während des Testzeitraumes aufgrund fehlender Sensorik nicht zur Verfügung stehen. Daher wird auf eine Evaluierung dieser Situation verzichtet. Aufgrund eines unverhältnismäßig hohen Testaufwandes im Vergleich zu einer relativ simplen Erkennungslogik werden die Situationen Baustelle und Parkplatzsuche nicht evaluiert. Im Falle der Baustelle müsste ein weiter Anfahrtsweg in Kauf genommen werden, der einer effizienten Durchführung der Evaluation entgegenstehen würde. Die Erkennung der Situa-

tion Parkplatzsuche basiert auf den Daten des digitalen Tachographen, welcher den Fahrer bei einer drohenden Überschreitung der erlaubten Lenkzeit warnt. Um die Erkennung der Situation Parkplatzsuche herbeizuführen, müsste eine drohende Überschreitung der Lenkzeit erreicht werden, was mit einer langen Fahrtzeit von nahezu 4,5 Stunden verbunden wäre. Aufgrund der simplen Erkennungslogik basierend auf den Daten des Tachographen wird auf einen Test verzichtet. Die Ergebnisse der Evaluierung der Situationserkennung werden im Anhang E dargestellt.

Anhang C: Verwendete Skala zur Erhebung der erlebten Beanspruchung (SEA)

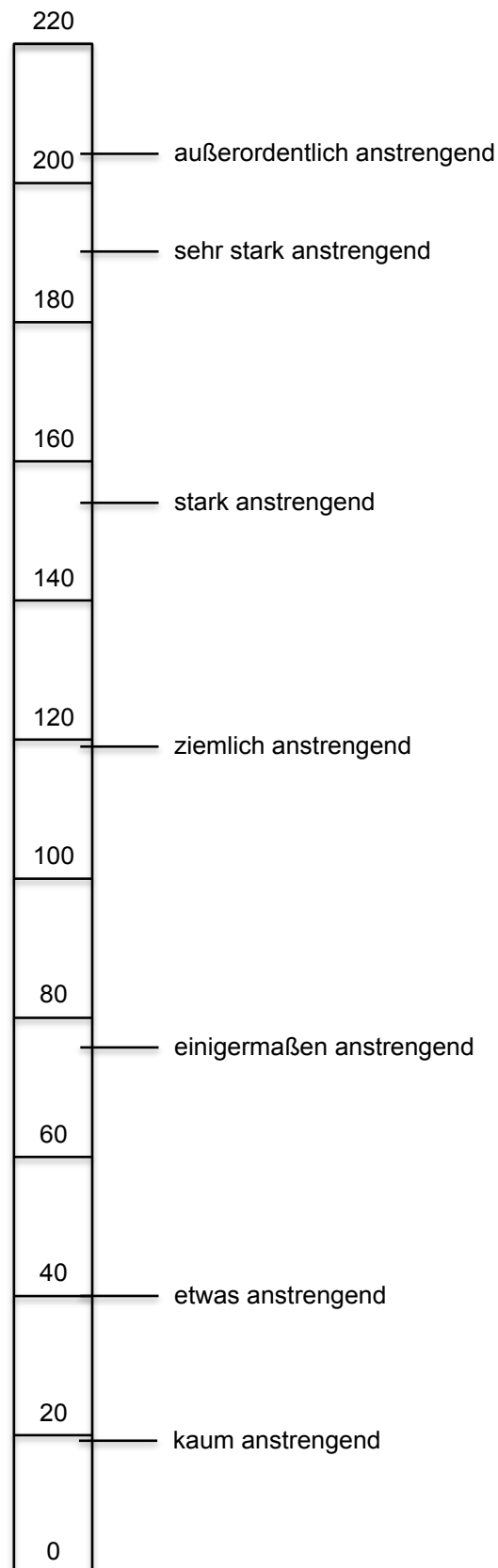


Abbildung Anhang C.1: Skala zur Erhebung der erlebten Beanspruchung nach [Eil86, S. 217]

Anhang D: Verwendete Daten der Situationserkennung

		Base	High	High - Prototype
Digitales Kartenmaterial	Fahrbahnmarkierungsart (durchgezogen/gestrichelt)		x	
	Verkehrsschilder		x	x
	Anzahl der Fahrspuren		x	x
	Abbiegewinkel des Kreuzungsarms		x	x
	Abbiegewahrscheinlichkeit des Kreuzungsarms		x	x
	Abstand zur Kreuzung		x	x
	Verbindungsrampen		x	x
	Fußgängerweg		x	x
	Straßentyp		x	x
	Spurbreite		x	
Kamera	Anzahl der Vorderfahrzeuge (max. 10 Stück)		x	x
	Verkehrszeichen-Erkennung		x	
	Objekterkennung (parkende Fahrzeuge)		x	x
	Objekterkennung (einscherendes/ausscherendes Fahrzeug)		x	x
	Personenerkennung		x	
	Spurbreite	x	x	x
	Fahrbahnmarkierungsart (durchgezogen/gestrichelt)	x	x	x
	Fahrbahnmarkierungsfarbe	x	x	
	Spurübertritt (links/rechts)	x	x	x
Radar	Anzahl Vorderfahrzeuge (max. 6 Stück) verteilt auf 3 Fahrspuren	x	x	x
	Relativgeschwindigkeit des Vorderfahrzeuges	x	x	x
	Abstand zum Vorderfahrzeug	x	x	x
	Beschleunigung des Vorderfahrzeuges	x	x	x
sonstige Sensorik	Regensensor	x	x	
	Helligkeitssensor	x	x	
	Lenkzeitüberschreitung (digitaler Tachograph)	x	x	x
	Außentemperatur	x	x	x
	ABS-Eingriff	x	x	x
	ASR-Eingriff	x	x	x
	Bremspedalstellung	x	x	x
	Gaspedalstellung	x	x	x
	Blinker (links/rechts)	x	x	x
	Eingehender Anruf + laufendes Telefonat	x	x	
	Navi-Bedienung			x
	Schalter-Bedienung	x	x	x
	Uhrzeit und Datum	x	x	x
	Aktuelle Schaltstufe	x	x	x
	Rangiermodus (Vorwärts/Rückwärts)	x	x	x
	Rückwärtsgang	x	x	x
	Fahrzeuggeschwindigkeit (Vorderachse)	x	x	x
	Lenkwinkel	x	x	x
Gierwinkel	x	x	x	
Wankwinkel	x	x	x	

Anhang E: Ergebnisse der Untersuchung zur Erkennungsgüte der Situationserkennung

Die beiden Varianten High Prototype und Base der Situationserkennung werden hinsichtlich ihrer Erkennungsgüte evaluiert. Die Ausstattungsvariante High Prototype wird in einem Realversuch, Base über Offline-Simulationen getestet. Der Schwerpunkt dieser Untersuchung liegt weniger auf umfassenden Tests, sondern vielmehr auf der Schaffung einer Bewertungsgrundlage. Hierbei ist das Ziel, eine Abschätzung des Potentials der regelbasierten Situationserkennung vornehmen zu können und wesentliche Schwachstellen aufzudecken. Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Ergebnisse der Evaluierung. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit in den Grafiken werden folgende Abkürzungen verwendet.

Rückw. = Rückwärts Fahren; Rang. = Rangieren; Einsch. = knapper Einscherer; Pkw Auff. = Pkw auf Autobahn Auffahrt; Kreisv. = Kreisverkehr; AB Auff. = Autobahn Auffahrt; Überh. AB = Überholen auf Autobahn; Überh. Ls = Überholen auf Landstraße; Spurw. = Spurwechsel; Enge K. = enge Kurve; Abbr. = Abbremsen aufgrund eines langsameren Fahrzeuges; hoh. Verk. = hohes Verkehrsaufkommen; Blend. Tu. = Blendung bei Tunnelausfahrt; abends = abends fahren; nachts = nachts fahren. Für die Bezeichnung der Kreuzungssituationen wird in untenstehenden Diagrammen folgende Kodierung verwendet: Der erste Buchstabe steht für die Lokalisierung der Kreuzung (i=innerorts oder a=außerorts). Der zweite Buchstabe kennzeichnet die Abbiegerichtung (l=links, g=geradeaus, r=rechts). Anschließend wird die Regelung der Kreuzung beschrieben (S=Schilder, A=Ampel, rvl=rechts vor links) und zuletzt, ob W=Wartepflicht oder V=Vorfahrt besteht. Die Abkürzung Abb. Plan. bezeichnet die Situation Abbiegen Planen. Im Anhang F werden bildliche Darstellungen der einzelnen Situationen gezeigt.

Die Diagramme stellen jeweils dar, in wie viel Prozent der Fälle eine vorliegende Situation nicht erkannt wurde (nicht), eine Situation erkannt wurde, obwohl sie in Realität nicht vorlag (falsch) und eine Situation richtig erkannt wurde (richtig). Für Situationen mit hoher zeitlicher Ausdehnung (Stau, hohes Verkehrsaufkommen) wird der Zeitraum in Prozent angegeben, über welchen die Situation nicht, falsch oder richtig erkannt wurde.

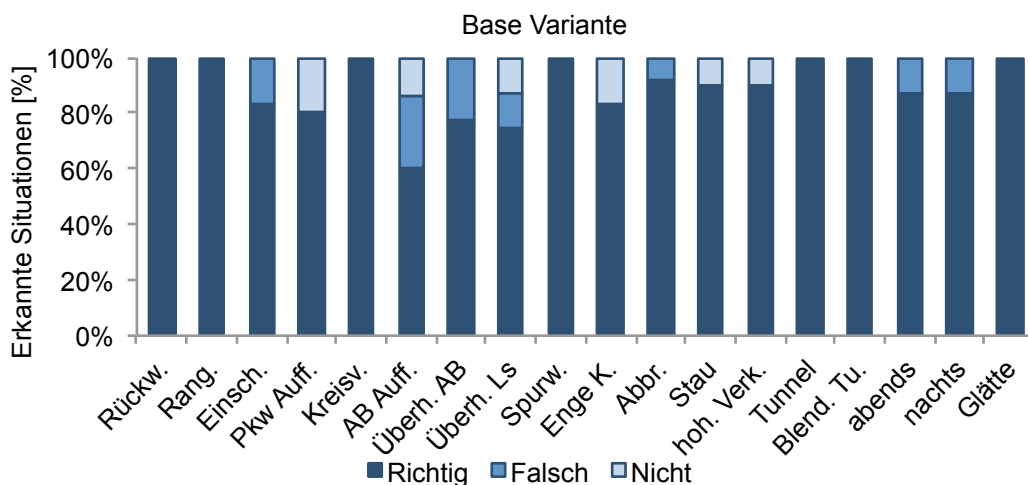


Abbildung Anhang E.1: Erkennungsgüte der Base Variante der Situationserkennung

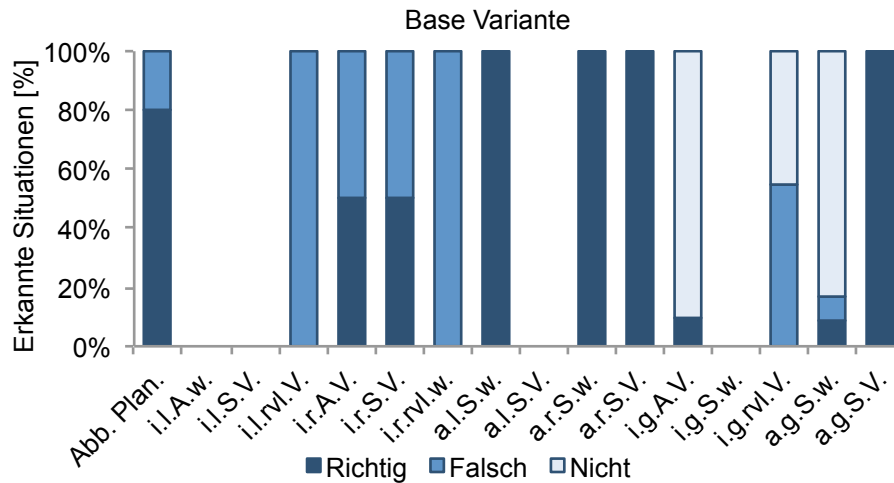


Abbildung Anhang E.2: Erkennungsgüte der Base Variante der Situationserkennung für Kreuzungssituationen

Die beiden oberen Diagramme Abbildung Anhang E.1 und Abbildung Anhang E.2 zeigen die Resultate der Evaluierung der Base Variante [Ste12, S. 109ff]. Auf die entscheidenden Schwachstellen und Probleme wird nachfolgend kurz eingegangen. Die Situation Autobahn Auffahrt wird zwei mal nicht erkannt. Die Ursache liegt einmal darin, dass der zur Erkennung einer Auffahrt in der Base Variante benötigte Beschleunigungsvorgang ausbleibt. Bei der zweiten Nichterkennung liegen die Blinkerbetätigung und der Beschleunigungsvorgang zeitlich zu weit auseinander. Die vier Fälle, in denen fälschlicherweise angenommen wird, eine Auffahrt liege vor, sind in Realität Überholmanöver. Diese ähneln der Situation Auffahrt in der charakteristischen Fahrzeugbeschleunigung sowie der Blinkerbetätigung. Die Falscherkennungen der Situation Abbiegen Planen resultieren daraus, dass bei der Einfahrt in einen Kreisverkehr fälschlicherweise der Blinker betätigt wird. Von den Abbiegesituationen konnten nicht alle getestet werden. In den getesteten Situationen ist vor allem die Erkennung der Kreuzungsregelung in der Base Variante schwierig, weil weder auf Informationen der digitalen Karte noch auf bildverarbeitende Sensorik zurückgegriffen werden kann. Dieses Problem tritt vor allem bei Kreuzungen innerorts auf, an denen alle drei Regelungsarten (Ampel, Schilder und rechts vor links) möglich sind. Bei Kreuzungen außerorts wird in der Base Variante grundsätzlich auf eine schildergeregelte Kreuzung geschätzt, was eine hohe korrekte Erkennungsrate zur Folge hat. Für die Base Variante wäre ein gangbarer Weg, auf eine Differenzierung der einzelnen Kreuzungsregelungen zu verzichten und jeweils einen mittleren Beanspruchungswert in der Nachschlagetabelle zu hinterlegen. So kann insgesamt eine höhere Erkennungsrate bei nur geringfügigen Einbußen in der Leistungsfähigkeit des Informationsmanagementsystems erreicht werden. Während bei Kreuzungssituationen mit Abbiegevorgang eine Differenzierung zwischen den einzelnen Kreuzungsarten und damit eine höhere Falscherkennungsrate zu Tage tritt, wird bei Kreuzungssituationen ohne Abbiegevorgang (geradeaus) der Großteil der Situationen nicht erkannt. Die Base Variante erkennt Kreuzungen im Wesentlichen über Fahrzeugdaten, welche bei einer simplen Überquerung einer Kreuzung nicht auffällig werden: Bei der Überquerung einer Kreuzung wird die Fahrzeuggeschwindigkeit je nach Verkehrslage unter Umständen nur geringfügig verringert und der Blinker nicht gesetzt. Alles in allem kann für die Base Variante von einer befriedigenden Erkennungsgüte gesprochen werden. Die Differenzierung der Kreuzungen mit Abbiegevorgang stellt ein

Problem dar, das durch Zusammenfassen der Situationen entschärft werden kann. Eine Erkennung von Kreuzungen ohne Abbiegevorgang bleibt problematisch [Ste12, S. 109ff].

