



Lehrstuhl für Ergonomie

Adaptives Informationskonzept für beanspruchende urbane Fahrsituationen

Linda Maria Köhler M. A.

Vollständiger Abdruck der von der promotionsführenden Einrichtung
Munich Center for Technology in Society der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.)
genehmigten Dissertation.

Vorsitzende: Prof. Dr. Sabine Maasen
Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr. Klaus Bengler
2. Prof. Dr. Berthold Färber
3. Prof. Dr. Maria Bannert

Die Dissertation wurde am 05.04.2018 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die promotionsführenden Einrichtung Munich Center for Technology in Society am
04.12.2018 angenommen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mir die Möglichkeit zur Erstellung dieser Arbeit gegeben und mich auf meinem Weg unterstützt und begleitet haben.

Allen voran danke ich meinem Doktorvater, Prof. Dr. Klaus Bengler, der mir stets wichtige Anregungen bei der Themengestaltung gegeben hat und die Durchführung und Erstellung der Arbeit innerhalb der Rahmenbedingungen des Lehrstuhls für Ergonomie an der Technischen Universität München ermöglicht hat. Des Weiteren bedanke ich mich bei Prof. Dr. Berthold Färber für die Übernahme des Zweitgutachtens und die vielen interessanten Diskussionen sowie die Unterstützung bei meinen Studiendurchführungen auf dem Prüfgelände der Universität der Bundeswehr in Neubiberg. Außerdem danke ich Prof. Dr. Maria Bannert für die Übernahme des Drittgutachtens und Prof. Dr. Sabine Maasen für die Übernahme des Vorsitzes des Promotionsverfahrens.

Ein großer Dank geht an Dr. Dirk Blaese und Jürgen Meurle für die Ermöglichung der Arbeit in der Abteilung Entwicklung Ergonomiekonzepte, ihre Begleitung in der AUDI AG ebenso wie für die vielen fachlichen Diskussionen und Impulse. Dr. Christian Mergl möchte ich für seine hilfreichen Ratschläge, die durchgängige Betreuung und vor allem die stete Wertschätzung ganz herzlich danken. Seine Diskussionsbereitschaft und die daraus resultierenden Anregungen und Ideen haben die Qualität der Arbeit maßgeblich geprägt. Außerdem danke ich allen Mitarbeitern der Abteilung für ihre Unterstützung und die Teilnahme an Studien, Expertenrunden und Präsentationen. Ich danke zudem Franz Wurm, Nadja Blanke, Maxi Vogel und Barbara Boos für ihr tatkräftiges Engagement während ihrer Tätigkeit als Bacheloranden/Masteranden.

Von den Doktorandenkollegen der AUDI AG und dem hilfsbereiten Team des Lehrstuhls für Ergonomie habe ich mich stets aufgenommen und verstanden gefühlt. Für die Ratschläge und den Erfahrungsaustausch möchte ich mich an dieser Stelle bedanken.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich über die gesamte Zeit hinweg motiviert, gestützt und gefördert haben. Ein ganz besonders herzlicher Dank geht dabei an meine Eltern und meinen Bruder für ihr entgegengebrachtes Vertrauen, ihre Anerkennung, ihren Rat und ihre Unterstützung. Außerdem möchte ich mich bei Steffen Tarashti, Carolin Holland, Stefanie Costiuk, Sophie Seifert und Eva Gaudlitz bedanken. Ihr gebt mir viel Kraft.

Linda Maria Köhler

Abstract

Urban traffic of the future is characterized by intelligent connectivity that allows early information on impending events for the driver. Adaptive assistance systems with predictive functions and support options provide a basis for safe, comfortable driving. The development of a driver-optimized, demand-based human-machine interface is essential for achieving this. The challenge consists in the interplay of the different incoming information depending on the current driving situation. Using accident statistics, it can be demonstrated that significant accident black spots in urban traffic are located primarily around intersections and junctions. These often represent especially stressful situations for the driver.

This thesis describes the development of a suitable information strategy in which the workload generated by the tertiary driving task can be minimized in a stressful urban driving situation. In an initial step, a concept development phase took place. This comprises both a needs analysis of various driving-related messages and a structured stress analysis of the driver using the example of an uncontrolled T-junction with priority-to-the-right rule. Both analyses serve as the basis for a situation-specific human-machine concept with driver-optimized information density for stressful driving situations. The concept derived is characterized by temporarily delaying driving-related information in phases of increased stress. The quality and quantity of the information remain unaffected. It was possible to demonstrate the potential of the concept empirically: An evaluation study on the driving simulator confirms that the driver's workload can be reduced by delaying information during phases of increased stress. Furthermore, the brief delay to messages is not perceived as negative.

The concept was evaluated in real driving studies and its transferability was ensured. The data collected confirms that the junction situation constitutes a stressful driving situation. Furthermore, reduced stress on the driver could be demonstrated by the information concept developed. Expansion into a final, comprehensive concept is based on further static urban driving situations (evasion maneuver) as well as on further sources of driving information (phone call). The low complexity and the associated reduced error rate characterize the situation-specific, driver-optimized information concept in urban road traffic.

Zusammenfassung

Der zukünftige urbane Verkehr zeichnet sich durch eine intelligente Vernetzung aus, welche eine frühzeitige Information des Fahrers über bevorstehende Ereignisse ermöglicht. Adaptive Assistenzsysteme mit vorausschauenden Funktionen und Unterstützungsmöglichkeiten liefern eine Basis für sicheres und komfortables Fahren. Im Zuge dessen ist die Entwicklung einer fahreroptimierten und bedarfsgerechten Mensch-Maschine-Schnittstelle essentiell. Die Herausforderung besteht hierbei im Zusammenwirken der unterschiedlichen eingehenden Informationen in Abhängigkeit von der aktuellen Fahrsituation. Anhand von Unfallzahlen kann nachgewiesen werden, dass bedeutende Unfallschwerpunkte im innerstädtischen Verkehr vor allem in Kreuzungs- und Einmündungsgebieten liegen. Diese stellen für den Fahrer häufig besonders beanspruchende Situationen dar.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung einer geeigneten Informationsstrategie, bei welcher der Workload, verursacht durch die tertiäre Fahraufgabe, in einer beanspruchenden urbanen Fahrsituation minimiert werden kann. In einem ersten Schritt hat eine Phase der Konzeptentwicklung stattgefunden. Diese beinhaltet sowohl die Bedarfsanalyse bezüglich verschiedener fahrrelevanter Meldungen, als auch eine strukturierte Beanspruchungsanalyse des Fahrers am Beispiel der T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung. Beide Analysen dienen als Grundlage für ein situationsspezifisches Mensch-Maschine-Konzept mit fahreroptimierter Informationsdichte für beanspruchende Fahrsituationen. Das abgeleitete Konzept zeichnet sich durch die temporäre Verzögerung von fahrrelevanten Informationen in Phasen erhöhter Beanspruchung aus. Die Qualität und Quantität der Informationen bleiben hierbei unverändert. Das Potential des Konzeptes konnte empirisch nachgewiesen werden: Eine Evaluationsstudie im Fahrsimulator bestätigt, dass der Workload des Fahrers durch die Verzögerung der Information in Phasen erhöhter Beanspruchung reduziert werden kann. Zudem wird die kurzfristige Verzögerung von Meldungen nicht negativ empfunden.

In Realfahrtstudien wurde das Konzept evaluiert und seine Übertragbarkeit gewährleistet. Die erhobenen Daten bestätigen, dass die Kreuzungssituation eine beanspruchende Fahrsituation darstellt. Zudem konnte eine verringerte Beanspruchung des Fahrers durch das entwickelte Informationskonzept nachgewiesen werden. Die Ausweitung auf ein finales ganzheitliches Konzept bezieht sich auf weitere statische, urbane Fahrsituationen (Ausweichsituation) sowie auf weitere Quellen von Fahrerinformation (Telefonanruf). Die geringe Komplexität und die damit verbundene verminderte Fehleranfälligkeit zeichnen das situationsspezifische und fahreroptimierte Informationskonzept im urbanen Straßenverkehr aus.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Ausgangssituation	10
1.1 Problemstellung	11
1.2 Zielsetzung	13
1.3 Unfallstatistiken.....	14
2 Erarbeitung psychologischer und ergonomischer Grundlagen.....	16
2.1 Kognitionspsychologische Grundlagen	17
2.1.1 Grundlagen menschlicher Wahrnehmung	18
2.1.2 Aufmerksamkeitstheorien.....	20
2.1.3 Konzept psychologischer Beanspruchung.....	22
2.2 Systemergonomische Grundlagen	24
2.2.1 Verkehrspsychologische Grundlagen der Fahraufgabe.....	26
2.2.2 Fahrerverhaltensmodelle	28
2.2.3 Fahrerbeanspruchung, -ablenkung und Performanz	30
2.3 Forschungsstand Workloadmanagement-Konzepte.....	32
2.3.1 Definition Workloadmanagement im Zusammenhang mit Fahrerassistenzsystemen.....	33
2.3.2 Vorhandene Ansätze zur Verringerung der Fahrerbeanspruchung.....	36
2.3.3 Messmethoden zur Beanspruchungsschätzung	39
3 Resultierender Forschungsbedarf	42
3.1 Herausforderungen an die Mensch-Maschine-Schnittstelle und kritische Auseinandersetzung mit vorhandenen Workloadmanagement-Ansätzen.....	43
3.2 Entwicklung eines Lösungsentwurfes	47
3.3 Ableitung der Forschungsfragen	49
4 Empirische Arbeit	52
4.1 Allgemeine Anmerkungen zum Vorgehen bei der Datenaufzeichnung, -aufbereitung und -auswertung.....	53
4.2 Konzeptentwicklung	54
4.2.1 Realfahrtstudie – Fahrerbeanspruchung im Kreuzungsbereich	55
4.2.1.1 Fragestellung	56
4.2.1.2 Methode	57
4.2.1.3 Ergebnisse	61
4.2.1.4 Diskussion.....	66
4.2.2 Expertenbefragung – unscharfe Datenlage	67
4.2.2.1 Fragestellung	68
4.2.2.2 Methode	68

4.2.2.3	Ergebnisse	71
4.2.2.4	Diskussion.....	75
4.2.3	Bedeutung für das ganzheitliche Workloadmanagement-Konzept.....	76
4.3	Konzeptevaluierung in der Simulationsumgebung	80
4.3.1	Fahrstudie im Simulator – Informationskonzepte.....	81
4.3.1.1	Fragestellung	81
4.3.1.2	Methode	82
4.3.1.3	Ergebnisse	87
4.3.1.4	Diskussion.....	92
4.4	Realfahrtevaluierung.....	94
4.4.1	Fahrstudie auf dem Prüfgelände – Evaluierung des Informationsmanagers.....	95
4.4.1.1	Fragestellung	95
4.4.1.2	Methode	96
4.4.1.3	Ergebnisse	100
4.4.1.4	Diskussion.....	105
4.4.2	Fahrstudie auf dem Prüfgelände – Evaluierung des Telefonmanagers	107
4.4.2.1	Fragestellung	108
4.4.2.2	Methode	109
4.4.2.3	Ergebnisse	112
4.4.2.4	Diskussion.....	116
5	Gesamtdiskussion	117
5.1	Zusammenführen und Diskussion der Ergebnisse	119
5.2	Praktische Implikationen	121
5.3	Ausblick	122
	Literatur.....	124
	Beteiligte studentische Arbeiten	142
	Anhang A: Realfahrtstudie – Fahrerbeanspruchung im Kreuzungsbereich.....	143
	Anhang B: Expertenbefragung – unscharfe Datenlage.....	150
	Anhang C: Fahrstudie im Simulator – Informationskonzepte	156
	Anhang D: Fahrstudie auf dem Prüfgelände – Evaluierung des Informationsmanagers	171
	Anhang E: Fahrstudie auf dem Prüfgelände – Evaluierung des Telefonmanagers	187

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 01: Übersicht und Einordnung wesentlicher Workloadmanagement-Konzepte (Vgl. Kapitel 2.3.2) und Integration des eigenen Ansatzes.....	46
Abbildung 02: Darstellung der schematischen Unterteilung des Manövers „Kreuzung überqueren mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ für das Links- beziehungsweise Rechtsabbiegen in sechs normative Phasen.....	48
Abbildung 03: Prozessgrafik zum angewendeten Vorgehen in der Arbeit.....	51
Abbildung 04: Drei zur Versuchsdurchführung gewählte unterschiedlich gut einsehbare Kreuzungen im Raum Neubiberg bei München.....	58
Abbildung 05: Prozessgrafik zum Ablauf der Realfahrtstudie zur Fahrerbeanspruchung im Kreuzungsbereich.....	60
Abbildung 06: Subjektive Bewertung der drei Items (Aufmerksamkeit, Beanspruchung und Konzentration) in Abhängigkeit von der Phase bei der Überquerung von Kreuzung C.....	63
Abbildung 07: Subjektive Rangzuordnung der Kreuzungen A, B und C in Abhängigkeit von deren Einsehbarkeit.....	64
Abbildung 08: Schematische Darstellung der zwei Versuchsteile in der Expertenbefragung..	69
Abbildung 09: Meldungsinhalte sortiert nach ihrer Häufigkeit, mit der sie im Alltag auftreten (eher häufig vs. durchschnittlich vs. eher selten) und nach dem theoretischen Cluster, dem sie zugeordnet wurden (Sicherheit vs. Umwelt vs. Fahrzeugstatus vs. Navigation vs. Onlinedienste) (Vgl. Köhler et al., 2015).....	70
Abbildung 10: Darstellung zweier exemplarischer Szenarien (Nr. 5 und Nr. 12), welche den Experten nacheinander auf einer Leinwand präsentiert wurden und anhand von sechs Kriterien bewertet wurden.....	71
Abbildung 11: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den subjektiv bewerteten Kriterien „Verzichtbarkeit“ und „Relevanz“ inklusive der drei berechneten Cluster für $n = 30$	74
Abbildung 12: Empfehlung für die Informationsdarbietung bei der Überquerung der Kreuzung am Beispiel des Linksabbiegens (Vgl. Köhler et al., 2013).....	77
Abbildung 13: Bezeichnung der drei evaluierten Cluster in Anlehnung an Raby & Wickens (1990) (Vgl. Köhler et al., 2015).....	79
Abbildung 14: Grafische Darstellung der drei in der Simulationsumgebung umgesetzten Informationskonzepte mit dem Ego-Fahrzeug (in Grau) und kritischem Querverkehr (in Rot).....	84
Abbildung 15: Schematische Übersicht über die vier Versuchsgruppen und deren Bedingungen innerhalb der fünf überquerten Kreuzungen hinsichtlich Informationskonzept (Konzept 1 vs. Konzept 2) und Meldungsinhalt (must vs. could).....	85

Abbildung 16: Aufbau des Fahrsimulators der AUDI AG mit Mockup, 240° Frontsicht und einer Rückprojektion für den Rückspiegel und die beiden Außenspiegel	86
Abbildung 17: Schematische Darstellung der drei realisierten Fahrmanöver zur Überprüfung der Fahrerbeanspruchung anhand der statischen Phaseneinteilung.....	97
Abbildung 18: Darstellung der Positionierung der drei Szenarien (Ausweichen (A), Abbiegen (B) und Geradeausfahrt (C)) und der Fläche für die Eingewöhnungsfahrt auf dem Prüfgelände.....	99
Abbildung 19: Die zwei Fahrmanöver (links: Linksabbiegen, rechts: Geradeausfahren) unterteilt in sechs aufeinanderfolgende Fahrphasen mit den Zeitpunkten des eingehenden Anrufes (Phase 2), der Mathematikaufgabe am Telefon (Phase 4) und der Information über den verpassten Anruf (Phase 6 der Kreuzungssituation) (Vgl. Köhler et al., 2014).....	110

Tabellenverzeichnis

Tabelle 01: t-Tests für verbundene Stichproben zum Vergleich der sechs Items des NASA TLX zwischen den gefahrenen Manövern (Kreuzung, Baseline), AV: Mentale (geistige) Beanspruchung, Physische (körperliche) Beanspruchung, Anstrengung, Emotionale Empfindung, Zeitdruck und Aufgabenerfüllung.....	61
Tabelle 02: t-Tests für unverbundene Stichproben zum Vergleich der Items des NASA TLX zwischen den Abbiegerichtungen (Links, Rechts), AV: Mentale (geistige) Beanspruchung, Physische (körperliche) Beanspruchung, Anstrengung, Emotionale Empfindung, Zeitdruck und Aufgabenerfüllung.....	62
Tabelle 03: Korrelationen innerhalb der abhängigen Variablen (sechs Kriterien zur Bewertung der 60 urbanen Szenarien).....	72
Tabelle 04: Ergebnisse der zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse für die Faktoren Meldungsinhalt (must vs. could) und Informationsstrategie (Konzept 1 vs. Konzept 2).....	87
Tabelle 05: Ergebnisse der zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse für die Interaktion der Faktoren Meldungsinhalt (must vs. could) und Informationsstrategie (Konzept 1 vs. Konzept 2).....	88
Tabelle 06: t-Tests für verbundene Stichproben zum Vergleich der subjektiven Bewertung der Items in Abhängigkeit des Informationskonzeptes, AV: Items zur Bewertung der erlebten Meldung(en) („Hilfestellung“, „Zusatzbelastung“, „Zeitpunkt“, „Unfallrisiko“, „Konzentration“)......	89

Abkürzungsverzeichnis

AIDE	adaptive integrated driver-vehicle interfaces
ARIADNE	Application of real-time intelligent aid for driving and navigation management
CAN	Controller Area Network (serielles Bussystem)
CGL	Corpus geniculatum laterale
COSMODRIVE	cognitive simulation modell of the drive
dGPS	differential Global Positioning System (differentielles Globales Positionierungssystem)
EEG	Elektroencephalogramm
EKG	Elektrokardiogramm
FAS	Fahrerassistenzsysteme
FIS	Fahrerinformationssysteme
GIDS	Generic Intelligent Driver Support
IDIS	Intelligent driver information system
In-CA	in-car communication agent
Ko-FAS	kooperative Fahrerassistenzsysteme
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle
MV	Mensch im Verkehr (Teilprojekt des Verbundprojektes UR:BAN)
NASA TLX	National Aeronautics and Space Administration Task Load Index
RSME-Skala	Rating Scale of Mental Effort
SAFE	Situative Anforderungsanalyse von Fahraufgaben
SANTOS	Situations-angepasste und Nutzer-Typ zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung
Save-IT	safety vehicles using adaptive interface technology
SEA-Skala	Skala zur Messung subjektiv empfundener Anstrengung
UR:BAN	Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement (vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördertes Verbundprojekt)

1 Ausgangssituation

Der empirische Teil der Arbeit fand im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Verbundprojektes UR:BAN (Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement) (Motivation der Initiative Vgl. Hipp, Bengler, Kressel & Feit, 2017) und da im Teilprojekt Mensch im Verkehr (MV) (Inhalt des Teilprojektes Vgl. Drüke, 2017) statt. In diesem Teilprojekt steht der Mensch als Teilnehmer und Planer mit seinen Anforderungen und Bedürfnissen im Mittelpunkt. Entsprechend liegt der Fokus der Arbeit auf der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle speziell für innerstädtische Fahrscenarien (Vgl. Drüke, 2017).

Komplexe Verkehrssituationen mit sich stetig ändernden Anforderungen – bedingt durch eine große Anzahl statischer und dynamischer Objekte, kurze Entscheidungszeiträume und eine hohe Informationsdichte – stellen insbesondere vor dem Hintergrund der limitierten menschlichen Verarbeitungskapazität die wesentliche Herausforderung für den Fahrer im urbanen Verkehr dar (Ho & Spence, 2008). Die Komplexität der zu bewältigenden Situationen ergibt sich hierbei vor allem aus dem dynamischen Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer sowie aus der vielschichtigen Fahrstreckencharakteristik (Abendroth & Bruder, 2015). Abhängig von seinen individuellen Persönlichkeitsmerkmalen bewältigt der Fahrer die Anforderungen und absolviert derartige komplexe Überwachungs- und Regelungsaufgaben im Straßenverkehr. Einen wesentlichen Einfluss kann dabei fahrzeugseitige Fahrerunterstützung haben. Fahrerassistenzsysteme (FAS) sind prinzipiell so ausgelegt, dass sie dem Fahrer für die gestellten Aufgaben die bestmöglichen Arbeitsbedingungen verschaffen – ihre technisch gestaltbaren Komponenten sollen an die „besondere Leistungsfähigkeit“ des Menschen sowie auch seine „inhärenten Leistungsgrenzen“ optimal angepasst sein (Donges, 2015). Zwar gibt es bereits vielseitige und umfassende Systeme, welche – auf den Fahrer abgestimmt – bei der Bewältigung der Fahraufgabe ein hohes Unterstützungspotential liefern. Allerdings ist die Entwicklung sowohl von Einzelsystemen, welche auf spezifische Aspekte der Fahrzeugführung gerichtet sind, als auch die Entwicklung von höherer maschineller Autonomie und vernetzten Assistenzsystemen längst noch nicht abgeschlossen (Flemisch, Winner, Bruder & Bengler, 2015). Vielmehr ließ sich ein deutlich steigender Trend verfügbarer Informations- und Assistenzsysteme ausmachen (Janssen, Alm, Michon & Smiley, 1993). Offensichtlich kann die damit einhergehende Zunahme an Informationen im Fahrzeug zunächst den Komfort und die Sicherheit des Fahrers deutlich erhöhen. Allerdings, so fordern Färber und Färber (2003), ist es zwingend notwendig, den Fahrer vor einer Informationsüberlastung zu schützen. Das wiederum erfordert eine gezielte Auswahl und Darstellung von Informationen – unter steter Berücksichtigung von Informationsbedürfnis und Verkehrssicherheit (Färber & Färber, 2003). Das heißt, um das Unterstützungspotential durch

Fahrerassistenzsysteme zu erhöhen, ist die Berücksichtigung des engen Zusammenwirkens in Raum und Zeit von Fahrer, Fahrzeug und Assistenzsystem obligat (König, 2015).

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, den Workload, welcher durch die tertiäre Fahraufgabe hervorgerufen wird, in beanspruchenden Fahrsituationen zu minimieren. Vor allem komplexe urbane Fahrszenarien erfordern zur sicheren Bewältigung die ungeteilte Aufmerksamkeit des Fahrers. Ein adaptives situationsspezifisches Workloadmanagement kann dies fahrzeugeitig gewährleisten. Die Konzeptionierung einer optimalen und bedarfsgerechten Informationsstrategie sowie deren Evaluation im Simulator und in der Realfahrt bilden den Kern der vorliegenden Arbeit. Als Basis dienen einerseits kognitionspsychologische Voraussetzungen des Menschen – im Fokus steht dabei der Fahrer mit seinen Bedürfnissen, Fähigkeiten und Kapazitätsgrenzen – und andererseits verkehrswissenschaftliche und ergonomische Anforderungen als Schnittstelle zum Fahrzeug unter Berücksichtigung der ganzheitlichen Fahrszenarie.

Im Folgenden werden einleitend die Problemstellung, mit der Motivation dieser Arbeit und den zu erwartenden Hypothesen, sowie die Zielsetzung, mit einer detaillierten Vorgehensbeschreibung der Konzeptentwicklung, dargestellt. Dass es noch immer hochkomplexe urbane Verkehrssituationen gibt, die nicht allein durch menschliche Fähigkeiten und die Unterstützung durch vorhandene Assistenz in jedem Fall gefahrlos zu bewältigen sind, bestätigen aktuelle Unfallzahlen (BASt Bundesanstalt für Straßenwesen, 2014; Statistisches Bundesamt, 2014; IRTAD International Traffic Safety Data and Analysis Group, 2015). Ein Überblick über gegenwärtige Unfallstatistiken dient schließlich der Identifikation besonders komplexer Verkehrsszenarien und liefert somit einen wichtigen Ansatzpunkt für das situativ agierende Workloadmanagementkonzept.

1.1 Problemstellung

Das übergeordnete Ziel von Fahrerassistenz ist es, die Fahrt sicherer und komfortabler zu gestalten. Dabei weisen unterschiedliche Systeme verschiedene Wirkbereiche hinsichtlich ihrer Mensch-Maschine-Schnittstelle auf. Zur klaren Differenzierung können diese nach ihrem Wirken auf die jeweilige Teilaufgabe der Fahrzeugführung klassifiziert werden (Gasser, Seeck, & Walker Smith, 2015). Die Fahraufgabe kann hierbei in primäre, sekundäre und tertiäre Tätigkeiten untergliedert werden (Vgl. Kapitel 2.2.1). Primäre Aufgaben beinhalten die Fahrzeugführung im Sinne von Lenken und Beschleunigen, beziehungsweise Verzögern. Als sekundäre Handlungen versteht man Reaktionen auf die aktuelle Verkehrssituation, wie unter anderem Blinker- oder Scheibenwischerbetätigungen. Die Bedienung von Infotainment-Angeboten im Fahrzeug gilt zunächst als unabhängig vom eigentlichen Fahrprozess und beschreibt die tertiäre Fahraufgabe (Geiser, 1984; Bubb, 2003). Die Hierarchisierung spiegelt

einerseits den zeitlichen Spielraum, welcher zur Erfüllung der jeweiligen Aufgabe zur Verfügung steht, wider. Beispielsweise müssen primäre Handlungen stets der aktuellen Verkehrs- und Straßencharakteristik angepasst werden, während das tertiäre Bedürfnis nach Informationen, Kommunikation und Komfort größeren zeitlichen Handlungsspielräumen obliegt. Andererseits steigt mit zunehmendem zeitlichen Spielraum gleichzeitig die Fehlertoleranz (Abendroth & Bruder, 2015). Bezogen auf die Wirkweise von FAS unterscheiden Gasser, Seeck & Walker Smith (2015) die folgenden drei Kategorien: „Informierende und warnende Funktionen“, „Kontinuierlich automatisierende Funktionen“ und „Eingreifende Notfallfunktionen“. Während die beiden Letztgenannten einen unmittelbaren Einfluss auf die Fahrzeugsteuerung haben – entweder mit der Möglichkeit der Überstimmung durch den Fahrer oder aber nicht übersteuerbar und in akut kritischen Situationen –, wirken „Informierende und warnende Funktionen“ ausschließlich mittelbar über den Fahrer. Informationen und Warnungen werden als Wissens- oder Wahrnehmungserweiterung über die Mensch-Maschine-Schnittstelle im Fahrzeug dargeboten. Dem Fahrer selbst obliegt die Entscheidung, wie und ob er darauf reagiert. Die Aufnahme, Verarbeitung und Reaktion auf Informationsmeldungen im Fahrzeug können dabei der tertiären Fahraufgabe zugeordnet werden. Die Inhalte werden sowohl durch die vorhandene fahrzeugseitige Sensorik als auch durch vernetzte Fahrzeugdienste generiert. Dabei ist ein immenser Trend hin zu umfassenden Connectivity Services im Fahrzeug zu beobachten: „The overall number of vehicles with built-in connectivity will increase from 10 % of the overall market today to 90 % by 2020.“ (Telefonica Connected Car Industry Report, 2014). Schließlich ist es das Ziel, den Workload, welchen derartige Informationsmeldungen beim Fahrer verursachen können, speziell in komplexen und beanspruchenden urbanen Fahrsituationen zu minimieren. Die Entwicklung eines Informations-Filters, welcher den Fahrer vor einer Informationsüberlastung schützt (Färber & Färber, 2013), erscheint in diesem Zusammenhang obligatorisch. Bei der Ableitung einer optimalen und bedarfsgerechten Informationsstrategie für beanspruchende Fahrsituationen steht der Fahrer mit seinen Eigenschaften im Mittelpunkt. Die vorliegende Arbeit fokussiert die Hypothese, dass durch ein geeignetes Workloadmanagement die Fahrerbeanspruchung auch in mental anspruchsvollen Fahrsituationen verhältnismäßig gering gehalten werden kann. Der On-Top-Workload des Fahrers – verursacht durch die tertiäre Fahraufgabe – kann anhand einer adaptiven Informationsstrategie in der beanspruchenden urbanen Situation „Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ minimiert werden. Im Detail lässt sich die Informationsstrategie als eine „zeitliche Verzögerung der Information“ – Quantität und Qualität der Meldung werden konstant gehalten – beziehungsweise als eine „temporäre Unterdrückung der Information“ – lediglich die Quantität bleibt unverändert – in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung beschreiben. Das ganzheitliche Konzept muss schließlich einer Eignungsprüfung unterzogen werden: Wird es von den Fahrern akzeptiert und als

verkehrssicher empfunden? Lässt sich auf verschiedene komplexe Verkehrsszenarien anwenden?

1.2 Zielsetzung

Der Ansatz der Arbeit entspricht einem deduktiven Vorgehen: Auf Basis der Erörterung allgemeingültiger Grundlagen erfolgt die Betrachtung des speziellen Anwendungsszenarios. Die theoretische Herleitung ermöglicht die Ableitung eines Konzeptes, welches schließlich empirisch überprüft wird. Kognitionspsychologische Voraussetzungen auf der einen Seite und verkehrswissenschaftliche Anforderungen auf der anderen Seite werden zunächst anhand einer ausführlichen Literatursichtung zusammengeführt (Kapitel 2). Speziell die Charakteristik menschlicher Informationsverarbeitung (Kapitel 2.1) und die Eigenschaften der Fahraufgabe (Kapitel 2.2) werden an dieser Stelle miteinander verknüpft. Bei der Konzeptentwicklung des adaptiven Fahrerassistenzsystems steht der Mensch mit seinen Eigenschaften im Vordergrund. Außerdem werden bereits vorhandene Konzepte kritisch betrachtet und auf ihre Eignung hin geprüft (Kapitel 2.3). Die Frage nach einer optimalen und bedarfsgerechten Informationsstrategie steht im Fokus.

In einem weiteren Schritt werden dann Herausforderungen und Chancen zur Entwicklung des neuen Assistenzsystems in Form eines situativen Workloadmanagements erörtert (Kapitel 3). Basierend auf den Eigenschaften der Fahraufgabe in Verbindung mit den Herausforderungen menschlicher Informationsverarbeitung und bereits vorhandenen Konzepten zur Senkung des mentalen Workloads während der Fahrt (Kapitel 3.1) wird ein neuartiger Lösungsansatz erörtert (Kapitel 3.2). Daraus leitet sich der resultierende Forschungsbedarf anhand konkreter Fragestellungen ab (Kapitel 3.3). Unmittelbares Ziel des Konzeptes ist es, in besonders komplexen Verkehrsszenarien die Abwesenheit von fahrzeugseitiger Ablenkung sicherzustellen. Die limitierte menschliche Verarbeitungskapazität steht dabei dem steten Informationsbedürfnis diametral gegenüber.

Eine ausführliche Bedarfs- und Beanspruchungsanalyse soll diesen Widerspruch lösen und bildet demzufolge den Ausgangspunkt der Konzeptentwicklung (Kapitel 4.1). Zur Maximierung von Akzeptanz und Nützlichkeit der Funktion für den realen Straßenverkehr erfolgt eine Optimierung des gesamtheitlichen Ansatzes hinsichtlich Konsistenz und Anwendbarkeit in einer Evaluierungsphase (Kapitel 4.2). Um schließlich die Gütekriterien Validität, Reliabilität und Objektivität sicherzustellen, folgt eine zweistufige Evaluierungsphase – im Simulator und im realen Feld (Kapitel 4.3).

Das Konzept wird abschließend vor dem Hintergrund der erzielten Ergebnisse, seiner praktischen Implikationen und den aktuellen Entwicklungen analysiert, kritisch hinterfragt und umfassend diskutiert (Kapitel 5).

Den Kern der Arbeit und damit die Grundlage der vorliegenden Analyse bilden die folgenden Fragen:

- 1) Kann man den Workload, verursacht durch die tertiäre Fahraufgabe, in einer beanspruchenden urbanen Fahrsituation („Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“) durch eine geeignete Informationsstrategie (Verzögerung/Unterdrückung) minimieren?
- 2) Verringert die entwickelte Informationsstrategie nachweislich den mentalen Workload des Fahrers?
- 3) Ist die entwickelte Informationsstrategie auf weitere beanspruchende urbane Fahrsituationen übertragbar und damit generalisierbar?
- 4) Wird die entwickelte Informationsstrategie vom Nutzer akzeptiert?

Das Konstrukt „mentale Beanspruchung des Fahrers“ steht im Vordergrund. Die Operationalisierung und schließlich auch die Messbarkeit der Optimierung durch das Informationskonzept sind wesentliche Teilziele der vorliegenden Arbeit. Das zu entwickelnde Assistenzsystem legt vor allem die Bedürfnisse des Fahrers zugrunde. Das Fahrzeug soll einen guten Beifahrer imitieren – wenig Nervpotential besitzen, Rücksichtnahme auf die Fahreraufmerksamkeit und die Fahrerbeanspruchung gewährleisten. Bei der Auswahl geeigneter Verkehrsszenarien gelten somit urbane Unfallschwerpunkte als wesentlicher Indikator für ein Verbesserungspotential. Im Folgenden werden Unfallzahlen aus städtischen Gebieten sowohl bundesweit als auch international ermittelt und zusammengetragen. Diese liefern einen wesentlichen Ausgangspunkt für die Wahl geeigneter urbaner Verkehrsszenarien, welche anhand des Assistenzsystems aus Fahrersicht optimiert werden können (Vgl. Kühn & Hannawald, 2015).

1.3 Unfallstatistiken

Um ein geeignetes Untersuchungsszenario zu spezifizieren und damit einen Ansatzpunkt für ein situatives Workloadmanagement zu eruieren, wird die Entwicklung aktueller Unfallzahlen vor allem im urbanen Bereich herangezogen. Zunächst lässt sich eine relativ konstante Zahl an Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen innerhalb der letzten vier Jahre verzeichnen. Von 2011 bis 2014 wurden jeweils rund drei Millionen Personenkraftwagen neu zugelassen (Kraftfahrt-Bundesamt, 2013a, 2014a, 2015a).

Der Anstieg des Gesamtbestandes von Kraftfahrzeugen zwischen dem 1. Januar 2012 (60.045.241 Kraftfahrzeuge) und dem 1. Januar 2015 (62.426.243 Kraftfahrzeuge) spiegelt sich ebenso im erhöhten Bestand von Personenkraftwagen (Bestand 1. Januar 2012: 42.927.647; Bestand 1. Januar 2015: 44.403.124) wider (Kraftfahrt-Bundesamt, 2013b, 2014b, 2015b). Insgesamt lässt sich zudem ein stetes Wachstum der jährlichen Fahrleistung

verzeichnen – von 717,6 Milliarden km im Jahr 2011, über 719,3 Milliarden km in 2012 und 725,7 Milliarden km in 2013 – davon fast 90 % durch Personenkraftwagen (Krafftfahrt-Bundesamt, 2015c) –, werden für das Jahr 2014 sogar rund 735 Milliarden Fahrzeugkilometer deutschlandweit prognostiziert (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2012, 2013, 2014).

Trotz des beständigen Anstieges der insgesamt gefahrenen Kilometer in Deutschland bleibt die Unfallrate jedoch nahezu konstant. Während im Jahr 2011 insgesamt 2.361.457 Unfälle polizeilich erfasst wurden, waren es 2013 insgesamt 2.414.011 Unfälle. Für das Jahr 2014 wird sogar ein Rückgang um 2 % auf rund 2,37 Millionen Unfälle erwartet (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2012, 2014). Erklären lässt sich das Gleichbleiben der Unfallzahlen – im Verhältnis zum größeren Bestand an Fahrzeugen und der gestiegenen Fahrleistung in den vergangenen Jahren – mit sichererem Fahrverhalten und Bildung sowie verbesserter Infrastruktur und Fahrzeugsicherheit (OECD/ITF, 2015; DEKRA, 2015). Der stete Zuwachs an Fahrerassistenz- (FAS) und Fahrerinformationssystemen (FIS) im Automobil leistet hierzu einen nicht unwesentlichen Beitrag (Bubb & Bengler, 2015; DEKRA 2015). Auch europaweit lassen sich seit 2011 sinkende Unfallzahlen verzeichnen (European Commission, 2015). Zwar sind die nationalen und internationalen Zahlen in den letzten Jahren weitestgehend konstant oder gar rückläufig, jedoch gibt es national sowie international noch immer zahlreiche Verletzte und sogar Todesopfer durch Verkehrsunfälle (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2014; OECD/ITF, 2015; European Commission, 2015; DEKRA, 2015). Aus Sicht der Assistenzsystementwicklung ist es daher notwendig, spezielle urbane Verkehrsszenarien als Unfallschwerpunkte zu ermitteln und dafür gezielt eine fahrzeugseitige Unterstützung zu generieren. Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, den Fahrer in besonders beanspruchenden innerstädtischen Situationen zu entlasten. Um schließlich ein geeignetes Untersuchungsszenario abzuleiten, werden Unfallzahlen des Statistischen Bundesamtes als wesentliche Grundlage genutzt.

Innerhalb von Ortschaften haben sich im Jahr 2014 insgesamt 1.789.278 Unfälle ereignet. Mit der Ursache „Fehlverhalten der Fahrzeugführer“ gab es insgesamt 361.935 Kollisionen mit Personenschaden. Das Fehlverhalten der Personenkraftwagenfahrer unterteilt sich unter anderem in „Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren“ (58.178), „Vorfahrt, Vorrang“ (53.947), „Abstand“ (49.522), „Nicht angepasste Geschwindigkeit“ (45.888), „Überholen“ (13.084) und „Alkoholeinfluss“ (13.011) (Statistisches Bundesamt, 2014). Hieraus wird ersichtlich, dass ein Fehlverhalten in bestimmten Verkehrssituationen offensichtlich gehäuft vorkommt – so sprechen die Ursachen „Abbiegen“, „Ein- und Anfahren“ sowie „Vorfahrt, Vorrang“ für komplexe Kreuzungssituationen. Bei der detaillierten Betrachtung wird deutlich, dass der „Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, welches einbiegt oder kreuzt“ innerorts im Jahr 2014 die häufigste Unfallart war. Dabei gilt die „Kreuzung“, dicht gefolgt von

der „Einmündung“, als die häufigste „Charakteristik der Unfallstelle“ (Statistisches Bundesamt, 2014).

Neuere Zahlen von Januar bis Mai 2015 ergeben, dass im ersten Halbjahr 2015 gut zwei Drittel (75.044) aller Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden innerorts stattfanden. Besonders häufig ereigneten sich auch hier „Abbiege-Unfälle“ (12.323) und „Einbiegen/Kreuzen-Unfälle“ (19.495) innerorts mit Personenschaden (Statistisches Bundesamt, 2015). Letztere werden beschrieben als das Ergebnis eines Konfliktes „zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem vorfahrtberechtigten Fahrzeug an Kreuzungen, Einmündungen oder Ausfahrten von Grundstücken und Parkplätzen“ (Statistisches Bundesamt, 2014, S. 16). Zusammenfassend kann die urbane Kreuzungssituation basierend auf der umfangreichen Sichtung von Unfallzahlen als komplexe Verkehrssituation mit einem erhöhten Potential für ein unterstützendes FAS klassifiziert werden.

Wenn auch Unfälle zumeist durch ein Zusammenwirken verschiedener Faktoren entstehen (Godthelp, Färber, Groeger & Labiale, 1993), so kann das Fehlverhalten des Fahrers dennoch eine wesentliche Unfallursache sein. Bauliche Charakteristiken, andere Verkehrsteilnehmer (Kuiken & van der Colk, 1988), aber auch Fehleinschätzungen (Rothengatter, Alm, Kuiken, Michon & Verwey, 1993), Risikohomöostase (Wilde, 1982, 1988; Schmidt, 1988) und (mentale/visuelle) Beanspruchung (Fastenmeier, 1995; De Waard, 1996) können kritische Situationen im Straßenverkehr begünstigen. Das konkrete Zusammenwirken von Fahrer, Fahrzeug und Umwelt soll im Folgenden näher betrachtet werden.

2 Erarbeitung psychologischer und ergonomischer Grundlagen

Nachdem die innerstädtische Kreuzungssituation aus den Unfalldaten als potentiell kritisches Szenario hervorging, gilt es, zunächst die kognitionspsychologischen Merkmale auf Fahrerseite sowie die systemergonomischen Herausforderungen unter Berücksichtigung der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Fahrzeug genauer zu betrachten.

Das Zusammenspiel zwischen diesen Faktoren kann anhand eines Regelkreisparadigmas veranschaulicht werden. Zunächst wird das allgemeine Strukturschema eines Mensch-Maschine-Systems zugrunde gelegt (McRuer & Jex, 1967; Johannsen, 1977; Geiser, 1990). Das Wechselspiel zwischen Mensch und Maschine steht im Vordergrund. Es wird vor dem Hintergrund äußerer Belastungs- und Umwelteinflüsse und der Aufgabe, welche durch den Menschen an der Mensch-Maschine-Schnittstelle verrichtet und durch ein Feedback von der Maschine bestätigt wird, betrachtet. Einen detaillierteren Einblick für den automobilen Kontext lässt an dieser Stelle die Struktur des Systems Fahrer-Fahrzeug-Straße zu (Johannsen, 1977). Dieses Paradigma erlaubt eine Spezifikation der beiden Protagonisten „Fahrer“ und „Fahrzeug“ sowie der Schnittstelle zwischen beiden.

Ersterer hat, unter Berücksichtigung seiner kognitiven Fähigkeiten, verschiedene Aufgaben im Regelkreis zu erfüllen. Der Mensch als Teil des Paradigmas steht im Folgenden zunächst im Vordergrund. Eine umfassende Literaturanalyse wird Grundlagen der menschlichen Informationsverarbeitung, der Wahrnehmungspsychologie und der beiden Konstrukte „Aufmerksamkeit“ und „mentale Beanspruchung“ zusammenfassen und damit eine wesentliche Basis für die Konzeptentwicklung des situativen Workloadmanagements liefern. Besonders das Phänomen der begrenzten kognitiven Verarbeitungskapazität spielt bei der Mensch-Maschine-Schnittstelle und damit im Fahrzeug eine wichtige Rolle.

Die äußeren Umwelteinflüsse, welche auf Fahrer, Fahrzeug und Schnittstelle einwirken können, sind für die weiteren Betrachtungen nur sekundär relevant und werden daher nicht näher erläutert.

Die konkrete Schnittstelle wird aus systemergonomischer Sicht hinsichtlich der Grundlagen der Fahraufgabe, verschiedener Ansätze eines Fahrerhaltensmodelles und des Konstruktes Fahrerbeanspruchung sowie Performanz ausführlich argumentiert.

Schließlich führt die Betrachtung zu einem Ansatz, welcher die limitierenden Eigenschaften des Fahrers in der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle berücksichtigt, um die unfallträchtige urbane Kreuzungssituation zu entschärfen und verbesserte Fahrleistung und Performanz in der beanspruchenden Situation zu gewährleisten. Abschließend wird das Kapitel einen knappen Überblick über Workloadmanagement-Konzepte, deren Einordnung in die Klassifikation der Fahrerassistenzsysteme und eine Diskussion bereits vorhandener Ansätze abbilden. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle kann dabei als Interaktionskanal zwischen Fahrer und Fahrerassistenzsystem verstanden werden.

2.1 Kognitionspsychologische Grundlagen

Neben den Bereichen Lernen, Gedächtnis und Entscheidungsfindung sind im Fahrkontext vor allem die kognitionspsychologischen Konstrukte Wahrnehmung und Aufmerksamkeit relevant (Wickens & McCarley, 2008). Beginnend bei Korrelationsstudien, über kontrollierte Experimente bis hin zu dual tasks bietet die Kognitionspsychologie vielseitige Untersuchungsmechanismen (Vgl. Bower & Clapper, 1989). Im Folgenden werden zunächst Prozesse und Eigenschaften der menschlichen Wahrnehmung thematisiert. Vor dem Hintergrund der Entwicklung eines den Fahrer entlastenden FAS liegt dabei der Fokus vor allem auf der visuellen Wahrnehmung. Eine wesentliche Grundlage bei der Betrachtung menschlicher Leistungsfähigkeit bildet das einfache Informationsverarbeitungsmodell (Luczak, 1975, S. 15). Der Mensch führt nacheinander die Prozessschritte „Entdecken“, „Erkennen“, „Entscheiden“ und schließlich „Handeln“ aus (ebd.). Diese werden anschließend spezifiziert und charakterisiert. Die Berücksichtigung der menschlichen Voraussetzungen und

Limitationen liefert Anforderungen an die ergonomische Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen.

Die menschliche Aufmerksamkeit und die psychologische Beanspruchung als wesentliche Kernkonzepte kognitiver Psychologie bilden einen weiteren Schwerpunkt des Kapitels. Verschiedene Arten und Paradigmen von Aufmerksamkeit werden erörtert und als wichtiger Ausgangspunkt des zu entwickelnden Informationskonzeptes zusammengefasst. Als Konsequenz der Beschreibung von Verfügbarkeit und Aufteilung kognitiver Ressourcen wird das Konstrukt mentaler Beanspruchung abgeleitet und charakterisiert.

Die Arbeit setzt sich im Folgenden kritisch mit den jeweiligen vorhandenen Ansätzen auseinander. Das Kapitel liefert somit eine relevante Basis für die weiteren Betrachtungen und damit auch für die Entwicklung des Assistenzsystems. Auf Basis limitierender kognitiver Eigenschaften können schließlich Anforderungen an ein ganzheitliches ergonomisches Informationskonzept definiert werden.

2.1.1 Grundlagen menschlicher Wahrnehmung

Die menschliche Wahrnehmung beschreibt den Weg vom Stimulus zur Reaktion und kann daher auch als der Vorgang der internen Repräsentation der Umwelt bezeichnet werden (Wickens & Hollands, 2000; Wickens et al., 2013). Informationsverarbeitungsmodelle spezifizieren diesen psychophysiologischen Prozess als die Aufnahme eines Reizes durch einen Rezeptor (Perzeption), welcher den Stimulus wiederum in eine kognitive Repräsentation umsetzt (Kognition) und schließlich zu einer Response des Menschen führt (Motorik) (Wickens & Hollands, 2000; Goldstein, 2008). Die Perzeption oder Informationsaufnahme kann über verschiedene Sinneskanäle erfolgen. In Abhängigkeit der dargebotenen Modalität unterscheidet sich die menschliche Reizreaktionszeit (Vgl. Woodworth & Schlosberg, 1965, S. 16). Differenziert werden hierbei Exterozeptoren, Interozeptoren und Propriozeptoren (Fanghänel, Pera, Anderhuber & Nitsch, 2003), welche unter anderem visuelle, akustische, haptische und vestibuläre Wahrnehmung ermöglichen. Die visuelle Informationsaufnahme, welche durch das Auge erfolgt, kann anhand der zwei dissoziativen Pfade – die Objekt- (vision-for-perception) und die Raumwahrnehmung (vision-for-action) – konkretisiert werden (Mishkin, Ungerleider & Macko, 1983; Bruno, Bernardis & Gentilucci, 2008; Goldstein, 1989). Das Ohr ist der Rezeptor akustischer Wahrnehmung und ermöglicht die auditorische Mustererkennung sowie eine akustische Raumorientierung. Die haptische Wahrnehmung erfolgt über den taktilen und den kinästhetischen Kanal, wodurch Druck-, Bewegungs- und Vibrationsempfinden entstehen. Die Gleichgewichts- oder vestibuläre Wahrnehmung ermöglicht im Fahrzeug beispielsweise die Wahrnehmung von Geschwindigkeit und Beschleunigung (Goldstein, 1989). Schließlich beschreibt die multimodale Wahrnehmung die

Aufnahme übereinstimmender Positionsinformationen beispielsweise eines visuellen und eines akustischen Stimulus, welche als vom selben Reiz kommend wahrgenommen werden (Goldstein, 1989).

Da vom Fahrer circa 80-90 % aller Informationen mit dem Auge aufgenommen werden (Vgl. Forbes, 1972; Hills, 1980; Cohen, 1987), steht die visuelle Wahrnehmung bei dieser Arbeit im Fokus. Die physiologischen Prozesse der visuellen Informationsaufnahme können, als Grundlage des gesamten Prozesses, grob wie folgt skizziert werden: Die Netzhaut des menschlichen Auges zeichnet sich durch zwei verschiedene, als Fotorezeptoren spezialisierte Arten von Sinneszellen – die Zapfen und die Stäbchen – aus. Dabei befinden sich erstere hauptsächlich im fovealen Bereich auf der Netzhaut und sind für das „photopische Sehen“ (Farbwahrnehmung) notwendig. Die Stäbchen hingegen, deren Dichte vom Zentrum zur Peripherie des Augapfels zunimmt, dienen dem „skotopischen Sehen“ (Nachtsehen, Dämmerungssehen). Diese Fotorezeptoren nehmen reflektiertes Licht auf (Transformation) und leiten ihre Impulse an die Sehnerven der Augen, die Ganglienzellen mit Axonen weiter (Transduktion). Eine detaillierte Abfolge des konkreten Transportes dieser Informationen wird unter anderem von Wickens & Hollands (2000), Levine (2000) und Goldstein (2008, 2010) beschrieben. Die elektrischen Signale werden schließlich in eine bewusste Erfahrung (Wissen) umgesetzt und führen damit zu einer Handlung (Verhaltensreaktion). Die ersten Schritte des Wahrnehmungsprozesses erfolgen somit automatisch und sehr schnell (Gregory, 1964; Wickens & Hollands, 2000; Wickens et al., 2013). Weiterhin führen der sensorische Input (Bottom-up-Verarbeitung) und der wissensbasierte Input (Top-down-Verarbeitung) zu einem Gesamtbild und final zu einer Aktion (Rumelhart, 1977; Rumelhart & McClelland, 1981).

Grundsätzlich konnte aufgezeigt werden, welche Prozessstufen bei der Wahrnehmung und der Verarbeitung von Informationen durchlaufen werden. Offensichtlich können dabei Engpässe entstehen, da der Mensch nicht immer überall alle Informationen aufnehmen kann. Vielmehr übersteigt das „ständige Überangebot“ die begrenzte „menschliche Verarbeitungskapazität“ und somit erscheint eine bewusste Wahrnehmung aller Eindrücke unmöglich (Vgl. Abendroth & Bruder, 2015, S. 4). Die Selektivität ist eine wichtige Eigenschaft der menschlichen Wahrnehmung. Einerseits ist sie durch begrenzte Leistungsfähigkeiten der Sinnesorgane und andererseits durch selektive Aufmerksamkeit (Kapitel 2.1.2) beschränkt. Weitere Eigenschaften können wie folgt zusammengefasst werden: Die Wahrnehmung unterliegt bestimmten Einschränkungen – so gibt es beispielsweise nur einen bestimmten Bereich von sichtbarem Licht (zwischen 400 nm und 700 nm) und eine bestimmte Anzahl von Sinnesmodalitäten. Wahrnehmungsprozesse erfordern Zeit (Reizreaktionszeit), sind aktiv (Gibson, 1979) und erfolgen kontextabhängig (Kanizsa, 1976). Das informationsverarbeitende System zeichnet sich zusammenfassend durch seine Modularität, Verarbeitung und Repräsentation aus (Palmer & Kimchi, 1984).

Ein wesentlicher Parameter der Wahrnehmung ist die menschliche Aufmerksamkeit. Bei der Informationsaufnahme gilt die menschliche Ressourcenkapazität stets als begrenzt. Aufmerksamkeit ist notwendig für die Perzeption und bewirkt somit eine Selektion der Informationen, welche bewusst verarbeitet werden sollen (Goldstein, 2008). Die Eigenschaften und Grenzen menschlicher Verarbeitungskapazität werden im folgenden Kapitel näher betrachtet. Eine kritische Auseinandersetzung mit verschiedenen Ansätzen und Paradigmen sowie die präzise Definition konkreter Eigenschaften von menschlicher Aufmerksamkeit stehen dabei im Vordergrund.

2.1.2 Aufmerksamkeitstheorien

Die menschliche Aufmerksamkeit gilt als eines der Kernkonzepte der kognitiven Psychologie. Die Erklärungsansätze sind – nicht nur bedingt durch die vielen unterschiedlichen Arten menschlicher Aufmerksamkeit – weitreichend. Das Kapitel liefert einen Überblick über verschiedene Ansätze und Paradigmen und beschreibt die der Arbeit zugrunde gelegten Theorien detaillierter.

Zunächst ist davon auszugehen, dass menschliche Aufmerksamkeit selektiv ist – hierfür gibt es strukturelle Engpassmodelle, Ressourcenmodelle und hybride Modelle als Erklärungsansätze. Dabei dient die Limitation des Aufmerksamkeitsmechanismus als Schutz vor einem informativen Overload im begrenzten Kapazitätssystem des menschlichen Gehirns (Allport, 1989). Das Phänomen, dass sich der Mensch stets zwischen verschiedenen, miteinander konkurrierenden Informationsquellen entscheiden muss, kann anhand der Stufen- (Sternberg, 1969) und der sequentiellen Modelle (Donders, 1868; Gottsdanker & Shragg, 1985) theoretisch erklärt werden. Letztere lassen sich nochmals untergliedern in die frühe Selektion (Ein-Kanal-Modelle wie beispielsweise die Filtertheorie) (Broadbent, 1958; Gray & Wedderbaum, 1960; Francolini & Egeth, 1980; Hoffmann, 1986), die mittelfristige Selektion (Attenuationstheorie) (Treisman, 1964; Treisman et al., 1977), die späte Selektion (Theorie der späten Auswahl) (Deutsch & Deutsch, 1963; Norman, 1968; Posner, 1978; Coltheart, 1984) und den hybriden Ansatz mit einer Verknüpfung von Taskload und selektiver Aufmerksamkeit (Lavie, 1995, 2005; Lavie & Tsal, 1994). Die sequentiellen Modelle legen zugrunde, dass die Transformation vom aufgenommenen Stimulus in die Response sequentiell gesteuert abläuft, es nur einen Verarbeitungskanal gibt und damit die parallele Verarbeitung von Reizen nicht oder nur bedingt möglich ist (Vgl. Bak, 1999; Goldstein, 2008). Zwar gibt es für diese Ansätze empirische Evidenz, allerdings können sie nicht alle Eigenschaften von Aufmerksamkeit hinreichend begründen – nämlich dass Aufgaben, welche unterschiedliche Ressourcen beanspruchen, dennoch gleichzeitig ausgeführt werden können. Eine Erklärung finden Kahnemann (1973) und Wickens (1984, 2002, 2013). Ihre Ressourcen-

(Kahnemann, 1973) beziehungsweise Mehrkapazitätsmodelle (Wickens, 1984, 2002; Wickens et al. 2013) nehmen eine kapazitätsbegrenzte und parallele, jedoch nicht sequentielle Informationsverarbeitung an. In Abhängigkeit ihrer sensorischen Modalität können verschiedene Aufgaben somit gleichzeitig bearbeitet werden. Während Kahnemann (1973) den sogenannten „single-pool“ zugrunde legt, gilt für Wickens (1984, 2002, 2013): Je weniger die Aufgaben bezüglich ihrer Dimension miteinander indifferieren, desto besser können sie parallel ausgeführt werden. Dieser Ansatz liefert eine Erklärung dafür, dass der Mensch multitaskingfähig ist – beispielsweise sind Radio hören und Sport treiben gleichzeitig möglich. Eine parallele Verarbeitung von Reizen ist also prinzipiell möglich, kann aber zu Leistungseinbußen und/oder längeren Reaktionszeiten führen (Goldstein, 2008). Zusammenfassend gilt, vor dem automobilen Hintergrund, der Ansatz der Mehrkapazitätsmodelle – mit der Unterscheidung der sensorischen Modalität des Informationsinputs (auditiv vs. taktil vs. visuell), des Informationscodes (räumlich vs. verbal) der Reaktionsmodalität (manuell vs. vokal) und der Verarbeitungsstufe (Enkodierung vs. zentraler Prozess vs. Output) – als zielführend. Sie liefern unter anderem eine Erklärung dafür, dass der Mensch ohne Einbußen zugleich sein Fahrzeug steuern und Radio hören kann, während die parallele Aufnahme und Verarbeitung visueller Informationen aus Umwelt und Fahrzeuginnenraum nahezu unmöglich ist (Vgl. Goldstein, 2008; Wickens, 2002). Schließlich gibt es noch einen hybriden Ansatz, das kombinierte Stufen- und Ressourcenmodell (Sanders, 1983), welches auf der Beeinflussung der unterschiedlichen Verarbeitungsstufen durch energetische Zustände basiert. Dieses entgegnet der Kritik gegenüber Wickens und beschreibt die Möglichkeit der graduellen Beanspruchung der Aufmerksamkeitsressourcen. Neben ihrer Selektivität lässt sich die menschliche Aufmerksamkeit als geteilte Aufmerksamkeit charakterisieren (Shaw, 1984). Das heißt, der Mensch ist teilweise in der Lage, seine Aufmerksamkeit auf mehr als eine Sache gleichzeitig zu richten. Eine Erklärung hierfür findet sich in der „automatischen“ (Stroop, 1935; Allport et al., 1972; Schneider & Shiffrin, 1977a, 1977b) und der „kontrollierten Verarbeitung“ (Posner & Snyder, 1975; Posner, 1980). Die automatische Verarbeitung beschreibt das Phänomen, dass sich Interferenzen durch Übung von Aufgaben verringern oder gar beseitigen (Allport, et al., 1972), beziehungsweise dass die Übung von Aufgaben dazu führt, dass weniger Ressourcen und/oder weniger Zeit benötigt werden (Schneider & Shiffrin, 1977a, 1977b). Shiffrin und Schneider (1977a, 1977b) entdeckten aber gleichzeitig, dass die automatische Verarbeitung nicht uneingeschränkt nachweisbar ist. Vielmehr lässt sich bei der Bewältigung komplexer Aufgaben die kontrollierte Verarbeitung beobachten. Diese ist beispielsweise für neue oder ungeübte Aufgaben typisch und beansprucht offensichtlich die zentrale Verarbeitungskapazität für sich allein. Schließlich gilt für die automatische Verarbeitung, dass sie im Gegensatz zur kontrollierten Verarbeitung nur ein geringes Bewusstsein für die

verarbeiteten Reize und wenig Überwachung erfordert (Posner & Snyder, 1975; Schneider & Shiffrin, 1977a, 1977b; Posner, 1980; Wickens et al., 2013). Analog zur Differenzierung zwischen „automatischer“ und „kontrollierter“ Verarbeitung beschreibt die Literatur eine „bottom-up-“ und eine „top-down-Steuerung“ der visuellen Aufmerksamkeit (Posner, 1980; Müller & Rabbit, 1989; Wickens et al., 2008, 2013). Erstere beinhaltet reizgetriebene und unwillkürliche Wahrnehmung, welche, in Abhängigkeit von der Stimulussalienz, unbeabsichtigt und nicht-intentional beeinflusst wird (periphere cues). Top-down-Prozesse hingegen beruhen auf Erfahrung und Wissen und erfolgen zielgesteuert und willkürlich (zentrale cues) (Müller & Rabbit, 1989; Wickens et al., 2008, 2013). Schließlich gibt es noch weiterführende Ansätze, welche sich mit der aktiven Steuerung der visuellen Aufmerksamkeit auseinandersetzen. Der Kerngedanke dabei ist, dass entweder ein reaktives, willentliches Lenken der Aufmerksamkeit in Form einer „zentralen Exekutive“ existiert (Cowan, 1988, 1995) oder drei separierbare Kontrollfunktionen zur Anwerthemmung und zur Resistenz gegen Distraktorinterferenz oder gegen proaktive Interferenz vorhanden sind (Friedman & Miyake, 2004). Baddeley (1993, 2009) beschreibt diese Prozesse gar anhand der Verknüpfung von Arbeitsgedächtnis und Aufmerksamkeit. Allen Ansätzen ist gemein, dass die Aufmerksamkeit in einer gewissen Weise sowohl willentlich, als auch automatisch gesteuert und beeinflusst werden kann, diese Prozesse ergänzen sich.

Um das kognitionspsychologische Konstrukt weiterhin zu charakterisieren, kann man zwischen „orts- und objektbasierter Aufmerksamkeit“ unterscheiden. So kann die Aufmerksamkeit auch außerhalb des Blickfeldes beziehungsweise des menschlichen Fixationspunktes liegen (Posner et al., 1980; Eriksen & St. James, 1986; Eriksen & Yeh, 1985). Dafür spricht auch das Phänomen der „inattentional blindness“ (Looked-but-failed-to-see Phänomen, nach Metz, 2009).

Zusammenfassend konnte das Konzept der menschlichen Aufmerksamkeit anhand vorhandener Theorien und Paradigmen konkretisiert werden. Die wesentlichen Eigenschaften (visueller) Aufmerksamkeit wurden aufgezeigt, woraus schließlich systemergonomische Anforderungen an ein Fahrerassistenzsystem abgeleitet werden können.

2.1.3 Konzept psychologischer Beanspruchung

Um ganzheitliche Anforderungen an die Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle definieren zu können, steht im Folgenden das Paradigma der psychologischen Beanspruchung im Fokus. Das Konstrukt ist dabei eng mit dem der menschlichen „Belastung“ verknüpft. Vor allem in der Arbeitswissenschaft verwendet (Vgl. Hacker, 1980; DIN EN ISO 10075-2, 2000; DIN EN ISO 10075-3, 2000; DIN EN ISO 6385, 2004), umfasst mentale Belastung laut ISO-Norm „die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und

psychisch auf ihn einwirken“ (DIN EN ISO 10075-1, 2000, S.3). Die kurzfristigen Auswirkungen dieser mentalen Belastung im Menschen, bedingt durch seine „jeweiligen überdauernden und augenblicklichen Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien“ (DIN EN ISO 10075-1, 2000, S. 3) wiederum, beschreiben das Konstrukt psychischer Beanspruchung. Kognitionspsychologisch basiert mentaler Workload auf den begrenzten menschlichen Ressourcen (Moray, 1979; Wickens, 1979; De Waard, 1996). Obgleich es unzählige verschiedene Definitionen gibt, ist allen gemein, dass durch Belastung eine Beanspruchung (visuell oder mental) im Menschen entstehen kann – das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept verdeutlicht diesen Zusammenhang (Vgl. Luczak, 1975; Rohmert, 1984; Bubb, 1992; Schmidtke & Bubb, 1981; Hilburn & Jorna, 2001). Während die Belastung – auch bezeichnet als „Stress“ oder „Task-Load“ – in diesem Konzept die Ursache beschreibt, stellt Beanspruchung – oder auch „Strain“ oder „Work-Load“ – deren Wirkung dar (Rohmert, 1984, S. 195). Mentale Belastung wird als external bestimmt definiert und entsteht durch Einflüsse aus dem Arbeitsgegenstand, der Aufgabe oder allgemein durch die sogenannten „system factors“. Beanspruchung hingegen ist individuell geprägt und wird durch die „operator factors“ verursacht (Vgl. Rohmert, 1984; Bubb, 1992; Schmidtke & Bubb, 1981; De Waard, 1996; Hilburn & Jorna, 2001). Die mentale Beanspruchung gilt als „psychophysiologische Reaktion auf die einwirkende Belastung“ (Schmidtke & Bubb, 1981, S. 112) und kann somit inter- beziehungsweise intraindividuelle Unterschiede aufweisen (Rohmert, 1984, S. 195). Die Trennung der beiden Konstrukte wird auch insofern deutlich, als dass sich Anstrengung nicht immer unmittelbar in messbarem Workload auswirken muss (Vgl. Wickens, 1979; Scerbo, 2001). Ein weiteres Beispiel für die Notwendigkeit der Unterscheidung zwischen Beanspruchung und Belastung kann basierend auf dem Ansatz der Mehrkapazitätsmodelle dargestellt werden: Eine Häufung von Aufgaben, welche unterschiedliche Kapazitäten beanspruchen, kann mit erhöhter empfundener Anstrengung jedoch ohne Workload und Leistungseinbußen bewältigt werden (Wickens, 1979). Außerdem kann beispielsweise eine Vigilanz-Aufgabe durch Monotonie Frustration und damit mentale Anstrengung hervorrufen (Broadbent, 1964; Hancock & Warm, 1989; Galinsky, Rosa, Warm & Dember, 1993; Richter, 2000; Scerbo, 2001). Der Effekt von „Stress“ durch Unterforderung kann anhand einer Reduktion verfügbarer Kapazitäten von Aufmerksamkeit („psychological adaptability“) und eines Anstieges der physiologischen Belastung („physiological adaptability“) interpretiert werden. Eine psychologische und physiologische Stabilität setzt dabei einen optimalen Grad sowohl von der Informationsstruktur als auch von der Informationsfrequenz voraus (Hancock & Warm, 1989; Scerbo, 2001).

Im Folgenden werden vor allem die Konzepte menschlicher Belastung und Beanspruchung im Sinne von Überforderung eine Rolle spielen. Hierfür liefern grundsätzlich die Theorien der menschlichen Informationsaufnahme durch gerichtete Aufmerksamkeit und die Theorien der

Verarbeitung von Informationen einen Beweis dafür, dass sich Workload in einer verschlechterten Leistung (Vgl. „Pathway inhibition“) und einer Häufung von Fehlern bemerkbar macht (Posner & Snyder, 1975; Moray, 1979; Galinsky et al., 1993; De Waard, 1996).

Für die weiteren Betrachtungen gilt der messbare Teil mentaler Beanspruchung als relevant. Die reine Messung menschlicher Performanz existiert schon seit geraumer Zeit. Den Load, welcher auf eine Person wirkt, zu messen, stellt allerdings noch immer eine Herausforderung dar (Moray, 1979). Somit gibt es mittlerweile vielseitige Ansätze und Methoden, mentale Belastung zu messen (Vgl. Wickens, 1979). Zwei wesentliche Manipulationen können voneinander unterschieden werden – die Hinzugabe einer Aufgabe zusätzlich zur Hauptaufgabe, welche parallel bearbeitet werden muss, oder die Manipulation des Inhaltes der Hauptaufgabe hinsichtlich ihres Schwierigkeitsgrades. Auf Grundlage der Mehrkapazitätsmodelle können dabei umso höhere Leistungseinbußen verzeichnet werden, je ähnlicher sich die benötigten Kapazitäten sind (Vgl. Wickens, 1979, 1984; Wickens et al., 2013; Geiser, 1990). Um konkrete Einbußen beziehungsweise Veränderungen messen zu können, müssen laut ISO-Norm bestimmte Kriterien erfüllt sein: Objektivität, Reliabilität, Homogenität, Konsistenz, Stabilität, Inter-Rater-Reliabilität, Validität, Sensitivität, Diagnostizität, (relative und absolute) Generalisierbarkeit, Gebrauchstauglichkeit und die Verwendung kritischer Werte (DIN EN ISO 10075-3, 2000). Es existieren weitreichende Methoden, den Grad an Workload festzustellen, dazu gehören unter anderem die subjektive Befragung, physiologische Messungen, analytische Schätzungen und Verhaltens- sowie Leistungsmessungen (De Waard, 1996; Schmidtke, 2002; Kerkau, 2006; Schwalm, 2009). Eine umfassende Betrachtung von Messmethoden mentaler Beanspruchung und deren Eignung im Fahrkontext findet in Kapitel 2.3.3 statt.

Die Trennung zwischen mentaler Belastung und Beanspruchung ist für die Entwicklung eines situativen Workloadmanagements essentiell. Um den Fahrer gezielt zu entlasten, beziehungsweise einer Überlastung vorzubeugen, muss ein optimaler Grad von Informationsstrukturen sowie von Informationsfrequenzen sichergestellt werden. Die Fahraufgabe als Hauptaufgabe wird im Folgenden näher spezifiziert. Dabei steht der Mensch in seiner Rolle als Fahrzeugführer im Fokus.

