

ANALYSE

DES SICHERHEITSGEWINNS DURCH TEILAUTOMATION
AM BEISPIEL EINES STAUASSISTENTEN

FELIX WULF



Scientific
Publishing

Felix Wulf

Analyse des Sicherheitsgewinns
durch Teilautomation am Beispiel
eines Stauassistenten

Analyse des Sicherheitsgewinns durch Teilautomation am Beispiel eines Stauassistenten

von
Felix Wulf

Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Fakultät für Maschinenbau, 2015

Tag der mündlichen Prüfung: 26. März 2015
Referenten: Prof. Dr. rer. nat. Frank Gauterin
Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark of Karlsruhe
Institute of Technology. Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



*This document – excluding the cover – is licensed under the
Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 DE License
(CC BY-SA 3.0 DE): <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>*



*The cover page is licensed under the Creative Commons
Attribution-No Derivatives 3.0 DE License (CC BY-ND 3.0 DE):
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de/>*

Print on Demand 2015

ISBN 978-3-7315-0391-0
DOI 10.5445/KSP/1000047290

Analyse des Sicherheitsgewinns durch Teilautomation am Beispiel eines Stauassistenten

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

der Fakultät Maschinenbau

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte

Dissertation

von

Felix Wulf

geb. am 21.12.1982 in Bremen

Tag der mündlichen Prüfung: 26.03.2015

Hauptreferent: Prof. Dr. rer. nat. Frank Gauterin

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Vorwort

Die Fahrzeugtechnik ist gegenwärtig großen Veränderungen unterworfen. Klimawandel, die Verknappung einiger für Fahrzeugbau und betrieb benötigter Rohstoffe, globaler Wettbewerb, gesellschaftlicher Wandel und das rapide Wachstum großer Städte erfordern neue Mobilitätslösungen, die vielfach eine Neudefinition des Fahrzeugs erforderlich machen. Die Forderungen nach Steigerung der Energieeffizienz, Emissionsreduktion, erhöhter Fahr- und Arbeitssicherheit, Benutzerfreundlichkeit und angemessenen Kosten finden ihre Antworten nicht aus der singulären Verbesserung einzelner technischer Elemente, sondern benötigen Systemverständnis und eine domänenübergreifende Optimierung der Lösungen.

Hierzu will die Karlsruher Schriftenreihe für Fahrzeugsystemtechnik einen Beitrag leisten. Für die Fahrzeuggattungen Pkw, Nfz, Mobile Arbeitsmaschinen und Bahnfahrzeuge werden Forschungsarbeiten vorgestellt, die Fahrzeugsystemtechnik auf vier Ebenen beleuchten: das Fahrzeug als komplexes mechatronisches System, die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, das Fahrzeug in Verkehr und Infrastruktur sowie das Fahrzeug in Gesellschaft und Umwelt.

Automatisiertes Fahren rückt als Option für den öffentlichen Verkehr immer näher und ist in vielen Teilfunktionen bereits heute realisiert. Aktuell in Serienproduktion befindliche Assistenzfunktionen wie Adaptive Cruise Control, Brake Assist oder Lane Keeping Assist erlauben technisch automatisiertes Fahren zumindest in einfachen Situationen wie Folgefahrten auf offener Strecke. Aber auch komplexere Fahrsituationen im Stadtverkehr können von Prototypfahrzeugen bereits selbsttätig bewältigt werden und wurden in jün-

gerer Vergangenheit durch eindrucksvolle Demonstrationen einer breiteren Öffentlichkeit vorgestellt. Da fast alle Unfälle auf menschliches Versagen zurückzuführen sind, bietet automatisiertes Fahren die Chance auf erneut deutlich reduzierte Unfallzahlen. Gleichzeitig ist die Vorstellung reizvoll, Fahrtzeiten künftig auch als Fahrer etwa zum Arbeiten oder zur Entspannung nutzen zu können. Allerdings ist immer damit zu rechnen, dass komplexe Situationen entstehen, in denen das autonom agierende System überfordert ist und der Fahrer schnell die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen muss. Nebentätigkeiten, die die Aufmerksamkeit des Fahrers vom Verkehrsgeschehen und vom Fahrzeugzustand ablenken, stehen im Widerspruch zur erwarteten Fähigkeit des Fahrers zum jederzeitigen Eingreifen. Nach heutigem Recht sind diese Nebentätigkeiten nicht zulässig.

Hier setzt Herrn Wulfs Arbeit an, in der er für die aufgrund geringer Fahrgeschwindigkeiten sich besonders für teilautomatisiertes Fahren anbietenden Stausituation Interaktionsmechanismen erarbeitet, die dem Fahrer ein schnelles Eingreifen trotz möglicher Ablenkung und anderer, das Situationsbewusstsein einschränkender Faktoren erlaubt und diese in Probandenversuchen auf ihre Wirksamkeit hin untersucht.

Karlsruhe, 27.3.2015

Frank Gauterin

Kurzfassung

Fahrerassistenzsysteme, die in bestimmten Situationen sowohl die Längs- als auch die Querführung eines Fahrzeugs übernehmen und bei denen der Fahrer stets die Rückfallebene für den Fall eines Systemfehlers darstellt, werden als *teil*automatisch bezeichnet. Der Fahrer muss daher auch während der automatisierten Fahrt das System überwachen und stets eingriffsbereit sein. Der angenommene Hauptnutzen einer solchen Automatisierung der Fahraufgabe liegt in der Möglichkeit des Fahrers, Nebentätigkeiten durchführen zu können. Da die menschlichen Aufmerksamkeitsressourcen jedoch begrenzt sind, ergibt sich ein Zielkonflikt zwischen der Ausübung von Nebentätigkeiten und der kontinuierlichen Überwachung des Fahrzeugs bzw. des Fahrerassistenzsystems.

Die vorliegende Forschungsarbeit soll dazu beitragen, die Vor- und Nachteile von teilautomatischen Fahrerassistenzsystemen im Straßenverkehr genauer zu analysieren. Dazu sollen am Fallbeispiel eines Stauassistenten Wege erarbeitet und evaluiert werden, die es einem Fahrer ermöglichen, in kritischen Situationen auch bei Teilautomation effektiv in die Fahrzeugführung einzugreifen und Gefahrensituationen entgegenzuwirken.

Als Ausgangspunkt für die Entwicklung dienen die Ergebnisse eines interdisziplinären Innovationsworkshops. Dessen Ziel war es, Interaktionsmechanismen zu finden, die dem Fahrer sowohl die Ausführung von Nebentätigkeiten als auch die Überwachung des Systems ermöglichen bzw. ihn zur Überwachung anleiten. Die gefundenen Aspekte lassen sich grundlegend in zwei verschiedene Kategorien einteilen. Einerseits kann das Verhalten des Sys-

tems manipuliert werden. Das Ziel hierbei ist es, die funktionalen Grenzen des Systems häufiger zu überschreiten und damit „erlebbarer“ zu gestalten. Dies soll eine intrinsische Motivation zur Überwachung dieser funktionalen Grenzen erzeugen. Zum anderen kann der Blick des Fahrers durch spezielle Interaktionsmechanismen auf die Fahrumgebung gelenkt werden. Dies kann zum Beispiel durch die Anzeige von bestimmten Informationen im Head-Up-Display erfolgen.

Alle beschriebenen Mechanismen werden anhand des gewählten Funktionsbeispiels des Stauassistenten in Probandenstudien im Hinblick auf ihr Potential zur Auflösung des beschriebenen Zielkonflikts untersucht. Als zentrale Messgrößen zur Bewertung werden die mentale Repräsentation des aktuellen Fahrzustands beim Fahrer (Situationsbewusstsein), die resultierende Fahrsicherheit sowie der subjektive Nutzen bzw. die Akzeptanz des Gesamtsystems betrachtet.

Die untersuchten Mechanismen sind insgesamt geeignet, Situationsbewusstsein und Fahrsicherheit positiv zu beeinflussen. Neben der Gruppe ACC, dessen Stauassistent ohne Querführung den aktuellen Stand der Technik darstellt, gab es jedoch keinen Mechanismus, der in allen Kategorien gut abschneidet.