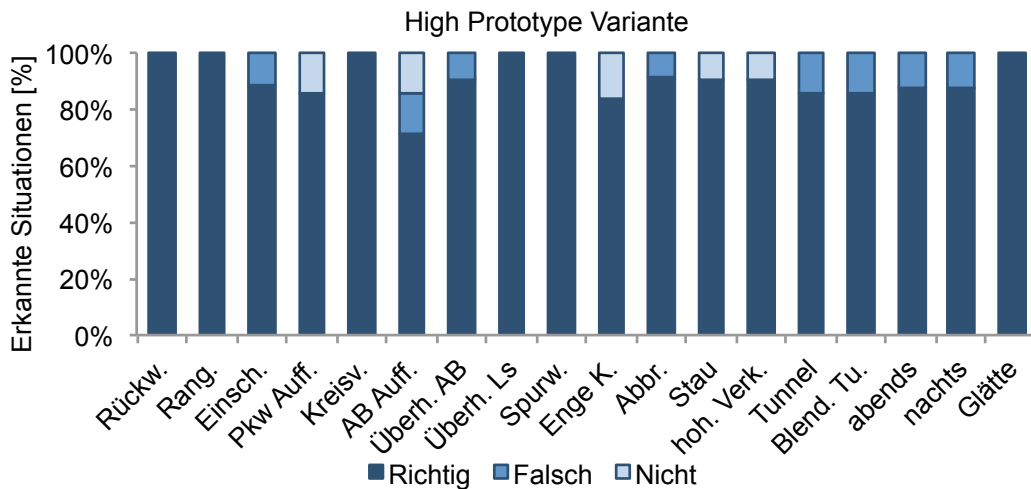


Abbildung Anhang E.3: Erkennungsgüte der High Prototype Variante der Situationserkennung

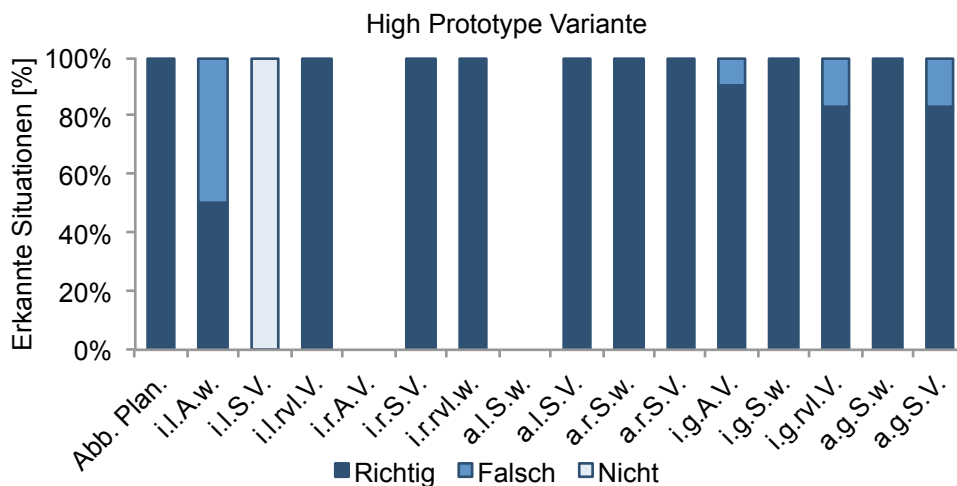


Abbildung Anhang E.4: Erkennungsgüte der High Prototype Variante der Situationserkennung für Kreuzungssituationen

Die beiden Diagramme Abbildung Anhang E.3 und Abbildung Anhang E.4 stellen die Ergebnisse des Realtests für die High Prototype Variante der Situationserkennung dar [Ste12, S. 109ff]. Insgesamt ist eine höhere Erkennungsgüte im Vergleich zur Base Variante zu erkennen, insbesondere für die Kreuzungssituationen. Die nicht erkannten Auffahrten auf Autobahnen sind in der digitalen Karte nicht als solche charakterisiert. Die Falscherkennungen in der Situation Autobahn Auffahrt sind in Realität Autobahnabfahrten. Um das Problem zu beheben, das diesen Falscherkennungen zugrunde liegt, wird der Erkennungsalgorithmus im Nachhinein angepasst. Bei einem insgesamt guten Ergebnis für die Erkennung von Kreuzungssituationen ist auch in der High Variante die Determinierung der Kreuzungsregelung das größte Problem [Ste12, S. 109ff].

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Tests dienen dazu, eine Potenti-
 abschätzung für den regelbasierten Ansatz vorzunehmen, was durch das vorgestellte
 Vorgehen erreicht werden kann. Um eine abschließende Bewertung der Situationserken-

nung vornehmen zu können, sind weitere Tests nötig. Zum einen sollte die Anzahl an Testfahrern erhöht werden, um insbesondere für die Base Variante, die stark auf den jeweiligen Fahrprofilen basiert, eine belastbare Aussage zu erreichen. Die Anzahl an untersuchten Testfällen sollte in weiteren Untersuchungen ebenfalls vergrößert werden.

Anhang F: Beschreibung der Fahrsimulatorstudie zur Erfassung mentaler Beanspruchung

Implementierung der Situationen Zur Erhebung der Fahrerbeanspruchung in bestimmten Situationen werden diese in einer Versuchsstrecke an einem dynamischen Lkw-Fahrsimulator umgesetzt. Die verwendete Simulationssoftware basiert auf einer statischen Datenbasis, in die statische Objekte sowie andere Verkehrsteilnehmer integriert werden können. Darüber hinaus besteht für das Versuchspersonal die Möglichkeit, ein Fahrzeug manuell vom Leitstand des Simulators aus zu steuern. Dadurch kann ein komplexes Verhalten eines anderen Verkehrsteilnehmers simuliert werden, das programmier-technisch nicht umsetzbar wäre. Die Regelung einzelner Kreuzungen über Schilder, Ampeln oder rechts-vor-links ist fest in der statischen Datenbasis hinterlegt und kann - mit Ausnahme der Phasenregelung der Ampeln - nicht verändert werden. Die Phasen der Ampeln werden in dem vorliegenden Versuch manuell durch den Versuchsleiter geregelt. Da bei diesem Versuch der entscheidende Punkt bei den Situationen an ampelgeregelten Kreuzungen ist, ob das Fahrzeug durch die Versuchsperson zum Stehen gebracht werden muss oder nicht, ist ein möglichst realistischer oder bei jeder Versuchsperson identischer Wechsel der Ampelphasen nicht versuchsentscheidend. Daher ist eine manuelle Steuerung der Ampelphasen vertretbar. Die Implementierung der einzelnen Situationen erfolgt mit dem Ziel, die Fahrtbedingungen mit Ausnahme der jeweiligen situativen Belastung möglichst ideal zu gestalten. Dadurch soll erreicht werden, dass nach Möglichkeit nur der interessierende Faktor Einfluss auf die Beanspruchung nimmt. Die Fahrten erfolgen deshalb im Normalfall bei guten Wetter- und Sichtbedingungen, auf geraden, breiten und guten Straßen und bei sehr geringem Verkehrsaufkommen.

Aufbau der Versuchsstrecke Die Untersuchung der Beanspruchung teilt sich in sieben Abschnitte. Zwei dieser Fahrtabschnitte finden auf einer Autobahn statt. Dies ist zum einen der längste der Abschnitte, „Autobahn Base“, mit einer Dauer von 15-20 Minuten und 13 enthaltenen autobahn-spezifischen Situationen. „Autobahn Wetter“ als zweite autobahn-spezifische Fahrt schließt sich stets an den Abschnitt „Autobahn Base“ an und enthält fünf verschiedene Wetterbedingungen. Die Versuchspersonen werden vor Beginn dieses Abschnitts auf die Möglichkeit hingewiesen, dass sich das Wetter ändern könnte. Außerdem werden sie in die Bedienung des Scheibenwischers sowie der Scheinwerfer eingewiesen. Zwei weitere Abschnitte führen die Studienteilnehmer auf eine Landstraße. Der Abschnitt „Landstraße Base“ enthält sieben, der stets im Anschluss absolvierte Abschnitt „Landstraße – enge Straße“ vier Situationen. Drei der Abschnitte simulieren Fahrten in städtischer Umgebung. „Stadt Weiler“ beinhaltet fünf Situationen und spielt sich in einem kleinen Dorf ab. Die Abschnitte „Stadt Base“ (fünf Situationen) und „Stadt Tunnel“ (vier Situationen) führen in eine städtische Umgebung. Die Beanspruchung in der 44. Situation „Abbiegen Planen“ wird vor jeder Kreuzungssituation mit Fahrtrichtungswechsel erhoben. Außerdem wird jeweils der Fahrt auf der Autobahn, der Fahrt auf der Landstraße und der Fahrt in der Stadt eine sogenannte Baseline-Situation hinzugefügt, während der die Grundbeanspruchung durch die Fahrt auf dem jeweiligen Straßentyp erhoben wird. Die interessierenden Situationen liegen weit genug auseinander, um Konfundierungseffekten vorzubeugen. Zwischen den Situationen ist die Versuchsstrecke kohärent und nicht anspruchsvoll gestaltet.

Die sieben Fahrtabschnitte können in die drei Blöcke Autobahn, Landstraße und Stadt zusammengefasst werden. Die Reihenfolge dieser Blöcke wird permutiert absolviert. Innerhalb der Blöcke Autobahn und Landstraße ist die Reihenfolge der enthaltenen Fahrtabschnitte vorgegeben. So werden die „Base-Fahrten“ stets zuerst durchfahren. Innerhalb des Blockes Stadt werden die drei Abschnitte in ihrer Reihenfolge permutiert, unter der Bedingung, dass entweder der Abschnitt „Stadt Base“ oder der Abschnitt „Stadt Weiler“ zuerst absolviert wird. Die Reihenfolge der Situationen innerhalb der einzelnen Abschnitte ist aufgrund der statischen Datenbasis grundsätzlich nicht veränderbar. Insgesamt können durch dieses Vorgehen Reihenfolgeeffekte weitestgehend ausgeschlossen werden.

Beschreibung der Situationen Nachfolgende Abbildungen stellen die Situationen der einzelnen Abschnitte dar. Die Bilder entsprechen jenen, die bei der Befragung mithilfe der SEA verwendet wurden. Die textuelle Beschreibung über den Bildern unterscheidet sich geringfügig von den in der SEA verwendeten. Auf die Darstellung der einzelnen Bilder, welche die zu den Abbiegesituationen gehörenden Planungssituation zeigen, wird verzichtet. Diese sind den Bildern der jeweiligen Abbiegesituation selbst sehr ähnlich.

Der Fahrtabschnitt „Autobahn Base“, dessen Situationen Abbildung Anhang F.1 entsprechend ihrer Reihenfolge (von oben nach unten, von links nach rechts) zeigt, ist der längste der sieben Abschnitte. Während dieser Fahrt herrscht kein Verkehr, außer die jeweilige Situation erfordert dies. Die Autobahn ist vierspurig angelegt, mit je zwei Fahrstreifen und einer Standspur pro Richtung. Sie weist einen nahezu geradlinigen Verlauf auf. Die Fahrbahn ist trocken, die Sichtverhältnisse klar. Die Versuchspersonen werden gebeten, eine Geschwindigkeit von 89 km/h zu wählen und nach Belieben den Tempomaten zu benutzen. Die Bediensituationen Bedienung Navi, Bedienung Schalterblock und die Annahme eines Telefonats über das Multifunktionslenkrad werden vor der Fahrt geübt.