2.2 Systemergonomische Grundlagen

Als Teildisziplin der Arbeitswissenschaft spielt in der Ergonomie neben dem Analysieren, Beurteilen und Messen vor allem die optimale Gestaltung von Anzeigen und Bedienelementen an der Schnittstelle zwischen Maschine und Mensch eine große Rolle (Vgl. Bernotat, 1970; Rohmert, 1984; Bubb, 1992; Drüke, Semmler & Bendewald, 2017). Mensch-Maschine-

Systeme sind zunächst gekennzeichnet durch das Zusammenwirken eines technischen Systems mit einem oder mehreren Menschen (Johannsen, 1993). Zu den wichtigsten übergeordneten Zielen gehören hierbei vor allem Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit, Beherrschbarkeit, Sicherheit, Arbeitszufriedenheit und Sozialverträglichkeit (Rohmert, 1984; Johannsen, 1993). Um diese Ziele zu erreichen, muss die Schnittstelle bestmöglich an die Leistungsfähigkeiten des Menschen angepasst sein (Bernotat, 1970; Geiser, 1984; Johannsen, 1993; Vgl. Gestaltungskriterien für urbane HMI Konzepte in Drüke, Semmler & Bendewald, 2017, S. 66). Hierfür ist es wiederum notwendig, die Fähigkeiten und Grenzen von Mensch und Maschine zu kennen (Geiser, 1984; Stassen, Johannsen & Moray, 1990). Während der Mensch anhand seiner kognitiven Fähigkeiten – den Eigenschaften der Ausgabe, Verarbeitung und Aufnahme von Informationen – charakterisiert werden kann (Vgl. Kapitel 2.1), setzt sich die Maschine aus drei Komponenten zusammen: Den Eingabesystemen, der Informationsverarbeitung und den Anzeigesystemen (Geiser, 1984, 1990). Das Handeln des Menschen innerhalb dieser Schnittstelle basiert auf Eingabegrößen, Umgebungsinformationen und rückgemeldeten Ergebnisgrößen aus der Maschine. Informationen, die dabei aufgenommen werden, stammen entweder aus der „Außensicht“ (direkte sensorische Kontrolle) oder von „Anzeigen der Maschine“ (indirekte sensorische Kontrolle) (Johannsen, 1993). Sie können sowohl den visuellen als auch den taktilen und/oder den akustischen Kanal des Menschen adressieren. Eingaben in die Maschine können entweder mechanisch (Hand-/Fußmotorik) oder per Sprache getätigt werden (Vgl. Bubb & Schmidtke, 1981; Geiser, 1984; Bubb, 1992). Es wird ersichtlich, dass beide Teilsysteme – Mensch und Maschine – sowohl die Funktion des Senders, als auch die des Empfängers innehaben (Rühmann, 1991; Geiser, 1990). Daraus resultiert ein klarer Anspruch an die sogenannten „Interfaces“: Diese sollen nämlich genau so gestaltet sein, dass sie zur „besten Performanz“ führen und einen „mentalen Load beim Operateur“ verursachen, welcher von diesem als korrespondierend mit seiner „willing-to-spend-capacity“ (Kalsbeek & Sykes, 1967) der mentalen Ressourcen beschrieben werden kann (Stassen, Johannsen & Moray, 1990, S. 812). Sollten hierbei allerdings Fehlanpassungen vorliegen, können Probleme auftreten. So kann es einerseits beispielsweise zu einer vom Menschen nicht zu bewältigenden Informationsflut kommen – aufgrund der begrenzten Ressourcen (Vgl. Kapitel 2.1.3; Wickens, 1979, 1984; Wickens et al., 2013; Geiser, 1990) –, andererseits kann Monotonie ebenso einen Leistungsabfall des Menschen verursachen (Vgl. Geiser, 1984, 1990; Vgl. Kapitel 2.1.3). Um genau derartige Diskrepanzen zu verhindern, gibt es allgemeine Normen für die Dialoggestaltung (Vgl. Ergonomische Gestaltung von Arbeitssystemen: DIN EN ISO 6385, 2004; Grundsätze der Dialoggestaltung: DIN EN ISO 9241-110, 2008; Ergonomische Anforderungen an Arbeitsplätze: DIN EN ISO 9241-11, 1999; Ergonomische Aspekte von

Fahrerinformations- und Assistenzsystemen: DIN EN ISO 15008, 2011; Ergonomische Aspekte von Informations- und Kontrollsystemen im Fahrzeug: ISO/TR 12204, 2012).

Mit dem Wissen über die begrenzten menschlichen Informationsaufnahme- und -verarbeitungskapazitäten wird der Bediener oder Operateur speziell in seiner Rolle als Fahrzeugführer im Weiteren näher betrachtet. Die kognitionspsychologischen Grundlagen (Kapitel 2.1) werden sowohl bei der differenzierten Auseinandersetzung mit der Fahraufgabe (Kapitel 2.2.1) als auch bei der Analyse verschiedener Fahrerverhaltensmodelle (Kapitel 2.2.2) und der Fahrperformanz (Kapitel 2.2.3) angewendet.

2.2.1 Verkehrspsychologische Grundlagen der Fahraufgabe

Begrenzte menschliche Ressourcen und vielschichtige Anforderungen durch die Fahraufgabe stehen sich diametral gegenüber. Die Zerlegung der Fahraufgabe in einzelne Ebenen und Teilaufgaben veranschaulicht deren Komplexität und damit den Anspruch an die menschliche Leistbarkeit. Der Mensch als Fahrzeugführer, also als Protagonist im Mensch-Fahrzeug-Regelkreis, hat im Wesentlichen zwei Aufgaben: Die Regelung oder Kontrolle des Fahrzeuges sowie Problemlösungstätigkeiten. Erstere basiert auf dem steten Abgleich zwischen Eingabe- und Ergebnisgrößen und umfasst somit kontinuierliche, aber auch diskrete Handlungen im Sinne von Überwachungstätigkeiten des Fahrers. Problemlösungstätigkeiten hingegen spielen sich auf einer „höheren kognitiven Ebene“ ab und beschreiben die Interpretation von Eingaben und rückgekoppelten Ergebnissen durch den Fahrzeugführer (Johannsen, 1977, 1993). Dabei gehören vor allem die zügige Fahrt von Ort A zu Ort B und eine optimale Bahn-, Abstands- und Geschwindigkeitshaltung zu den übergeordneten Zielen des Fahrers. Trotz eventueller Störungen (bspw. ungünstige Umweltverhältnisse) sollen diese Ziele möglichst gut erreicht werden (Vgl. Johannsen, 1977).

Zur konkreten Beschreibung der einzelnen Aufgaben, welche vom Fahrzeugführer zu erfüllen sind, gibt es umfassende Ansätze. Dass die Fahrzeugführung mehrdimensional – bestehend aus drei Freiheitsgraden (Johannsen, 1993) – und somit sehr komplex ist, ist evident. Geiser (1984) beschreibt in diesem Zuge die Analyse der Teilaufgaben beim Fahren als eine wesentliche Voraussetzung für deren ergonomische Gestaltung. Zunächst kann auf der obersten Ebene zwischen der *primären*, der *sekundären* und der *tertiären* Fahraufgabe differenziert werden (Vgl. McRuer & Krendel, 1962; Geiser, 1984; Bubb, 2003). Während erstere die eigentliche Fahrzeugführung beschreibt – dazu gehören vor allem Handlungen, welche das Halten des Fahrzeuges auf der Spur gewährleisten –, umfasst die sekundäre Fahraufgabe sämtliche Reaktionen des Fahrers auf das umgebende Verkehrsgeschehen. Die Befriedigung von Informations-, Komfort- und Kommunikationsbedürfnissen gehört zu den *tertiären* Tätigkeiten bei der Fahrzeugführung (McRuer & Krendel, 1962; Geiser, 1984; Bubb,

2003). Donges (1977) charakterisiert diese Teilaufgaben, indem er die Führung des Fahrzeuges als antizipatorisches und nachfolgendes Verhalten beschreibt. Die sekundäre Fahraufgabe klassifiziert er als kompensatorisches Verhalten und die Informationsaufnahme kann sowohl mittelbar als auch unmittelbar erfolgen.

Die Fahrzeugführung als primäre Fahraufgabe lässt sich anhand von drei Teilaufgaben konkreter abbilden: *Navigation* und *Planung* beschreiben die oberste, die strategische Ebene des Modells (Bernotat, 1970; Michon, 1985). Die Führungsgrößen auf dieser Ebene entsprechen den vorgegebenen Zielen des gesamten Mensch-Fahrzeug-Systems (Vgl. Kapitel 2.2; Rohmert, 1984; Johannsen, 1993). Die strategische Ebene umfasst dabei die Festlegung der Route vom Start- zum Zielpunkt (Bernotat, 1970; Geiser, 1984) und ist über einen längeren Zeitraum planbar – der Zeitdruck ist eher gering (Michon, 1985). Die *Manöverebene* oder auch die *Bahnführung* (Bernotat, 1970; Michon, 1985) beinhaltet sämtliche Fahrmanöver zur Erreichung des Fahrziels. Dazu gehören vor allem Reaktionen auf die lokale Situation und den Verkehr wie beispielsweise die Anpassung des Geschwindigkeitsniveaus oder der Fahrspur (Bernotat, 1970; Geiser, 1984). Derartige Manöver erfolgen auf einem zeitlichen Horizont von einigen Sekunden (Michon, 1985). Die Basis bildet schließlich die *Stabilisierung* als sogenannte Kontrollebene (Bernotat, 1970; Michon, 1985). Diese umfasst die kontinuierliche Längs- und Querregelung auf der Fahrbahn mittels Gas-, Bremspedal und Lenkrad (Geiser, 1984); das heißt, die Lage des Fahrzeuges wird hier auf sinnvollen Werten gemäß den Gesetzen der Mechanik gehalten (Johannsen, 1993). Für das Herstellen eines stabilen Fahrzeugzustandes, beispielsweise durch Spurhaltung, stehen oftmals nur Millisekunden zur Verfügung, in denen der Fahrer korrekt (re-)agieren beziehungsweise regeln muss (Michon, 1985). Die hierarchische Mehrebenenstruktur beschreibt somit umfassend die Tätigkeiten des Menschen bei der Fahrzeugführung. Dabei spiegelt ihre Rangfolge sowohl die Fehlertoleranz als auch den zeitlichen Spielraum für die einzelnen Aufgaben wider. Je geringer das verfügbare Zeitbudget ist, desto gravierender fallen Fehler durch den Menschen als Fahrzeugführer ins Gewicht. Reichart und Haller (1995) sehen zudem einen Zusammenhang mit der Frequenz der Tätigkeit (nimmt nach unten hin zu) und der kognitiven Anforderung beziehungsweise Komplexität der Aufgabe (nimmt nach oben hin zu). Das heißt während die Festlegung der Route (Navigation und Planung) üblicherweise nur einmal zu Fahrtbeginn erfolgt und (gegebenenfalls an entscheidenden Verkehrsknotenpunkten korrigiert/überprüft werden muss), sind die Tätigkeiten der Stabilisierung dauerhaft auszuführen. Letztere erfordern jedoch (vor allem wenn gelernt) weniger kognitive Ressourcen im Gegensatz zu Navigations- und Planungsaufgaben.

Die Steuerung eines Fahrzeuges kann allgemein als klassisches Beispiel eines Mensch-Maschine-Systems betrachtet werden. Mit ihr können verschiedene Aspekte des

Informationsaustausches und der Regelanforderung beschrieben werden. Grundsätzlich lassen sich die meisten Informationen hierfür aus der Außensicht des Fahrers ableiten, dabei werden die menschlichen Leistungen der Wahrnehmung angesprochen (Vgl. Kapitel 2.1.1). Fahrerhaltensmodelle lassen Schlüsse hinsichtlich der kognitiven Anforderungen an den Menschen bezogen auf die Teilaufgaben der Fahraufgabe zu. Auf Basis der Zerlegung der Fahraufgabe erfolgt im Weiteren ein Überblick über verschiedene Fahrerhaltensmodelle.

2.2.2 Fahrerhaltensmodelle

Die Fahrerhaltensmodelle dienen einer konkreten Beschreibung von Tätigkeiten, welche der Fahrzeugführer mit seinen kognitiven Eigenschaften bewältigen muss. Sie orientieren sich dabei im Wesentlichen an der Charakteristik der Fahraufgabe. Michon (1985) hat einen Überblick über verschiedene Verhaltensmodelle erarbeitet. Zunächst unterscheidet er zwischen verhaltensorientierten (behavioral) und beweggründorientierten (psychological) Ansätzen. Des Weiteren wird zwischen „taxonomic“ und „functional models“ differenziert. Letztere zeichnen sich besonders durch eine Interaktion ihrer Komponenten aus. Zusammen ergibt die Kreuzung der Ansätze vier verschiedene Modellkategorien: „Task Analyses“, „Trait Models“, „Mechanistic Models“ und „Motivational Models“. Zwei Beispiele werden im Folgenden kurz skizziert:

Zu den *verhaltensorientierten, taxonomischen Ansätzen* gehören Modelle, welche sich mit der konkreten Aufgabenanalyse („Task Analyses“) auseinandersetzen. Prominente Beispiele hierfür liefern McKnight & Adams (1970a, 1970b) sowie Fastenmeier & Gstalter (2003). Beiden Ansätzen ist die detaillierte Betrachtung der Aufgaben des Fahrzeugführers und deren Analyse auf eine erfolgreiche Performanz gemein. McKnight & Adams (1970a, 1970b) kommen insgesamt auf 43 separierbare Hauptaufgaben, welche wiederum in 1700 Sub-Tasks untergliedert werden können. Fastenmeier & Gstalter (2003) gehen nach ähnlichem Prinzip – der Zerlegung der Fahraufgabe in Teilaufgaben und schließlich deren zeitlicher Strukturierung – vor. Die „Situative Anforderungsanalyse von Fahraufgaben“ (SAFE) liefert einen Vergleich von „Verhaltens-SOLLwerten“ mit dem „IST-Verhalten“. Die Bewertung der aktuellen Situation erfolgt in den drei aufeinanderfolgenden Schritten: der Einteilung der zu untersuchenden Verkehrslage in einzelne Segmente, der Gliederung der Fahraufgabe in Teilaufgaben und der zeitlichen Ordnung der Teilaufgaben. Situationsspezifische Besonderheiten, wie zum Beispiel Zeitdruck oder bewusste und unbewusste Verarbeitung, werden zusätzlich kodiert (Fastenmeier & Gstalter, 2003). Beide Methoden sind universell einsetzbar und dennoch sensibel gegenüber spezifischen Merkmalen, indem sie jeweils einen kleinen Ausschnitt der Verkehrsrealität abbilden. Während McKnight & Adams (1970a, 1970b) eine Situationsbewertung anhand von Kritikalitätsindizes vornehmen, berichten Fastenmeier &

Gstalter (2003) zusätzlich zu dieser Klassifikation situationsspezifische Auffälligkeiten. Grundsätzlich ist die Herangehensweise beider Ansätze vielversprechend. Es ist jedoch zu kritisieren, dass sie jeweils von vielen detaillierten Faktoren abhängig und damit sehr feingranular, aufwendig und von Laien nicht ohne weiteres anwendbar sind. McKnight & Adams (1970a, 1970b) differenzieren schon in einem ersten Schritt 43 Hauptaufgaben voneinander – nur ein geschulter Beobachter kann eine schnelle Zuteilung vornehmen. Fastenmeier & Gstalter überzeugen hingegen mit ihrem gefilterten Vorgehen.

Zu den *beweggrundorientierten, funktionalen Ansätzen* gehören die sogenannten „Motivational Models“, welche sich auf internale und mentale Zustände des Fahrers fokussieren. Hierunter fallen vor allem „Kompensationsmodelle“, die das empfundene Risiko im Straßenverkehr thematisieren (Michon, 1985). Unter Risiko ist ganz konkret die Verknüpfung von Faktoren zu verstehen, welche die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Bedingungen beschreiben, unter denen negative Konsequenzen von Ereignissen möglich sind (Donges, 1977). Wilde (1981, 1982) hat in diesem Zusammenhang ein Fahrerverhaltensmodell generiert. Dieses beschreibt die Abschätzung der Gefahr als einen Abgleich zwischen wahrgenommenem (perceived level of risk) und zugelassenem Risiko (target level of risk). Obgleich ein eher negativer Nebeneffekt offensichtlich wird, nämlich dass Maßnahmen, welche die objektive Sicherheit erhöhen können, vom Fahrer kompensiert werden (Wilde, 1981, 1982) - auch Weller und Schlag (2004) sowie Schlag (2006) berichten derartige ungünstige Verhaltensänderungen bei einem (bewusst oder unbewusst) wahrgenommenem erweiterten Handlungsspielraum; so lassen sich aus diesem Modell geeignete Unfallvermeidungsstrategien ableiten, welche sich bereits als erfolgreich erweisen konnten (Wilde, 1998).

Die Rubrik der sogenannten „Trait Models“ (als beweggrundorientierter, taxonomischer Ansatz) und die Rubrik der „Mechanistic Models“ (als verhaltensorientierter, funktionaler Ansatz) werden an dieser Stelle nicht ausführlicher spezifiziert. Beide Ansätze sind neben anderen, noch nicht in Michons Klassifikation vorhanden (Vgl. u.a. Cohen, 1987; Braess & Donges, 2006). Die Rubriken basieren auf Persönlichkeitsfaktoren beziehungsweise individuellen Einflussgrößen. In der Herangehensweise der vorliegenden Arbeit bleiben intra- und interindividuelle Unterschiede größtenteils unberücksichtigt. Daher sind die „Trait Models“ und die „Mechanistic Models“ für die weiteren Betrachtungen nicht von Relevanz.

Anstelle dessen liefert das SRK Modell von Rasmussen (1983, 1986) eine wesentliche Grundlage für die weiteren Analysen. In einer hierarchischen Struktur werden von oben nach unten die Wissensebene (knowledge-based behaviour), die regelbasierte Ebene (rule-based behaviour) und die fertigkeitsbasierte Ebene (skill-based behaviour) abgebildet. Die Prozesse auf der obersten Ebene zeichnen sich durch eine hohe Kapazität, jedoch auch durch eine niedrige Verarbeitungsgeschwindigkeit aus, während regelbasierte Prozesse als Handlungen

auf Basis beherrschter Regeln wesentlich schneller ausgeführt werden können. Die fertigkeitbasierten Prozesse werden anhand automatisiert ablaufender Entscheidungen ohne bewusste Aufmerksamkeitszuwendung charakterisiert – die Handlungsstrategien und – abläufe sind daher lange trainiert. Bezogen auf die einzelnen Teilaufgaben der Fahraufgabe ermöglicht dieser Ansatz eine Überführung der Ebenen auf die kognitiven Anforderungen und damit auf unterschiedliche Intensitäten von Workload – in Analogie zu Reichart und Haller (1995). Als Teilaufgaben der primären Fahraufgabe beinhalten die Bahnführungs- und die Stabilisierungsebene sowohl fertigkeit-, als auch regelbasierte Aktivitäten (Vgl. Donges, 2015, S. 18f.). Nachdem diese gelernt wurden, verursachen sie nur noch eine geringe Belastung mentaler Kapazitäten (Wickens et al., 2013, S. 32f.). Die Navigation hingegen impliziert vor allem wissensbasierte Prozesse. Das heißt neben anderen Teilaufgaben der sekundären und tertiären Fahraufgabe führt die Navigation zu einer stärkeren Beanspruchung der mentalen Ressourcen.

Der Mensch als Fahrzeugführer wurde in seinem Verhalten bereits umfassend analysiert. Zielführend für weitere Untersuchungen und als wesentliche Basis der Argumentation wird einerseits der Ansatz von Rasmussen (1983, 1986) gesehen. Dieser ermöglicht zugleich einen Rückschluss auf die Beanspruchung des Fahrers in Abhängigkeit der Aufgabe, die er im Fahrzeug ausführen muss. Andererseits liefern Fastenmeier & Gstalter (2003) eine klare Strukturierung der Fahraufgabe und sich daraus ergebende Anforderungen an den Fahrzeugführer. Was die Anforderungen an den Fahrer bedeuten und wie sich zu hohe Informationsgehalte oder zu viele Informationen auf diesen auswirken, wird im folgenden Kapitel anhand der Konstrukte Fahrerbeanspruchung, -ablenkung und Performanz näher betrachtet.

2.2.3 Fahrerbeanspruchung, -ablenkung und Performanz

Wie eingangs erläutert, gibt es verschiedene Faktoren, welche Unfälle im Verkehrsgeschehen begünstigen können (Vgl. Kapitel 1.3). Diese lassen sich, analog der Bestandteile des einfachen Mensch-Maschine-Regelkreises, in umweltbedingte Ursachen (beispielsweise schlechte Wetterverhältnisse, aber auch ungünstige bauliche Bedingungen), in fahrzeugbedingte Ursachen (beispielsweise ein Defekt am Fahrzeug) und in fahrerbedingte Ursachen (beispielsweise Fehleinschätzungen, aber auch Fahrerbeanspruchung und -ablenkung) unterteilen. Im Folgenden stehen menschliche Eigenschaften und Fähigkeiten im Vordergrund. Nachdem die Komplexität der Fahraufgabe erläutert wurde (Vgl. Kapitel 2.2.1), findet nun eine Verknüpfung mit den mentalen Vorgängen und Voraussetzungen (Vgl. Kapitel 2.1) des Fahrers statt. Die Phänomene „Fahrerbeanspruchung“ und „Fahrerablenkung“

werden als Produkt der Wechselwirkung zwischen Fahrer und Fahrzeug kurz mit ihren Auswirkungen auf die Fahrperformanz skizziert.

Wie in vorherigen Kapiteln erörtert, kann der Mensch nur eine begrenzte Menge an Informationen aus seiner Umwelt gleichzeitig aufnehmen und verarbeiten (Vgl. Kapitel 2.1.2 und 2.1.3). Komplexe Aufgaben – wie beispielsweise die Fahraufgabe (Vgl. Kapitel 2.2.1) – können durch die Menge an Informationen, die auf den Fahrer einwirken, einen erhöhten Workload hervorrufen. Nicht nur die Komplexität und die Anforderung der jeweiligen Fahraufgabe (Vgl. Höger et al., 2012; Rösler, 2012; Rommerskirchen et al., 2014), sondern auch Faktoren wie die Vertrautheit des Fahrers mit der Situation sowie die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle können die resultierende Fahrerbeanspruchung beeinflussen (Vgl. Stassen, Johannsen & Moray, 1990; Bengler et al. 2012). Diese Beanspruchung wiederum kann sich auf die Performanz bei der Fahraufgabe auswirken (Vgl. „performance resource functions“ in Wickens et al., 2013). Performanz bezieht sich hierbei auf die Güte der Erfüllung der primären Fahraufgabe (zum Beispiel „lane keeping“) und der sekundären Fahraufgabe (zum Beispiel „hazard monitoring“) (Vgl. Horrey, Wickens & Consalus, 2006). Ein geeignetes Modell zur Erklärung des Zusammenhangs stammt von De Waard (1996) als eine Form der Erweiterung des Yerkes-Dodson-Gesetzes (Yerkes & Dodson, 1908). Er differenziert zwischen sechs verschiedenen Stadien hinsichtlich der Fahrerbeanspruchung („Workload“) und der Fahrperformanz („Performance“). Das Optimum wird anhand eines moderaten kognitiven Workload beschrieben, welcher ein maximales Resultat hinsichtlich der Fahrperformanz erlaubt. Mit einer steigenden Anforderung an die kognitiven Fähigkeiten wird ein höherer aufgabenbezogener Aufwand notwendig, um das Level der geleisteten Fahrperformanz konstant zu halten. Sobald die Anforderungen das Kapazitätslimit des Fahrers übersteigen, resultiert dies in einem „Overload“. Das heißt, der Workload steigt so stark an, dass der Fahrer diesen nicht mehr kompensieren kann. Als Konsequenz folgt eine rapide Verschlechterung der Fahrperformanz. De Waard betrachtet zudem auch Stadien der Unterforderung (De Waard, 1996, S. 21ff.). Diese sind zwar für die weiteren Betrachtungen nicht von Bedeutung, allerdings wird deutlich, dass ein minimaler Workload nicht einen maximalen Output liefert, vielmehr ist ein optimales Level an Workload erstrebenswert. Bei Abweichungen davon lassen sich im Fahrverhalten verschiedene Kompensationsmechanismen erkennen – zum Beispiel reagieren die Fahrer nicht oder nur verzögert auf eingehende Anrufe und umgebende Fahrszenarien oder reduzieren ihre Fahrgeschwindigkeit um den Handlungsspielraum künstlich zu erweitern (Vgl. Lee, Caven, Haake & Brown, 2001; Shinar, Tractinsky & Compton, 2004; Rosenbloom, 2006; Tractinsky, Ram & Shinar, 2013).

Ein weiteres wichtiges Konstrukt neben der Fahrerbeanspruchung ist die mit ihr eng verknüpfte und auf begrenzten Kapazitäten des Menschen basierende (Vgl. Kapitel 2.1.2)

Fahrerablenkung. Unter Berücksichtigung der Theorie multipler Ressourcen kann Ablenkung genau dann zustande kommen, sobald der Fahrer parallelen Aufgabenanforderungen ausgesetzt wird. Ablenkung kann als Teilmenge von Unaufmerksamkeit verstanden werden. Im Gegensatz zu Unaufmerksamkeit ist bei ihr immer eine explizite Aktivität vorhanden, zu welcher die Aufmerksamkeit hin gewendet wird (Vgl. Lee, Young & Regan, 2009; Regan, Young, Lee & Gordon, 2009; Wickens & Horrey, 2009). Erklären lässt sich das Phänomen dabei anhand der Theorie der geteilten Aufmerksamkeit (Vgl. Kapitel 2.1.2). Fahrerablenkung lässt sich wie folgt zusammenfassen: „Driver distraction is a diversion of attention away from activities critical for safe driving toward a competing activity.“ (Lee, Young & Regan, 2009, S. 34). Als Ursachen für die Ablenkung von der Fahraufgabe gelten Objekte, Personen, Events und fahrfremde Aktivitäten (umfassende Ursachenanalyse Vgl. Regan et al., 2009). Immer lässt sich eine Diskrepanz zwischen erforderlicher und tatsächlich gewidmeter Aufmerksamkeit zur Fahraufgabe beobachten. Diese Abwendung vom Fahrgeschehen kann zu erhöhtem Workload und folglich zu sicherheitskritischem Fahrverhalten führen (Lee, Young & Regan, 2009; Regan et al., 2009). Dazu gehören u.a. schlechtere Spurhaltequalitäten, längere Reaktionszeiten und ein erhöhtes Unfallrisiko (Vgl. Horrey, Wickens & Consalus, 2006; Überblick über die Phänomene „inattention blindness“ und „change blindness“ in Wickens & Horrey, 2009).

Die beiden Konstrukte „Fahrerbeanspruchung“ und „Fahrerablenkung“ haben ähnliche Ursachen, wirken sich unterschiedlich auf den Fahrer aus, können aber schließlich zu den gleichen Konsequenzen führen. Dazu zählt vor allem die schlechtere Fahrperformanz, welche mit einem steigenden, nicht kompensierbaren Workload oder einer erhöhten Ablenkung einhergeht (Vgl. Hoogendoorn, Hoogendoorn, Brookhuis & Daamen, 2010). Durch die Aufmerksamkeitsablenkung oder auch eine den Fahrer überfordernde Informationsflut kann es zu einer verschlechterten und sogar sicherheitskritischen Fahrperformanz kommen. Diese Zusammenführung liefert schließlich eine wichtige Basis für die Bewertung und Diskussion vorhandener Fahrerassistenzsysteme, speziell vorhandener Workloadmanagement-Konzepte. Sind aktuelle Systeme schon heute in der Lage, den Fahrer adaptiv zu entlasten?

2.3 Forschungsstand Workloadmanagement-Konzepte

Aufbauend auf der Auseinandersetzung mit den Ursachen, Wirkungen und Konsequenzen von erhöhter Fahrerbeanspruchung und Fahrerablenkung folgt nun ein direkter Blick ins Fahrzeug. Die Fragen, die sich unmittelbar stellen, sind: Wodurch wird heute im Fahrzeug (zusätzlich zu verkehrsbedingten Ursachen) eine erhöhte Fahrerbeanspruchung hervorgerufen? Und: Welche Möglichkeiten gibt es, diese möglichst gering zu halten? Offensichtlich ist, dass bei einer unzureichenden Abstimmung zwischen dem Fahrzeug und den Eigenschaften der

Informationsaufnahme, -verarbeitung und -ausgabe des Menschen, Probleme entstehen können. Resultieren kann diese Fehlanpassung einerseits in Unterforderung und andererseits in Überforderung (Vgl. Geiser, 1990). Letzteres ist vor allem für die folgenden Betrachtungen von großer Relevanz. Genau dann, wenn der Fahrer mehrere Aufgaben gleichzeitig bewältigen muss, kann es zur Ablenkung vom aktuellen Fahrgeschehen sowie zu einem „Overload“ kommen (Vgl. Kapitel 2.2.3). Die gleichzeitig auszuführenden Aufgaben konkurrieren dann um die verfügbaren Ressourcen des Menschen (Geiser, 1990, S. 146). Genau aus diesem Grund ist es essentiell, Funktionen zu entwickeln, welche den „Overload“ des Fahrers (zumindest fahrzeugseitig) unterbinden können. Bei der Betrachtung aktuell vorhandener Fahrerinformations- und -assistenzsysteme wird deutlich, dass diese zwar den Fahrkomfort erhöhen, allerdings gleichzeitig zu Fahrerablenkung und einem erhöhten Workload-Level führen können (Vgl. Lee, Young & Regan, 2009). Systeme, welche nur in Abhängigkeit des aktuellen Beanspruchungs- und Ablenkungsniveaus Informationen ausgeben und diese gegebenenfalls in komplexen Fahrsituationen oder unter schwierigen Umweltbedingungen ausblenden (Vgl. Janssen et al., 1993; Piechulla, Peißner, Wersé & Zimmer, 2001), können unter dem Oberbegriff „Workloadmanagement“ zusammengefasst werden. Was genau diese Konzepte implizieren, wie eine einheitliche Definition formuliert werden kann und wie die Einordnung in die bestehenden Strukturen der FIS und FAS aussieht, wird zunächst als Basis erarbeitet (Kapitel 2.3.1). Vor dem Hintergrund, den Workload im Fahrzeug möglichst auf einem optimalen Level zu halten, erfolgt ein umfassender Überblick über bereits vorhandene Konzepte, die dieses Ziel verfolgen. Bis heute gibt es viele verschiedene und weitreichende Ansätze, wie ein Workloadmanagement im Fahrzeug umgesetzt werden kann – hierzu liefert das Kapitel 2.3.2 eine strukturierte Übersicht. Schließlich können der Auseinandersetzung mit vorhandenen Workloadmanagement-Konzepten auch Möglichkeiten entnommen werden, wie Fahrerbeanspruchung gemessen werden kann. Verwendete Messmethoden und geeignete Vorgehensweisen werden abschließend (Kapitel 2.3.3) erörtert. Folgend speisen diese Erkenntnisse vor allem den praktischen Teil der Arbeit, bei dem die Kontrolle und Aufzeichnung vom mentalen Workload des Fahrers einen wesentlichen Bestandteil bildet.

2.3.1 Definition Workloadmanagement im Zusammenhang mit Fahrerassistenzsystemen

Eine prägnante Definition für Fahrerassistenzsysteme liefert Bubb (2003), indem er jedes „rechnerunterstützende System“, das die Bedienung verschiedener Fahrzeugfunktionen erleichtern und erweitern soll, darunter fasst. Diese Unterstützung des Fahrers bei der Erfüllung seiner Fahraufgabe soll genau nach dessen Regeln und Erwartungen erfolgen und

ihn zudem nicht zusätzlich belasten oder gar in seiner Entscheidungsfreiheit einschränken (Reichart & Haller, 1995, S. 205). Nur wenn es vom Benutzer als konsistent, homogen und transparent empfunden wird, gilt ein FAS als gelungen (Piechulla et al., 2001). Das heißt, das Verhalten derartiger Unterstützung bei der Fahraufgabe muss für den Fahrer immer verständlich sein, seine Wirkweise muss nachvollziehbar und interpretierbar bleiben (Reichart & Haller, 1995) und außerdem müssen derartige Systeme zu jeder Zeit übersteuerbar sein (Vgl. Wiener Konvention, 1968). Um eine grobe Struktur in vorhandene Funktionen und Systeme zu bringen, gibt es vielseitige Ansätze. Nutzerzentrierte Herangehensweisen differenzieren nach der jeweiligen Unterstützungsart im Zusammenhang mit den verschiedenen Fahraufgaben (Vgl. Kapitel 2.2.1 und 2.2.2). Bezogen auf die Wirkweise von Assistenzsystemen unterscheiden Reichart und Haller (1995) „Informationssysteme“, „Warnsysteme“ und „Aktionsunterstützungssysteme“. Etwas feingranularer sind Gasser, Seeck & Walker Smith (2015) mit ihren folgenden drei Kategorien: „Informierende und warnende Funktionen“, „Kontinuierlich automatisierende Funktionen“ und „Eingreifende Notfallfunktionen“. Mit dieser Differenzierung hinsichtlich der Wirkweise kann unterschieden werden, ob Assistenzfunktionen 1) rein „mittelbar über den Fahrer auf die Fahrzeugführung wirken“ (*informierende und warnende Funktionen*); 2) einen „unmittelbaren Einfluss auf die Fahrzeugsteuerung haben, dabei aber immer vom Fahrer übersteuerbar bleiben“ (*kontinuierlich automatisierende Funktionen*); oder 3) einen „unmittelbaren Einfluss auf die Fahrzeugsteuerung in unfallgeneigten Situationen“ haben, in denen der Fahrer nicht mehr reagieren kann (*eingreifende Notfallfunktionen*) (Vgl. Gasser, Seeck & Walker Smith, 2015, S. 28f.).

Während *kontinuierlich automatisierende Funktionen* Assistenzen auf der Führungsebene umfassen (dazu gehören unter anderem der Abstandsregeltempomat und Assistenz bei der Spurhaltung), gehören zu *eingreifenden Notfallfunktionen* ausschließlich Notassistenten, die in unfallgeneigten Situationen, in denen der Fahrer (beispielsweise aufgrund zu kurzer Zeitbudgets) nicht mehr handlungsfähig ist, automatisch eingreifen und die Kontrolle übernehmen (Vgl. Gasser, Seeck & Walker Smith, 2015, S. 29).

Die *informierenden und warnenden Funktionen* bilden für die vorliegende Arbeit – mit Fokus auf die Entwicklung eines situativen Informationsmanagements – die wichtigste Kategorie. Der Begriff „Information“ lässt sich anhand der Informationstheorie (Shannon & Weaver, 1975) in den Prozess der Nachrichtenübermittlung einordnen. Eine Spezifikation wird erstmals von Kunz & Rittel (1972) mit der „Information als Wissensänderung“ vorgenommen. Durch fahrzeugeigene Informationssysteme – zum Beispiel Navigationshinweise in Form von Anzeigen oder Ansagen (Vgl. Bubb, 2003; Färber, 2006) oder Streckeninformationen wie unter anderem die aktuell zugelassene Höchstgeschwindigkeit (Vgl. Gasser, Seeck & Walker Smith, 2015) – kann der Fahrer maßgeblich bei seinen Aufgaben unterstützt werden (Johannsen,

1993). Eine Strukturierung verschiedener Informationsformen zur Unterstützung des Fahrers bei seiner Fahraufgabe nehmen Janssen et al. (1993) vor. Sie differenzieren zwischen „enhancement“ (Veränderung der Menge an Informationen), „augmentation“ (Veränderung der Form der Information), „interpretation“ (Veränderung der Bedeutung der Information) und „support“ (Veränderung des Zwecks der Information). Dabei kann die Information die Wahrnehmung des Fahrers erweitern. Besonders durch neuartige Car-2-X Funktionalitäten (Vernetzung der Fahrzeuge untereinander beziehungsweise mit der Infrastruktur; Vgl. Stahlmann, Festag, Tomatis, Radusch & Fischer, 2011; Fuchs, Hofmann, Löhr & Schaaf, 2015) kann der Fahrer umfassender über sein Umfeld aufgeklärt werden. Die Vernetzung der Fahrzeuge bringt etliche Vorteile mit sich. Dazu gehören unter anderem eine frühzeitige Information zur Vermeidung unvorhersehbarer kritischer Situationen (Vgl. Werneke, Kleen, Rhede & Vollrath, 2012; Naujoks, Grattenthaler & Neukum, 2012, 2013; Alghamdi, Shakshuki & Sheltami, 2012) und eine effizientere Fahrweise zum Beispiel durch die Antizipation vorausliegender Ampelphasen (Vgl. Totzke & Volk, 2013; Krause & Bengler, 2012; Popiv, Rommerskirchen, Rakic, Duschl & Bengler, 2010a; Popiv, Rakic, Laquai, Duschl & Bengler, 2010b). Informierende Funktionen implizieren reine Mitteilungen des Fahrzeuges an den Fahrer, welche etwa als Pop-up im Kombiinstrument in Verbindung mit einer Akustik präsentiert werden können (Wickens et al., 2013).

Insgesamt kann der Operateur bei der Erfüllung seiner Fahraufgabe durch den Einsatz der genannten Assistenzsysteme unterstützt werden – es findet dann eine Verschiebung der Anforderungen an den Menschen statt (Gkikas, 2012). Einen umfassenden Überblick mit ausführlichen Beispielen für aktuell vorhandene FAS und deren Unterstützungspotential bezogen auf die einzelnen Ebenen der Fahraufgabe liefern unter anderen Bengler et al. (2012) und Bubb & Bengler (2015). Die Unterstützung ist jedoch nur dann geboten, wenn die Systeme den Anforderungen nach „Nutzertransparenz“ und „Erwartungskonformität“ nachkommen (Färber, 2006). Diese werden beispielsweise durch (Status-)Informationen, welche mittelbar über den Fahrer ausgegeben werden, erfüllt. Die zugrunde gelegte Taxonomie verdeutlicht drei voneinander unabhängige Kategorien unterstützender Systeme im Fahrzeug. Innerhalb jeder Kategorie werden die Meldungen des Fahrzeugs an den Fahrer priorisiert. Eine solche Priorisierung existiert jedoch zwischen Meldungen unterschiedlicher Kategorien nicht. Die ausgegebenen Hinweise und Informationen dieser an den Fahrer erfolgen größtenteils anhand nicht abgestimmter Informationsstrategien. Mit der stetigen Zunahme an verschiedenen FIS und FAS ist offensichtlich, dass sich gleichzeitig die Anzahl an ungefilterten und nicht abgestimmten Informationen im Fahrzeug vermehrt. Überdies gibt es im Fahrzeug und dessen Umfeld viele verschiedene Informations- und Kommunikationsquellen beziehungsweise -ursachen (Bengler, Bubb, Totzke, Schumann & Flemisch, 2005). Damit einher gehen die Forderungen nach Berücksichtigung der Fahrerablenkung und -beanspruchung (Vgl. Geiser,

1984; Färber, 2004; Bengler et al., 2005; Sprenger, 2008; Lee, Young & Regan, 2009). Um diesem Trade-off zwischen maximalem Nutzen (Sicherheits- und Komfortgewinn des Fahrers) und minimalen Kosten (Ablenkung und erhöhte Beanspruchung des Fahrers) gerecht zu werden (Lee, Young & Regan, 2009), wird ein entsprechendes Workloadmanagement benötigt. Ein Workloadmanager wird hierbei als ein System verstanden, welches kontinuierlich ermittelt, ob der Fahrer überlastet oder abgelenkt ist und wenn dem so ist, die Informations- und Warnausgaben im Fahrzeug an diesen Zustand anpasst (Vgl. Green, 2004; Willner & Meurle, 2005). Diese Definition erlaubt die Einordnung in die Klassifikation der Assistenzsysteme – Workloadmanager beeinflussen demzufolge die Ausgaben von informierenden (und warnenden) Funktionen bezogen auf die tertiäre Fahraufgabe. Als FAS soll dieses den Fahrer möglichst wenig stören und dabei sowohl die Sicherheit als auch das Komfortempfinden erhöhen (Bubb, 2003). Wie genau eine Anpassung von Informationsausgaben erfolgen kann und wovon sie abhängig gemacht werden kann, wird Bestandteil des nachfolgenden Kapitels sein. In einem nächsten Schritt erfolgt die Auseinandersetzung und Strukturierung bereits vorhandener Konzepte und Entwürfe, um schließlich einen Forschungsbedarf daraus ableiten zu können (Kapitel 3.2).

2.3.2 Vorhandene Ansätze zur Verringerung der Fahrerbeanspruchung

Nachdem beschrieben wurde, welche Unterstützung ein Workloadmanagement im Fahrzeug liefern kann, wird nun überblicksartig auf vorhandene Ansätze und Konzepte eingegangen. Um möglichst eine Vielzahl an Konzepten abzubilden, muss eine umfassende Struktur zugrunde gelegt werden. In Orientierung an Green (2004) wird die Einordnung des Managementkonzepttyps an der zugrundeliegenden Datenbasis vorgenommen. Hierbei wird zwischen *Fahrzeugdaten/Performanz* („vehicle response/performance“), *Fahrsituation* („driving situation“), *Fahrerzustand* („driver state“) und *Fahrerinput/-bedienung* („driver input“) unterschieden (Green, 2004, S. 5ff.). Bei der Betrachtung der verschiedenen Ansätze wird deutlich, dass es nur wenige Konzepte gibt, die lediglich auf eine einzige Datenbasis zurückgreifen.

Zunächst werden die Workloadmanagement-Typen kurz erläutert, deren wesentliche Quelle die *Fahrzeugdaten* (darunter fallen u.a. die Geschwindigkeit, Beschleunigung, Verzögerung, aktueller Fahrstreifen) sind: Der Informationsmanager von Färber (Färber & Färber, 2003; Färber, 2004) bezieht sich hauptsächlich auf Sensordaten (Umwelt und Sicht) sowie auf aktive Systeme und zum Teil auch auf Betätigungen durch den Fahrer. Dabei werden die Messdaten einzelnen Manövern zugeordnet. Sobald diese eine gewisse Beanspruchung des Fahrers präzisieren, werden Ausgaben von Navigationsgerät und Telefon einem Prioritätenmanagement unterzogen beziehungsweise zurückgestellt oder gänzlich ausgefiltert

(Färber & Färber, 2003; Färber, 2004). Auch das implizite Workloadmanagement von Muigg (2009) macht sich vor allem die Fahrzeugdaten und die Fahrsituation zunutze, um die Meldungsausgabe entsprechend zeitlich anzupassen. Die verwerteten Fahrzeugdaten werden bei beiden Ansätzen online ausgewertet und führen zu einer direkten Situationsschätzung durch das System. Neben individuellen Unterschieden kann es auch zu situativen Unterschieden, basierend auf kleinsten Differenzen in den ermittelten Werten, kommen. Diese verursachen einen entscheidenden Nachteil: Das System wirkt für den Fahrer schlecht nachvollziehbar und lässt kaum Transparenz zu.

Die aktuelle *Fahrsituation* (dazu gehören zum Beispiel: Verkehrsaufkommen, Straßenverlauf, Tageszeit, erlaubte Geschwindigkeit) wird von nahezu allen Ansätzen berücksichtigt. Straßenbauliche Streckenmerkmale werden von Totzke, Rauch, Ufer, Krüger & Rothe (2008) zur online Vorhersagbarkeit der Fahrerbeanspruchung und von Daimler und Motorola sogar schon aktuell im Fahrzeug zur Entscheidung über den Darstellungszeitpunkt nicht dringlicher Informationen („driver advocate system“ in Buchholz, 2003) genutzt. Auch Volvo priorisiert mit seinem „intelligent driver information system“ (IDIS) über einen „Workload Estimator“ anhand von Sensordaten die Darstellung eingehender Informationen an den Fahrer (Broström, Engström, Agnvall & Markkula, 2006). Das „dialog management system“ von Saab weist eine sehr ähnliche Funktionsweise auf, mit dem Unterschied, dass auch der Fahrerinput berücksichtigt wird und eine Situationsinterpretation über das „safety“ oder das „norm level“ (inklusive fünf sub-states) erfolgt (Nåbo, 2008). Einen wesentlichen Bestandteil macht die Fahrsituation zudem bei einem der ältesten Konzepte – GIDS („Generic intelligent driver support“) (Vgl. Michon, 1993; Hoedemaeker, De Ridder & Janssen, 2002) – aus. Diese wird hier aus verschiedenen Daten agglomeriert (zuzüglich des Fahrerinputs und der Fahrzeugdaten), woraufhin durch das „Manoeuvring and Control Support Module“ und den „Workload Estimator“ eingehende Nachrichten interpretiert, gefiltert, integriert, priorisiert und schließlich dargeboten oder unterdrückt werden können. Die Weiterentwicklung von GIDS – die „Application of real-time intelligent aid for driving and navigation enhancement“ (ARIADNE) – orientiert sich ebenso an einer Situationsinterpretation unter Hinzunahme der Interaktion des Fahrers mit anderen Verkehrsteilnehmern (Hoedemaeker, De Ridder & Janssen, 2002). Schließlich gibt es noch die „Situations-angepasste und Nutzer-Typ zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung“ (SANTOS), welche vordergründig dynamische Ereignisse und Umfelderkennung zur Basis hat, anhand derer adaptierbare, adaptive und integrierte FAS gesteuert werden (Vgl. König, Weiß & Mayser 2003; Fastenmeier, 1995; Fastenmeier & Gstalter, 2003; Piechulla, Mayser, Gehrke & König, 2002, 2003a, 2003b). Die Fahrsituation wird bei allen genannten Konzepten online erfasst und ihre Bewertung liefert einen Workloadindex. Basierend auf dem Index werden Informationen gefiltert, unterdrückt,

priorisiert oder ähnliches. In dem Fall entsteht derselbe Nachteil wie bei Konzepten, die auf Fahrzeugdaten zurückgreifen – die Funktion wirkt für den Fahrer nicht nachvollziehbar.

Der *Fahrerzustand* als direkter Parameter wird nur von wenigen Workloadmanagementkonzepten tatsächlich genutzt. Unter Fahrerzustand sind alle „zeitveränderlichen Eigenschaften des Fahrers, die für die Fahraufgabe relevant sind“ zusammengefasst (Vgl. Langer, Abendroth & Bruder, 2015). Da es sehr viele verschiedene Faktoren gibt, welche den Zustand des Fahrers kurz- oder langfristig beeinflussen können (Vgl. ebd.), scheint eine korrekte (online) Interpretation schwierig. Dies erklärt die geringe Nutzungshäufigkeit. Zu Konzepten, welche auf dem Fahrerzustand basieren gehören Save-IT („Safety vehicles using adaptive interface technology“) (Smith, Witt & Bakowski, 2008; Young & Carsten, 2013), AIDE („adaptive integrated driver-vehicle interfaces“) (Andreone et al., 2005; Amditis, Andreone, Polychronopoulos & Engström, 2005; Amditis, Polychronopoulos, Andreone & Bekiaris, 2006; Deregibus, 2008; Gelau et al., 2008; Pagle, 2008) sowie COSMODRIVE („cognitive simulation modell of the drive“) (Bellet & Tattegrain-Veste, 1997; Bellet, Bornard, Mayenobe & Gruyer, 2011; Bellet, Mayenobe, Bornard, Paris & Gruyer, 2012). Den beiden erstgenannten Ansätzen ist die Fahrerbeobachtung mit Interpretation der Kopfposition und/oder Blickrichtung gemein. Offensichtlich muss aufgrund großer Interpretationsspielräume bei der Fahrerzustandserkennung ein grobes Raster zugrunde gelegt werden. Je geringer die Zustandsänderungen sind, welche direkt zu einer Adaption des Workloadmanagements führen, desto sensibler und damit undurchsichtiger und weniger verständlich wird ein solches System. Auch hier erscheint die online Messung und Anpassung problematisch.

Die letzte große Einheit bilden die Ansätze, welche im Wesentlichen auf dem *Input* beziehungsweise den *Bedienhandlungen* des Fahrers basieren. Primär werden derartige Daten (darunter: Stellung von Gas-, Brems-, Kupplungspedal und Lenkrad) für die „Communication multimedia unit inside car“ für eine dreistufige Warnausgabe in Abhängigkeit des gegenwärtigen Workloadmanagement-Levels genutzt (Vgl. Hoedemaeker, De Ridder & Janssen, 2002; Centro Recierche, 2003; Schindhelm, Gelau & Hoedemaeker, 2004; Andreone et al., 2005; Bellotti, De Gloria, Montanari, Dosio & Morreale, 2005; Amditis et al., 2006). Anrufumleitungen erfolgen beim „In-car communication agent“ (In-CA) auf derselben Basis, dabei wird dem Fahrer der vorhandene Zustand in der Statusleiste dargeboten (Kern, Schmidt, Pitz & Bengler, 2007). Auch Seitz (2013; Seitz, Daun, Zimmermann & Lienkamp, 2012) greift für die direkte und die indirekte Beanspruchungsschätzung hauptsächlich auf die Fahrerhandlungen und den Fahrerzustand zurück. Alle genannten Konzepte fußen wiederum auf der online Messung und Anpassung.

Ein Beispiel für einen integrativen Ansatz, welcher eine Vielzahl an Daten berücksichtigt, ist der „Lermer-Index“ – anhand des „Warn- und Informationsmanagers“ kann somit eine

ganzheitliche Informationskoordination erfolgen (Lermer, 2010). Den letzten interessanten Ansatz präsentieren Krüger, Küting & Entenmann (2001), indem sie gezielt den Workload älterer Fahrer durch frühzeitige Navigationsansagen reduzieren wollen. Für die Datenbasis dieses Konzeptes bedarf es einer neuen Kategorie – der Fahrereigenschaften (driver characteristics).

Allen beschriebenen Konzepten ist gemein, dass der Workload des Fahrers basierend auf spezifischen Werten geschätzt wird. Ab einem gewissen Grad mentaler Fahrerbeanspruchung soll diese durch ein gezieltes Informationsmanagement reduziert werden. Die meisten Ansätze beruhen dabei auf einer Fusion aus verschiedenen, im Fahrzeug abgreifbaren Daten. Hybride Formen ermöglichen bekanntlich eine höhere Datensicherheit und damit eine bessere Zuverlässigkeit. Wobei die Differenziertheit gleichzeitig die Transparenz für den Fahrer um ein nicht unkritisches Maß verringern kann. Zudem ist allen Ansätzen gemein, dass diese auf online Daten basieren. Während der Fahrt werden die entsprechenden Parameter ermittelt und fließen umgehend in die Berechnung eines Workload-Index ein, welcher wiederum eine Auswirkung auf die Form und Menge der dargebotenen Informationen im Fahrzeug hat. Da sowohl die Fahrzeugdaten/Performanz, wie auch die Fahrsituation, der Fahrerzustand und der Fahrerinput/-bedienung Größen sind, welche sich während der Fahrt sporadisch ändern können, kann es jeweils zu nicht nachvollziehbaren individuellen und/oder situativen Unterschieden, sowie zu einer zeitlich nicht nachvollziehbaren Verzögerung kommen. Eine ausführlichere Auseinandersetzung mit den Ansätzen erfolgt in Kapitel 3.2. Überdies ist offensichtlich, dass zwar eine Reihe von Konzepten genannt wurde, diese Aufzählung jedoch nicht dem Anspruch auf Vollständigkeit gerecht werden kann. Weitere Skizzen und Konzeptionen sind unter Hoedemaeker, De Ridder & Janssen (2002), Green (2004), Seitz (2013) oder Young & Carsten (2013) nachzuvollziehen.

2.3.3 Messmethoden zur Beanspruchungsschätzung

Folgend an den umfassenden Überblick über vorhandene Workloadmanagement-Konzepte steht nun im Vordergrund, wie man das Konstrukt „Beanspruchung“ im Fahrzeug überhaupt messbar machen kann. Einige der Methoden, die nachstehend aufgeführt werden, wurden bereits bei diversen Workloadmanagern zur Online-Messung der Fahrerbeanspruchung umgesetzt. Grundsätzlich konnte festgestellt werden, dass die menschliche Beanspruchung ein komplexes Konstrukt abbildet (Vgl. Kapitel 2.1.3 und 2.2.3). Daraus lässt sich schließen, dass auch deren Schätzung nicht gerade unkompliziert ist (Vgl. Diskurse in der Literatur zum Beispiel Schmidtke, 2002).

Der Überblick über die verschiedenen Messmethoden liefert zugleich eine Bewertung der Eignung des jeweiligen Verfahrens als online oder offline Instrument. Es empfiehlt sich eine

strukturierte Herangehensweise. Generell kann zwischen Leistungsmaßen („performance measures“), subjektiven Maßen („subjective measures“), (psycho-)physiologischen Daten („physiological measures“), analytischer Messung und dem Blickverhalten („gaze behaviour“) als Indizes für menschliche Beanspruchung differenziert werden (Vgl. Wickens, 1979; O'Donnell & Eggemeier, 1986; De Waard, 1996; Kerkau, 2006; Schwalm, 2009; Vidulich & Tsang, 2012). Hinsichtlich der Leistungsmaße kann wiederum die Performanz der primären Fahraufgabe (dazu gehören Werte wie beispielsweise die Spurhaltegröße oder die Abstandshaltung zum Vorderfahrzeug) sowie auch die der Nebenaufgabe (speziell die Performanz in der Aufgabe, die dem Fahrer zusätzlich gegeben wird) gemessen werden (Vgl. O'Donnell & Eggemeier, 1986; Wickens, 1979; Schwalm, 2009). Piechulla et al. (2001) stellten fest, dass hinsichtlich der Performanz in der primären Fahraufgabe nur dann etwas messbar ist, wenn die mentale Beanspruchung des Fahrers besonders hoch ist (Vgl. Kompensationsmechanismen: Shinar, Tractinsky & Compton, 2004; Lee et al., 2001). Das „Sekundäraufgabenparadigma“ beschreibt daher die Leistung in der Nebenaufgabe als aussagekräftiger (Piechulla et al., 2001). Zudem gilt – basierend auf der Theorie der multiplen Ressourcen (Wickens, 1979, 2002; Vgl. Kapitel 2.1.2) -, dass, je stärker sich die Haupt- und die Nebenaufgabe ähneln, die Nebenaufgabe umso besser als Indikator für den aktuellen Workload geeignet ist (De Waard, 1996; Rothengatter et al., 1993). Die Interpretation der Fahr- oder Nebenaufgabenperformanz kann sowohl online geschehen als auch im Anschluss an die Fahrt oder in der Manipulationsphase. Bei der online Datenverarbeitung können zuvor genannte Nachteile entstehen – kleinste Verschlechterungen in der Spurhaltegröße, welche als Indiz für einen erhöhten Fahrerworkload durchaus interpretierbar sind, beeinflussen die Ausprägung eines kompletten Systems im Fahrzeug (zum Beispiel die Informationsstrategie). Zielführender scheint die Betrachtung der Daten im Anschluss an die Fahrt beispielsweise als Manipulationscheck.

Bezüglich der subjektiven Befragung zur Beanspruchungsmessung kann zwischen eindimensionalen und multidimensionalen Skalen unterschieden werden (De Waard, 1996). Ein Beispiel für eindimensionale Messverfahren ist die Skala zur subjektiv erlebten Anstrengung („Rating Scale Mental Effort“ [RSME-Skala]: Zijlstra, 1993; „Subjektiv Erlebte Anstrengung“ [SEA-Skala]: Eilers, Nachreiner & Hänecke, 1986), eines für mehrdimensionale Verfahren der NASA Task Load Index (Hart & Staveland, 1988; Hart, 2006). Eggemeier & Wilson (1991) bestätigen, dass aufgeschobene Befragungen bis zu 30 Minuten nach der zu bewertenden Aufgabe keinen nachteiligen Effekt haben. Subjektive Daten können jeweils nur in direktem Anschluss an die Fahrt ausgewertet werden. Sie eignen sich daher unter anderem zur offline Schätzung der Beanspruchung bei unterschiedlichen Verkehrssituationen.

Physiologische Daten zur Beanspruchungsmessung sind vielseitig und dennoch, speziell im Fahrzeugkontext, wegen ihrer bedingten Eignung oft diskutiert (Vgl. Färber & Färber, 2003;

Dirican & Göktürk, 2011; Seitz et al., 2012; Li et al., 2013; Mantzke, 2013). Gemessen werden können beispielsweise die Gehirnströme anhand eines Elektroencephalogramms (EEG) (Vgl. Ribback, 2003; Kincses et al., 2008), die Herzrate (Brookhuis & De Waard, 2002) oder Herzratenvariabilität (Mulder & Mulder-Hajonides von der Meulen, 1973; Mulder, 1992) anhand eines Elektrokardiogramms (EKG) (Vgl. Robertson & Goodwin, 1988), die elektrodermale Aktivität in Form der Hautleitfähigkeit (Vgl. Schandry, 1996; Seitz et al., 2012) oder der Pupillendurchmesser (Beatty, 1977) anhand der Pupillometrie („Index of cognitive activity“: Schwalm, 2009; Mantzke, 2013). Eine weitere Methode ist die analytische Messung – hierbei erfolgt eine indirekte Beanspruchungsschätzung auf Basis von Zeitverlaufsanalysen (Vgl. Schwalm, 2009; Seitz, 2013). Schließlich kann die Beanspruchung des Fahrers auch über sein Blickverhalten operationalisiert werden. Hier gibt es einerseits die Analyse von Blickverhaltensmustern beziehungsweise Blickstrategien (Vgl. Cohen, 1987; Schweigert & Bubb, 2003; Plavsic, 2010; Plavsic et al, 2010; Birrell & Fowkes, 2014) und andererseits die Interpretation von Blinzelraten und -dauern (Vgl. Benedetto, Pedrotti, Minin, Baccino & Re, 2011). Erstere gelten vor allem als Prädiktor für die visuelle Beanspruchung. Sowohl physiologische Daten wie auch Blickdaten können entweder (mit bereits genannten Nachteilen) direkt online in einen Workload-Index einfließen oder lassen eine nachträgliche Beanspruchungsschätzung der Manipulationsphase zu. Kleinste Veränderungen/Ausschläge suggerieren zwar eine Änderung der Beanspruchung des Fahrers, bis der entsprechende Index online berechnet wurde und in das Informationsmanagement einfließen kann, kann die beanspruchende Situation jedoch schon vorbei sein.

Zusammenfassend zeigt die Übersicht die Vielseitigkeit der messbaren Variablen (für detailliertere Informationen Vgl. Wickens, 1979; Eggemeier & Wilson, 1991; De Waard, 1996; Kerkau, 2006; Schwalm, 2009; Wickens et al., 2013). Genau aus diesem Grund muss die entsprechende Methodik mit Bedacht ausgewählt werden. Es bietet sich hierbei an, Empfehlungen aus der Literatur zu berücksichtigen: Zunächst wird nahegelegt, möglichst multidimensionale Daten zu erfassen (Vgl. De Waard & Lewis-Evans, 2014), um so gegebenenfalls auch unterschiedliche Arten von Beanspruchung zu erheben (Vgl. Stassen, Johannsen & Moray, 1990). Das impliziert zugleich die Unterscheidung zwischen objektiven und subjektiven Parametern, da erstgenannte vordergründig die Beanspruchung durch die jeweilige Situation wiedergeben, während die Probanden bei einer subjektiven Befragung nicht klar zwischen der Schwierigkeit der Situation und der gleichzeitig auszuführenden Aufgabe trennen können (Vgl. Veltman, Gaillard & Breda, 1997). Subjektive Daten gelten im Allgemeinen dennoch als zuverlässig (Gulian, Glendon, Matthews, Davies & Debney, 1988). Bei der Beanspruchungsschätzung macht es offenbar keinen Unterschied, ob der Proband das Level selbst beschreibt oder ein Beobachter die Einschätzung vornimmt (Vgl. Leggatt & Noyes, 1997). Schließlich wird wegen großer interindividueller Unterschiede ein within-

subjects Design empfohlen (Wickens, 1979; De Waard, 1996; Carsten, 2014). Schlussendlich ist die Verwertung der gewonnenen Daten entscheidend: Da online Instrumente für das zu entwickelnde situative Workloadmanagement zu viele und gravierende Nachteile aufweisen, kann eine Empfehlung zur offline Auswertung ausgesprochen werden. Die Herausforderung besteht darin, die am besten geeigneten Verfahren im Fahrzeug anwendbar umzusetzen. Dazu wird in einem weiteren Schritt der resultierende Forschungsbedarf (Kapitel 3) diskutiert.

3 Resultierender Forschungsbedarf

Die menschliche Informationsverarbeitung wurde in Kapitel 2.1 diskutiert und charakterisiert. Zudem hat eine Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften der Fahraufgabe und ihrer verschiedenen Ebenen (Kapitel 2.2) stattgefunden. Als Folgerung für den bestehenden Forschungsbedarf an der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine konnte einhergehend mit der Zunahme an Informationen im Fahrzeug (Car-2-X Technologien) die Frage nach einem geeigneten Workloadmanagement eruiert werden. Es bedarf eines integrativen Filters im Fahrzeug, welcher die Kapazität und Engpässe der menschlichen Informationsverarbeitung berücksichtigt und den Fahrer angemessen bei seiner Fahraufgabe entlastet. Kapitel 2.3 bildet diesbezüglich einen Überblick und eine Strukturierung der vorhandenen Ansätze ab. Offensichtlich fußen die beschriebenen Konzepte ausschließlich auf der online Berechnung eines Workload-Index, welcher wiederum direkten Input für die aktuelle Informationsstrategie liefert. Dass eine derartige online Verarbeitung entscheidende Nachteile aufweist, wird im folgenden Kapitel herausgearbeitet. Daraus ergibt sich die Fragestellung, welche Art von Workloadmanagement für eine ergonomische Mensch-Maschine-Schnittstelle überhaupt am besten geeignet ist. Im nachfolgenden Kapitel (3.1) werden die Heraus- und Anforderungen klar hervorgehoben, um somit einen wichtigen Ausgangspunkt für die Entwicklung eines adaptiven Systems zu schaffen. Überdies erfolgt in einem zweiten Schritt die kritische Betrachtung von und Auseinandersetzung mit den bereits vorhandenen Konzepten. Die Frage nach einer optimalen und möglichst unkomplizierten, transparenten Management-Systematik steht im Vordergrund. Das zu entwickelnde Konzept soll somit die Anforderungen aus der Schnittstelle sowie auch die zielführenden Ansatzpunkte bestehender Konzepte integrieren. In einem dritten Schritt führt dies zu einem integrativen, geeigneten Konzeptentwurf (Kapitel 3.2). Dieser wird vor den bestehenden Ansprüchen und anhand der Kernfragestellungen konkretisiert. Im Zuge dessen erfolgt der Entwurf einer Vorgehensweise für die empirische Arbeit inklusive der notwendigen Etappen zur Konzeptentwicklung und -evaluierung. Abschließend werden im Rahmen dieses Kapitels die bestehenden Forschungsfragen aufgeführt (Kapitel 3.3). Sie liefern die Grundlage für den empirischen Teil der Arbeit.

3.1 Herausforderungen an die Mensch-Maschine-Schnittstelle und kritische Auseinandersetzung mit vorhandenen Workloadmanagement-Ansätzen

Der erste Schritt hin zur Konzeptentwicklung beinhaltet einen kurzen Rückblick auf die Eigenschaften der Fahraufgabe in Verbindung mit den Herausforderungen menschlicher Informationsverarbeitung. Die Zusammenfassung der theoretischen Erkenntnisse aus den Kapiteln 2.1 und 2.2 liefert eine wesentliche Grundlage für die Anforderungen an ein ganzheitliches adaptives Workloadmanagement-Konzept.

Einerseits kann nur eine bestimmte Anzahl an Informationen parallel aufgenommen und verarbeitet werden. Andererseits implizieren die verschiedenen Ebenen der Fahraufgabe eine Menge an differenzierbaren Teilaufgaben, welche in unterschiedlicher zeitlicher Intensität und mit unterschiedlichem mentalem Aufwand erledigt werden müssen. Auf Basis der Erkenntnisse wird ersichtlich, dass die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine möglichst ergonomisch gestaltet sein muss (Vgl. DIN EN ISO 6385, 2004; DIN EN ISO 9241-110, 2008; DIN EN ISO 9241-11, 1999; DIN EN ISO 15008, 2011; ISO/TR 12204, 2012), um Probleme zu verhindern und Fehler zu vermeiden. Ergonomisch bedeutet in diesem Zusammenhang neben einer guten Bedien-, Erreich- und Sichtbarkeit vor allem die Berücksichtigung der begrenzten kognitiven Ressourcen des Menschen. Zur Unterstützung des Fahrers gibt es eine Vielzahl an FAS und FIS (Vgl. Kapitel 2.3.1). Beispielsweise können derartige Systeme schon heute Müdigkeit und Stress des Fahrers reduzieren (Vgl. Hancock & Verwey, 1997). Als einzelne Funktionen sind sie meist ergonomisch akzeptabel gestaltet und führen für sich gesehen nicht unmittelbar zu negativen Konsequenzen, wie beispielsweise einem erhöhten Workload. Vielmehr noch – sie können sogar Monotonie oder die Beschäftigung und Ablenkung des Fahrers mit anderen Nebenaufgaben während der Fahrt unterbinden (Vgl. Lee, Young & Regan, 2009). Die Bewertung der Gestaltung einzelner Assistenz- und Informationssysteme nach ergonomischen Aspekten ist zwar ebenso relevant und ein wichtiges Stellglied bei der Vermeidung von zusätzlichem Workload während der Fahrt, wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht weiter betrachtet. Vielmehr stellt sich die Frage nach dem Zusammenspiel der Summe an Funktionen im Fahrzeug. Ist alles, was technisch umsetzbar ist, auch gleichzeitig sinnvoll für den Fahrer (Vgl. Färber & Färber, 2003)? Sind die darstellbaren Informationen noch handhabbar oder wann reichen die Kapazitäten des Fahrers nicht mehr aus (Vgl. Färber & Färber, 2003; Färber, 2004; Bengler et al., 2005)? Wieviel Ablenkung oder on-top Beanspruchung ist überhaupt tolerierbar (Vgl. Färber, 2004) beziehungsweise vom Fahrer kompensierbar? Die Lösung des Problems klingt einfach: „maximize the benefits - minimize the costs“ (Lee, Young & Regan, 2009). Eigentlich bedarf

es nur eines einfachen Systems, welches die Informationspräsentation im Fahrzeug in Einklang mit den Kapazitäten des Fahrers und deren Engpässen kontrolliert (Vgl. Piechulla et al., 2001) – sprich, ein geeignetes Workloadmanagement.

In Kapitel 2.3.2 wurde ein Überblick über die wichtigsten vorhandenen Informationsmanagement-Ansätze für Fahrzeuge gegeben. Allen Konzepten ist dabei gemein, dass der mentale Workload des Fahrers basierend auf spezifischen Daten geschätzt wird und ab einem gewissen Grad durch ein gezieltes Informationsmanagement reduziert werden soll. Die Ansätze werden anhand der definierten Struktur nach ihrer ergonomischen Eignung und ihrem Nutzen bewertet: Workloadmanagement-Konzepte, welche vordergründig auf den Fahrzeugdaten und der Fahrperformanz basieren, sind zwar sehr präzise und können ganz konkrete Schätzungen über die aktuelle Situation abgeben. Bemerkenswert ist zugleich die unkomplizierte Messung und online-Bewertung der Daten im Fahrzeug. Allerdings sind sie auch sehr empfindlich gegenüber kleinsten Änderungen im vorhandenen Szenario, sodass geringste Veränderungen in der Umwelt zu einem völlig anderen Systemverhalten führen können. Beispielsweise passt sich der berechnete Workload-Index in Abhängigkeit der Anzahl vorhandener Fußgänger oder umgebender Fahrzeuge so feingranular an, dass es für den Fahrer nicht plausibel erscheint. Eine derartige Basis macht das Workloadmanagement zu einem komplexen und vor allem nicht durchsichtigen, geschlossenen System. Die ergonomischen Anforderungen nach Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Erwartungskonformität werden verletzt.