Ausgehend von den Ergebnissen der Evaluierung werden Konzepte zur Optimierung der Human-Machine Interface (HMI)-Mechanismen diskutiert und vorgeschlagen. Ein System, welches Nebenaufgaben im Head-Up Display (HUD) des Fahrzeugs visualisiert, während die ihre Bedienelemente am Lenkrad angebracht werden, erscheint dabei als vielversprechend. Es wird angenommen, dass ein solches System einerseits die Wahrnehmung der Fahrzeugumgebung verbessert, indem der Blick des Fahrers in das HUD gelenkt wird. Zum Anderen wird der Fahrer voraussichtlich zur Bedienung der Nebenaufgabe zumindest eine Hand am Lenkrad lassen, so dass schnellere Reaktionen ermöglicht werden. Eine weitere vielversprechende Möglichkeit, eine ausreichende Fahrsicherheit während der teilautomatischen Fahrt

zu gewährleisten, besteht in der Überwachung des Fahrers. Aus Sicht der Systemsicherheit ist es dazu erforderlich, dass dieses Überwachungssystem eine unzulässige Ablenkung des Fahrers erkennt um dann korrigierend eingreifen zu können. Im Kern müssen dabei sowohl visuelle Ablenkung als auch kognitive Ablenkung des Fahrers von der Überwachungsaufgabe als Systemgrenzen verstanden werden.

Abstract

Current developments in driver assistance systems are able to take over longitudinal and lateral control of the vehicle in certain situations. If it remains to the drivers to monitor the system's behavior on errors and to intervene in critical situations, they are called *partially* automated. It is assumed, that drivers tend to perform secondary tasks, while being driven. As human attentional resources are limited, a target conflict between the execution of secondary tasks and the continuous monitoring of the system's behavior comes up.

Traffic jam situations are chosen as the example situational context for this work since they are one of the first expected use cases for partially automated driver assistance systems. Within this context, it is the goal of the current research to find new ways to enhance the drivers' ability to react to critical situations.

New mechanisms of interaction between drivers and vehicles are derived from an interdisciplinary innovation workshop. Those mechanisms shall enable drivers to perform secondary tasks while being driven as well as enhance their ability to monitor the system's behavior. The identified mechanisms can be divided into two different categories. On the one hand, the system's behavior is manipulated directly. It is the target to improve the drivers notice of the system's functional boundaries by narrowing them. Hence, drivers shall develop an intrinsic motivation to monitor these functional boundaries. On the other hand, certain Human-Machine Interface (HMI)-elements, for

example Head-Up Displays (HUDs), can be used to guide drivers' attention towards the vehicles environment.

All derived mechanisms are realized using a system partially automating the vehicle *in traffic jams*, the so called *Traffic Congestion Assistant (TCA)*. They are evaluated regarding their potential to mitigate the target conflict between the two tasks of observing the system and of executing secondary tasks. Main evaluation criteria are the mental representation of the current situation (i.e. situation awareness) as well as the resulting driving safety and drivers' subjective benefit and acceptance of the system.

The evaluated mechanisms are able to positively influence situation awareness as well as driving safety. Except for the variant ACC, which actually represents a current state-of-the-art Adaptive Cruise Control (ACC), none of the mechanisms has a positive impact on both categories.

Based on the evaluation's results concepts for optimizing the mechanisms are discussed. On the one hand, a system, visualising certain secondary tasks in the HUD, while elements for interaction with the secondary task are located on the steering wheel is proposed. It is expected that by using such a system design, the drivers' perception of the vehicle's environment is enhanced. In addition to that, the drivers' steering reactions times shall be reduced, as drivers tend to put their hand on the steering wheel. On the other hand, a system monitoring the drivers' attentional level seems promising. A system of this kind is needed to be able to detect inadmissible high levels of drivers' distraction in order to take corrective actions if needed. All kinds of distraction (visual distraction as well as mental distraction) must be taken into account here.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand im Geschäftsbereich Chassis Systems Control der Robert Bosch GmbH in Zusammenarbeit mit der zentralen Abteilung für Forschung der Robert Bosch GmbH und dem Institut für Fahrzeugsysteme des Karlsruher Instituts für Technik.

Auf Seiten des Karlsruher Instituts für Technik möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. rer. nat. Frank Gauterin für die wissenschaftliche Betreuung, die Übernahme des Hauptreferats und nicht zuletzt die anregenden Diskussionen bedanken. Bei Frau Prof. Barbara Deml bedanke ich mich für die Übernahme des Korreferats. Herrn Prof. Peter Elsner möchte ich für das kurzfristige Einspringen als Prüfungsvorsitzenden danken.

Für die hochwertige Unterstützung sowie die vielen und langen Diskussionen ohne die diese Arbeit nicht in der Qualität möglich gewesen wäre möchte ich mich in besonderem Maße bei Herrn Dr. Marc Arnon bedanken.

Ferner möchte ich mich bei allen meinen Kollegen, insbesondere Maria Rimini-Döring, Christian Bräuchle, Marco Quander, Christian Jeschke, Claus Marberger, Frank Beruscha, Britta Mertens und Daniel Öschger für die Unterstützung bei den Versuchen, die vielen konstruktiven Diskussionen und die kreative Zusammenarbeit bedanken. Allen Verwandten, Freunden und Kollegen, die mir beim Finden von Fehlern während der Ausarbeitung geholfen haben, gebührt ebenfalls mein Dank.

Danksagung

Allen meinen Eltern möchte ich für das kontinuierliche Fördern eines offenen Geistes und für die stete Unterstützung während des Studiums danken. Nicht zuletzt möchte ich meiner Freundin Nicole für die Unterstützung während des Verfassens dieser Arbeit, die immer mal wieder notwendigen Motivationsschübe aber auch für die Ablenkung in der freien Zeit ganz besonders danken.

Ludwigsburg, im April 2015

Felix Wulf

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	i
Kurzfassung	iii
Abstract	vii
Danksagung	ix
1 Einleitung	1
1.1 Ziel der Arbeit	2
1.2 Methodik und Gliederung	4
2 Stand der Forschung und Technik	7
2.1 Automatisierung im Fahrkontext	7
2.1.1 Systematisierung der Fahraufgabe	8
2.1.2 Grade der Automatisierung	10
2.1.3 Umsetzungsbeispiele	14
2.1.4 Nutzen automatisierter Fahrerassistenzsysteme . .	20
2.1.5 Einführungsszenarien	24
2.2 Psychophysiologische Grundlagen	24
2.2.1 Aufmerksamkeit	25
2.2.2 Vigilanz (Daueraufmerksamkeit)	30
2.2.3 Aufmerksamkeit, Workload und Leistung	31
2.2.4 Situationsbewusstsein	33
2.2.5 Verhaltensanpassung	36

2.3	Der Fahrer im (teil-)automatisierten Fahrzeug	37
2.3.1	Einfluss auf das Situationsbewusstsein	37
2.3.2	Einfluss von Nebenaufgaben auf den Fahrer	41
2.4	Die zentralen Forschungsfragen	42
3	Analyse der Randbedingungen für einen Stauassistenten	45
3.1	Die Verkehrsumgebung	45
3.1.1	Definition eines Staus	46
3.1.2	Dynamik der Situationen	49
3.1.3	Verkehrsunfälle im Stau	51
3.2	Unterstützungsbedarf aus Nutzersicht	51
3.3	Resultierende Anforderungen	56
3.3.1	Funktionalität	56
3.3.2	Human-Machine Interface	57
3.3.3	Sensorik	58
3.3.4	Aktorik	60
4	Konzeption eines Stauassistenten	61
4.1	Beschreibung des Zustandsautomaten	62
4.2	Ein- und Ausschalten	65
4.3	Allgemeine HMI-Anzeigen	65
4.4	Längsdynamik	67
4.5	Querdynamik	68
4.6	Verhalten bei Fahrereingriffen	69
5	Entwicklung der Interaktionsmechanismen	71
5.1	Überblick über den verwendeten Entwicklungsprozess	71
5.2	Ideengenerierung	73
5.3	Bewertung	77
5.4	Formulierung von generalisierten Funktionsprinzipien	78
5.5	Detaillierung der Interaktionsmechanismen	80