Die Fahrt beginnt auf einem Zubringer zu einer Autobahn. Nachdem die Versuchspersonen auf die Autobahn aufgefahren sind, erfolgt eine Messung der Beanspruchung zur Referenz während der Situation Autobahn Base. Im Anschluss werden die Fahrer über eine akustische Ansage gebeten, die gewählte Route im Navigationsgerät von „schnell“ auf „eco“ (ökologisch) umzustellen. Für die Situation knapper Einscherer, die ein komplexes Verhalten des einscherenden Pkws voraussetzt, kommt ein manuell durch den Versuchsleiter gesteuertes Fahrzeug zum Einsatz. Dieses überholt den Lkw kurz vor einer Ausfahrt, schert dann in geringem Abstand vor diesem ein und bremst zusätzlich ab, um die Ausfahrt nehmen zu können. Das nächste Manöver der Versuchspersonen besteht darin, ein langsames Baustellenfahrzeug zu überholen. Die sich an diese Situation anschließende Bitte, die zuvor geübte Schalterbedienung durchzuführen, wird ebenfalls über eine akustische Sprachausgabe realisiert. Die Schalterbedienung beinhaltet die beiden Teilaufgaben, die Temperatur im Innenraum des Fahrzeuges über einen Taster um 2°C zu verstellen und die Belüftungseinstellungen über einen Drehsteller zu ändern. Das folgende Telefonat simuliert ein Gespräch mit einem Disponenten, das von einer Lieferung nach Frankfurt und den damit verbundenen logistischen und terminlichen Randbedingungen handelt. Die Intention des Gesprächs besteht darin, die Versuchsperson in eine sinnhafte Unterhaltung einzubinden. Anschließend erhöht sich das Verkehrsaufkommen, bis sich schließlich ein Stau bildet. Nach Auflösung desselben wird eine Baustelle durchfahren, in welcher der Verkehr auf die Standspur umgeleitet und die Geschwindigkeit auf 60km/h begrenzt ist. Die Situation Pkw auf Autobahn Auffahrt beinhaltet eine Konstellation, welche die Befragten der explorativen Fahrerbefragung beschrieben. In dieser Situation be-

Anhang F: Beschreibung der Fahrsimulatorstudie zur Erfassung mentaler Beanspruchung

findet sich ein Pkw rechts neben dem Lkw auf dem Beschleunigungsstreifen und fährt möglichst lange neben dem Lkw her, ohne klar erkennen zu lassen, ob er vor oder hinter diesem einscheren wird. Im Anschluss an diese Situation ertönt die Ansage, dass die Lenkzeit überschritten sei und eine Parkmöglichkeit aufgesucht werden solle. Die Situation Parkplatzsuche beinhaltet also die Fahrt auf einer Autobahn, während der nach einer Ausfahrt zu einem Parkplatz gesucht wird. Die Fahrt über den Parkplatz mit dem Ziel, eine Parklücke zu suchen, ist nicht Bestandteil der Situation. Nachdem das Fahrzeug dann auf einen Parkplatz gelenkt wurde, welcher bis auf eine Parklücke in der Mitte vollständig belegt ist, werden die Versuchspersonen über eine akustische Ansage gebeten, bis ans Ende des Parkplatzes weiterzufahren. Anschließend sollen sie geradeaus rückwärts zurücksetzen, um dann in die Parklücke einzuparken. Letzteres stellt die Rangieraufgabe dar.

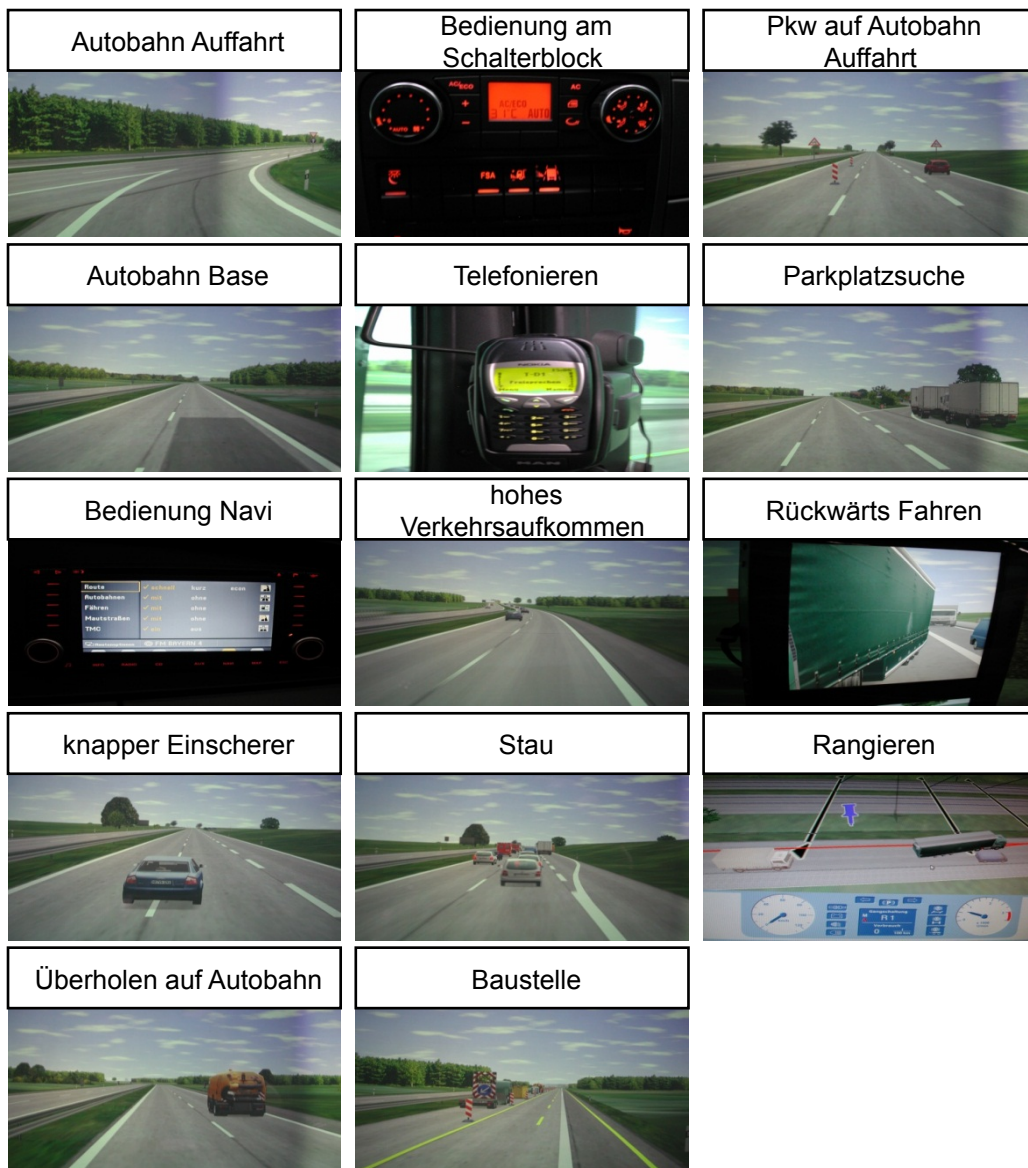


Abbildung Anhang F.1: Situationen des Fahrtabschnittes Autobahn Base der Fahrsimulatorstudie

Der Fahrtabschnitt „Autobahn Wetter“ schließt sich stets an die Fahrt Autobahn Base an und beinhaltet fünf verschiedene Wetterbedingungen (Abbildung Anhang F.2). Er beginnt auf trockener Fahrbahn und bei klaren Sichtverhältnissen trotz bewölktem Himmel direkt auf einer Autobahn, auf der ansonsten kein Verkehr herrscht. Im ersten Abschnitt werden die Versuchspersonen auf die Gefahr von Seitenwind mithilfe von Warnschildern und ei-

ner Windhose aufmerksam gemacht, kurz bevor sie eine Autobahnbrücke überqueren. Im Anschluss daran werden die Wetterbedingungen Nebel, Regen und Schnee getestet. Diese Wetterbedingungen entstehen kontinuierlich über eine langsame Steigerung der Intensität. Ist die gewünschte Intensität erreicht, bleibt die Wetterbedingung über einige Zeit konstant, um den Versuchspersonen eine Gewöhnung an die jeweilige Bedingung zu ermöglichen. Anschließend nimmt die Intensität der Wetterbedingung langsam ab. Die Einleitung der nächsten Wetterbedingung erfolgt erst nach einer mehrminütigen Erholungsphase bei klaren Sichtverhältnissen und trockener Fahrbahn. Gegen Ende der Fahrt wird via Warnschilder auf die Gefahr von Glätte aufmerksam gemacht und gleichzeitig in der Simulation der Reibwert der Straße gesenkt.

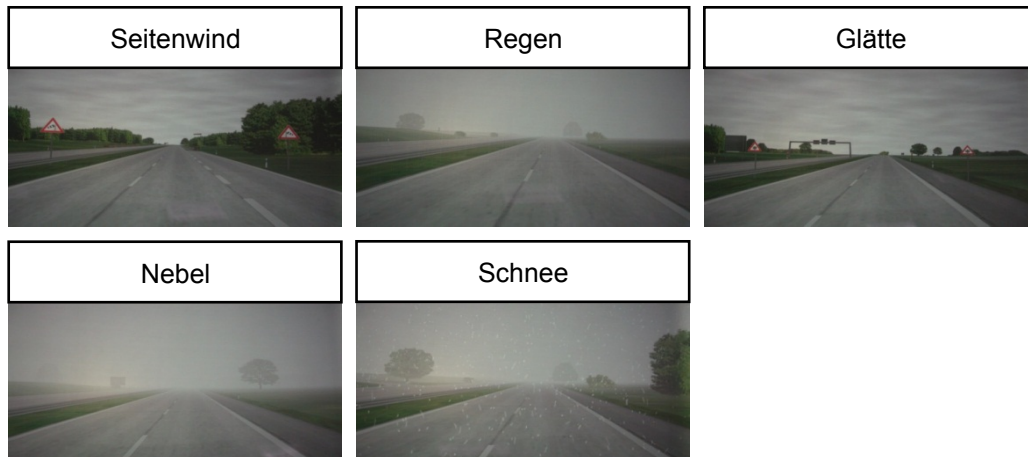


Abbildung Anhang F.2: Situationen des Fahrtabschnittes Autobahn Wetter der Fahrsimulatorstudie

Der Fahrtabschnitt „Stadt Weiler“ (Abbildung Anhang F.3) findet in einer dörflichen Umgebung mit Straßen ohne Seitenmarkierung und Mittelstreifen, bei gutem Wetter und geringem Verkehrsaufkommen statt. Zu Beginn absolvieren die Versuchspersonen eine enge 90°-Kurve, die sich außerhalb der Ortschaft befindet und daher zu den Landstraßensituationen gerechnet wird. Von den sich anschließenden vier Kreuzungssituationen finden drei an rechts-vor-links geregelten Kreuzungen und eine an einer schildergeregelten Kreuzung statt. An den ersten beiden Kreuzungen herrscht Vorfahrt, an der dritten werden die Versuchspersonen durch kreuzenden Querverkehr zum Anhalten gezwungen. In der letzten Situation biegen die Versuchspersonen bei rechts-vor-links an einer T-Kreuzung nach rechts ab. Zu diesem Zeitpunkt überqueren Fußgänger die Straße, in die eingebogen werden soll. Dadurch sind die Versuchspersonen gezwungen, den Lkw anzuhalten. In den beiden Kreuzungssituationen, in denen die Fahrtrichtung verändert wird, wird zusätzlich die Planung des Abbiegens als jeweils eigenständige Situation erfasst. Die Abbiegerichtung wird durch ein Navigationsgerät akustisch vorgegeben.

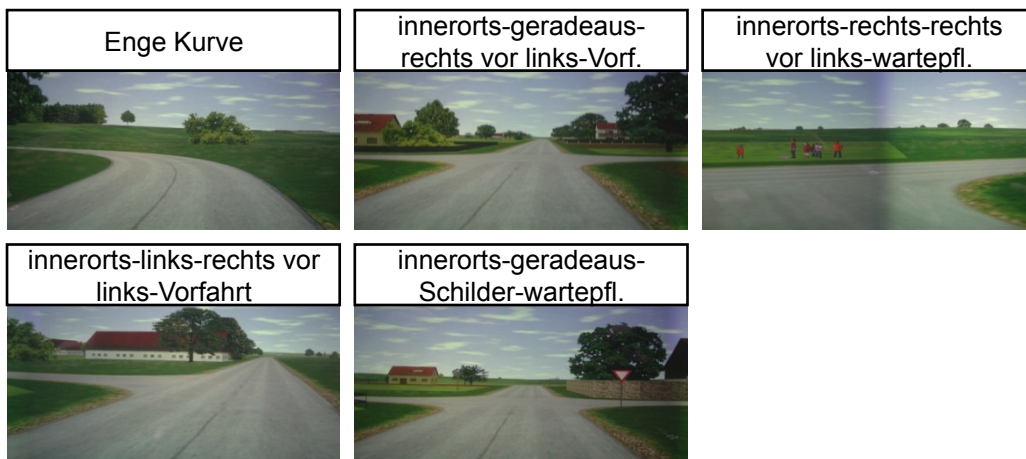


Abbildung Anhang F.3: Situationen des Fahrtabschnittes Stadt Weiler der Fahrsimulatorstudie

In Abbildung Anhang F.4 werden die Situationen der Fahrt „Stadt Base“ dargestellt. Die Referenzmessung der Beanspruchung bei Fahrten innerorts erfolgt auf einer vierspurigen, verkehrsfreien Straße bei guten Wetterbedingungen. Danach wird die Dichte von Passanten, Radfahrern und Kindern schrittweise erhöht, um die Beanspruchung bei Vorhandensein dieser Verkehrsteilnehmer zu erfassen. Es schließen sich vier Abbiegesituationen an, auf die an dieser Stelle nicht im Detail eingegangen wird. Bei denjenigen Kreuzungssituationen, bei denen die Fahrtrichtung geändert wird, wird die zugehörige Planungsphase als Situation mit aufgenommen. Beispielhaft ist eine Planungssituation in Abbildung Anhang F.4 dargestellt.