Die *Fahrsituation* als Indiz für eine erhöhte Fahrerbeanspruchung bildet die Basis einiger anderer Konzepte. Sie ist offensichtlich eine wichtige Größe bei der Messung der Fahrerbeanspruchung. Dabei ist jedoch oftmals nicht nur entscheidend, in welchem Manöver sich der Fahrer befindet, sondern es fließen viele einzelne Faktoren (Anzahl der Fahrspuren, Straßenbreite, Tageszeit, Anzahl vorhandener Fahrzeuge in einem bestimmten Umkreis etc.) in die Situationsbewertung mit ein. Die Menge an separaten Einflussgrößen macht das Workloadmanagement zwar einerseits sensibler und tatsächlich besser an den Momentanzustand des Fahrers angepasst. Allerdings verlieren auch diese Ansätze schnell an Nachvollziehbarkeit und Transparenz für den Fahrer. Es kann mitunter sogar zu kuriosen Effekten kommen, wenn im direkten Umfeld ein Fahrzeug mehr oder ein Fahrzeug weniger zu völlig unterschiedlichen Informationsstrategien führt. Überdies kann der gemessene Workload-Index sekundlich wechseln, sobald neue Bedingungen vorherrschen. Auch das kann beim Fahrer Missverständnisse und Probleme verursachen und widerspricht damit grundlegenden ergonomischen Gestaltungsprinzipien.

Ansätze, welche sich den geschätzten *Fahrerzustand* (Begriff Vgl. Langer, Abendroth & Bruder, 2015; Vgl. Kapitel 2.3.2) zunutze machen, um zu entscheiden, ob Informationen dargeboten werden oder nicht, stellen hinsichtlich ihrer Transparenz offensichtlich kein

Problem dar. In den Konzepten wird davon ausgegangen, dass ein beanspruchter Fahrer seinen Zustand kennt und das Workloadmanagement daher immer genau korrekt agiert. Diese Annahme ist jedoch zu kritisieren. Schon allein die Fragen „Wie kann die Fahrerbeanspruchung objektiv, online und zuverlässig im Fahrzeug dokumentiert werden (Vgl. Wickens, 1979)?“ und „Wie können intraindividuelle Unterschiede berücksichtigt und interindividuelle Unterschiede unberücksichtigt ausgewertet werden?“ verdeutlichen, dass der Fahrerzustand zwar das offensichtlichste Indiz für Fahrerbeanspruchung zu sein scheint, für eine online Bewertung aber nicht geeignet ist.

Die letzte große Gruppe bilden die Workloadmanagement-Konzepte, welche auf dem *Fahrerinput* basieren. Hier werden beispielsweise der Lenkradwinkel oder die Fahrpedalbetätigung ausgewertet. Diese Werte können einen wesentlichen Aufschluss über die aktuelle Fahrsituation geben – beispielsweise befindet sich der Fahrer in einer Kurve bei einem bestimmten Lenkwinkel. Losgelöst von anderen Größen ist die Interpretation des Fahrerinputs nur bedingt sinnvoll. Obgleich die Ablenkung anhand der Bedienung verschiedener Taster im Interieur quantifiziert werden kann, liefern die Daten nur wenig Aufschluss über den tatsächlichen Workload des Fahrers.

Je mehr verschiedene Werte in die Berechnung des Workload-Index einfließen, desto präziser und sensibler, aber auch fehleranfälliger und undurchsichtiger wird schließlich das Gesamtkonzept. Genau vor dieser Herausforderung stehen auch die *hybriden Workloadmanagement-Konzepte*, welche sich viele verschiedene Parameter zunutze machen. Für die Entwicklung eines integrativen und gesamtheitlichen Ansatzes bedeutet das, dass mit Zusammenführung der Vorteile aller genannten Konzepte die Einfachheit und die Transparenz nicht vernachlässigt werden dürfen. Aktuell vorhandene Ansätze basieren ausschließlich auf der Datengewinnung im Fahrzeug, welche zu einer online Interpretation und damit zu einer direkten Berechnung eines Workload-Index führt. Das heißt das entsprechende Informationsmanagement wird unmittelbar an die aktuell geschätzte Fahrerbeanspruchung angepasst. Abbildung 01 veranschaulicht die zugrunde gelegte „regelnde“ Wirkweise (Vgl. DIN IEC 60050-351):

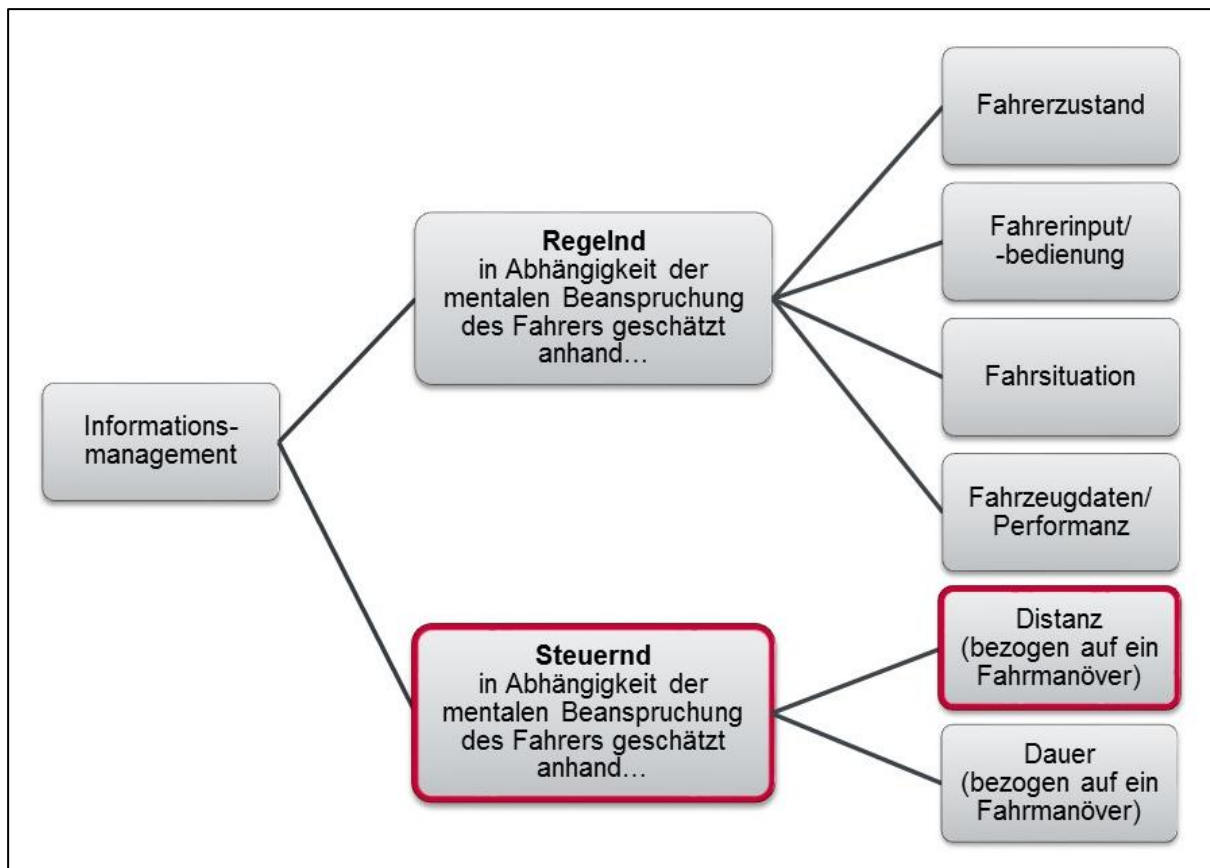


Abbildung 01: Übersicht und Einordnung wesentlicher Workloadmanagement-Konzepte (Vgl. Kapitel 2.3.2) und Integration des eigenen Ansatzes.

Der Begriff *Regelung* wird dabei im Sinne der Norm DIN IEC 60050-351 verwendet: „Vorgang, bei dem fortlaufend eine variable Größe, die Regelgröße, erfasst (gemessen), mit einer anderen variablen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird“ (Vgl. DIN IEC 60050351-47-01:2014-09, S. 136). In der vorliegenden Arbeit wird der Informationsgehalt/die Informationsmenge als Regelgröße verstanden. Nachteile, die dadurch entstehen, sind zum einen situative sowie individuelle Unterschiede, welche auf kleinsten Wertänderungen basieren, für den Fahrer aber nicht immer nachvollziehbar sind. Zum anderen kann es durch längere Berechnungszeiten des Workload-Index (beispielsweise aufgrund der Berücksichtigung vieler verschiedener Einflussfaktoren) zu einer für den Fahrer zeitversetzten Reaktion des Workloadmanagements kommen. Funktionen, die für den Fahrer nicht transparent und nicht erwartungskonform erscheinen, widersprechen den ergonomischen Gestaltungsprinzipien. Ziel ist daher die Entwicklung eines neuartigen, präventiven Ansatzes, welcher sich möglichst präzise und zuverlässig, aber dennoch erwartungskonform und transparent verhält. Das zu entwickelnde Konzept soll möglichst einfach und gleichzeitig möglichst wirkungsvoll und effektiv sein. Aus diesem Grund wird eine „steuernde“ Wirkweise (Vgl. Abbildung 01) empfohlen. Steuerung lässt sich wie folgt definieren: „Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere variable Größen als

Eingangsgrößen andere variable Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigenen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen“ (Vgl. DIN IEC 60050351-47-02:2014-09, S. 137). Der wesentliche Unterschied hierzu ist, dass die Regelung einen geschlossenen Wirkungsablauf, mit einer Feedbackschleife, voraussetzt (Vgl. DIN IEC 60050351-47-01:2014-09, S. 136). Im folgenden Kapitel wird eine geeignete Herangehensweise für eine steuernde Wirkweise erarbeitet.

3.2 Entwicklung eines Lösungsentwurfes

Nachdem die Vor- und Nachteile bestehender Workloadmanagement-Konzepte diskutiert wurden, soll daraus schließlich ein neuartiger Ansatz generiert werden. Der Fokus liegt auf der Vereinbarkeit der Vorteile bestehender Konzepte mit dem Anspruch auf Erwartungskonformität und Nutzertransparenz (Vgl. Färber, 2006). Das Ziel des zu entwickelnden Konzeptes ist die Entlastung des Fahrers. Konkret soll der Workload, welcher durch die tertiäre Fahraufgabe - speziell durch die Bedürfnisbefriedigung nach Informationen des Fahrers - verursacht wird, verringert werden. Dieser Mechanismus soll jedoch nur dann greifen, wenn der Fahrer den zusätzlich verursachten Workload nicht mehr kompensieren kann. Das heißt, der sogenannte Workloadmanager wird lediglich dann aktiv, wenn der Fahrer ohnehin durch die primäre und sekundäre Fahraufgabe stark beansprucht ist. Um sogleich zu definieren, wann der Fahrer durch die primäre und sekundäre Fahraufgabe beansprucht ist (Vgl. Geiser, 1984), muss erneut der Blick auf die Klassifikation der bestehenden Workloadmanagement-Ansätze gerichtet werden: Es stellt sich die Frage, welche Daten die beste Ausgangsbasis liefern, um die Beanspruchung des Fahrers durch seine primäre und sekundäre Fahraufgabe optimal zu schätzen. Die Variablen *Fahrzeugdaten*, *Fahrerinput* und *Fahrerzustand* können situationsunabhängig unterschiedliche Indizes hervorrufen. Hier besteht vor allem die Schwierigkeit darin, ein möglichst transparentes Konzept abzuleiten. Hinzu kommt, dass die Daten keinen Aufschluss über die konkreten Ursachen in der Umwelt liefern. Sie sind oftmals fahrerspezifisch und nur selten verallgemeinerbar. Die Generalisierbarkeit ist ein wichtiger Anspruch an das zu entwickelnde Konzept. Damit diese Anforderung erfüllt werden kann, gilt die Fahrsituation zur Beanspruchungsschätzung als zielführend. Rückblickend gibt es verschiedenste Ansätze zur Klassifikation und Analyse von Fahrsituationen (Vgl. Kapitel 2.3.2; Buld et al., 2006). Basierend auf den Unfallstatistiken konnte zunächst die urbane Kreuzungssituation als Unfallschwerpunkt und damit als Situation mit erhöhtem Potential für unterstützende FAS eruiert werden (Vgl. Unfallzahlen Kapitel 1.3; Keller, Khlifi & Sofra, 2012). Diese wird folglich den Kern des zu entwickelnden Workloadmanagements darstellen. Zu den menschlichen Ursachen für Kollisionen zählen vor allem Ablenkung und eine nicht kompensierbare Fahrerbeanspruchung – der Overload. Mit

der urbanen Kreuzung und ihrer Aufteilung in einzelne Analyseeinheiten haben sich neben Fastenmeier (Fastenmeier, 1996; Fastenmeier & Gstalter, 2003, 2007) beispielsweise auch Young, Salmon & Lenné (2011), Plavsic (2010; Plavsic, Bengler & Bubb, 2010), Bellet & Tattegrain-Veste (1997) sowie ein Teilprojekt aus der Forschungsinitiative „Kooperative Fahrerassistenz“ (Ko-FAS, Vgl. Wertheimer, 2014) befasst. Dabei ist den genannten Ansätzen ein sehr detailliertes und filigranes Vorgehen gemein. Zunächst wird das Szenario der Kreuzung in einzelne aufeinanderfolgende Abschnitte unterteilt. Diese Teilabschnitte oder Segmente werden dann entsprechend den auszuführenden Fahrerhandlungen beschrieben – beispielsweise „Kontrolle von Gegenverkehr“, „Einfahren in die Kreuzung“, „Trajektorie beenden“ (Vgl. Bellet & Tattegrain-Veste 1997; Fastenmeier, 1996; Fastenmeier & Gstalter, 2003, 2007). Schließlich wird die kleinste Analyseeinheit auf Besonderheiten beziehungsweise ihre spezielle Charakteristik untersucht und beschrieben, um daraus die jeweilige Komplexität und eventuell bestehende Schwierigkeiten abzuleiten. Der grundlegende Gedanke, das Manöver der Kreuzungsüberquerung in einzelne Teilabschnitte zu zerlegen, scheint zielführend und bildet die Basis der vorliegenden Arbeit. Um jedoch die Transparenz für den Nutzer zu gewährleisten, muss eine grobgliedrige und nachvollziehbare Einteilung erfolgen. Anhand der unfallträchtigen Situation „Kreuzung überqueren mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ wird nachfolgend die angenommene Unterteilung in einzelne Phasen dargestellt (Abbildung 02).

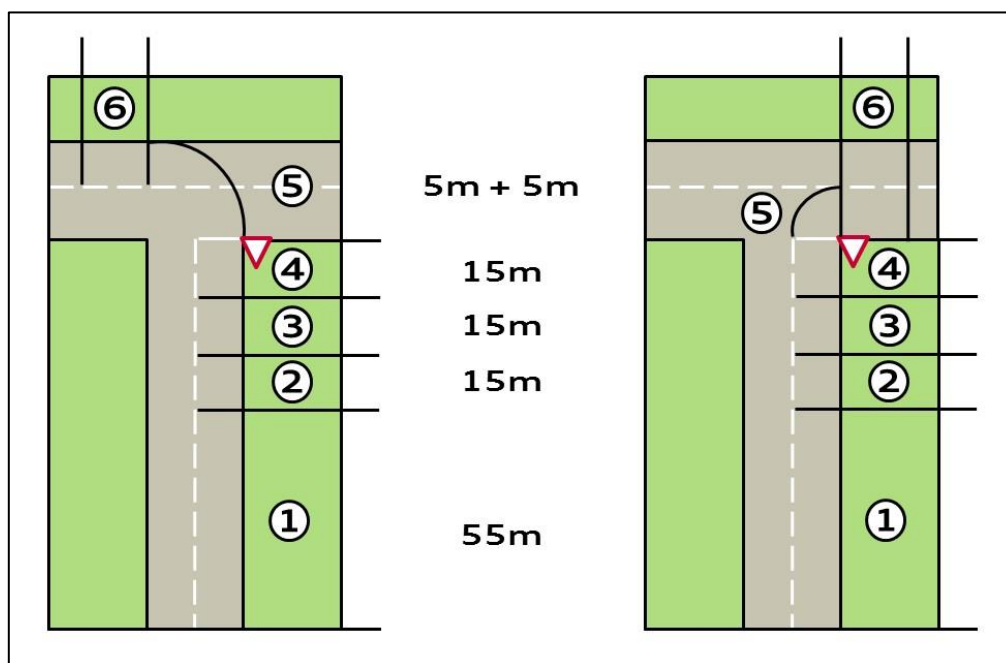


Abbildung 02: Darstellung der schematischen Unterteilung des Manövers „Kreuzung überqueren mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ für das Links- beziehungsweise Rechtsabbiegen in sechs normative Phasen (nach Köhler et al., 2013).

Die Einteilung in die einzelnen Elemente – sechs *Phasen* – erfolgt in Anlehnung an bestehende Konzepte mit spezifischer Betrachtung separierter Teilabschnitte/Analyseeinheiten. Ab 100 Metern vor der Haltelinie kann davon ausgegangen werden, dass der Fahrer beginnt, sich mit der vorausliegenden Kreuzungssituation zu befassen. Herkömmliche Navigationsgeräte geben an dieser Stelle beispielsweise die entsprechende Orientierungsinformation. Die *erste Phase* beginnt dabei ab 100m und reicht bis 45m vor die Haltelinie, die anschließende Unterteilung in die *Phasen 2, 3 und 4* ist mit einem jeweiligen Abstand von 15m feingliedriger. *Phase 5* bildet den tatsächlichen Abbiegevorgang und *Phase 6* das Ausrichten in der neuen Fahrspur ab. Zur Konzepterarbeitung steht jedoch keine differenzierte Analyse möglicher Einflussfaktoren im Vordergrund, vielmehr sollen die Phasen unter dem Aspekt der subjektiv empfundenen Beanspruchung inspiziert werden. Es stellt sich konkret die Frage, ab welcher Entfernung zur Haltelinie beziehungsweise ab welcher Phase die Fahrerbeanspruchung so hoch ist, dass eine zusätzliche Informationsdarbietung im Fahrzeug den Workload auf ein vom Fahrer nicht kompensierbares Niveau erhöhen würde. Bengler et al. (2005) hielten bereits fest, dass vor allem der Zeitpunkt der Informationsdarbietung vor dem Hintergrund der Fahrerbeanspruchung entscheidend ist. Die handhabbaren Einheiten in Form von sechs aufeinanderfolgenden Phasen sollen eine strukturierte Herangehensweise und schließlich auch eine Übertragbarkeit des Konzeptes auf andere beanspruchende Fahrsituationen ermöglichen. Zu einem ganzheitlichen Ansatz gehört auch ein Konzept, wie mit entsprechenden Informationen im Fahrzeug umzugehen ist. Darunter fällt einerseits die Frage, was in Phasen erhöhter Beanspruchung hinsichtlich der Quantität und der Qualität der fahrrelevanten Meldung geschieht. Sowie andererseits auch die Frage, wonach sich einzelne Meldungen sortieren lassen und wie sie dem Fahrer strukturiert dargeboten werden könnten. Welche Fragestellungen wie beantwortet werden sollen, wird im nachfolgenden Kapitel (3.3) thematisiert. Die Hauptfragestellungen werden zusammengetragen und die erwarteten Ergebnisse prognostiziert. Dabei steht immer im Vordergrund, dass das abgeleitete Konzept den Ansprüchen nach Nutzertransparenz, Erwartungskonformität und Generalisierbarkeit gerecht wird.

3.3 Ableitung der Forschungsfragen

Um das Vorgehen des empirischen Teils der Arbeit zu definieren, stehen im Folgenden die Forschungsfragen im Vordergrund. Diese werden in der Reihenfolge erläutert, in welcher sie schließlich auch beantwortet werden können. Den Kern der Arbeit bildet die Entwicklung und Absicherung eines adaptiven Workloadmanagements. Die neuartige Assistenzfunktion wird den Fahrer in komplexen urbanen Fahrsituationen, in denen die mentale und visuelle Beanspruchung des Fahrers durch die primäre und sekundäre Fahraufgabe hoch ist,

unterstützen. Diese Unterstützung erfolgt durch eine gezielte Darbietung beziehungsweise Unterdrückung von Informationen, speziell Car-2-X Meldungen (Vgl. Kapitel 2.3.1), im Fahrzeug. Das heißt, das adaptive Workloadmanagement schätzt zunächst die Fahrerbeanspruchung, welche durch die primäre und sekundäre Fahraufgabe verursacht wird, ausschließlich anhand des vorliegenden Szenarios. Handelt es sich um eine mindestens genauso beanspruchende Fahrsituation wie das Überqueren einer Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung anhand eines Links- beziehungsweise Rechtsabbiegemanövers, so wird der Workloadmanager aktiv, indem er gezielt fahrrelevante Informationen unterdrückt beziehungsweise zeitlich verzögert. Das Ziel ist die Minimierung der Fahrerbeanspruchung, welche in einer solchen Situation zusätzlich durch die tertiäre Fahraufgabe erhöht wird und somit vom Fahrer nicht mehr kompensierbar wäre. Sobald die Beanspruchung vom Fahrer nicht mehr kompensierbar ist, kann sich dies in Leistungseinbußen oder schlechterer Fahrperformanz auswirken. Genau diese Konsequenzen werden durch ein geeignetes adaptives Workloadmanagement unterbunden. Dieses greift dabei, im Gegensatz zu bestehenden Konzepten, situativ steuernd ein. Konkrete Fragestellungen, welchen in dieser Arbeit nachgegangen wird, lauten: Kann man den Workload, verursacht durch die tertiäre Fahraufgabe, in einer beanspruchenden urbanen Fahrsituation durch eine geeignete Informationsstrategie minimieren? Verringert die entwickelte Informationsstrategie nachweislich den mentalen Workload des Fahrers? Ist sie auf weitere beanspruchende urbane Fahrsituationen übertragbar und damit generalisierbar? Wird sie vom Nutzer akzeptiert und als transparent und verständlich bewertet? Den Ausgangspunkt zur Beantwortung bilden die kognitionspsychologischen und die systemergonomischen Grundlagen. Diese lassen die Formulierung konkreter Hypothesen zu, welche im empirischen Teil der Arbeit überprüft werden.

Die initiale Hypothese der Arbeit lässt sich wie folgt zusammenfassen: Der On-Top-Workload, verursacht durch die tertiäre Fahraufgabe, kann in der beanspruchenden urbanen Fahrsituation „Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ durch eine geeignete Informationsstrategie minimiert werden. Diese Hypothese basiert auf den Annahmen zur menschlichen Informationsaufnahme und -verarbeitung und damit einhergehend der Entstehung von Workload bei einer zu großen Anzahl an vorhandenen Informationen. Außerdem wird eine Situationsanalyse zugrunde gelegt, welche davon ausgeht, dass beim Manöver „Überqueren einer Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ bereits eine erhöhte Fahrerbeanspruchung durch die primäre und sekundäre Fahraufgabe vorliegt. Letzteres kann ferner anhand von Unfallzahlen bestätigt werden.

Als wesentliche Ansprüche an das entwickelte Konzept gelten sowohl die Nutzertransparenz als auch die Erwartungskonformität und die Generalisierbarkeit. Daraus lassen sich weitere maßgebende Hypothesen für die empirische Arbeit ableiten: Die entwickelte

Informationsstrategie verringert den Workload des Fahrers. Sie lässt sich von der städtischen Kreuzung auf andere urbane Fahrszenarien übertragen. Das Workloadmanagement wird vom Fahrer verstanden und akzeptiert. Diese Anforderungen liefern konkrete Fragestellungen für die Konzeptentwicklung.

Die Empirie der Arbeit setzt sich aus einer zweistufigen Konzeptentwicklungsphase und einer dreistufigen Evaluierungsphase zusammen. Das Vorgehen ist schematisch in der nachfolgenden Grafik abgebildet:

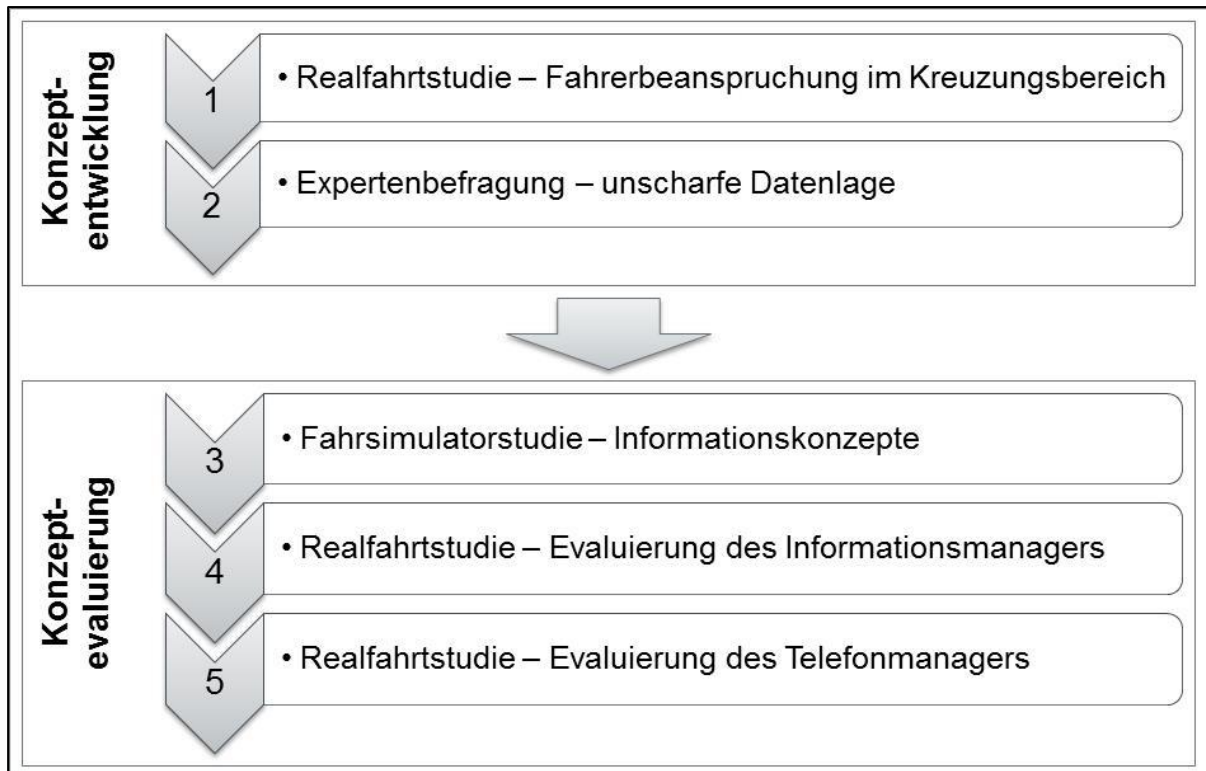


Abbildung 03: Prozessgrafik zum angewendeten Vorgehen in der Arbeit.

In einem ersten Schritt ist es unerlässlich, die mentalen Modelle und subjektiven Beurteilungen des Fahrers einfließen zu lassen. Das Konzept wird basierend auf einer Realfahrtstudie und einer Expertenbefragung definiert. Den Kern der Realfahrtstudie bildet die subjektive Beurteilung der empfundenen Beanspruchung bei verschiedenen Fahrmanövern. Zwar gibt es weitreichende Ansätze, welche Klassifikationen unterschiedlicher Szenarien vornehmen, allerdings basieren diese oftmals ausschließlich auf objektiven Daten oder nehmen eine zu detaillierte Unterteilung vor. Die subjektive Bewertung als Basis lässt eine gewisse Transparenz und Intuitivität des Konzeptes zu. Als Anker dient die zuvor beschriebene Einteilung in sechs aufeinanderfolgende Phasen (Vgl. Abbildung 02). Einen weiteren Schwerpunkt der Konzeptentwicklung bildet die Expertenbefragung zur Kategorisierung fahrrelevanter Informationen im Fahrzeug. Als konkrete Umsetzung eines

Workloadmanagements empfiehlt sich die temporäre Unterdrückung von Informationen in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung. Einhergehend mit einer großen Menge an fahrrelevanten Car-2-X Meldungen muss der Frage nachgegangen werden, wie sich diese im Sinne des Nutzers kategorisieren und priorisieren lassen. Des Weiteren steht die Frage nach einer akzeptierten Mindestgüte im Fokus: Wie zuverlässig müssen Informationen im Fahrzeug sein, damit sie aus Sicht des Fahrers überhaupt eine Berechtigung zur Anzeige bekommen? Zusammenfassend orientiert sich die Konzeptentwicklungsphase vor allem an den mentalen Vorstellungen des Nutzers, um eine erwartungskonforme Informationsstrategie für beanspruchende Fahrsituationen abzuleiten. Die Evaluierungsphase ist dreistufig konzipiert. Der entwickelte Konzeptentwurf wird zunächst in einen Fahrsimulator integriert und dort speziell auf sein Potential, die Fahrerbeanspruchung zu minimieren, die Nutzerakzeptanz, das Komfort- sowie das Sicherheitsempfinden zu erhöhen, geprüft. Darauf aufbauend wird das optimierte Workloadmanagement-Konzept im Versuchsträger umgesetzt. Im realen Feld kann sowohl die Eignung des Konzeptes auf sein Verringerungspotential menschlicher Beanspruchung hin getestet sowie auch die Generalisierbarkeit sichergestellt werden. Nachdem die Vorteile bestehender Workloadmanagement-Ansätze unter Berücksichtigung der menschlichen Herausforderungen bei der Bewältigung der Fahraufgabe zusammengetragen wurden, erfolgte die Ableitung von Anforderungen an das zu entwickelnde Konzept. Schließlich konnten die Forschungsfragen konkretisiert und damit das Vorgehen im empirischen Teil der Arbeit definiert werden. Das Workloadmanagement basiert auf einer Fahrsituationsklassifikation, speziell auf dem Szenario „Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“. Zur Analyse des Manövers wird die entfernungs-basierte Einteilung der Kreuzung in sechs aufeinanderfolgende Phasen zugrunde gelegt. Es folgt die Darstellung des empirischen Vorgehens der Arbeit anhand der zuvor beschriebenen Etappen.

4 Empirische Arbeit

Der empirische Teil der Arbeit kann in drei große Abschnitte unterteilt werden. Begonnen wird mit einer Etappe der Konzeptentwicklung. Dabei stehen vor allem Fragen nach einer konkreten Ausprägung des Workloadmanagement-Konzeptes im Vordergrund von zwei Studien. Die Realfahrtstudie thematisiert zunächst das subjektive Empfinden der Fahrerbeanspruchung: Wann/in welcher Phase ist der Fahrer beim Manöver „Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ wie stark beansprucht? Die Antwort auf diese Frage gibt vor allem darüber Aufschluss, zu welchem Zeitpunkt das Workloadmanagement aktiv sein muss, um den Fahrer gezielt zu entlasten. Zur Ableitung eines ganzheitlichen Konzeptes, ist es des Weiteren relevant, die mentalen Vorstellungen des Fahrers zu ausgewählten Meldungsinhalten abzufragen. Gibt es Meldungen, die wichtiger eingeordnet werden als

andere? Woran wird eine Differenzierung festgemacht? Eine Expertenbefragung dient dazu, diverse Meldungsinhalte (aus dem Bereich Car-2-X) zu strukturieren und Kriterien zu finden, anhand derer die Wichtigkeit ihrer Darbietung abgeleitet werden kann.

Die Evaluierung in der Simulationsumgebung bildet die zweite große Etappe. Das entwickelte Workloadmanagement-Konzept wird in einen statischen Fahrsimulator integriert und gegen eine Baseline (ohne vorhandene Funktion eines Workloadmanagers) getestet. Die Frage nach der Eignung des Konzeptes – unter Berücksichtigung des tatsächlichen Workload-Minimierungspotentials, der Fahrerakzeptanz und des Komfortempfindens – bildet den Kern. Die dritte und letzte große Etappe stellt die Realfahrtevaluierung dar. Im Rahmen dessen haben zwei separate Studien mit einem Versuchsträger auf dem Prüfgelände stattgefunden. Das bereits in der Simulationsumgebung evaluierte Konzept muss abschließend auf seine Eignung im realen Feld geprüft werden. Neben einer Replikation der Ergebnisse aus der Simulatorstudie wird die Übertragbarkeit des entwickelten Workloadmanagement-Konzeptes sichergestellt. Die erste Studie dient der Erweiterung um eine zweite statische Fahrsituation – das Ausweichen auf den Gegenfahrstreifen vor einer Baustelle. Der Fokus der zweiten Studie richtet sich gezielt auf einen weiteren Informationsinhalt im Fahrzeug – den eingehenden Anruf.

Die einzelnen Etappen gewährleisten nicht nur eine strukturierte Herangehensweise, die auf den Anforderungen und Bedürfnissen des Fahrers basiert, sondern schließlich auch die Absicherung der Eignung des Konzeptes inklusive einer Erweiterung und Generalisierung. Das final entwickelte Konzept beruht zunächst auf einer Situationsanalyse und dem Fahrerzustand. Die differentialpsychologische Komponente (Vgl. Fastenmeier, 1995) – im Sinne von Fahrereigenschaften (Vgl. Kapitel 2.3.2, dazu gehören beispielsweise das Lebensalter, das Geschlecht und die Fahrpraxis) – wird zusätzlich in allen Studien als Kontrollvariable aufgenommen. Alle Experimente werden chronologisch hinsichtlich Methodik, Ergebnisse und Diskussion aufgeführt.

4.1 Allgemeine Anmerkungen zum Vorgehen bei der Datenaufzeichnung, -aufbereitung und -auswertung

Bevor die einzelnen Studien im Detail beschrieben werden, gilt es, die allgemeine Vorgehensweise bei der Aufzeichnung, Aufbereitung und Auswertung der gesammelten Daten kurz zu erläutern. Nachfolgend werden die Charakteristik objektiv und subjektiv erhobener Daten und die angewandten Methoden der Aufbereitung und Auswertung verallgemeinernd kurz skizziert.

Im Fahrsimulator und im Versuchsträger wurden objektive Fahrdaten aus dem CAN-Bussystem (Controller Area Network; serielles Bussystem zur Vernetzung von Steuergeräten

im Automobil) mit einer Abtastrate von 100 Hz generiert. Die Fahrdaten wurden schließlich in Abhängigkeit der gesetzten Trigger für jeden Probanden und jede Situation zugeschnitten, um Variationen in der Startzeit zu exkludieren. Bei den objektiv erhobenen Daten erfolgten Ausreißeranalysen und deren Entfernung mithilfe von Boxplots.

Des Weiteren wurden bei den Fahrstudien Blickdaten der Probanden anhand von Dikablis Cable 2.5 der Firma Ergoneers mit einer Rate von 25 Hz erhoben. Die Aufzeichnung der Eye Tracking Daten erfolgte mittels Dikablis Recording und D-Lab Control, die Auswertung mit den Programmen Dikablis Analysis, Marker Detector und D-Lab.

Die angewendeten subjektiven Befragungen beziehen sich einerseits auf standardisierte Messverfahren – zum Beispiel den NASA TLX (Vgl. Hart & Staveland, 1988; deutsche Version: Vgl. Sepehr, 1988; Schwalm, 2009; Seitz, 2013), die SEA-Skala (Vgl. Zijlstra, 1993; deutsche Version: Eilers, Nachreiner & Hänecke, 1986; Poitschke, 2011), die Van Der Laan Skala (Vgl. Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997; deutsche Version: Kondzior, 2007; Marberger & Kondzior, 2007) oder Konstrukte der Akzeptanz-Skala von Arndt (Vgl. Arndt, 2011) – andererseits wurden eigene Fragen konzipiert und die Demographie erfasst.

Nach der Umwandlung und Transformation der Rohdaten entsprechend gegebener Kodierungsregeln der verwendeten Instrumente wurden alle Items pro Studie in ein zusammenfassendes Dokument (Microsoft Excel 2010) transferiert. Die Auswertung der Daten erfolgte jeweils anhand des Statistikprogramms IBM Statistics SPSS (Version 21). Für Power Analysen wurde das Programm G*Power 3.1 verwendet (Vgl. Faul, Erdfelder, Lang & Buchner, 2007). Es erfolgten deskriptive sowie inferenzstatistische Auswertungen. Vor der Berechnung eines jeden inferenzstatistischen Verfahrens wurden die entsprechend notwendigen Voraussetzungen geprüft und bei unerfüllten Voraussetzungen neben dem ursprünglichen Berechnungsweg zusätzlich ein Alternativverfahren berechnet. Für alle durchgeführten inferenzstatistischen Tests wurde ein Alpha-Fehlerniveau von 5 % zur Festlegung eines signifikanten Effekts angenommen. Entsprechend des jeweiligen Versuchsdesigns wurden hauptsächlich einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung berechnet. Zusätzlich ermittelte Effektgrößen lassen Aussagen über die Stichproben zu (Vgl. Faul et al., 2007). Die arithmetischen Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und Standardfehler (SE) werden als zentrale Kenngrößen zur Beschreibung der abhängigen Variablen berichtet.

4.2 Konzeptentwicklung

Die Konzeptentwicklung ist ein wesentlicher Bestandteil der vorliegenden Arbeit. Mit dem Ziel ein adaptives, ganzheitliches und transparentes Konzept zu entwerfen, sind vor allem die Erwartungen des Nutzers entscheidend. Der Ansatz soll schließlich möglichst viele Vorteile bereits vorhandener Workloadmanager in sich vereinen und bestehende Nachteile eliminieren

(Vgl. Kapitel 2.3). Wie bereits diskutiert stellt die Fahrsituationsanalyse hierfür einen geeigneten Ausgangspunkt dar – mit der Bedingung, dass der Ansatz dennoch für den Fahrer transparent bleibt. Vorhandenen Konzepten ist dieser Trade off bisher meist nicht vollständig gelungen. Das Vorgehen der Arbeit orientiert sich daher präzise am Fahrerverhalten und Fahrerzustand in der als beanspruchend klassifizierten Situation „Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“. Zustand und Verhalten des Fahrers fließen allerdings nicht online in die Berechnungen des Workloadmanagements ein, vielmehr werden sie in der Entwicklungsphase erhoben und als Entscheidungskriterien für das Konzept zugrunde gelegt. Die Realfahrtstudie zur Fahrerbeanspruchung im Kreuzungsbereich liefert die entsprechenden Ergebnisse. Darauf basierend wird festgelegt, in welchen Phasen der Kreuzungsüberquerung Meldungen dargeboten beziehungsweise, aufgrund hoher Fahrerbeanspruchung durch die primäre Fahraufgabe, unterdrückt werden sollen.

Neben der Transparenz ist die Erwartungskonformität ein wesentlicher Anspruch, welcher erfüllt werden muss. Das Konzept orientiert sich daher in einem zweiten Schritt besonders an den mentalen Vorstellungen des Fahrers über die Kategorisierung und Priorisierung fahrrelevanter Meldungen im Automobil. Die Expertenbefragung gibt Aufschluss darüber, in welcher Reihenfolge der Fahrer Meldungen, beispielsweise nach einer Phase der Unterdrückung, dargeboten haben möchte und ob es im Allgemeinen eine Kategorie von Meldungsinhalten gibt, die ausschließlich optional im Fahrzeug angeboten werden sollte. Eine weitere relevante Fragestellung bezieht sich auf die prognostizierte Güte von Informationsmeldungen, da diese speziell im Kontext von Car-2-X in Abhängigkeit von Umweltveränderungen und Sensorausstattung stark variieren kann.

Die beiden Studien werden im Folgenden detailliert anhand der angewandten Methodiken und berechneten Ergebnisse dargestellt. Anschließend wird ein kurzer Überblick über die Bedeutung der Ergebnisse für das ganzheitliche Workloadmanagement-Konzept gegeben.

4.2.1 Realfahrtstudie – Fahrerbeanspruchung im Kreuzungsbereich

Wie zuvor erwähnt konnte das Szenario „Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ als unfallträchtige Situation eruiert werden (Vgl. Kapitel 1.3). In dieser komplexen urbanen Fahrsituation kann es durch Ablenkung (Vgl. Lee, Young & Regan, 2009; Wickens & Horrey, 2009), Risikokohomöostase (Vgl. Wilde, 1982, 1988; Schmidt, 1988) oder erhöhten Workload (Vgl. Höger et al., 2012; Rösler, 2012; Rommerskirchen et al., 2014) zu Fahrfehlern kommen, welche Unfälle und Kollisionen begünstigen. Die Fahrerbeanspruchung und -ablenkung sollen besonders im Umfeld von urbanen Unfallschwerpunkten minimiert werden. Die zu entwickelnde Informationsstrategie muss die Fahrerbeanspruchung daher zeitlich und/oder situativ berücksichtigen. Als Basis des zu entwickelnden Konzeptes wird in

der Studie die vom Menschen empfundene subjektive Beanspruchung, in Abhängigkeit der Phasen (Vgl. Abbildung 02) bei einer Überquerung der Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung, erhoben. Speziell in zeitkritischen Fahrsituationen lässt sich eine erhöhte Fahrerbeanspruchung beobachten (Praxenthaler, 2003). Ziel der Studie ist es, zu überprüfen, wann sich Fahrer besonders stark beansprucht fühlen und ob sich diesbezüglich die einzelnen Phasen der Kreuzungsüberquerung voneinander differenzieren lassen (Vgl. Köhler, Mergl, Blaese & Bengler, 2013). Dabei dienen die Ergebnisse einem ersten Versuch, das gesamte Szenario und die angenommene Phaseneinteilung grob in einer Vorstudie zu betrachten. Die gewonnenen Daten liefern Anhaltspunkte zur Eignung der Beanspruchungsschätzung im Zusammenhang mit der deterministischen Herangehensweise. Teile der vorgestellten Realfahrtstudie wurden bereits von Köhler et al. (2013) veröffentlicht.

4.2.1.1 Fragestellung

Die Realfahrtstudie gibt einen Aufschluss über das Beanspruchungsempfinden des Fahrers bei einer Kreuzungsüberquerung. Konkret wird das entwickelte normative Phasenmodell (Vgl. Abbildung 02) auf eine Kreuzung im realen Straßenverkehr projiziert und darauf basierend die subjektiv empfundene Beanspruchung erfragt. Die Hauptfragestellungen, welche beantwortet werden, sind die Folgenden: Welche Belastungsgrößen gibt es während der Fahrt im urbanen Raum beziehungsweise gibt es Faktoren, welche die Fahrerbeanspruchung moderieren? Wovon hängt die Fahrerbeanspruchung ab? Wie subjektiv beanspruchend ist eine Kreuzungsüberquerung an sich? Wie werden die einzelnen Phasen beim Überqueren der Kreuzung hinsichtlich des empfundenen Workload bewertet? Spielt das Fahrmanöver (Links- vs. Rechtsabbiegen) dabei eine Rolle?

Zusammenfassend können die Forschungsfragen in sechs Hypothesen formuliert werden, welche sich alle auf das Szenario „Überqueren einer urbanen T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ beziehen:

- H1: Das Überqueren einer urbanen T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung ist subjektiv beanspruchender als eine gerade Strecke auf der Landstraße mit identisch zurückgelegter Entfernung.
- H2: Das Fahrmanöver Linksabbiegen ist beanspruchender als das Fahrmanöver Rechtsabbiegen.
- H3: Beim Überqueren einer Kreuzung lassen sich verschiedene Phasen voneinander differenzieren.
- H4: Die Einsehbarkeit der Kreuzung und die vorhandenen Verkehrsteilnehmer zum Zeitpunkt der Überquerung haben einen Einfluss auf die subjektiv empfundene Beanspruchung.

- H5: Es gibt neben vorhandenem Querverkehr und der Einsehbarkeit der Kreuzung weitere entscheidende Elemente, welche die Beanspruchung des Fahrers beim Überqueren einer Kreuzung moderieren können.
- H6: Das Manöver Kreuzung überqueren ist im Vergleich zu anderen komplexen Fahrmanövern (darunter Überholen, Parken, Spurwechsel) ein stärker beanspruchendes Szenario.

Die Überprüfung der Hypothese 1 dient dem Manipulationscheck. Alle sechs Hypothesen lassen sich anhand der angewandten Methodik statistisch überprüfen. Wie die genaue Umsetzung gestaltet war, wird anschließend dargestellt.

4.2.1.2 Methode

Das bereits schematisch dargestellte Szenario der Kreuzungsüberquerung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung wird hinsichtlich seiner Phaseneinteilung auf die subjektiv empfundene Beanspruchung untersucht.

Stichprobe

Insgesamt umfasst die Stichprobe der Realfahrtstudie 77 Probanden, laut G*Power (Vgl. Faul et al., 2007) ist für einen großen Effekt ($d = 0.8$) eine Gruppengröße von mindestens $N = 35$ erforderlich. Um diese Anforderung im Gruppendesign auch bei technischen Problemen oder Ausfällen zu gewährleisten, wurden insgesamt $N = 77$ Probanden erhoben. Die Stichprobe setzte sich aus 48 männlichen (62 %) und 29 weiblichen (38 %) Probanden zusammen, deren Altersspanne zwischen 20 bis 77 Jahren ($M_{\text{Alter}} = 40.5$ Jahre; $SD_{\text{Alter}} = 16.9$ Jahre) lag. Es wurden zwei Altersgruppen gebildet (s. *Anhang A, Tabelle A.3.1*) mit jüngeren (bis 40 Jahre) und älteren (ab 50 Jahre) Fahrern. Alle Probanden sind Studenten oder wissenschaftliche Mitarbeiter der Universität der Bundeswehr in Neubiberg bei München und wurden für ihre Teilnahme entlohnt.

Versuchsdesign und abhängige Variablen

Den Kern der Untersuchung bildete das Szenario Überqueren einer urbanen T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung. Jeder Proband hat insgesamt drei verschiedene Kreuzungen bewusst überquert (within-subjects Design) – diese unterschieden sich hinsichtlich ihrer Einsehbarkeit (H4): Kreuzung A = gut einsehbar vs. Kreuzung B = moderat einsehbar vs. Kreuzung C = schlecht einsehbar (Vgl. Abbildung 04).



Abbildung 04: Drei zur Versuchsdurchführung gewählte unterschiedlich gut einsehbare Kreuzungen im Raum Neubiberg bei München.

Für die am schlechtesten einsehbare Kreuzung (C) wurden wiederum zwei Gruppen gebildet (Links- vs. Rechtsabbieger im between-subjects Design) (H2). Um Aussagen über einzelne Kreuzungsabschnitte zu erhalten, wurde diese Kreuzung in die bereits beschriebenen sechs aufeinanderfolgenden Phasen (Vgl. Kapitel 3.2, Abbildung 02) unterteilt (H3). Die Unterteilung erfolgte hierbei für die Gruppe der Linksabbieger und die Gruppe der Rechtsabbieger in gleicher Art und Weise. Lediglich die *Phasen 5* und *6* lagen aufgrund ihrer Abhängigkeit vom gefahrenen Manöver auf unterschiedlichen Ortspunkten. Ein Vergleich zwischen der Kreuzungsüberquerung und einer Baseline wurde durch die Fahrt über ein definiertes gerades Stück auf der Landstraße mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 70km/h gewährleistet (H1).

Als abhängige Variablen wurden vor allem subjektive Daten anhand eines Fragebogens erhoben. Hierzu gehört, neben einer selbst formulierten Effort-Skala bezüglich der empfundenen Beanspruchung bei der zuletzt erlebten Kreuzungsüberquerung (bestehend aus fünf allgemeinen Fragen in Form von 7-stufigen Likert-Skalen), eine gekürzte Version des NASA TLX (Vgl. Hart & Staveland, 1988) für Kreuzung C und die Landstraße – wobei der Prozess der Gewichtung der sechs Items außen vor gelassen wurde. Des Weiteren sollten die Probanden anhand ihrer Erinnerungen und drei Fotos (Vgl. Abbildung 04) eine Rangreihenfolge hinsichtlich ihrer empfundenen Beanspruchung und Einsehbarkeit für die Kreuzungen A, B und C bilden. Die Bewertung der einzelnen Phasen bei der Überquerung der Kreuzung erfolgte schließlich anhand von jeweils drei ausgewählten Fragen in Form einer Post-hoc Analyse. Die Fragen wurden mit einer 7-stufigen Likert-Skala bewertet und lauteten wie folgt:

1. Wie gut waren Sie in der Lage, sich auf das Fahren zu konzentrieren?
2. Wie stark haben Sie sich in dieser Phase beansprucht gefühlt?
3. Wie viel Aufmerksamkeit mussten Sie in dieser Phase auf das Fahrgeschehen (andere Verkehrsteilnehmer/Verkehrsregelung, ...) richten?

Dabei wurden den Probanden die sechs Phasen der Kreuzungsüberquerung anhand ihrer eigenen Blickdaten offline als Video-Verlaufsrating (Vgl. Totzke et al., 2008; Corwin, 1989) dargeboten. Es gibt Belege dafür, dass das Blickverhalten in komplexeren Verkehrssituationen vom normalen Blickverhalten abweicht, indem mehr Blicke auf das Verkehrsgeschehen und weniger auf das HMI im Fahrzeug gerichtet werden (Vgl. Rommerskirchen et al., 2014). Die Probanden sollten zudem für alle sechs Phasen einen zutreffenden Titel/Bezeichnung finden. Ein Abdruck des Fragebogens in Ausschnitten findet sich im Anhang (*Anhang A.1.1 bis A.1.5*).

Testumgebung und Versuchsaufbau

Der Ort der Versuchsdurchführung ist die Gemeinde Neubiberg im Landkreis München. Im realen Feld wurden drei T-Kreuzungen ausgewählt, bei denen jeweils aus einer Zone 30 in eine 50er Zone abgebogen wurde. Außerdem gab es ein definiertes Stück auf einer Landstraße, welches von allen Probanden befahren wurde. Die Versuchsteilnehmer haben diese vier Szenarien bewusst erlebt, indem sie jeweils zuvor vom Versuchsleiter darauf hingewiesen wurden. Das vorhandene Verkehrsaufkommen wurde für alle Fahrten dokumentiert.

Als Versuchsträger diente ein Audi A6 Avant (Abbildungen s. *Anhang A.2.1*), welcher mit entsprechender Messtechnik ausgestattet war. Ein auf 50cm genaues iTrace-System wurde für die Positionsbestimmung des Fahrzeuges installiert. Anhand der dGPS-Daten (differential Global Positioning System) erfolgte die Zuordnung zu definierten Triggerpunkten, welche wiederum einen Rückschluss auf die jeweilige Phase bei der Kreuzungsüberquerung zuließ. Anhand dessen konnten im Anschluss an die Fahrt die Blickvideos den einzelnen Phasen zugeordnet und den Probanden dargeboten werden. Zur Aufzeichnung und Präsentation der Blickdaten diente das Dikablis Cable 2.5 System.

Versuchsablauf

Alle Probanden wurden am Eingang der Universität der Bundeswehr begrüßt und zur Versuchsfahrt abgeholt. Eine kurze Eingewöhnungsphase war durch die Anfahrt zum Startpunkt der Studie gewährleistet. Mithilfe der standardisierten Instruktion des Versuchsleiters konnte sichergestellt werden, dass die folgenden drei Kreuzungen (A, B und C) vom Probanden bewusst erlebt und überquert wurden. Das dritte Manöver war dabei immer die Überquerung der am schlechtesten einsehbaren Kreuzung C. Diese wurde von den Versuchsteilnehmern in Abhängigkeit ihrer Gruppenzugehörigkeit mit dem Manöver Linksbeziehungsweise Rechtsabbiegen überquert. Im Anschluss daran wurde das Fahrzeug in einer Parkbucht abgestellt und mit der Beantwortung des Fragebogens, welcher sich vordergründig auf die Bewertung der Kreuzung C bezog, begonnen. Neben einer allgemeinen Bewertung der zuletzt erlebten Kreuzungssituation wurde die Rangreihenfolge für die

Kreuzungen A, B und C (als Gedankenstütze wurden dem Probanden drei Fotos gezeigt) abgefragt. Gefolgt von der Bewertung der einzelnen Phasen bei der Kreuzungsüberquerung beantworteten die Versuchsteilnehmer den standardisierten NASA TLX Fragebogen. Anschließend bekamen alle Probanden ihr eigenes Blickvideo der Überquerung von Kreuzung C von der gesamten *Phase 1*, diese reichte immer von 100 m bis 45 m vor die Haltelinie, zu sehen und sollten dazu die oben genannten drei Fragen spontan beantworten. Auch für *Phase 2* wurde dem Proband sein eigenes Blickvideo mit anschließender Beantwortung der drei Fragen gezeigt. Dasselbe Vorgehen folgte für die *Phasen 3 bis 6*. Im Anschluss an das Video-Verlaufsrating führen die Probanden eine definierte Strecke über die Landstraße, welche direkt danach durch den NASA TLX bewertet wurde. Die Studie wurde mit einem demographischen Fragebogen abgeschlossen. Nachfolgend ist der Ablauf der Studie schematisch dargestellt:

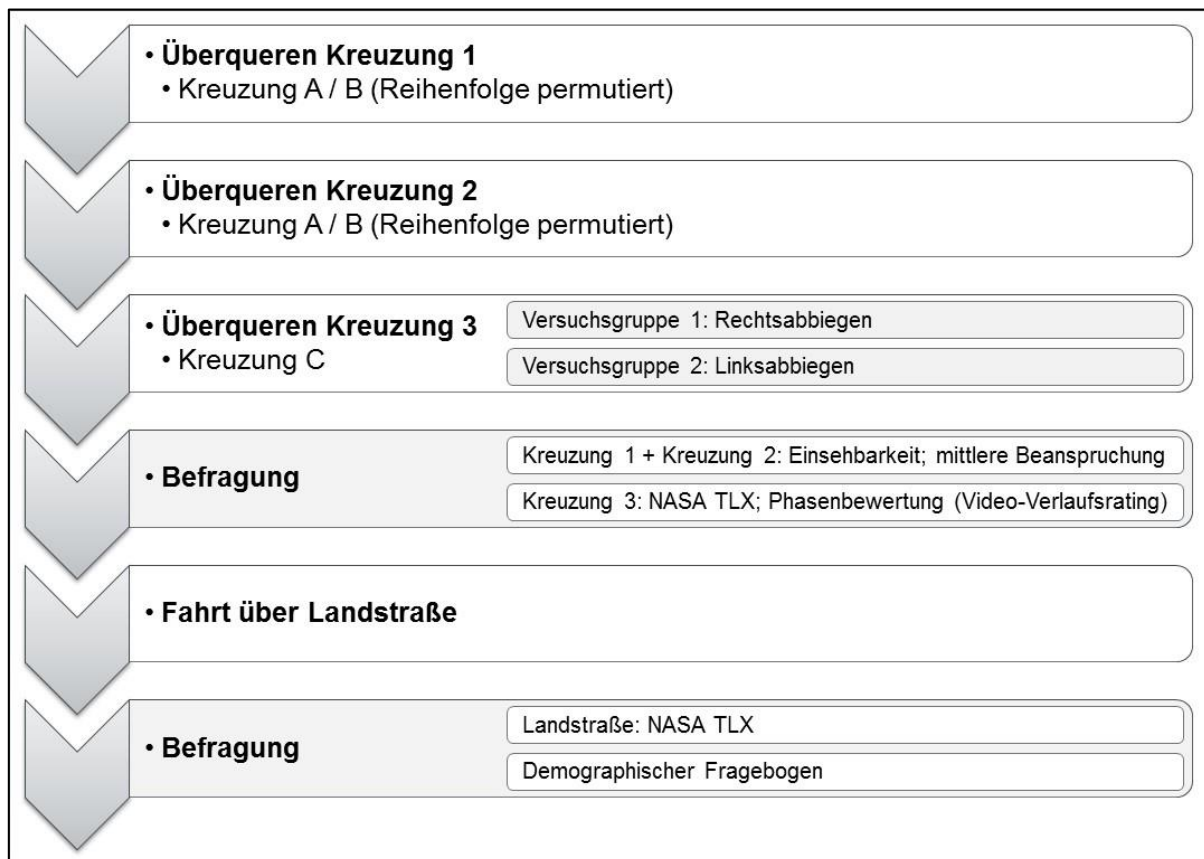


Abbildung 05: Prozessgrafik zum Ablauf der Realfahrtstudie zur Erhebung der Fahrerbeanspruchung im Kreuzungsbereich.

4.2.1.3 Ergebnisse

Die Auswertung und Reihenfolge der Darstellung der Ergebnisse erfolgen in Analogie zu den definierten Hypothesen.

H1: Das Überqueren einer urbanen T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung ist subjektiv beanspruchender als eine gerade Strecke auf der Landstraße mit identisch zurückgelegter Entfernung.

Der Vergleich des Manövers „Überqueren einer urbanen T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ (im Folgenden „Kreuzung“ genannt) mit einer Referenz „Fahrt über die Landstraße mit Geschwindigkeitsbegrenzung 70km/h“ (im Folgenden „Landstraße“ genannt) erfolgte anhand der subjektiven Bewertung des standardisierten NASA TLX Fragebogens. Die angewandte gekürzte Version lässt hierbei lediglich paarweise Vergleiche der sechs Items zu (Vgl. Schwalm, 2009):

Tabelle 01: t-Tests für verbundene Stichproben zum Vergleich der sechs Items des NASA TLX zwischen den gefahrenen Manövern (Kreuzung, Landstraße), AV: Mentale (geistige) Beanspruchung, Physische (körperliche) Beanspruchung, Anstrengung, Emotionale Empfindung, Zeitdruck und Aufgabenerfüllung

Gepaarte Stichproben		Gepaarte Differenz		df	t-Wert	p-Wert, einseitig	d
A	B	M	SE				
Mentale Beanspruchung bei Kreuzung	Mentale Beanspruchung bei Landstraße	1.98	0.24	73	8.29	.000	1.08
Physische Beanspruchung bei Kreuzung	Physische Beanspruchung bei Landstraße	0.86	0.16	73	5.30	.000	0.67
Anstrengung bei Kreuzung	Anstrengung bei Landstraße	1.65	0.21	71	8.04	.000	1.06
Emotionale Empfindung bei Kreuzung	Emotionale Empfindung bei Landstraße	1.11	0.19	72	5.97	.000	0.74
Zeitdruck bei Kreuzung	Zeitdruck bei Landstraße	0.44	0.12	72	3.59	.000	0.36
Aufgabenerfüllung bei Kreuzung	Aufgabenerfüllung bei Landstraße	0.74	0.17	72	4.43	.000	0.49

Alle sechs Items unterscheiden sich für den Vergleich zwischen Kreuzung und Landstraße auch nach einer Bonferroni-Holm-Korrektur signifikant voneinander. Das gilt auch für die Berechnungen anhand des konservativen Verfahrens mit dem Wilcoxon-Test. Dabei sind die Mittelwerte der subjektiv empfundenen Beanspruchung für die Kreuzung jeweils höher als die für die Landstraße. Angaben zu den deskriptiven Statistiken finden sich in *Anhang A.3.2*. Zusammenfassend kann der Hypothese 1 zugestimmt werden.

H2: Das Fahrmanöver Linksabbiegen ist beanspruchender als das Fahrmanöver Rechtsabbiegen.

Ein Vergleich der beiden Fahrmanöver „Linksabbiegen“ und „Rechtsabbiegen“ erfolgt ebenfalls auf Basis der Items des NASA TLX. Die Mittelwerte werden anhand einzelner t-Tests für unabhängige Stichproben miteinander verglichen.

Tabelle 02: t-Tests für unverbundene Stichproben zum Vergleich der Items des NASA TLX zwischen den Abbiegerichtungen (Links, Rechts), AV: Mentale (geistige) Beanspruchung, Physische (körperliche) Beanspruchung, Anstrengung, Emotionale Empfindung, Zeitdruck und Aufgabenerfüllung

Unabhängige Stichproben		Mittlere Differenz		df	t-Wert	p-Wert, zweiseitig	d
A	B	M	SE				
Mentale Beanspruchung bei Linksabbiegen	Mentale Beanspruchung bei Rechtsabbiegen	0.59	0.51	73	1.16	.249	0.27
Physische Beanspruchung bei Linksabbiegen	Physische Beanspruchung bei Rechtsabbiegen	0.84	0.34	73	2.49	.015	0.58
Anstrengung bei Kreuzung	Anstrengung bei Rechtsabbiegen	0.98	0.43	72	2.29	.025	0.53
Emotionale Empfindung bei Linksabbiegen	Emotionale Empfindung bei Rechtsabbiegen	0.49	0.41	72	1.22	.227	0.28
Zeitdruck bei Kreuzung	Zeitdruck bei Rechtsabbiegen	0.67	0.29	72	2.27	.026	0.53
Aufgabenerfüllung bei Linksabbiegen	Aufgabenerfüllung bei Rechtsabbiegen	0.45	0.40	72	1.15	.255	0.27

Für die Variablen „Physische Beanspruchung“, „Anstrengung“ und „Zeitdruck“ sind die Mittelwerte bei der Abbiegerichtung *Links* signifikant höher als bei der Abbiegerichtung *Rechts* (s. *Anhang A.3.3* für deskriptive Statistiken). Gleiche Beziehungen ergeben sich für den nichtparametrischen U-Test nach Mann und Whitney. Des Weiteren können die Antworten auf die Frage „Wie beanspruchend war die Kreuzungsfahrt für Sie?“ gruppenweise miteinander verglichen werden. Der t-Test für unabhängige Stichproben wurde höchst signifikant ($t(73) = 3.35$, $p = .001$, 2-seitig, $d = 0.77$), dabei wird das Linksabbiegen ($M_{\text{Linksabbiegen}} = 3.26$, $SD_{\text{Linksabbiegen}} = 1.48$) beanspruchender bewertet als das Rechtsabbiegen ($M_{\text{Rechtsabbiegen}} = 2.14$, $SD_{\text{Rechtsabbiegen}} = 1.40$). Obgleich nicht alle Items des NASA TLX dafür sprechen kann aufgrund der drei aussagekräftigsten drei Items („Physische Beanspruchung“, „Anstrengung“ und „Zeitdruck“) und der zusätzlichen Frage nach der empfundenen Beanspruchung der Hypothese 2 zugestimmt werden.

H3: Beim Überqueren einer Kreuzung lassen sich verschiedene Phasen voneinander differenzieren.

Die sechs Phasen können hinsichtlich der drei Fragen nach der „Konzentration auf das Fahrgeschehen“, der „empfundene Beanspruchung“ und der „notwendigen Aufmerksamkeit auf das Fahrgeschehen“ miteinander verglichen werden. Zusätzlich zu den paarweisen Vergleichen von t-Tests für verbundene Stichproben wird ein nichtparametrischer Test zum Vergleich der Phasen untereinander durchgeführt (deskriptive Statistiken s. *Anhang A.3.4*).

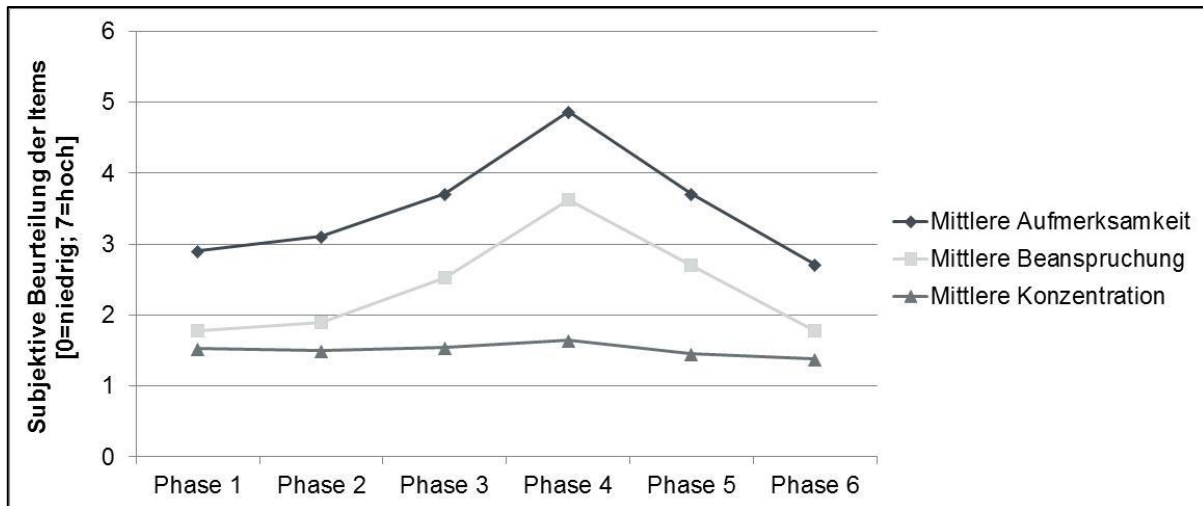


Abbildung 06: Subjektive Bewertung der drei Items (Aufmerksamkeit, Beanspruchung und Konzentration) in Abhängigkeit von der Phase bei der Überquerung von Kreuzung C.

Die Verläufe der subjektiven Beurteilung in Hinblick auf die drei Items in Abhängigkeit der Phase auf der Kreuzung sind in Abbildung 06 dargestellt. Während es zwischen der *mittleren Konzentration* und der Fahrphase keinen eindeutigen Zusammenhang gibt, lässt sich für die *mittlere Aufmerksamkeit* und die *mittlere Beanspruchung* ein klares Bild erkennen. Für beide Items steigen die Mittelwerte ab Phase 1 bis einschließlich Phase 4 kontinuierlich an und fallen in Phase 5 und 6 kontinuierlich wieder ab. Für die *mittlere Beanspruchung* wurden zudem t-Tests für verbundene Stichproben in Abhängigkeit der einzelnen Phasen berechnet. Lediglich zwischen den Phasen 1 und 2, den Phasen 1 und 6, den Phasen 2 und 6 und den Phasen 3 und 5 gibt es keine signifikanten Unterschiede. Alle anderen Vergleiche werden sowohl bei der Überprüfung durch t-Tests (unter Berücksichtigung der Bonferroni-Holm-Korrektur) als auch anhand des konservativeren Wilcoxon-Tests signifikant (s. *Anhang A.3.5*). Die Phasen werden zudem entsprechend von den Probanden benannt (s. *Anhang A.3.6*). Hypothese 3 gilt als bestätigt.

H4: Die Einsehbarkeit der Kreuzung und die vorhandenen Verkehrsteilnehmer zum Zeitpunkt der Überquerung haben einen Einfluss auf die subjektiv empfundene Beanspruchung.

Für die drei bewusst erlebten Kreuzungen A, B und C wurde eine Rangreihenfolge hinsichtlich der Einsehbarkeit erstellt. Die prozentuale Rangzuordnung ist im Folgenden grafisch veranschaulicht:

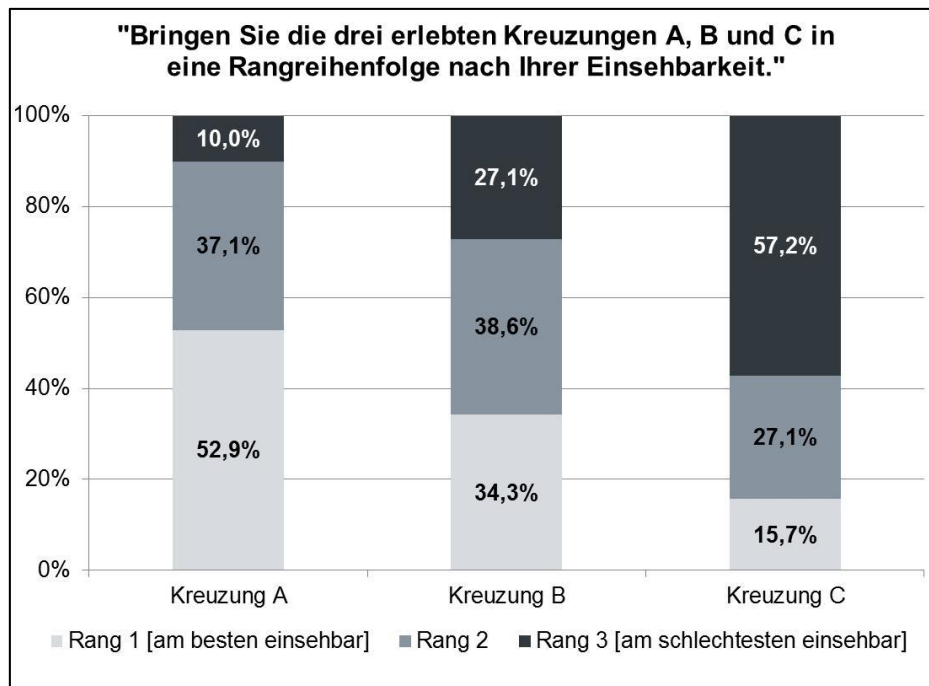


Abbildung 07: Subjektive Rangzuordnung der Kreuzungen A, B und C in Abhängigkeit von deren Einsehbarkeit.