5.5.1	Mechanismus <i>ACC</i>	82
5.5.2	Mechanismus <i>SLOW</i>	83
5.5.3	Mechanismus <i>SIFA</i>	85
5.5.4	Mechanismus <i>VIDEO</i>	88
5.6	Zusammenfassung des Kapitels	89
6	Evaluierung der Interaktionsmechanismen	91
6.1	Ziel der Untersuchung	91
6.2	Vorbereitung der Simulation	92
6.2.1	Fahrsimulator	92
6.2.2	Allgemeines Verkehrsszenario	94
6.2.3	Kritische Szenarien	95
6.3	Methodik	99
6.3.1	Versuchsdesign	99
6.3.2	Die eingesetzte Nebenaufgabe	100
6.3.3	Versuchsablauf	105
6.3.4	Operationalisierung des Situationsbewusstseins	107
6.3.5	Operationalisierung der Fahrsicherheit	113
6.3.6	Operationalisierung des Workloads	115
6.3.7	Operationalisierung der Akzeptanz	115
6.4	Beschreibung der Stichprobe	116
6.5	Die eingesetzte Nebenaufgabe	118
6.5.1	Situationsbewusstsein	118
6.5.2	Fahrsicherheit	122
6.5.3	Zwischenfazit zur eingesetzten Nebenaufgabe	124
6.6	Die Interaktionsmechanismen	125
6.6.1	Situationsbewusstsein	125
6.6.2	Fahrsicherheit	135
6.6.3	Zwischenfazit	139
6.7	Subjektive Bewertung der Gesamtsysteme	147
6.7.1	Workload	147

6.7.2	Akzeptanz	148
6.7.3	Zwischenfazit der subjektiven Bewertungen	153
6.8	Gesamt-Fazit der Evaluierung	155
7	Erweiterte Anforderungen und Gestaltungsempfehlungen	159
7.1	Subjektiver Nutzen	159
7.2	Systemsicherheit	161
7.2.1	Erweiterungen der betrachteten Mechanismen	162
7.2.2	Arten von Nebenaufgaben	164
7.2.3	Überwachung des Fahrers	165
8	Zusammenfassung	167
A	Realistische Verkehrssimulation	173
A.1	Beschreibung der Infrastruktur	173
A.2	Prinzipieller Aufbau der Verkehrssimulation	174
A.3	Exemplarischer Ablauf der kritischen Szenarien	176
A.3.1	Szenario 1: Bremsung ZO	176
A.3.2	Szenario 2: Einscherer	177
A.3.3	Szenario 3: Hindernis rechts	178
A.3.4	Szenario 4: Ausfall QR	180
B	Beschreibung der Fahrsimulatorstudie	181
B.1	Permutation der Stau-Module in der Fahrsimulatorstudie	181
B.2	Struktur des als Nebenaufgabe eingesetzten hierarchischen Menüs	182
B.3	Eingesetzte Fragebögen	184
B.3.1	Soziodemographische Erhebung	184
B.3.2	Situationsbewusstsein	189
B.3.3	Workload	195
B.3.4	Akzeptanz	196

C Ergebnisse der Fahrstudie	203
C.1 Blickerfassung	203
C.2 SAGAT-scores	205
C.3 Interaktion mit der Nebenaufgabe	206
C.4 Reaktionszeiten	208
C.5 Kollisionen	210
C.6 Workload	211
D Abkürzungen, Glossar und Formelzeichen	213
E Literaturverzeichnis	221

1 Einleitung

Durch zunehmende Mobilität in der Gesellschaft steigt die Fahrleistung der Bevölkerung stetig [5]. In Folge wird die Forderung nach einer Erhöhung der Fahrsicherheit sowie des Fahrkomforts - insbesondere bei der Führung von Kraftfahrzeugen - immer lauter. Nach STANTON & MARSDEN kann beiden Forderungen durch eine Automatisierung der Fahraufgabe entsprochen werden [139]. Auf der einen Seite geht man davon aus, dass der Fahrer durch Abgabe der stressbelastenden Fahrzeugführungsaufgabe an die Automation entlastet werden kann. Diese Entlastung schlägt sich in einem erhöhten Komfort nieder. Auf der anderen Seite ist Automation in der Lage, die Anzahl der durch Fahrfehler verursachten Unfälle zu reduzieren.

Der Grundstein für die Entwicklung des automatischen Fahrens wurde 1977 auf einem abgesperrten Testgelände im Tsakuba Mechanical Engineering Lab in Japan gelegt. Ein Fahrroboter erreichte während einer automatischen Fahrt ohne Fahrer eine Geschwindigkeit von $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf einer Strecke von 50 m [10]. Es folgten eine Reihe weiterer Projekte und Initiativen mit dem Ziel, die Aufgabe der Fahrzeugführung komplett durch technische Systeme zu ersetzen (z. B. PROMETHEUS [32], Stadtpilot [63] oder Google [89]). Dabei erreichten vor allem die vom amerikanischen Verteidigungsministerium 2004 bis 2007 ausgerichteten „DARPA Challenges“ großes mediales Interesse. Die Teilnehmer der Wettbewerbe mussten mit ihren autonom fahrenden Fahrzeugen bestimmte Parcours absolvieren. Bei der 2007 durchgeführten „DARPA Urban Challenge“ mussten die Teilnehmerfahrzeuge autonom einen 60 Meilen langen Stadtkurs in weniger als 6 Stunden bewäl-

tigen [78]. Alle genannten Initiativen eint ihr Ziel: den Fahrer komplett von der Fahraufgabe zu entlasten und ihn zum Passagier zu machen.

In Serienfahrzeugen wurden bis vor Kurzem lediglich Teilaspekte der Fahrzeugführung automatisiert, wie z. B. die Längsführung beim Adaptive Cruise Control (ACC) [160] oder die Querführung im AUDI ACTIVE LANE ASSIST [54].

In weiteren Entwicklungen wird versucht, diese beiden Systeme zu einem integrierten Gesamtsystem zu kombinieren [41, 151]. Dabei wird sowohl die Längs- als auch die Querführung des Fahrzeugs durch das System übernommen. Der Fahrer muss lediglich das System überwachen und für den Fall einer Fehlfunktion jederzeit eingriffsbereit sein. In Fahrzeugen der neuesten Generation sind bereits Assistenzsysteme serienmäßig verfügbar, die den Fahrer während der Fahrt im Stau durch Übernahme der Längs- und Querführung unterstützen, wie z. B. bei MERCEDES-BENZ oder BMW in verschiedenen Fahrzeugen [17, 28]. Bei allen in Serie verfügbaren Systemen muss der Fahrer während das System aktiv ist stets seine Hand am Lenkrad behalten und das System überwachen. So soll gewährleistet werden, dass er jederzeit eingriffsbereit ist. Im Forschungsprojekt EMPHASIS wurden die Effekte von ersetzender Automation auf die Fahrer untersucht [20]. Mögliche negative Effekte der Automation von Fahraufgaben können z. B. durch Ablenkung entstehen. In Folge gilt es genauer zu untersuchen, ob sich die Verkehrssicherheit durch die Einführung eines solchen Systems erhöht oder doch verschlechtert.

1.1 Ziel der Arbeit

Bereits 1983 hat BAINBRIDGE erste Überlegungen zum Einfluss automatisierter Systeme unter dem Titel „Ironies of automation“ zusammengefasst [9]. Dieser Ansatz geht davon aus, dass der Operator eines automatisierten Systems dieses lediglich noch überwachen muss. Fehlfunktionen

müssen entdeckt und korrigiert werden. Die Ironie kommt dadurch zum Tragen, dass das automatisierte System lediglich die einfachen Teile der Aufgabe automatisiert. In komplexen Situationen muss der Operator übernehmen. Jedoch kommt es durch das Automatisieren auf der Seite des Operators zum einem zum Verlust an Wissen über den derzeitigen Zustand des Systems (Situationsbewusstsein). Andererseits ist er durch fehlende Übung möglicherweise nicht mehr in der Lage, das System zu kontrollieren.