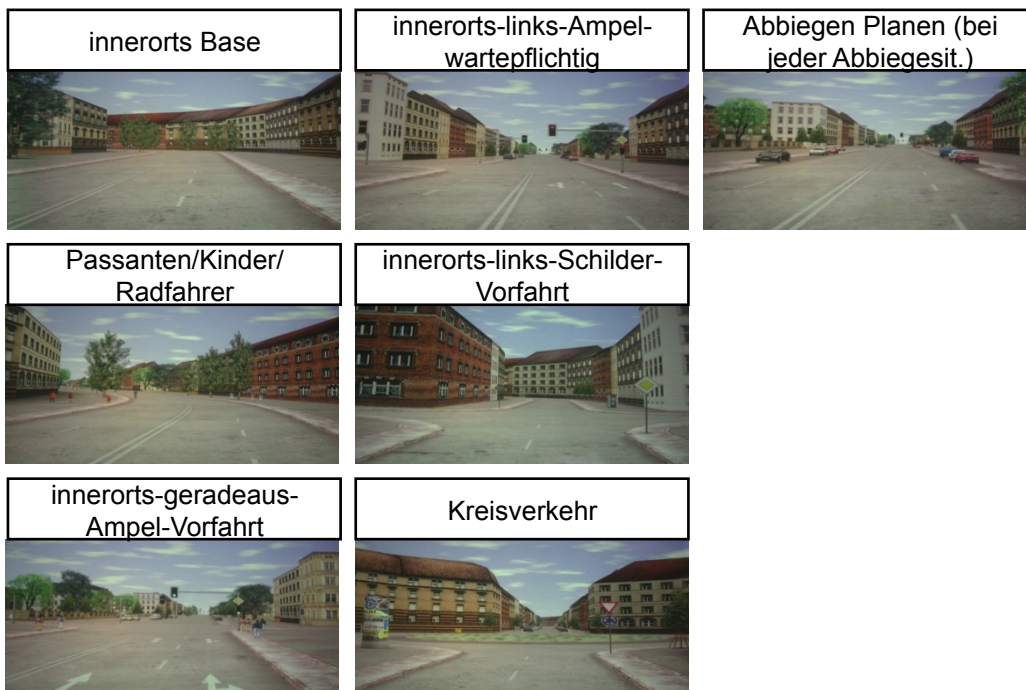


Abbildung Anhang F.4: Situationen des Fahrtabschnittes Stadt Base der Fahrsimulatorstudie

Die Fahrt „Stadt Tunnel“, deren Wetter- und Verkehrsbedingungen denen der Fahrt Stadt Base entsprechen, beinhaltet zwei Abbiegesituationen (Abbildung Anhang F.5). In diesen werden die Richtungsanweisungen durch das Navigationsgerät angesagt und die Planung des Abbiegens als eigenständige Situationen mit geführt. Außerdem wird in diesem

Fahrtabschnitt ein Tunnel durchfahren. Der Tunnel ist über zwei Beleuchtungsschienen an der Decke beleuchtet und weist eine entsprechende Länge auf, um die Dunkeladaption der Augen zu ermöglichen. Bei der Ausfahrt aus dem Tunnel wird die Helligkeit der Sichtsimulation für einen kurzen Augenblick stark erhöht, um eine Blendung durch das Tageslicht zu simulieren.

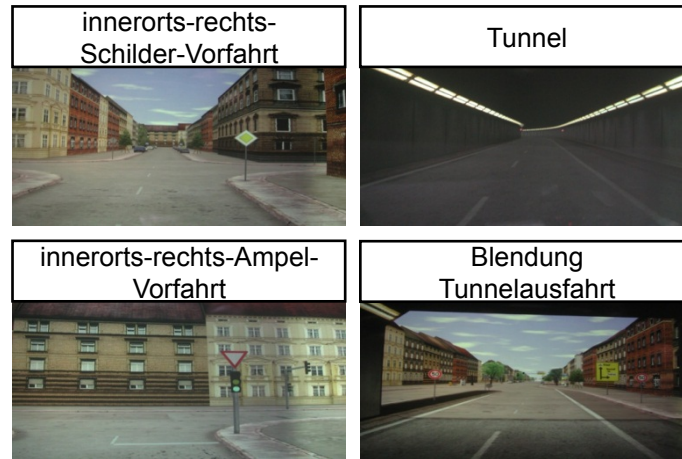


Abbildung Anhang F.5: Situationen des Fahrtabschnittes Stadt Tunnel der Fahrsimulatorstudie

Abbildung Anhang F.6 zeigt die getesteten Situationen des Fahrtabschnittes „Landstraße Base“. Die Referenzmessung für die Fahrt auf einer Landstraße erfolgt auf einer breiten, geraden Landstraße, die mit Fahrbahnmarkierungen außen und mittig versehen ist. Während der Fahrt ist kein Fremdverkehr vorhanden und es herrscht gutes Wetter. Im Anschluss an die Baseline müssen die Versuchspersonen ihr Fahrzeug aufgrund eines langsamen Traktors abbremsen. Dieser kann wegen Warnbaken auf der linken Straßenseite und einer schlechten Sicht nach vorne aufgrund eines Hügels nicht überholt werden. Am Scheitelpunkt des Hügels herrscht gute Sicht, so dass der Traktor überholt werden kann. Danach folgen drei Kreuzungssituationen. An der Situation „außerorts-links-Schilderwartepflichtig“ ist kreuzender Verkehr vorhanden, so dass der Lkw in den Stillstand gebremst werden muss. Außerdem wird bei dieser Situation die Planungsphase des Abbiegens aufgenommen. Zuletzt wird die Tageszeit in der Simulation schrittweise verändert, wodurch langsam Dämmerung, anschließend Dunkelheit einsetzt. Wie auch bei den sich ändernden Wetterbedingungen in der Fahrt Autobahn Wetter wird die Veränderung der Umgebungsbedingung langsam vorgenommen und bei den gewünschten Lichtverhältnissen verblieben, bis von einer Gewöhnung der Versuchspersonen ausgegangen werden kann.

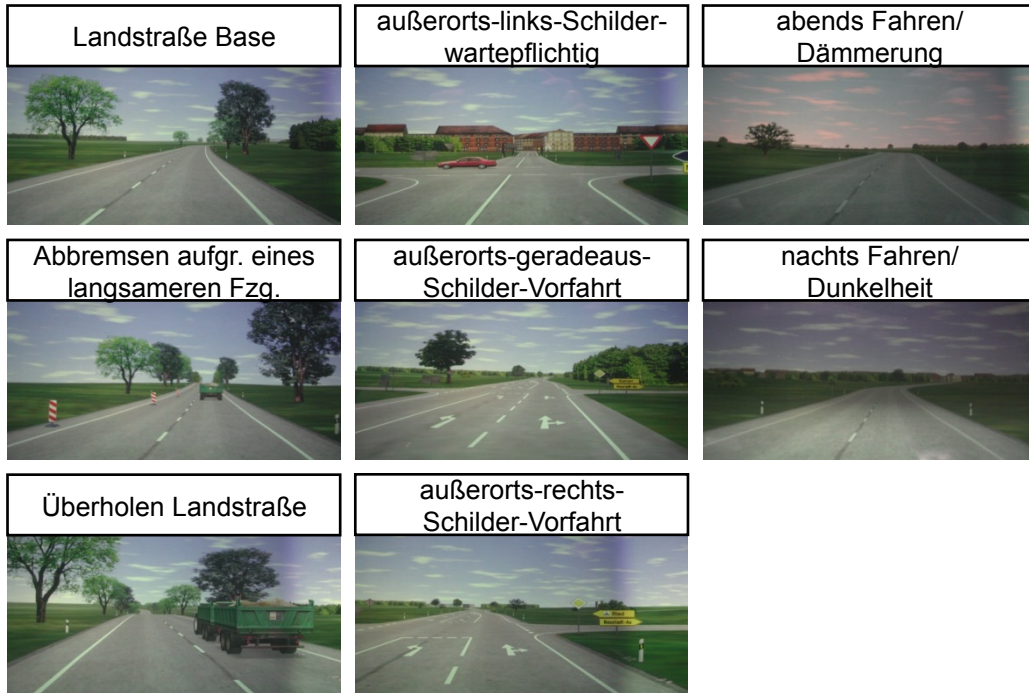


Abbildung Anhang F.6: Situationen des Fahrtabschnittes Landstraße Base der Fahrsimulatorstudie

Der Fahrtabschnitt „Landstraße enge Straße“ (Abbildung Anhang F.7) folgt stets auf den Abschnitt Landstraße Base und enthält drei Kreuzungssituationen mit zugehörigen Planungsphasen. An zwei Kreuzungen muss das Fahrzeug aufgrund von Querverkehr zum Stehen gebracht werden. Außerdem wird in diesem Abschnitt eine enge Straße durchfahren.

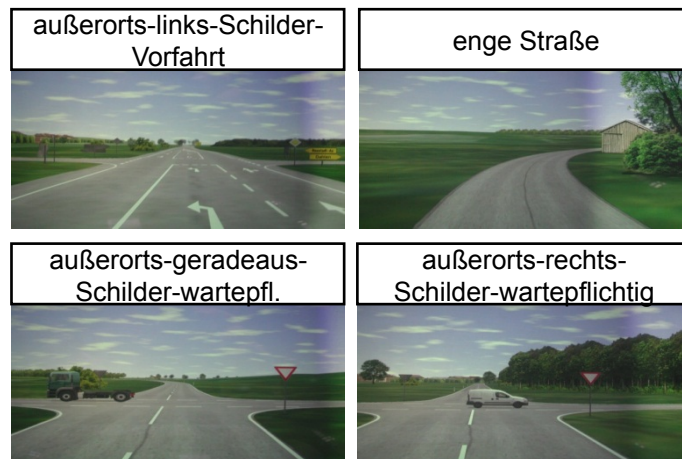


Abbildung Anhang F.7: Situationen des Fahrtabschnittes Landstraße enge Straße der Fahrsimulatorstudie

Anhang G: Erklärung der Angaben von statistischen Werten

Im Folgenden werden die statistischen Angaben, die in dieser Arbeit berichtet werden, kurz erläutert. Dabei liegt die Intention auf einer kurzen Darstellung dieser Angaben und nicht auf einer mathematischen Herleitung und exakten Beschreibung der zugrunde liegenden statistischen Verfahren. Hierzu wird auf die einschlägige Fachliteratur, wie zum Beispiel Bortz [Bor05], verwiesen.

Korrelation nach Spearman (Kapitel 7.3.5, Kapitel 7.4.5 und Kapitel 9.7)

Eine Korrelationsanalyse ermöglicht die Beschreibung der Enge des linearen Zusammenhangs zweier Merkmale durch den Korrelationskoeffizienten r , der zwischen -1 und $+1$ liegt. Bei $r = +1$ liegt ein perfekt positiver, bei $r = -1$ ein perfekt negativer und bei $r = 0$ liegt kein linearer Zusammenhang vor [Bor05, S. 206].

Beispiel: $r_s(20) = -0.05$, $p < .05$

- r_s ist der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman. Für nähere Informationen zu den Anwendungsvoraussetzungen und der Berechnung von r_s wird auf [Bor05, S. 232ff] verwiesen.
- Die in Klammern angegebene Zahl ist die Anzahl der Freiheitsgrade.
- Der p -Wert ist das Ergebnis eines Signifikanztests und bezeichnet die Wahrscheinlichkeit des beobachteten Wertes oder extremerer Werte für den Fall, dass die Nullhypothese zutrifft.

Mann-Whitney-U-Test (Kapitel 7.3.5)

Der Mann-Whitney-U-Test ist ein verteilungsfreier Signifikanztest, mit dessen Hilfe zwei unabhängige Stichproben auf Basis rangskalierter Daten hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz untersucht werden [Bor05, S. 150ff].

Beispiel: $U = 76.5$, $p < .05$

- U ist die Prüfgröße des U-Tests. Für nähere Informationen zu den Anwendungsvoraussetzungen und der Anwendung des Mann-Whitney-U-Tests wird auf [Bor05, S. 150ff] verwiesen.
- Der p -Wert ist das Ergebnis eines Signifikanztests und bezeichnet die Wahrscheinlichkeit des beobachteten Wertes oder extremerer Werte für den Fall, dass die Nullhypothese zutrifft.

Wilcoxon-Test (Kapitel 7.4.5)

Der Wilcoxon-Test ist ein verteilungsfreier Signifikanztest, mit dessen Hilfe zwei abhängige Stichproben auf Basis rangskalierter Daten hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz untersucht werden [Bor05, S. 153f].

Beispiel: $z = -1.98$, $p < .05$

- z ist der Wert einer Verteilung mit $\bar{x} = 0$ und $s = 1$.