Hinsichtlich der Beanspruchung werden die drei Kreuzungen mit dem Manöver Linksabbiegen im Vergleich zum Manöver Rechtsabbiegen subjektiv stärker beanspruchend bewertet (Kreuzung A: $Mdn_{Links} = 3$, $Mdn_{Rechts} = 2$; Kreuzung B: $Mdn_{Links} = 4$, $Mdn_{Rechts} = 3$; Kreuzung C: $Mdn_{Links} = 4$, $Mdn_{Rechts} = 3$). Kreuzung A, welche am häufigsten den Rang 1 bezüglich ihrer Einsehbarkeit zugeordnet bekam, wird für beide Manöver auch am wenigsten beanspruchend bewertet im Vergleich zu den anderen beiden Kreuzungen. Kreuzung C wird allgemein als moderat einsehbar bewertet ($M_{Einsehbarkeit_C} = 4.11$, $SD_{Einsehbarkeit_C} = 1.48$).

Für die zweistufige Variable, dem Vorhandensein von anderen Verkehrsteilnehmern (ja vs. nein) während der Überquerung von Kreuzung C, ergibt sich kein signifikanter Zusammenhang mit der subjektiv empfundenen Beanspruchung ($t(71) = 0.33$, $p = .739$, 2-seitig). Die Probanden, welche bei der Überquerung von Kreuzung C andere Verkehrsteilnehmer zu berücksichtigen hatten, waren im Mittel ähnlich stark beansprucht ($M_{QV_vorhanden} = 2.75$, $SD_{QV_vorhanden} = 1.50$) wie die Probanden, bei denen keine anderen

Verkehrsteilnehmer vorhanden waren ($M_{\text{kein_QV}} = 2.63$, $SD_{\text{kein_QV}} = 1.45$). Während das selbst eingeschätzte Vorhandensein von anderen Verkehrsteilnehmern nur gering mit der dichotom protokollierten Variable korreliert ($r_s(71) = -.32$, $p = .005$), ergibt sich auch für den Zusammenhang zwischen den beiden subjektiv beurteilten Variablen *Vorhandensein von anderen Verkehrsteilnehmern* („Wie viele andere Verkehrsteilnehmer waren bei Ihrer Kreuzungsüberquerung vorhanden?“) und *Empfundene Beanspruchung* („Wie beanspruchend war die Kreuzungsdurchfahrt für Sie?“) nur eine sehr geringe Korrelation ($r(73) = .21$, $p = .073$). Die Probanden fühlen sich allgemein nur sehr wenig durch andere Verkehrsteilnehmer beansprucht ($M_{\text{VTN_Beanspruchung}} = 2.09$, $SD_{\text{VTN_Beanspruchung}} = 1.29$). Hypothese 4 kann nur teilweise angenommen werden – die Einsehbarkeit hat nachweislich einen Einfluss auf die empfundene Beanspruchung bei der Kreuzungsüberquerung, während die vorhandenen Verkehrsteilnehmer keinen Einfluss haben.

H5: Es gibt neben vorhandenem Querverkehr und der Einsehbarkeit der Kreuzung weitere entscheidende Elemente, welche die Beanspruchung des Fahrers beim Überqueren einer Kreuzung moderieren können.

Als besonders beeinflussende beziehungsweise markante Elemente während der Überquerung von Kreuzung C wurden einerseits verschiedene dynamische Objekte (Querverkehr, andere Verkehrsteilnehmer, Radfahrer, Fußgänger) und andererseits straßenbauliche Merkmale beziehungsweise statische Objekte (schlechte Einsehbarkeit, parkende Fahrzeuge, schmale Fahrbahn) genannt (s. *Anhang A.3.6*). Bezüglich der Bildung einer Rangreihenfolge von Einflussfaktoren während der Fahrt wurde das „Wetter“ ($Mdn = 6$) als am stärksten beanspruchend bewertet, gefolgt von „Hindernis/Gefahrenstelle“ ($Mdn = 5$), „andere Verkehrsteilnehmer“ ($Mdn = 4$), „Fußgänger“ ($Mdn = 3$), „Verkehrszeichen/Ampeln“ ($Mdn = 2$) und „Unterhaltung im Fahrzeug“ ($Mdn = 1$). Hypothese 5 kann zugestimmt werden.

H6: Das Manöver Kreuzung überqueren ist im Vergleich zu anderen komplexen Fahrmanövern (darunter Überholen, Parken, Spurwechsel) ein stärker beanspruchendes Szenario.

Die Rangreihenfolge von Aufgaben beim Fahren in Abhängigkeit der empfundenen Beanspruchung gestaltet sich wie folgt: Am stärksten beanspruchend wird „Navigieren/Orientieren“ ($Mdn = 5$) empfunden, gefolgt von „Kreuzung überqueren“ ($Mdn = 4$), „Überholen“ ($Mdn = 4$), „Spurwechsel“ ($Mdn = 3$), „Parken“ ($Mdn = 2$) und „im stockenden Verkehr fahren“ ($Mdn = 2$). Hypothese 6 somit kann zugestimmt werden.

Die beiden Variablen Alter und Geschlecht haben keinen Einfluss auf die berechneten Größen und statistischen Zusammenhänge.

4.2.1.4 Diskussion

Zunächst konnte nachgewiesen werden, dass die Überquerung einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung beanspruchender empfunden wird als die Fahrt eines gleichlangen Wegstückes auf der Landstraße mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 70km/h. Die Manipulation erweist sich somit als gelungen und das „Überqueren einer Kreuzung“ kann zu den (subjektiv) beanspruchenden Fahrmanövern gezählt werden (Vgl. Fastenmeier, 1995; Fastenmeier & Gstalter, 2003). Dabei hat die Abbiegerichtung einen Einfluss. Das Manöver Linksabbiegen wird sowohl für die drei Items des NASA TLX „Physische Beanspruchung“, „Anstrengung“ und „Zeitdruck“ als auch für die allgemeine Frage nach dem empfundenen Workload als signifikant stärker beanspruchend bewertet im Vergleich zum Manöver Rechtsabbiegen. Diese Tendenz lässt sich anhand der erhöhten Anforderungen an den Fahrer erklären. Beim Linksabbiegen muss ein weiterer kreuzender Fahrstreifen (von rechts kommend) berücksichtigt werden, wodurch die Situation komplexer ist und das Ausführen des Manövers, in Abhängigkeit von vorhandenem Querverkehr, zeitkritischer sein kann. Des Weiteren wird bei einem Vergleich von verschiedenen komplexen Aufgaben beim Fahren „Kreuzung überqueren“ zu den höher beanspruchenden Manövern gezählt.

Bezüglich der Differenzierung von Phasen bei der Überquerung der Kreuzung konnte für das Links- und das Rechtsabbiegen ein einheitliches Bild abgeleitet werden. Beide Manöver lassen sich hinsichtlich der Frage nach der empfundenen Beanspruchung in sechs voneinander differenzierbare Phasen unterteilen (Vgl. Abbildung 02). Dabei gibt es drei Ebenen, für welche der subjektiv erlebte Grad von Beanspruchung unterschiedlich hoch ist. Die Phasen 1, 2 und 6 werden im Vergleich zu den Phasen 3 und 5 subjektiv als geringer beanspruchend empfunden. Die Phase 4 weist den höchsten Grad an Beanspruchung auf. Das heißt, die Probanden beschreiben hinsichtlich ihres Beanspruchungsniveaus grundsätzlich eher gröbere Abstufungen. Diese Erkenntnis liefert erste Belege dafür, dass eine Klassifikation mit einer steuernden Wirkweise durchaus zielführend ist. Auch die Bezeichnungen der einzelnen Phasen deuten auf einen charakteristischen Verlauf des Manövers hin. Auf die Bedeutung dieser Zusammenhänge für das ganzheitliche Workloadmanagement-Konzept wird in einem der folgenden Kapitel detaillierter eingegangen (Vgl. Kapitel 4.2.3). Für die Frage nach der Konzentration, welche in der jeweiligen Phase auf das Verkehrsgeschehen gerichtet werden musste, ergab sich ein Bodeneffekt.

Hinsichtlich der Untersuchung auf beeinflussende Elemente bei der Kreuzungsüberquerung gilt die Einsehbarkeit als ausschlaggebend. Je besser eine Kreuzung für den Fahrer einsehbar ist, desto geringer empfindet er sein Beanspruchungsniveau. Das Vorhandensein und die Anzahl anderer Verkehrsteilnehmer werden zwar als „markante Elemente“ aufgeführt, nehmen jedoch keinen direkten Einfluss auf die subjektiv erlebte Beanspruchung.

Zusammenfassend liefert die Studie mit den Ergebnissen zur subjektiv empfundenen Beanspruchung bei der Überquerung einer T-Kreuzung eine wesentliche Basis für das zu entwickelnde Workloadmanagement-Konzept. Obgleich objektive Messgrößen offensichtlich größere Vorteile bieten (Vgl. Rommerskirchen et al., 2014), wurde die Methodik bewusst auf subjektive Maße von Beanspruchung und damit auf individuelle Urteile der Probanden eingegrenzt. Der Anspruch nach Ableitung eines nutzerzentrierten und -transparenten Ansatzes steht im Fokus - diesem kann anhand von subjektiven Daten besser nachgekommen werden. Außerdem konnte so der Einfluss auf das Probandenverhalten minimal gehalten werden. Die vom Fahrer geschätzte Beanspruchung deckt sich dabei mit der prognostizierten. Basierend auf den Studienergebnissen und der Analyse der Unfallzahlen (Vgl. Kapitel 1.3) kann die Kreuzungssituation als zielführendes Szenario für die Entwicklung eines adaptiven Workloadmanagements interpretiert werden. Die Fahrer empfinden durch die Komplexität des Szenarios im Gegensatz zur Geradeausfahrt eine erhöhte subjektive Beanspruchung. Die Stichprobengröße lässt generalisierbare Schlüsse zu. Um die Reliabilität der subjektiven Einschätzungen zu erhöhen, könnten die Fragebögen um den kompletten NASA TLX und andere standardisierte Verfahren erweitert werden.

4.2.2 Expertenbefragung – unscharfe Datenlage

Nachdem das „Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ als beanspruchendes Manöver klassifiziert werden konnte und eine entsprechende Einteilung in differenzierbare statische Phasen stattgefunden hat, ist ein weiterer wesentlicher Teil der Konzeptentwicklung der Umgang mit eingehenden Meldungen während der Fahrt. Aus dem Überblick über vorhandene Workloadmanagement-Konzepte (Vgl. Kapitel 2.3.2) wurden verschiedene Strategien zum Umgang mit eingehenden Informationen definiert. Häufig werden Benachrichtigungen an den Fahrer bei detektiertem erhöhten Workload-Index verzögert und dabei temporär unterdrückt oder gänzlich gelöscht (Vgl. Michon, 1993; Hoedemaeker, De Ridder & Janssen, 2002; Färber & Färber, 2003; Färber, 2004; Kern et al., 2007). Verwey (1993) beschreibt eine Strategie zur Minderung von Fahrerbeanspruchung in komplexen Fahrsituationen wie folgt: Nachrichten können verzögert oder gänzlich gelöscht werden – dabei gibt die Kritikalität der Nachricht Aufschluss darüber, welches der beiden Verfahren angewendet werden soll (Vgl. Verwey, 1993, S. 238). Bevor jedoch der Umgang mit entsprechenden Meldungen definiert werden kann, muss die Frage nach der grundsätzlichen Priorisierung und Kategorisierung von Car-2-X Meldungen beantwortet werden. Im Zuge der Digitalisierung und Vernetzung von Automobilen gibt es eine Menge neuer Informationsinhalte, welche entsprechend den mentalen Modellen (Vgl. Johnson-Laird, 1989, S. 488ff.; Geiser, 1990, S. 151) des Fahrers sortiert werden sollen. Ziel der Expertenbefragung ist das Erstellen

von Kategorien zum Priorisieren von Informationen im Fahrzeug (Vgl. Köhler, Bengler, Mergl & Wurm, 2015). Teile der vorgestellten Expertenbefragung wurden bereits von Köhler et al. (2015) veröffentlicht und in der Bachelorarbeit von Franz Wurm diskutiert.

4.2.2.1 Fragestellung

Um Meldungen im Fahrzeug nutzerzentriert und transparent zu sortieren und zu priorisieren, müssen die mentalen Modellvorstellungen des Fahrers untersucht werden. Mit dem Ziel, ein Auswahlkriterium zu entwerfen, nach welchem über die Darstellung der Meldung im Fahrzeug in verschiedenen Fahrsituationen (beanspruchend vs. nicht beanspruchend) entschieden werden kann, wurde eine Expertenbefragung konzipiert. Der Fokus liegt dabei vor allem auf der Ableitung konkreter Kategorien zur Priorisierung von fahrrelevanten Informationen. Es wird angenommen, dass in komplexen Situationen, in denen die Kapazitäten des Fahrers bereits größtenteils durch die Fahrsituation beansprucht sind, nur noch Meldungen mit hoher Güte (Eintretenswahrscheinlichkeit), hoher Relevanz und niedriger Verzichtbarkeit akzeptiert werden. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass sich verschiedene Car-2-X Meldungen hierarchisieren lassen, um schließlich zu entscheiden, welche Meldung zuerst dargeboten werden soll. Die konkreten Fragestellungen, die anhand der Expertenbefragung beantwortet werden sollen, sind: Welche Unterscheidung zwischen verschiedenen Informationen im Fahrzeug ist aus Fahrersicht intuitiv? Wie können diese priorisiert werden? Und welche Kriterien sind für eine Priorisierung besonders ausschlaggebend?

Zusammenfassend können die Forschungsfragen in drei Hypothesen formuliert werden, welche sich alle auf Car-2-X Meldungen im Fahrzeug beziehen:

- H1: Die theoretisch angenommenen Kategorien von Meldungen entsprechen den expliziten Modellvorstellungen der Fahrer.
- H2: Die hypothetischen Kategorien lassen sich anhand der Bewertungskriterien „Verzichtbarkeit“ und „Relevanz“ nachbilden.
- H3: Es kann eine Aussage über die akzeptierte Mindestgüte von Meldungen bei unscharfer Datenlage getroffen werden.

Alle drei Hypothesen lassen sich anhand der angewandten Methodik statistisch überprüfen. Wie die genaue Umsetzung gestaltet war, wird anschließend dargestellt.

4.2.2.2 Methode

In Analogie des empfohlenen Vorgehens von Campbell, Richard, Brown & McCallum (2007) wurde eine Methodik zur Bewertung verschiedener Szenarien mit Car-2-X Meldungen entwickelt. Campbell et al. legen der Priorisierung von Warnmeldungen im Fahrzeug eine Expertenbefragung zugrunde, bei der jede einzelne Meldung anhand der beiden Kriterien „Criticality“ und „Urgency“ beurteilt wird (Vgl. Campbell et al., 2007, S. 2-4).

Stichprobe

Insgesamt haben sich acht Experten ($N = 8$), sechs davon männlich und zwei weiblich, an einer Befragung mit dem Fokus der Analyse mentaler Modelle zu fahrrelevanten Meldungen im Fahrzeug beteiligt. Die Teilnehmer wiesen zum Zeitpunkt der Studie eine hohe jährliche Fahrleistung (s. *Anhang B.2.1*) auf. Um zu belegen, dass es sich für das Fachgebiet „Fahrerassistenzsysteme und -informationssysteme“ um Spezialisten handelte, wurde eine hohe Vertrautheit mit entsprechenden Fahrzeugfunktionen sichergestellt (s. *Anhang B.2.1*). Alle Befragten wiesen eine mehrjährige Berufserfahrung bei einem Automobilkonzern mit dem Thema Systemergonomie und/oder Mensch-Maschine-Schnittstelle auf und sind zum Zeitpunkt der Befragung auch in diesem Bereich tätig.

Versuchsdesign und abhängige Variablen

Die Befragung gliederte sich in zwei inhaltlich voneinander differenzierbare Teile. Der Ablauf ist schematisch in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

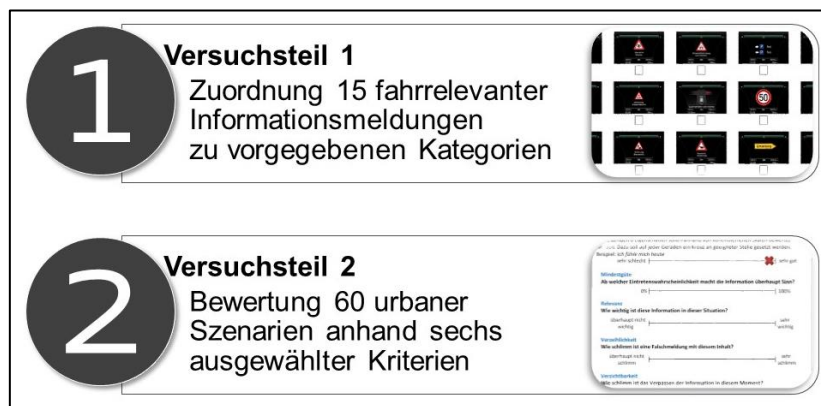


Abbildung 08: Schematische Darstellung der zwei Versuchsteile in der Expertenbefragung.

Teil 1 thematisierte die Zuordnung 15 fahrrelevanter Meldungen zu vorgegebenen, theoretisch angenommenen, Kategorien. Diese Befragung ermöglichte einen Abgleich zwischen dem theoretischen Modell über bestehende Informationscluster und den mentalen Vorstellungen des Fahrers (H1). Als unabhängige Variablen dienten die fünf angenommenen Kategorien von Meldungen: Sicherheit, Umwelt, Fahrzeugstatus, Navigation und Onlinedienste. Die 15, den Experten präsentierten, Meldungsinhalte sollten dabei den vorgegebenen Kategorien zugeordnet werden und wurden basierend auf theoretischen Annahmen generiert. Geiser (1984) schlägt vor, „binäre Meldungen als Kenngrößen des Fahrzeuges“ in „häufig“ und „selten auftretende“ Inhalte zu unterscheiden (Geiser, 1984, S. 129). Dieser Ansatz wurde übernommen und auf den Kontext von Car-2-X Meldungen übertragen. Eine Übersicht über die generierten Meldungsinhalte findet sich in der nachfolgenden Abbildung (bildhafte Darstellung s. *Anhang B.1.1*):

	eher häufig	durchschnittlich	eher selten
Sicherheit	Querverkehr	Einsatzfahrzeug	Geisterfahrer
Umwelt	Glätte	Straßenschäden	Viehtrieb
Fahrzeugstatus	Tankmeldung	Ölstand	Motorschaden
Navigation	Geschwindigkeitsbegrenzung	Baustelle	Umleitung
Onlinedienste	Freie Parkplätze (links/rechts)	Wettermeldung bei Ortseinfahrt	Point of Interest (Allianz Arena)

Abbildung 09: Meldungsinhalte sortiert nach ihrer Häufigkeit, mit der sie im Alltag auftreten (eher häufig vs. durchschnittlich vs. eher selten) und nach dem theoretischen Cluster, dem sie zugeordnet wurden (Sicherheit vs. Umwelt vs. Fahrzeugstatus vs. Navigation vs. Onlinedienste) (Vgl. Köhler et al., 2015).

In Teil 2 sollten insgesamt 60 urbane Fahrscenarien anhand von sechs ausgewählten Kriterien bewertet werden (H2 und H3). Dabei ergeben sich die 60 generierten Szenarien aus den 15 verschiedenen Meldungsinhalten (Vgl. Abbildung 09) gekreuzt mit einer spezifischen Umgebung (innerstädtische Kreuzungssituation vs. Schnellstraße außer Orts) und der Ansteuerung einer Akustik in Kombination mit dem Erscheinen der Meldung (ohne Ton vs. mit Ton). Die sechs Bewertungskriterien orientieren sich an den Empfehlungen von Campbell et al. (2007) und lauten: Mindestgüte, Relevanz, Verzeihlichkeit, Verzichtbarkeit, Kritikalität und Halbwertszeit. Alle sechs Kriterien wurden für jedes der 60 urbanen Szenarien anhand einer kontinuierlichen Skala beurteilt (Skalen und Erklärung der Kriterien s. *Anhang B1.3*).

Testumgebung und Versuchsaufbau

Die Expertenbefragung fand in den Räumlichkeiten der AUDI AG Ingolstadt statt und dauerte insgesamt ca. zwei Stunden. Für den ersten Teil wurde ein einseitiger Fragebogen für jeden Experten vorbereitet (s. *Anhang B.1.1*). Für den zweiten Teil wurden die 60 urbanen Szenarien mittels eines Beamers an die Wand des Besprechungszimmers projiziert – die Bewertung erfolgte durch die Experten auf vorgefertigten Fragebögen (s. *Anhang B.1.3*). Um Störungen und/oder Unterbrechungen zu vermeiden, fand die Expertenbefragung in einem abgeschlossenen Raum statt. Ein Moderator führte gezielt durch die beiden Befragungsteile.

Versuchsablauf

Alle acht Experten wurden zunächst gleichzeitig in einem Besprechungszimmer der AUDI AG durch den Moderator in Empfang genommen. Nach einer kurzen Begrüßung folgte der erste Befragungsteil: Jeder Experte bekam einen einseitigen Fragebogen ausgehändigt, auf welchem die Zuordnung der fünf angenommenen Kategorien zu einer Auswahl grafisch dargestellter Meldungen erfolgte (s. *Anhang B.1.1*). Im Anschluss daran wurden die Experten

gebeten, ein paar persönliche Angaben zu machen und bekamen eine standardisierte Instruktion für den Befragungsteil 2 (s. *Anhang B.1.2*). Der Befragungsteil 2 wurde hauptsächlich durch den Moderator gesteuert. Dieser präsentierte zunächst Szenario 1 auf der Leinwand und bat die Experten anschließend, das Szenario anhand der vorgegebenen Kriterien auf dem Fragebogen zu bewerten. Um den Meinungsaustausch der Experten möglichst zu unterbinden, gab es für die Bewertung der 60 Szenarien zwei unterschiedliche Fragebögen (Versuchsgruppe A und B), welche sich hinsichtlich der Reihenfolge der abgefragten Kriterien unterschieden (s. *Anhang B.1.3* und *Anhang B.1.4*) und willkürlich auf die Experten verteilt wurden. Nachdem Szenario 1 von allen Experten bewertet wurde, präsentierte der Moderator Szenario 2. Dieses Vorgehen wurde für alle 60 urbanen Szenarien wiederholt. Im Folgenden sind zwei präsentierte Szenarien exemplarisch dargestellt:



Abbildung 10: Darstellung zweier exemplarischer Szenarien (Nr. 5 und Nr. 12), welche den Experten nacheinander auf einer Leinwand präsentiert wurden und anhand von sechs Kriterien bewertet wurden.

Zu sehen sind die Szenarien Nr. 5 und Nr. 12. Erstgenanntes beinhaltet die Meldung „Vorsicht Glätte“ im Kombiinstrument (aus der Kategorie Umwelt mit einem „eher häufigen“ Auftreten in der Realität) in der Umgebung Landstraße. Zweitgenanntes beinhaltet die Meldung „Freie Parkplätze (links/rechts)“ im Kombiinstrument (aus der Kategorie Onlinedienste mit einem „eher häufigen“ Auftreten in der Realität) in der Umgebung innerstädtische Kreuzung.

4.2.2.3 Ergebnisse

Die Auswertung und Reihenfolge der Darstellung der Ergebnisse erfolgen in Analogie zu den definierten Hypothesen.

H1: Die theoretisch angenommenen Kategorien von Meldungen entsprechen den expliziten Modellvorstellungen der Fahrer.

Diese Hypothese bezieht sich ausschließlich auf den ersten Befragungsteil. Hierfür wurden die Zuordnungen der Kategorien durch die Experten zunächst deskriptiv ausgewertet (s. *Anhang B.2.2*) und anschließend die Übereinstimmungen mit einem Chi-Quadrat Test geprüft. Dabei wurden lediglich die Meldungen aus den Kategorien Sicherheit ($\chi^2(1, N = 24) = 10.67, p = .001$) und Fahrzeugstatus ($\chi^2(1, N = 24) = 16.67, p < .001$) signifikant oft den theoretisch angenommenen Kategorien zugeordnet. Die implizit angenommenen Kategorien Umwelt ($\chi^2(1, N = 24) = 1.50, p = .221$), Navigation ($\chi^2(1, N = 24) = 4.75, p = .093$) und Onlinedienste ($\chi^2(1, N = 24) = 4.75, p = .093$) ließen sich explizit nicht nachweisen. Zwar wurden alle Kategorien mindestens einem Szenario zugeordnet, allerdings fanden sich nur zwei der angenommenen Kategorien auch explizit wider. Die Hypothese 1 muss somit verworfen werden.

H2: Die hypothetischen Kategorien lassen sich anhand der Bewertungskriterien „Verzichtbarkeit“ und „Relevanz“ nachbilden.

Es wurden insgesamt sechs verschiedene Kriterien für jedes Szenario bewertet: Mindestgüte, Relevanz, Verzeihlichkeit, Verzichtbarkeit, Kritikalität und Halbwertszeit (deskriptive Statistik s. *Anhang B.2.3*). Die Kriterien wurden autokorreliert.

Tabelle 03: Korrelationen innerhalb der abhängigen Variablen (sechs Kriterien zur Bewertung der 60 urbanen Szenarien)

	Mindestgüte	Relevanz	Verzeihlichkeit	Verzichtbarkeit	Kritikalität	Halbwertszeit
Mindestgüte	1	-.188**	.352**	-.192**	-.093**	-.041
Relevanz		1	.222**	.858**	.541**	.084
Verzeihlichkeit			1	.216**	.226**	.179**
Verzichtbarkeit				1	.566**	.149**
Kritikalität					1	.090*
Halbwertszeit						1

Anmerkung: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

Die a priori postulierten Zusammenhänge zwischen den abhängigen Variablen können teilweise empirisch bestätigt werden. Zwischen den Kriterien Kritikalität und Mindestgüte sowie zwischen Halbwertszeit in Verbindung mit Mindestgüte, Relevanz und Kritikalität gibt es keine signifikanten Zusammenhänge. Besonderes Augenmerk gilt der Korrelation zwischen „Verzichtbarkeit“ und „Relevanz“ ($r(478) = .858, p < .001$, 2-seitig). Das Kriterium „Verzichtbarkeit“ konnte als Prädiktor für das Kriterium „Relevanz“ identifiziert werden $\beta = .858, t(478) = 36.52, p < .001$. „Verzichtbarkeit“ erklärt einen signifikanten Anteil der Varianz des Kriteriums „Relevanz“, $R^2 = .737, F(1,478) = 1333.36, p < .001$. Dieser Zusammenhang lieferte die Basis für den Test auf das Vorhandensein differenzierbarer

Cluster. Nach Aggregation der Gesamtdaten über alle Versuchspersonen hinweg konnten diese clusteranalytisch getestet werden.

Die Clusteranalyse gruppiert und fasst Objekte in Bezug auf deren Ähnlichkeit der einbezogenen Merkmale zusammen (Vgl. Wottawa, 1980). Der Einfluss der Meldungsdarbietung in Kombination mit einem Ton wurde für die folgenden Berechnungsschritte ausgeschlossen. Lediglich Szenarien ohne Ton wurden berücksichtigt, denn akustische Warnhinweise können den Dringlichkeits- und damit auch den Relevanzcharakter einer Meldung manipulieren (Vgl. Burt, Bartolome, Burdette & Comstock, 1995; Marshall, Lee & Austria, 2001; Gonzalez, Lewis, Roberts, Pratt & Baldwin, 2012). Geiser (1984) empfiehlt beispielsweise eine Darbietung von Meldungen mit und ohne Ton in Abhängigkeit von deren Auftretenshäufigkeit im Fahrzeug. Angewendet wurde die hierarchisch agglomerative Ward-Methode, da sie für Ähnlichkeitsmaße die besten Resultate liefert (Vgl. Milligan, 1981). Der quadrierte Euklidische Abstand diente als Distanzbeziehungswise als Ähnlichkeitsmaß. Die Festlegung eines geeigneten Wertes zur Beschreibung der optimalen Clusteranzahl erfolgte anhand des Elbow-Kriteriums oder eines Dendrogramms (Vgl. Bühl, 2010). Anhand der Minimum-Varianz-Methode, unter Berücksichtigung der kleinsten Fehlerquadratsummenzuwächse, ergibt sich eine optimale Clusteranzahl von drei (Vgl. Bortz & Schuster, 2010). Die deskriptive Charakteristik der drei gefundenen Cluster ist im Anhang nachzulesen (s. *Anhang B.2.4*).

Eine nachfolgende Varianzanalyse für unabhängige Stichproben konnte sowohl für die Kategorie „Relevanz“ ($F_{(0,01;2;27)} = 94.729, p < .001$) als auch für die Kategorie „Verzichtbarkeit“ ($F_{(0,01;2;27)} = 89.641, p < .001$) signifikante Unterschiede nachweisen. Alle Bonferroni-korrigierten Einzelvergleiche waren hochsignifikant und bestätigen somit die hierarchische Struktur der drei berechneten Cluster (s. *Anhang B.2.5*). In der nachfolgenden Abbildung ist der Zusammenhang zwischen den beiden Kriterien „Verzichtbarkeit“ und „Relevanz“ über die 30 bewerteten Szenarien hinweg grafisch veranschaulicht:

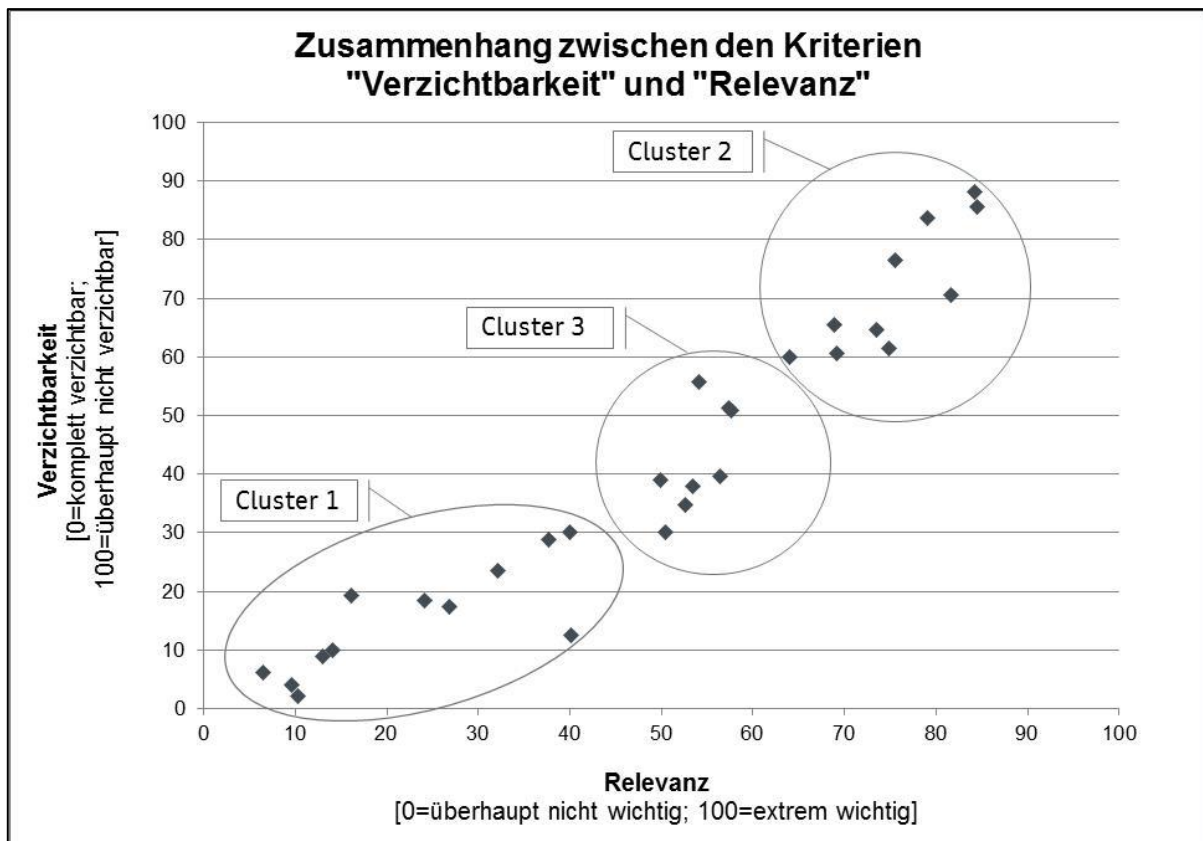


Abbildung 11: Darstellung des Zusammenhangs zwischen den subjektiv bewerteten Kriterien „Verzichtbarkeit“ und „Relevanz“ inklusive der drei berechneten Cluster für $n = 30$.

Die Abbildung veranschaulicht zudem die Verortung der drei berechneten Cluster. Der Hypothese 2 kann insofern zugestimmt werden, als dass sich drei Cluster anhand der beiden Kriterien „Verzichtbarkeit“ und „Relevanz“ ausmachen lassen. Diese drei Cluster entsprechen inhaltlich jedoch nicht den theoretisch angenommenen Kategorien (Sicherheit, Umwelt, Fahrzeugstatus, Navigation, Onlinedienste) (Zusammensetzung der drei Cluster s. *Anhang B.2.5*).

H3: Es kann eine Aussage über die akzeptierte Mindestgüte von Meldungen bei unscharfer Datenlage getroffen werden.

Bezogen auf diese Hypothese werden die deskriptiven Statistiken zum abgefragten Item „Mindestgüte“ ausgewertet. Das Mittel der gewünschten Eintretenswahrscheinlichkeit für alle Experten ($n=8$) über alle Szenarien hinweg ($n=60$) liegt bei 82.32 % ($SD_{\text{Mindestgüte}} = 19.34$ %; $R_{\text{Mindestgüte}} [x_{\min} = 5.00$ %, $x_{\max} = 100.00$ %]; $Mdn_{\text{Mindestgüte}} = 89.0$ %.). Der Median wird als ausschlaggebendes Maß, aufgrund seiner Unempfindlichkeit gegenüber Ausreißern (Vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 28), herangezogen. Anhand der deskriptiven Statistik kann das Minimum für die Mindestgüte auf einen Wert von größer gleich 89 % festgelegt werden.

4.2.2.4 Diskussion

Die Expertenbefragung diente vor allem der subjektiven Bewertung und Beurteilung von verschiedenen fahrrelevanten Meldungsinhalten. Wie folgt lassen sich die Kernergebnisse zusammenfassen: Die Fahrer unterscheiden zunächst nicht nach den explizit angenommenen Kategorien von Meldungen (Sicherheit, Umwelt, Fahrzeugstatus, Navigation, Onlinedienste). Teil 1 der Befragung konnte bestätigen, dass nur zwei der insgesamt fünf Kategorien repliziert werden können. Das heißt, die Fahrer sortieren vor allem Meldungen aus den angenommenen Clustern „Umwelt“, „Navigation“ und „Onlinedienste“ nach einem anderen Schema. Die theoretische Einteilung der Cluster ist explizit nicht validierbar. Somit können die angenommenen Kategorien, welche sich an der Menüstruktur im Fahrzeug orientierten, nicht für die Priorisierung von Meldungen im Fahrzeug herangezogen werden. Vielmehr müssen neue Kategorien abgeleitet werden.

Des Weiteren konnte aufgezeigt werden, dass das mentale Modell des Fahrers offensichtlich auch nicht nach den hypothetisch angenommenen Clustern differenziert. Dem Fahrer ist bei der Darbietung zunächst nicht wichtig, aus welchem Kontext die entsprechende Meldung stammt. Das heißt, dass die theoretischen Cluster keine Aussage darüber zulassen, wie wichtig eine Meldung zu einem bestimmten Zeitpunkt ist. Vielmehr gelten die Bewertungskriterien „Verzichtbarkeit“ und „Relevanz“ als ausschlaggebende Dimensionen bei der Priorisierung von Meldungen im Fahrzeug. Diese Erkenntnis entspricht den Empfehlungen von Campbell et al. (2007). Die Herangehensweise bei der Priorisierung von Warnungen im Fahrzeug kann damit auf Informationsmeldungen übertragen werden. Bei der Entscheidung, ob eine fahrrelevante informative Meldung in einer bestimmten Fahrsituation angezeigt werden soll, empfiehlt sich die Einteilung in drei verschiedene Cluster, welche in Abhängigkeit von der subjektiven „Relevanz“ und „Verzichtbarkeit“ berechnet wurden. Alle drei Cluster unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Mittelwerte von „Verzichtbarkeit“ und „Relevanz“. Dabei hat offensichtlich die „Bedrohlichkeit“ der durch die Meldung angekündigten Situation einen Einfluss. Je bedrohlicher der Meldungsinhalt vom Fahrer interpretiert wird, desto weniger verzichtbar und desto relevanter wird die Darbietung dieser Meldung eingestuft. Als Raster zur Beurteilung und Einstufung neuer Meldungsinhalte im Fahrzeug können die berechneten Cluster dienen. Die konkrete Bedeutung der drei Cluster für den Umgang mit verschiedenen fahrrelevanten Meldungen im Kontext des zu entwickelnden Workloadmanagements wird im folgenden Kapitel (4.2.3) ausführlich analysiert.

Schließlich wurde das Kriterium „Mindestgüte“ auf seine subjektive Beurteilung hin untersucht. Mit dem Ziel, eine Güte zu definieren, ab welcher es überhaupt gewünscht ist, eine Meldung im Fahrzeug zu erhalten, wurden die Experten zu jedem der 60 Szenarien nach einer favorisierten minimalen Eintretenswahrscheinlichkeit befragt. Die Beurteilung des Kriteriums ergab, dass sich der Fahrer im Allgemeinen eine sehr hohe Mindestgüte bei den dargebotenen

Meldungen im Fahrzeug wünscht. Im Umkehrschluss werden Falschmeldungen oder Fehlalarme eher weniger akzeptiert. Die Ergebnisse lassen die Definition einer Grenze für die Mindestgüte zu – diese liegt bei einer 89 %igen Eintretenswahrscheinlichkeit. Wenn bestimmte Ereignisse nur unpräzise vorhergesagt werden können, so möchte der Fahrer nicht darüber informiert werden. Eine Möglichkeit um Ärger seitens des Fahrers zu verhindern, ist die unspezifische Darbietung von Informationen. Meldungen können in diesem Fall weiter gefasst formuliert werden, um eine Identifikation als „Falschmeldung“ durch den Fahrer zu unterbinden.

Das Ziel der Studie war die Untersuchung mentaler Vorstellungen der Fahrer zu bestimmten Meldungsinhalten. Obgleich die Stichprobe aufgrund ihrer Zusammensetzung aus Experten klein war, liefert die große Anzahl der gewonnenen Datenpunkte belastbare Ergebnisse. Im folgenden Kapitel werden diese und die der Realfahrtstudie noch einmal unter dem Aspekt der Bedeutung für das ganzheitliche Workloadmanagement-Konzept zusammengefasst.

4.2.3 Bedeutung für das ganzheitliche Workloadmanagement-Konzept

Die beiden beschriebenen Studien liefern wesentliche Erkenntnisse für das zu entwickelnde Workloadmanagement-Konzept. Mit dem Fokus auf einen nutzertransparenten, nachvollziehbaren und erwartungskonformen Ansatz werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

Die Realfahrtstudie konnte zeigen, dass der Fahrer zwischen unterschiedlichen Phasen bei der Überquerung einer Kreuzung differenziert. Die Eignung des angenommenen Phasenkonzeptes (Vgl. Kapitel 3.2) kann anhand der Studienergebnisse bestätigt werden. Dabei ließen sich drei verschiedene Niveaus von Beanspruchung eruieren: Am wenigsten beanspruchend wurden die Phasen 1, 2 und 6 bewertet. Diese unterschieden sich in ihrem Beanspruchungsniveau signifikant von den Phasen 3, 4 und 5. Wobei die Phase 4 wiederum als die am stärksten beanspruchende Phase interpretiert werden kann, indem sie sich signifikant von den anderen Phasen unterscheidet. Eine derartige Klassifikation von Beanspruchungsniveaus, in Bezug auf einzelne Abschnitte bei der Überquerung einer Vorfahrt-Gewähren geregelten T-Kreuzung, lässt schließlich eine Empfehlung für die Informationsdarbietung zu:

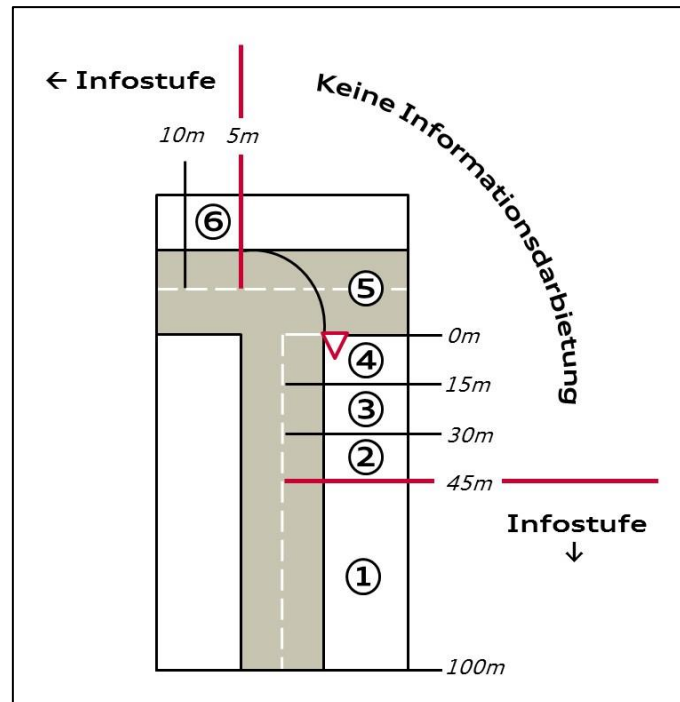


Abbildung 12: Empfehlung für die Informationsdarbietung bei der Überquerung der Kreuzung am Beispiel des Linksabbiegens (Vgl. Köhler et al., 2013).

In der Abbildung ist das empfohlene Informationskonzept anhand zwei entscheidender Stufen dargestellt: der *Infostufe* und der Stufe *Keine Informationsdarbietung*. Befindet sich der Fahrer in der Infostufe, so würde das Informationskonzept die ungehinderte Darbietung fahrrelevanter Meldungen zulassen. In der Stufe *Keine Informationsdarbietung* werden sämtliche informative Meldungen (Vgl. Kapitel 2.3.1) unterdrückt, beziehungsweise so lange verzögert, bis sich der Fahrer wieder in der Infostufe befindet. Das zugrunde gelegte Konzept sieht in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung eine *temporäre Verzögerung* (Vgl. Verwey, 1993) eingehender Meldungen vor, wobei die Quantität und die Qualität der jeweiligen Meldung unverändert bleiben.

Obwohl die Phase 2 dem gleichen Beanspruchungsniveau wie die Phasen 1 und 6 zugeschrieben wird, wird auch hier bereits das Konzept der temporären Verzögerung aktiv. Hintergrund sind die kurzen zeitlichen Sequenzen, welche die einzelnen Phasen charakterisieren. Schon bei einer Fahrgeschwindigkeit von 30km/h legt der Fahrer die Strecke von Phase 2 (15m) innerhalb von circa 1,8sec zurück. Da die Darbietungsdauer einer Meldung im Fahrzeug im Schnitt bei 3sec liegt, würde eine in Phase 2 eingehende Meldung auch noch in Phase 3 angezeigt werden. Um jedoch auszuschließen, dass in Phase 3 eine Meldung im Kombiinstrument dargeboten wird, werden eingehende Informationen bereits ab Phase 2 unterdrückt. Anders verhält es sich mit bereits vorhandenen Meldungen (welche in Phase 1 eingegangen sind), deren Anzeigedauer bis in Phase 2 reicht – diese würde, sofern es die Mindestanzeigedauer von 3sec erfordert, auch in Phase 2 weiterhin angezeigt werden.

Grundlegend kann zusammengefasst werden, dass die geometrische Einteilung der Phasen bei der Kreuzungsüberquerung und deren Beanspruchungsschätzung schließlich eine Empfehlung für die Darbietung und Verzögerung von Informationen im Fahrzeug zulässt. Die Studienergebnisse bestätigen, dass die Probanden keine feinere Differenzierung wünschen, vielmehr reicht die Unterscheidung zwischen „Darbieten“ (in den Phasen 1 und 6) und „Unterdrücken/Verzögern“ (in den Phasen 2, 3, 4 und 5) vollkommen aus. In komplexen Fahrsituationen – in diesem Fall das Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung – werden Meldungen in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung zeitlich so lange verzögert, bis das entsprechende Manöver als abgeschlossen gilt. Als statisches Konzept ist eine Übertragung auf weitere beanspruchende Fahrsituationen denkbar. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Anmerkung, dass sich das beschriebene Konzept ausschließlich auf informative Meldungen im Fahrzeug (Vgl. Kapitel 3.2.1) bezieht – Warnungen werden nicht berücksichtigt. Vielmehr werden diese, unabhängig von der Fahrerbeanspruchung, aufgrund ihrer hohen Kritikalität zu jedem Zeitpunkt dargeboten. Der deterministische Ansatz, bei welchem das Workloadmanagement präventiv regelt scheint zielführend.

Um einen ganzheitlichen Konzeptentwurf abzuleiten, muss in einem zweiten Schritt die Frage nach dem Umgang mit den vorhandenen Meldungen geklärt werden. Das Informationskonzept charakterisiert zunächst die möglichen Zeitpunkte einer Informationsdarbietung im Fahrzeug. Die Ergebnisse der Expertenbefragung lassen schließlich Aussagen zu konkreten Meldungsinhalten zu. Auf die Frage, wie die mentalen Modelle des Fahrers bezogen auf spezifische Informationen aussehen, konnte eine aussagekräftige Antwort gefunden werden. Die Fahrer unterscheiden offensichtlich nicht nach der Herkunft der Meldung aus der entsprechenden Menüstruktur im Fahrzeug. Vielmehr sind die Kriterien Verzichtbarkeit und Relevanz ausschlaggebend für den Wunsch nach Darbietung und für die Priorisierung. Die drei evaluierten Cluster lassen sich trefflich in Anlehnung an Raby & Wickens (1990) nach ihrer subjektiven Dringlichkeit unterscheiden:

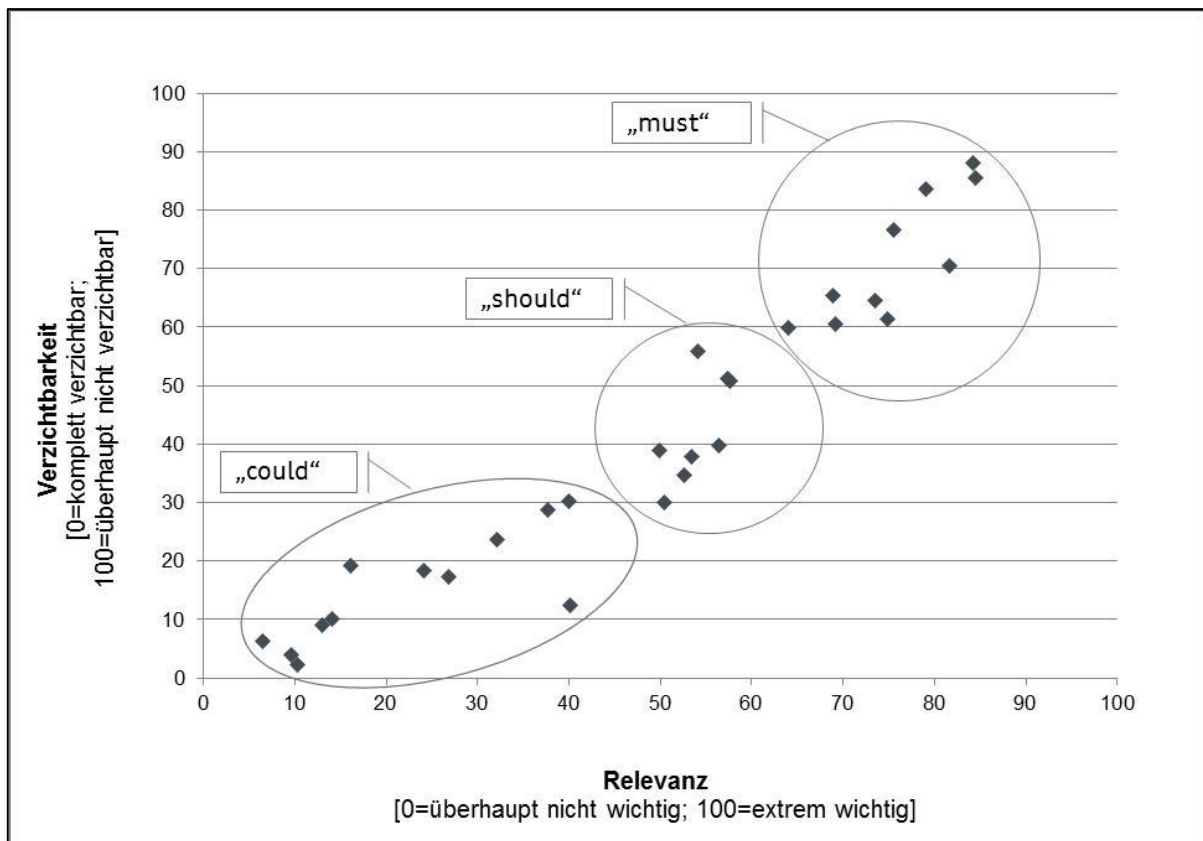


Abbildung 13: Bezeichnung der drei evaluierten Cluster in Anlehnung an Raby & Wickens (1990) (Vgl. Köhler et al., 2015).

Die *must*-Kategorie wird dabei durch eine hohe Relevanz ($M_{\text{Relevanz}_{\text{must}}} = 75.54$) und nahezu vollkommene Unverzichtbarkeit ($M_{\text{Verzichtbarkeit}_{\text{must}}} = 71.84$) charakterisiert. Hierunter fallen vor allem Meldungen mit Inhalten, die einen großen Einfluss auf das zukünftige Fahrverhalten haben (beispielsweise die Information über einen Motorschaden, ein Einsatzfahrzeug oder Querverkehr). Das Cluster *should* ist moderat relevant ($M_{\text{Relevanz}_{\text{should}}} = 54.00$) und moderat verzichtbar ($M_{\text{Verzichtbarkeit}_{\text{should}}} = 42.58$). Der Fahrer versteht hierunter Meldungsinhalte, welche zwar wichtig, aber zeitlich etwas flexibler darbietbar als *must*-Meldungen sind (beispielsweise die Information über Glätte, eine Umleitung oder eine Baustelle). Das dritte Cluster, welches mit *could* überschrieben wird, zeichnet sich durch eine sehr niedrige Relevanz ($M_{\text{Relevanz}_{\text{could}}} = 22.55$) und als übermäßig verzichtbar ($M_{\text{Verzichtbarkeit}_{\text{could}}} = 15.30$) aus. Dazu zählen eher unwichtige Informationen, auf welche der Fahrer zugunsten von anderen Meldungen jederzeit verzichten kann (beispielsweise die Information über freie Parkplätze, das Wetter oder Geschwindigkeitsbegrenzungen). Die Unterscheidung zwischen der spezifischen Umgebung (innerstädtische Kreuzung vs. Schnellstraße außer Orts) bestätigt den Einfluss der *Bedrohlichkeit des Meldungsinhaltes*. Während auf einer Landstraße Geisterfahrer als besonders bedrohlich wahrgenommen werden, gilt die Information über vorhandenen Querverkehr oder ein nahendes Einsatzfahrzeug in der Stadt als gefahrvoller. Innerorts gibt

es weniger räumlichen Handlungsspielraum, außer Orts gib es weniger Möglichkeiten aufgrund eines Motorschadens anzuhalten, einen Ölwechsel durchzuführen oder zu tanken. Die Dreiteilung erlaubt schließlich die Priorisierung von Meldungen, wenn diese beispielsweise zuvor verzögert wurden. Auch beim gleichzeitigen Eingang konkurrierender Informationen ist es anhand der Kategorien must, should und could möglich, eine entsprechend vom Fahrer gewünschte Reihenfolge ihrer Präsentation vorherzusagen.

Bezogen auf Car-2-X Inhalte ist die Erkenntnis über eine vom Fahrer gewünschte Mindestgüte von großer Bedeutung. Die Definition einer Grenze, unterhalb derer Meldungen nicht erwünscht sind, ist erfolgt und liefert eine wesentliche Basis zur Entscheidung über die Darbietung einer Meldung im Fahrzeug.

Nachdem das Konzept ganzheitlich definiert wurde, folgt schließlich die Etappe der Evaluation. Der ausformulierte Workloadmanagement-Ansatz wird zunächst in einen statischen Fahrsimulator implementiert, bevor abschließend die Evaluierung im realen Feld anhand eines Versuchsträgers stattfindet. Nachfolgend wird zunächst die Etappe der Konzeptevaluierung in der Simulationsumgebung beschrieben.

4.3 Konzeptevaluierung in der Simulationsumgebung

Die Evaluierung des erarbeiteten Konzeptes im Simulator ist ein weiterer wesentlicher Bestandteil der vorliegenden Arbeit. Der vorhandene Ansatz liefert sowohl eine Aussage über den situationsspezifischen Umgang mit als auch über die präferierten Inhalte von fahrrelevanten Meldungen. Ziel der Evaluation ist es, die beschriebene Informationsstrategie hinsichtlich des subjektiven Empfindens des Fahrers, seiner Fahrperformanz, seines Blickverhaltens, seiner empfundenen Beanspruchung und seiner Akzeptanz zu analysieren: Wie gut kann der Fahrer durch die Informationsstrategie entlastet werden? Macht sich diese Entlastung auch in seinem Fahrverhalten bemerkbar? Wie wird das Konzept der Informationsverzögerung akzeptiert? Wie hoch ist die Akzeptanz in Abhängigkeit vom Meldungsinhalt (must, should, could)? Vor allem auch vor dem Hintergrund der wahrgenommenen Sicherheit wird speziell eine kritische Abbiege-Situation in der Simulationsumgebung erzeugt, welche die genannten Fragen beantworten kann. Die erste Etappe der Evaluierung lieferte Beweise dafür, wie gut die entwickelte Informationsstrategie des ganzheitlichen Workloadmanagement-Konzeptes geeignet ist. Der adaptive Ansatz wurde dabei zunächst für die als beanspruchend klassifizierte Situation Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung evaluiert. Dabei wurde die geometrische Phaseneinteilung der Kreuzung zugrunde gelegt und das Konzept der Informationsverzögerung auf seine Eignung getestet. Außerdem wurden verschiedene Meldungsinhalte abgeprüft, um die Clusterbildung aus der Expertenbefragung zu belegen.

Die Ergebnisse der Studie lieferten eine wesentliche Aussage über die Eignung des entwickelten Workloadmanagement-Konzeptes. Basierend darauf konnte in einer letzten Etappe schließlich die Evaluierung in der Realfahrt stattfinden. Diese diente vor allem dazu, die Erkenntnisse im realen Feld zu bestätigen und den beschriebenen Konzeptentwurf zu erweitern beziehungsweise übertragbar zu machen.

4.3.1 Fahrstudie im Simulator – Informationskonzepte

Die konzipierte Fahrstudie hatte zum Ziel, das entwickelte adaptive Konzept zum Umgang mit Informationen in beanspruchenden Fahrsituationen auf seine Eignung hin zu überprüfen. Die globale Fragestellung lautete deshalb: Ist die entwickelte Informationsstrategie geeignet? Es wurden einerseits ein Bezug zur Klassifikation beanspruchender Fahrsituationen (Vgl. Kapitel 4.2.1) und andererseits ein Bezug zur Klassifikation von fahrrelevanten Meldungen (Vgl. Kapitel 4.2.2) hergestellt. Im Vordergrund stand das Manöver Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung. Da vor allem das Linksabbiegen als stark beanspruchendes Szenario gilt, wurde dieses exemplarisch getestet.

Mit dem Hauptziel der Arbeit, eine optimale und bedarfsgerechte Informationsstrategie für beanspruchende Fahrsituationen zu entwickeln, liefert die Studie einen ersten Nachweis dafür, dass eingehende Meldungen in der Kreuzung (speziell in den Phasen 2, 3, 4 und 5) unterdrückt werden sollen, um den zusätzlichen Workload des Fahrers, begründet durch seine tertiäre Fahraufgabe, möglichst zu minimieren. Es wird davon ausgegangen, dass eine entsprechende Informationsstrategie, welche diesen Zusammenhang berücksichtigt, die Sicherheit und den Fahrkomfort erhöhen sowie die empfundene Beanspruchung und das Nervpotential senken kann. Zudem wird die Konsequenz des Verzögerns von Meldungen abgeprüft – der sogenannte *Meldungsstau*. Dieser beschreibt das Aufschieben mehrerer Meldungen auf Phase 6, welche dem Fahrer schließlich als Häufung dargeboten werden. Neben einer Baseline und dem angenommenen *Worst-Case-Szenario* (basierend auf den Annahmen der Wahrnehmungstheorie, Vgl. Kapitel 2.1) wird das entwickelte Konzept mit der temporären Unterdrückung von Meldungen abgeprüft. Teile der vorgestellten Evaluierungsstudie wurden bereits in der Masterarbeit von Nadja Blanke diskutiert.

4.3.1.1 Fragestellung

Um die Eignung des entwickelten Informationskonzeptes zu überprüfen, müssen ein sogenanntes Worst-Case-Szenario und eine Baseline generiert werden. Ersteres beschreibt dabei die Darbietung der Meldung in der Phase, in der die Beanspruchung durch die Fahrsituation bereits ihr höchstes Level erreicht hat - im Falle der Kreuzungsüberquerung entspricht das Phase 4 (beginnend 15m vor der Haltelinie und endend mit der Haltelinie an

der Kreuzung). Eine Baseline soll den Vergleich zu einer Fahrt über die Kreuzung gänzlich ohne eingehende fahrrelevante Meldungen darstellen. Fragen, die anhand dessen beantwortet werden können, sind: Welchen Einfluss hat die Berücksichtigung von stark beanspruchenden Fahrsituationen bei der Informationsdarbietung sowohl auf das subjektive Empfinden als auch auf objektive Fahrparameter und das Blickverhalten? Wird das Verzögern von Meldungen unterschiedlich stark „bedrohlicher“ Inhalte (Vgl. Kapitel 4.2.3) und der dadurch entstehende Meldungsstau vom Fahrer akzeptiert? Um diese Fragen umfassend beantworten zu können, müssen drei Informationskonzepte voneinander differenziert werden:

Konzept 1 – ohne Berücksichtigung der Fahrerbeanspruchung, entspricht dem Worst-Case-Szenario mit einer Darbietung der fahrrelevanten Meldung in Phase 4;

Konzept 2 – mit Berücksichtigung der Fahrerbeanspruchung, entspricht der Unterdrückung von Meldungen auf der Kreuzung und einem in Phase 6 entstehenden Meldungsstau;

Konzept 3 – Baseline, unabhängig von der Fahrerbeanspruchung werden zu keiner Zeit Meldungen im Fahrzeug dargeboten.

Zusammenfassend lassen sich die Forschungsfragen in fünf Hypothesen formulieren, welche sich auf die drei genannten Konzepte beziehen:

H1: Konzept 2 wird unabhängig vom Meldungsinhalt subjektiv besser bewertet im Vergleich zu Konzept 1.

H2: Konzept 2 wird hinsichtlich der subjektiven Items „Hilfestellung“, „Zusatzbelastung“, „Zeitpunkt“, „Unfallrisiko“ und „Konzentration“ besser bewertet im Vergleich zu Konzept 1.

H3: Die Akzeptanz gegenüber Konzept 2 ist höher als die Akzeptanz gegenüber Konzept 1.

H4: Die objektiven Fahrparameter unterscheiden sich hinsichtlich der Konzepte 1 und 2.

H5: In Phase 4 wird durch Konzept 1 eine zusätzliche Blickabwendung des Fahrers auf das Kombiinstrument verursacht, welche bei Konzept 2 vermieden werden kann.

Alle fünf Hypothesen lassen sich anhand der angewandten Methodik statistisch überprüfen. Wie die genaue Umsetzung gestaltet war, wird im Folgenden dargestellt.

4.3.1.2 Methode

In der Simulationsumgebung wurde ein entsprechendes Szenario generiert, welches die Überprüfung der Hypothesen zulässt. Ziel ist die subjektive und die objektive Eignung der entwickelten Informationsstrategie mit Berücksichtigung der Fahrerbeanspruchung (Konzept 2) nachzuweisen.

Stichprobe

Alle Studienteilnehmer wurden über einen Expertenpool der AUDI AG rekrutiert. Die Stichprobe von $N = 64$ setzt sich dabei aus 52 männlichen (81.3 %) und 12 weiblichen (18.8 %) Teilnehmern zusammen. Die Probanden waren im Durchschnitt 30.72 Jahre alt ($SD_{\text{Alter}} = 6.14$ Jahre; $R_{\text{Alter}} [x_{\text{min}} = 22 \text{ Jahre}, x_{\text{max}} = 46 \text{ Jahre}]$) und besaßen ihren Führerschein zum Zeitpunkt der Durchführung im Mittel seit 12.64 Jahren ($SD_{\text{Führerscheinbesitz}} = 6.04$ Jahre). Die Stichprobe zeichnet sich durch eine hohe mittlere jährliche Fahrleistung aus – 40.6 % der Probanden gaben an, jährlich zwischen 10.000km bis 20.000km mit ihrem Fahrzeug zurückzulegen, und 31.3 % legen jährlich sogar zwischen 20.000km bis 40.000km zurück. Dabei wird das eigene Fahrzeug von 42 Teilnehmern (53.2 %) nahezu täglich (5-7 Tage pro Woche) genutzt. Privat werden am häufigsten Fahrzeuge der Marken Audi (38.0 %) und Volkswagen (16.5 %) gefahren. Die privat gefahrenen Fahrzeuge sind dabei zu 92.2 % mit Infotainment ausgestattet und 62.5 % der Fahrer gaben an, diese Funktionalitäten bei 100 % ihrer Fahrten auch zu nutzen. Der Dienst „Audi connect“, welcher onlinebasierte Informationen im Fahrzeug ermöglicht (Vgl. AUDI AG online: Audi connect), ist über dreiviertel (76.6 %) der Studienteilnehmer bekannt, wird allerdings aufgrund der geringen Verfügbarkeit nur in den seltensten Fällen tatsächlich genutzt – 78.1 % der Probanden nutzen diesen Dienst nie. 25 Teilnehmer trugen während ihrer Teilnahme an der Studie eine Sehhilfe. Bei einigen Berechnungen wird eine kleinere Stichprobengröße zugrunde gelegt, dies lässt sich anhand fehlender Werte für die entsprechenden Probanden aufgrund technischer Probleme erklären.

Versuchsdesign und abhängige Variablen

Wie bereits eingangs beschrieben, wurden insgesamt drei verschiedene Informationskonzepte miteinander verglichen. Diese drei Konzepte beziehen sich ausschließlich auf das beanspruchende Manöver Linksabbiegen an einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung und sind in der nachfolgenden Grafik noch einmal schematisch veranschaulicht:

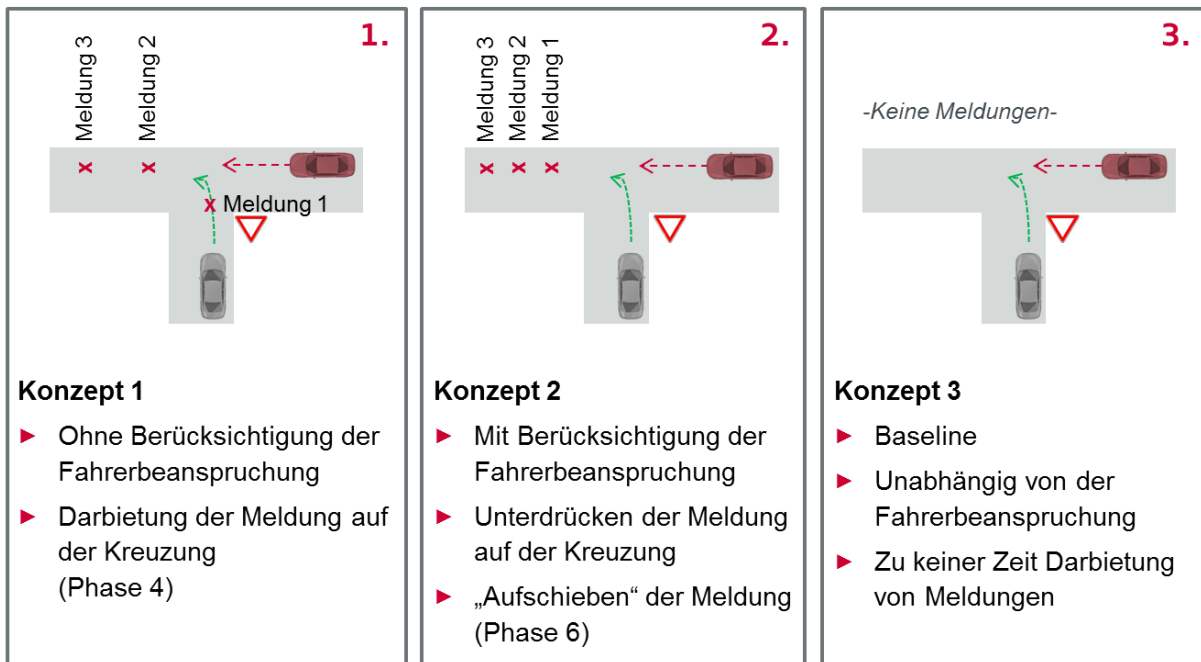


Abbildung 14: Grafische Darstellung der drei in der Simulationsumgebung umgesetzten Informationskonzepte mit dem Ego-Fahrzeug (in Grau) und kritischem Querverkehr (in Rot).

Das Ego-Fahrzeug ist in Grau dargestellt, während es bei jedem Abbiegevorgang einen kritischen Querverkehr (in Rot dargestellt) zu beachten galt. Dabei stellt Konzept 2 die, aus der Konzeptentwicklungsphase hervorgegangene, optimierte Informationsstrategie dar – die Fahrerbeanspruchung wird insofern berücksichtigt, als dass eine Informationsdarbietung während den beanspruchenden Phasen bei der Kreuzungsüberquerung unterbunden wird. Eingehende Meldungen während der Phasen 2, 3, 4 und 5 werden temporär unterdrückt und verzögert, jedoch mit unveränderter Qualität und Quantität in Phase 6 dargestellt. Um möglichst eine neutrale Bewertung des entwickelten Konzeptes zu gewährleisten, wurde gleichzeitig ein möglicher negativer Effekt in Form eines Meldungsstaus in Phase 6 implementiert.

Des Weiteren wurden verschiedene Meldungsinhalte abgeprüft. Dabei wurden die Relevanz und die Verzichtbarkeit der Meldung 1 variiert, um so die beiden Cluster must und could abzubilden. Zur erfolgreichen Erfüllung der Fahraufgabe im Versuch gehörte neben einem kollisionsfreien Abbiegevorgang zusätzlich das möglichst schnelle Auffinden eines bestimmten Gebäudes am Fahrbahnrand nach der Kreuzung. In Szenarien, in denen die must-Meldung dargeboten wurde, wurde der Proband beim Auffinden des Gebäudes begünstigt – der Inhalt der Meldung war ein entsprechender Hinweis darauf, wo sich das gesuchte Objekt befindet. In Szenarien, in denen die could-Meldung dargeboten wurde, erhielt der Proband keinen Vorteil – der Inhalt der Meldung war eine Schlagzeile (grafische Veranschaulichung der dargebotenen Meldungen im Kombiinstrument s. *Anhang C.2.2*).