Die vorliegende Forschungsarbeit soll dazu beitragen, die Vor- und Nachteile von Automation im Straßenverkehr genauer zu analysieren. Dazu sollen anhand eines Fallbeispiels Wege erarbeitet und evaluiert werden, die es einem Fahrer ermöglichen, in kritischen Situationen auch bei Teilautomation effektiv in die Fahrzeugführung einzugreifen und gefährliche Situationen im Straßenverkehr zu entschärfen. Dabei werden auch solche Situationen in Betracht gezogen, die von der Sensorik des Fahrzeugs nicht erkannt werden können.

Basierend auf Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Fahrerassistenz (vgl. Kapitel 2.1.5) ist ein teilautomatisches System, welches den Fahrer bei der Folgefahrt im Stau auf einer Autobahn unterstützen soll, das mit hoher Wahrscheinlichkeit als nächstes realisierte Fahrerassistenzsystem. Ein solcher Stauassistent soll daher in dieser Forschungsarbeit als Fallbeispiel dienen.

1.2 Methodik und Gliederung

Das Vorgehen der Arbeit orientiert sich an einer allgemein anerkannten Methodik zur Entwicklung technischer Systeme [1]. Gemäß dieser Methodik ist die vorliegende Arbeit als Systemvorstudie einzustufen. Dabei werden nach der Einleitung (Kapitel 1) und einer Einführung in den Stand der Forschung und Technik (Kapitel 2) die folgenden Schritte zur Entwicklung eines Systems angewendet:

- Problemanalyse,
- Problemformulierung,
- Systemsynthese,
- Systemanalyse,
- Beurteilung

Im Rahmen einer *Problemanalyse* und *-formulierung* werden zunächst die Anforderungen an ein Fahrerassistenzsystem zur teilautomatischen Fahrt im Stau beleuchtet. Um ein möglichst ganzheitliches Bild zu bekommen, wird in Kapitel 3 zunächst das Verkehrsumfeld „Stau“ analysiert. Anschließend wird der Unterstützungsbedarf während der Fahrt im Stau aus Nutzersicht betrachtet. Beide Betrachtungen werden als Basis zur anschließenden Formulierung der Anforderungen an einen teilautomatischen Stauassistenten verwendet.

Ausgehend von diesen Anforderungen wird in Kapitel 4 ein Konzept für einen solchen teilautomatischen Stauassistenten aufgestellt. Er besteht im wesentlichen aus der Integration von bestehenden Assistenzsystemen der Längsführung und Quersführung und wird daher als *Traffic Congestion Assistant (TCA)* bezeichnet.

Im Rahmen der *Systemsynthese* werden in Kapitel 5 Interaktionsmechanismen zwischen Fahrer und Fahrzeug erarbeitet, die das Situationsbewusstsein

des Fahrers und damit die resultierende Fahrsicherheit erhöhen sollen. Dabei bilden die Ergebnisse eines Innovationsworkshops den Ausgangspunkt für die Entwicklung. Gesucht werden Mechanismen der Mensch-Maschine-Interaktion, die dem Fahrer sowohl die Ausführung von Nebentätigkeiten als auch die Überwachung des Systems ermöglichen bzw. ihn zur Überwachung anleiten.

Die erarbeiteten Interaktionsmechanismen werden im Rahmen der *Systemanalyse* in Kapitel 6 im Hinblick auf ihr Wirkpotential evaluiert. Zentrale Bewertungskriterien sind dabei die resultierende mentale Repräsentation des aktuellen Fahrzustands beim Fahrer (das Situationsbewusstsein) sowie die Reaktion auf unvorhergesehene Ereignisse.

Ausgehend von den Ergebnissen der Evaluation werden in Kapitel 7 im Rahmen der *Beurteilung* Empfehlungen für die Gestaltung von teilautomatischen Stauassistenten ausgesprochen. Dabei wird auf die Nutzersicht, aber auch auf die Systemsicht eingegangen.

2 Stand der Forschung und Technik

Im folgenden Kapitel werden die notwendigen Grundlagen zur Bearbeitung der Fragestellungen dieser Forschungsarbeit vorgestellt. Dazu werden zunächst in Kapitel 2.1 verschiedene Grade der Automatisierung der Fahraufgabe beschrieben. Nach Betrachtung der dazu notwendigen psychophysiologischen Grundlagen (Kapitel 2.2) wird in Kapitel 2.3 der Fahrer im automatisierten Fahrzeug näher beleuchtet. Aus dem dargestellten bekannten Wissen werden zuletzt die zentralen Forschungsfragen dieser Arbeit in Kapitel 2.4 abgeleitet.

2.1 Automatisierung im Fahrkontext

Automatisierung oder Automation ist im Allgemeinen die „Übernahme von bestimmten Tätigkeiten durch technische Systeme“ [22]. Im Kontext von Kraftfahrzeugen werden Fahrerassistenzsysteme (FAS) zur Automatisierung der Fahraufgabe verwendet. In diesem Kapitel soll eine Klassifikation der vorhandenen FAS erarbeitet werden. Dazu wird zunächst die Fahraufgabe analysiert und systematisiert. In Kapitel 2.1.2 wird eine Einteilung in verschiedene Grade der Automatisierung vorgenommen. Nach einigen Umsetzungsbeispielen (Kapitel 2.1.3) folgt eine Darstellung des allgemeinen Nutzens von Automation im Fahrkontext. Abschließend wird in Kapitel 2.1.5 ein Einführungsszenario aus der Literatur abgeleitet, um die nächsten Schritte in der Entwicklung von automatisierten FAS herzuleiten.

2.1.1 Systematisierung der Fahraufgabe

Die Fahraufgabe kann als hierarchisch aufgebaute zielgerichtete Tätigkeit aufgefasst werden. Sie setzt sich aus einer Vielzahl von Handlungen und Bewegungen zusammen. Eine Definition liefert DONGES [34]:

„Es gilt, das Fahrzeug (Fzg.) mit seinen Passagieren oder seinem Transportgut unter Nutzung der verfügbaren sensorischen Informationen mit Hilfe motorischer Eingriffe über die Betätigungseinrichtungen des Fahrzeugs von einem Ausgangsort zu einem Zielort zu bringen.“

Die Fahraufgabe kann unter verschiedenen Gesichtspunkten systematisiert werden. Im Folgenden werden zwei allgemein anerkannte und oft zitierte Modelle zur Einteilung der Fahraufgabe vorgestellt: das Drei-Ebenen-Modell nach RASMUSSEN [113] und die Drei-Ebenen-Hierarchie nach DONGES [34].

Das Drei-Ebenen-Modell von RASMUSSEN stammt aus der Ingenieurpsychologie und lässt sich auch auf andere Arbeitsprozesse anwenden. Es unterscheidet allgemein drei Verhaltenskategorien: *wissensbasiertes*, *regelbasiertes* und *fertigkeitsbasiertes* Verhalten. Sie sind in Bild 2.1 links dargestellt. Auf der untersten Ebene des fertigkeitsbasierten Verhaltens wird das Verhalten des Menschen meist durch unbewusste, automatisierte Prozesse gesteuert. Sie zeichnet sich durch hoch integrierte und gelernte Reiz-Reaktions-Mechanismen aus. Auf der mittleren Ebene des regelbasierten Verhaltens werden bekannte Situationen angeordnet. Es existieren bereits Regeln, an denen der Mensch sein Verhalten orientieren kann, beispielsweise durch Instruktionen oder durch empirische Ableitung. Die oberste Ebene des wissensbasierten Verhaltens wird immer dann verwendet, wenn der Mensch auf komplexe und unbekannte Situationen trifft, für die noch keine Regeln trainiert wurden. Auf Basis des jeweiligen Ziels werden verschiedene Handlungsalternativen durchgespielt und ausgewählt. Es wird deutlich,