- Der p-Wert ist das Ergebnis eines Signifikanztests und bezeichnet die Wahrscheinlichkeit des beobachteten Wertes oder extremerer Werte für den Fall, dass die Nullhypothese zutrifft.

Einfaktorielle ANOVA oder einfaktorielle Varianzanalyse (Kapitel 9.7)

Die einfaktorielle Varianzanalyse überprüft die Wirkung einer p-fach gestuften unabhängigen Variable auf eine abhängige Variable [Bor05, S. 247ff].

Beispiel: $F(2,96)=13.80, p<.05$

- F ist die Prüfgröße der einfaktoriellen Varianzanalyse. Für nähere Informationen zu den Anwendungsvoraussetzungen und der Anwendung der einfaktoriellen Varianzanalyse wird auf [Bor05, S. 247ff] verwiesen.
- Die erste in Klammern angegebene Zahl ist die Anzahl der Freiheitsgrade des Modells.
- Die zweite in Klammern angegebene Zahl ist die Anzahl der Freiheitsgrade des Fehlers.
- Der p-Wert ist das Ergebnis eines Signifikanztests und bezeichnet die Wahrscheinlichkeit des beobachteten Wertes oder extremerer Werte für den Fall, dass die Nullhypothese zutrifft.

Chi-Quadrat-Test (Kapitel 9.7)

Chi-Quadrat-Methoden dienen der Analyse von Häufigkeitsunterschieden im Auftreten bestimmter Merkmale [Bor05, S. 154]. Dabei wird überprüft, ob sich die beobachtete Häufigkeit maßgeblich von der Häufigkeit unterscheidet, die aufgrund bestimmter Annahmen erwartet wird.

Beispiel: $\chi^2(1, N=152)=5.57, p<.05$

- χ^2 ist der Chi-Quadrat-Wert. Für nähere Informationen zu den Anwendungsvoraussetzungen und der Berechnung von χ^2 wird auf [Bor05, S. 154ff] verwiesen.
- Die erste in Klammern angegebene Zahl ist die Anzahl der Freiheitsgrade.
- N ist der Umfang der Stichprobe.
- Der p-Wert ist das Ergebnis eines Signifikanztests und bezeichnet die Wahrscheinlichkeit des beobachteten Wertes oder extremerer Werte für den Fall, dass die Nullhypothese zutrifft.

Anhang H: Beschreibung der Realstudie zur Validierung der Fahrsimulatorergebnisse

In der Realstudie wird die Beanspruchung in 31 der 44 Situationen, die zuvor in der Fahrsimulatorstudie untersucht wurden, hinsichtlich ihrer ökologischen Validität getestet [Sei12b]. Die 31 Situationen werden auf drei rundkursartige Fahrtschleifen verteilt. Schleife A umfasst eine Länge von 55 Kilometer und neun Situationen, welche ausschließlich auf der Autobahn stattfinden. Daneben enthält Schleife A die Situation, in der die Grundbeanspruchung bei einer Fahrt auf der Autobahn als Referenz erfasst wird, die Situation „Autobahn Base“. Die 42 Kilometer lange Schleife B besteht aus zwei Teilabschnitten. Im ersten Teilabschnitt befinden sich vier landstraßenspezifische Situationen und „Landstraße Base“, im zweiten Teilabschnitt sieben stadt- und landstraßenspezifischen Situationen. Schleife C ist 24 Kilometer lang und besteht ebenfalls aus zwei Teilabschnitten. Teilabschnitt 1 umfasst vier Situationen in der Stadt, Teilabschnitt 2 sechs Situationen in der Stadt und auf der Autobahn sowie die Referenz „Stadt Base“. Die Planungsphase, die allen in der Realstudie enthaltenen Abbiegevorgängen mit Richtungsänderung vorausgeht, wird als eine weitere Situation zusammengefasst. Die drei Schleifen werden in ihrer Reihenfolge permutiert. Nach jeder Schleife und jedem Teilabschnitt wird die Fahrt unterbrochen, eine Befragung durchgeführt und den Versuchspersonen die Möglichkeit gegeben, eine kurze Pause zu machen [Sei12b].

Beschreibung der Situationen In den folgenden Abschnitten werden die Situationen der Realstudie bildlich dargestellt. Die nachfolgend dargestellten Bilder entsprechen jenen, die für die Befragung der Versuchspersonen anhand der SEA verwendet werden. Die textuelle Beschreibung der Situationen über den jeweiligen Bildern weicht geringfügig von der in der Studie verwendeten ab. Die Situationen weisen eine möglichst hohe Ähnlichkeit zu den Situationen der Fahrsimulatorstudie auf. Daher wird in der nachfolgenden Beschreibung der einzelnen Situationen insbesondere auf die Unterschiede der realen Situationen zu den simulierten Situationen eingegangen.

Abbildung Anhang H.1 zeigt von oben nach unten und von links nach rechts die Situationen der Schleife A der Realstudie. Da der Fremdverkehr auf der realen Autobahn nicht kontrolliert werden kann, sind im Gegensatz zur Fahrsimulatorstudie während der gesamten Fahrt weitere Verkehrsteilnehmer vorhanden. Im Bereich der Autobahn Auffahrt ist die Autobahn dreispurig, anstatt wie in der Simulation zweispurig befahrbar. Autobahn Base sowie die beiden Bediensituationen (Schalterblock und Telefon) werden wie die Situationen des Fahrsimulatorversuchs auf einer nahezu geradlinigen, vierspurigen Autobahn mit Standstreifen absolviert. Die Situationen Tunnel und Blendung bei der Tunnelausfahrt finden aus Gründen einer ökonomischen Versuchsdurchführung im Gegensatz zur Fahrsimulatorstudie nicht in der Stadt, sondern auf der Autobahn statt. Der Tunnel ist dreispurig befahrbar und wird über vier Beleuchtungsschienen erhellt. Aufgrund der Tunnellänge von 1030 Metern kann von einer Dunkeladaption der Augen und einer daraus folgenden Blendung bei der Tunnelausfahrt ausgegangen werden. Für die Realisierung der Situation Pkw auf Autobahn Auffahrt wird ein separates Fahrzeug benötigt. Dieses wartet auf einem Autobahnparkplatz auf das Versuchsfahrzeug. Kurz vor Erreichen des Parkplatzes gibt der Versuchsleiter in der Fahrerkabine des Versuchsfahrzeuges ein verstecktes Signal an den Fahrer des wartenden Fahrzeuges. Dieser versucht daraufhin, so lange wie möglich

auf dem Beschleunigungsstreifen rechts neben dem Versuchsfahrzeug herzufahren, um anschließend nach ihm auf die Autobahn aufzufahren. Anders als im Fahrsimulatorversuch könnte der Lkw-Fahrer bei entsprechender Verkehrslage auf die Nachbarspur ausweichen, um dem Pkw die Auffahrt zu erleichtern. Um die Situation hohes Verkehrsaufkommen herbeizuführen, führt die Fahrt auf ein Autobahnteilstück nach einem Autobahnkreuz, auf welchem regelmäßig erhöhtes Verkehrsaufkommen herrscht. Die Situationen Rückwärts Fahren und Rangieren finden nicht wie in der Fahrsimulatorstudie auf einem Autobahnparkplatz statt, sondern aus Sicherheitsgründen auf einem unbefahrenen Parkplatz abseits der Autobahn. Sowohl das Zurücksetzen als auch das seitwärts Einparken werden mit der Unterstützung eines Einweisers durchgeführt.

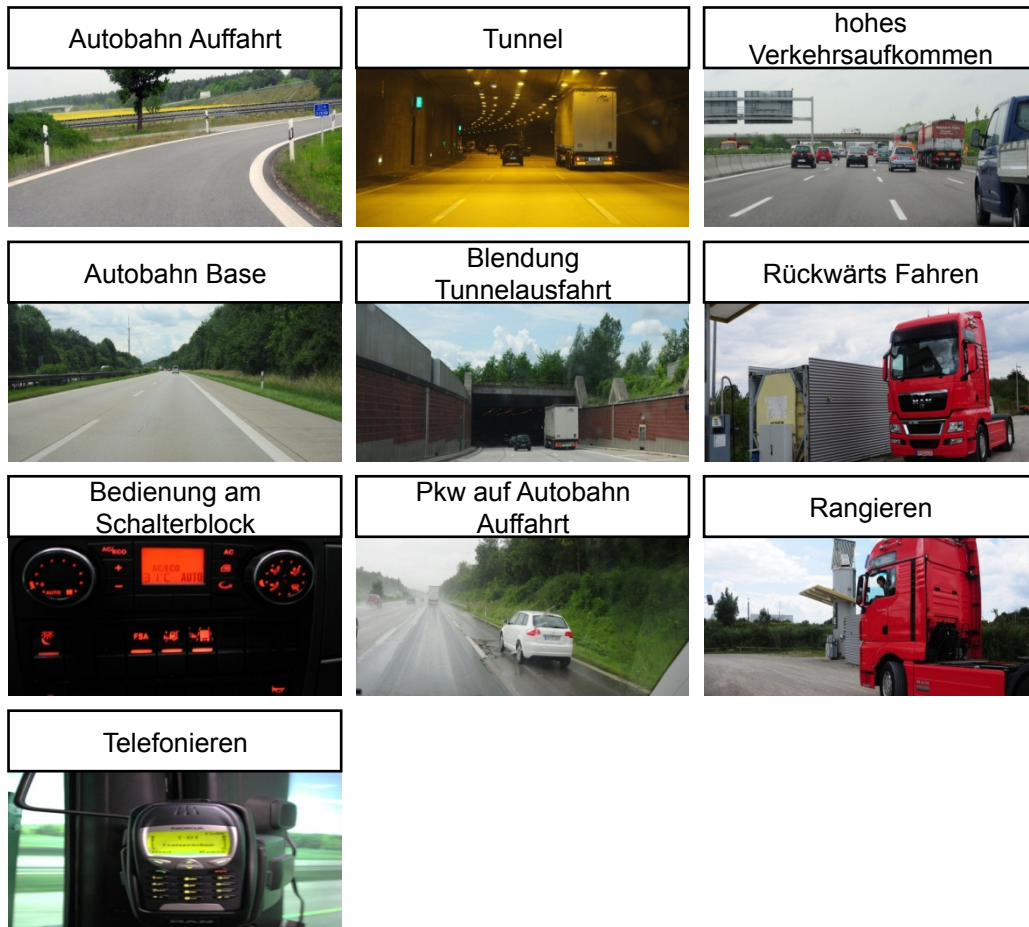


Abbildung Anhang H.1: Situationen der Schleife A der Realstudie

Auch auf Schleife B (Abbildung Anhang H.2) herrscht geringes Verkehrsaufkommen, anders als in der Fahrsimulatorstudie, in der kein Fremdverkehr vorhanden war. In der ersten Situation erfolgt die Erfassung der Grundbeanspruchung während einer Fahrt auf der Landstraße. Die sich anschließende Situation Baustelle findet anders als in der Simulatorstudie auf der Landstraße statt. Anschließend folgen die Situationen enge Kurve und enge Straße. Die enge Kurve ist im Gegensatz zur simulierten Kurve nach rechts gekrümmt und weniger gut einsichtig. Die enge Straße ist durch Leitplanken begrenzt und führt über eine Brücke. Zuletzt biegen die Versuchspersonen an einer schildergeregelten T-Kreuzung nach rechts in eine Hauptstraße ein. Die Beachtung der Vorfahrt beinhaltet eine Berücksichtigung des Fahrradweges, der parallel zur Hauptstraße verläuft. Außerdem erfordert eine Steigung beim Anfahren an der Kreuzung den Einsatz der Feststellbremse, um ein Rollen des Fahrzeuges nach hinten zu vermeiden.

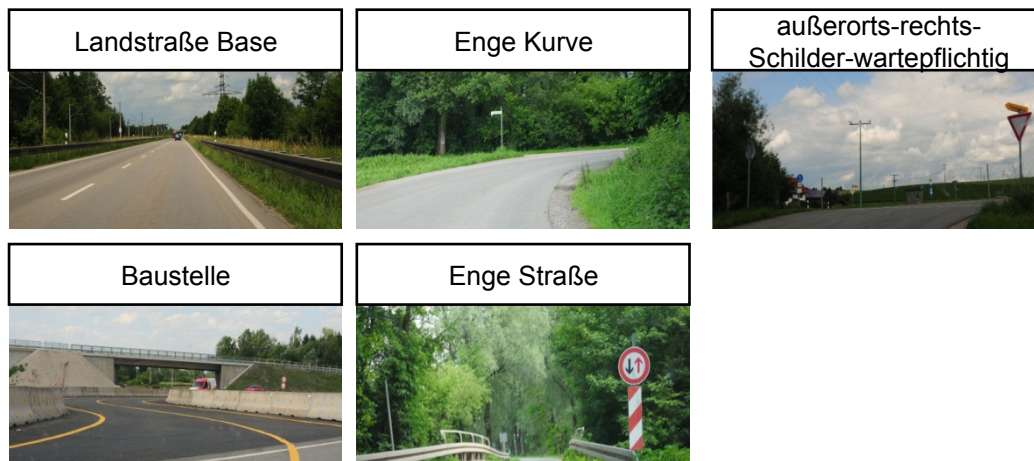


Abbildung Anhang H.2: Situationen der Schleife B, Teilabschnitt 1 der Realstudie

Nach einer Pause erreichen die Versuchspersonen zu Beginn des Teilabschnittes 2 der Schleife B (Abbildung Anhang H.3) die selbe Kreuzung, wie zuletzt in Teilabschnitt 1. An dieser Kreuzung wird diesmal nach links abgebogen. Anschließend wird eine Kreuzung auf der Vorfahrtsstraße passiert. Anders als im Simulatorversuch befindet sich an dieser Kreuzung rechts eine Bushaltestelle. Danach wird die Vorfahrtsstraße über eine Rechtsabbiegespur an einer T-Kreuzung verlassen. In der Simulatorstudie ist diese Situation an einer X-Kreuzung ohne separate Abbiegespur umgesetzt. Die sich anschließende rechts-vor-links-geregelte Kreuzung befindet sich wie in der Simulatorstudie kurz vor einem bebauten Gebiet. Allerdings ist diese in der realen Umgebung weiter vom Ortsrand entfernt, weswegen sie in der Realstudie mit außerorts bezeichnet wird. Die beiden darauf folgenden Kreuzungssituationen finden in einem Gewerbegebiet statt. Bei der Überquerung einer Vorfahrtsstraße muss die gegenüberliegende Verkehrsinsel beachtet werden. Die sich anschließende rechts-vor-links-geregelte Kreuzung ist durch die dort vorhandene Bebauung später einsehbar als ihr Pendant in der Fahrsimulatorstudie. Bei der letzten Kreuzungssituation dieses Abschnittes, bei welcher bei rechts-vor-links nach rechts abgebogen wird, werden die Versuchspersonen durch einen Fußgänger zum Anhalten gezwungen. Dieser überquert die Straße, in die eingebogen werden soll. Aufgrund einer Streckensperrung wegen einer Baustelle kann ein Teil der Versuchspersonen die letzten vier Situationen dieses Teilabschnittes nicht in der vorgesehen Reihenfolge absolvieren.