Ein zusammenfassender Überblick über die Permutation der genannten Bedingungen für die vier Versuchsgruppen ist nachfolgend dargestellt:

Versuchsgruppe	Kreuzung 1	Kreuzung 2	Kreuzung 3	Kreuzung 4	Kreuzung 5
1	Konzept 1 & could	Konzept 2 & must	Baseline	Konzept 1 & must	Konzept 2 & could
2	Konzept 1 & must	Konzept 2 & could	Baseline	Konzept 2 & could	Konzept 1 & must
3	Konzept 2 & could	Konzept 1 & must	Baseline	Konzept 2 & must	Konzept 1 & could
4	Konzept 2 & must	Konzept 1 & could	Baseline	Konzept 1 & could	Konzept 2 & must

Abbildung 15: Schematische Übersicht über die vier Versuchsgruppen und deren Bedingungen innerhalb der fünf überquerten Kreuzungen hinsichtlich Informationskonzept (Konzept 1 vs. Konzept 2) und Meldungsinhalt (must vs. could).

Jeder Proband hat insgesamt fünf verschiedene Kreuzungen erlebt. Die Variablen „Informationskonzept“ (Konzept 1 vs. Konzept 2) und „Meldungsinhalt“ (must vs. could) wurden dabei über vier Kreuzungen variiert und miteinander gekreuzt, woraus sich ein 2x2 within-subjects Design ergab (grafische Veranschaulichung des Versuchsdesigns s. *Anhang C.2.1*). Konzept 3 wurde als Baseline behandelt und von jedem Probanden zusätzlich auf einer Kreuzung erlebt. Zu jeder der erlebten fünf Kreuzungsüberquerungen wurde ein Fragebogen beantwortet. Dieser beinhaltet unter anderem die standardisierte Akzeptanzskala von van der Laan, Heino & De Waard (1997) in seiner deutschen Übersetzung (Vgl. Kondzior, 2007; Marberger & Kondzior, 2007). Ein Abdruck des angewendeten Fragebogens in Ausschnitten findet sich im Anhang (*Anhang C.1.1 bis C.1.7*).

Testumgebung und Versuchsaufbau

Die Erhebung wurde im Fahrsimulator der AUDI AG in Ingolstadt durchgeführt. Die Basis des Simulators bildet ein Audi A6 Mockup, in dem verschiedene Bedien- und Anzeigekonzepte realisiert werden können. Das Projektionssystem des Simulators ist wie in Abbildung 16 realisiert:

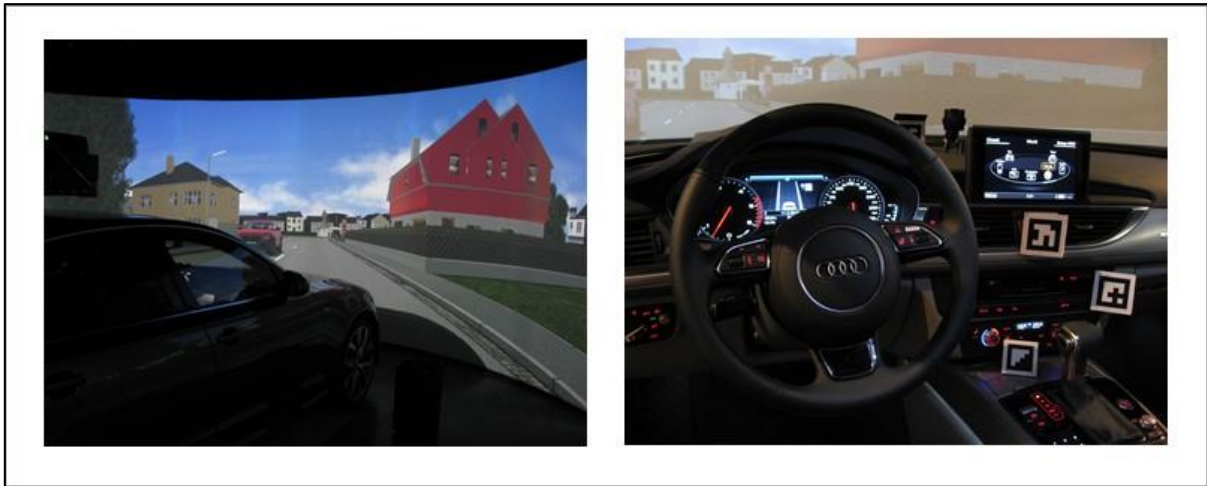


Abbildung 16: Aufbau des Fahrsimulators der AUDI AG mit Mockup, 240° Frontsicht und einer Rückprojektion für den Rückspiegel und die beiden Außenspiegel.

In den Versuchen können verschiedene Fahrdynamikwerte (Lenkwinkel, Bremspedalbetätigung, Geschwindigkeit etc.) sowie zeitsynchronisierte Blickdaten (anhand eines integrierten Dikablis Cable 2.5 Systems) aufgezeichnet werden. Die Simulation der Fahrscenerie wurde durch das Programm Virtual Test Drive der Firma VIRES realisiert. Während des gesamten Fahrversuchs wurden objektive Fahrparameter und Blickdaten aufgezeichnet sowie verschiedene Fragebögen von den Probanden beantwortet.

Alle Informationen wurden in Form von Meldungen im Kombiinstrument mit einer 3-sekündigen Anzeigedauer gepaart mit einem akustischen Signal (1800 Hz) während der Fahrt triggerbasiert dargeboten. Bei einem Meldungsstau wurde zwischen zwei Meldungen eine Pause von 0.2 sec berücksichtigt, bevor die darauffolgende Meldung präsentiert wurde. Die Inhalte von Meldung 2 und Meldung 3 sind ebenfalls im Anhang abgebildet (s. *Anhang C.2.3*).

Versuchsablauf

Um unvoreingenommene Probanden zu erhalten, wurden die Teilnehmer anhand einer Coverstory zum Versuch eingeladen. Der Vorwand war die Testung des neuen Audi A6 Mockup-Fahrzeuges im Simulator. Diese Coverstory wurde bis zum Ende des Versuches aufrecht erhalten. Nach einer Begrüßung der Probanden im Fahrimulator der AUD AG begann der Versuch zunächst mit einer Eingewöhnungsfahrt, gefolgt von einem demographischen Fragebogen. Die Eingewöhnungsfahrt sollte den Probanden einerseits ein Gefühl für die Simulationsumgebung und die Steuerung des Fahrzeuges vermitteln, andererseits konnte hierbei schon exemplarisch eine erste Kreuzungssituation und die 3-sekündige Darbietung einer Meldung im Kombiinstrument in Kombination mit einem Ton getestet werden. Anschließend wurde die Versuchsstrecke mit insgesamt fünf verschiedenen

Kreuzungen in einer Ortschaft, jeweils gefolgt von einer Überlandfahrt, abgefahren. Für jede Kreuzung erhielten die Probanden eine Suchaufgabe – sie sollten ein bestimmtes Gebäude hinter der Kreuzung auffinden. Nach der erlebten Kreuzung wurden die Probanden gebeten am rechten Fahrbahnrand zu halten und einen einseitigen Fragebogen auszufüllen. Für jede Überlandfahrt erhielten die Probanden eine Ablenkungsaufgabe (zum Beispiel: „Zählen Sie die Fußgänger auf dem Bürgersteig!“ oder „Nennen Sie verschiedene Lebensmittel, die mit dem Buchstaben A beginnen!“). Nach der fünften überquerten Kreuzung wurden die Probanden gebeten, am rechten Fahrbahnrand zu halten und einen Abschlussfragebogen zu beantworten.

4.3.1.3 Ergebnisse

Die Auswertung und Reihenfolge der Darstellung der Ergebnisse erfolgen in Analogie zu den definierten Hypothesen.

H1: Konzept 2 wird unabhängig vom Meldungsinhalt subjektiv besser bewertet im Vergleich zu Konzept 1.

Zunächst erfolgte die Überprüfung der Voraussetzung auf Normalverteilung der untersuchten Variablen anhand von Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests (s. *Anhang C.3.1*). Des Weiteren konnte zwar der Test auf Varianzgleichheit der abhängigen Variablen anhand des Box-M-Tests diese nicht bestätigen ($F(45, 138413) = 3.620, p = .000$). Allerdings gilt die multivariate Varianzanalyse als robust gegenüber den Voraussetzungsverletzungen (Vgl. Sedlmeier & Renkewitz, 2008) und wurde daher als Verfahren berechnet. Dabei wurden für die beiden Faktoren Meldungsinhalt und Informationsstrategie signifikante Haupteffekte bei jeweils allen fünf Items gefunden:

Tabelle 04: Ergebnisse der zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse für die Faktoren Meldungsinhalt (must vs. could) und Informationsstrategie (Konzept 1 vs. Konzept 2)

Faktor	Item	p-Wert	η^2_p
Meldungs- inhalt	Die Meldung war in diesem Moment hilfreich.	.000	.541
	Die Meldung war eine zusätzliche Belastung für mich.	.000	.276
	Der Zeitpunkt der Meldung war genau richtig.	.001	.045
	Durch die Darbietung der Meldung steigt das Unfallrisiko.	.000	.233
	Ich konnte mich jederzeit angemessen auf das Fahr- geschehen konzentrieren.	.000	.094
Informations- strategie	Die Meldung war in diesem Moment hilfreich.	.000	.110
	Die Meldung war eine zusätzliche Belastung für mich.	.005	.033
	Der Zeitpunkt der Meldung war genau richtig.	.016	.024
	Durch die Darbietung der Meldung steigt das Unfallrisiko.	.002	.041
	Ich konnte mich jederzeit angemessen auf das Fahr- geschehen konzentrieren.	.013	.026

Des Weiteren sollten Interaktionseffekte berücksichtigt werden. Ausschließlich für das Item „Hilfestellung“ ergab sich eine signifikante Interaktion ($F(3, 237) = 25.232, p < .000$). Das heißt, dass die Bewertung der Informationsstrategie für dieses Item vom Faktor Meldungsinhalt abhängig ist.

Tabelle 05: Ergebnisse der zweifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse für die Interaktion der Faktoren Meldungsinhalt (must vs. could) und Informationsstrategie (Konzept 1 vs. Konzept 2)

Item	p-Wert	η^2_p
Die Meldung war in diesem Moment hilfreich.	.000	.096
Die Meldung war eine zusätzliche Belastung für mich.	.313	.004
Der Zeitpunkt der Meldung war genau richtig.	.964	.000
Durch die Darbietung der Meldung steigt das Unfallrisiko.	.195	.007
Ich konnte mich jederzeit angemessen auf das Fahrgeschehen konzentrieren.	.654	.001

Die Informationsstrategie mit Konzept 2 wird vor allem dann als hilfreicher bewertet, wenn eine Meldung aus dem must-Cluster angezeigt wurde. Für die restlichen Items interagieren die beiden Faktoren nicht und weisen nur geringe Effektstärken auf.

H2: Konzept 2 wird hinsichtlich der subjektiven Items „Hilfestellung“, „Zusatzbelastung“, „Zeitpunkt“, „Unfallrisiko“ und „Konzentration“ besser bewertet im Vergleich zu Konzept 1.

Um die beiden Informationskonzepte miteinander zu vergleichen, wurden t-Tests für abhängige Stichproben berechnet. Die Prüfung auf Normalverteilung lieferte zwar das Ergebnis, dass lediglich die Items „Zusatzbelastung“ und „Unfallrisiko“ normalverteilt sind (s. *Anhang C.3.2*), jedoch kann aufgrund der Robustheit gegenüber Voraussetzungsverletzungen eine Berechnung mit t-Tests durchgeführt werden (Vgl. Sedlmeier & Renkewitz, 2008).

Tabelle 06: t-Tests für verbundene Stichproben zum Vergleich der subjektiven Bewertung der Items in Abhängigkeit des Informationskonzeptes, AV: Items zur Bewertung der erlebten Meldung(en) („Hilfestellung“, „Zusatzbelastung“, „Zeitpunkt“, „Unfallrisiko“, „Konzentration“)

Gepaarte Stichproben		Gepaarte Differenz		df	t-Wert	p-Wert, zwei- seitig	d
		M	SE				
A	B						
Konzept 1 Hilfestellung	Konzept 2 Hilfestellung	-1.107	.359	121	-3.085	.003	-.482
Konzept 1 Zusatzbelastung	Konzept 2 Zusatzbelastung	.686	.287	120	2.386	.019	.349
Konzept 1 Zeitpunkt	Konzept 2 Zeitpunkt	-.605	.233	113	-2.598	.011	-.354
Konzept 1 Unfallrisiko	Konzept 2 Unfallrisiko	.631	.260	121	2.432	.016	.346
Konzept 1 Konzentration	Konzept 2 Konzentration	-.516	.233	121	-2.215	.029	-.308

Für alle berechneten Mittelwertvergleiche ergaben sich signifikante Ergebnisse (deskriptive Statistiken s. *Anhang C.3.3*). Im Detail bedeutet das, dass die Meldungen in Konzept 1 als weniger hilfreich und als eine größere Zusatzbelastung empfunden wurden. Das Unfallrisiko stieg und die Konzentration auf das Fahrgeschehen sank laut den subjektiven Bewertungen von Konzept 1 im Vergleich zu Konzept 2. Zudem wurde der Zeitpunkt der Meldung bei Konzept 2 besser empfunden. Ergänzend wurde der nonparametrische Wilcoxon-Test berechnet. Die Ergebnisse hierfür sind äquivalent zu den durchgeführten t-Tests – alle Bewertungen unterschieden sich hinsichtlich der Informationsstrategie signifikant voneinander (Hilfestellung: $z(123) = -3.237$, $p = .001$; Zusatzbelastung: $z(122) = -2.447$, $p = .014$; Zeitpunkt: $z(118) = -2.748$, $p = .006$; Unfallrisiko: $z(123) = -2.317$, $p = .021$; Konzentration: $z(123) = -2.195$, $p = .028$). Der Hypothese 2 kann zusammenfassend zugestimmt werden.

H3: Die Akzeptanz gegenüber Konzept 2 ist höher als die Akzeptanz gegenüber Konzept 1.

Die Akzeptanz gegenüber den beiden Konzepten wurde anhand der Akzeptanzskala von van der Laan, Heino & De Waard (1997) am Ende des Versuchsdurchlaufes abgefragt. Dabei wurde die Reihenfolge der Bewertung von Konzept 1 und Konzept 2 über die Probanden hinweg permutiert. Analog der Empfehlung wurden die beiden Subskalen *Nützlichkeit* und *Zufriedenheit* berechnet. Zunächst wurde anhand von t-Tests für unabhängige Stichproben überprüft, ob bei der Bewertung Reihenfolgeeffekte auftraten. Für Konzept 1 konnte dies negiert werden ($t_{\text{Nützlichkeit}}(62) = -1.338$, $p = .186$, zweiseitig; $t_{\text{Zufriedenheit}}(62) = .000$, $p = 1.000$, zweiseitig). Allerdings spielte bei der Bewertung von Konzept 2 die Reihenfolge eine Rolle ($t_{\text{Nützlichkeit}}(62) = 2.124$, $p = .038$, zweiseitig; $t_{\text{Zufriedenheit}}(62) = 2.119$, $p = .038$, zweiseitig). Wenn Konzept 2 nach Konzept 1 bewertet wurde, erreichten die Dimensionen Nützlichkeit und

Zufriedenheit höhere Werte. Schließlich wurden die beiden Konzepte hinsichtlich der beiden Dimensionen anhand von t-Tests für verbundene Stichproben miteinander verglichen. Die Voraussetzung auf Normalverteilung der Differenzwerte ist bei beiden Dimensionen gegeben (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: $Z_{\text{Nützlichkei}}(64) = 0.949$, $p = .329$; $Z_{\text{Zufriedenheit}}(64) = 0.852$, $p = .463$). Die t-Tests wurden für die beiden Dimensionen Nützlichkei ($t(63) = -12.411$, $p < .001$, zweiseitig, $d = -2.614$) und Zufriedenheit ($t(63) = -15.808$, $p < .001$, zweiseitig, $d = -2.965$) signifikant (deskriptive Statistiken s. *Anhang C.3.4*). Konzept 2 wird sowohl hinsichtlich der empfundenen Nützlichkei als auch hinsichtlich der empfundenen Zufriedenheit bedeutend höher eingeschätzt.

H4: Die objektiven Fahrparameter unterscheiden sich hinsichtlich den Konzepten 1 und 2.

Bezüglich der objektiven Fahrparameter wurden die Geschwindigkeit, der Lenkwinkel, das Bremsverhalten und die Distanz zum querenden Verkehr aufgezeichnet und ausgewertet. Diese Parameter wurden vor allem in Abhängigkeit der Phasen 4, 5 und 6 auf der Kreuzung betrachtet. In die Vergleiche wurde die Baseline (Konzept 3) mit aufgenommen. Für jeden Parameter wurde als vergleichender Test eine Varianzanalyse mit abhängigen Stichproben berechnet. Nachträglich untersuchte Einzelvergleiche erfolgten anhand der Bonferroni-Korrektur. Die für jede Versuchsperson aggregierten Daten wurden zunächst auf die Voraussetzungen von Varianzgleichheit und Normalverteilung geprüft (s. *Anhang C.3.5* und *Anhang C.3.6*).

Mittlere Geschwindigkeit in m/s – Die mittleren Geschwindigkeiten in m/s unterschieden sich für alle drei überprüften Phasen über die drei Bedingungen (Konzept 1, Konzept 2 und Konzept 3) hinweg signifikant voneinander: $F_{\text{Phase4}}(2, 63) = 3.284$, $p = .041$, $\eta^2_p = .050$; $F_{\text{Phase5}}(2, 63) = 3.206$, $p = .044$, $\eta^2_p = .048$; $F_{\text{Phase6}}(1.701, 63) = 14.716$, $p = .000$, $\eta^2_p = .189$ (deskriptive Statistiken s. *Anhang C.3.7*). Nach der Korrektur des α -Fehlers nach Bonferroni differenzierten sich lediglich in Phase 6 alle Bedingungen voneinander. Auffällig ist, dass sich alle Probanden mit sehr niedrigen Geschwindigkeiten an die Kreuzung annäherten (Phase 4).

Mittlerer Lenkwinkel in Grad - Die mittleren Lenkwinkel in Grad unterschieden sich nur für die Phasen 5 und 6 über die drei Bedingungen (Konzept 1, Konzept 2 und Konzept 3) hinweg signifikant voneinander: $F_{\text{Phase4}}(2, 63) = 1.259$, $p = .287$, $\eta^2_p = .020$; $F_{\text{Phase5}}(2, 63) = 7.701$, $p = .001$, $\eta^2_p = .109$; $F_{\text{Phase6}}(1.175, 63) = 54.041$, $p = .000$, $\eta^2_p = .462$ (deskriptive Statistiken s. *Anhang C.3.8*). In Phase 5 ergab der Post-Hoc Test, dass der signifikante Unterschied zwischen Konzept 1 und Konzept 3 lag. In Phase 6 unterschieden sich alle drei Konzepte hinsichtlich des Lenkwinkels signifikant voneinander (deskriptive Statistiken s. *Anhang C.3.8*).

Bremspedalbetätigung in Prozent – Für die Varianzanalyse hinsichtlich der Bremspedalbetätigung in Prozent konnten keine signifikanten Unterschiede in den drei Phasen zwischen den drei Konzepten gefunden werden: $F_{\text{Phase4}}(2, 63) = 2.396, p = .095, \eta^2_p = .037$; $F_{\text{Phase5}}(1.591, 63) = 0.527, p = .551, \eta^2_p = .008$; $F_{\text{Phase6}}(1.218, 63) = 3.179, p = .071, \eta^2_p = .048$ (deskriptive Statistiken s. *Anhang C.3.9*). Anschließend berechnete Einzelvergleiche durch Post-Hoc Tests mit Bonferroni-Korrektur ergaben weiterhin keine signifikanten Unterschiede für alle Phasen zwischen den drei Informationsstrategien.

Minimale Distanz zum querenden Fahrzeug in m – Insgesamt ließen sich vier Kollisionen (die Distanz zum querenden Fahrzeug nimmt einen negativen Wert an) beobachten. Diese lassen jedoch keine Rückschlüsse auf das Informationskonzept zu, da jeweils zwei Kollisionen mit Konzept 1 und Konzept 2 stattfanden. Die Varianzanalyse lieferte einen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen in allen drei betrachteten Phasen der Kreuzungsüberquerung: $F_{\text{Phase4}}(1.001, 63) = 17.948, p = .000, \eta^2_p = .222$; $F_{\text{Phase5}}(1.442, 63) = 14.456, p = .000, \eta^2_p = .187$; $F_{\text{Phase6}}(1.416, 63) = 6.449, p = .006, \eta^2_p = .093$ (deskriptive Statistiken s. *Anhang C. 3.10*). In der Baseline-Bedingung (Konzept 3) lassen sich für die Phasen 4 und 5 die größten Distanzen zum querenden Verkehr verzeichnen. Die Post-Hoc Tests lieferten entsprechend für die Vergleiche von Konzept 3 mit den Konzepten 1 und 2 signifikante Ergebnisse. Auch in Phase 6 ergab der Post-Hoc Test einen signifikanten Unterschied für die Vergleiche von Konzept 3 mit den Konzepten 1 und 2 – allerdings war dabei die Distanz zum querenden Fahrzeug in Phase 6 bei Konzept 3 am geringsten. Deskriptiv ergab sich für alle drei Phasen ein größerer Abstand unter der Bedingung Konzept 1 im Vergleich zu Konzept 2. Diese Unterschiede wurden jedoch nicht signifikant.

H5: In Phase 4 wird durch Konzept 1 eine zusätzliche Blickabwendung des Fahrers auf das Kombiinstrument verursacht, welche bei Konzept 2 vermieden werden kann.

Analog zu den Fahrparametern wurden auch die Blickdaten ausschließlich für die relevanten Phasen bei der Kreuzungsüberquerung – die Phasen 4, 5 und 6 – betrachtet und entsprechend ausgewertet. Alle Vergleiche wurden zunächst anhand des parametrischen Verfahrens der einfaktoriellen Varianzanalyse mit abhängigen Stichproben berechnet, der anschließende Post-Hoc Test wurde inklusive der Korrektur des α -Fehlers nach Bonferroni durchgeführt. Ob die entsprechenden Voraussetzungen erfüllt waren, ergab sich aus dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest (s. *Anhang C.3.11*) und dem Mauchly-Sphärizitätstest (s. *Anhang C.3.12*). Für den Vergleich der mittleren prozentualen Blicke ins Kombiinstrument anhand der Varianzanalyse konnte für alle drei beobachteten Phasen ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Konzepten ermittelt werden: $F_{\text{Phase4}}(1.137, 63) = 48.601,$

$p = .000$, $\eta^2_p = .435$; $F_{\text{Phase5}}(1.125, 63) = 90.853$, $p = .000$, $\eta^2_p = .591$; $F_{\text{Phase6}}(1.614, 63) = 108.665$, $p = .000$, $\eta^2_p = .633$) (deskriptive Statistiken s. *Anhang C. 3.13*). Aus den Post-Hoc Tests ergab sich dabei, dass bezüglich der Phasen 4 und 5 die Konzepte 2 und 3 signifikant unterschiedlich zum Konzept 1 sind. In Phase 6 hingegen unterscheiden sich die beiden Konzepte mit Meldungsdarbietung (Konzept 1 und Konzept 2) signifikant von der Baseline (Konzept 3). Auch die zusätzlich durchgeführte Rangvarianzanalyse nach Friedman verzeichnete signifikante Unterschiede zwischen allen Bedingungen für alle drei Phasen. Analog zu den Blicken in das Kombiinstrument wurden schließlich die Blicke auf die Straße überprüft. Hierfür ergaben sich ergänzend zu den Blicken ins Kombiinstrument die entsprechenden signifikanten Unterschiede: $F_{\text{Phase4}}(1.863, 63) = 3.427$, $p = .039$, $\eta^2_p = .052$; $F_{\text{Phase5}}(2, 63) = 32.165$, $p = .000$, $\eta^2_p = .338$; $F_{\text{Phase6}}(1.610, 63) = 23.354$, $p = .000$, $\eta^2_p = .270$. Zusammenfassend ist offensichtlich, dass bei Fahrten mit Konzept 1 die Blicke in Phase 4 und Phase 5 verstärkt auf das Kombiinstrument gerichtet und demzufolge von der Straße abgewendet werden. In Phase 6 werden entsprechend der Darbietung von Meldungen sowohl mit Konzept 1 als auch mit Konzept 2 die Blicke ins Kombiinstrument gerichtet. Die Baseline-Bedingung (Konzept 3) zeichnet sich dadurch aus, dass über alle Fahrphasen hinweg nur wenige Blicke ins Kombiinstrument und viele Blicke auf die Straße gerichtet werden.

4.3.1.4 Diskussion

Die Studie wurde entsprechend dem entwickelten Informationskonzept zur Entlastung des Fahrers in beanspruchenden Fahrsituationen konzipiert. Ziel war es, den Effekt des entwickelten Ansatzes nachzuweisen.

Aus der Erhebung geht hervor, dass das entwickelte Informationskonzept (Konzept 2), bei welchem die Beanspruchung des Fahrers bei der Meldungsdarbietung berücksichtigt wird, subjektiv größere Zustimmung als Konzept 1 (Worst-Case-Szenario mit Darbietung einer Meldung während der Überquerung der Kreuzung) erfährt. Unabhängig vom Meldungsinhalt (must vs. could) gaben die Probanden zunächst an, dass Konzept 2 weniger belastend als Konzept 1 empfunden wurde. Allerdings wurden Meldungen aus dem could-Cluster auch in der empfohlenen Informationsstrategie (Konzept 2) nicht als hilfreich bewertet. Zwar entsprach dieses Ergebnis nicht den expliziten Erwartungen, allerdings wird deutlich, dass die Kategorie der Meldung offensichtlich über die Informationsstrategie hinaus einen Einfluss nimmt. Die Unterscheidung zwischen den beiden Meldungskategorien, welche unter anderem aus der Expertenbefragung abgeleitet wurden, kann somit bestätigt werden. Zur gesamtheitlichen Bewertung des Informationskonzeptes erscheint es demnach sinnvoll, ausschließlich relevante Meldungen (must-Cluster) abzu prüfen. Über den Umgang mit Meldungen aus den anderen beiden Clustern (could und should) ist entsprechend zu diskutieren. Des Weiteren ist mit Konzept 2 eine bessere Konzentration auf das Fahrgeschehen während der

Kreuzungsüberquerung möglich und ein mögliches Unfallrisiko (beispielsweise durch querenden Verkehr) kann subjektiv verringert werden. Der Zeitpunkt der Meldungsdarbietung ist bei Konzept 2 im Gegensatz zu Konzept 1 näher am Optimum. Hinsichtlich der Akzeptanzskala ergab sich ein ähnliches Bild – Konzept 2 wurde für die beiden Faktoren Nützlichkeit und Zufriedenheit signifikant besser bewertet als Konzept 1.

Die objektiven Daten belegen zunächst, dass es tatsächlich einen Unterschied macht, ob eine Meldung auf der Kreuzung dargeboten wird (Konzept 1) oder nicht (Konzept 2). Die Sinnhaftigkeit der Interpretation der Unterschiede muss jedoch diskutiert werden. Es lässt sich über die verschiedenen Fahrparameter (Geschwindigkeit, Lenkwinkel, Distanz zum querenden Fahrzeug, Bremspedalstellung), welche der Beurteilung der Fahrperformanz dienen (Vgl. Kapitel 2.3.3), keine einheitliche Systematik für die gefundenen Unterschiede ableiten. Die Güte für das Konstanthalten der gefahrenen Geschwindigkeit, die Bremspedalstellung sowie der angesetzte Lenkwinkel sind durch das Abbiegeszenario mit kritischem Querverkehr konfundiert. Einzig und allein die Distanz zum querenden Fahrzeug könnte Aufschluss über ein sicheres Fahrverhalten liefern. Hier zeichnen sich jedoch lediglich Tendenzen zwischen den beiden Informationskonzepten ab.

Aussagekräftig sind hingegen die Unterschiede in den Blickstrategien. Hier konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass die Meldungsdarbietung (unabhängig von der Phase der Kreuzungsüberquerung) den Blick des Fahrers in das Kombiinstrument zieht. Es kann somit zu sicherheitskritischen Blickabwendungen auf der Kreuzung bei Konzept 1 kommen. Um diese zu unterbinden und dem Fahrer die nötigen Blicke (in der entsprechend kritischen Situation) nach draußen zu gewähren, wird eine Umsetzung der entwickelten Informationsstrategie, bei welcher die Fahrerbeanspruchung berücksichtigt wird (Konzept 2), empfohlen. Die Verkehrsblindheit kann durch das situative Workloadmanagement nachweislich reduziert werden.

Abschließend konnte die Konzeptevaluierung in der Simulationsumgebung die Vorteile der entwickelten Informationsstrategie (Konzept 2) klar hervorheben. Unter Berücksichtigung der Fahrerbeanspruchung bei der Überquerung einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung fühlen sich die Fahrer subjektiv weniger beansprucht und weichen in ihrer Blickstrategie nicht vom optimalen Blickverhalten (Konzept 3 – Baseline-Bedingung) ab. Die zeitliche Verzögerung von Meldungen wird, auch für sehr relevante und gering verzichtbare must-Meldungen, akzeptiert. Ebenso wird der inszenierte Meldungsstau im Sinne des ganzheitlichen Workloadmanagement-Ansatzes akzeptiert. Um diese Aussagen abschließend verallgemeinerbar und übertragbar zu formulieren, wird die Evaluierung in der Realfahrt als notwendig angesehen.

4.4 Realfahrtevaluierung

Der entwickelte Workloadmanagement-Ansatz basiert einerseits auf theoretischen Annahmen und Grundlagen und andererseits konnte er anhand zweier konzeptioneller Studien spezifiziert werden. Dabei wurde zunächst das komplexe urbane Szenario Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung als beanspruchende Fahrsituation klassifiziert. In einem zweiten Schritt wurde ein statisches Phasenkonzept als Schema über die Kreuzung gespannt, um somit besonders beanspruchende Abschnitte zu eruieren. Die Phasen 3, 4 und 5 wurden basierend auf der explorativen Realfahrtstudie als besonders beanspruchend eingestuft. Diese Klassifizierung lässt sich bereits anhand der Evaluationsstudie in der Simulationsumgebung bestätigen. Die Probanden empfanden das Niveau ihrer subjektiven Beanspruchung besonders hoch, wenn ihnen in einer dieser Phasen eine zusätzliche Meldung dargeboten wurde. Das Phasenkonzept legt des Weiteren ein temporäres Unterdrücken eingehender Meldungen in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung zugrunde. Die Meldungen werden dann temporär verzögert, jedoch unverändert in Qualität und Quantität nach Abschluss des Manövers (in Phase 6) dem Fahrer dargeboten. Auch diese Charakteristik konnte anhand der Simulatorstudie auf ihre Eignung überprüft werden. Die temporäre Verzögerung wird subjektiv stark befürwortet und liefert objektive Belege für ein komfortableres Fahrverhalten und ein sicherheitsunkritischeres Blickverhalten. Im Gegensatz zu einigen vorhandenen Konzepten (Vgl. Kapitel 2.3.2) zeichnet sich der präventive Ansatz durch seine Nutzertransparenz und Erwartungskonformität aus.

Ein weiterer Anspruch besteht nun darin, das Workloadmanagement-Konzept übertragbar zu machen. In einer letzten großen Etappe findet die Überprüfung des ganzheitlichen Konzeptes im realen Feld statt. Zu diesem Zweck wurden zwei unabhängige Studien mit einem Versuchsträger auf dem Prüfgelände konzipiert. Neben der Realfahrtevaluierung verfolgen beide Studien das Ziel, den Ansatz auf seine Generalisierbarkeit hin zu prüfen und entsprechend weitere Anwendungsszenarien zu generieren.

Die erste der beiden Studien dient dazu, das Konzept hinsichtlich seiner Anwendungsszenarien zu erweitern. Neben der Kreuzungssituation wird das statische Phasenkonzept auf eine Baustellensituation übertragen und dort auf seine Eignung hin geprüft. Die zweite Studie dient der Erweiterung hinsichtlich des Meldungsinhaltes. Das Konzept der temporären Verzögerung wird explizit auf den Telefonkontext übertragen und auch hier auf seine Angemessenheit untersucht. Akzeptanz, subjektive und objektive Eignung stehen bei den beiden Studien im Vordergrund. Die beiden Studien werden im Folgenden nacheinander dargestellt.

4.4.1 Fahrstudie auf dem Prüfgelände – Evaluierung des Informationsmanagers

Mit dem Ziel den entwickelten Workloadmanagement-Ansatz final in der realen Umgebung zu testen und das statische Phasenkonzept schließlich übertragbar zu machen, wurde die erste der beiden Realfahrtstudien konzipiert. Im Feld werden die konkreten Auswirkungen der Anwendung des Konzeptes noch einmal überprüft. Außerdem wird ein weiteres Szenario generiert, anhand dessen der Ansatz generalisierbar gemacht werden kann.

Das Manöver Linksabbiegen an einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung steht wiederholt im Vordergrund. Das statische Phasenkonzept mit seiner Infostufe und dem Bereich, in dem keine Informationsdarbietung erfolgt, wird an einer realen Kreuzung auf dem Prüfgelände abgebildet. Des Weiteren wird eine Baustellensituation generiert. Der Fahrer muss, um die Baustelle zu umfahren, seinen Fahrstreifen verlassen und auf den Gegenfahrstreifen ausweichen. Das statische Phasenkonzept wird direkt von der Kreuzungssituation übertragen – anhand von Triggerpunkten können die einzelnen Abschnitte realisiert werden. Die globalen Fragestellungen des Versuches richten sich einerseits an die Eignung des Konzeptes im realen Feld – lassen sich die Erkenntnisse aus der Simulatorstudie replizieren? – und andererseits an seine Übertragbarkeit auf eine weitere statisch einteilbare Fahrsituationen. Teile der vorgestellten Evaluierungsstudie wurden bereits in der Masterarbeit von Maxi Vogel diskutiert.

4.4.1.1 Fragestellung

Den Kern der Untersuchung bildet die vom Fahrer subjektiv empfundene Beanspruchung. Mit dem Ziel, ein nutzertransparentes und nachvollziehbares Konzept zu entwickeln, wurde basierend auf den bisher gewonnenen Erkenntnissen die Realfahrtstudie konzipiert. Einerseits sollte die erhöhte Beanspruchung des Fahrers bei der Darbietung einer Meldung in ohnehin beanspruchenden Phasen der Kreuzungsüberquerung nachgewiesen werden. Andererseits sollte eine weitere beanspruchende Fahrsituation eruiert und die zusätzliche Belastung beim Fahrer – verursacht durch die tertiäre Fahraufgabe – nachgewiesen werden. Überdies spielt die Akzeptanz des Fahrers gegenüber dem entwickelten Workloadmanagement-Ansatz im Realfahrzeug eine wesentliche Rolle. Dabei wird das Worst-Case-Szenario mit der zeitlichen Verzögerung von Meldungen verglichen.

Konkrete Fragen, die anhand der ersten Etappe der Realfahrtevaluierung beantwortet werden, lassen sich wie folgt aufzählen: Kann die Beanspruchung des Fahrers durch die zeitliche Verzögerung einer Meldung minimiert werden? Kann die Baustellensituation als beanspruchendes Fahrmanöver bestätigt werden? Und lassen sich auch für diese Situation die vorteilhaften Effekte des Einsatzes eines situativen Workloadmanagements bestätigen?

Wird das beschriebene Konzept zur Minimierung der Fahrerbeanspruchung, welche durch die tertiäre Fahraufgabe verursacht wird, in seiner Gesamtheit auch im realen Feld akzeptiert? Zusammenfassend lassen sich die Forschungsfragen in vier Hypothesen formulieren, welche sich auf das Workloadmanagement-Konzept für zwei beanspruchende Fahrmanöver (Linksabbiegen an der Kreuzung und Ausweichen vor einer Baustelle) im Vergleich zu einer Baseline (Geradeausfahrt) beziehen:

- H1: Die Beanspruchung des Fahrers ist ohne eingehende Meldung niedriger als mit Meldungsdarbietung.
- H2: Linksabbiegen an einer Kreuzung und Ausweichen vor einer Baustelle können im Vergleich zu einer Geradeausfahrt (Baseline) als beanspruchende Fahrmanöver klassifiziert werden.
- H3: Die Beanspruchung des Fahrers ist bei Darbietung einer Meldung höher im Vergleich zur zeitlichen Verzögerung der Meldung.
- H4: Die entwickelte Informationsstrategie – die zeitliche Verzögerung von eingehenden Meldungen – wird im realen Feld und mit relevanten Meldungsinhalten akzeptiert.

Die ersten beiden Hypothesen dienen dabei dem Manipulationscheck. Um weitere Schlussfolgerungen ziehen zu können, muss nachgewiesen werden, dass die als beanspruchend klassifizierten Fahrmanöver auf dem Prüfgelände tatsächlich auch so empfunden wurden. Alle vier Hypothesen lassen sich anhand der angewandten Methodik statistisch überprüfen. Wie die genaue Umsetzung gestaltet war, wird anschließend beschrieben.

4.4.1.2 Methode

Auf dem Prüfgelände wurden anhand des Versuchsträgers entsprechende Szenarien generiert, welche die Überprüfung der Hypothesen zulassen. Ziel ist es, die subjektive und die objektive Eignung der entwickelten Informationsstrategie mit Berücksichtigung der Fahrerbeanspruchung für zwei reale Fahrsituationen nachzuweisen.

Stichprobe

Die erhobene Stichprobe von insgesamt 24 Probanden – laut G*Power (Vgl. Faul et al., 2007) ist für einen mittleren bis großen Effekt ($f = 0.35$) eine Gruppenstärke von $n = 24$ erforderlich – bestand aus Studenten und Mitarbeitern der Universität der Bundeswehr in Neubiberg bei München. Diese wurden anhand eines Email-Verteilers akquiriert. Das Kollektiv setzte sich aus 15 männlichen (62 %) und 9 weiblichen (38 %) Teilnehmern zusammen, deren Altersspanne zwischen 23 bis 58 Jahren ($M_{\text{Alter}} = 35.25$ Jahre; $SD_{\text{Alter}} = 11.67$ Jahre) lag. Um Ausreißer durch zu wenig Fahrerfahrung zu vermeiden, wurden ein Mindestalter von 20 Jahren und eine Fahrerfahrung von mindestens fünf Jahren als

verbindliche Kriterien bei der Probandenakquise festgelegt. Die Studienteilnehmer legen zu 46 % ($n = 11$) 20 000 km bis 40 000 km pro Jahr zurück, 21 % ($n = 5$) berichteten sogar, jährlich über 40 000 km zu fahren, nur eine Person (4 %) fuhr jährlich weniger als 5 000 km. Ein Großteil der Probanden gab an, sein Fahrzeug täglich (29 %) oder mindestens dreimal pro Woche zu nutzen (50 %). Zusätzlich wurden die Teilnehmer nach ihrer Erfahrung und ihrem Nutzungsverhalten mit Infotainment-Funktionen im Fahrzeug befragt: 58 % ($n = 14$) verfügten über Infotainment-Systeme im eigenen Fahrzeug. Allerdings konnten nur 17 % ($n = 4$) ihr Fahrzeug mit dem Internet verbinden.

Versuchsdesign und abhängige Variablen

Den Kern der Untersuchung bildeten die drei Szenarien: Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung anhand des Manövers Linksabbiegen, Ausweichen vor einer Baustelle vom eigenen Fahrstreifen auf den Gegenfahrstreifen und die Geradeausfahrt (Baseline-Bedingung). Alle drei Szenarien wurden auf die subjektiv empfundene Beanspruchung und die Fahrperformanz hin überprüft. Dabei wurde das statische Phasenkonzept schematisch über die Manöver gelegt (s. Abbildung 17):

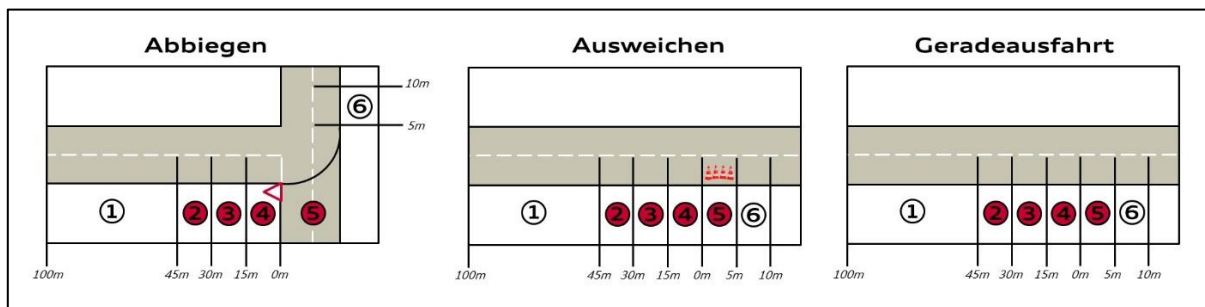


Abbildung 17: Schematische Darstellung der drei realisierten Fahrmanöver zur Überprüfung der Fahrerbeanspruchung anhand der statischen Phaseneinteilung.

Die drei Manöver lassen sich wie folgt charakterisieren:

Abbiegen – das Abbiegemanöver ist dem Szenario aus der Konzeptentwicklungsphase und aus der Evaluierung im Fahrsimulator nachempfunden. Die Probanden näherten sich einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung (Richtgeschwindigkeit 30 km/h) und bogen nach links ab. Dabei werden in Orientierung an das entwickelte Workloadmanagement-Konzept in den Phasen 2, 3, 4 und 5 sämtliche eingehende Meldungen temporär (bis zu Beginn Phase 6) verzögert (in Abbildung 17 rot eingefärbte Phasen). Um eine kritische Situation zu provozieren, wurde ein querendes Fahrzeug von links eingesetzt.

Ausweichen – das Ausweichmanöver vor einer Baustelle konnte basierend auf vorhandenen Analysen (Vgl. Fastenmeier, 1995; Fastenmeier & Gstalter, 2003, 2007) als beanspruchende Fahrsituation eruiert werden. Auch hier kam das entwickelte Phasenkonzept

zur Anwendung. Die Probanden mussten sich in der Phase 4 auf den Fahrstreifenwechsellvorgang vorbereiten, in Phase 5 erfolgte der eigentliche Fahrstreifenwechsel auf den Gegenfahrstreifen und in Phase 6 war das Manöver abgeschlossen. Um auch hier eine kritische Situation zu provozieren, gab es ein entgegenkommendes Fahrzeug.

Geradeausfahrt – als Referenz diente ein Abschnitt, auf dem geradeaus gefahren wurde. Um alle Szenarien miteinander vergleichbar zu halten, wurde auch hier das Phasenkonzept zugrunde gelegt. Die Geradeausfahrt erfolgte ohne jegliches Vorhandensein anderer Fahrzeuge.

Alle drei Manöver wurden unter den Bedingungen „Darbietung einer Meldung in Phase 4“ (Worst-Case-Szenario entspricht Konzept 1) und „keine Meldung“ (Baseline entspricht Konzept 3) getestet. Um zusätzlich die Anwendung des situativen Workloadmanagements abzubilden, wurden die beiden Manöver Abbiegen und Ausweichen mit der Verzögerungsstrategie (Meldung wird verzögert und erst in Phase 6 dargeboten) realisiert. Somit wurde zusammenfassend ein unvollständiges 3 x 3 within-subjects Design angewendet (grafische Veranschaulichung des Versuchsdesigns s. *Anhang D.2.1*).

Um dem Inhalt der Meldung eine gewisse Relevanz zu verleihen, wurde die Wahrnehmung der Meldung und die korrekte Reaktion des Probanden darauf mit einem zusätzlichen Anreiz versehen (Instruktion s. *Anhang D.1.1*; Meldungsinhalte s. *Anhang D.2.2*).

Getestet wurden die drei Manöver mit den Informationsstrategien Konzept 1 (Worst-Case-Szenario - Darbietung der Meldung in Phase 4), Konzept 2 (temporäre Verzögerung der Meldung bis in Phase 6) und Konzept 3 (Baseline – keine Meldungsdarbietung) hinsichtlich der Fahrerbeanspruchung, Fahrperformanz und Akzeptanz. Die Beanspruchung wurde subjektiv anhand des NASA TLX (Vgl. Hart & Staveland, 1988) und der SEA-Skala (Vgl. Eilers, Nachreiner & Hänecke, 1986) operationalisiert. Um die beiden Befragungsmethoden hinsichtlich ihrer Reliabilität zu verbessern, wurde eine Coverstory generiert (s. *Anhang D.1.1*), die das Anlegen eines Pulsmessgerätes vorsah. Zudem bekamen die Probanden bei der Bewertung der SEA-Skala für jede einzelne Phase ihr eigenes Blickvideo zu sehen (Post-Hoc Analyse mithilfe eines Verlaufsratings, vgl. Realfahrtstudie zur Beanspruchung im Kreuzungsbereich, Kapitel 4.2.1). Als objektive Daten wurden die Fahrgeschwindigkeit, die Reaktionszeiten sowie die Treffer- und die False-Alarm-Quoten aufgezeichnet. Zur Messung der Akzeptanz gegenüber den beiden Informationskonzepten (Konzept 1 und Konzept 2) dienten neben der Akzeptanz-Skala (Vgl. Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997) auch die beiden Konstrukte „Komfort“ und „Verkehrssicherheit“ aus dem Akzeptanz-Fragebogen von Arndt (2011). Ein Abdruck des angewendeten Fragebogens in Ausschnitten findet sich im Anhang (*Anhang D.1.1 bis D.1.13*).

Testumgebung und Versuchsaufbau

Die Studie fand auf dem abgeschlossenen Prüfgelände der Universität der Bundeswehr in Neubiberg bei München statt. Auf dem Prüfgelände wurden die drei Situationen Abbiegen, Ausweichen und Geradeausfahrt künstlich hergestellt. In der folgenden Abbildung ist die Verortung der Szenarien auf dem Prüfgelände veranschaulicht:

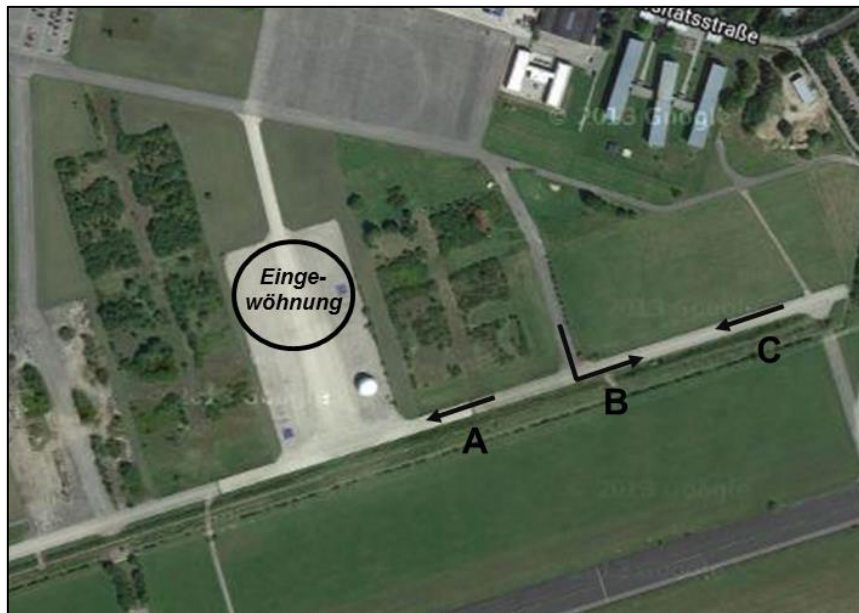


Abbildung 18: Darstellung der Positionierung der drei Szenarien (Ausweichen (A), Abbiegen (B) und Geradeausfahrt (C)) und der Fläche für die Eingewöhnungsfahrt auf dem Prüfgelände.

Um die Abbiege- und Ausweichmanöver während der Erhebung für die Probanden realistischer zu gestalten und eine kritische Situation zu provozieren, wurde jeweils ein querendes (Abbiegen) beziehungsweise ein entgegenkommendes (Ausweichen) Fahrzeug (Audi Q7) eingesetzt. Um die Bedingungen über jedes Manöver hinweg konstant zu halten, fuhr der instruierte Fahrer des Audi Q7 triggerbasiert auf das entsprechende Szenario zu.

Als Versuchsträger diente eine Audi A6 Limousine (Abbildungen und Architektur s. *Anhang D.2.3*), welche mit entsprechender Messtechnik ausgestattet war. Dazu gehören unter anderem ein iTrace-System, ein implementiertes Dikablis Cable 2.5 System und eine entsprechende Aufzeichnungs- und Ansteuerungssoftware.

Versuchsablauf

Nachdem die Teilnehmer in einem Raum nahe des Prüfgeländes zum Versuch begrüßt wurden, bekamen sie den Fragebogen mit einleitenden Worten und einer Coverstory (s. *Anhang D.1.1*) ausgehändigt. Es folgte das Anlegen des Pulsmessgerätes und die Kalibrierung des Blickerfassungssystems. Im Fahrzeug gab es für jeden Proband eine Phase der Eingewöhnung. Diese erfolgte mit dem Versuchsträger auf einem Streckenabschnitt, der

beim restlichen Versuchsdurchlauf unbefahren blieb und sollte dazu dienen, eine gewisse Vertrautheit zum Fahrzeug aufzubauen. Außerdem wurden den Probanden während der Eingewöhnungsfahrt exemplarische Meldungen im Kombiinstrument dargeboten. Die eigentliche Versuchsfahrt bestand aus insgesamt acht Fahrmanövern pro Proband (Versuchsdesign s. *Anhang D.2.1*). Dabei wurde die Reihenfolge der experimentellen Bedingungen gemäß dem lateinischen Quadrat für jede Versuchsperson permutiert. Diese Permutation erfolgte ausbalanciert über alle Probanden hinweg. Die drei Szenarien (Ausweichen, Abbiegen, Geradeausfahrt) sind dabei so auf dem Prüfgelände verteilt, dass sich für jeden Proband mehrere individuelle Runden ergaben (Vgl. Abbildung 18). Nach jedem erlebten Manöver erfolgte die Bewertung der Gesamtsituation anhand des NASA TLX Fragebogens und die Bewertung einzelner Phasen des Manövers anhand der SEA-Skala mithilfe der eigenen Blickvideos. Nach Beendigung der Testfahrt erfolgte das Ausfüllen eines Abschlussfragebogens inklusive der Aufklärung der Probanden über den eigentlichen Forschungsgegenstand. Dies und die Verabschiedung der Probanden fanden im Raum nahe des Prüfgeländes statt.

4.4.1.3 Ergebnisse

Die Auswertung und Reihenfolge der Darstellung der Ergebnisse erfolgen in Analogie zu den definierten Hypothesen.

H1: Die Beanspruchung des Fahrers ist ohne eingehende Meldung niedriger als mit Meldungsdarbietung.

Um einen Einfluss der Meldungsdarbietung auf die Fahrerbeanspruchung zurückzuführen, wurden mehrere 2 (Konzept 1 vs. Konzept 3) x 3 (Abbiegen vs. Ausweichen vs. Geradeausfahrt) sowie 3 (Konzept 1 vs. Konzept 2 vs. Konzept 3) x 2 (Abbiegen vs. Ausweichen) Varianzanalysen mit Messwiederholung auf beiden Faktoren berechnet.

NASA TLX – Die 2 x 3 Varianzanalyse ergab einen signifikanten Haupteffekt der Informationsstrategie: $F(1, 23) = 6.04, p = .022, \eta^2_p = 0.21$). Bedingungen mit einer Meldungsdarbietung wurden signifikant beanspruchender bewertet als Bedingungen ohne Meldungsdarbietung. Der Haupteffekt des Fahrmanövers ($F(2, 46) = 1.69, p = .196, \eta^2_p = .068$) und der der Interaktion zwischen Informationsstrategie und Fahrmanöver ($F(2, 46) = .22, p = .805, \eta^2_p = .009$) wurden beide nicht signifikant (deskriptive Statistiken s. *Anhang D.3.1*). Für die berechneten Tests konnte die Normalverteilung und die Varianzhomogenität angenommen werden. Im Gegensatz dazu ergab die 3 x 2 Varianzanalyse weder für den Haupteffekt der Informationsstrategie ($F(2, 46) = 2.12, p = .132, \eta^2_p = .084$) noch für den Haupteffekt des Fahrmanövers ($F(2, 46) = 1.56, p = .225, \eta^2_p = .063$) oder die Interaktion ($F(2, 46) = 0.22, p = .807, \eta^2_p = .009$) einen signifikanten Effekt.

SEA-Skala – Die Auswertung der SEA-Skala erfolgte für die berechneten Vergleiche in Form eines Mittels über die Phasen 4 bis einschließlich 6. Die Bedingungen der Normalverteilung und der Varianzhomogenität wurden für alle Berechnungen erfüllt. Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt des Informationskonzeptes ($F(1, 23) = 7.01, p = .014, \eta^2_p = .234$) und der Fahrsituation ($F(2, 46) = 11.58, p < .001, \eta^2_p = .335$), der Haupteffekt der Interaktion ($F(2, 46) = 0.05, p = .954, \eta^2_p = .002$) wurde hingegen nicht signifikant. Für die Einzelvergleiche ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Manövern Abbiegen und Geradeausfahrt ($t(23) = 4.14, p = < .001, \text{einseitig}, d = 0.84$) sowie zwischen den Manövern Ausweichen und Geradeausfahrt ($t(23) = 2.92, p = < .001, \text{einseitig}, d = 0.60$). Das Abbiegemanöver und das Ausweichmanöver wurden jeweils beanspruchender empfunden im Vergleich zur Geradeausfahrt. Für die 3 x 2 Varianzanalyse ergab sich ein signifikanter Haupteffekt sowohl für das Fahrmanöver ($F(1, 23) = 5.34, p = .030, \eta^2_p = .188$) als auch für die Informationsstrategie ($F(2, 46) = 4.07, p = .024, \eta^2_p = .150$). Für die Interaktion von Fahrmanöver und Informationsstrategie ließ sich kein signifikanter Effekt ermitteln ($F(1, 31) = 0.64, p = .532, \eta^2_p = .027$). Aus den Einzelvergleichen ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen Konzept 1 und 3 ($t(23) = 2.40, p = .010, \text{einseitig}, d = 0.49$) sowie zwischen Konzept 2 und 3 ($t(23) = 2.15, p = .040, \text{einseitig}, d = 0.44$). Das heißt, Bedingungen, in denen Meldungen dargeboten wurden, wurden als beanspruchender empfunden als Bedingungen ohne Meldungsdarbietung (deskriptive Statistiken s. *Anhang D.3.2*).

Mittlere Geschwindigkeit - Die Auswertung der mittleren Geschwindigkeit in km/h erfolgte für die berechneten Vergleiche in Form eines Mittels über die Phasen 4 bis einschließlich 6. Für die 2 x 3 Varianzanalyse ergaben sich ein signifikanter Haupteffekt für die Informationsstrategie ($F(1, 19) = 7.53, p = .013, \eta^2_p = .284$) sowie ein signifikanter Haupteffekt für das Fahrmanöver ($F(1, 28) = 337.23, p < .001, \eta^2_p = .947$). Die Interaktion wurde nicht signifikant ($F(1, 26) = .55, p = .581, \eta^2_p = .028$). Bezüglich der Einzelvergleiche konnten signifikante Unterschiede zwischen Abbiegemanöver und Geradeausfahrt ($t(19) = -35.02, p < .001, \text{einseitig}, d = 1.89$) sowie zwischen Ausweichmanöver und Geradeausfahrt ($t(19) = -11.51, p < .001, \text{einseitig}, d = 3.00$) festgestellt werden. Die Probanden fuhren in den als beanspruchend klassifizierten Szenarien jeweils langsamer als in der Geradeausfahrt. Lediglich ein signifikanter Haupteffekt für das Fahrmanöver ($F(1, 20) = 219.78, p < .001, \eta^2_p = .917$) ergab sich bei der 3 x 2 Varianzanalyse. Die Informationsstrategie ($F(2, 40) = 0.77, p = .471, \eta^2_p = .037$) sowie die Interaktion ($F(2, 40) = .513, p = .603, \eta^2_p = .025$) ergaben keine signifikanten Effekte (deskriptive Statistiken s. *Anhang D.3.3*).

Zusammenfassend wurde der Einfluss der Meldungsdarbietung auf das subjektive Beanspruchungsniveau der Probanden deutlich.

H2: Linksabbiegen an einer Kreuzung und Ausweichen vor einer Baustelle können im Vergleich zu einer Geradeausfahrt (Baseline) als beanspruchende Fahrmanöver klassifiziert werden.

Um den Einfluss der Fahrsituation auf die Fahrerbeanspruchung nachzuweisen, wurde eine 2 (Konzept 1 vs. Konzept 3) x 3 (Abbiegen vs. Ausweichen vs. Geradeausfahrt) Varianzanalyse mit Messwiederholung auf beiden Faktoren berechnet.

Aus den Analysen zu Hypothese 1 ging hervor, dass hinsichtlich des *NASA TLX* und der *SEA Skala* die beiden Fahrmanöver Abbiegen und Ausweichen als beanspruchender empfunden wurden im Gegensatz zur Geradeausfahrt. Im Folgenden wird auf die beiden objektiven Maße Entdeckungshäufigkeit und Reaktionszeit näher eingegangen.

Entdeckungshäufigkeit der Meldung – Die Entdeckungshäufigkeit bezieht sich ausschließlich auf die Meldung mit dem Inhalt „Hotel“, bei deren Erscheinen eine Reaktion der Probanden erforderlich war. Im Folgenden wurde überprüft, zu wieviel Prozent die Meldung in der jeweiligen Fahrsituation tatsächlich entdeckt wurde. Dabei ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen dem Fahrmanöver Abbiegen und der Geradeausfahrt ($t(9) = -3.00, p = .015, d = 0.96$) und eine Tendenz zwischen dem Manöver Ausweichen und Geradeausfahren ($t(10) = -1.491, p = .167, ns$). In der Geradeausfahrt wurde die Meldung „Hotel“ in 100 % der Fahrten, beim Abbiegen nur in 75 % der Fahrten und beim Ausweichen in 91 % der Fahrten entdeckt (deskriptive Statistiken s. *Anhang D.3.4*).

Reaktionszeit auf die Meldung – Die Reaktionszeit bezieht sich, wie auch die Entdeckungshäufigkeit, ausschließlich auf die Reaktion der Probanden auf die Meldung „Hotel“. Für die gemessenen Reaktionszeiten ergab sich weder für den Vergleich zwischen Abbiegen und Geradeausfahrt ($t(3) = 0.96, p > .05, ns$) noch für den Vergleich zwischen Ausweichen und Geradeausfahrt ($t(8) = 0.07, p > .05, ns$) ein signifikanter Unterschied. Zusammenfassend zeigten sich klare Belege dafür, dass das Abbiegemanöver beanspruchender ist als die Geradeausfahrt. Für den Vergleich zwischen Ausweichen und Geradeausfahrt ergaben sich hauptsächlich Tendenzen, die für eine höhere Beanspruchung beim Ausweichmanöver sprechen. Die Auswertung der gefahrenen Geschwindigkeit (Vgl. Hypothese 1) belegt zudem, dass die als komplex klassifizierten Situationen (Abbiegen und Ausweichen) eine Geschwindigkeitsreduktion notwendig machen – sie können daher aufgrund erforderlicher Aktivitäten auf der Stabilisierungsebene als beanspruchend beschrieben werden.

H3: Die Beanspruchung des Fahrers ist bei Darbietung einer Meldung höher im Vergleich zur zeitlichen Verzögerung der Meldung.

Einerseits wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf den jeweils zweifach gestuften Faktoren Fahrszenario (Abbiegen vs. Ausweichen) und

Informationsstrategie (Konzept 1 vs. Konzept 2) berechnet. Andererseits wurden mehrere 2 (Konzept 1 vs. Konzept 2) x 2 (Abbiegen vs. Ausweichen) Varianzanalysen mit den Daten aus Phase 4 berechnet.

NASA TLX – Für die Varianzanalyse mit Messwiederholung ergaben sich keine signifikanten Effekte. Weder der Haupteffekt der Informationsstrategie ($F(1, 23) = 0.35$, $p = .559$, $\eta^2_p = .015$) noch der Haupteffekt des Fahrmanövers ($F(1, 23) = .393$, $p = .537$, $\eta^2_p = .017$), noch der Interaktionseffekt ($F(1, 23) = .170$, $p = .684$, $\eta^2_p = .007$) wurden signifikant. Die Fahrer empfanden subjektiv die Bedingungen mit Meldung und ohne Meldung gleich stark beanspruchend.

SEA-Skala – es wurden zunächst die Mittelwerte für die Bewertung der Phase 4 miteinander verglichen. Hierbei ergab sich aus der 2 x 2 Varianzanalyse ein signifikanter Haupteffekt des Informationskonzeptes ($F(1, 23) = 6.67$, $p = .017$, $\eta^2_p = .225$). Der Haupteffekt der Fahrsituation ($F(1, 23) = .461$, $p = .504$, $\eta^2_p = .020$) und der Interaktionseffekt ($F(1, 23) = .752$, $p = .395$, $\eta^2_p = .032$) wurden nicht signifikant. Die Probanden empfanden die Phase 4 bei Darbietung einer Meldung beanspruchender als die Phase 4 ohne Darbietung einer Meldung. Die Varianzanalyse wurde schließlich mit den Werten aus Phase 6 erneut berechnet. Hierbei ergab sich wiederholt ein signifikanter Haupteffekt für die Informationsstrategie ($F(1, 23) = 15.89$, $p = .001$, $\eta^2_p = .409$). Auch bezüglich des Fahrmanövers ergab sich ein signifikanter Haupteffekt ($F(1, 23) = 4.85$, $p = .038$, $\eta^2_p = .174$), während der Interaktionseffekt ($F(1, 23) = 1.10$, $p = .304$, $\eta^2_p = .046$) nicht signifikant wurde. Eine weitere Varianzanalyse wurde für den Vergleich der mittleren Bewertung der SEA-Skala von Phase 4 aus Konzept 1 und Phase 6 aus Konzept 2 gerechnet. Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für die Informationsstrategie ($F(1, 23) = 14.87$, $p = .001$, $\eta^2_p = .800$). Der Haupteffekt für das Fahrmanöver ($F(1, 23) = 1.48$, $p > .05$, *ns*) und der Interaktionseffekt ($F(1, 23) = 0.16$, $p > .05$, *ns*) wurden nicht signifikant. Offensichtlich ist die Phase 4 mit Darbietung einer Meldung beanspruchender als die Phase 6 mit Darbietung einer Meldung (deskriptive Statistiken s. *Anhang D.3.5*).

Mittlere Geschwindigkeit – es wurden zunächst die mittleren Geschwindigkeiten aus Phase 4 miteinander verglichen. Hierfür ergab sich lediglich ein signifikanter Haupteffekt für das Fahrmanöver ($F(1, 23) = 81.948$, $p < .001$, $\eta^2_p = .781$). Der Effekt der Informationsstrategie ($F(1, 23) = 1.031$, $p = .321$, $\eta^2_p = .043$) und der Interaktionseffekt ($F(1, 23) = 1.600$, $p = .219$, $\eta^2_p = .065$) wurden nicht signifikant. Das heißt, in der Phase 4 des Ausweichmanövers fuhren die Probanden schneller als in der Phase 4 des Abbiegemanövers. Die mittleren Geschwindigkeiten wurden des Weiteren für die Phase 6 miteinander verglichen. Hierbei ergab sich erneut ein signifikanter Haupteffekt für die Fahrsituation ($F(1, 23) = 25.690$, $p < .001$, $\eta^2_p = .528$), während das Informationskonzept ($F(1, 23) = .659$, $p = .425$, $\eta^2_p = .028$)

und die Interaktion ($F(1, 23) = 1.414, p = .247, \eta^2_p = .058$) keine signifikanten Effekte aufwiesen. Es bestätigte sich das Ergebnis aus dem Geschwindigkeitsvergleich bezüglich Phase 4 – die Probanden fuhren beim Abbiegemanöver durchgängig langsamer als beim Ausweichmanöver (deskriptive Statistiken s. *Anhang D.3.6*). Ein Vergleich der mittleren gefahrenen Geschwindigkeiten erscheint an dieser Stelle nicht sinnvoll, da die Geschwindigkeiten in Abhängigkeit der Phasen bekanntermaßen unterschiedlich hoch sind.

Entdeckungshäufigkeit – Anhand einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung wurde die Entdeckungshäufigkeit bei Konzept 1 (Meldung erscheint in Phase 4) mit der bei Konzept 2 (Meldung erscheint in Phase 6) verglichen. Dabei ergab sich kein signifikanter Haupteffekt für die Informationsstrategie ($F(1, 19) = 2.44, p = .135, \eta^2_p = .114$). Die Meldungen wurden unabhängig von ihrem Erscheinungszeitpunkt (Phase 4 vs. Phase 6) gleich häufig entdeckt. Für die Interaktion zwischen Informationsstrategie und Fahrmanöver ergab sich ein signifikanter Effekt ($F(1, 23) = 11.185, p = .003, \eta^2_p = .371$). Es handelt sich jedoch um eine disordinale Interaktion, welche keine globale Interpretation der Haupteffekte zulässt.

Reaktionszeit – Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung wurde analog für die mittleren Reaktionszeiten berechnet. Es ergab sich weder ein signifikanter Haupteffekt für die Informationsstrategie ($F(1, 12) = .097, p = .761, \eta^2_p = .008$) noch für die Interaktion ($F(1, 12) = 0.281, p = .606, \eta^2_p = .023$). Die Reaktionszeit auf unmittelbar dargebotene Meldungen (Phase 4) unterscheidet sich nicht von der Reaktionszeit auf verzögert dargebotene Meldungen (Phase 6).

Insgesamt konnten sowohl auf subjektiver als auch teilweise auf objektiver Ebene Belege dafür gefunden werden, dass die Verzögerung einer Meldung in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung eine niedrigere Belastung beim Fahrer verursacht als die Darbietung der Meldung.

H4: Die entwickelte Informationsstrategie – die zeitliche Verzögerung von eingehenden Meldungen – wird im realen Feld und mit relevanten Meldungsinhalten akzeptiert.

Um Mittelwertunterschiede hinsichtlich der Akzeptanz der Fahrer nachzuweisen, wurden einseitige t-Tests für verbundene Stichproben berechnet.

Akzeptanz-Skala (Vgl. van der Laan, Heino & De Waard, 1997) - Bei der Beurteilung der Skala wurde die Reihenfolge der Bewertung von Konzept 1 und Konzept 2 über die Probanden hinweg permutiert. Analog der Empfehlung wurden die beiden Subskalen *Nützlichkeit* und *Zufriedenheit* berechnet. Schließlich wurden die beiden Konzepte hinsichtlich ihrer beiden Dimensionen anhand von t-Tests für verbundene Stichproben miteinander

verglichen. Die Voraussetzung auf Normalverteilung der Differenzwerte ist bei beiden Dimensionen gegeben (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: $z_{\text{Nützlichkeit}}(22) = 0.878$, $p = .423$; $z_{\text{Zufriedenheit}}(22) = 0.562$, $p = .910$). Während der t-Test für die Dimension Nützlichkeit ($t(22) = 1.361$, $p = .187$, zweiseitig, $d = 0.466$) nicht signifikant wurde, unterschieden sich die Konzepte 1 und 2 hinsichtlich der bewerteten Zufriedenheit signifikant voneinander ($t(22) = 2.647$, $p = .001$, zweiseitig, $d = 1.346$) (deskriptive Statistiken s. *Anhang D.3.7*). Konzept 2 wird hinsichtlich der empfundenen Zufriedenheit signifikant höher eingeschätzt.