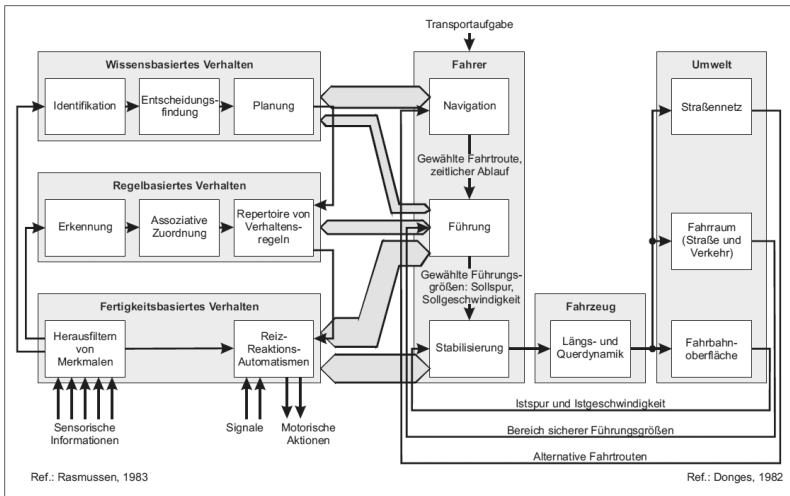


Bild 2.1: Ebenen des menschlichen Handelns nach Rasmussen [113] (links) und zugeordnete Bereiche der Fahrzeugführungsaufgabe nach Donges [34] (rechts), entnommen aus [35].

dass der kognitive Aufwand zur Handlungsentscheidung und damit auch der Zeitaufwand mit den Ebenen steigt. Die unteren Ebenen können dabei durch Lernen und Trainieren der jeweiligen Situationen erreicht werden.

Die Drei-Ebenen-Hierarchie nach DONGES liefert eine eher ingenieursmäßige Einteilung der Fahrzeugführung, analog zum Modell von MICHON [94]. Sie wird in die Teilaufgaben *Navigation*, *Bahnführung* und *Stabilisierung* kategorisiert (Bild 2.1, rechts). Diese stellen einen kaskadierten Regelkreis dar. Auf der obersten Ebene, der *Navigation*, wird die Fahrtroute im zur Verfügung stehenden Straßennetz geplant. Dabei wird auf den globalen Verkehrszustand, wie z. B. Unfälle, Baustellen oder Staus zurückgegriffen und die jeweils optimalste Fahrtroute gewählt. Auf der darunterliegenden Ebene erfolgt die *Bahnführung*. Unter Berücksichtigung der zuvor geplanten Fahrtroute wird die Trajektorie des Fahrzeugs gewählt. Dies beinhaltet z. B. die

Wahl der korrekten Fahrspur und der Fahrgeschwindigkeit und die Berücksichtigung von Hindernissen. Auf der untersten Ebene, der *Stabilisierung* hat der Fahrer die Aufgabe, die zuvor gewählte Trajektorie durch geeignete Stellbewegungen an Pedalerie und Lenkrad abzufahren. Dabei muss er auftretende Störungen durch kompensatorische Eingriffe ausregeln [35].

Während die Allokation der Teilaufgaben Navigation und Stabilisierung auf die Ebenen des menschlichen Handelns nach RASMUSSEN eindeutig ist, ist sie für die Teilaufgabe Bahnführung stark von der individuellen Erfahrung des Fahrers abhängig [34]. Dies ist ansatzweise durch die Dicke der Verbindungspfeile zwischen beiden Modellen in Bild 2.1 dargestellt. Ein Fahranfänger wird in der Führungsebene anfänglich zunächst wissensbasiertes Verhalten zeigen und erst mit wachsender Routine in die Ebenen des regel- und fertigkeitbasierten Verhaltens vordringen. Aus Sicht der Verkehrssicherheit sind wissensbasierte Verhaltensweisen immer dann abzulehnen, wenn die Zeit bis zur Gefahrenstelle nicht mehr ausreicht, alle Verhaltensweisen durchzuspielen.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird primär die Bahnführung als Fahraufgabe betrachtet, da diese Gegenstand der hier untersuchten FAS ist. Sie lässt sich zudem noch in die Längs- und Querführung einteilen. Die Längsführung ist dabei die Bahnführung des Fahrzeugs in longitudinaler Richtung durch Wahl von Beschleunigung und Verzögerung. Die Führung des Fahrzeugs quer zur Fahrtrichtung über das Lenkrad wird dabei als Querführung bezeichnet.

2.1.2 Grade der Automatisierung

Gegenstand dieser Arbeit sind FAS, die die Fahraufgabe, also die Bahnführung eines Fahrzeugs, ganz oder teilweise automatisieren. Solche Systeme werden im Folgenden als *automatisierte Fahrerassistenzsysteme* bezeichnet. Dabei sind unterschiedliche Unterstützungsgrade denkbar, die in diesem

Kapitel charakterisiert und definiert werden sollen. Als Grundlage wird dazu eine Nomenklatur verwendet, die von der Projektgruppe „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) erarbeitet wurde [55]. Ziel der Projektgruppe war es, eine Einschätzung der rechtlichen Situation bei zunehmender Automatisierung der Fahraufgabe auf der Grundlage des deutschen Rechts zu erarbeiten.

Dabei wurden fünf verschiedene Automatisierungsgrade identifiziert und definiert (vgl. Tabelle 2.1 auf Seite 12). Aus verhaltensrechtlicher Sicht haben sich dabei die auf das Verkehrsgeschehen fokussierte Aufmerksamkeit des Fahrers und seine ständige Möglichkeit zur Übernahme der Fahrzeugführung als wesentliches Unterscheidungsmerkmal höherer Grade der Automatisierung herausgestellt. Sie werden im Folgenden kurz erläutert.

Manuelle Fahrt

Im Automatisierungsgrad *Manuelle Fahrt* ist kein FAS an der Fahrzeugführung beteiligt. Der Fahrer muss demnach die gesamte Fahraufgabe alleine bewältigen, was der herkömmlichen Art zu fahren entspricht.

Assistiert

Bei der *assistierten Fahrzeugführung* wird entweder die Längs- oder die Querführung von einem FAS ausgeführt. Der Fahrer muss jeweils den anderen Teil der Fahrzeugführung übernehmen. Zusätzlich muss er stets das System überwachen und im Falle einer Fehlfunktion korrigierend eingreifen. Die Verantwortung für die Fahraufgabe verbleibt stets beim Fahrer.

Tabelle 2.1: Definition der unterschiedlichen Automatisierungsgrade nach [55]

Grad	Beschreibung des Systems	Anforderungen an den Fahrer
Manuelle Fahrt	Der Fahrer fährt selber und übernimmt dabei die gesamte Fahraufgabe.	
Assistiert	Fahrer führt dauerhaft <i>entweder</i> die Quer- <i>oder</i> die Längsführung aus. Die jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt.	Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen und jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein
Teilautomatisiert	Das System übernimmt die Quer- <i>und</i> Längsführung (für einen gewissen Zeitraum und / oder in spezifischen Situationen).	Der Fahrer muss das System <i>dauerhaft überwachen</i> und jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein.
Hochautomatisiert	Das System übernimmt die Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen. Systemgrenzen werden alle vom System erkannt. Das System ist nicht in der Lage, aus jeder Ausgangssituation einen risikominimalen Zustand ^a herbeizuführen.	Der Fahrer muss das System <i>nicht dauerhaft überwachen</i> , bei Bedarf wird er mit ausreichender Zeiträume zur Übernahme der Fahraufgabe aufgefordert.
Vollautomatisiert	Das System übernimmt die Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall. Systemgrenzen werden alle vom System erkannt, das System ist in allen Situationen in der Lage, in den risikominimalen Systemzustand ^a zurückzuführen.	Der Fahrer muss das System dabei <i>nicht überwachen</i> . Vor Verlassen des Anwendungsfalles fordert das System den Fahrer mit ausreichender Zeiträume zur Übernahme der Fahraufgabe auf. Erfolgt dies nicht, wird in den risikominimalen Zustand ^a zurückgeführt.

^aDer risikominimale Zustand kann z. B. das stehende Fahrzeug sein. Je nach Fahrumgebung kann er auch anders definiert werden.