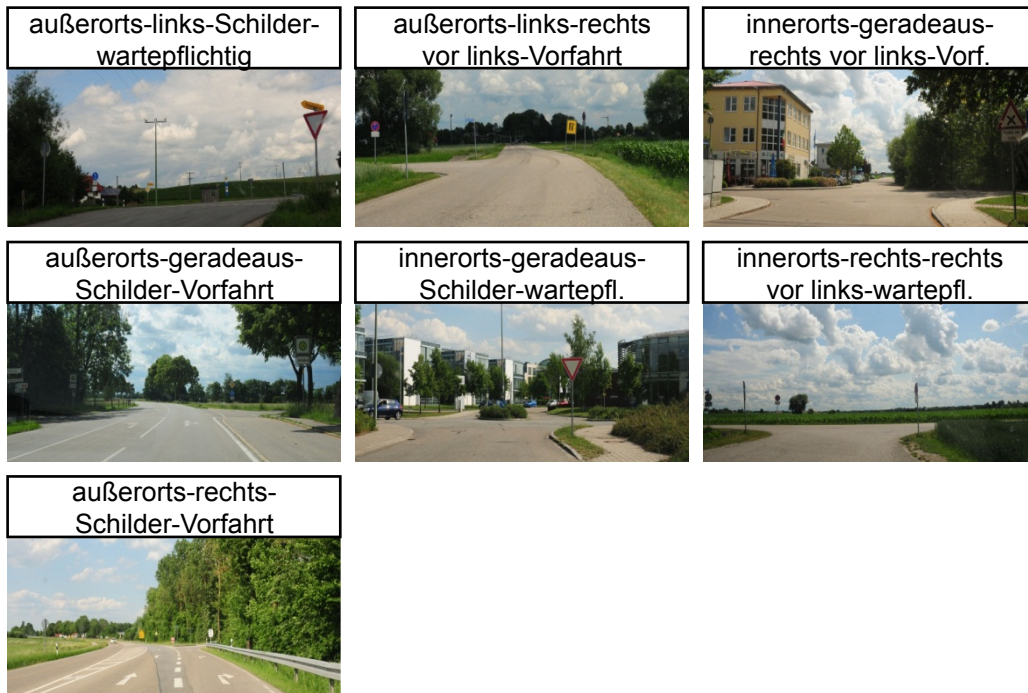


Abbildung Anhang H.3: Situationen der Schleife B, Teilabschnitt 2 der Realstudie

In Abbildung Anhang H.4 sind die vier Situationen des Teilabschnittes 1 der Schleife C zu sehen. Nach Passieren eines Kreisverkehrs, der sich anders als im Simulatorversuch in unbebautem Gebiet befindet und daher gut einsehbar ist, wird an einer schildergeregelten Kreuzung von der Vorfahrtsstraße nach links abgebogen. Im Gegensatz zur simulierten X-Kreuzung erfolgt diese Situation in der Realität an einer T-Kreuzung. Anschließend passieren die Versuchspersonen eine schlechte Straße, die im Simulator technisch nicht realisiert werden konnte. Die letzte Situation dieses Abschnittes findet auf einer zwei- statt vierspurigen Straße innerorts statt. Sie erfordert die erhöhte Aufmerksamkeit der Versuchspersonen aufgrund von Passanten und Radfahrern am Straßenrand.



Abbildung Anhang H.4: Situationen der Schleife C, Teilabschnitt 1 der Realstudie

Teilabschnitt 2 der Schleife C spielt sich in einem Gewerbegebiet mit breiten Straßen und einer guten Übersichtlichkeit ab (Abbildung Anhang H.5). Wie in den oben beschriebenen Teilabschnitten herrscht auch hier Umgebungsverkehr, der nicht kontrolliert werden kann. Außerdem kann die jeweils herrschende Vorfahrtsituation an den einzelnen Kreuzungen

nicht kontrolliert werden. Die ersten beiden Kreuzungssituationen unterscheiden sich in den wesentlichen Charakteristika nicht gravierend von denen der Simulatorstudie. Auch die dritte Situation, das Überqueren einer ampelgeregelten Kreuzung weist mit Ausnahme der mittig angelegten Verkehrsinsel eine hohe Ähnlichkeit zur simulierten Kreuzung auf. Im Anschluss an diese Kreuzung wird die Grundbeanspruchung bei Fahrten innerorts erhoben, bevor an einer der simulierten Kreuzung ähnlichen Kreuzung von der Vorfahrtsstraße nach rechts abgebogen wird. Die nächste Kreuzung, an der rechts abgebogen wird, unterscheidet sich von der simulierten Kreuzung durch eine bauliche Trennung der beiden Fahrtrichtungen. Nachdem die Versuchspersonen auf die Autobahn aufgefahren sind, erfolgt die Anweisung „Lenkzeit überschritten – bitte Parkplatz anfahren“ durch den Versuchsleiter. Auf dem Parkplatz wird im Anschluss die Befragung durchgeführt. Die Situation Abbiegen planen, die obiges Bild beispielhaft zeigt, wird für jeden Abbiegevorgang erhoben.

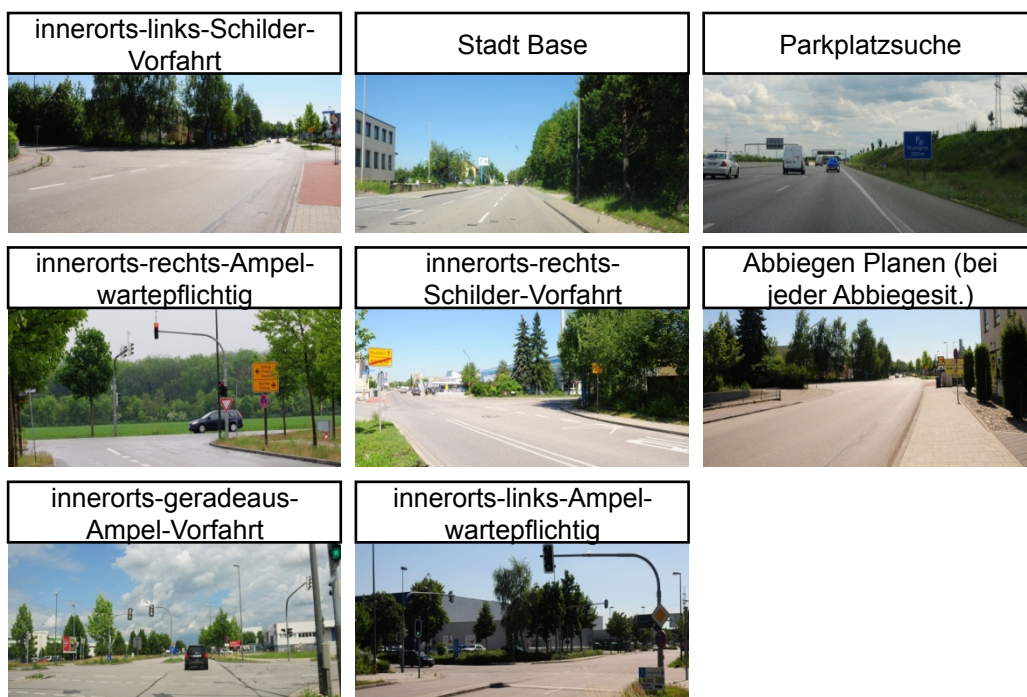


Abbildung Anhang H.5: Situationen der Schleife C, Teilabschnitt 2 der Realstudie

Anhang I: Beschreibung der explorativen Studie zu Vorbereitungs- und Erholungszeiten

Eine Studie soll Aufschluss darüber geben, ob Vorbereitungs- und Erholungszeiten im Informationsmanagement Berücksichtigung finden sollen und ob diese statisch oder dynamisch in Abhängigkeit von der Beanspruchung vorzusehen sind [Sei12e]. Zur Klärung der Frage nach einer dynamischen Auslegung wird ein möglicher Einfluss der beiden Beanspruchungsdimensionen Höhe und Dauer nach Kastner [Kas78 zitiert nach Hoy86, S. 8] auf Vorbereitungs- und Erholungszeiten untersucht.

Zur Überprüfung der beiden Fragestellungen wird eine explorative Probandenstudie am statischen HMI-Prüfstand der MAN Truck & Bus AG durchgeführt (Abbildung Anhang I.1). Der Prüfstand ist als Sitzkiste konzipiert, welche über Fahrersitz, Lenkrad, Kombiinstrument und Pedalerie in einer der Realität entsprechenden Ausführung und Anordnung verfügt. Die Sichtsimulation erfolgt über eine Leinwand, die frontal vor der Sitzkiste angebracht ist und einen linken Außenspiegel, der über einen TFT-Monitor realisiert wird. Als Simulationsfahrzeug dient ein Sattelzug mit voll beladenem Auflieger. An der Studie nehmen 29 Versuchspersonen mit Lkw-Fahrerfahrung im Alter von 23-68 Jahren ($M=47,6$; $SD=11,3$) teil. Eine Person beendet den Versuch vorzeitig. Diese Daten gehen nicht in die Auswertung mit ein [Sei12e].



Abbildung Anhang I.1: statischer HMI-Prüfstand

Für die Untersuchung der Erholungszeit werden folgende drei Hypothesen formuliert [Sei12e].

- Hypothese 1: Wenn Lkw-Fahrer eine kognitiv beanspruchende Situation hinter sich gebracht haben, benötigen sie eine gewisse Zeitspanne zur Erholung, bevor sie Fahrzeugmeldungen erhalten möchten .
- Hypothese 2: Je höher der Beanspruchungsfaktor in der Situation war, desto länger ist die benötigte Erholungszeit.
- Hypothese 3: Je länger die beanspruchende Situation angedauert hat, desto länger ist die benötigte Erholungszeit.

Für die Untersuchung der Vorbereitungszeit ist die Betrachtung der Dauer einer beanspruchenden Situation nicht möglich, weil diese sowohl durch die Versuchspersonen als

auch durch die Situationserkennung nur eingeschränkt vorhersehbar ist. Daher werden für die Untersuchung von t_{vor} nur die Hypothesen 1 und 2 adaptiert.

An dieser Stelle sei auf den explorativen Charakter der Studie hingewiesen. Sie dient einer Beurteilung der Notwendigkeit und grundsätzlichen Auslegung einer Vorbereitungszeit t_{vor} und einer Erholungszeit t_{erh} im Rahmen des Informationsmanagements. Es ist nicht Anspruch der Studie, ein exaktes Bild über Vorbereitung auf und Erholung von beanspruchenden Situationen beim Führen eines Fahrzeuges zu generieren.

Für die Untersuchung der Hypothesen wird eine Auswahl aus den Situationen herangezogen, die in der Nachschlagetabelle zur indirekten Beanspruchungsschätzung hinterlegt sind [Sei12e]. Bei der Auswahl der Situationen sind einige Randbedingungen zu berücksichtigen. Es können beispielsweise aufgrund des gegebenen Sichtsystems des HMI-Prüfstands keine Situationen implementiert werden, bei welchen die Sicht zur Seite eine tragende Rolle spielt [Sei12e]. Die anhand der Randbedingungen ausgewählten sechs Situationen rufen unterschiedlich hohe Beanspruchung hervor. Zusätzlich sind drei der sechs Situationen in ihrer Dauer variierbar (Abbildung Anhang I.2). Für die Situation knapper Einscherer, welche unter anderem durch ihr Überraschungsmoment gekennzeichnet ist, ist eine Untersuchung der Vorbereitungszeit ebenso wie für die Situation Abbremsen aufgrund eines langsameren Vorderfahrzeuges nicht möglich.