Akzeptanz-Fragebogen (Arndt, 2011) – Analog der Akzeptanz-Skala wurde die Reihenfolge der Bewertung von Konzept 1 und Konzept 2 über die Probanden hinweg permutiert. Für die beiden gemessenen Konstrukte Verkehrssicherheit und Komfort wurden t-Tests für verbundene Stichproben berechnet. Die Voraussetzung auf Normalverteilung der Differenzwerte ist für die beiden Konstrukte gegeben (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: $z_{\text{Komfort}}(21) = 0.412$, $p = .996$; $z_{\text{Sicherheit}}(21) = 0.411$, $p = .996$). Der t-Test für das Konstrukt Komfort ($t(21) = 4.001$, $p = .001$, zweiseitig, $d = 1.17$) wurde signifikant. Dabei wurde Konzept 2 im Vergleich zu Konzept 1 als komfortabler bewertet. Hinsichtlich des Konstruktes Sicherheit konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den zwei Informationsstrategien festgestellt werden ($t(21) = 1.112$, $p = .279$, zweiseitig, $d = 0.32$) (deskriptive Statistiken s. *Anhang D.3.8*). Bezüglich des Sicherheitsempfindens gab es keine Unterschiede zwischen Konzept 1 und Konzept 2.

Das Konzept 2 wird hinsichtlich der empfundenen Zufriedenheit und des empfundenen Fahrkomforts signifikant besser bewertet als das Konzept 1. Bezüglich der Nützlichkeit und des subjektiven Sicherheitsempfindens unterscheiden sich die beiden Konzepte nicht voneinander.

4.4.1.4 Diskussion

Die Studie diente einerseits dazu, die Ergebnisse aus der Evaluierung in der Simulationsumgebung auf dem realen Feld zu replizieren. Andererseits sollte das Workloadmanagement-Konzept von der Kreuzungssituation auf eine weitere statische Situation übertragbar gemacht werden, um somit die Generalisierbarkeit über statische Fahrsituationen hinweg zu gewährleisten.

Hinsichtlich des Vergleiches zwischen Situationen mit und ohne Meldungsdarbietung konnten subjektive Belege dafür gefunden werden, dass die Darbietung einer Meldung zusätzliche Beanspruchung beim Fahrer verursacht. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit denen der Simulatorstudie (Vgl. Kapitel 4.3.1) und denen von Seitz (2013). Aufgrund der recht geringen Mittelwertunterschiede liegt der Schluss nahe, den Workloadmanager lediglich als eine komforterhöhende Funktion und nicht als eine sicherheitsfördernde Funktion zu interpretieren.

Bei der Betrachtung der Gegenüberstellung verschiedener Fahrmanöver konnte zunächst bestätigt werden, dass für das Abbiegen und das Ausweichen eine Verzögerungshandlung durch den Fahrer notwendig war und die Situation zeitkritisch umgesetzt werden konnte. Die Probanden mussten sich nach dem querenden beziehungsweise dem entgegenkommenden Verkehr richten und ihre Geschwindigkeit entsprechend anpassen. Dass dies im Versuch tatsächlich beobachtbar war, spricht zunächst dafür, dass objektiv beanspruchende Fahrsituationen hergestellt werden konnten (Vgl. Färber & Färber, 2003; Färber, 2004; Muigg, 2009). Auch bezüglich der Fahrsituationsklassifikation (Fastenmeier, 1995) lässt sich die erhöhte Beanspruchung anhand der höheren Ausprägung der Dimensionen Informationsverarbeitung und Fahrzeugbedienung bestätigen. In der durchgeführten Erhebung konnten weiterhin subjektive und objektive Belege dafür gefunden werden, dass es sich sowohl beim Abbiegen als auch beim Ausweichen um beanspruchende Fahrsituationen handelt. Einerseits bewiesen die Skalen des NASA-TLX sowie die SEA-Skala die höhere subjektiv empfundene Beanspruchung. Andererseits zeigten sich vor allem in der Abbiegesituation erhebliche Leistungseinbußen (Anzahl der Reaktionen auf die „Hotel“-Meldung) im Vergleich zur Geradeausfahrt. Diese Effekte konnten auch für die Ausweichsituation tendenziell bestätigt werden. Demzufolge ist die Schätzung der Fahrerbeanspruchung basierend auf der Fahrsituation (Vgl. Fastenmeier, 1995; Totzke et al., 2008) nachweisbar möglich. Auch der Erklärungsansatz von De Waard (1996) kann anhand der gefundenen Ergebnisse bestätigt werden – so zeigt sich in den nicht-vorhandenen Reaktionen der Fahrer in beanspruchenden Fahrsituationen deren „mentaler Overload“ (Vgl. Kapitel 2.2.3).

Schließlich wurde, bezogen auf die Manöver Abbiegen und Ausweichen, die Darbietung einer Meldung in der als beanspruchend eruierten Phase (Phase 4) mit der temporären Verzögerung und damit der Darbietung der Meldung in Phase 6 verglichen. Auf subjektiver Ebene konnten Belege dafür gefunden werden, dass die Verzögerung einer Meldung in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung eine niedrigere Belastung beim Fahrer verursacht als die Darbietung der Meldung. Wenn eine Meldung dargeboten wurde, so verursachte diese subjektiv in Phase 6 eine niedrigere Beanspruchung, als bei der Darbietung in Phase 4. Dieser Zusammenhang ist ein eindeutiges Indiz für das Vorhandensein von einer on-top Belastung verursacht durch die tertiäre Fahraufgabe. Da der Effekt objektiv jedoch nicht nachgewiesen werden konnte (kein Unterschied hinsichtlich der Hits und Reaktionszeiten bei der Identifikation der „Hotel“-Meldung), handelt es sich offensichtlich um einen hohen subjektiven Workload, der allerdings noch vom Fahrer kompensiert werden kann (Vgl. De Waard, 1996; Kompensationsmechanismen: Shinar, Tractinsky & Compton, 2004; Lee et al., 2001). Im Einklang dazu belegen Piechulla et al. (2001) in ihren Studien, dass Beanspruchung, obwohl tatsächlich vorhanden, erst ab einer gewissen Intensität auch in den Fahrdaten nachgewiesen

werden kann. Basierend auf den subjektiven Bewertungen kann also dennoch von einer den Workload reduzierenden Wirkung durch die entwickelte Informationsstrategie ausgegangen werden.

Die Bewertung der Akzeptanz gegenüber den beiden Informationskonzepten (Konzept 1 und Konzept 2) bestätigte die Ergebnisse aus der Evaluationsstudie in der Simulationsumgebung teilweise. Konzept 2, welches die temporäre Verzögerung von Meldungen in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung vorsieht, wurde als wesentlich komfortabler und zufriedenstellender bewertet. Die empfundene Nützlichkeit und das Sicherheitsempfinden unterschieden sich nicht für die beiden Konzepte. Erneut kann hier der Schluss gezogen werden, dass es sich beim entwickelten Workloadmanagement-Ansatz weniger um eine Sicherheitsfunktion als vielmehr um eine Komfortfunktion handelt. Die empfundene Verkehrssicherheit ist bereits auch ohne Informationskonzept sehr hoch und kann somit nicht beeinflusst werden.

4.4.2 Fahrstudie auf dem Prüfgelände – Evaluierung des Telefonmanagers

Es hat eine umfassende Evaluierung des Informationsmanagers stattgefunden. Diese konnte belegen, dass das entwickelte Konzept sowohl in der Simulationsumgebung als auch im realen Testfeld die durch die tertiäre Fahraufgabe verursachte on-top Beanspruchung in komplexen beziehungsweise als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen minimieren kann. Zudem erfährt das Konzept eine hohe Akzeptanz durch den Fahrer und wird als Komfortfunktion empfunden. Der Ansatz genügt der Generalisierbarkeit hinsichtlich weiterer statischer beanspruchender urbaner Fahrmanöver und erfüllt den Anspruch an Nutzertransparenz und Erwartungskonformität.

In einer letzten großen Etappe wird das Konzept schließlich auf weitere Meldungsinhalte – speziell den eingehenden Telefonanruf – übertragbar gemacht. Die Ergebnisse liefern die finale Ergänzung zum ganzheitlichen Workloadmanagement. Zunächst muss hierfür erneut der Zusammenhang zwischen beanspruchender und nicht beanspruchender Fahrsituation nachgewiesen werden – um schließlich den Einfluss des eingehenden Anrufes situationsabhängig bestimmen zu können. Es gibt vielseitige Belege, dass ein eingehender Anruf die Beanspruchung des Fahrers moderiert (Vgl. Schindhelm, Gelau & Hoedemaker, 2004; Shinar et al., 2004; Rosenbloom, 2006; Tractinsky, Ram & Shinar, 2013; Wickens et al., 2013). Daher wurden bereits auch Lösungsmöglichkeiten entwickelt, wie mit Telefonanrufen während der Fahrt umgegangen werden kann (Vgl. Kern et al., 2007; Verwey, 1993; Drews & Strayer, 2009). Basierend auf der Literatur und den vorhandenen Studienergebnissen wird ein eingehender Anruf (analog zu eingehenden Meldungen) in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung (Phase 2, 3, 4 und 5) zunächst unterdrückt. Um für Anrufer und Angerufenen konstante Bedingungen zu halten, ist vorgesehen, dem eingehenden Anruf mit

einem Besetzzeichen zu entgegnen. Für den Fahrer bedeutet das schließlich die Veränderung von Quantität und Qualität der verpassten Information. Er wird ab Phase 6 anhand einer Meldung im Kombiinstrument (Anzeigedauer 3 sec) in Kombination mit einem akustischen Signal (1800 Hz) über den verpassten Anruf informiert. Das entwickelte Informationsmanagement für eingehende Telefonanrufe wurde in Form eines deutschen (DE Patent Nr. 10 2014 014 601 A1 2016.04.07, 2014), eines internationalen (Internationale Patent Nr. WO 2016/055135 A1, 2015) und eines chinesischen Patents (CN Patent Nr. CN 106165379 B, 2016) veröffentlicht. Die Eignung dieses Konzeptes sowie die Akzeptanz durch den Fahrer werden überprüft. Außerdem kann anhand der Ergebnisse ein Schluss auf die Zuordnung des eingehenden Anrufes in die drei Cluster (must vs. should vs. could) erfolgen. Teile der vorgestellten Realfahrtstudie wurden bereits von Köhler, Bengler, Mergl, Maier & Wimmer (2014) veröffentlicht und in der Bachelorarbeit von Barbara Boss diskutiert.

4.4.2.1 Fragestellung

Es konnten Belege für die Generalisierbarkeit des entwickelten Workloadmanagement-Konzeptes bezüglich der angewendeten Fahrsituation gefunden werden. Als zweite Teilstudie, die sich mit der Übertragbarkeit des Ansatzes beschäftigt, steht im Folgenden der konkrete Meldungsinhalt im Vordergrund. Es wird überprüft, inwiefern sich der eingehende Anruf in die vorhandene Struktur von fahrrelevanten Meldungen einordnen lässt und ob die Informationsstrategie der Unterdrückung oder zeitlichen Verzögerung auch hierfür geeignet ist und akzeptiert wird. Die Erhebung im realen Feld thematisiert erneut die Fahrerbeanspruchung und die Akzeptanz unter dem neuen Gesichtspunkt des Anrufes. Dabei bildet das beanspruchende Fahrmanöver Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung die Basis.

Ist eine Fahrt mit aktivem Anruf via Freisprecheinrichtung beanspruchender als eine Fahrt ohne Anruf? Kann das Unterdrücken eines eingehenden Anrufes die Fahrerbeanspruchung in komplexen Fahrszenarien minimieren? Wird ein Anruf-unterdrückender Telefonmanager als Teil des ganzheitlichen Workloadmanagement-Konzeptes vom Fahrer akzeptiert? Und wird auch eine Falschauslösung (unberechtigtes Unterdrücken von Anrufen) des Telefonmanagers akzeptiert? Aus den genannten Forschungsfragen lassen sich insgesamt vier Hypothesen ableiten:

- H1: Das Fahrmanöver Linksabbiegen an einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung ist beanspruchender als die Geradeausfahrt (Baseline).
- H2: Die Beanspruchung des Fahrers ist ohne eingehenden Anruf niedriger als mit einem aktiven Anruf während der Fahrt.

H3: Die Beanspruchung des Fahrers ist bei der Durchstellung des Anrufes (Konzept 1) höher im Vergleich zur Unterdrückung (Konzept 2) und zur Bedingung ohne Anruf (Konzept 3).

H4: Der entwickelte Telefonmanager, welcher eingehende Anrufe in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung unterdrückt, wird im Feld akzeptiert.

Alle vier Hypothesen lassen sich anhand der angewandten Methodik statistisch überprüfen. Wie die genaue Umsetzung gestaltet war, wird anschließend beschrieben.

4.4.2.2 Methode

Auf dem Prüfgelände wurden anhand des Versuchsträgers entsprechende Szenarien generiert, welche die Überprüfung der Hypothesen zulassen. Dabei ist die entwickelte Methodik der Fahrstudie auf dem Prüfgelände zur Evaluierung des Informationsmanagers in weiten Teilen nachempfunden. Ziel ist es, die subjektive und die objektive Eignung des entwickelten Telefonmanagers mit Berücksichtigung der Fahrerbeanspruchung in realen Fahrsituationen nachzuweisen.

Stichprobe

Die Teilnehmer der Studie wurden über einen Email-Verteiler der Universität der Bundeswehr in Neubiberg akquiriert und setzten sich folglich aus Studenten und Mitarbeitern der Universität zusammen. Die Stichprobe umfasste insgesamt 27 Probanden – laut G*Power (Vgl. Faul et al., 2007) ist für einen mittleren bis großen Effekt ($f = 0.35$) eine Gruppenstärke von $n = 24$ erforderlich – und bestand zu 41 % ($n = 11$) aus weiblichen und zu 59 % ($n = 16$) aus männlichen Teilnehmern. Der Altersdurchschnitt lag bei 35.93 Jahren ($SD_{\text{Alter}} = 12.72$) mit einer Spanne zwischen 20 und 58 Jahren. Um Ausreißer durch zu wenig Fahrerfahrung zu vermeiden, wurden ein Mindestalter von 20 Jahren und eine Fahrerfahrung von 50 000 km als verbindliche Kriterien bei der Probandenakquise festgelegt. Die meisten Probanden (37 %) gaben an, zwischen 10 000 km bis 20 000 km jährlich zurückzulegen. Insgesamt erklärten 78 % aller Probanden, mindestens 10 000 km im zu Jahr fahren. Die hohe Kilometerlaufleistung spiegelt sich auch im wöchentlichen Fahrverhalten wider. Ein Großteil der Teilnehmer (63 %) nutzt sein Fahrzeug mindestens 3 mal pro Woche. Nur 3 Personen (11 %) gaben an, das Fahrzeug weniger als einmal pro Woche zu fahren. Zusätzlich wurden die Teilnehmer nach ihrer Erfahrung mit und der Nutzung von Infotainment-Funktionen im Fahrzeug befragt: Mehr als die Hälfte der Teilnehmer besitzt ein Fahrzeug, welches mit Infotainment-Funktionen ausgestattet ist. Allerdings nutzen nur fünf der Befragten diese Funktionalitäten immer. Vor dem Hintergrund des Telefonmanagers wurde zudem auch das Nutzungsverhalten gegenüber der Telefonankopplung an das Fahrzeug abgefragt: 63 % der Teilnehmer ($n = 17$) sind in der Lage, das Telefon mit ihrem Fahrzeug zu verbinden. Insgesamt

wird die Kopplungsfunktion jedoch nicht so oft angewendet – nur acht Probanden nutzten demnach diese Funktion immer, sieben Probanden nutzten sie nie.

Versuchsdesign und abhängige Variablen

Da der Versuch unmittelbar im Anschluss an die Studie zur Evaluierung des Informationsmanagers in der Realfahrt stattfand, konnten ähnliche Szenarien auf dem Prüfgelände in Neubiberg konstruiert werden. Die Ausweichsituation wurde bereits als beanspruchend klassifiziert und wird nicht erneut abgeprüft. Vor dem Hintergrund eines eingehenden Telefonanrufes wurden die Fahrmanöver Linksabbiegen an einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung und das Geradeausfahren (Baseline) als gleichlange Streckenabschnitte realisiert. Die beiden Fahrmanöver in Abhängigkeit der Telefonbedingung (Konzept 1 und Konzept 2) wurden, wie in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht, umgesetzt:

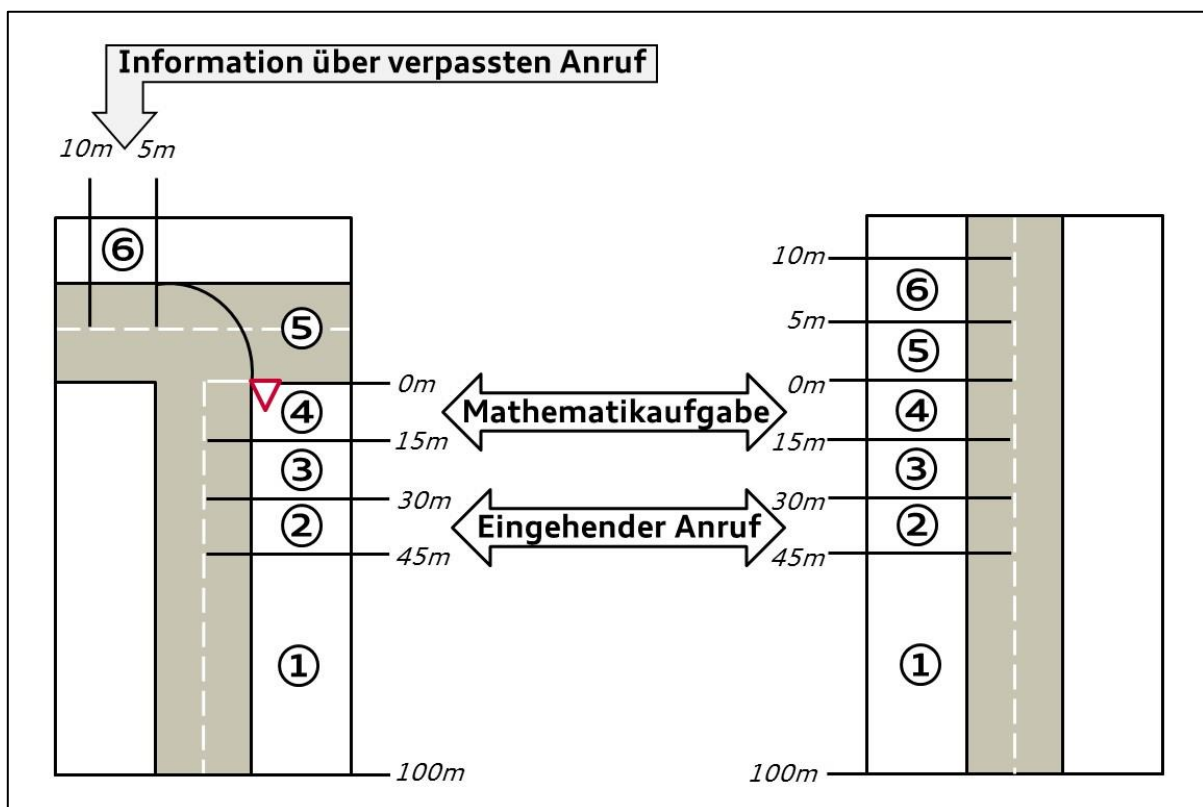


Abbildung 19: Die zwei Fahrmanöver (links: Linksabbiegen, rechts: Geradeausfahren) unterteilt in sechs aufeinanderfolgende Fahrphasen mit den Zeitpunkten des eingehenden Anrufes (Phase 2), der Mathematikaufgabe am Telefon (Phase 4) und der Information über den verpassten Anruf (Phase 6 der Kreuzungssituation) (Vgl. Köhler et al., 2014).

Wie bereits in den beiden vorangegangenen Studien umgesetzt, steht *Konzept 1* für die uneingeschränkte Darbietung von Informationen im Fahrzeug. Auch in diesem Fall wurde wieder das Worst-Case-Szenario angenommen. Das heißt, der Anruf ging bereits in Phase 2

im Versuchsträger ein (Darstellung im Kombiinstrument s. *Anhang E.2.1*) und in Phase 4 wurde den Probanden eine Rechenaufgabe via Telefon gestellt. Dieses Konzept wurde zur Vergleichbarkeit sowohl für das Abbiegemanöver als auch für die Geradeausfahrt umgesetzt.

Konzept 2 steht für die Entlastung des Fahrers während einer beanspruchenden Fahrsituation. Diese Entlastung konnte anhand der Unterdrückung beziehungsweise anhand der zeitlichen Verzögerung von eingehenden Informationen realisiert werden. Im Fall des Telefonanrufes wurde dieser in den Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung komplett unterdrückt. Wenn die Fahrerbeanspruchung nachweislich wieder geringer war (Phase 6), wurde dem Fahrer eine Meldung im Kombiinstrument (Anzeigedauer 3 sec) in Kombination mit einer Akustik (1800 Hz) dargeboten. Diese enthielt die Information über einen „Verpassten Anruf seitens der Versuchsleitung“ (Darstellung im Kombiinstrument s. *Anhang E.2.1*).

Die beschriebenen Bedingungen – 3-fach gestufte Informationsstrategie (*Konzept 1* vs. *Konzept 2* vs. *Konzept 3*) in Kombination mit der 2-fach gestuften Fahrsituation (Abbiegen vs. Geradeausfahrt) wurden anhand eines unvollständigen 3x2 within-subjects Designs abgeprüft (Versuchsplan s. *Anhang E. 2.2*). Erfasst wurden (analog der Studie zur Evaluierung des Informationsmanagers) die Fahrerbeanspruchung, die Fahrperformanz und die Akzeptanz. Die Beanspruchung wurde subjektiv anhand des NASA TLX (Vgl. Hart & Staveland, 1988) operationalisiert. Um diesen hinsichtlich seiner Reliabilität zu verbessern, wurde eine Coverstory generiert (s. *Anhang E.1.1*), die das Anlegen eines Pulsmessgerätes vorsah. Als objektive Daten wurden die Fahrgeschwindigkeit, Reaktionszeiten sowie die Treffer- und die False-Alarm-Quoten aufgezeichnet. Zur Messung der Akzeptanz gegenüber den beiden Informationskonzepten (*Konzept 1* und *Konzept 2*) dienten neben der Akzeptanz-Skala (Vgl. Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997) auch die beiden Konstrukte „Komfort“ und „Verkehrssicherheit“ aus dem Akzeptanz-Fragebogen von Arndt (2011). Ergänzend wurde die Akzeptanz gegenüber Falschaktivierungen des Workloadmanagements (Anrufe werden grundlos unterdrückt) abgefragt (s. *Anhang E. 1.13*). Ein Abdruck des angewendeten Fragebogens in Ausschnitten findet sich im Anhang (*Anhang E.1.1 bis E.1.13*).

Testumgebung und Versuchsaufbau

Die Testreihe fand auf dem abgeschlossenen Prüfgelände der Universität der Bundeswehr in Neubiberg bei München statt. Auf dem Testgelände wurden die beiden Situationen Abbiegen und Geradeausfahrt künstlich hergestellt – diese wurden analog zur Evaluierungsstudie des Informationsmanagers (Kapitel 4.4.1) realisiert (s. Abbildung 18).

Um das Abbiegemanöver während der Erhebung für die Probanden realistischer zu gestalten und eine kritische Situation zu provozieren, wurde ein querendes Fahrzeug (Audi Q7) eingesetzt. Damit die Bedingungen über jedes Manöver hinweg konstant blieben, fuhr der instruierte Fahrer des Audi Q7 triggerbasiert auf das entsprechende Szenario zu.

Als Versuchsträger diente eine Audi A6 Limousine (Abbildungen und Architektur s. *Anhang D.2.3*), welche mit entsprechender Messtechnik ausgestattet war. Das Fahrzeug mit iTrace-System, einem implementierten Dikablis Cable 2.5 System und entsprechender Aufzeichnungs- und Ansteuerungssoftware wurde bereits schon in der Evaluierungsstudie des Informationsmanagers (Vgl. Kapitel 4.4.1) verwendet.

Versuchsablauf

Die Probanden wurden in einem Raum nahe des Prüfgeländes zum Versuch begrüßt und erhielten dort einen Fragebogen mit einleitenden Worten und einer Coverstory (s. *Anhang E.1.1*). Es folgte das Anlegen des Pulsmessgerätes und die Kalibrierung des Blickerfassungssystems. Im Fahrzeug gab es für jeden Proband eine Phase der Eingewöhnung. Diese erfolgte mit dem Versuchsträger auf einem Streckenabschnitt, der beim restlichen Versuchsdurchlauf unbefahren blieb und dazu dienen sollte, eine gewisse Vertrautheit zum Fahrzeug aufzubauen.

Außerdem ging für jeden Proband während der Eingewöhnungsfahrt exemplarisch ein Anruf im Fahrzeug ein. Nach Annahme des Anrufes durch den Proband wurde diesem via Telefon eine Mathematikaufgabe gestellt (Format der Aufgabe s. *Anhang E.2.2*).

Die eigentliche Versuchsfahrt bestand aus insgesamt fünf Fahrmanövern pro Proband (Versuchsdesign s. *Anhang E.2.1*). Dabei wurde die Reihenfolge der experimentellen Bedingungen gemäß dem lateinischen Quadrat für jede Versuchsperson permutiert. Diese Permutation erfolgte ausbalanciert über alle Probanden hinweg. Die beiden Szenarien (Abbiegen und Geradeausfahrt) sind dabei so auf dem Prüfgelände verteilt, dass sich für jeden Proband mehrere individuelle Runden ergaben (Vgl. Abbildung 18). Im direkten Anschluss an jedes erlebte Manöver erfolgte die Bewertung der Gesamtsituation anhand des NASA TLX Fragebogens. Nach Beendigung der Testfahrt folgte das Ausfüllen eines Abschlussfragebogens – inklusive der Aufklärung der Probanden über den eigentlichen Forschungsgegenstand und der Fragen bezüglich der Akzeptanz gegenüber den erlebten Funktionalitäten. Dies und die Verabschiedung der Probanden fanden im Raum nahe des Prüfgeländes statt.

4.4.2.3 Ergebnisse

Die Auswertung und Reihenfolge der Darstellung der Ergebnisse erfolgen in Analogie zu den definierten Hypothesen.

H1: Das Fahrmanöver Linksabbiegen an einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung ist beanspruchender als die Geradeausfahrt (Baseline).

Für die subjektiven Daten wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet, dabei sind die Faktoren Fahrmanöver (Abbiegen vs. Geradeausfahrt) und

Informationsstrategie (Anruf vs. kein Anruf) jeweils zweifach gestuft. Hinsichtlich der objektiven Daten wurde jeweils ein t-Test für verbundene Stichproben berechnet.

NASA TLX – Für die Berechnungen bezüglich des Overall Workload Index (NASA TLX) ergab sich weder ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Fahrsituation ($F(1, 25) = 3.65$, $p = .068$, $\eta^2_p = .127$), noch für die Interaktion ($F(1, 25) = 0.00$, $p = .998$, $\eta^2_p = .000$). Der signifikante Haupteffekt für den Faktor Anruf ($F(1, 25) = 23.689$, $p < .001$, $\eta^2_p = .487$) wird bei der Auseinandersetzung mit Hypothese 2 näher betrachtet (deskriptive Statistik s. *Anhang E.3.1* und *Anhang E.3.2*).

Responsezeiten – Während des Versuches wurden die Zeiten (in sec) vom Anrufeingang bis zur Entgegennahme durch den Probanden gemessen. Für den t-Test mit verbundenen Stichproben konnte ein signifikantes Ergebnis berechnet werden ($t(21) = -1.732$, $p = .098$, einseitig, $d = 0.76$). In der Kreuzungssituation wurde entsprechend mehr Zeit benötigt ($M = 2.40$ sec) als bei der Geradeausfahrt ($M = 2.16$ sec) bis der Anruf entgegen genommen wurde (deskriptive Statistik s. *Anhang E.3.3*).

Antwortzeit – Als Antwortzeit wurde der Abschnitt bis zur Lösung der Mathematikaufgabe durch die Probanden am Telefon gemessen. Hierfür konnte kein signifikantes Ergebnis festgestellt werden ($t(21) = 0.968$, $p = .344$, einseitig, $d = 0.42$).

Anzahl richtiger Antworten – Es wurde aufgezeichnet, ob die Probanden die Mathematikaufgabe richtig lösten oder nicht. Für den Vergleich zwischen Linksabbiegen und Geradeausfahrt ergab sich kein signifikanter Unterschied ($t(23) = 0.811$, $p = 0.426$, einseitig, $d = 0.35$).

Insgesamt kann aus den Ergebnissen des NASA TLX eine leichte Tendenz abgeleitet werden, dass die Abbiegesituation beanspruchender empfunden wurde als die Geradeausfahrt. Diese Tendenz lässt sich anhand der signifikant unterschiedlichen Responsezeiten objektiv bestätigen.

H2: Die Beanspruchung des Fahrers ist ohne eingehenden Anruf niedriger als mit einem aktiven Anruf während der Fahrt.

Bezüglich der subjektiven Daten wurde auf die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (von Hypothese 1) Bezug genommen. Dieses Verfahren wurde ebenso für die objektiven Daten angewendet.

NASA TLX – Aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Anruf ($F(1, 25) = 23.689$, $p < .001$, $\eta^2_p = .487$). Eine Fahrt mit Anruf wurde signifikant stärker beanspruchend empfunden im Vergleich zu einer Fahrt ohne Anruf (deskriptive Statistik s. *Anhang E.3.4*).

Mittlere Geschwindigkeit – Die mittlere Geschwindigkeit (in km/h) errechnete sich als Mittelwert über das jeweils gesamte Fahrscenario hinweg. Aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse ergab sich weder ein Haupteffekt für den Faktor Anruf ($F(1, 20) = 0.971$, $p = .336$, $\eta^2_p = .046$) noch ein Interaktionseffekt ($F(1, 21) = 2.703$, $p = .116$, $\eta^2_p = .119$). Allerdings resultierte ein signifikanter Haupteffekt für das Fahrmanöver ($F(1, 21) = 282.247$, $p < .001$, $\eta^2_p = .934$). Dieser ist jedoch lediglich ein Beleg für die unterschiedlichen gefahrenen Geschwindigkeiten in Abhängigkeit des Fahrmanövers – das Manöver Abbiegen wurde bewusst so umgesetzt, dass die Probanden verzögern mussten. Trotz fehlenden Interaktionseffektes wurden gemäß der aufgestellten Hypothese bedingte Haupteffekte für den Anruf auf den Stufen des Fahrmanövers (Abbiegen vs. Geradeausfahrt) separat getestet. Für jede Fahrsituation wurde dabei mit dem zweifachgestuften Faktor Anrufbedingung (mit Anruf vs. ohne Anruf) ein t-Test für verbundene Stichproben berechnet. Für die Abbiegesituation ergab sich hierbei ein signifikanter Unterschied ($t(23) = 5.02$, $p < .001$, einseitig, $d = 2.09$). Für die Geradeausfahrt hingegen konnte kein Unterschied gefunden werden ($t(23) = -0.414$, $p = .683$, einseitig, $d = 0.18$). Innerhalb des Abbiegemanövers fuhren die Probanden mit Anruf signifikant langsamer als ohne Anruf (deskriptive Statistik s. *Anhang E.3.5*).

Grundsätzlich konnte sowohl subjektiv als auch objektiv (für das Manöver Abbiegen) die erhöhte Beanspruchung des Fahrers bei einem eingehenden Anruf während der Fahrt nachgewiesen werden.

H3: Die Beanspruchung des Fahrers ist bei der Durchstellung des Anrufes (Konzept 1) höher im Vergleich zur Unterdrückung (Konzept 2) und zur Bedingung ohne Anruf (Konzept 3). Sowohl für die subjektiven als auch für die objektiven Daten wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung für den dreifach gestuften Faktor Informationsstrategie (Konzept 1 vs. Konzept 2 vs. Konzept 3) bezogen auf das Abbiegemanöver inklusive a priori geplanten Einzelvergleichen berechnet.

NASA TLX - Es ergab sich ein signifikantes Ergebnis für die subjektive Beanspruchung auf der Kreuzung bezüglich der drei Informationskonzepte ($F(2, 46) = 14.55$, $p < .001$, $\eta^2_p = .368$). Aus den Einzelvergleichen geht ein signifikanter Unterschied zwischen Konzept 1 (Durchstellung des Anrufes) und Konzept 2 (Unterdrückung des Anrufes) hervor ($t(25) = 3.739$, $p < .001$, einseitig, $d = 1.50$). Zwischen Konzept 2 und Konzept 3 ergab sich kein signifikanter Unterschied ($t(25) = 1.091$, $p = .143$, einseitig, $d = 0.44$) (deskriptive Statistik s. *Anhang E.3.6*).

Mittlere Geschwindigkeit – Für die einfaktorielle Varianzanalyse hinsichtlich der Geschwindigkeit in km/h konnte ein signifikantes Ergebnis berechnet werden

($F(2, 46) = 14.186, p < .001, \eta^2_p = .381$). Die a priori geplanten Einzelvergleiche ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen Konzept 1 und Konzept 2 ($t(24) = -3.512, p = .001$, einseitig, $d = 1.43$) und keinen Unterschied zwischen Konzept 2 und Konzept 3 ($t(23) = 0.057, p = .478$, einseitig, $d = 0.02$). Das heißt, die Probanden fuhren bei einer Durchstellung des Anrufes (Konzept 1) deutlich langsamer als mit unterdrücktem Anruf (Konzept 2) und auch langsamer als ohne Anruf (Konzept 3) (deskriptive Statistik s. *Anhang E.3.7*).

Zusammenfassend kann der Hypothese nicht nur auf subjektiver, sondern auch auf objektiver Ebene zugestimmt werden – Konzept 1 konnte als stärker beanspruchende Informationsstrategie klassifiziert werden im Vergleich zu Konzept 2 und Konzept 3.

H4: Der entwickelte Telefonmanager – welcher eingehende Anrufe in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung unterdrückt – wird im Feld akzeptiert.

Zur Erfassung der Akzeptanz des Fahrers gegenüber dem entwickelten Telefonmanager wurden die Akzeptanz-Skala (Vgl. Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997), zwei Konstrukte des Akzeptanzfragebogens von Arndt (2011) und ein paar selbstformulierte Fragen zu Falschaulösungen eingesetzt. Bei den beiden Erstgenannten erfolgte die Bewertung jeweils für den entwickelten Telefonmanager im Vergleich zu einer Fahrt ohne Telefonmanager. Daher wurden t-Tests für verbundene Stichproben berechnet. Die Auswertung der Fragen zu Falschaulösungen erfolgte rein deskriptiv.

Akzeptanz-Skala (Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997) - Die Reihenfolge der Beurteilung von Konzept 1 und Konzept 2 wurde über die Probanden hinweg permutiert. Analog der Empfehlung wurden die beiden Subskalen *Nützlichkeit* und *Zufriedenheit* berechnet. Die Voraussetzung auf Normalverteilung der Differenzwerte ist bei beiden Dimensionen gegeben (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: $z_{\text{Nützlichkeit}}(26) = 0.874, p = .430$; $z_{\text{Zufriedenheit}}(26) = 0.677, p = .749$). Der t-Test ergab sowohl für die Dimension *Nützlichkeit* ($t(26) = -2.148, p = .041$, zweiseitig, $d = -0.661$) als auch für die Dimension *Zufriedenheit* ($t(26) = -3.161, p = .004$, zweiseitig, $d = -0.96$) signifikante Ergebnisse. Konzept 2 wurde hinsichtlich der empfundenen Zufriedenheit und der empfundenen Nützlichkeit signifikant höher eingeschätzt (deskriptive Statistiken s. *Anhang E.3.8*).

Akzeptanz-Fragebogen (Arndt, 2011) – Analog der Akzeptanz-Skala wurde die Reihenfolge der Bewertung von Konzept 1 und Konzept 2 über die Probanden hinweg permutiert. Die Voraussetzung auf Normalverteilung der Differenzwerte ist für die beiden Konstrukte gegeben (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: $z_{\text{Komfort}}(26) = 0.704, p = .704$; $z_{\text{Sicherheit}}(26) = 0.825, p = .504$). Beide Mittelwertvergleiche wurden signifikant. Das heißt, der empfundene Komfort ($t(26) = 5.664, p < .001$, zweiseitig, $d = 1.456$) wie auch die empfundene

Sicherheit ($t(26) = 8.454, p < .001$, zweiseitig, $d = 2.407$) waren für Konzept 2 höher (deskriptive Statistiken s. *Anhang E.3.9*).

Akzeptanz gegenüber falschen Alarmen – Die vier Fragen zur Akzeptanz gegenüber Falschauslösungen (ein Anruf wird grundlos unterdrückt) wurden anhand von siebenstufigen Likert-Skalen abgefragt. Ein Großteil der Probanden (52 %) empfand den falschen Alarm als stark beziehungsweise sehr stark irritierend. Bezüglich der empfundenen Beeinträchtigung ergab sich ein konträres Bild – 22 % ($n = 6$) würden die Falschauslösung überhaupt nicht beeinträchtigend empfinden und 22 % ($n = 6$) würden die Falschauslösung sehr stark beeinträchtigend empfinden. Das Ärgernis über eine Falschauslösung wäre insgesamt sehr hoch (48 %). Die Akzeptanz gegenüber einer unberechtigten Unterdrückung fällt jedoch auch eher hoch aus (deskriptive Statistiken s. *Anhang E.3.10*). Grundsätzlich würde das grundlose Unterdrücken eingehender Anrufe die Probanden zwar irritieren und ärgern, zugunsten des Nutzens eines adaptiven Telefonmanagers würden sie jedoch sogar Falschauslösungen akzeptieren.

Die Akzeptanz gegenüber Konzept 2 war durchgehend höher als die gegenüber Konzept 1. Konzept 2 wurde nützlicher, zufriedenstellender, sicherer und komfortabler bewertet als Konzept 1. Zudem würden zugunsten der entwickelten Informationsstrategie Falschauslösungen größtenteils akzeptiert werden.

4.4.2.4 Diskussion

Die Studie hatte zum Ziel, die Übertragbarkeit des entwickelten Workloadmanagement-Ansatzes auf einen weiteren Informationsinhalt – den Telefonanruf – übertragbar zu machen. Dafür musste zunächst das Abbiegemanöver als beanspruchende Fahrsituation und der eingehende Anruf als Beanspruchung verursachende Information im Fahrzeug bestätigt werden.

Das Intervall vom Eingang des Anrufes bis zur Entgegennahme durch den Probanden (Responsezeit) liefert einen deutlichen objektiven Beleg dafür, dass die Abbiegesituation beanspruchender ist als die Geradeausfahrt. Untermauern lässt sich diese Erkenntnis anhand einer klaren Tendenz der subjektiven Beanspruchung des NASA TLX. Dass ein eingehender Anruf die Beanspruchung in einem komplexen urbanen Szenario (Linksabbiegen an einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung) zusätzlich erhöht, konnte wiederum anhand subjektiver und objektiver Daten bestätigt werden.

Bezüglich der drei realisierten Informationsstrategien – Konzept 1 (uneingeschränkte Durchstellung von Telefonanrufen; umgesetzt als Mathematikaufgabe am Telefon in Phase 4), Konzept 2 (Unterdrückung von Telefonanrufen in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung; umgesetzt als Meldung über einen verpassten Anruf in Phase 6) und Konzept 3 (kein Telefonanrufeingang; umgesetzt als Baseline) – konnte Konzept 1 sowohl subjektiv als auch

objektiv als am stärksten beanspruchende Bedingung klassifiziert werden. Zudem ist die Akzeptanz gegenüber Konzept 2 durchgängig bedeutend höher im Gegensatz zu Konzept 1. Die Unterdrückung von Anrufen in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung wird als nützlicher, zufriedenstellender, komfortabler und sogar als sicherer empfunden. Die Probanden würden zugunsten der entwickelten Informationsstrategie sogar Falschlösungen größtenteils akzeptieren.

Damit bestätigen die Ergebnisse alle Erwartungen. Es konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass ein Anruf während der Fahrt eine zusätzliche Beanspruchung hervorruft, indem sich Kompensationsmechanismen auf objektiver Ebene bemerkbar gemacht haben (Vgl. Shinar et al., 2004; Rosenbloom, 2006; Tractinsky, Ram & Shinar, 2013; Schindhelm, Gelau & Hoedemaker, 2004; Drews & Strayer, 2009; Kern et al., 2007; Verwey, 1993; Wickens et al., 2013). Während in der Geradeausfahrt die Beanspruchung, verursacht durch die Fahrsituation, sehr gering war und der Anruf dadurch besser kompensiert werden konnte, zeigte sich für das Abbiegemanöver eine selbstregulative Anpassung der gefahrenen Geschwindigkeit, sowie eine um 200 ms verzögerte Annahme des Anrufes (Vgl. De Waard, 1996). Der Telefonmanager ist nachweislich für das Manöver Abbiegen an einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung geeignet. Die Notwendigkeit eines adaptiven Workloadmanagements für beanspruchende Fahrsituationen konnte erneut bestätigt werden. Dabei kann der mentale Workload durch eine entsprechende Funktionalität merklich reduziert werden. Im Folgenden werden diesbezüglich die gewonnen Erkenntnisse aller durchgeführten Studien zusammengefasst und zu einem Gesamtfazit formuliert.

5 Gesamtdiskussion

Die Arbeit hat das Ziel, ein ganzheitliches, adaptives Workloadmanagement-Konzept zu entwickeln, welches den Workload des Fahrers verursacht durch die tertiäre Fahraufgabe besonders in komplexen urbanen Situationen minimieren soll. Aus der umfassenden Literaturrecherche ging zunächst hervor, welche kognitiven Voraussetzungen der Mensch mit sich bringt. In einem weiteren Schritt wurden die systemergonomischen Grundlagen diskutiert und entsprechende Anforderungen an (neue) Fahrerassistenz- und -informationssysteme definiert. Basierend auf den begrenzten menschlichen Ressourcen einerseits und den technischen Möglichkeiten andererseits, konnte die Notwendigkeit eines Workloadmanagers argumentiert werden. Vor dem Hintergrund, den Fahrer vor zu vielen parallelen Eindrücken zu schützen und ihm dennoch keine Informationen vorzuenthalten, wurden Anforderungen an ein Workloadmanagement definiert. Zudem wurde ein Überblick über vorhandene Ansätze gegeben und diese unter den eruierten Forderungen diskutiert. Besonders wichtig für die konkrete Entwicklung eines Ansatzes ist die Einhaltung der

ergonomischen Gestaltungsprinzipien Nutzertransparenz, Nachvollziehbarkeit und Erwartungskonformität. Außerdem soll eine gewisse Generalisierbarkeit sichergestellt werden. Um diesen genannten Anforderungen gerecht zu werden, wurde ein situativ steuerndes Workloadmanagement entwickelt. Im Gegensatz zu bereits vorhandenen Konzepten greift der Informationsfilter unabhängig von aktuellen Begebenheiten und Einflüssen immer in vordefinierten Situationen ein. Die deterministische, situationsbezogene Wirkweise wird von den Nutzern akzeptiert.

Der empirische Teil der Arbeit legte eine umfassende Konzeptentwicklungsphase zugrunde. Stets vor dem Hintergrund transparent, nachvollziehbar, erwartungskonform und generalisierbar zu sein, wurde zunächst ein Phasenkonzept – mit der Unterscheidung zwischen einer Infostufe und Phasen, in denen keine Informationsdarbietung stattfindet – konzipiert. Des Weiteren wurde die intuitive Einordnung konkreter Meldungsinhalte (unter Vorgabe bestimmter Kategorien) untersucht. Beide Etappen der Konzeptentwicklung lieferten einen umfassenden und nutzertransparenten – da ausschließlich auf subjektiven Urteilen des Fahrers basierend – Ansatz. Daraufhin wurde dieser in der Simulationsumgebung auf seine Eignung geprüft. In der Evaluierungsphase konnte diese sowohl hinsichtlich objektiver als auch hinsichtlich subjektiver Ergebnisse bestätigt werden. Eine höhere Nachvollziehbarkeit und Nutzertransparenz kann durch die deterministische Wirkweise des entwickelten Workloadmanagement-Konzeptes im Gegensatz zu vorhandenen Ansätzen angenommen werden. Die letzte Etappe diente dazu, dem Anspruch nach Generalisierbarkeit gerecht zu werden. Hierfür wurde der entwickelte Ansatz in ein Realfahrzeug integriert und auf dem Testgelände zwei weiteren umfassenden Studien unterzogen. Zum einen konnte die Übertragbarkeit des Phasenkonzeptes auf mindestens eine weitere statische beanspruchende urbane Fahrsituation sichergestellt werden. Zum anderen konnte das Konzept neben dem Informationsfilter für eingehende Car-2-X Meldungen auch auf einen Filter für eingehende Anrufe erweitert werden.

Im Folgenden wird noch einmal im Detail auf die einzelnen Etappen und Erkenntnisse eingegangen. Dabei werden die empirischen Schritte – Konzeptentwicklung und Evaluierung in der Simulationsumgebung sowie auf dem Testgelände – auf ihre Angemessenheit hin geprüft und unter aktuellen theoretischen Erkenntnissen kritisch hinterfragt. Außerdem werden praktische Implikationen des Konzeptes aufgezeigt. Dabei erfolgt der Vergleich zu den vorhandenen Ansätzen und eine Analyse der Eignung und Anwendbarkeit in der Realität. Schlussendlich wird ein Ausblick formuliert, der weitere Handlungsfelder in Verbindung mit dem entwickelten Workloadmanagement-Konzept charakterisiert und Hinweise auf zukünftige Entwicklungen inklusive deren Chancen und Risiken gibt.

5.1 Zusammenführen und Diskussion der Ergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt fünf Studien durchgeführt (Veranschaulichung des Vorgehens in Abbildung 03). Die Konzeptentwicklung impliziert eine Realfahrtstudie und eine Expertenbefragung zur Definition des situativen Workloadmanagement-Konzeptes.

In einem ersten Schritt wurde das Szenario „Überqueren einer T-Kreuzung mit Vorfahrt-Gewähren-Regelung“ hinsichtlich der subjektiven Beanspruchung näher betrachtet. Es konnte der Beweis für die erhöhte Fahrerbeanspruchung beim Manöver Kreuzung überqueren im Vergleich zum Manöver geradeaus fahren erbracht werden. Die Ergebnisse decken sich dabei mit den Annahmen aus den theoretischen Grundlagen. Zudem lieferten die Daten eine wesentliche Basis für das zugrunde gelegte Phasenkonzept. Es kann davon ausgegangen werden, dass unterschiedliche Phasen bei der Kreuzungsüberquerung unterschiedlich stark beanspruchend empfunden werden. Das abgeleitete Konzept unterscheidet schließlich nur dichotom – ist der Fahrer stark beansprucht, so werden eingehende Meldungen unterdrückt beziehungsweise zeitlich verzögert; ist der Fahrer nicht stark beansprucht, so werden eingehende Meldungen dargeboten. Die Annahme dieses Vorgehens folgt aus den Abstufungen hinsichtlich der subjektiven Beanspruchung. Während die angewandten Methodiken (Vgl. Kapitel 4.2.2, NASA TLX und 7-stufige Effort-Skala) eine differenzierte Abstufung zulassen, bewerteten die Probanden alle sechs Phasen nur anhand von drei signifikant unterschiedlichen Beanspruchungsniveaus. Das mittlere Beanspruchungsniveau wird im situativen Workloadmanager insofern berücksichtigt, als dass zuvor eingegangene Meldungen weiterhin präsentiert werden, neue Meldungen jedoch unterdrückt werden. Diese Informationsstrategie lässt sich außerdem anhand verfügbarer Zeitbudgets in den Phasen argumentieren (Vgl. Kapitel 4.2.3). Konkret bedeutet das: Es kann die Empfehlung für eine Unterdrückung von Meldungen in den Phasen 2 (ab 45 m vor Überqueren der Haltelinie) bis einschließlich Phase 5 (bis 5 m nach Überqueren der Haltelinie) ausgesprochen werden. Das entwickelte Workloadmanagement-Konzept beschreibt die Unterdrückung von Meldungen in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung zunächst als eine zeitliche Verzögerung. Eingehende Informationen werden dann zurückgehalten und erst präsentiert, wenn die geschätzte Beanspruchung des Fahrers geringer ist (mit Einfahren in Phase 6, ab 5 m nach Überqueren der Haltelinie). Obgleich in der Studie lediglich subjektive Variablen zur Operationalisierung von Beanspruchung erhoben wurden, gelten die Ergebnisse als übertragbar. Für die nachfolgenden Erhebungen ergab sich die Forderung nach objektiven Parametern zur Bestätigung der interpretierten Höhe von Fahrerbeanspruchung. Der Fokus auf den empfundenen Workload wurde an dieser Stelle jedoch ganz bewusst gewählt. Die Basis des

entwickelten Konzeptes muss die Kriterien Nutzertransparenz und Erwartungskonformität erfüllen.

Der zweite Schritt der Konzeptentwicklungsphase diente der Betrachtung ausgewählter Meldungsinhalte. Es können Kategorien gebildet werden, welche über die Darbietungsreihenfolge eingehender Meldungen entscheiden. Vor allem vor dem Hintergrund der Unterdrückung von Meldungen und einem möglicherweise einhergehenden Meldungsstau, ist die Bildung einer Reihenfolge zur Darbietung essentiell. Der Fahrer möchte prinzipiell keine Informationen erhalten, die nur eine geringe Eintretenswahrscheinlichkeit besitzen. Um schwer vorhersagbare Ereignisse (mit einer geringen Eintretenswahrscheinlichkeit) dennoch im Fahrzeug zu präsentieren und den Fahrer nicht zu verärgern, empfiehlt sich daher eine allgemeiner gefasste Darstellungsform. Ein Beispiel: An der vorausliegenden Kreuzung wird es Querverkehr geben. Aufgrund ungenauer Datenlage kann jedoch die konkrete Richtung (von links oder von rechts) nicht vorhergesagt werden. Es wird empfohlen, dem Fahrer lediglich die Meldung über bestehenden kreuzenden Verkehr – ohne Richtungsangabe – zu geben. Obgleich die Expertenbefragung durch ihre geringe Stichprobengröße kritisierbar ist, konnten doch für jeden Meldungsinhalt etliche Datenpunkte gesammelt werden. In Anlehnung an Campbell et al. (2007) waren alle Befragten Experten auf dem Gebiet *ergonomische Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle*. In weiteren Untersuchungen könnte überprüft werden, ob Laien ein ähnliches Antwortverhalten aufweisen würden.

Die Evaluationsphase gliedert sich in drei umfassende Studien. Das Konzept wurde zunächst im Fahrsimulator auf seine Eignung überprüft. Dabei erfolgte ein Abgleich zwischen einer Baseline, der Fahrt mit integriertem Workloadmanagement und einem Worst-Case-Szenario. Sowohl auf subjektiver als auch auf objektiver Ebene konnte die Angemessenheit des Konzeptes nachgewiesen werden. Da die Simulationsumgebung nicht immer dieselben Effekte wie eine Realfahrt aufweist – schon allein bedingt durch das andere Fahrgefühl ohne Querkräfte – wurde das Konzept weiterhin auf dem Feld getestet. Die Studie im Fahrsimulator war für die explorative Herangehensweise unerlässlich, so konnte beispielsweise ausgeschlossen werden, dass sicherheitskritische Situationen entstehen.

Um das Konzept abschließend auf weitere statische Situationen und zusätzliche Informationsinhalte übertragbar zu machen, wurden zwei weitere Evaluationsstudien als Realfahrt konzipiert. Aus den Daten ergibt sich eine deutliche Komforterrhöhung für den Fahrer, wenn dieser ein integriertes Workloadmanagement besitzt. Blickabwendungen können durch zeitlich verzögerte Meldungen in den Phasen erhöhter Beanspruchung vermieden werden (in Analogie zu Muigg, 2009 und Seitz, 2013).

Zusammenfassend konnte durch die sukzessive Herangehensweise ein Konzept entwickelt werden, welches nachweislich die Fahrerbeanspruchung in komplexen urbanen Situationen verringert, die Fahrperformanz verbessert, den Fahrkomfort erhöht und zugleich nutzertransparent, erwartungskonform und generalisierbar ist.

5.2 Praktische Implikationen

Eingangs beschriebene kognitionspsychologische Voraussetzungen des Menschen machen eine optimal an den Fahrerzustand angepasste Mensch-Maschine-Schnittstelle notwendig (Vgl. Bernotat, 1970; Geiser, 1984; Johannsen, 1993). Darunter fällt vor allem die ergonomische Gestaltung des Interfaces. Einhergehend mit der Zunahme von Informationen im Fahrzeug (Vgl. Stahlmann et al., 2011; Fuchs et al., 2015) wird die Berücksichtigung von Fahrerablenkung und -beanspruchung in diesem Zusammenhang immer zentraler (Vgl. Geiser, 1984; Färber, 2004; Bengler et al., 2005; Sprenger, 2008; Lee, Young & Regan, 2009). Die Notwendigkeit eines adaptiven Workloadmanagements konnte in Kapitel 2.3 umfassend argumentiert werden. Zudem konnten Schwachstellen der bestehenden Ansätze und Konzepte aufgezeigt (Vgl. Kapitel 2.3.2) und anhand dessen Anforderungen an einen neuartigen Konzeptentwurf (Vgl. Kapitel 3) formuliert werden. Eine zielführende Möglichkeit der Entlastung des Fahrers in komplexen urbanen Fahrsituationen besteht in der Unterdrückung beziehungsweise zeitlichen Verzögerung eingehender Meldungen in Phasen erhöhter Fahrerbeanspruchung. Das entwickelte adaptive Workloadmanagement basiert auf einem normativen Phasenkonzept. Sobald die Fahrer beginnen, sich mit der vorausliegenden komplexen Situation auseinanderzusetzen, werden eingehende Meldungen im Fahrzeug zeitlich verzögert beziehungsweise unterdrückt. Das Fehlen der Meldung (auch mit must-Inhalten) in diesem Moment wurde von keinem der Fahrer negativ aufgefasst. Vielmehr wird eine gewisse Entlastung messbar, welche die volle Aufmerksamkeit auf das Fahrgeschehen zulässt. Überdies konnte ein erhöhter Taskload auch anhand nicht detektierter Meldungen in beanspruchenden Situationen bestätigt werden (Vgl. Lavie, 1995). In komplexen Fahrsituationen lässt sich demzufolge keine automatische, sondern eine kontrollierte Verarbeitung beobachten. Die parallele Ausführung mehrerer Aufgaben wird hierbei durch die verteilte Aufmerksamkeit verhindert (Vgl. Schneider & Shiffrin, 1977; Goldstein, 2008). Die Fahrer waren bewiesenermaßen durch ihre kognitive Auslastung nicht immer in der Lage, richtig auf die dargebotenen Meldungen zu reagieren. Bezüglich der Reaktionszeiten gab es keine Unterschiede, da die Reaktionen in diesen Fällen geübt waren.

Aufgrund des deterministischen Ansatzes in Form einer situativ steuernden Informationsstrategie kann von einer erhöhten Nutzertransparenz und Erwartungskonformität ausgegangen werden. Zudem basiert die dichotome phasenabhängige Entscheidung über die

Darbietung oder die Unterdrückung/Verzögerung auf Nutzerurteilen hinsichtlich ihrer empfundenen Beanspruchungsniveaus.

Abschließend konnte der Ansatz auf eine weitere statische Situation übertragbar gemacht werden. Damit liegt die Annahme nahe, dass eine Ausweitung des Konzeptes prinzipiell möglich ist. Die Übertragbarkeit auf andere statische Situationen wird anhand des Phasenkonzeptes begünstigt. Die normative Phaseneinteilung kann als Raster beispielsweise analog auf den Einfädelvorgang auf einer Autobahn gelegt werden. Entscheidend ist die Phase der höchsten Beanspruchung (Phase 4). Beanspruchende Szenarien können zunächst analog der Definition von Praxenthaler (2003) durch eine zeitkritische Situation im Vorfeld und eine erhöhte Anforderung an Informationsverarbeitung und Aufmerksamkeit charakterisiert werden. Der Ort, an dem die zeitkritische Situation tatsächlich vorherrscht (tatsächliches Abbiegen an der Kreuzung, tatsächliches Ausweichen vor der Baustelle, tatsächliches Einfädeln in den Fließverkehr) entspricht dabei der Positionierung von Phase 4. Überdies bezieht sich das Konzept nicht mehr nur auf (Car-2-X) Meldungen, sondern schließlich auch auf den eingehenden Telefonanruf. Einzig gilt hierbei zu beachten, dass die Akzeptanz gegenüber falschen Alarmen – im Sinne von unbegründet unterdrückten Anrufen – eher gering ist. Das entwickelte Konzept kann allerdings als sehr robust gegenüber falschen Alarmen eingestuft werden. Nur in als beanspruchend klassifizierten Situationen wird der Workloadmanager aktiv. Die Phasen, in denen Meldungen und/oder Anrufe unterdrückt werden, umfassen schließlich nur eine sehr kurze Entfernung und damit nur eine begrenzte Zeitspanne. Eine Umsetzung im Fahrzeug setzt lediglich das Vorhandensein prädiktiver Streckendaten und eine genaue Positionsbestimmung des Fahrzeuges voraus.

5.3 Ausblick

Das ursprüngliche Konzept orientierte sich vordergründig an baulichen Merkmalen im Verlauf einer Kreuzungsüberquerung. Die Einteilung in sechs aufeinanderfolgende Phasen lieferte schließlich eine wichtige Basis für die Entscheidung zwischen „Infostufe“ und „keine Informationsdarbietung“. Das geometrische Konzept ist somit ohne Weiteres auf verschiedene komplexe, statische Situationen übertragbar. Um den Ansatz auch auf dynamische Szenarien, beispielsweise den Überholvorgang, zu erweitern, ist eine Umrechnung von den Distanzmaßen auf eine zeitliche Phasenabfolge notwendig. Obgleich Zeitbudgets robustere Werte liefern, sind sie dennoch von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängig. Das geometrische Phasenmodell hingegen kann auf verschiedene Geschwindigkeitsbereiche ohne Neuberechnungen angewendet werden. Als Ausblick kann die Umrechnung auf die Dauer der einzelnen Phasen in Sekunden gegeben werden. Dadurch könnte das entwickelte adaptive Workloadmanagement um zwei weitere wesentliche Komponenten ergänzt werden:

Die Definition der Phasen anhand von Zeitbudgets und die Übertragbarkeit auf dynamische Fahrsituationen.

Zwar ist eine umfassende Analyse von verschiedenen Meldungsinhalten erfolgt, dennoch konnten nicht alle denkbaren Informationen abgedeckt werden. Um neue Informationsinhalte in die bestehende Clustereinteilung (Vgl. Kapitel 4.2.2: must, should und could) zu integrieren, wird das Vorgehen nach Campbell et al. (2007) nahegelegt. Die gefundenen Ergebnisse aus der Expertenbefragung liefern eindeutige Beweise für die Eignung des Verfahrens. Nachträglich kann schließlich der eingehende Telefonanruf dem must-Cluster zugeordnet werden. Die Probanden beurteilten den Anruf als sehr relevant und wenig verzichtbar. Ein unbegründetes Unterdrücken eines eingehenden Anrufes wird nahezu nicht akzeptiert. Während die Unterdrückung in mental beanspruchenden Fahrsituationen als komfort- und sogar sicherheitserhöhend empfunden wird.

Schließlich wurde die Akzeptanz gegenüber falschen Alarmen beziehungsweise einer Fehlfunktion des entwickelten Workloadmanagements nur bedingt abgefragt. Offensichtlich wäre es dem Fahrer gar nicht bewusst, wenn bei einer Geradeausfahrt Meldungen fälschlicherweise unterdrückt würden. Die Informationen würden in diesem Fall lediglich zeitlich verzögert und mit gleicher Qualität und Quantität dargeboten werden. Anders gestaltet sich der Fehlerfall bei einem eingehenden Anruf – da im Zuge einer zeitlichen Verzögerung auch die Qualität verändert wird. Der Fehlerfall, dass Meldungen und Anrufe trotz integriertem Workloadmanagement in beanspruchenden Fahrsituationen dargeboten werden, wurde in der vorliegenden Arbeit nicht abgeprüft.

Über die diskutierten Kritikpunkte hinaus müsste das entwickelte situativ steuernde Workloadmanagement-Konzept in Langzeitstudien auf seine Eignung hin überprüft werden. Erst das Erleben der Funktion in vielen verschiedenen komplexen Verkehrssituationen lässt zuverlässige Aussagen über die tatsächliche Nutzertransparenz und Erwartungskonformität zu. In den beschriebenen Studien wurde zwar die Akzeptanz gegenüber dem Workloadmanager abgefragt und stets positiv bewertet. Langzeiteffekte und Reaktanz können aber erst bei größeren Nutzungsdauern tatsächlich ausgewertet werden. Das Abdecken möglichst vieler verschiedener, beanspruchender, urbaner Fahrsituationen und ein umfassendes Konzept für den Umgang mit eingehenden Telefonanrufen könnten zunächst Ansatzpunkte zur Komplettierung des entwickelten Workloadmanagements liefern, um diesen abschließend und umfassend als ganzheitliches Konzept im Straßenverkehr zu testen.

Literatur

- Abendroth, B. & Bruder, R. (2015). Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort (S. 3-15). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Alghamdi, W., Shakshuki, E. & Sheltami, T. (2012). Context-Aware Driver Assistance Systems. *Procedia Computer Science*, 10, S. 785-794.
- Allport, A. (1989). Visual Attention. In M. Posner (Hrsg.). *Foundations of cognitive science* (S. 631-682). Cambridge, MA: MIT Press.
- Allport, D.A., Antonis, B. & Reynolds, P. (1972). On the division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 24, S.225-235.
- Amditis, A., Andreone, L., Polychronopoulos, A. & Engström, J. (2005). Design and development of an adaptive integrated driver-vehicle interface: overview of the AIDE project. *Proceedings IFAC 16th World Congress, Prague*.
- Amditis, A., Polychronopoulos, A., Andreone, L. & Bekiaris, E. (2006). Communication and interaction strategies in automotive adaptive interfaces. *Cognitive Technology Work*, 3, S. 193–199.
- Andreone, L., Amditis, A., Deregibus, E., Damiani, S., Morreale, D. & Bellotti, F. (2005). Beyond Context-Awareness: Driver-Vehicle-Environment adaptivity: From the COMUNICAR project to the AIDE concept. In P. Zitek (Hrsg.), *Proceedings of the 16th IFAC World Congress* (S. 1196-1202). Prag: Elsevier Science & Technology.
- Arndt, S. (2011). Evaluierung der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen. Modell zum Kaufverhalten von Endkunden (Dissertation). Technische Universität Dresden, Dresden.
- AUDI AG online. Audi connect. Zuletzt überprüft am: 29.07.2016: <http://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/layer/audi-connect-lp.html>
- Baddeley, A.D. (1993). Working memory or working attention? In A. Baddeley & L. Weiskrantz (Hrsg.), *Attention: Selection, awareness, and control. A tribute to Donald Broadbent* (S. 152-170). Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley, A.D., Eysenck, M.W. & Anderson M.C. (2009). *Memory*. Hove: Psychology Press.
- Bak, P.M. (1999). Selektive Aufmerksamkeit und kognitive Ressourcen. Untersuchungen zum Flanker-Effekt (Dissertation). Universität Trier, Trier.
- Beatty, J. (1977). Pupillometric measurement of cognitive workload. *Proceedings 12th Annual Conference on Manual Control*, 11, S. 1-9.
- Bellet, T. & Tattegrain-Veste, H. (1997). A framework for modelling driving knowledge. In D. Harris (Hrsg.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Volume One, Transportation Systems* (S. 371-378). Aldershot: Ashgate Publishing Ltd.
- Bellet, T., Bornard, J.C., Mayenobe, P. & Gruyer, D. (2011). A computational model for car drivers Situation Awareness simulation: COSMODRIVE. *Proceedings of the First International Symposium on Digital Human Modeling, Lyon, France*.

- Bellet, T., Mayenobe, P., Bornard, J.-C., Paris, J.-C. & Gruyer, D. (2012). Human driver modelling and simulation into a virtual road environment. In P.C. Cacciabue, M. Hjalmdahl, A. Lüdtke & C. Riccioli (Hrsg.), *Human Modelling in Assisted Transportation: Models, Tools and Risk Methods* (S. 251-262). Milan: Springer.
- Bellotti, F., De Gloria, A., Montanari, R., Dosio, N. & Morreale, D. (2005). COMUNICAR: designing a multimedia, context-aware human-machine interface for cars. *Cognition, Technology and Work*, 1, S. 36-45.
- Benedetto, S., Pedrotti, M., Minin, L., Baccino, T. & Re, A. (2011). Driver workload and eye blink duration. *Transportation Research Part F* 14, S. 199-208.
- Bengler, K., Bubb, H., Totzke, I., Schumann, J. & Flemisch, F. (2005). Automotive. In M. Stein & P. Sandl (Hrsg.), *Information Ergonomics. A theoretical approach and practical experience in transportation* (S. 99-134). Heidelberg/London/New York: Springer.
- Bengler, K., Dietmayer, K., Färber, B., Maurer, M., Stiller, C. & Winner, H. (2012). Zukunft der Fahrerassistenz. Ein Strategiepapier der Uni-DAS. Darmstadt: Uni-DAS e.V.
- Bernotat, R. (1970). Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*, 13, S. 353–377.
- Birrell, S.A. & Fowkes, M. (2014). Glance behaviours when using an in-vehicle smart driving aid: A real-world, on-road driving study, *Transportation Research Part F*, S. 113-125.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*, 7. Aufl., Berlin: Springer Verlag.
- Bower, G.H. & Clapper, J.P. (1989). Experimental Methods in Cognitive Science. In M. Posner (Hrsg.). *Foundations of cognitive science* (S. 245-300). Cambridge, MA: MIT Press.
- Braess, H.-H. & Donges, E. (2006). Technologien zur aktiven Sicherheit von Personenkraftwagen – „konsumierbare“ oder echte Verbesserung? In: Tagung „Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz“, Technische Universität München.
- Broadbent, D.E. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Broadbent, D.E. (1964). Vigilance, *British medical Bulletin*, 20, S. 17-20.
- Brookhuis, K. A. & De Waard, D. (2002). Commentary. On the assessment of (mental) workload and other subjective qualifications. *Ergonomics*, 45, S. 1026-1030.
- Brookhuis, K. A., De Waard, D. & Fairclough, S. H. (2003). Criteria for driver impairment. *Ergonomics*, 46, S. 433-445.
- Broström, R., Engström, J., Agnvall, A. & Markkula, G. (2006). Towards the next generation Intelligent Driver Information System (IDIS): the Volvo Car Interaction Manager Concept, *Proceedings of the 13th ITS World Congress*. London: ERTICO.
- Bruno, N., Bernardis, P. & Gentilucci, M. (2008). Visually guided pointing, the Müller-Lyer illusion, and the functional interpretation of the dorsal-ventral split: Conclusions from 33 independent studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32, S. 423-437.
- Bubb, H. (1992). *Menschliche Zuverlässigkeit. Definitionen, Zusammenhänge, Bewertungen*. Landsberg: ecomed.