Teilautomatisiert

In der Stufe des *teilautomatischen* oder *teilautomatisierten* Fahrens wird im Gegensatz zum assistierten Fahren die gesamte Fahraufgabe des Fahrzeugs in bestimmten Situationen automatisiert - also sowohl die Längs- als auch die Querführung. Der Fahrer wird dabei lediglich von der aktiven Bahnführung befreit. Er muss das System stets überwachen und ggf. korrigierend eingreifen, da das System nur unter bestimmten Randbedingungen, wie z. B. unter Ausschluss von zu stark gekrümmten Kurven, aktiv sein kann (funktionale Systemgrenzen). Zudem können Fehler des Systems jederzeit vorkommen. Entsprechend der rechtlichen Bewertung in [55] ist dieser Grad der Automatisierung mit deutschem Verhaltensrecht (also der Straßenverkehrsordnung (StVO)) vereinbar, da der Fahrer stets als Sicherheitsebene fungiert und damit im Falle eines Unfalls ggf. haftbar gemacht werden kann.

Hochautomatisiert

Hochautomatisierte FAS übernehmen - genau wie teilautomatische FAS - die gesamte Fahraufgabe in bestimmten Situationen. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass hochautomatisierte Systeme alle funktionalen Systemgrenzen erkennen können. Im Falle des Erreichens einer solchen funktionalen Systemgrenze kann der Fahrer mit einer ausreichenden Zeitreserve zur Übernahme der Fahrzeugführung aufgefordert werden. Während das System aktiv ist, muss der Fahrer es nicht überwachen. Aus Systemsicht ist es ihm also gestattet, sich von der Fahraufgabe abzuwenden. Aus rechtlicher Sicht (StVO) ist dieser „Wegfall der Fahrzeugbeherrschung durch den Fahrer“ jedoch nicht gestattet [55]. Die Spezifikation eines hochautomatisierten FAS steht daher grundsätzlich mit der derzeitigen Rechtslage in Deutschland im Konflikt.

Vollautomatisiert

In die Stufe *Vollautomatisiert* werden Systeme eingestuft, die wie hochautomatisierte Systeme die gesamte Fahrzeugführung in bestimmten Anwendungsfällen übernehmen und in der Lage sind, alle funktionalen Systemgrenzen zu erkennen. Zusätzlich können sie aus jeder Situation einen risikominimalen Zustand erreichen. Dieser risikominimale Zustand hängt von der jeweiligen Fahrumgebung ab und kann in der einfachsten Ausprägung zum Beispiel das stehende Fahrzeug sein. In bestimmten Umgebungen (z. B. Autobahnen) könnte es zusätzlich erforderlich sein, das Fahrzeug auf den Seitenstreifen zu fahren und dort anzuhalten. Dies wird insbesondere dann erforderlich, wenn der Fahrer auf eine Übernahmeaufforderung an einer Systemgrenze nicht reagiert. Aus rechtlicher Sicht ergeben sich daraus keine Unterschiede zu hochautomatisierten FAS [55].

2.1.3 Umsetzungsbeispiele

In diesem Kapitel sollen einige bekannte Umsetzungsbeispiele für eine Automatisierung der Fahraufgabe gegeben werden. Ziel ist es dabei, den technischen Kontext dieser Forschungsarbeit widerzuspiegeln.

Die meisten der bisher im Serieneinsatz befindlichen automatischen FAS sind entsprechend der in Kapitel 2.1.1 vorgestellten Nomenklatur in die Kategorie *Assistierend* einzustufen, da stets nur ein Teil der Bahnführung automatisiert wird, nämlich entweder die Längsführung oder die Querführung.

Sie werden im Folgenden vorgestellt. Anschließend wird ein kurzer Überblick über den Stand der Forschung und Technik im Bereich teilautomatischer FAS gegeben.

Längsführung

Assistiertes Fahren in der *Längsführung* wird allgemein durch das System **Adaptive Cruise Control (ACC)** [160,161] realisiert, welches international genormt ist [2]. Dabei handelt es sich um ein System, welches abhängig von der Verkehrsumgebung die vom Fahrer gewählte Setzgeschwindigkeit v_{set} einregelt. Dazu werden Beschleunigungsanforderungen über den Antriebsstrang und Verzögerungsanforderungen über das elektronische Stabilitäts Programm (ESP) realisiert.

Sobald ein Zielobjekt (ZO) - ein relevantes auf der gleichen Fahrspur vorausfahrendes Fzg. - detektiert wird, passt das System die eigene Fahrgeschwindigkeit an die des ZO an, um eine gleichmäßige Folgefahrt zu gewährleisten, wie in Bild 2.2 dargestellt.

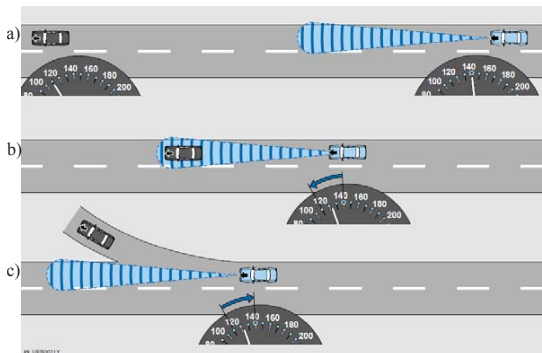


Bild 2.2: Schematische Funktionsweise von ACC, entnommen aus [160]:

- Fahrzeug mit ACC nähert sich einem langsamer fahrenden Fahrzeug.
- Fahrzeug mit ACC passt eigene Geschwindigkeit an vorausfahrendes Fahrzeug an.
- Nachdem das vorausfahrende Fahrzeug abgelenkt ist, beschleunigt das Fahrzeug mit ACC wieder auf die Setzgeschwindigkeit.

Der vordere Bereich des Fahrzeugs wird dabei mit einer geeigneten Umfeldsensorik erfasst. Hierbei kommt zumeist ein Radar-Sensor zum Einsatz. Es sind auch Systeme bekannt, die Videokameras, Lidar-Sensoren oder eine Fusion verschiedener Sensoren zur ZO-Detektion verwenden [110, 136, 138, 156].

Je nach Vorhandensein eines ZO wird dabei entweder die Setzgeschwindigkeit v_{set} oder die Zeitlücke τ als Regelgröße im internen Regler verwendet. Die Zeitlücke τ ist nach Gleichung 2.1 aus der Geschwindigkeit v_{ego} und dem Longitudinalabstand d_{long} zum ZO definiert.

$$\tau = \frac{d_{long}}{v_{ego}} \quad (2.1)$$

Wird v_{set} als Regelgröße verwendet, entspricht das Systemverhalten dem eines herkömmlichen Tempomaten.

Der Fahrer hat neben dem Ein- und Ausschalten des Systems üblicherweise die Möglichkeit, zum einen die Setzgeschwindigkeit v_{set} und zum anderen die Zeitlücke τ stufenweise einzustellen. In manchen Fahrzeugen ist zudem die Dynamik der automatischen Längsführung in gewissen Grenzen einstellbar, z. B. sportlich - normal - komfortabel. Die momentane Einstellung wird dem Fahrer optisch entweder im Kombiinstrument oder im Head-Up Display (HUD) angezeigt. Eine beispielhafte Gestaltung der ACC-Interaktionselemente ist in Bild 2.3 abgebildet.

Während das klassische ACC nur oberhalb einer Geschwindigkeitsgrenze von $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ aktivierbar ist, gibt es seit 2005 auch ein System für den gesamten Geschwindigkeitsbereich - also inklusive Stillstand und Wiederauffahren - das Adaptive Cruise Control Stop & Go (ACC S&G). Es ist international in ISO 22179 [3] genormt. Die Funktionsweise ist identisch zum ACC. Hält das vorausfahrende Fzg. an, bringt ACC S&G das Fzg. automatisch zum Stillstand. Mit der üblicherweise verbauten Sensorik kann nicht ausgeschlossen werden, dass während des Stillstands Fußgänger vor das Fzg. gelaufen sind.