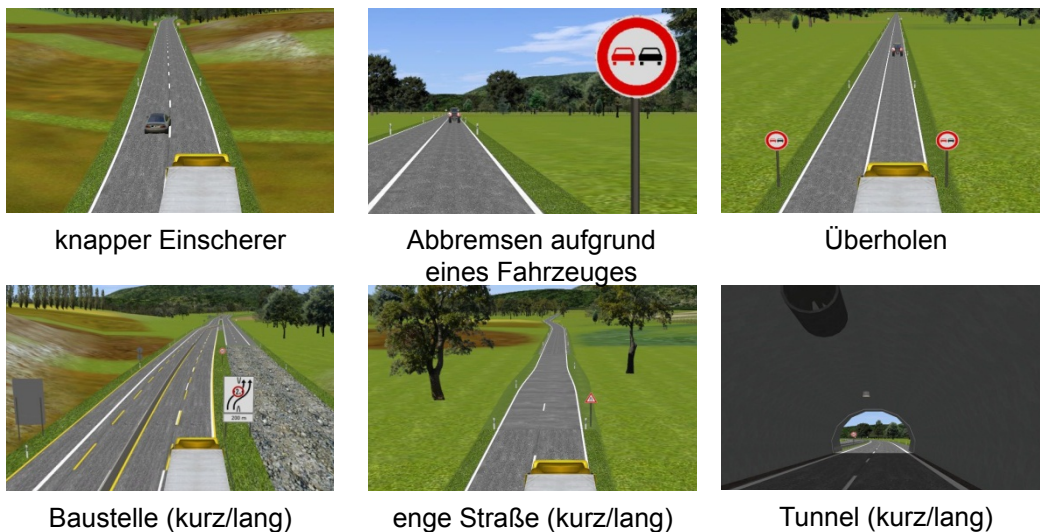


Abbildung Anhang I.2: Situationen der Studie zur Untersuchung von Vorbereitungs- und Erholungszeiten

Nach einer Eingewöhnungsfahrt absolviert jede der Versuchspersonen die insgesamt neun Situationen, die Abbildung Anhang I.2 zeigt, in permutierter Reihenfolge je zwei Mal [Sei12e]. Die erste der beiden Fahrten dient dazu, einen Eindruck von der Situation zu bekommen und stellt außerdem eine erste Konfrontation der Versuchspersonen mit einer ausgegebenen Fahrzeugmeldung sowohl vor als auch kurz nach der beanspruchenden Situation dar. Für die zweite Fahrt werden die Versuchspersonen gebeten, vor der beanspruchenden Situation zu dem Zeitpunkt eine Taste zu drücken, ab dem eine Fahrzeugmeldung in der Vorbereitung auf die kommende Situation stören würde. Ausgenommen hiervon sind die bereits genannten Situationen Einscherer und Abbremsen. Nach der beanspruchenden Situation sollte erneut eine Taste am Multifunktionslenkrad gedrückt wer-

den zu dem Zeitpunkt, ab dem die Ausgabe einer Meldung wieder akzeptiert werden würde. Für eine detaillierte Versuchsbeschreibung sei auf [Sei12e] verwiesen.

Die Auswertung der Daten ergibt folgende Empfehlungen für die Berücksichtigung von t_{vor} und t_{erh} . Zwischen der Erholungszeit und der Dauer der Beanspruchung kann kein Zusammenhang gefunden werden, wodurch oben formulierte Hypothese drei abzulehnen ist [Sei12e]. Auf dem Niveau von $\alpha=5\%$ wird ein signifikanter, jedoch schwacher quadratischer Zusammenhang zwischen der Höhe der Beanspruchung und der gewünschten Erholungszeit gefunden ($R^2 = .42$, $p < .001$) [Sei12e]. Vor dem Hintergrund des schwachen Zusammenhangs sowie dem Wunsch nach einem möglichst nachvollziehbaren Algorithmus zur zeitlichen Optimierung der Meldungsabgabe wird auf eine dynamische Auslegung von t_{erh} im Rahmen des Informationsmanagements verzichtet. Für eine prototypische Determinierung des statischen Wertes t_{erh} wird die Situation knapper Einscherer von der Auswertung ausgenommen. Der Hintergrund für diese Entscheidung ist die Feststellung, dass die Versuchspersonen aufgrund dessen, dass das einscherende Fahrzeug im Anschluss an das Manöver vor dem Lkw weiter herfährt, kein eindeutiges Situationsende identifizieren und dementsprechend keine eindeutige Erholungszeit angeben können.

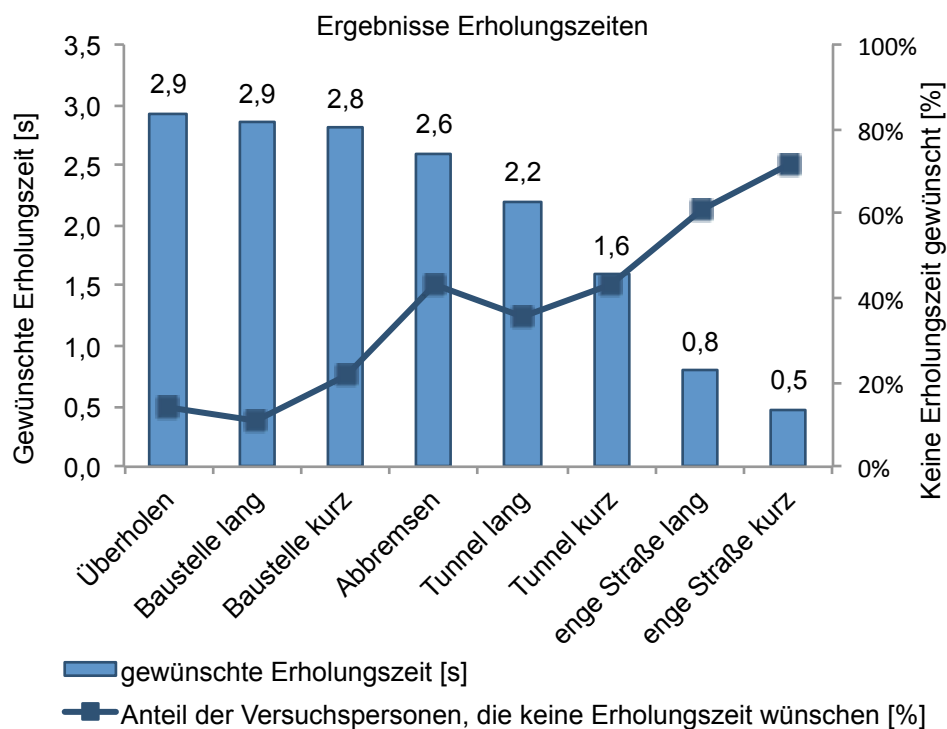


Abbildung Anhang I.3: gewünschte Erholungszeit nach beanspruchenden Situationen

Abbildung Anhang I.3 zeigt die Ergebnisse der Untersuchung der Erholungszeiten. Im Mittel wird für die verbleibenden acht getesteten Situationen eine Erholungszeit von 2,0 Sekunden gewünscht ($SD = 0,91s$). Die längste Erholungszeit wird nach der Situation Überholen gewünscht ($M = 2,9s$; $SD = 2,33s$), gefolgt von der langen Baustelle ($M = 2,8s$; $SD = 1,92$) und der kurzen Baustellendurchfahrt ($M = 2,8s$; $SD = 2,00s$) [Sei12e]. Diese Werte entsprechen in etwa den Ergebnissen einer Studie von Alm [Alm93] zum minimal nötigen Zeitabstand zwischen der Ausgabe zweier akustischer Meldungen. Alms Untersuchungen ergeben einen Wert von 3 Sekunden. Entsprechend wird im IMM der Parameter t_{erh} auch dafür verwendet, einen zeitlichen Mindestabstand zwischen der Ausgabe mehre-

rer Meldungen zu definieren. Dieser Wert ist für den Fall von Bedeutung, dass während einer beanspruchenden Situation mehrere Meldungen zurückgehalten werden. Insgesamt ist ein deutlicher Bodeneffekt zu verzeichnen. Bis zu 71% der Versuchspersonen geben an, keine Erholungszeit zu benötigen. Außerdem sind relativ hohe Standardabweichungen zu beobachten. Zusammenfassend wird vor dem Hintergrund des explorativen Charakters der Studie im Rahmen des Informationsmanagements eine Erholungszeit empfohlen, welche zwischen zwei und drei Sekunden liegt.

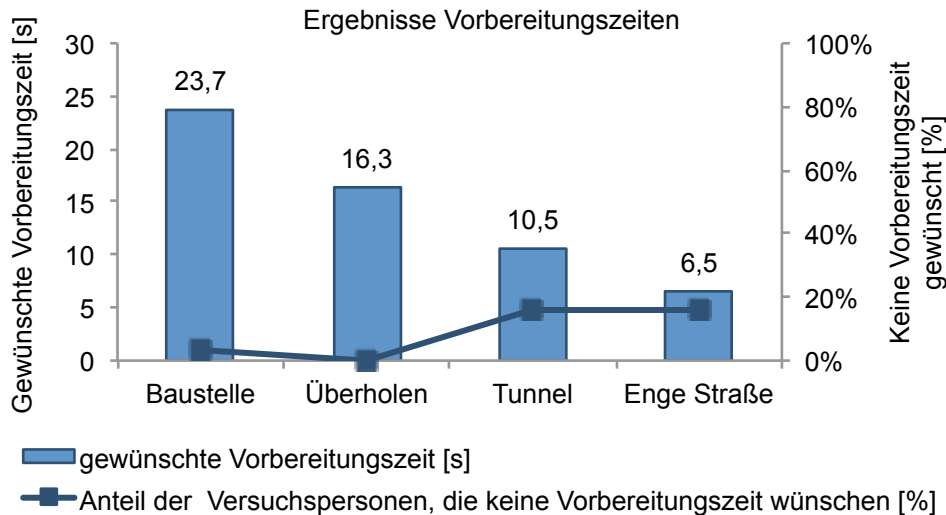


Abbildung Anhang I.4: gewünschte Vorbereitungszeit vor beanspruchenden Situationen

Für die Untersuchung der Vorbereitungszeit werden die langen und kurzen Situationen zu je einer Situation zusammengefasst, weil die Versuchspersonen vor einer Situation deren Länge nicht antizipieren können. Die Untersuchung der gewünschten Vorbereitungszeit (Abbildung Anhang I.4) führt zu dem Schluss, dass diese eine deutlich wichtigere Rolle im Vergleich zur Erholungszeit einzunehmen scheint. So wünschen sich die Versuchspersonen im Mittel über die sieben getesteten Situationen eine Vorbereitungszeit von 14,2 Sekunden ($SD = 6,47s$). Die längste Vorbereitungszeit erfordert die Situation Baustelle ($M = 23,7$; $SD = 13,82$). Die lange Vorbereitungszeit ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Baustelle im Vorfeld durch Verkehrsschilder angekündigt wird. Offensichtlich wünschen die Versuchspersonen bereits dann keine weitere Ausgabe von Fahrzeugmeldungen. Auf eine Vorbereitungszeit können je nach Situation bis zu 18% der Versuchsteilnehmer gänzlich verzichten, deutlich weniger als auf eine Erholungszeit verzichten würden. Im Rahmen des Informationsmanagements im Nutzfahrzeug wird als prototypischer Wert für die Vorbereitungszeit der gefundene Mittelwert von 14 Sekunden vorgeschlagen. In diesen 14 Sekunden vor einer beanspruchenden Situation ist damit zu rechnen, dass sich Fahrer auf die bevorstehende Situation konzentrieren und durch Meldungen nicht gestört werden möchten.

Anhang J: Fragebögen der evaluierenden Abschlussstudie

Fragebogen zur Person dieser Fragebogen wird zu Beginn des Versuchs ausgefüllt.



Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. M. Lienkamp



Nummer: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Fragebogen zur Person

- | | | |
|---|---|---|
| 1 | Wie alt sind Sie? | _____ |
| 2 | Sie sind ...? | <input type="radio"/> weiblich <input type="radio"/> männlich |
| 3 | Benutzen Sie eine Sehhilfe? | <input type="radio"/> nein
<input type="radio"/> ja, folgende:
<input type="radio"/> Brille
<input type="radio"/> Kontaktlinsen
<input type="radio"/> beides zu gleichen Teilen |
| 4 | Für welche Klassen gilt Ihr Führerschein? | <input type="radio"/> Auto
<input type="radio"/> Motorrad
<input type="radio"/> LKW |
| 5 | Seit wie vielen Jahren besitzen Sie Ihren LKW Führerschein? | _____ |
| 6 | Seit wie vielen Jahren sind Sie mit dem LKW unterwegs? | _____ |
| 7 | Was sind Sie von Beruf? | _____ |
| 8 | Wie häufig sind Sie mit dem LKW unterwegs? | <input type="radio"/> aktuell hauptberuflich
<input type="radio"/> nebenher |
| 9 | An wie vielen Tagen pro Woche sind Sie mit dem LKW unterwegs? | <input type="radio"/> 5 – 7 Tage pro Woche
<input type="radio"/> 3 – 4 Tage pro Woche
<input type="radio"/> 1 – 2 Tage pro Woche
<input type="radio"/> weniger als 1 Tag pro Woche |



- | | | |
|-------|--|---|
| 10 | Wie viele km fahren Sie durchschnittlich pro Jahr im LKW? | <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> weniger als 10.000 km<input type="radio"/> 10.000 – 50.000 km<input type="radio"/> 50.000 – 100.000 km<input type="radio"/> 100.000 – 150.000 km<input type="radio"/> 150.000 km oder mehr |
| <hr/> | | |
| 11 | Mit welcher LKW-Marke sind Sie hauptsächlich unterwegs? | _____ |
| <hr/> | | |
| 12 | In welchem Segment sind Sie derzeit am häufigsten unterwegs? | <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Fernverkehr national<input type="radio"/> Fernverkehr international<input type="radio"/> Verteilerverkehr<input type="radio"/> andere |
| <hr/> | | |
| 13 | Haben Sie bereits Situationen erlebt, in denen Sie durch eine Fahrzeugmeldung vom Fahren abgelenkt wurden? | _____

_____ |
| <hr/> | | |
| 14 | Wie müde sind Sie im Moment? | <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> sehr wach<input type="radio"/> wach<input type="radio"/> eher wach<input type="radio"/> neutral<input type="radio"/> eher müde<input type="radio"/> müde<input type="radio"/> sehr müde |
| <hr/> | | |
| 15 | Wie aufgeregt sind Sie im Moment? | <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> sehr aufgeregt<input type="radio"/> aufgeregt<input type="radio"/> eher aufgeregt<input type="radio"/> neutral<input type="radio"/> eher ruhig<input type="radio"/> ruhig<input type="radio"/> sehr ruhig |

Fragebogen zur Fahrt allgemein dieser Fragebogen wird im Anschluss an jede der Fahrten ausgefüllt.



Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. M. Lienkamp



Nummer: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Konfiguration: _____

Fragebogen zur Fahrt allgemein

1 Als wie **anstrengend** empfanden Sie die letzte Fahrt insgesamt?

überhaupt nicht
anstrengend

wenig
anstrengend

mittelmäßig
anstrengend

ziemlich
anstrengend

sehr
anstrengend

keine
Angabe

2 In welchem Maße fühlten Sie sich beim Fahren insgesamt durch die Meldungen **gestört**?

überhaupt nicht
gestört

wenig
gestört

mittelmäßig
gestört

ziemlich
gestört

sehr
gestört

keine
Angabe

3 Gab es während der letzten Fahrt eine Meldung, die Sie als besonders störend empfunden haben?

nein

ja

Wenn ja, welche und warum?

4 Gab es in der letzten Fahrt eine Situation, die Sie als **brenzlich oder gar gefährlich** bezeichnen würden?

nein

ja

Wenn ja, welche und warum?

Hinweis für Versuchsleitung: bei Konfiguration „ohne Meldungen“ bei Frage 2 und Frage 3 „keine Angabe“ ankreuzen!

Fragebogen NASA TLX dieser Fragebogen wird im Anschluss an jede der Fahrten ausgefüllt.



Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. M. Lienkamp



Nummer: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Konfiguration: _____

Fragebogen NASA TLX

Im Folgenden werden Ihnen Fragen zur Beanspruchung bei Ihrer letzten Fahrt gestellt

1 Mentale (geistige) Beanspruchung: In welchem Maße stellte die vorherige Fahrt geistige Anforderungen, also denken, entscheiden, beobachten?



sehr **geringe** mentale Beanspruchung

sehr **hohe** mentale Beanspruchung

2 Physische (körperliche) Beanspruchung: Wie viel körperliche Aktivität, insbesondere der Augen, war in der vorherigen Fahrt erforderlich?



sehr **geringe** physische Beanspruchung

sehr **hohe** physische Beanspruchung

3 Zeitliche Anforderung: Welchen Zeitdruck empfanden Sie während der vorherigen Fahrt?



sehr **geringe** zeitliche Anforderungen

sehr **hohe** zeitliche Anforderungen

4 Aufgabenerfüllung: Wie zufrieden sind Sie mit dem Grad an Aufgabenerfüllung, also Ihrer Fahrleistung, in der vorherigen Fahrt?



sehr **hohe** Zufriedenheit mit der Aufgabenerfüllung

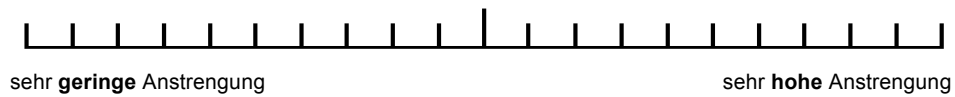
sehr **geringe** Zufriedenheit mit der Aufgabenerfüllung



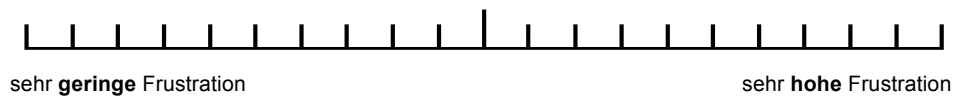
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. M. Lienkamp



5 Anstrengung: Wie sehr mussten Sie sich während der vorherigen Fahrt insgesamt anstrengen (geistig und körperlich)?



6 Frustration: In welchem Maße fühlten Sie sich während der vorherigen Fahrt genervt, unsicher, entmutigt, verärgert, gestresst?



Fragebogen Meldungen dieser Fragebogen wird im Anschluss an jede der Fahrten durch die Versuchsleitung ausgefüllt.



Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. M. Lienkamp



Nummer: _____ Datum: _____ Uhrzeit: _____

Konfiguration: _____

Hinweise für Versuchsleitung:

- Reihenfolge der genannten Meldungen ist egal

Fragebogen zu den Meldungen

1 An welche Meldungen können Sie sich erinnern?

Satz1: Störung Bordrechner
Satz2: Störung Fahrzeugrechner

wortwörtlich korrekt	sinngemäß korrekt	Teile vergessen / falsch	vollständig vergessen
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Satz1: ASR Ausfall
Satz2: SW-Reinigung Ausfall

wortwörtlich korrekt	sinngemäß korrekt	Teile vergessen / falsch	vollständig vergessen
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Satz1: Schalter defekt Warnblinker
Satz2: Bremslicht Zugm. Ausfall

wortwörtlich korrekt	sinngemäß korrekt	Teile vergessen / falsch	vollständig vergessen
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Satz1: Tagfahrlicht re Ausfall
Satz2: Abblendlicht li Ausfall

wortwörtlich korrekt	sinngemäß korrekt	Teile vergessen / falsch	vollständig vergessen
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. M. Lienkamp



Satz1: Nebel-SW li Ausfall
Satz2: Blinker Zugm. li Ausfall

wortwörtlich korrekt	sinngemäß korrekt	Teile vergessen / falsch	vollständig vergessen
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Satz1: Fernlicht li Ausfall
Satz2: Fernlicht re Ausfall

wortwörtlich korrekt	sinngemäß korrekt	Teile vergessen / falsch	vollständig vergessen
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Satz1: Motoröltemp. zu hoch
Satz2: Kühlwassertemp. zu hoch

wortwörtlich korrekt	sinngemäß korrekt	Teile vergessen / falsch	vollständig vergessen
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Satz1: ABS Anhänger Ausfall
Satz2: Verschleiss Bremsbeläge

wortwörtlich korrekt	sinngemäß korrekt	Teile vergessen / falsch	vollständig vergessen
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fragebogen zur Karte dieser Fragebogen wird im Anschluss an jede der Fahrten ausgefüllt.



Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. M. Lienkamp



Nummer: _____ Datum: _____ Uhrzeit: _____

Konfiguration: _____

Hinweise für Versuchsleitung:

- Karte vorlegen und Meldungen entsprechend Meldungssatz und Strecke vorbereiten
- Meldungen in der Reihenfolge durchgehen, in der sie zeitlich aufgetreten sind.
- Beim Suchen des Ausgabeortes der Meldung auf der Karte den Probanden zum Laut Denken anregen!
Gedankliche Verbindung: beim Suchen des Ausgabeortes auf der Karte wurde laut gedacht und die Situation genannt/in Zusammenhang zur Meldung gesehen/etc.

Fragebogen zur Karte

- 1 Bitte ordnen Sie folgende Meldungen auf der Karte entsprechend ihres örtlichen Auftretens ein und bewerten die Meldungen

Ort:

vom Versuchsleiter auszufüllen: stellte der Proband eine gedankliche Verbindung zur Fahraufgabe in der zugeordneten Situation her?

ja	nein	Angabe nicht möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie sehr fühlten Sie sich durch diese Meldung in Ihrer Fahraufgabe gestört?

überhaupt nicht gestört	wenig gestört	mittelmäßig gestört	ziemlich gestört	sehr gestört	keine Angabe
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ort:

vom Versuchsleiter auszufüllen: stellte der Proband eine gedankliche Verbindung zur Fahraufgabe in der zugeordneten Situation her?

ja	nein	Angabe nicht möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie sehr fühlten Sie sich durch diese Meldung in Ihrer Fahraufgabe gestört?

überhaupt nicht gestört	wenig gestört	mittelmäßig gestört	ziemlich gestört	sehr gestört	keine Angabe
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Ort:

vom Versuchsleiter auszufüllen: stellte der Proband eine gedankliche Verbindung zur Fahraufgabe in der zugeordneten Situation her?

ja	nein	Angabe nicht möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie sehr fühlten Sie sich durch diese Meldung in Ihrer Fahraufgabe gestört?

überhaupt nicht gestört	wenig gestört	mittelmäßig gestört	ziemlich gestört	sehr gestört	keine Angabe
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ort:

vom Versuchsleiter auszufüllen: stellte der Proband eine gedankliche Verbindung zur Fahraufgabe in der zugeordneten Situation her?

ja	nein	Angabe nicht möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie sehr fühlten Sie sich durch diese Meldung in Ihrer Fahraufgabe gestört?

überhaupt nicht gestört	wenig gestört	mittelmäßig gestört	ziemlich gestört	sehr gestört	keine Angabe
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ort:

vom Versuchsleiter auszufüllen: stellte der Proband eine gedankliche Verbindung zur Fahraufgabe in der zugeordneten Situation her?

ja	nein	Angabe nicht möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie sehr fühlten Sie sich durch diese Meldung in Ihrer Fahraufgabe gestört?

überhaupt nicht gestört	wenig gestört	mittelmäßig gestört	ziemlich gestört	sehr gestört	keine Angabe
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. M. Lienkamp



Ort:

vom Versuchsleiter auszufüllen: stellte der Proband eine gedankliche Verbindung zur Fahraufgabe in der zugeordneten Situation her?

ja	nein	Angabe nicht möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie sehr fühlten Sie sich durch diese Meldung in Ihrer Fahraufgabe gestört?

überhaupt nicht gestört	wenig gestört	mittelmäßig gestört	ziemlich gestört	sehr gestört	keine Angabe
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ort:

vom Versuchsleiter auszufüllen: stellte der Proband eine gedankliche Verbindung zur Fahraufgabe in der zugeordneten Situation her?

ja	nein	Angabe nicht möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie sehr fühlten Sie sich durch diese Meldung in Ihrer Fahraufgabe gestört?

überhaupt nicht gestört	wenig gestört	mittelmäßig gestört	ziemlich gestört	sehr gestört	keine Angabe
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ort:

vom Versuchsleiter auszufüllen: stellte der Proband eine gedankliche Verbindung zur Fahraufgabe in der zugeordneten Situation her?

ja	nein	Angabe nicht möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie sehr fühlten Sie sich durch diese Meldung in Ihrer Fahraufgabe gestört?

überhaupt nicht gestört	wenig gestört	mittelmäßig gestört	ziemlich gestört	sehr gestört	keine Angabe
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fragebogen zum Informationsmanagement allgemein (Abschluss) dieser Fragebogen wird im Anschluss die letzte der Fahrten und nach der Erklärung des Informationsmanagementsystems ausgefüllt.



Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. M. Lienkamp



Nummer: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Fragebogen Abschluss

In zwei der eben gefahrenen Strecken war ein Fahrerassistenzsystem aktiv, ein sogenannter Meldungsmanager. Der Meldungsmanager arbeitet in Situationen, in denen Sie sich auf das Fahren konzentrieren müssen und nicht abgelenkt werden sollten, wie z.B. Abbiegesituationen, engen Kurven, Autobahnauffahrten etc. Der Meldungsmanager sorgt dafür, dass in diesen Situationen keine Fahrzeugmeldungen ausgegeben werden. Die Fahrzeugmeldungen werden für einige wenige Minuten zurückgehalten und erst dann ausgegeben, wenn die Situation, also z.B. der Abbiegevorgang vorbei ist. Wirklich wichtige oder sicherheitskritische Fahrzeugmeldungen werden immer sofort ausgegeben. Bitte bewerten Sie folgende Aussagen über einen solchen Meldungsmanager.

1	Angenommen, ich hätte den Meldungsmanager in meinem Lkw, dann würde ich beabsichtigen, ihn auch zu benutzen								Stimme vollkommen zu
	Stimme überhaupt nicht zu	o	o	o	o	o	o	o	
2	Die Benutzung des Meldungsmanagers verbessert meine Leistung als Lkw-Fahrer								Stimme vollkommen zu
	Stimme überhaupt nicht zu	o	o	o	o	o	o	o	
3	Ich finde den Meldungsmanager nützlich für meinen Job als Lkw-Fahrer								Stimme vollkommen zu
	Stimme überhaupt nicht zu	o	o	o	o	o	o	o	
4	Die Ergebnisse der Nutzung des Meldungsmanagers sind für mich ersichtlich								Stimme vollkommen zu
	Stimme überhaupt nicht zu	o	o	o	o	o	o	o	
5	Ich finde den Meldungsmanager sinnvoll								Stimme vollkommen zu
	Stimme überhaupt nicht zu	o	o	o	o	o	o	o	
6	Ich vertraue dem Meldungsmanager								Stimme vollkommen zu
	Stimme überhaupt nicht zu	o	o	o	o	o	o	o	