- Bubb, H. (2003). Fahrerassistenz primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit? In VDI –Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), 7. Tagung – Der Fahrer im 21. Jahrhundert Fahrer, Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme (VDI Berichte 1768) (S. 25-46). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Bubb, H. & Schmidtke, H. (1981). Analyse der Systemstruktur. In H. Schmidtke (Hrsg.), Lehrbuch der Ergonomie, (S. 263-285). München: Carl Hanser Verlag.
- Bubb, H. & Bengler, K. (2015). Fahrerassistenz. In H. Bubb, K. Bengler, R.E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), Automobilergonomie (S. 525-582). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Buchholz, K. (2003). Driver Advocate for Chrysler. Automotive Engineering International, S. 42.
- Bühl, A. (2010). PASW 18. Einführung in die moderne Datenanalyse, 12. Aufl. München: Pearson Education.
- Buld, S., Hoffmann, S., Totzke, I., Benmimoun, A., Chen, J. & Vollrath, M. (2006). Verkehrszustand als Basis für adaptive Fahrerassistenz am Beispiel der Autobahnauffahrt. 15. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, S. 1757-1782.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2012). Voraussichtliche Entwicklung von Unfallzahlen und Jahresfahrleistungen in Deutschland – Ergebnisse 2012.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2013). Voraussichtliche Entwicklung von Unfallzahlen und Jahresfahrleistungen in Deutschland – Ergebnisse 2013.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2014). Voraussichtliche Entwicklung von Unfallzahlen und Jahresfahrleistungen in Deutschland – Ergebnisse 2014.
- Burt, J.L., Bartolome, D.S., Burdette, D.W. & Comstock, J.R. (1995). A psychophysiological evaluation of the perceived urgency of auditory warning signals. Ergonomics, 38, S. 2327-2340.
- Campbell, J.L., Richard, C.M., Brown, J.L. & McCallum, M. (2007). Crash Warning System Interfaces: Human Factors Insights and Lessons Learned. (No. HS 810 697). Washington DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Carsten, O. (2014). Introduction to the special section: Can Workload take the strain?, In: O. Carsten & F. Vanderhaegen (Hrsg.), Cognition, technology & work (S. 285-287). London: Springer.
- Centro Ricerche FIAT (2003). COMUNICAR: Final Report / University of Siena, Volvo Car, DaimlerChrysler, Borg Instruments, Metravib, ICCS/NTUA, DIBE, FHG/IAO, BAST, TNO. Orbassano: Centro Ricerche FIAT. Forschungsbericht. COMUNICAR, IST-1999-1595 COmmunication Multimedia UNit Inside CAR, Final Report.
- Cohen, A.S. (1987). Blickverhalten und Informationsaufnahme von Kraftfahrern. Bericht zum Forschungsprojekt 8306/3 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach.
- Coltheart, M. (1984). Sensory memory: A tutorial review. In H. Bouma & D.G. Bouwhuis (Hrsg.), Attention and Performance, X: Control of Language Processes (S. 259–285). Hillsdale: Erlbaum.

- Convention on Road Traffic, Vienna, 8 November 1968. Status at 28-3-2016. United Nations Treaty Collection.
- Corwin, W.H. (1989). In-flight and post-flight assessment of pilot workload in commercial transport aircraft using SWAT. Proceedings of the fifth Annual Symposium on Aviation Psychology, 2, S. 77-93.
- Cowan, N. (1988). Evolving Conceptions of Memory Storage, Selective Attention, and Their Mutual Constraints within the Human Information-Processing System, Psychological Bulletin, 104, S. 163-191.
- Cowan, N. (1995). Attention and memory: An integrated framework. New York: Oxford University Press.
- Deregibus, E. (2008). ICA - Interaction and Communication Assistant. Presentation at the AIDE final workshop and exhibition. Göteborg: AIDE.
- De Waard, D. (1996). The measurement of drivers' mental workload (Dissertation). Universität Groningen, Haren.
- De Waard, D. & Lewis-Evans, B. (2014). Self-report scales alone cannot capture mental workload. A reply to De Winter, Controversy in human factors constructs and the explosive use of the NASA TLX: a measurement perspective. Cognition Technology & Work, 16, S. 303-305.
- DEKRA Automobil GmbH (2015). Verkehrssicherheitsreport 2015 - Zukunft aus Erfahrung. Strategien zur Unfallvermeidung auf den Straßen Europas. Stuttgart: EuroTransportMedia Verlags- und Veranstaltungs-GmbH.
- Deutsch, J.A. & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. Psychological Review, 70, S. 80-90.
- DIN IEC 60050-351 (2014). Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch. Teil 351: Leittechnik. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241-11 (1999). Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit – Leitsätze. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 10075-1 (2000). Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. Teil 1: Allgemeines und Begriffe. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 10075-2 (2000). Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. Teil 2: Gestaltungsgrundsätze. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 10075-3 (2000). Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. Teil 3: Grundsätze und Anforderungen an Verfahren zur Messung und Erfassung psychischer Arbeitsbelastung. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 6385 (2004). Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241-110 (2008). Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung. Berlin: Beuth Verlag.

- DIN EN ISO 15008 (2011). Straßenfahrzeuge – Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen – Anforderungen und Bewertungsmethoden der visuellen Informationsdarstellung im Fahrzeug. Berlin: Beuth Verlag.
- Dirican, A.C. & Göktürk, M. (2011). Psychophysiological Measures of Human Cognitive States applied in Human Computer Interaction. In *Procedia Computer Science*, 3, S. 1361-1367.
- Donders, F.C. (1868). Die Schnelligkeit psychischer Prozesse. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, 6, S. 657-681.
- Donges, E. (1977). Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug (Dissertation), Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt.
- Donges, E. (2015). Fahrerhaltensmodelle. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (S. 17-26). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Drews, F.A. & Strayer, D.L. (2009). Cellular phones and driver distraction. In M.A. Regan, J.D. Lee & K.L. Young (Hrsg.), *Driver distraction. Theory, effects, and mitigation* (S. 169-190). London/New York: Taylor & Francis.
- Drüke, J. (2017). Introduction of Human-Machine Interaction for Urban Environments. In: K. Bengler, J. Drüke, S. Hoffmann, D. Mannstetten & A. Neukum (Hrsg.), *UR:BAN Human Factors in Traffic. Approaches for Safe, Efficient and Stress-free Urban Traffic* (S. 49-51). Springer Vieweg, Heidelberg.
- Drüke, J., Semmler, C. & Bendewald, L. (2017). The "HMI tool kit" as a Strategy for the Systematic Derivation of User-Oriented HMI Concepts of Driver Assistance Systems in Urban Areas. In: K. Bengler, J. Drüke, S. Hoffmann, D. Mannstetten & A. Neukum (Hrsg.), *UR:BAN Human Factors in Traffic. Approaches for Safe, Efficient and Stress-free Urban Traffic* (S. 53-74). Springer Vieweg, Heidelberg.
- Eggemeier, F.T. & Wilson, G.F. (1991). Performance-based and subjective assessment of workload in multi-task environments. In D.L. Damos (Hrsg.), *Multiple-task performance*. (S. 217-278). London: Taylor & Francis.
- Eilers, K., Nachreiner, F. & Hänecke, K. (1986). Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 40, S. 215-224.
- Eriksen, C.W. & Yeh, Y.-Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, S. 583-597.
- Eriksen, C.W. & St. James, J.D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model, *Perception and Psychophysics*, 40, S. 225-240.
- European Commission (2015). Annual Accident Report. European Commission, Directorate General for Transport, June 2015.
- Fanghänel, J., Pera, F., Anderhuber, F. & Nitsch, R. (2003). *Anatomie des Menschen*, 17. Aufl., Berlin: Walter de Gruyter.

- Fastenmeier, W. (1995). Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem. In W. Fastenmeier (Hrsg.), *Autofahrer und Verkehrssituation - Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme (Mensch-Fahrzeug-Umwelt, Bd. 33)*, (S. 27-78). Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Fastenmeier, W. & Gstalter, H. (2003). Entwicklung und Anwendung einer neuen Methodik zur Fahraufgabenanalyse. *VDI Berichte*, 1768, S. 197-213.
- Fastenmeier, W., & Gstalter, H. (2007). Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. *Safety Science*, 45, S. 952-979.
- Färber, B. (2004). Erhöhter Fahrernutzen durch Integration von Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen. In Maurer, M. & C. Stiller (Hrsg.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (S. 141-160). Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Färber, B. (2006). (Un)sichtbare Beifahrer – was Autofahrer von Fahrerassistenzsystemen erwarten (können), Vortrag 1, 12. DVR-Forum Sicherheit und Mobilität München, 21.09.2006, *Fahrerassistenzsysteme – Innovationen im Dienste der Sicherheit*, S. 8-13.
- Färber, B. & Färber, B. (2003). Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf das Fahrerverhalten. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen. Forschungsbericht. Bericht zum Forschungsprojekt 82.128 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Mensch und Sicherheit, Heft M 149.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G. & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, S. 175-191.
- Flemisch, F., Winner, H., Bruder, R. & Bengler, K. (2015). Kooperative Fahrzeugführung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (S. 1103-1110). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Forbes, T.W. (1972). *Human factors in highway traffic safety research*, New York: Wiley.
- Francolini, C.N. & Egeth, H.E. (1980). On the non-automaticity of automatic activation: Evidence of selective seeing. *Perception and Psychophysics*, 27, S. 331-342.
- Friedman, N.P. & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, S. 101-135.
- Fuchs, H., Hofmann, F., Löhr, H. & Schaaf, G. (2015). Car-2-X. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (S. 525-540). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Galinsky, T.L., Rosa, R.R., Warm, J.S. & Dember, W.N. (1993). Psychophysical determinants of stress in sustained attention. *Human Factors*, 35, S. 603-614.
- Gasser, T.M., Seeck, A. & Walker Smith, B. (2015). Rahmenbedingungen für die Fahrerassistenzentwicklung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (S. 27-54). Wiesbaden: Springer Vieweg.

- Geiser, G. (1984). Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug. Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. -FAT-, Frankfurt/Main: BAST-Symposium Sprachliche Informationssysteme und Anwendungsmöglichkeiten im Kraftfahrzeug, FAT-Schriftenreihe 44, S. 11-41.
- Geiser, G. (1990). Mensch-Maschine-Kommunikation. München, Wien: Oldenbourg.
- Gelau, C., Schindhelm, R., Bengler, K., Engelsberg, A., Portouli, V., Pagle, K. & Berninger, H. (2008). Recommendations for HMI Guidelines and Standards, Sub Project: Horizontal activities, Information Society Technologies (IST) Programme, Adaptive Integrated Driver-Vehicle Interface, Contract N. IST-1-507674-IP.
- Gibson, J.J. (1979). The Ecological approach to visual perception. Boston: Houghton-Mifflin.
- Godthelp, H., Färber, B., Groeger, J. & Labiale, G. (1993). Driving: task and environment. In J.A. Michon (Hrsg.), Generic Intelligent Driver Support: A Comprehensive Report on GIDS (S. 19-32). London: Taylor & Francis.
- Goldstein, E.B. (1989). Sensation and Perception, 3. Aufl. Belmont, CA: Wadsworth.
- Goldstein, E.B. (2008). Cognitive Psychology. Belmont, CA: Wadsworth.
- Gonzalez, C., Lewis, B.A., Roberts, D.M., Pratt, S.M. & Baldwin, C.L. (2012). Perceived urgency and annoyance of auditory alerts in a driving context. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 56th annual meeting, S. 1684-1687.
- Gottsdanker, R. & Shragg, G.P. (1985). Verification of Donders' Subtraction Method. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 11, S. 765-776.
- Gray, J.A. & Wedderburn, A.I. (1960). Grouping strategies with simultaneous stimuli. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 12, S. 180-184.
- Green, P. (2004). Driver Distraction, Telematics Design, and Workload Managers: Safety Issues and Solutions. SAE Paper Number 2004-21-0022.
- Gregory, R.L. (1964). Human Perception, British medical bulletin, 20, S. 21-26.
- Gulian, E., Glendon, I., Matthews, G., Davies, R. & Debney, L. (1988). Exploration of driver stress using self-reported data. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Hrsg.), Road user behavior. Theory and research (S. 342-347). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Hacker, W. (1980). Spezielle Arbeits- und Ingenieurpsychologie in Einzeldarstellungen. Psychische Fehlbeanspruchung: Psychische Ermüdung, Monotonie, Sättigung und Streß, Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Hancock, P.A. & Warm, J.S. (1989). A dynamic model of stress in sustained attention. Human Factors, 31, S. 519-537.
- Hancock, P.A. & Verwey, W.B. (1997): Fatigue, workload and adaptive driver systems. Accident Analysis and Prevention, 29, S. 495-506.
- Hart, S.G. & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P.A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.) Human mental workload (S. 139-183). Amsterdam: North-Holland.

- Hart, S.G. (2006). NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting, S. 904-908.
- Hipp, E., Bengler, K., Kressel, U. & Feit, S. (2017). The Research Initiative UR:BAN. In: K. Bengler, J. Drüke, S. Hoffmann, D. Mannstetten & A. Neukum (Hrsg.), UR:BAN Human Factors in Traffic. Approaches for Safe, Efficient and Stress-free Urban Traffic (S. 3-26). Springer Vieweg, Heidelberg.
- Ho, C. & Spence, C. (2008). The multisensory driver: Implications for ergonomic car interface design. Aldershot, Ashgate.
- Hoedemaeker, M., De Ridder, S.N. & Janssen, W.H. (2002). Review of European Human Factors Research on Adaptive Interface Technologies for Automobiles. Soesterberg: TNO Human Factors. Forschungsbericht. TNO-report TM-02-C031, Contractor US DOT/RSPA/Volpe Center, Cambridge, MA, USA. Project Number 013.72103.
- Höger, R., Wiethof, M. & Rheker, T. (2012). Complexity measures of traffic scenarios. In L. Dorn, G. Matthews & I. Glendon (Hrsg.), Human Factors in road and rail transport. Driver behaviour and training (S. 289-298). Farnham/Burlington: Ashgate Publishing Limited.
- Hoffman, J.E. (1986). Spatial attention in vision: Evidence for early selection. Psychological Research, 48, S. 221-229.
- Hoogendoorn, R., Hoogendoorn, S., Brookhuis, K. & Daamen, W. (2010). Psychological elements in car-following models: Mental workload in case of incidents in the other driving lane. Procedia Engineering 3, S. 87-99.
- Horrey, W. J., Wickens, C. D. & Consalus, K. P. (2006): Modeling Drivers' Visual Attention Allocation While Interacting With In-Vehicle Technologies, Journal of Experimental Psychology: Applied, 2006, 2, S. 67-78.
- IRTAD International Traffic Safety Data and Analysis Group (2015). Road Safety Annual Report 2015. Summary. Paris: International Transport Forum.
- ISO/TR 12204 (2012). Road vehicles – Ergonomic aspects of transport information and control systems – Introduction to integrating safety critical and time critical warning signals. Genf: International Organization for Standardization.
- Janssen, W.H., Alm, H., Michon, J.A. & Smiley, A. (1993). Driver support. In J.A. Michon (Hrsg.), Generic Intelligent Driver Support: A Comprehensive Report on GIDS (S. 53-66). London: Taylor & Francis.
- Johannsen, G. (1977). Definition, Aufgabe und Einteilung der Mensch-Maschine-Systeme. In G. Johannsen, H.E. Boller, E. Donges & Stein, W. (Hrsg.), Der Mensch im Regelkreis – Lineare Modelle (S. 13-17). München/Wien: R. Oldenbourg Verlag.
- Johannsen, G. (1993). Mensch-Maschine-Systeme. Berlin: Springer-Verlag.
- Johnson-Laird, P.N. (1989). Mental Models. In M. Posner (Hrsg.). Foundations of cognitive science (S. 469-499). Cambridge, MA: MIT Press.
- Kahneman, D. (1973). Attention and Effort. Englewood Cliffs, USA: Prentice Hall.
- Kalsbeek, J.W. & Sykes, R.W. (1967). Objective measurement of mental load. Acta Psychologica, 27, S. 253-261.

- Kanisza, G. (1976). Subjective contours. *Scientific American*, 234, S. 48-52.
- Keller, M., Khelifi, R. & Sofra, N. (2012). Situationsadaptive und kooperative Assistenz in Kreuzungsbereichen. In VDI – Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), 28. VDI/VW Gemeinschaftstagung (VDI Berichte 2166). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Kerkau, F. (2006). Biosignale der Pupille zur Steuerung intelligenter User-Interfaces (Dissertation). Freie Universität Berlin, Berlin.
- Kern, D., Schmidt, A., Pitz, M. & Bengler, K. (2007). Status- und Kontextinformationen für die Telekommunikation im Auto. In T. Gross (Hrsg.), *Mensch & Computer 2007: Konferenz für interaktive und kooperative Medien* (S. 119-128). München: Oldenbourg Verlag.
- Kincses, W.E., Hahn, S., Schrauf, M. & Schmidt, E. A. (2008). Mobiles EEG zur Messung der mentalen Fahrerbeanspruchung. *ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift*. 03/2008, 110, S. 204-209.
- Köhler, L., Mergl, C., Blaese, D. & Bengler, K. (2013). Fahrerbeanspruchung im urbanen Raum: Erhebung der subjektiven Beanspruchung des Fahrers bei einer Kreuzungsüberquerung. In VDI – Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), 7. Tagung – Der Fahrer im 21. Jahrhundert Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit (VDI Berichte 2205) (S. 237-250). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Köhler, L., Bengler, K., Mergl, C., Maier, K. & Wimmer, M. (2014). Validation of a Telephone Manager for stressful driving situations. In D. de Waard et al. (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2014 Annual Conference*.
- Köhler, L. & Boos, B. (2014). DE Patent Nr. 10 2014 014 601 A1 2016.04.07. München, Deutschland: Deutsches Patent- und Markenamt.
- Köhler, L. & Boos, B. (2015). Internationale Patent Nr. WO 2016/055135 A1. Genf, Schweiz: Weltorganisation für geistiges Eigentum, Internationales Büro.
- Köhler, L. & Boos, B. (2016). CN Patent Nr. CN 106165379 B. State Intellectual Property Office of the People's Republic of China.
- Köhler, L., Bengler, K., Mergl, C. & Wurm, F. (2015). Priorisierung und Kategorisierung von Meldungen im Fahrzeug. Expertenbefragung zu fahrrelevanten Informationen. In VDI – Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), 8. Tagung – Der Fahrer im 21. Jahrhundert Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit (VDI Berichte 2264) (S. 295-308). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- König, W., Weiß, K.-E. & Mayser, C. (2003). 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 (S. 351-365), Band 1789. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- König, W. (2015) Nutzergerechte Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion von Fahrerassistenzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (S. 621-632). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Kondzior, M. (2007). Deutsche Version der Akzeptanzskala. Methode zur Erfassung der Akzeptanz eines Systems: Zuletzt überprüft am 29.07.2016 http://www.hfes-europe.org/accept/accept_de.htm

- Kraftfahrt-Bundesamt (2013a): Pressemitteilung Nr. 1/2013. Fahrzeugzulassungen im Dezember 2012. Jahresbilanz, Flensburg.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2013b): Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2013 gegenüber 1. Januar 2012. Zentrales Fahrzeugregister (ZFZR), Flensburg.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2014a): Pressemitteilung Nr. 02/2014. Fahrzeugzulassungen im Dezember 2013. Jahresbilanz, Flensburg.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2014b): Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2014 gegenüber 1. Januar 2013. Zentrales Fahrzeugregister (ZFZR), Flensburg.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2015a): Pressemitteilung Nr. 01/2015. Fahrzeugzulassungen im Dezember 2014. Jahresbilanz, Flensburg.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2015b): Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2015 gegenüber 1. Januar 2014. Zentrales Fahrzeugregister (ZFZR), Flensburg.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2015c): Pressemitteilung Nr. 15/2015. 14.259 Kilometer: Die jährliche Fahrleistung deutscher Pkw. Flensburg.
- Krause, M. & Bengler, K. (2012). Traffic Light Assistant – Evaluation of Information Presentation. In G. Salvendy & W. Karwowski (Hrsg.), *Advances in Human Factors and Ergonomics 2012. Proceedings of the 4th Ahfe Conference*, S. 6786–6795.
- Krüger, K., Küting, H.J. & Entenmann, V. (2001). Optimierung der Kompetenz älterer Fahrerinnen und Fahrer durch frühzeitige Navigationshinweise und Knotenpunktinformationen. In VDI-Berichte Nr. 1613 (S. 153-169). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Kuiken, M.J. & Colk, H. van der (1988). Right of way regulations for bicycles at intersections. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Hrsg.), *Road user behavior. Theory and research* (S. 616-621). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Kühn, M. & Hannawald, L. (2015). Verkehrssicherheit und Potenziale von Fahrerassistenzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (S. 55-70). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Kunz, W. & Rittel, H. (1972). *Die Informationswissenschaften. Ihre Ansätze, Probleme, Methoden und ihr Ausbau in der Bundesrepublik Deutschland*, München/Wien: Oldenbourg Verlag.
- Langer, I., Abendroth, B. & Bruder, R. (2015). Fahrerzustandserkennung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (S. 687-698). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, S. 451-468.
- Lavie, N. (2005). Distracted or confused? Selective attention under load. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, S. 75-82.

- Lavie, N. & Tsal, Y. (1994). Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual attention. *Perception and Psychophysics*, 56, S. 183-197.
- Lee, J.D., Caven, B., Haake, S. & Brown, T.L. (2001). Speech-Based Interaction with In-Vehicle Computers: The Effect of Speech-Based E-Mail on Drivers' Attention to the Roadway. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 43, S. 631-640.
- Lee, J.D., Young, K.L. & Regan, M.A. (2009). Defining driver distraction. In M.A. Regan, J.D. Lee & K.L. Young (Hrsg.), *Driver distraction. Theory, effects, and mitigation* (S. 31-40). London/New York: Taylor & Francis.
- Leggatt, A. & Noyes, J. (1997). Workload judgements: self-assessment versus assessment of others. In D. Harris (Hrsg.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Volume One, Transportation Systems* (S. 443-449). Aldershot: Ashgate Publishing Ltd.
- Lermer, R. (2010). Konzeption und Bewertung eines fahrsituations- und fahrerleistungsadaptiven Warn- und Informationsmanagers (Dissertation). Universität der Bundeswehr München, München.
- Levine, M.W. (2000). *Fundamentals of sensation and perception*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Luczak, H. (1975). *Untersuchungen informatorischer Belastung und Beanspruchung des Menschen*, Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Mantzke, O., Vilimek, R. & Carbon, C.C. (2013). Driver Distraction: Weiterentwicklung einer Methode zur Messung von kognitiver Beanspruchung durch Anzeige- und Bedienkonzepte im Fahrzeug, Grundlagen und Anwendungen der Mensch-Maschine-Interaktion, 10. *Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme*, S. 75-82.
- Marberger, C. & Kondzior, M. (2007). Kontinuierliche Kopfgesten - eine alternative Eingabeform für menübasierte Informationssysteme? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 61, S. 213-222.
- Marshall, D., Lee, J.D. & Austria, A. (2001). Annoyance and urgency of auditory alerts for in-vehicle information system. *Human Factors and Ergonomics Annual Meeting*, 2, S. 1627-1631.
- McKnight, A. J. & Adams, B.B. (1970a). Driver education task analysis. Volume I: Task descriptions. Final report, contract no. FH 11-7336. Alexandria, VA: Human Resources Research Organization.
- McKnight, A. J. & Adams, B.B. (1970b). Driver education task analysis. Volume II: Task analysis methods. Final report, contract no. FH 11-7336. Alexandria, VA: Human Resources Research Organization.
- McRuer, D. & Krendel, E. (1962). The Man-Machine System Concept. *Proceedings of the IRE*, 50, S. 1117-1123.
- McRuer, D.T. & Jex, H.R. (1967). A Review of Quasi-Linear Pilot Models. *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, 8, S. 231-249.

- Metz, B. (2009). Worauf achtet der Fahrer? Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben (Dissertation). Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg.
- Michon, J.A. (1985). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do?. In L. Evans & R.C. Schwing (Hrsg.), *Human behavior and traffic safety*, (S. 485-520), New York: Plenum Press.
- Michon, J.A. (1993). *Generic Intelligent Driver Support: A Comprehensive Report on GIDS*. London: Taylor & Francis.
- Milligan, G.W. (1981). A monte carlo study of thirty internal criterion measures for cluster analysis. *Psychometrika*, 46, S. 187-199.
- Mishkin, M., Ungerleider, L.G. & Macko, K.A. (1983). Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6, S. 414-417.
- Moray, N. (1979). Models and Measures of Mental Workload. In N. Moray (Hrsg.), *Mental Workload – Its Theory and Measurement* (S. 13-21). New York: Plenum Press.
- Müller, H.I. & Rabbit, P.M. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: Time course of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, S. 315-330.
- Muigg, A. (2009). *Implizites Workloadmanagement – Konzept einer zeitlich-situativen Informationsfilterung im Automobil*. Dissertation, Technische Universität München.
- Mulder, G. & Mulder-Hajonides van der Meulen, W.R.E.H. (1973). Mental load and the measurement of heart rate variability. *Ergonomics*, 16, S. 69-83.
- Mulder, L. J. (1992). Measurement and analysis methods of heart rate and respiration for use in applied environments. *Biological Psychology*, 34, S. 205-236.
- Nåbo, A. (2008). *Dialog Management System: IVSS Project Report*. Göteborg: IVSS, 2008. Forschungsbericht. AL80B 2004:10254.
- Naujoks, F., Grattenthaler, H. & Neukum, A. (2012). Zeitliche Gestaltung effektiver Fahrerinformationen zur Kollisionsvermeidung auf der Basis kooperativer Perzeption. In K. Dietmayer, K. Bengler, B. Färber, M. Maurer, C. Stiller & H. Winner (Hrsg.), 8. Workshop Fahrerassistenzsysteme – FAS 2012 (S. 107-117). Darmstadt: Uni-DAS e.V.
- Naujoks, F., Grattenthaler, H. & Neukum, A. (2013). Fahrerseitiger Unterstützungsbedarf in drohenden Verkehrskonfliktszenarien und Wirksamkeitsuntersuchung frühzeitiger Fahrerinformationen basierend auf kooperativer Umfelderkennung. In E. Brandenburg, L. Doria, A. Gross, T. Günzler. & H. Smieszek (Hrsg.), *Proceedings of the 10. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 397-407). Berlin: ZMMS.
- Noordzij, P. (1988). Studies of safety at intersections: some theoretical and methodological issues. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Hrsg.), *Road user behavior. Theory and research* (S. 622-625). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Norman, D.A. (1968). Toward a theory of memory and attention, *Psychological Review*, 75, S. 522-536.
- OECD/ITF (2015). *Road Safety Annual Report 2015*, Paris: OECD Publishing.

- O'Donnell, R.D. & Eggemeier, F.T. (1986). Workload assessment methodology. In K.R. Boff, L. Kaufmann & J.P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance*. Volume II, *Cognitive Processes and Performance*, Kapitel 42 (S. 1-49). New York: Wiley.
- Pagle, K. (2008). Driver-Vehicle-Environment monitoring modules. Presentation at the AIDE final workshop and exhibition. Göteborg: AIDE.
- Palmer, S. & Kimchi, R. (1984). The information processing approach to cognition. In T.J. Knapp & L.C. Robertson (Hrsg.), *Approaches to cognition: contrasts and controversies*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Piechulla, W., Peißner, M., Werse, J. & Zimmer, A. (2001). Diagnose von Fahrerzuständen mittels Fahrverhalten. In F. Lehner & K.J. Schäfer (Hrsg.), *Dokumentation zum Informationstag 2001 Mobile Computing*. Bericht Nr. 56, Universität Regensburg, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik III.
- Piechulla, W., Mayser, C., Gehrke, H. & König, W. (2002). Echtzeit-Fahrerbeanspruchungsschätzung. In R. Hammwöhner, C. Wolff & C. Womser-Hacker (Hrsg.), *Information und Mobilität, Optimierung und Vermeidung von Mobilität durch Information*. Proceedings des 8. Internationalen Symposiums für Informationswissenschaft (S. 365 – 368). Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH.
- Piechulla, W., Mayser, C., Gehrke, H. & König, W. (2003a). Online-Fahrerbeanspruchungsschätzung. In 38. BDP-Kongress für Verkehrspsychologie. Regensburg: Berufsverband Deutscher Psychologinnen und Psychologen.
- Piechulla, W., Mayser, C., Gehrke, H. & König, W. (2003b). Reducing drivers' mental workload by means of an adaptive man-machine interface. In *Transportation Research Part F*, 6, S. 233–248.
- Plavsic, M. (2010). *Analysis and Modeling of Driver Behavior for Assistance Systems at Road Intersections* (Dissertation). Technische Universität München, München.
- Plavsic, M., Bengler, K. & Bubb, H. (2010). Analysis of Glance Movements in Critical Intersection Scenarios. Proceedings 3rd Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE) International Conference, Miami, U.S.
- Poitschke, T.M. (2011). *Blickbasierte Mensch-Maschine Interaktion im Automobil* (Dissertation). Technische Universität München, München.
- Popiv, D., Rommerskirchen, C., Rakic, M., Duschl, M. & Bengler, K. (2010a). Effects of assistance of anticipatory driving on driver's behaviour during deceleration situations, In *Proceedings of the 2nd European Conference on Human Centred Design of Intelligent Transport Systems (HUMANIST '10)*, Berlin, Germany.
- Popiv, D., Rakic, M., Laquai, F., Duschl, M. & Bengler, K. (2010b). Reduction of fuel consumption by early anticipation and assistance of deceleration phases, In *Proceedings of the World Automotive Congress of International Federation of Automotive Engineering Societies (FISITA '10)*, Budapest, Hungary.
- Poppe, F. (1988). Intersection lay-out, traffic volumes and accidents. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Hrsg.), *Road user behavior. Theory and research* (S. 626-631). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Posner, M.I. (1978). *Chronometric Explorations of Mind*. Hillsdale: Erlbaum.

- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, S. 3-25.
- Posner, M.I. & Snyder, C.R.R. (1975). Attention and cognitive control. In R.L. Solso (Hrsg.), *Information Processing and Cognition. The Loyola Symposium* (S. 55-85). Hillsdale: Erlbaum.
- Posner, M.I., Snyder, C.R.R. & Davidson, B.J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, S. 160-174.
- Quist, B. (1988). The application of human error models in accident hypothesis formulation. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Hrsg.), *Road user behavior. Theory and research* (S. 26-32). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Raby, M. & Wickens, C.D. (1990). Planning and scheduling in flight workload management. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, S. 71-75.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules and Knowledge: Signals, Signs and Symbols, and other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13, S. 257-266.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction. An approach to cognitive engineering*. New York: Elsevier Science Publishing.
- Regan, M.A., Young, K.L., Lee, J.D. & Gordon, C.P. (2009). Sources of driver distraction. In M.A. Regan, J.D. Lee & K.L. Young (Hrsg.), *Driver distraction. Theory, effects, and mitigation* (S. 249-280). London/New York: Taylor & Francis.
- Reichart, G. & Haller, R. (1995). Mehr aktive Sicherheit durch neue Systeme für Fahrzeug und Straßenverkehr. In W. Fastenmeier (Hrsg.), *Mensch – Fahrzeug – Umwelt: Vol. 33. Autofahrer und Verkehrssituation. Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme* (S. 199-216). Köln: TÜV Rheinland.
- Ribback, S. (2003). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen* (Dissertation). Universität Potsdam, Potsdam.
- Richter, G. (2000). *Psychische Belastung und Beanspruchung. Stress, psychische Ermüdung, Monotonie, psychische Sättigung*. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Forschungsanwendungsbericht 36. Wirtschaftsverlag NW: Bremerhaven.
- Robertson, S. & Goodwin, P. (1988). Driver stress and the process of highway design; a pilot investigation of heart rate as an aid to road system appraisal using low cost equipment. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Hrsg.), *Road user behavior. Theory and research* (S. 359-365). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Rockwell, T.H. (1972). Eye movement analysis of visual acquisition in driving: an overview. *Proceedings of the 6th Conference of the Australian Road Research Board*, 6, S. 316-331.
- Rösler, D. (2010). *Fahrrelevanz von Elementen des Straßenverkehrs - Beschreibung, Erfassung und Anwendung* (Dissertation). Technische Universität Chemnitz, Chemnitz.
- Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaften*, 38, S. 193-200.

- Rommerskirchen, C.P., Helmbrecht, M. & Bengler, K.J. (2014). The impact of an anticipatory eco-driver assistant system in different complex driving situations on the driver behavior. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, S. 45-56.
- Rosenbloom, T. (2006). Driving performance while using cell phones: An observational study. *Journal of Safety Research*, 37, 207-212.
- Rothengatter, T., Alm, H., Kuiken, M.J., Michon, J.A. & Verwey, W.B. (1993). The driver. In J.A. Michon (Hrsg.), *Generic Intelligent Driver Support: A Comprehensive Report on GIDS* (S. 33-52). London: Taylor & Francis.
- Rumelhart, D.E. (1977). Toward an interactive model of reading. In S. Dornic (Hrsg.), *Attention and performance VI* (S. 573-603). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rumelhart, D.E. & McClelland, J.L. (1981). Interactive Processing through spreading activation. In A.M. Lesgold & C.A. Perfetti (Hrsg.), *Interactive Processing in Reading* (S. 37-60), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rühmann, H.. (1981). Schnittstellen in Mensch-Maschine-Systemen. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Lehrbuch der Ergonomie* (S. 351-376). München: Carl Hanser Verlag.
- Sanders, A.F. (1983). Towards a Model of Stress and Performance, *Acta Psychologica*, 53, S. 61-97.
- Scerbo, M.W. (2001). Stress, Workload, and Boredom in Vigilance: A Problem and an Answer. In P.A. Hancock & P.A. Desmond (Hrsg.), *Stress, Workload, and Fatigue* (S. 267-278). Mahwah: Erlbaum.
- Schindhelm, R., Gelau, C. & Hoedemaker, M. (2004). COMUNICAR Information Manager: Ergebnisse der Felduntersuchungen. In 1. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz. Garching: Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik München, TÜV Süd Akademie GmbH.
- Schlag, B. (2006). Risikoverhalten im Straßenverkehr. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden*, 55, S. 35-40.
- Schandry, R. (1996). *Lehrbuch der Psychophysiologie*. München: Verlags Union.
- Schmidt, L. (1988). Implications of new risk models for the analysis of traffic safety as well as for other traffic-related problems. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Hrsg.), *Road user behavior. Theory and research* (S. 127-132). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Schmidtke, H. (2002). Vom Sinn und Unsinn der Messung psychischer Belastung und Beanspruchung, *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 1, S. 4-9.
- Schmidtke, H. & Bubb, H. (1981). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Lehrbuch der Ergonomie* (S. 111-115). München: Carl Hanser Verlag.
- Schneider, W. & Shiffrin, R.M. (1977a). Controlled and Automatic Human Information Processing: I. Detection, Search, and Attention. *Psychological Review*, 84, S. 1-66.
- Schneider, W. & Shiffrin, R.M. (1977b). Controlled and Automatic Human Information Processing: II. Perceptual Learning, Automatic Attending, and a General Theory. *Psychological Review*, 84, S. 127-190.

- Schwalm, M. (2009). Pupillometrie als Methode zur Erfassung mentaler Beanspruchungen im automotiven Kontext (Dissertation). Universität Saarbrücken, Saarbrücken.
- Schweigert, M. & Bubb, H. (2003). Einfluss von Nebenaufgaben auf das Fahrerblickverhalten, In: VDI – Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme (VDI Berichte 1768) (S. 59-74). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Sedlmeier, P. & Renkewitz, F. (2008). Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie. München: Pearson Studium.
- Seitz, M., Daun, T.J., Zimmermann, A. & Lienkamp, M. (2012). Measurement of electrodermal activity to evaluate the impact of environmental complexity on driver Workload. In SAE-China & FISITA (Hrsg.), Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress (S. 245-256).
- Seitz, M. (2013). Informationsmanagement im Nutzfahrzeug (Dissertation). Technische Universität München, München.
- Shannon, C. & Weaver, W. (1975). The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press.
- Shaw, M.L.. (1984). Division of Attention among Spatial Locations: A Fundamental Difference between Detection of Letters and Detection of Luminance Increments. In H. Bouma & D.G. Bouwhuis (Hrsg.), Attention and Performance, X: Control of Language Processes (S. 109-121). Hillsdale: Erlbaum.
- Shinar, D., Tractinsky, N. & Compton, R. (2004). Effects of practice, age, and task demands, on interference from a phone task while driving. Accident Analysis and Prevention, 37, 315-326.
- Smith, M.R.H., Witt, G.J. & Bakowski, D.L. (2008). A Final Report of SAFety VEhicles using adaptive Interface Technology (Task 15): SAVE-IT Summary and Benefits Estimation. Kokomo : Delphi Electronics & Safety. Forschungsbericht.
- Sprenger, R. (2008). Empirische Forschungsmethoden für die Evaluation visueller Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug (Dissertation). Universität Paderborn, Paderborn.
- Stahlmann, R., Festag, A., Tomatis, A., Radusch, I. & Fischer, F. (2011). Starting European Field Tests for Car-2-X Communication: The DRIVE C2X Framework, Proceedings of 18th IST World Congress and Exhibition.
- Stassen, H.G., Johannsen, G. & Moray, N. (1990). Internal Representation, Internal Model, Human Performance Model and Mental Workload, Automatica, 26, S. 811-820.
- Statistisches Bundesamt (2014). Verkehr. Verkehrsunfälle 2014, Fachserie 8, Reihe 7, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2015). Verkehr. Verkehrsunfälle Mai 2015, Fachserie 8, Reihe 7, Wiesbaden.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. Acta Psychologica, 30, S. 276-315.

- Stroop, J.R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, S. 643-662.
- Summala, H. & Näätänen, R. (1988). The zero-risk theory and overtaking decisions. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Hrsg.), *Road user behavior. Theory and research* (S. 82-92). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Telefonica (2014). *Connected Car Industry Report 2014*. London: m2m.
- Totzke, I., Rauch, N., Ufer, E., Krüger, H.-P. & Rothe, S. (2008). Workload-Management im Verkehr: Prädiktion von Fahrerbeanspruchung durch Informationen in digitalen Karten. In J. Schade & A. Engeln (Hrsg.), *Fortschritte der Verkehrspsychologie: Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie* (S. 159-182). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Totzke, I. & Volk, M. (2013). Bewertung von Car-2-X-Technologien aus Fahrersicht: Voraussetzungen für deren Akzeptanz durch den Fahrer, In 6. Tagung FAS, TÜV SÜD Akademie GmbH.
- Tractinsky, N., Ram, E.S., & Shinar, D. (2013). To call or not to call – That is the question (while driving). *Accident Analysis and Prevention*, 56, S. 59-70.
- Treisman, A.M. (1964). Selective attention in man. *British Medical Bulletin*, 20, S. 12-16.
- Treisman, A.M., Sykes, M. & Gelade, G. (1977). Selective Attention and Stimulus Integration. In S. Dornic (Hrsg.), *Attention and performance VI* (S. 333-361). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Van Der Laan, J.D., Heino, A., & De Waard, D. (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 5, S. 1-10.
- Veltman, H., Gaillard, A. & Breda L. (1997). Workload indices: physiological measures versus subjective ratings. In D. Harris (Hrsg.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Volume One, Transportation Systems* (S. 269-276). Aldershot: Ashgate Publishing Ltd.
- Verwey, W.B. (1993). How can we prevent overload of the driver?, In A.M. Parkes & S. Franzen (Hrsg.), *Driving future Vehicles* (S. 235-244), London: Taylor & Francis.
- Vidulich, M.A. & Tsang, P.S. (2012). Mental Workload and Situation Awareness. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of human factors and ergonomics* (S. 243-273). Hoboken: John Wiley & Sons Inc.
- Weller, G. & Schlag, B. (2004). Verhaltensadaption nach Einführung von Fahrerassistenzsystemen. In B. Schlag (Hrsg.), *Verkehrspsychologie. Mobilität - Sicherheit – Fahrerassistenz* (S. 351-370), Lengerich: Pabst Science Publications.
- Werneke, J., Kleen, A., Rhede, J. & Vollrath, M. (2012). "Die Zeiten ändern sich!" - Analyse von Warnzeitpunkten eines prototypischen Warnkonzepts basierend auf Car2Car-Kommunikation, 28. VDI/VW Gemeinschaftstagung (S. 307-318), VDI Berichte: 2166, VDI Verlag GmbH.
- Wertheimer, R. (2003). Forschungsinitiative Ko-FAS - Verbundprojekt Ko-PER. Ko-PER - Fahrerassistenz und präventive Sicherheit mittels kooperativer Perzeption: Partnerübergreifender Schlussbericht. Förderkennzeichen Gesamtprojekt: 19 S 9022.

- Wickens, C.D. (1979). Measures of Workload, Stress and Secondary Tasks. In N. Moray (Hrsg.), *Mental Workload – Its Theory and Measurement* (S. 79-99). New York: Plenum Press.
- Wickens, C.D. (1984). Processing resources in attention, In: R. Parasuraman and R. Davies (Hrsg.), *Varieties of Attention* (S. 63-101). New York: Academic Press.
- Wickens, C.D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3, S. 159–177.
- Wickens, C.D. & Hollands, J.G. (2000). *Engineering Psychology and Human Performance*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Wickens, C.D. & McCarley, J.S. (2008). *Applied Attention Theory*. Boca-Raton, FL: Taylor & Francis.
- Wickens, C.D. & Horrey, W.J. (2009). Models of attention, distraction, and highway hazard avoidance. In M.A. Regan, J.D. Lee & K.L. Young (Hrsg.), *Driver distraction. Theory, effects, and mitigation* (S. 57-69). London/New York: Taylor & Francis.
- Wickens, C.D., Hollands, J.G., Banbury, S & Parasuraman, R. (2013). *Engineering Psychology and Human Performance*, 4. Aufl., Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Wilde, G.J.S. (1981). Objective and Subjective Risk in Drivers' Response to Road Conditions: The Implications of the Theory of Risk Homeostasis for Accident Aetiology and Prevention. *Studies of Safety in Transport*.
- Wilde, G.J.S. (1982). The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. *Risk Analysis*, 2, S. 209-225.
- Wilde, G.J.S. (1988). Risk homeostasis theory applied to a fictitious instance of an individual drivers' decision making. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (Hrsg.), *Road user behavior. Theory and research* (S. 66-76). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Wilde, G.J.S. (1998). Risk Homeostasis theory: an overview. *Injury Prevention*, 4, S. 89-91.
- Willner, R.-G. & Meurle, J. (2005). Situative Assistenz 2015, In: VDI –Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), *Der Fahrer im 21. Jahrhundert Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit (VDI Berichte 1919)* (S. 1-16). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Woodworth, R.S. & Schlosberg, H. (1965). *Experimental Psychology*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Wottawa, H. (1980). *Grundriss der Testtheorie*. München: Juventa.
- Yerkes, R.M. & Dodson, J.D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, S. 459-482.
- Young, M.S. & Carsten, O. (2013). Designing for Behavioural Adaption. In C.M. Rudin-Brown & S.L. Jamson (Hrsg.), *Behavioural Adaption and Road Safety - Theory, Evidence and Action* (S. 359-370). Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Zijlstra, F.R. (1993). Efficiency in work behaviour. A design approach for modern tools (Dissertation). Delft University of Technology, Delft.

Beteiligte studentische Arbeiten

Während der Anfertigung der vorliegenden Dissertation entstanden unter fachlicher, wissenschaftlicher und inhaltlicher Anleitung der Autorin die folgenden studentischen Abschlussarbeiten. Die jeweils generierten Ergebnisse zu verschiedenen Fragestellungen bezüglich eines Informationsmanagements im Personenkraftwagen sind zum Teil in das vorliegende Dokument eingeflossen.

Vielen Dank den Bearbeiterinnen und Bearbeitern für Ihre Unterstützung im Rahmen des Forschungsprojektes.

Blanke, Nadja (2014). Besser später?! – Evaluation einer Informationsstrategie im Fahrzeug für die Kreuzungssituation. Technische Universität Chemnitz, Masterarbeit.

Boos, Barbara (2014). Telefonieren beim Autofahren – kein Problem? Beanspruchung und Leistungseinbußen bei der primären Fahraufgabe verursacht durch Telefonanrufe. Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Bachelorarbeit.

Vogel, Maxi Belinda (2014). „Hi I`m Your Car. Don`t Let Me Distract You.“ – Validierung eines Informationskonzepts für beanspruchende Fahrsituationen. Universität Konstanz, Masterarbeit.

Wurm, Franz (2013). Mentale Modelle bei fahrrelevanten Informationen. Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Bachelorarbeit.

Anhang A: Realfahrtstudie – Fahrerbeanspruchung im Kreuzungsbereich

A.1 Fragebogen in Ausschnitten

A1.1 Allgemeine Fragen zu den erlebten Kreuzungen A, B und C

Allgemeine Fragen

Wie beanspruchend war die Kreuzungsdurchfahrt für Sie?

überhaupt nicht sehr stark

Was war für Sie das am stärksten beanspruchende/ markanteste Element bei der Kreuzungsdurchfahrt?

Wie viele andere Verkehrsteilnehmer waren bei Ihrer Kreuzungsüberquerung vorhanden?

sehr viele keine

Wie stark haben Sie sich durch andere Verkehrsteilnehmer beansprucht gefühlt?

überhaupt nicht sehr stark

Wie gut schätzen Sie die Einsehbarkeit der Kreuzung ein?

sehr gut sehr schlecht

Vergleichen Sie die Einsehbarkeit und die Beanspruchung auf dieser Kreuzung mit den beiden anderen erlebten Kreuzungen. Bilden Sie jeweils Rangfolgen. Sie sehen dazu drei Fotos.

Einsehbarkeit (1= am besten; 3=am schlechtesten)	Kreuzung
	Kreuzung A
	Kreuzung B
	Kreuzung C

Rang	Beanspruchung (1=sehr hoch; 6=sehr niedrig)
	Kreuzung A – links abbiegen
	Kreuzung A – rechts abbiegen
	Kreuzung B – links abbiegen
	Kreuzung B – rechts abbiegen
	Kreuzung C – links abbiegen
	Kreuzung C – rechts abbiegen

A1.2 Bewertung der sechs Phasen bei der Überquerung von Kreuzung C – exemplarisch Phase 1

Phase 1

Wie gut waren Sie in der Lage, sich auf das Fahren zu **konzentrieren**?

überhaupt nicht sehr gut

Wie stark haben Sie sich in dieser Phase **beansprucht** gefühlt?

überhaupt nicht sehr stark

Wie viel **Aufmerksamkeit** mussten Sie in dieser Phase auf das Fahrgeschehen (andere Verkehrsteilnehmer/ Verkehrsregelung, ...) richten?

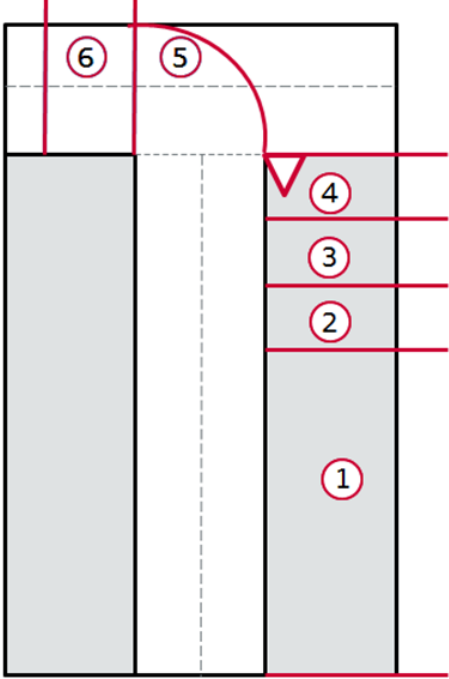
sehr viel gar keine

A1.3 Bezeichnung der sechs Phasen – exemplarisch Versuchsgruppe 2 (Manöver Linksabbiegen)

Phasen bezeichnen

Wie würden Sie abschließend die sechs einzelnen Phasen beim Linksabbiegen bezeichnen?

Phase	Bezeichnung
1	
2	
3	
4	
5	
6	



A1.4 Benennen von wichtigen Einflussfaktoren beim Fahren und Bilden einer Rangreihenfolge

Bitte bringen Sie die folgenden sechs „Einflussfaktoren“ in eine Reihenfolge – und zwar so, dass Sie mit dem am stärksten beanspruchenden Einfluss beginnen und mit dem am wenigsten beanspruchenden enden.

Bitte vervollständigen Sie die Vorschläge in den Zeilen für Sonstiges und integrieren Sie Ihre eigenen Ideen in die Reihenfolge.

Rang	„Einflussfaktoren“
	Wetter (Nebel, Eis, Schnee,..)
	Hindernisse/ Gefahrenstellen auf der Fahrbahn (Baustelle, Unfall,...)
	Andere Fahrzeuge/ Radfahrer
	Verkehrszeichen/ Ampeln
	Fußgänger
	Unterhaltung im Fahrzeug (Radio/ Beifahrer)
	Sonstiges:

A1.5 Benennen von wesentlichen Aufgaben beim Fahren und Bilden einer Rangreihenfolge

Bitte bringen Sie die folgenden sechs „Aufgaben“ in eine Reihenfolge – und zwar so, dass Sie mit der am meisten beanspruchenden Aufgabe beginnen und mit der am wenigsten beanspruchenden enden.

Bitte vervollständigen Sie die Vorschläge in den Zeilen für Sonstiges und integrieren Sie Ihre eigenen Ideen in die Reihenfolge.

Rang	„Aufgaben“
	Parken
	Navigieren/ Orientieren
	Kreuzung überqueren
	Überholen
	Spurwechsel
	Im stockenden Verkehr fahren (ohne Spurwechsel)
	Sonstiges:

A.2 Veranschaulichung der Versuchsumsetzung anhand des Versuchsträgers (Audi A6 Avant)

A.2.1 Audi A6 Avant Versuchsträger (l.: Abbiegevorgang an Kreuzung A – Warten auf Querverkehr an der Haltelinie; r.: Versuchsfahrzeug)



A.3 Statistische Ergebnisanalysen

A.3.1 Altersgruppen klassifiziert nach jüngeren und älteren Fahrern in der Realfahrtstudie zur Fahrerbeanspruchung im Kreuzungsbereich – Deskriptive Statistik

Altersgruppe	Häufigkeit	Prozentualer Anteil
Jüngere (bis 40 Jahre)	n = 41	53,2 %
Ältere (ab 50 Jahre)	n = 36	46,8 %

A.3.2 Items des NASA TLX in Abhängigkeit des gefahrenen Manövers (Kreuzung, Baseline), AV: Mentale (geistige) Beanspruchung, Physische (körperliche) Beanspruchung, Anstrengung, Emotionale Empfindung, Zeitdruck und Aufgabenerfüllung – Deskriptive Statistik

Abhängige Variable	Fahrsituation	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>N</i>
1. Mentale (geistige) Beanspruchung	Kreuzung	3.05	0.26	0.27	74
	Landstraße	1.11	1.02	0.12	74
2. Physische (körperliche) Beanspruchung	Kreuzung	1.62	1.51	0.18	74
	Landstraße	0.78	0.71	0.08	74
3. Anstrengung	Kreuzung	2.54	1.89	0.22	72
	Landstraße	0.88	0.76	0.09	72
4. Emotionale Empfindung	Kreuzung	1.71	1.75	0.21	73
	Landstraße	0.62	0.66	0.08	73
5. Zeitdruck	Kreuzung	1.23	1.30	0.15	73
	Landstraße	0.80	1.05	0.12	73
6. Aufgabenerfüllung	Kreuzung	1.45	1.71	0.20	73
	Landstraße	0.74	1.05	0.12	73

A.3.3 Items des NASA TLX in Abhängigkeit der Abbiegerichtung (Links, Rechts), AV: Mentale (geistige) Beanspruchung, Physische (körperliche) Beanspruchung, Anstrengung, Emotionale Empfindung, Zeitdruck und Aufgabenerfüllung – Deskriptive Statistik

Abhängige Variable	Abbiegerichtung	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>N</i>
1. Mentale (geistige) Beanspruchung	Links	3.34	2.20	0.35	39
	Rechts	2.74	2.22	0.37	36
2. Physische (körperliche) Beanspruchung	Links	2.02	1.63	0.26	39
	Rechts	1.18	1.26	0.21	36
3. Anstrengung	Links	3.01	1.78	0.29	38
	Rechts	2.04	1.90	0.32	36
4. Emotionale Empfindung	Links	1.95	1.87	0.30	38
	Rechts	1.46	1.60	0.27	36
5. Zeitdruck	Links	1.56	1.50	0.24	38
	Rechts	0.89	0.96	0.16	36
6. Aufgabenerfüllung	Links	1.67	1.84	0.30	38
	Rechts	1.21	1.54	0.26	36

A.3.4 Beurteilung der sechs Fahrphasen beim Überqueren der Kreuzung, AV: Konzentration auf das Fahrgeschehen, empfundene Beanspruchung und notwendige Aufmerksamkeit auf das Fahrgeschehen – Deskriptive Statistik

Abhängige Variable	Fahrphase	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>N</i>
Konzentration auf das Fahrgeschehen	Phase 1	6.47	0.88	0.10	74
	Phase 2	6.50	0.95	0.11	74
	Phase 3	6.46	0.76	0.09	74
	Phase 4	6.35	0.88	0.10	74
	Phase 5	6.54	0.67	0.08	74
	Phase 6	6.62	0.68	0.08	73
Empfundene Beanspruchung	Phase 1	1.78	0.88	0.10	74
	Phase 2	1.89	0.92	0.11	74
	Phase 3	2.53	1.33	0.15	74
	Phase 4	3.62	1.59	0.18	74
	Phase 5	2.70	1.45	0.17	74
	Phase 6	1.78	1.02	0.12	73
Notwendige Aufmerksamkeit auf das Fahrgeschehen	Phase 1	5.09	1.48	0.17	74
	Phase 2	4.89	1.62	0.19	74
	Phase 3	4.28	1.68	0.20	74
	Phase 4	3.14	1.80	0.21	74
	Phase 5	4.28	1.88	0.22	74
	Phase 6	5.29	1.41	0.17	73

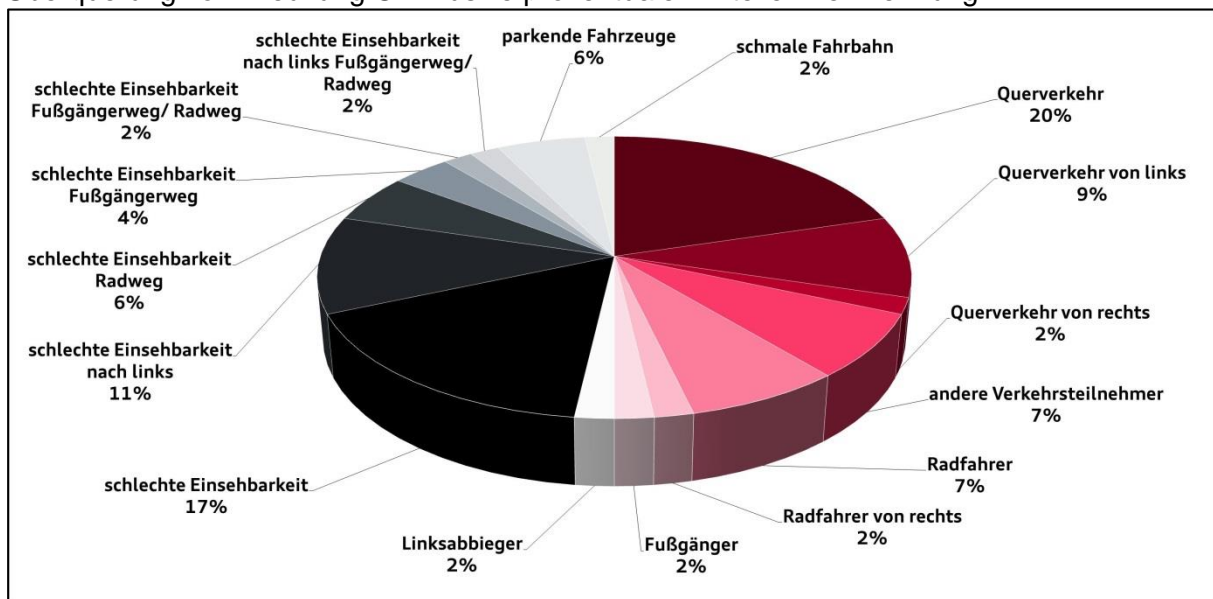
A.3.5 t-Tests für verbundene Stichproben zum Vergleich der subjektiv empfundenen Beanspruchung zwischen den einzelnen Phasen, AV: Subjektiv empfundene Beanspruchung

Gepaarte Stichproben		Gepaarte Differenz		<i>df</i>	<i>t</i> -Wert	<i>p</i> -Wert, einseitig	<i>d</i>
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>				
Phase 1	Phase 2	-0.11	0.09	73	-1.16	.125	-
Phase 1	Phase 3	-0.74	0.14	73	-5.21	.000	-0.64
Phase 1	Phase 4	-1.84	0.16	73	-11.18	.000	-1.35
Phase 1	Phase 5	-0.92	0.17	73	-5.42	.000	-0.75
Phase 1	Phase 6	0.00	0.14	72	0.00	.500	-
Phase 2	Phase 3	-0.64	0.12	73	-5.25	.000	-0.53
Phase 2	Phase 4	-1.73	0.16	73	-11.04	.000	-1.24
Phase 2	Phase 5	-0.81	0.16	73	-5.16	.000	-0.65
Phase 2	Phase 6	0.07	0.13	72	0.52	.304	-
Phase 3	Phase 4	-1.10	0.14	73	-7.95	.000	0.07
Phase 3	Phase 5	-0.18	0.19	73	-0.93	.179	-
Phase 3	Phase 6	0.70	0.14	72	5.13	.000	0.60
Phase 4	Phase 5	0.92	0.17	73	5.38	.000	0.60
Phase 4	Phase 6	1.81	0.18	72	10.26	.000	1.33
Phase 5	Phase 6	0.89	0.17	72	5.15	.000	0.71

A.3.6 Bezeichnung der einzelnen Phasen mit absoluten und relativen Häufigkeiten ihrer Nennung durch die Probanden (aufgeführt sind jeweils die drei häufigsten Bezeichnungen pro Phase)

Phase	Bezeichnung der Phase durch die Probanden	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Phase 1	Anfahrt an Kreuzung	37	56 %
	Einfache Fahrt	18	27 %
	Orientierung	5	8 %
Phase 2	Bremsvorgang beginnen/Verzögern	15	24 %
	Anfahrt an Kreuzung	11	17 %
	Erfassen der Kreuzung	6	9 %
Phase 3	Bremsvorgang beginnen/Verzögern	16	25 %
	Anfahrt an Kreuzung	11	17 %
	Vorfahrtsregelung erfassen	5	8 %
Phase 4	Verkehrsgeschehen beobachten	23	34 %
	Anhalten + Verkehrsgeschehen beobachten	14	21 %
	Konzentration	9	13 %
Phase 5	Abbiegen	41	62 %
	Abbiegen + Verkehrsgeschehen berücksichtigen	5	7 %
	Konzentration + Verkehrsgeschehen berücksichtigen	5	7 %
Phase 6	Einfache Fahrt	32	49 %
	Ende des Abbiegevorgangs	11	17 %
	Einordnen	9	14 %

A.3.7 Sortierte genannte markante beziehungsweise beeinflussende Elemente während der Überquerung von Kreuzung C inklusive prozentualer Anteile ihrer Nennung.



Anhang B: Expertenbefragung – unscharfe Datenlage

B.1 Fragebogen in Ausschnitten

B.1.1 Auszug aus Befragungsteil 1 - der Zuordnung von 15 fahrrelevanten Informationsmeldungen zu den fünf vorgegebenen Kategorien: Sicherheit, Umwelt, Fahrzeugstatus, Navigation und Onlinedienste



B.1.2 Standardisierte Instruktionen für Befragungsteil 2

Im Folgenden werden verschiedene Szenarien während der Fahrt mit unterschiedlichen fahrrelevanten Informationen präsentiert. Diese sollen hinsichtlich ausgewählter Eigenschaften spontan bewertet werden.

Pro Szenario gibt es dabei eine A4-Seite mit 7 Fragen. Diese Fragen sind in ihrer Formulierung und Reihenfolge für jedes Szenario gleich.


Bewertung des dargestellten Szenarios

Das präsentierte Szenario – die dargebotene fahrrelevante Information in der jeweiligen Fahrsituation – soll bewertet werden. Dabei ist es wichtig, sich bestmöglich in die Situation hineinzusetzen und die folgenden Fragen möglichst spontan zu beantworten.

B.1.3 Kontinuierliche Skalen zur Bewertung der jeweils 60 urbanen Szenarien, exemplarisch für Szenario 1 – Versuchsgruppe A

Szenario 1

Kontinuierliche Skala
Die folgenden 6 Eigenschaften sollen anhand von kontinuierlichen Skalen bewertet werden. Dazu soll auf jeder Geraden ein Kreuz an geeigneter Stelle gesetzt werden.
Beispiel: *Ich fühle mich heute*

sehr schlecht |-----| sehr gut 

Mindestgüte
Ab welcher Eintretenswahrscheinlichkeit macht die Information überhaupt Sinn?

0% |-----| 100%

Relevanz
Wie wichtig ist diese Information in dieser Situation?

überhaupt nicht wichtig |-----| sehr wichtig

Verzeihlichkeit
Wie schlimm ist eine Falschmeldung mit diesem Inhalt?

überhaupt nicht schlimm |-----| sehr schlimm

Verzichtbarkeit
Wie schlimm ist das Verpassen der Information in diesem Moment?

komplett verzichtbar |-----| komplett unverzichtbar

Kritikalität
Wie kritisch ist das dargestellte Ereignis?

überhaupt nicht kritisch |-----| extrem kritisch

Halbwertszeit
Wie haltbar ist diese Information? Wie schnell verfällt sie?

verfällt sofort |-----| verfällt nie

B.1.4 Kontinuierliche Skalen zur Bewertung der jeweils 60 urbanen Szenarien, exemplarisch für Szenario 1 – Versuchsgruppe B

Szenario 1

Kontinuierliche Skala

Die folgenden 6 Eigenschaften sollen anhand von kontinuierlichen Skalen bewertet werden. Dazu soll auf jeder Geraden ein Kreuz an geeigneter Stelle gesetzt werden.

Beispiel: *Ich fühle mich heute*

sehr schlecht |-----X-----| sehr gut

Kritikalität

Wie kritisch ist das dargestellte Ereignis?

überhaupt nicht |-----| extrem
kritisch |-----| kritisch

Relevanz

Wie wichtig ist diese Information in dieser Situation?

überhaupt nicht |-----| sehr
wichtig |-----| wichtig

Halbwertszeit

Wie haltbar ist diese Information? Wie schnell verfällt sie?

verfällt sofort |-----| verfällt nie

Mindestgüte

Ab welcher Eintretenswahrscheinlichkeit macht die Information überhaupt Sinn?

0% |-----| 100%

Verzeihlichkeit

Wie schlimm ist eine Falschmeldung mit diesem Inhalt?

überhaupt nicht |-----| sehr
schlimm |-----| schlimm

Verzichtbarkeit

Wie schlimm ist das Verpassen der Information in diesem Moment?

komplett |-----| komplett
verzichtbar |-----| unverzichtbar

B.2 Statistische Ergebnisanalysen

B.2.1 Absolute und relative Häufigkeiten für die jährliche Fahrleistung, die Vertrautheit mit FIS und FAS der befragten Experten – Deskriptive Statistik

Items	Kategorie	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Jährliche Fahrleistung	Bis 5.000km	1	12,5 %
	5.000km bis 10.000km	2	25 %
	10.000km bis 20.000km	3	37,5 %
	20.000km bis 40.000km	2	25 %
	Über 40.000km	0	0 %
Vertrautheit mit FIS	1 - keine	0	0 %
	2	0	0 %
	3	1	12,5 %
	4	0	0 %
	5	3	37,5 %
	6	3	37,5 %
	7 - sehr hoch	1	12,5 %
Vertrautheit mit FAS	1 - keine	0	0 %
	2	0	0 %
	3	0	0 %
	4	1	12,5 %
	5	2	25 %
	6	4	50 %
	7 - sehr hoch	1	12,5 %

B.2.2 Auswertung der Zuordnung der Kategorien in absoluten Häufigkeiten – Deskriptive Statistik

		Zuordnung durch Experten				
		Sicherheit	Umwelt	Fahrzeugstatus	Navigation	Onlinedienste
Theo- retisches Modell	Sicherheit	20	4	0	0	0
	Umwelt	9	15	0	0	0
	Fahrzeugstatus	2	0	22	0	0
	Navigation	3	11	0	10	0
	Onlinedienste	0	6	0	13	5

B.2.3 Bewertung der sechs Kriterien Mindestgüte, Relevanz, Verzeihlichkeit, Verzichtbarkeit, Kritikalität und Halbwertszeit für 60 urbane Szenarien – Deskriptive Statistik

	<i>N</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Mindestgüte	480	5	100	82.32	19.34
Relevanz	480	0	100	47.45	32.32
Verzeihlichkeit	480	0	100	57.45	29.34
Verzichtbarkeit	479	0	100	41.55	32.52
Kritikalität	480	0	99	41.22	32.01
Halbwertszeit	479	2	100	50.79	26.95

B.2.4 Charakteristik der gefundenen Clustereinteilung in drei Hauptcluster – Deskriptive Statistik

	<i>n</i>	Relevanz		Verzichtbarkeit	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Cluster 1	12	22.55	12.56	15.30	9.33
Cluster 2	10	75.54	6.90	71.84	11.01
Cluster 3	8	54.00	2.97	42.58	9.09

B.2.5 A posteriori durchgeführte t-Tests für unabhängige Stichproben zum Vergleich der Cluster innerhalb der Kriterien Relevanz und Verzichtbarkeit, AV: Relevanz und Verzichtbarkeit

Unabhängige Stichproben		Mittlere Differenz	SE	df	t-Wert	p-Wert, zweiseitig	d
A	B						
Relevanz Cluster 1	Relevanz Cluster 2	-52.99	4.46	20	-11.89	.000	-5.09
Relevanz Cluster 1	Relevanz Cluster 3	-31.45	3.78	18	-8.33	.000	-3.15
Relevanz Cluster 2	Relevanz Cluster 3	21.54	2.63	16	8.20	.000	3.89
Verzichtbarkeit Cluster 1	Verzichtbarkeit Cluster 2	-56.54	4.33	20	-13.05	.000	-5.59
Verzichtbarkeit Cluster 1	Verzichtbarkeit Cluster 3	-27.28	4.22	18	-6.47	.000	-2.95
Verzichtbarkeit Cluster 2	Verzichtbarkeit Cluster 3	29.26	4.85	16	6.04	.000	2.87

B.2.6 Konkrete Zusammensetzung der drei neu berechneten Cluster in Abhängigkeit von den Bewertungskriterien „Verzichtbarkeit“ und „Relevanz“

Cluster	Code	Inhalt	Spezifische Umgebung	
Cluster 1	FU20	Straßenschäden	Schnellstraße außer Orts	
	FS10	Querverkehr	Schnellstraße außer Orts	
	SO10	Freie Parkplätze	Innerstädtische Kreuzung	
	FN10	Geschwindigkeitsbegrenzung	Schnellstraße außer Orts	
	SN10	Geschwindigkeitsbegrenzung	Innerstädtische Kreuzung	
	SO30	Point of Interest	Innerstädtische Kreuzung	
	SU30	Viehtrieb	Innerstädtische Kreuzung	
	SU20	Straßenschäden	Innerstädtische Kreuzung	
	FO30	Point of Interest	Schnellstraße außer Orts	
	FO20	Wettermeldung	Schnellstraße außer Orts	
	FO10	Freie Parkplätze	Schnellstraße außer Orts	
	SO20	Wettermeldung	Innerstädtische Kreuzung	
	Cluster 2	FF30	Motorschaden	Schnellstraße außer Orts
		FS30	Geisterfahrer	Schnellstraße außer Orts
SF30		Motorschaden	Innerstädtische Kreuzung	
FF20		Ölstand	Schnellstraße außer Orts	
FF10		Tankmeldung	Schnellstraße außer Orts	
SS20		Einsatzfahrzeug	Innerstädtische Kreuzung	
SN30		Umleitung	Innerstädtische Kreuzung	
FU10		Glätte	Schnellstraße außer Orts	
SS10		Querverkehr	Innerstädtische Kreuzung	
SF20		Ölstand	Innerstädtische Kreuzung	
Cluster 3		SU10	Glätte	Innerstädtische Kreuzung
	FN30	Umleitung	Schnellstraße außer Orts	
	SS30	Geisterfahrer	Innerstädtische Kreuzung	
	FS20	Einsatzfahrzeug	Schnellstraße außer Orts	
	FN20	Baustelle	Schnellstraße außer Orts	
	SF10	Tankmeldung	Innerstädtische Kreuzung	
	FU30	Viehtrieb	Schnellstraße außer Orts	
	SN20	Baustelle	Innerstädtische Kreuzung	

Anhang C: Fahrstudie im Simulator – Informationskonzepte

C.1 Fragebogen in Ausschnitten

C.1.1 Zustimmung zur Teilnahme am Versuch im Simulator der AUDI AG und Coverstory

Zustimmung zur Teilnahme

Vielen herzlichen Dank für Ihre Zeit und Ihr Engagement, uns bei der Durchführung der Fahrsimulatorstudie zu unterstützen !!!