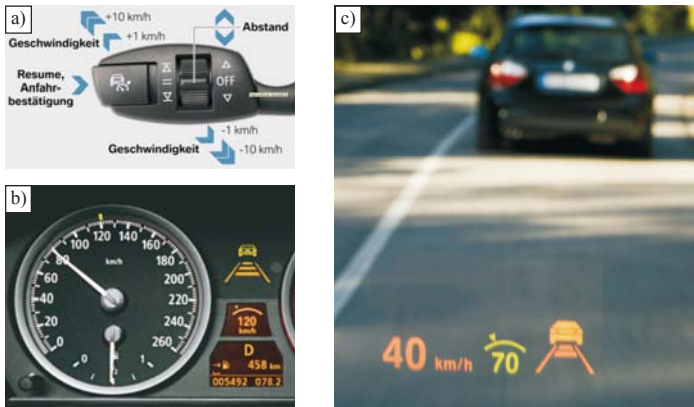


Bild 2.3: ACC-Interaktionselemente in einem *BMW E60*, entnommen aus [161]:
 a) Lenkstockhebel als Bedienelement. b) Anzeigen im Kombiinstrument.
 c) Anzeigen im Head-Up Display (HUD).

Daher ist aus Sicherheitsgründen bei Wiederanfahrt stets eine Bestätigung des Fahrers notwendig.

Die maximale Bremsverzögerung des Systems ist nach [3] von der aktuellen eigenen Fahrgeschwindigkeit v_{ego} abhängig. Unterhalb von $v_{ego} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ soll die minimale Verzögerung des Systems einen Wert von $a_{min} = -5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ nicht unterschreiten, oberhalb von $v_{ego} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ gilt der Grenzwert von $a_{min} = -3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Querführung

In der *Querführung* sind bereits mehrere FAS zum assistierten Fahren in Serie realisiert. Sie unterscheiden sich im Anwendungsfall und Geschwindigkeitsbereich. Parklenkassistenten vermessen Parklücken während der Vorbeifahrt mittels Ultraschallsensoren [72, 83]. Anschließend berechnet das System eine Trajektorie und lenkt das Fzg. in die Parklücke. Der Fahrer

bleibt dabei bisher jedoch stets für die Längsführung verantwortlich und muss diese übernehmen.

Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten haben sich die bisherigen Systeme auf die Assistenz bei der Spurführung konzentriert [101]. Erste Ausprägungen warnen den Fahrer vor dem unbeabsichtigten Verlassen der eigenen Fahrspur optisch oder haptisch durch Lenkradvibrationen. Dazu wird der weitere Verlauf der eigenen Fahrspur mit Kamerasystemen identifiziert [57, 73]. Durch eine Prädiktion der Fahrzeugtrajektorie kann ein bevorstehendes unbeabsichtigtes Verlassen der Fahrspur erkannt werden. Anschließend wird der Fahrer mittels einer geeigneten Strategie gewarnt [135]. In einer weiteren Ausbaustufe wird mit Hilfe von Electric Power Steering-Systemen (EPS) aktiv in die Querführung eingegriffen, z. B. in [54, 88, 149]. Gemäß der in Kapitel 2.1.2 vorgestellten Methodik sind diese Systeme jedoch nicht zu den assistierenden FAS zuzuordnen, da die Führungsaufgabe auch in der Querführung noch beim Fahrer verbleibt.

In prototypischen Darstellungen sind assistierende Systeme der Querführung ebenfalls selten ohne eine automatisierte Längsführung anzutreffen. Ein assistierendes FAS müsste es dem Fahrer erlauben, die Hände vom Lenkrad zu nehmen - und somit die Querführung abzugeben, während er selber aktiv die Längsführung übernimmt. Da aber die assistierte Längsführung historisch viel eher entwickelt wurde, werden in Forschungsarbeiten meist gleich teilautomatisierte FAS dargestellt, welche im folgenden Kapitel vorgestellt werden.

Teilautomatisierte Fahrerassistenzsysteme

Zu den teilautomatisierten FAS zählen gemäß Kapitel 2.1.2 alle technischen Systeme, die sowohl die Längs- als auch die Querführung in bestimmten Situationen automatisieren. Die Verantwortung für die Fahraufgabe bleibt dabei beim Fahrer. In der Forschung existieren bereits eine Reihe von Ansätzen,

solche Systeme darzustellen. In diesem Kapitel wird daher nur ein Abriss der letzten relevanten Entwicklungen gegeben. Eine detaillierte Historie automatisierten Fahrens ist [10] zu entnehmen.

Die Entwicklung teilautomatischer FAS hat sich in den letzten Jahren vor allem in öffentlich geförderten Projekten manifestiert. Da sind zum einen das Projekt Intelligenter Verkehr und Nutzergerechte Technik (INVENT) und zum anderen das Projekt Highly automated vehicles for intelligent transport (HAVEit) zu nennen. Während in INVENT der Fokus auf der technischen Realisierung von Längs- und Querführung vorwiegend im Stau lag (z. B. in [120, 147, 150, 169]), konzentrierte man sich in HAVEit auch auf höhere Geschwindigkeitsbereiche [11] und Systeme für LKW [58]. Dabei wurde erstmals auch eine Überwachung des Fahrers mit Hilfe einer Innenraumkamera prototypisch realisiert [103, 117, 134].

Als weiteres prototypisches teilautomatisches FAS ist an dieser Stelle der von SCHALLER entwickelte Stauassistent zu nennen [84, 127, 128]. Der resultierende prototypische Stauassistent übernimmt sowohl die Längs- als auch die Querführung des Fahrzeugs bis zu einer Geschwindigkeit von $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Beide Teile (Längs- und Querführung) sind jedoch getrennt zu aktivieren. Die Querführung ist dabei nur zuschaltbar, wenn die Längsführung bereits aktiv ist. Dem Fahrer wird bei laufender Querführung über einen grünen Leuchtring am Lenkrad kommuniziert, dass er die Hände vom Lenkrad nehmen darf, wie in Bild 2.4 auf Seite 20 dargestellt. Das System übernimmt die Querführung dabei nicht auf Basis der erkannten Fahrspurmarkierungen, sondern baut auf einer freien Gasse bestehend aus anderen Fahrzeugen auf.

Während der Entstehung dieser Arbeit ist die neue MERCEDES-BENZ S-KLASSE erschienen. Sie ist mit einem „DISTRONIC PLUS MIT LENKASSISTENTEN“ erhältlich, der nach PANDER beim Fahren im Stau sowohl die Längsführung als auch die Querführung automatisieren soll [106]. Das System würde damit zu den teilautomatischen FAS zählen. In der offiziellen Betriebsanleitung wird erwähnt, dass der Fahrer auch mit aktiviertem



Bild 2.4: HMI des Stauassistenten von SCHALLER: Taste (1) und Lenkstockhebel (2) zur Bedienung von Quer- und Längsführung. Ein grüner Leuchtring am Lenkrad zeigt an, ob die Querführung aktiv ist - der Fahrer kann die Hände vom Lenkrad nehmen; entnommen aus [127].

„DISTRONIC PLUS MIT LENKASSISTENTEN“ während der Fahrt stets die Hände am Lenkrad behalten muss [27]. Sollte er seine Hände für eine längere Zeit vom Lenkrad nehmen, schaltet sich die Lenkunterstützung passiv. So soll gewährleistet werden, dass der Fahrer jederzeit eingriffsbereit ist. Die Funktion wird sukzessive in weiteren Baureihen ausgerollt [28]. Auch bei anderen Herstellern, wie z. B. BMW sind seit 2013 ähnliche Systeme verfügbar [17].

In der ROBERT BOSCH GMBH wird eine teilautomatische Funktion als Integration von ACC S&G und Lane Keeping Support (LKS) in einem System entwickelt. Es wird daher Integrated Cruise Assist (ICA) genannt.

2.1.4 Nutzen automatisierter Fahrerassistenzsysteme

Der allgemeine Nutzen eines FAS liegt nicht immer eindeutig auf der Hand. In der Literatur lassen sich drei verschiedene Nutzen-Kategorien für automatisierte Fahrerassistenzsysteme identifizieren:

1. Gesteigertes Wohlbefinden des Fahrers,
2. Gesteigerte Fahrsicherheit und
3. Gesteigerte Effizienz.

Diese Kategorien werden im Folgenden genauer betrachtet.