Die folgende Untersuchung beschäftigt sich mit dem neuen Mockup-Fahrzeug im MMI-Labor. Dazu werden Sie im Anschluss ca. 30 Minuten im Fahrsimulator testfahren.

Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Sie führt zu keinen bekannten Risiken. Alle gesammelten Daten werden anonym behandelt und ausschließlich für Forschungszwecke genutzt. Es sind keinerlei Rückschlüsse auf Ihre Person möglich.

Sie können zu jeder Zeit und ohne Angaben von Gründen die Teilnahme an der Studie abbrechen, ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen.

Als Zustimmung für Ihre Teilnahme und zur Kenntnisnahme geben Sie diesen Bogen bitte ausgefüllt bei der Versuchsleitung ab.

Ingolstadt, den _____

Unterschrift _____

Fragebogen

Während Ihrer Simulatorfahrt wurden Ihnen verschiedene Informationen – in Form eines Popups im Kombidisplay gekoppelt mit einem akustischen Signal – präsentiert.

Bitte versuchen Sie sich in diese Situation hineinzusetzen, um sich möglichst gut an das erlebte Szenario zu erinnern.

Nun werden Sie gebeten diese Informationsdarbietung kurz zu bewerten.

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen spontan.

C.1.3 Fragen zur erlebten Überquerung der Kreuzung, exemplarisch für Situation 1 (die erste von insgesamt fünf erlebten Kreuzungssituationen) – die Fragen wiederholen sich exakt in dieser Form jeweils für die erste, zweite, vierte und fünfte erlebte Kreuzungsüberquerung

Situation 1												
Haben Sie die Meldung mit der „Schlagzeile“ wahrgenommen?	<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein											
Wenn ja, was haben Sie an der Meldung wahrgenommen?	_____ _____											
Haben Sie noch andere Meldungen wahrgenommen?	<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein											
Wenn ja, welche?	2. _____ 3. _____											
<p>Die folgenden Aussagen beziehen sich auf die erste Meldung mit dem Inhalt einer „Schlagzeile“.</p> <p>Die Meldung war in diesem Moment hilfreich.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Stimme überhaupt nicht zu</td> <td style="width: 70%; text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table> </td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Stimme vollkommen zu</td> </tr> </table>		Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>									Stimme vollkommen zu
Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>									Stimme vollkommen zu		
<p>Die Meldung war eine zusätzliche Belastung für mich.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Stimme überhaupt nicht zu</td> <td style="width: 70%; text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table> </td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Stimme vollkommen zu</td> </tr> </table>		Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>									Stimme vollkommen zu
Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>									Stimme vollkommen zu		
<p>Der Zeitpunkt der Meldung war genau richtig.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%; text-align: center;">zu früh</td> <td style="width: 40%; text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table> </td> <td style="width: 30%; text-align: center;">zu spät</td> </tr> </table>		zu früh	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>								zu spät	
zu früh	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>								zu spät			
<p>Durch die Darbietung der Meldung steigt das Unfallrisiko.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Stimme überhaupt nicht zu</td> <td style="width: 70%; text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table> </td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Stimme vollkommen zu</td> </tr> </table>		Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>									Stimme vollkommen zu
Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>									Stimme vollkommen zu		
<p>Ich konnte mich jederzeit angemessen auf das Fahrgeschehen konzentrieren.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Stimme überhaupt nicht zu</td> <td style="width: 70%; text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table> </td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Stimme vollkommen zu</td> </tr> </table>		Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>									Stimme vollkommen zu
Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> <td style="width: 12.5%; background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>									Stimme vollkommen zu		
<p>Anmerkungen:</p>												

C.1.4 Fragen zur erlebten Überquerung der Kreuzung in Situation 3, Baseline-Situation (die dritte von insgesamt fünf erlebten Kreuzungssituationen)

Situation 3												
Haben Sie den Shop gefunden?	<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein											
Ich hätte mir eine Meldung gewünscht.	<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein											
Wenn ja, mit welchen Informationen?	_____											
Und in welcher Form? (Mehrfachantworten möglich)	<input type="radio"/> Anzeige im Kombidisplay <input type="radio"/> Anzeige im MMI-Display <input type="radio"/> Anzeige im HUD-Display <input type="radio"/> Anzeige im kontaktanalogen HUD-Display <input type="radio"/> akustisches Signal <input type="radio"/> Sonstiges: _____											
Die folgenden Aussagen beziehen sich auf eine mögliche Meldung mit dem Icon „Shop“.												
Eine Meldung wäre in diesem Moment hilfreich gewesen												
Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> </tr> </table>											Stimme vollkommen zu
Eine Meldung wäre eine zusätzliche Belastung für mich gewesen.												
Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> </tr> </table>											Stimme vollkommen zu
Durch die Darbietung der Meldung würde das Unfallrisiko steigen.												
Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> </tr> </table>											Stimme vollkommen zu
Ich konnte mich jederzeit angemessen auf das Fahrgeschehen konzentrieren.												
Stimme überhaupt nicht zu	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> </tr> </table>											Stimme vollkommen zu
Anmerkungen:												

C.1.5 Aufklärung zu den unterschiedlichen erlebten Informationskonzepten

Meldungen im Fahrzeug allgemein

Das Fahrzeug stellt dem Fahrer immer mehr Informationen zur Verfügung. Eine Vielzahl dieser Informationen können während der Fahrt jederzeit in verschiedenen Anzeigen des Fahrzeuges dargestellt werden.

In der gerade erlebten Simulatorfahrt wurden zwei verschiedene Strategien bezogen auf den Anzeigezeitpunkt von Meldungen untersucht.

Im Folgenden werden Sie gebeten diese beiden Strategie zu bewerten.

Vor jeder Bewertung wird Ihnen die jeweilige Strategie kurz erläutert.

C.1.6 Fragebogen zur Akzeptanz gegenüber Konzept 1 (entspricht Strategie A) in Anlehnung an die van der Laan Skala (Vgl. Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997)

Strategie A

Eine mögliche Strategie wäre es, empfangene Informationen unmittelbar zum Empfangszeitpunkt während der Fahrt darzustellen ohne die Fahrsituation zu berücksichtigen.

Wie ist Ihre Meinung über eine solche Strategie?

Bitte bewerten Sie diese Strategie. Lesen Sie hierfür aufmerksam jedes Wortpaar und machen Sie jeweils ein Kreuz pro Zeile.

nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nutzlos
angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unangenehm
schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gut
nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nervig
effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unnötig
ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	erfreulich
hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wertlos
nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wünschenswert
aktivierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	einschläfernd

Fallen Ihnen Vor- und/oder Nachteile einer solchen Strategie ein?

Vorteile

Nachteile

Anmerkungen:

C.1.7 Fragebogen zur Akzeptanz gegenüber Konzept 2 (entspricht Strategie B) in Anlehnung an die van der Laan Skala (Vgl. Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997)

Strategie B

Eine mögliche Strategie wäre es, Informationen in stark beanspruchenden Situationen während der Fahrt zu unterdrücken und erst zu einem späteren Zeitpunkt dem Fahrer zu präsentieren. Bei dieser Strategie würden die unterdrückten Informationen zeitversetzt und gesammelt angezeigt werden, sobald es die Fahrsituation zulässt.

Wie ist Ihre Meinung über eine solche Strategie?

Bitte bewerten Sie diese Strategie. Lesen Sie hierfür aufmerksam jedes Wortpaar und machen Sie jeweils ein Kreuz pro Zeile.

nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nutzlos
angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unangenehm
schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gut
nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nervig
effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unnötig
ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	erfreulich
hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wertlos
nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wünschenswert
aktivierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	einschläfernd

Fallen Ihnen Vor- und/oder Nachteile einer solchen Strategie ein?

Vorteile

Nachteile





Anmerkungen:

C.2 Veranschaulichung der Versuchsumsetzung in der Simulationsumgebung

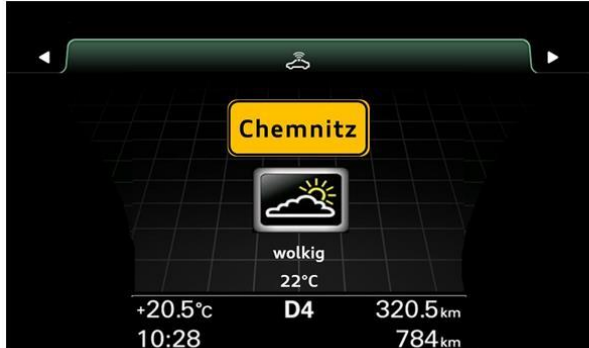

C.2.1 Unvollständiges 2 x 3 (Meldungsinhalt x Informationskonzept) within-subjects Design

		Informationskonzept		
		Konzept 1 (Darbieten von Meldungen auf der Kreuzung)	Konzept 2 (Unterdrücken und Aufschieben von Meldungen auf der Kreuzung)	Baseline (zu keiner Zeit Darbieten von Meldungen)
Meldungsinhalt	must			
	could			

C.2.2 Exemplarische Meldungsinhalte der im Kombiinstrument dargebotenen Informationen in Abhängigkeit ihres hypothetischen Clusters – an der Position von Meldung 1

	Cluster <i>must</i>	Cluster <i>could</i>
Inhalt 1	 <p>Point of Interest - Hotel</p>	 <p>News – Studie zu Sportverhalten</p>
Inhalt 2	 <p>Point of Interest - Restaurant</p>	 <p>News - Studie zu Rauchverhalten</p>

C.2.3 Exemplarische Meldungsinhalte der im Kombiinstrument dargebotenen Informationen – an der Position Meldung 2 und Meldung 3

 <p>Chemnitz wolzig 22°C</p>	 <p>Berlin Regen 18°C</p>
---	---

C.3 Statistische Ergebnisanalysen

C.3.1 Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests für die vier verschiedenen Bedingungen in Abhängigkeit der Informationsstrategie (Konzept 1 vs. Konzept 2) und des Meldungsinhaltes (must vs. could), AV: Items zur Bewertung der erlebten Meldung(en) („Hilfestellung“, „Zusatzbelastung“, „Zeitpunkt“, „Unfallrisiko“, „Konzentration“)

Bedingung		Item „Hilfe- stellung“	Item „Zusatz- belastung“	Item „Zeitpunkt“	Item „Unfall- risiko“	Item „Konzentration“
Konzept 1 & could	Kolmogorov-					
	Smirnov-Z	3.831	2.088	2.203	2.141	1.652
	N	63	63	60	63	63
	p-Wert	.000	.000	.000	.000	.009
Konzept 1 & must	Kolmogorov-					
	Smirnov-Z	1.722	1.370	1.334	1.642	1.304
	N	61	60	59	61	61
	p-Wert	.005	.047	.057	.009	.067
Konzept 2 & could	Kolmogorov-					
	Smirnov-Z	3.496	1.622	1.981	1.605	1.746
	N	64	64	61	64	64
	p-Wert	.000	.010	.001	.012	.004
Konzept 2 & must	Kolmogorov-					
	Smirnov-Z	1.957	1.624	1.656	1.640	2.259
	N	62	62	62	62	62
	p-Wert	.001	.010	.008	.009	.000

C.3.2 Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests für die zwei Informationsstrategien (Konzept 1 vs. Konzept 2), AV: Items zur Bewertung der erlebten Meldung(en) („Hilfestellung“, „Zusatzbelastung“, „Zeitpunkt“, „Unfallrisiko“, „Konzentration“)

Bedingung		Item „Hilfe- stellung“	Item „Zusatz- belastung“	Item „Zeitpunkt“	Item „Unfall- risiko“	Item „Konzentration“
Konzept 1	Kolmogorov-					
	Smirnov-Z	3.622	2.122	1.838	2.081	1.888
	N	124	123	119	124	124
	p-Wert	.000	.000	.002	.000	.002
Konzept 2	Kolmogorov-					
	Smirnov-Z	2.779	1.674	2.532	2.006	2.162
	N	126	126	123	126	126
	p-Wert	.000	.007	.000	.001	.000

C.3.3 Items zur Bewertung der erlebten Meldungen in Abhängigkeit der Informationsstrategie, AV: Items zur Bewertung der erlebten Meldungen („Hilfestellung“, „Zusatzbelastung“, „Zeitpunkt“, „Unfallrisiko“, „Konzentration“)

Abhängige Variable	Informations- strategie	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>N</i>
Hilfestellung	Konzept 1	2.41	2.040	.185	122
	Konzept 2	3.52	2.543	.230	122
Zusatzbelastung	Konzept 1	4.46	2.029	.184	121
	Konzept 2	3.78	1.904	.173	121
Zeitpunkt	Konzept 1	2.91	1.758	.165	114
	Konzept 2	3.52	1.658	.155	114
Unfallrisiko	Konzept 1	4.77	1.840	.167	122
	Konzept 2	4.14	1.811	.164	122
Konzentration	Konzept 1	4.20	1.744	.158	122
	Konzept 2	4.72	1.612	.146	122

C.3.4 Eigenschaften der Dimensionen Nützlichkeit und Zufriedenheit in Abhängigkeit der beiden Informationsstrategien (Konzept 1 und Konzept 2) – Deskriptive Statistik

		<i>M</i>	<i>SD</i>
Konzept 1	Nützlichkeit	-0.61	0.64
	Zufriedenheit	-1.34	0.60
Konzept 2	Nützlichkeit	0.93	0.73
	Zufriedenheit	0.83	0.85

C.3.5 Prüfung der Fahrparameter auf Normalverteilung anhand des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests, AV: Geschwindigkeit, Lenkwinkel, Bremsverhalten, Minimale Distanz zum querenden Verkehr

Bedingung			Geschwindigkeit	Lenkwinkel	Bremsverhalten	Minimale Distanz zum querenden Verkehr
Phase 4	Konzept 1	Kolmogorov-Smirnov-Z	1.245	0.638	0.755	0.444
		<i>N</i>	64	64	64	64
		<i>p</i> -Wert	.199	.811	.619	.989
	Konzept 2	Kolmogorov-Smirnov-Z	0.596	0.706	1.119	0.704
		<i>N</i>	64	64	64	64
		<i>p</i> -Wert	.869	.701	.163	.704
	Konzept 3	Kolmogorov-Smirnov-Z	0.633	0.849	1.090	3.503
		<i>N</i>	64	64	64	64
		<i>p</i> -Wert	.817	.467	.186	.000
Phase 5	Konzept 1	Kolmogorov-Smirnov-Z	0.557	0.483	4.174	1.166
		<i>N</i>	64	64	64	64
		<i>p</i> -Wert	.916	.991	.000	.132
	Konzept 2	Kolmogorov-Smirnov-Z	0.461	0.906	4.237	0.818
		<i>N</i>	64	64	64	64
		<i>p</i> -Wert	.984	.384	.000	.515
	Konzept 3	Kolmogorov-Smirnov-Z	1.618	0.779	4.273	0.760
		<i>N</i>	64	64	64	64
		<i>p</i> -Wert	.011	.579	.000	.610
Phase 6	Konzept 1	Kolmogorov-Smirnov-Z	0.407	1.406	3.973	0.834
		<i>N</i>	64	64	64	64
		<i>p</i> -Wert	.996	.038	.000	.490
	Konzept 2	Kolmogorov-Smirnov-Z	0.513	0.996	3.106	0.703
		<i>N</i>	64	64	64	64
		<i>p</i> -Wert	.955	.275	.000	.705
	Konzept 3	Kolmogorov-Smirnov-Z	0.736	0.575	4.028	1.302
		<i>N</i>	64	64	64	64
		<i>p</i> -Wert	.650	.896	.000	.067

C.3.6 Prüfung der Fahrparameter auf Varianzgleichheit anhand des Mauchly-Sphärizitätstests, AV: Geschwindigkeit, Lenkwinkel, Bremsverhalten, Minimale Distanz zum querenden Verkehr

		Geschwindigkeit	Lenkwinkel	Bremsverhalten	Minimale Distanz zum querenden Verkehr
Phase 4	Mauchly-W	0.990	0.959	0.984	0.001
	<i>N</i>	3	3	3	3
	<i>p</i> -Wert	.729	.274	.608	.000
Phase 5	Mauchly-W	0.955	0.990	0.171	0.591
	<i>N</i>	3	3	3	3
	<i>p</i> -Wert	.243	.733	.000	.000
Phase 6	Mauchly-W	0.796	0.158	0.343	0.566
	<i>N</i>	3	3	3	3
	<i>p</i> -Wert	.001	.000	.000	.000

C.3.7 Vergleich der Geschwindigkeiten in m/s für die drei Phasen bei der Kreuzungsüberquerung (Phase 4, Phase 5, Phase 6) in Abhängigkeit des erlebten Informationskonzeptes (Konzept 1, Konzept 2, Konzept 3) – Deskriptive Statistik

		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Phase 4	Konzept 1	1.44	0.31	0.027
	Konzept 2	1.50	0.31	0.027
	Konzept 3	1.49	0.27	0.017
Phase 5	Konzept 1	4.20	1.19	0.106
	Konzept 2	4.04	1.14	0.101
	Konzept 3	3.92	1.05	0.132
Phase 6	Konzept 1	7.38	2.12	0.189
	Konzept 2	7.93	1.69	0.149
	Konzept 3	8.54	1.89	0.236

C.3.8 Vergleich der Lenkwinkel in Grad für die drei Phasen bei der Kreuzungsüberquerung (Phase 4, Phase 5, Phase 6) in Abhängigkeit des erlebten Informationskonzeptes (Konzept 1, Konzept 2, Konzept 3) – Deskriptive Statistik

		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Phase 4	Konzept 1	51.17	26.26	2.34
	Konzept 2	50.25	26.75	2.36
	Konzept 3	47.48	24.56	3.07
Phase 5	Konzept 1	321.09	32.09	2.86
	Konzept 2	316.33	30.48	2.69
	Konzept 3	309.85	22.16	2.77
Phase 6	Konzept 1	34.86	26.11	2.33
	Konzept 2	16.42	5.06	0.45
	Konzept 3	14.46	4.76	0.59

C.3.9 Vergleich der Bremspedalbetätigung in % für die drei Phasen bei der Kreuzungsüberquerung (Phase 4, Phase 5, Phase 6) in Abhängigkeit des erlebten Informationskonzeptes (Konzept 1, Konzept 2, Konzept 3) – Deskriptive Statistik

		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Phase 4	Konzept 1	3.05	1.93	0.17
	Konzept 2	2.98	1.89	0.17
	Konzept 3	2.62	1.58	0.20
Phase 5	Konzept 1	0.07	0.75	0.07
	Konzept 2	0.07	0.58	0.05
	Konzept 3	0.01	0.08	0.01
Phase 6	Konzept 1	0.03	0.17	0.02
	Konzept 2	0.17	0.87	0.08
	Konzept 3	0.03	0.17	0.02

C.3.10 Vergleich der minimalen Distanz zum querenden Fahrzeug in m für die drei Phasen bei der Kreuzungsüberquerung (Phase 4, Phase 5, Phase 6) in Abhängigkeit des erlebten Informationskonzeptes (Konzept 1, Konzept 2, Konzept 3) – Deskriptive Statistik

		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Phase 4	Konzept 1	5.06	0.67	0.06
	Konzept 2	5.02	0.87	0.08
	Konzept 3	21.51	31.08	3.89
Phase 5	Konzept 1	48.61	26.37	2.37
	Konzept 2	43.56	19.07	1.70
	Konzept 3	59.03	19.31	3.67
Phase 6	Konzept 1	74.57	32.53	2.91
	Konzept 2	69.92	27.23	2.41
	Konzept 3	61.32	40.81	5.10

C.3.11 Prüfung der Blickdaten auf Normalverteilung anhand des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests, AV: mittlere prozentuale Blicke ins Kombiinstrument, mittlere prozentuale Blicke auf die Straße

Bedingung			Blicke ins Kombiinstrument	Blicke auf die Straße
Phase 4	Konzept 1	Kolmogorov-Smirnov-Z	1.440	0.639
		<i>N</i>	64	64
		<i>p</i> -Wert	.032	.809
	Konzept 2	Kolmogorov-Smirnov-Z	3.090	0.714
		<i>N</i>	64	64
		<i>p</i> -Wert	.000	.688
	Konzept 3	Kolmogorov-Smirnov-Z	3.941	0.789
		<i>N</i>	64	64
		<i>p</i> -Wert	.000	.562
Phase 5	Konzept 1	Kolmogorov-Smirnov-Z	0.986	0.691
		<i>N</i>	64	64
		<i>p</i> -Wert	.286	.726
	Konzept 2	Kolmogorov-Smirnov-Z	4.287	0.317
		<i>N</i>	64	64
		<i>p</i> -Wert	.000	.840
	Konzept 3	Kolmogorov-Smirnov-Z	4.115	0.767
		<i>N</i>	64	64
		<i>p</i> -Wert	.000	.599
Phase 6	Konzept 1	Kolmogorov-Smirnov-Z	0.887	0.960
		<i>N</i>	64	64
		<i>p</i> -Wert	.416	.315
	Konzept 2	Kolmogorov-Smirnov-Z	1.010	0.715
		<i>N</i>	64	64
		<i>p</i> -Wert	.260	.686
	Konzept 3	Kolmogorov-Smirnov-Z	2.568	0.584
		<i>N</i>	64	64
		<i>p</i> -Wert	.000	.885

C.3.12 Prüfung der Blickdaten auf Varianzgleichheit anhand des Mauchly-Sphärizitätstests, AV: mittlere prozentuale Blicke ins Kombiinstrument, mittlere prozentuale Blicke auf die Straße

		Blicke ins Kombiinstrument	Blicke auf die Straße
Phase 4	Mauchly-W	0.231	0.896
	<i>N</i>	3	3
	<i>p</i> -Wert	.000	.034
Phase 5	Mauchly-W	0.212	0.984
	<i>N</i>	3	3
	<i>p</i> -Wert	.000	.609
Phase 6	Mauchly-W	0.734	0.732
	<i>N</i>	3	3
	<i>p</i> -Wert	.000	.000

C.3.13 Vergleich der mittleren prozentualen Blicke ins Kombiinstrument für die drei Phasen bei der Kreuzungsüberquerung (Phase 4, Phase 5, Phase 6) in Abhängigkeit des erlebten Informationskonzeptes (Konzept 1, Konzept 2, Konzept 3) – Deskriptive Statistik

		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Phase 4	Konzept 1	4.69	6.69	0.60
	Konzept 2	0.50	2.50	0.22
	Konzept 3	0.14	0.55	0.69
Phase 5	Konzept 1	21.08	25.26	2.25
	Konzept 2	0.21	1.20	1.05
	Konzept 3	1.08	4.62	0.58
Phase 6	Konzept 1	18.91	17.39	1.55
	Konzept 2	20.51	11.50	1.02
	Konzept 3	1.33	2.39	0.30

Anhang D: Fahrstudie auf dem Prüfgelände – Evaluierung des Informationsmanagers

D.1 Fragebogen in Ausschnitten

D.1.1 Zustimmung zur Teilnahme am Versuch auf dem Prüfgelände der Universität der Bundeswehr in Neubiberg und Coverstory

Probandeninformation zur Realfahrtstudie zur Objektivierung der Fahrerbeanspruchung

Liebe Teilnehmerin/lieber Teilnehmer,

vielen Dank, dass Sie an unserer Studie zur Objektivierung der Fahrerbeanspruchung teilnehmen! Sie leisten durch Ihre Teilnahme einen erheblichen Beitrag zur Forschung.

Bei dieser Untersuchung handelt es sich um eine Realfahrtstudie. Sie werden in einem **Fahrzeug** verschiedene Fahrsituationen durchfahren. Da die Prüfstrecke auch für andere Zwecke genutzt wird, achten Sie bitte auf andere Verkehrsteilnehmer und verhalten sich gemäß der Straßenverkehrsordnung. Ihre Sicherheit hat immer höchste Priorität!

Ziel der Realfahrtstudie ist die funktionelle Erprobung eines **Pulsmessgerätes**. Um die physiologischen Daten des Gerätes mit Ihrer subjektiven Wahrnehmung abzugleichen, werden Sie während und nach der Fahrt jeweils einen **Fragebogen** zu Ihrer wahrgenommenen **Beanspruchung** ausfüllen. Bitte beantworten Sie dabei jede Frage wahrheitsgemäß und möglichst spontan. Wenn Sie unsicher sind, kreuzen Sie bitte diejenige Antwortalternative an, die Ihrer Meinung am ehesten entspricht. Da uns ausschließlich Ihre persönliche Wahrnehmung interessiert, gibt es weder richtige noch falsche Antworten.

Während der Fahrt werden Sie außerdem die Möglichkeit haben, Ihre **Vergütung** als Versuchsperson **zu erhöhen**. Dabei ist Folgendes zu beachten:

- Wenn Sie während der Fahrt die POI-Meldung „**Hotel**“ im Kombiinstrument sehen, dann reagieren Sie bitte unmittelbar bzw. möglichst schnell, indem Sie laut und deutlich das Wort „**Meldung**“ sagen.
- Wenn Sie während der Fahrt die POI-Meldung „**Post**“ sehen, dann reagieren Sie bitte nicht.

Bei richtiger Reaktion erhalten Sie **50 Cent zusätzlich** zu Ihrer regulären Vergütung. Reagieren Sie falsch oder gar nicht auf eine dargebotene Meldung, werden Ihnen **50 Cent** von Ihrer Vergütung **abgezogen**. Zur Veranschaulichung wird Ihnen der Versuchsleiter beide Meldungen in einer kurzen Eingewöhnungsfahrt präsentieren.

Sollten Sie noch weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an die Versuchsleitung!

NASA-TLX – deutsche Fassung

Beanspruchungsstruktur

Geben Sie bitte an, welche relative Bedeutung für die empfundene Gesamtbeanspruchung bei der eben durchgeführten Aufgabe die sechs Beanspruchungsdimensionen für Sie hatten:

Geistige Anforderung
Körperliche Anforderung
Zeitliche Anforderung
Ausführung der Aufgaben
Anstrengung und
Frustration

Lesen Sie dazu bitte zunächst folgende Erläuterungen:

Geistige Anforderungen	Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant ?
Körperliche Anforderungen	Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig ?
Zeitliche Anforderungen	Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?
Ausführung der Aufgaben	Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht ? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?
Anstrengung	Wie hart mussten Sie arbeiten , um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?
Frustration	Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

D.1.3 Angewendete deutsche Komplettfassung des NASA TLX Fragebogens (Seite 2) -
Instruktion Gewichtung

Im Folgenden werden jeweils zwei der **sechs Beanspruchungsdimensionen** in verschiedenen Kombinationen gegenübergestellt. Geben Sie jeweils an, welche Beanspruchungsdimension für die Gesamtbeanspruchung, die Sie empfunden haben, **bedeutsamer** war. Es geht also zunächst nicht darum, wie hoch die Beanspruchung in den einzelnen Dimensionen war, sondern wie wichtig die jeweilige Dimension für das Gesamtempfinden war!

Beispiel: Wenn für Sie die geistigen Anforderungen, die die Aufgabe gestellt hat, bedeutsamer für das Beanspruchungserleben waren, als die Anstrengung, die sie aufbringen mussten, kreuzen Sie bitte so an:

Anstrengung	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Geistige Anforderungen
-------------	--------------------------	-------------------------------------	------------------------

D.1.4 Angewendete deutsche Komplettfassung des NASA TLX Fragebogens (Seite 3) -
Gewichtungsaufgabe am Beispiel der Fahrsituation 1, Teil 1

Beanspruchungshöhe Fahrsituation 1			
Körperliche Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zeitliche Anforderungen
Anstrengung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Geistige Anforderungen
Frustration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Körperliche Anforderungen
Anstrengung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Frustration
Geistige Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zeitliche Anforderungen
Körperliche Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Anstrengung
Zeitliche Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ausführung der Aufgaben
Frustration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Geistige Anforderungen
Zeitliche Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Frustration
Ausführung der Aufgaben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Anstrengung
Anstrengung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zeitliche Anforderungen


D.1.5 Angewendete deutsche Komplettfassung des NASA TLX Fragebogens (Seite 4) - Gewichtungsaufgabe am Beispiel der Fahrsituation 1, Teil 2

Frustration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ausführung der Aufgaben
Ausführung der Aufgaben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Körperliche Anforderungen
Geistige Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ausführung der Aufgaben
Geistige Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Körperliche Anforderungen

D.1.6 Angewendete deutsche Komplettfassung des NASA TLX Fragebogens (Seite 5) - Beurteilung der Beanspruchung am Beispiel der Fahrsituation 1, Teil 1 (Geistige Anforderung)


Geben Sie jetzt bitte an, **wie hoch** die Beanspruchung in den einzelnen Dimensionen war. Markieren Sie dazu auf den folgenden Skalen bitte, in welchem Maße Sie sich in den sechs genannten Dimensionen von der Aufgabe beansprucht oder gefordert gesehen haben.

Beispiel:



Geistige Anforderungen

Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?



D.1.7 Angewendete deutsche Komplettfassung des NASA TLX Fragebogens (Seite 5) - Beurteilung der Beanspruchung am Beispiel der Fahrsituation 1, Teil 2 (Körperliche Anforderung, Zeitliche Anforderung, Ausführung der Aufgaben, Anstrengung, Frustration)

Körperliche Anforderungen

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?



Zeitliche Anforderungen

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?



Ausführung der Aufgaben

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?



Anstrengung

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?



Frustration

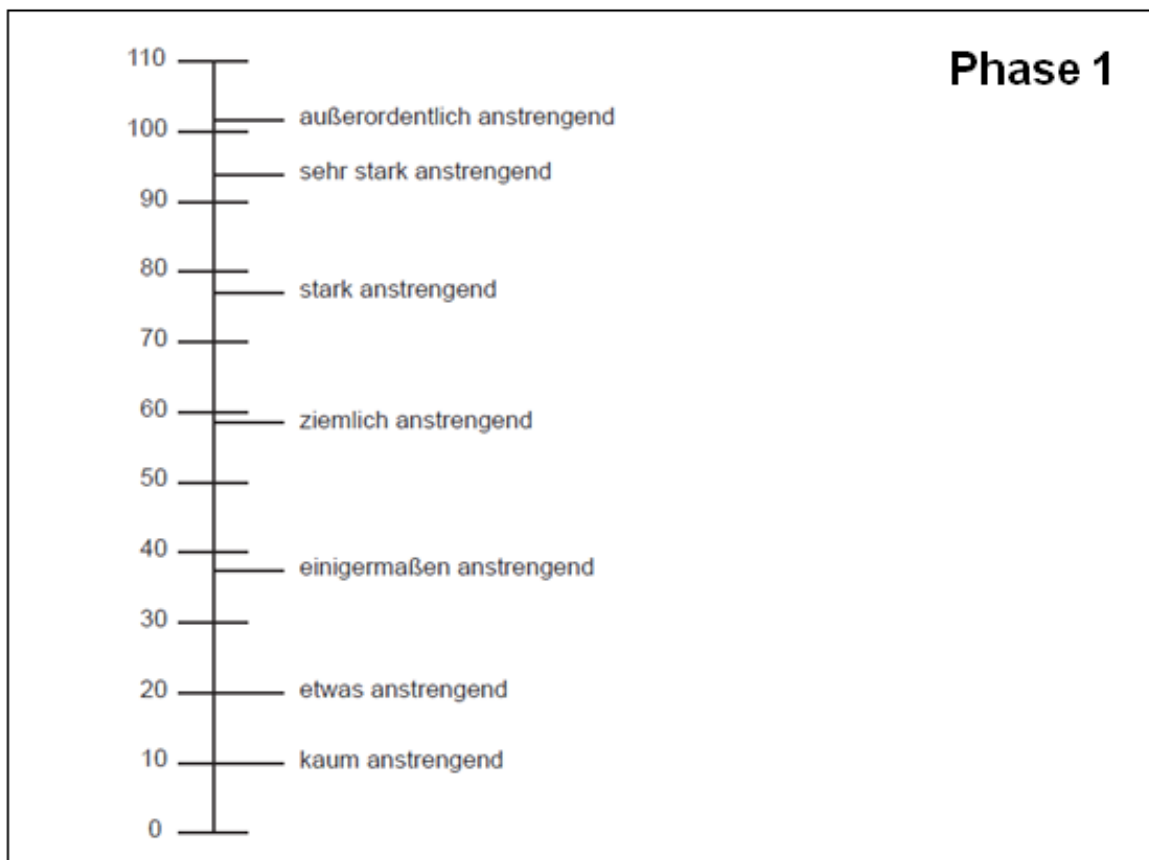
Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?



Bewertung der einzelnen Phasen für Fahr situation 1

Sie sehen jetzt einzelne **Phasen der Fahr situation** in **sechs kurzen Videos**, welche während Ihrer Fahrt aufgezeichnet wurden. Im Anschluss an jedes Video bitten wir Sie, die jeweilige Phase hinsichtlich der subjektiv erlebten Beanspruchung kurz zu bewerten. Bitte versuchen Sie hierzu, sich so gut wie möglich in **Ihre eigene Fahrt zurückzusetzen**.

Bitte markieren Sie dazu den entsprechenden Bereich auf der Skala deutlich (z. B. durch ein Kreuz).



D.1.9 Schriftliche Aufklärung der Probanden über den tatsächlichen Versuchsinhalt

Aufklärung

Liebe Teilnehmerin/ lieber Teilnehmer,

im Sinne unserer Untersuchung haben wir Sie über einen Teil unserer Messintentionen im Dunkeln gelassen. Deshalb folgt nun eine kurze Aufklärung.

Sie haben zwei verschiedene Informationskonzepte erlebt:

- Informationskonzept A unterdrückt eingehende Meldungen in als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen.
- Informationskonzept B bietet Meldungen in jeder Fahrsituation dar.

Haben Sie die zwei verschiedenen Informationskonzepte während der Fahrt wahrgenommen? ja nein

Anmerkungen: _____

Wir bitten Sie nun zwei Fragebögen auszufüllen, um jedes der beiden Systeme zu bewerten!

D.1.10 Akzeptanz gegenüber dem Informationskonzept „Unterdrückung von Meldungen in als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen“ – in Anlehnung an die van der Laan Skala (Vgl. Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997)

Akzeptanzfragebogen

Informationskonzept „Unterdrückung von Meldungen in als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen“

Bitte **beurteilen** Sie das System mit Hilfe der nachfolgenden **Adjektivpaare**. Beachten Sie, dass die Adjektive eher im übertragenen Sinne, also gefühlsmäßig zu verstehen sind. Markieren Sie also möglichst spontan die Position zwischen den Wortpaaren, die Ihrer Meinung nach das System am besten beschreibt.

Machen Sie dazu bitte in jeder Zeile ein Kreuz in dem entsprechenden Kästchen.

nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nutzlos
angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unangenehm
schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gut
nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nervig
effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unnötig
ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	erfreulich
hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wertlos
nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wünschenswert
aktivierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	einschläfernd

D.1.11 Akzeptanz gegenüber dem Informationskonzept „Darbietung von Meldungen in jeder Fahrsituation“ – in Anlehnung an die van der Laan Skala (Vgl. Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997)

Akzeptanzfragebogen		
Informationskonzept „Darbietung von Meldungen in jeder Fahrsituation“		
<p>Bitte beurteilen Sie das System mit Hilfe der nachfolgenden Adjektivpaare. Beachten Sie, dass die Adjektive eher im übertragenen Sinne, also gefühlsmäßig zu verstehen sind. Markieren Sie also möglichst spontan die Position zwischen den Wortpaaren, die Ihrer Meinung nach das System am besten beschreibt.</p> <p><i>Machen Sie dazu bitte in jeder Zeile ein Kreuz in dem entsprechenden Kästchen.</i></p>		
nützlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nutzlos
angenehm	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unangenehm
schlecht	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	gut
nett	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nervig
effizient	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unnötig
ärgerlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erfreulich
hilfreich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	wertlos
nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	wünschenswert
aktivierend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	einschläfernd

D.1.12 Akzeptanz gegenüber dem jeweils zuvor beschriebenen Informationskonzept „Unterdrückung von Meldungen in als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen“ beziehungsweise „Darbietung von Meldungen in jeder Fahrsituation“ – Verwendung der Konstrukte „Komfort“ und „Verkehrssicherheit“ aus der Skala von Arndt (2011), Teil 1

Bitte **bewerten** Sie die verschiedenen **Eigenschaften** des Systems.

Machen Sie dazu bitte in jeder Zeile ein Kreuz in dem entsprechenden Kästchen.

	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Das System fördert die körperliche Entspannung beim Fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System lenkt davon ab, Gefahren rechtzeitig zu erkennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D.1.13 Akzeptanz gegenüber dem jeweils zuvor beschriebenen Informationskonzept „Unterdrückung von Meldungen in als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen“ beziehungsweise „Darbietung von Meldungen in jeder Fahrsituation“ – Verwendung der Konstrukte „Komfort“ und „Verkehrssicherheit“ aus der Skala von Arndt (2011), Teil 2

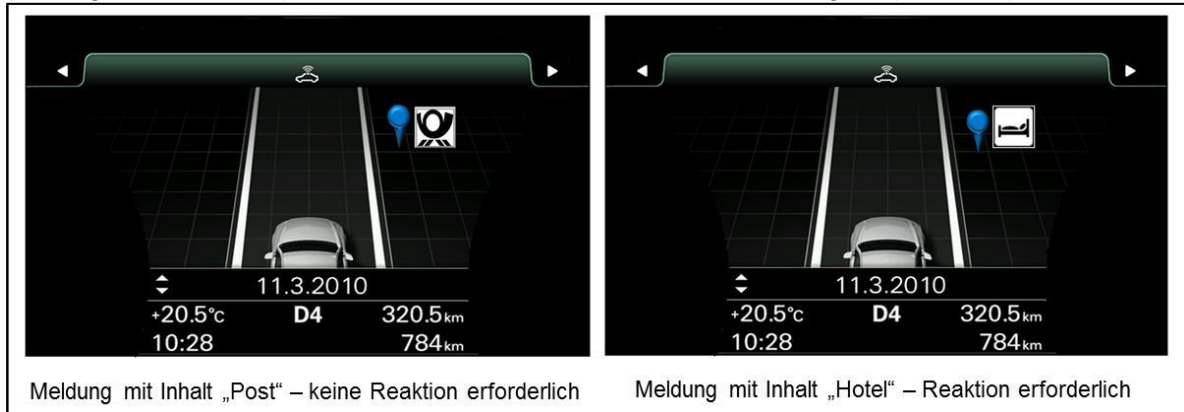
	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Dank des Systems ist man auch noch nach längeren Fahrten entspannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System fördert den Stress beim Fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System erhöht die Verkehrssicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Autofahren mit dem System belastet den Fahrer zusätzlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System kann vor Verkehrsverstößen bewahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit dem System erhöht sich der Komfort des Autofahrens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System unterstützt den Fahrer dabei, Gefahren im Straßenverkehr rechtzeitig zu erkennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System trägt dazu bei, das Unfallrisiko der Autofahrer zu senken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D.2 Veranschaulichung der Versuchsumsetzung auf dem Prüfgelände

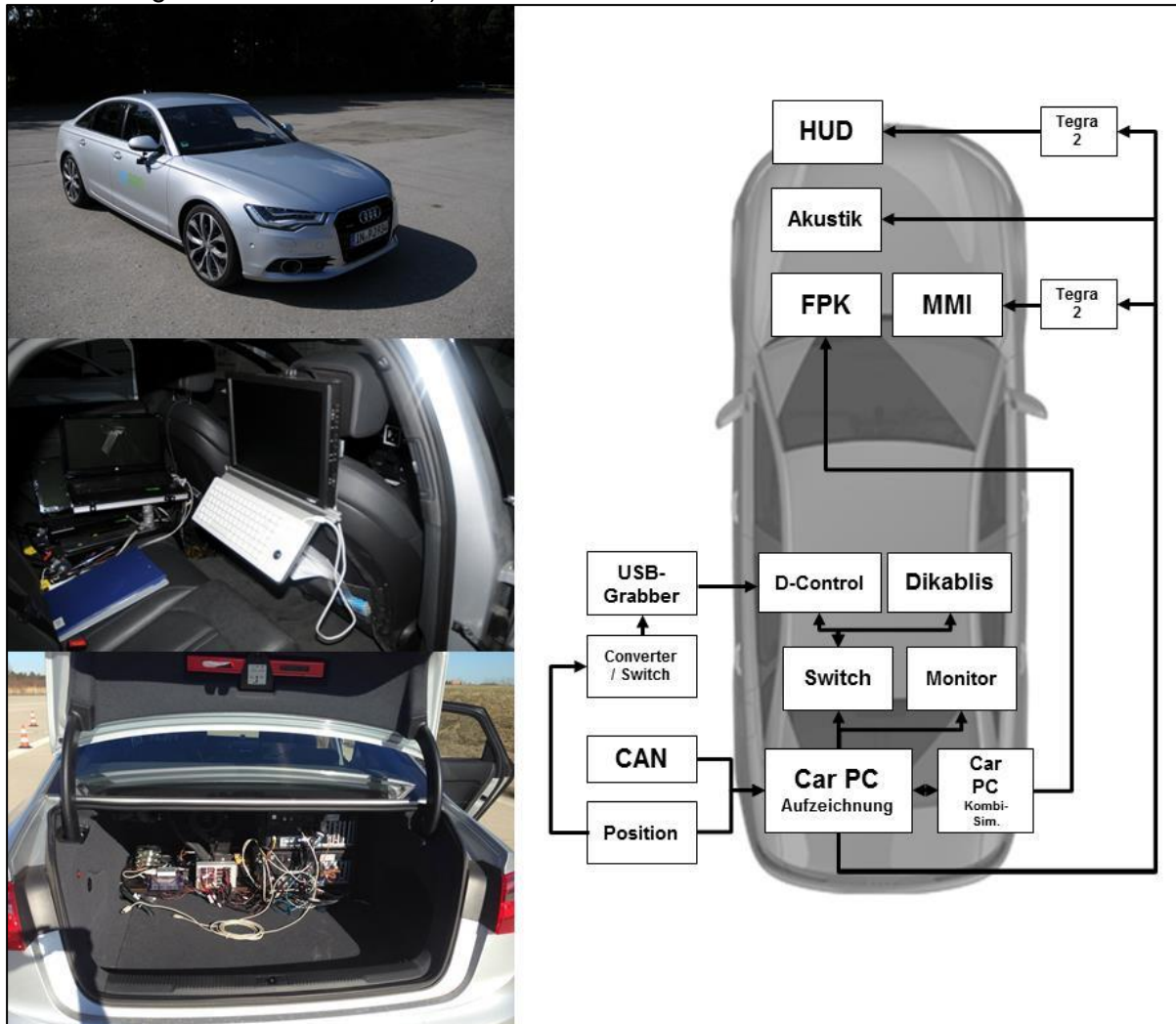
D.2.1 Unvollständiges 3 x 3 (Informationsstrategie x Fahrsituation) within-subjects Design

		Fahrsituation		
		Abbiegen an Kreuzung	Ausweichen vor Baustelle	Geradeausfahrt (Referenz)
Informationsstrategie	Konzept 1 Darbietung in Phase 4			
	Konzept 2 Darbietung in Phase 6			
	Konzept 3 Keine Darbietung (Baseline)			

D.2.2 Dargebotene Meldungsinhalte – Jede Meldung erschien als Pop-up im Kombiinstrument (Anzeigedauer 3 sec.) in Kombination mit einem akustischen Signal (1800 Hz)



D.2.3 Audi A6 Limousine Versuchsträger (l.o.: Versuchsfahrzeug; l.m.: Ausstattung des Versuchsleiterplatzes im Fond (hinten rechts); l.u.: Verbau der Mess- und Aufzeichnungstechnik im Kofferraum; r.: schematische Architektur der Aufzeichnungs- und Ansteuerungssoft- und -hardware)



D.3 Statistische Ergebnisanalysen

D.3.1 NASA TLX Overall Workload Index in Abhängigkeit der Informationsstrategie und des Fahrmanövers – Deskriptive Statistik ($N = 24$)

Informationskonzept	Fahrmanöver	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Konzept 1	Abbiegen	16.26	11.27	2.30
	Ausweichen	16.65	12.45	2.54
	Geradeausfahrt	13.99	12.70	2.59
Konzept 3	Abbiegen	10.83	5.33	1.09
	Ausweichen	13.56	10.46	2.13
	Geradeausfahrt	9.73	6.03	1.23

D.3.2 Bewertung der SEA-Skala über die Phasen 4 bis 6 gemittelt in Abhängigkeit der Informationsstrategie und des Fahrmanövers – Deskriptive Statistik ($N = 24$)

Informationskonzept	Fahrmanöver	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Konzept 1	Abbiegen	15.44	12.65	2.58
	Ausweichen	18.58	13.07	2.67
	Geradeausfahrt	13.25	8.56	1.74
Konzept 3	Abbiegen	11.56	5.06	1.03
	Ausweichen	13.89	7.90	1.61
	Geradeausfahrt	8.81	7.30	1.49

D.3.3 Gefahrene mittlere Geschwindigkeit in km/h über die Phasen 4 bis 6 gemittelt in Abhängigkeit der Informationsstrategie und des Fahrmanövers – Deskriptive Statistik ($N = 20$)

Informationskonzept	Fahrmanöver	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Konzept 1	Abbiegen	13.02	2.09	.47
	Ausweichen	21.14	2.87	.64
	Geradeausfahrt	30.37	1.83	.41
Konzept 3	Abbiegen	13.91	1.81	.41
	Ausweichen	21.72	4.20	.94
	Geradeausfahrt	31.69	1.93	.43

D.3.4 Prozentuale Entdeckungshäufigkeit der Meldung „Hotel“ in Abhängigkeit des Fahrmanövers – Deskriptive Statistik ($N = 20$)

Fahrmanöver	<i>M</i>	<i>SD</i>
Abbiegen	75	0.08
Ausweichen	91	0.06
Geradeausfahrt	100	0.00

D.3.5 Bewertung der SEA-Skala für die Phase 4 und die Phase 6 in Abhängigkeit der Informationsstrategie – Deskriptive Statistik ($N = 24$)

Informationskonzept	Phase 4		Phase 6	
	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>
Darbietung	28.98	3.24	10.29	1.41
Verzögerung	17.46	2.59	16.23	2.32

D.3.6 Mittlere gefahrene Geschwindigkeiten in km/h für die Phase 4 und die Phase 6 in Abhängigkeit des Fahrmanövers – Deskriptive Statistik ($N = 24$)

Fahrmanöver	Phase 4		Phase 6	
	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>
Abbiegen	13.38	0.53	21.27	0.56
Ausweichen	19.57	0.79	24.30	0.47

D.3.7 Eigenschaften der Dimensionen Nützlichkeit und Zufriedenheit in Abhängigkeit der beiden Informationsstrategien (Konzept 1 und Konzept 2) – Deskriptive Statistik

Konzept		<i>M</i>	<i>SD</i>
Konzept 1	Nützlichkeit	0.38	1.02
	Zufriedenheit	-0.26	1.02
Konzept 2	Nützlichkeit	0.81	0.90
	Zufriedenheit	0.82	0.67

D.3.8 Eigenschaften der Konstrukte Komfortempfinden und Sicherheitsempfinden in Abhängigkeit der beiden Informationsstrategien (Konzept 1 und Konzept 2) – Deskriptive Statistik

		<i>M</i>	<i>SD</i>
Konzept 1	Komfortempfinden	-0.35	1.00
	Sicherheitsempfinden	-0.24	1.27
Konzept 2	Komfortempfinden	0.59	0.61
	Sicherheitsempfinden	0.09	0.94

Anhang E: Fahrstudie auf dem Prüfgelände – Evaluierung des Telefonmanagers

E.1 Fragebogen in Ausschnitten

E.1.1 Zustimmung zur Teilnahme am Versuch auf dem Prüfgelände der Universität der Bundeswehr in Neubiberg und Coverstory

Probandeninformation zur Realfahrtstudie zur Objektivierung der Fahrerbeanspruchung

Liebe Teilnehmerin/lieber Teilnehmer,

vielen Dank, dass Sie uns bei unserer Studie unterstützen! Sie leisten durch Ihre Teilnahme einen erheblichen Beitrag zur Erforschung der Fahrerbeanspruchung.

Bei diesem Experiment handelt es sich um eine Realfahrtstudie. Sie werden in einem **Fahrzeug** verschiedene Szenarien durchfahren. Es wird auch andere Verkehrsteilnehmer auf dem Prüfgelände geben, achten Sie daher unbedingt auf die Verkehrsschilder und die Anweisungen des Versuchsleiters. Ihre **Sicherheit** hat immer höchste Priorität!

Mit dieser Untersuchung wird ein neues **Pulsmessgerät** erprobt. Um die physiologischen Daten des Gerätes mit Ihrer subjektiven Wahrnehmung abzugleichen, werden Sie während und nach der Fahrt **Fragebögen** zu ihrer wahrgenommenen **Beanspruchung** ausfüllen. Bitte beantworten Sie dabei jede Frage wahrheitsgemäß und möglichst spontan. Wenn Sie unsicher sind, kreuzen Sie bitte diejenige Antwortalternative an, die Ihrer Meinung am ehesten entspricht. In diesem Fragebogen gibt es keine richtigen und falschen Antworten, uns interessiert ausschließlich Ihre persönliche Wahrnehmung.

Zusätzlich können Sie während des Fahrens Ihre **Vergütung** als Versuchsperson erhöhen. Dafür werden Sie **Anrufe** erhalten, die Sie möglichst immer annehmen sollen. Darin werden Ihnen zwei mathematische Probleme gestellt. Ihre Aufgabe ist es, diese schnellstmöglich zu lösen. Pro richtiger Antwort erhalten Sie einen **Bonus** von 50 Cent. Sollten Sie die Aufgabe falsch beantworten oder den Anruf nicht entgegennehmen, folgt ein **Abzug** von 50 Cent. Zur Veranschaulichung wird in einer Eingewöhnungsfahrt ein Probeanruf erfolgen.

Sollten Sie noch Fragen haben, wenden Sie sich bitte an die Versuchsleitung!

NASA-TLX – deutsche Fassung

Beanspruchungsstruktur

Geben Sie bitte an, welche relative Bedeutung für die empfundene Gesamtbeanspruchung bei der eben durchgeführten Aufgabe die sechs Beanspruchungsdimensionen für Sie hatten:

Geistige Anforderung
Körperliche Anforderung
Zeitliche Anforderung
Ausführung der Aufgaben
Anstrengung und
Frustration

Lesen Sie dazu bitte zunächst folgende Erläuterungen:

Geistige Anforderungen	Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant ?
Körperliche Anforderungen	Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig ?
Zeitliche Anforderungen	Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?
Ausführung der Aufgaben	Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht ? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?
Anstrengung	Wie hart mussten Sie arbeiten , um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?
Frustration	Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

E.1.3 Angewendete deutsche Komplettfassung des NASA TLX Fragebogens (Seite 2) -
Instruktion Gewichtung

Im Folgenden werden jeweils zwei der **sechs Beanspruchungsdimensionen** in verschiedenen Kombinationen gegenübergestellt. Geben Sie jeweils an, welche Beanspruchungsdimension für die Gesamtbeanspruchung, die Sie empfunden haben, **bedeutsamer** war. Es geht also zunächst nicht darum, wie hoch die Beanspruchung in den einzelnen Dimensionen war, sondern wie wichtig die jeweilige Dimension für das Gesamtempfinden war!

Beispiel: Wenn für Sie die geistigen Anforderungen, die die Aufgabe gestellt hat, bedeutsamer für das Beanspruchungserleben waren, als die Anstrengung, die sie aufbringen mussten, kreuzen Sie bitte so an:

Anstrengung	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Geistige Anforderungen
--------------------	--------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------

E.1.4 Angewendete deutsche Komplettfassung des NASA TLX Fragebogens (Seite 3) -
Gewichtungsaufgabe am Beispiel der Fahrsituation 1, Teil 1

Beanspruchungshöhe Fahrsituation 1			
Körperliche Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zeitliche Anforderungen
Anstrengung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Geistige Anforderungen
Frustration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Körperliche Anforderungen
Anstrengung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Frustration
Geistige Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zeitliche Anforderungen
Körperliche Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Anstrengung
Zeitliche Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ausführung der Aufgaben
Frustration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Geistige Anforderungen
Zeitliche Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Frustration
Ausführung der Aufgaben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Anstrengung
Anstrengung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zeitliche Anforderungen


E.1.5 Angewendete deutsche Komplettfassung des NASA TLX Fragebogens (Seite 4) - Gewichtungsaufgabe am Beispiel der Fahrsituation 1, Teil 2

Frustration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ausführung der Aufgaben
Ausführung der Aufgaben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Körperliche Anforderungen
Geistige Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ausführung der Aufgaben
Geistige Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Körperliche Anforderungen

E.1.6 Angewendete deutsche Komplettfassung des NASA TLX Fragebogens (Seite 5) - Beurteilung der Beanspruchung am Beispiel der Fahrsituation 1, Teil 1 (Geistige Anforderung)


Geben Sie jetzt bitte an, **wie hoch** die Beanspruchung in den einzelnen Dimensionen war. Markieren Sie dazu auf den folgenden Skalen bitte, in welchem Maße Sie sich in den sechs genannten Dimensionen von der Aufgabe beansprucht oder gefordert gesehen haben.

Beispiel:



Geistige Anforderungen

Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?



E.1.7 Angewendete deutsche Komplettfassung des NASA TLX Fragebogens (Seite 5) - Beurteilung der Beanspruchung am Beispiel der Fahrsituation 1, Teil 2 (Körperliche Anforderung, Zeitliche Anforderung, Ausführung der Aufgaben, Anstrengung, Frustration)

Körperliche Anforderungen

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?



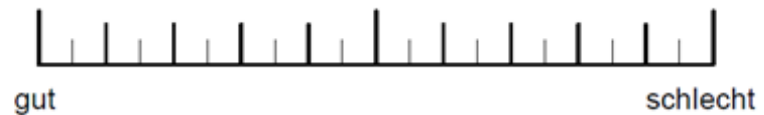
Zeitliche Anforderungen

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?



Ausführung der Aufgaben

Wie erfolgreich haben Sie ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?



Anstrengung

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?



Frustration

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?



E.1.8 Schriftliche Aufklärung der Probanden über den tatsächlichen Versuchsinhalt

Aufklärung

Liebe Teilnehmerin/ lieber Teilnehmer,

im Sinne unserer Untersuchung haben wir Sie über einen Teil unserer Messintentionen im Dunkeln gelassen. Deshalb folgt nun eine kurze Aufklärung.

Sie haben während Ihrer Fahrt zwei Informationskonzepte erlebt:

- Informationskonzept A: **unterdrückt** ankommende Anrufe in als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen
- Informationskonzept B: **stellt** Anrufe in jeder Fahrsituation **durch**

Das Informationskonzept A, also die Unterdrückung eines Anrufs in einer als beanspruchend klassifizierten Situation, wurde Ihnen während einer Kreuzungssituation wie folgt dargestellt:



Haben Sie die zwei verschiedenen Informationskonzepte während der Fahrt wahrgenommen?

ja

nein

Anmerkungen: _____

Wir bitten Sie nun zwei Fragebögen auszufüllen, um jedes der beiden Systeme zu bewerten!

E.1.9. Akzeptanz gegenüber dem Informationskonzept „Unterdrückung von Anrufen in als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen“ – in Anlehnung an die van der Laan Skala (Vgl. Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997)

Akzeptanzfragebogen

Informationskonzept „Unterdrückung von Anrufen in als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen“

Bitte **beurteilen** Sie das System mit Hilfe der nachfolgenden **Adjektivpaare**. Beachten Sie, dass die Adjektive eher im übertragenen Sinne, also gefühlsmäßig zu verstehen sind. Markieren Sie also möglichst spontan die Position zwischen den Wortpaaren, die Ihrer Meinung nach das System am besten beschreibt.

Machen Sie dazu bitte in jeder Zeile ein Kreuz in dem entsprechenden Kästchen.

nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nutzlos
angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unangenehm
schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gut
nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nervig
effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unnötig
ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	erfreulich
hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wertlos
nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wünschenswert
aktivierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	einschläfernd

E.1.10 Akzeptanz gegenüber dem Informationskonzept „Durchstellen von Anrufen in jeder Fahrsituation“ – in Anlehnung an die van der Laan Skala (Vgl. Van Der Laan, Heino & De Waard, 1997)

Akzeptanzfragebogen

Informationskonzept „Durchstellen von Anrufen in jeder Fahrsituation“

Bitte **beurteilen** Sie das System mit Hilfe der nachfolgenden **Adjektivpaare**. Beachten Sie, dass die Adjektive eher im übertragenen Sinne, also gefühlsmäßig zu verstehen sind. Markieren Sie also möglichst spontan die Position zwischen den Wortpaaren, die Ihrer Meinung nach das System am besten beschreibt.

Machen Sie dazu bitte in jeder Zeile ein Kreuz in dem entsprechenden Kästchen.

nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nutzlos
angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unangenehm
schlecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gut
nett	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nervig
effizient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unnötig
ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	erfreulich
hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wertlos
nicht wünschenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wünschenswert
aktivierend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	einschläfernd

E.1.11 Akzeptanz gegenüber dem jeweils zuvor beschriebenen Informationskonzept „Unterdrückung von Anrufen in als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen“ beziehungsweise „Durchstellen von Anrufen in jeder Fahrsituation“ – Verwendung der Konstrukte „Komfort“ und „Verkehrssicherheit“ aus der Skala von Arndt (2011), Teil 1

Bitte **bewerten** Sie die verschiedenen **Eigenschaften** des Systems.

Machen Sie dazu bitte in jeder Zeile ein Kreuz in dem entsprechenden Kästchen.

	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Das System fördert die körperliche Entspannung beim Fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System lenkt davon ab, Gefahren rechtzeitig zu erkennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

E.1.12 Akzeptanz gegenüber dem jeweils zuvor beschriebenen Informationskonzept „Unterdrückung von Anrufen in als beanspruchend klassifizierten Fahrsituationen“ beziehungsweise „Durchstellen von Anrufen in jeder Fahrsituation“ – Verwendung der Konstrukte „Komfort“ und „Verkehrssicherheit“ aus der Skala von Arndt (2011), Teil 2

	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Dank des Systems ist man auch noch nach längeren Fahrten entspannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System fördert den Stress beim Fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System erhöht die Verkehrssicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Autofahren mit dem System belastet den Fahrer zusätzlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System kann vor Verkehrsverstößen bewahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit dem System erhöht sich der Komfort des Autofahrens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System unterstützt den Fahrer dabei, Gefahren im Straßenverkehr rechtzeitig zu erkennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System trägt dazu bei, das Unfallrisiko der Autofahrer zu senken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

E.1.13 Fragebogen zur Akzeptanz gegenüber falschen Alarmen

Akzeptanz von falschen Alarmen
Informationskonzept „Unterdrückung von Anrufen in als beanspruchend
klassifizierten Fahrsituationen“

Zum Abschluss möchten wir Sie nun bitten, sich in folgendes Szenario **hineinzusetzen**:

Sie fahren mit Ihrem Auto auf einer Landstraße, die relativ gerade verläuft. Es sind nur wenige andere Verkehrsteilnehmer unterwegs. Sie fahren an Feldern entlang, sie haben also weite Sicht und die Wetterverhältnisse sind gut. Da es eine schöne Fahrt ist und Sie nicht in Eile sind, fahren Sie sogar etwas langsamer, als es die Geschwindigkeitsbegrenzung vorgeben würde.

Sie warten schon seit gestern auf einen Anruf, der für Sie beruflich oder privat von Belang ist, und dieser könnte jederzeit eintreffen.

Während der Fahrt auf der Landstraße erhalten Sie die Meldung von ihrem **AUDI Anrufmanager**, dass ein eingegangener Anruf unterdrückt wurde, obwohl keine beanspruchende Situation vorlag.

Bewerten Sie nun bitte auf folgenden 4 Dimensionen, wie Sie die **nicht notwendige Unterdrückung empfinden**.

Machen Sie dazu bitte in jeder Zeile ein Kreuz in dem entsprechenden Kästchen.

Wie **irritierend** empfinden Sie die unberechtigte Unterdrückung?

überhaupt nicht	-3	-2	-1	0	1	2	3	sehr stark
-----------------	----	----	----	---	---	---	---	------------

Wie stark hat Sie die unberechtigte Unterdrückung **beeinträchtigt**?

überhaupt nicht	-3	-2	-1	0	1	2	3	sehr stark
-----------------	----	----	----	---	---	---	---	------------

Wie stark haben Sie sich über die unberechtigte Unterdrückung **geärgert**?

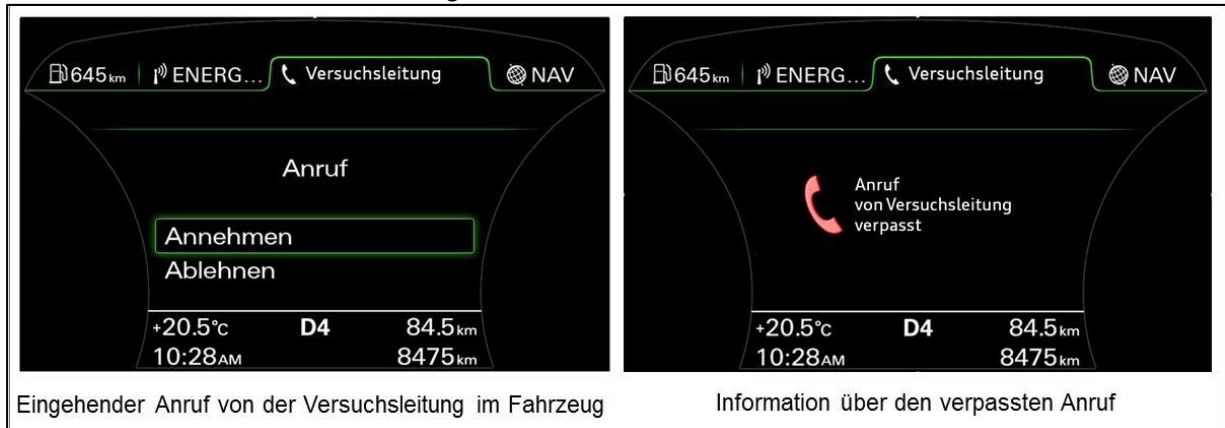
überhaupt nicht	-3	-2	-1	0	1	2	3	sehr stark
-----------------	----	----	----	---	---	---	---	------------

Würden Sie zugunsten des prinzipiellen Nutzens eines adaptiven Anrufmanagers gelegentlich unberechtigte Unterdrückungen **akzeptieren**?

nein, gar nicht	-3	-2	-1	0	1	2	3	ja, absolut
-----------------	----	----	----	---	---	---	---	-------------

E.2 Veranschaulichung der Versuchsumsetzung auf dem Prüfgelände

E.2.1 Visualisierung des eingehenden Anrufes (links) und der Meldung über den verpassten Anruf (Anzeigezeit 3 sec; in Kombination mit einem Ton (1800 Hz)) (rechts) im Kombiinstrument des Versuchsträgers



E.2.2 Unvollständiges 3 x 2 (Informationsstrategie x Fahrsituation) within-subjects Design

		Fahrsituation	
		Abbiegen an Kreuzung	Geradeausfahrt (Referenz)
Informationsstrategie	Konzept 1 Mathematikaufgabe am Telefon in Phase 4		
	Konzept 2 Meldung über verpassten Anruf in Phase 6		
	Konzept 3 Kein Anrufeingang (Baseline)		

E.2.2 Übersicht über die gestellten Mathematikaufgaben bei im Fahrzeug entgegengenommenen Anrufen

Fahrsituation	Mathematikaufgabe
Eingewöhnungsfahrt	$(11 - 6) * 3$
Fahrsituation 1 mit Anruf	$(4 + 14) / 6$
Fahrsituation 2 mit Anruf	$(2 + 7) * 2$

E.3 Statistische Ergebnisanalysen

E.3.1 NASA TLX Overall Workload Index in Abhängigkeit des Fahrmanövers – Deskriptive Statistik ($N = 26$)

Fahrmanöver	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Abbiegen	19.15	14.07	2.76
Geradeausfahrt	15.68	13.56	2.66

E.3.2 NASA TLX Overall Workload Index in Abhängigkeit des Fahrmanövers und der Anrufbedingung – Deskriptive Statistik ($N = 26$)

Fahrmanöver	Anrufbedingung	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Abbiegen	Mit Anruf	27.04	20.51	4.02
	Ohne Anruf	11.27	11.91	2.34
Geradeausfahrt	Mit Anruf	23.56	20.23	3.97
	Ohne Anruf	7.79	10.43	2.05

E.3.3 Objektive Daten in Abhängigkeit vom Fahrmanöver, AV: Responsezeit, Antwortzeit, Anzahl richtiger Antworten – Deskriptive Statistik

Abhängige					
Variable	Fahrmanöver	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>N</i>
Responsezeit	Abbiegen	2.40	0.82	0.17	22
	Geradeausfahrt	2.16	0.78	0.17	22
Antwortzeit	Abbiegen	3.19	4.00	0.85	22
	Geradeausfahrt	4.25	4.51	0.96	22
Anzahl richtiger Antworten	Abbiegen	0.75	0.44	0.09	24
	Geradeausfahrt	0.83	0.38	0.08	24

E.3.4 NASA TLX Overall Workload Index in Abhängigkeit der Anrufbedingung – Deskriptive Statistik ($N = 26$)

Anrufbedingung	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Ohne Anruf	9.53	10.25	2.01
Mit Anruf	25.30	19.22	3.77

E.3.5 Mittlere gefahrene Geschwindigkeit in km/h in Abhängigkeit des Fahrmanövers und der Anrufbedingung – Deskriptive Statistik

Fahrmanöver	Anrufbedingung	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>N</i>
Abbiegen	Mit Anruf	19.25	3.20	0.65	24
	Ohne Anruf	20.87	2.31	0.47	24
Geradeausfahrt	Mit Anruf	30.05	2.20	0.47	22
	Ohne Anruf	29.59	3.38	0.72	22

E.3.6 NASA TLX Overall Workload Index in Abhängigkeit der Informationsstrategie – Deskriptive Statistik ($N = 26$)

Informationsstrategie	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>
Konzept 1 (Durchstellung)	27.04	20.51	4.02
Konzept 2 (Unterdrückung)	13.49	12.98	2.55
Konzept 3 (Kein Anruf/Baseline)	11.27	11.90	2.33

E.3.7 Mittlere gefahrene Geschwindigkeit in km/h in Abhängigkeit der Informationsstrategie – Deskriptive Statistik

Informationsstrategie	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>N</i>
Konzept 1 (Durchstellung)	19.38	3.21	0.64	25
Konzept 2 (Unterdrückung)	20.86	2.26	0.45	25
Konzept 3 (Kein Anruf/Baseline)	20.87	2.31	0.47	24

E.3.8 Eigenschaften der Dimensionen Nützlichkeit und Zufriedenheit in Abhängigkeit der beiden Informationsstrategien (Konzept 1 und Konzept 2) – Deskriptive Statistik (*N* = 27)

		<i>M</i>	<i>SD</i>
Konzept 1	Nützlichkeit	-0.20	0.92
	Zufriedenheit	0.22	1.13
Konzept 2	Nützlichkeit	-0.84	1.00
	Zufriedenheit	-0.89	0.99

E.3.9 Eigenschaften der Konstrukte Komfortempfinden und Sicherheitsempfinden in Abhängigkeit der beiden Informationsstrategien (Konzept 1 und Konzept 2) – Deskriptive Statistik (*N* = 27)

		<i>M</i>	<i>SD</i>
Konzept 1	Komfortempfinden	-1.96	4.78
	Sicherheitsempfinden	-5.41	4.18
Konzept 2	Komfortempfinden	0.76	3.97
	Sicherheitsempfinden	0.85	4.43

E.3.10 Bewertung der Fragen zu falschen Alarmen (ein Anruf wird grundlos unterdrückt)