Gesteigertes Wohlbefinden des Fahrers

Fahren ist eine stress-belastete Aufgabe. STANTON & MARSDEN [139] argumentieren, dass besonders das Fahren in zähfließendem Verkehr (viele Verkehrsteilnehmer, geringe Geschwindigkeit) zu Stress, gefolgt von Frustration führt. Sie stellen weiter die Hypothese auf, dass dieser Stress vor allem durch die notwendige Reaktion auf andere Verkehrsteilnehmer hervorgerufen wird und nicht durch das bloße Erleben der Situation. Ist die Fahraufgabe automatisiert, wird diese Reaktion vom System übernommen. Gegeben die Hypothese ist korrekt, verbessert sich das Wohlbefinden des Fahrers infolge geringerer stressbedingter Frustration. Zudem ist durch die Übernahme der Fahraufgabe eine physische Entlastung der Fahrer zu erwarten.

Gesteigerte Fahrsicherheit

Eine große Zahl der vorkommenden Unfälle ist auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen [145]. Die Automatisierung der Fahraufgabe hat daher das Potential, den Fahrer als Fehlerquelle zu eliminieren und dadurch Unfälle zu vermeiden [139, 141].

Das Unfallvermeidungspotential durch die Automatisierung der Fahraufgabe resultiert aus einer insgesamt sichereren Fahrweise. So ergibt sich z. B. durch Automatisierung der Fahraufgabe ein höherer durchschnittlicher Abstand zum vorausfahrenden Fzg. [68] sowie niedrigere Durchschnittsgeschwindig-

keiten [68, 92]. Beide Faktoren erhöhen die Fahrsicherheit durch Reduktion der Kollisionswahrscheinlichkeit sowie der Schwere einer Kollision.

Auf der anderen Seite muss gerade bei teilautomatischen FAS berücksichtigt werden, dass der Fahrer die Aufgabe hat, das System zu überwachen und ggf. einzugreifen. In Studien wurde gezeigt, dass die Reaktionszeiten auf kritische Ereignisse bei automatisierter Fahrt höher sind als bei konventioneller manueller Fahrt [91, 168], insbesondere bei Ablenkung durch Nebentätigkeiten [92].

Die Automatisierung der Fahraufgabe hat großes Potential zur Reduzierung der Unfallzahlen, was in Bild 2.5 zum Ausdruck kommt. Gerade durch den Fahrer verursachte Unfälle können von der Automation effektiv verhindert werden, da das Fehlverhalten des Fahrers vermieden wird. Jedoch zeigt sich, dass nicht alle Unfälle durch Automatisierung verhindert werden können. Das Steigerungspotential der Fahrsicherheit ergibt sich daher aus den Unfällen, die durch Automation verhindert werden können abzüglich der durch die Automation verursachten Unfälle. Es wird angenommen, dass die Zahl der durch Automation vermiedenen Unfälle um ein Vielfaches höher ist, als die der durch sie verursachten Unfälle, wie in Bild 2.5 schematisch angedeutet [55].

Gesteigerte Effizienz

Die Kategorie der gesteigerten Effizienz durch Automation lässt sich wiederum auf zwei verschiedene Aspekte aufteilen. Zum einen kann bei alleiniger Betrachtung eines einzelnen Fahrzeugs durch eine automatisierte Längsführung eine energieoptimale Fahrweise dargestellt werden, wie von RADKE gezeigt [112]. Dabei kann durch eine situationsadaptive Variation der Fahrdynamik (Geschwindigkeit v_{ego}) stets ein energieoptimaler Lastpunkt des Antriebstrangs erreicht werden. In Studien wurde ein Kraftstoffeinspar-

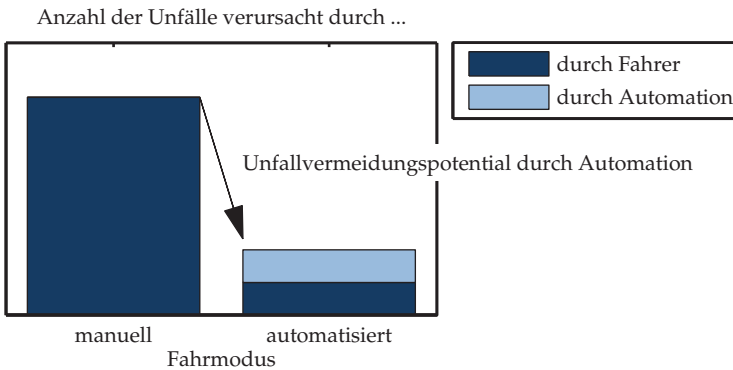


Bild 2.5: Theoretisches Unfallvermeidungspotential durch Automatisierung der Fahraufgabe, nach [55].

potenzial von ca. 10% bei identischer mittlerer Fahrgeschwindigkeit v_{mean} identifiziert [90].

Zum anderen sind automatisierte Fahrzeuge in der Lage, bei Kolonnenfahrt (z.B. im Stau) den Flottenverbrauch durch Reduktion von fahrerverursachten Fahrfehlern zu reduzieren. Dabei ist insbesondere die Automatisierung der Längsführung maßgeblich daran beteiligt, den makroskopischen Verkehrsfluss zu harmonisieren [68, 75]. Durch einen harmonisierten Verkehrsfluss werden hohe Verzögerungen und Beschleunigungen bei allen Verkehrsteilnehmern vermieden. Infolgedessen sinkt insgesamt gesehen der Energieverbrauch aller beteiligten Fahrzeuge. Dieser Effekt wurde in Simulationen bereits nachgewiesen und tritt insbesondere bei hohem Verkehrsaufkommen und hoher Ausstattungsrate des automatischen FAS auf [76, 98, 152].

2.1.5 Einführungsszenarien automatisierter Fahrerassistenzsysteme

In Kapitel 2.1.2 wurden die verschiedenen Grade automatisierter FAS vorgestellt und einige Realisierungsbeispiele beschrieben. Erste Systeme dieser Art (*Manuelle Fahrt* und *Assistiert*) sind bereits als Serienausstattung auf dem Markt verfügbar. Die beiden höchsten Automatisierungsgrade *Hochautomatisiert* und *Vollautomatisiert* stehen mit der gegenwärtigen Rechtslage in Konflikt. Eine Einführung dieser Systeme würde die Anpassung der Gesetzesgrundlage voraussetzen. Es ist daher damit zu rechnen, dass als nächster Schritt zuerst *teilautomatisierte FAS* in die Serienproduktion übergehen.

BARTELS postuliert, dass dabei zunächst „einfache“ Szenarien adressiert werden, um anschließend zu den komplexeren Anwendungsszenarien vorzudringen [10]. Ein Szenario wird dann als „einfach“ bezeichnet, wenn zum einen die Komplexität des Umfelds gering ist. Dies ist z. B. auf Autobahnen und Schnellstraßen der Fall. Zum anderen darf die Komplexität der zu erwartenden Fahrmanöver nicht zu hoch sein. Die reine Folgefahrt wird dabei als wenig komplexes Fahrmanöver angesehen. Auch andere Autoren gehen davon aus, dass zunächst die Fahrt im Stau ein solches „einfaches“ Szenario sein könnte, z. B. [33, 78, 99, 151].

Basierend auf diesen Annahmen ist ein teilautomatisches System, welches den Fahrer bei der Folgefahrt im Stau auf einer Autobahn unterstützen soll, das mit hoher Wahrscheinlichkeit als nächstes realisierte Fahrerassistenzsystem zur Automatisierung der Bahnführung. Ein solcher Stauassistent soll daher in dieser Forschungsarbeit als Funktionsbeispiel dienen.

2.2 Psychophysiologische Grundlagen

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit steht neben der technischen Ausgestaltung eines teilautomatischen FAS auch der Fahrer und seine Wahrnehmung

der Umgebung im Fokus. Dazu ist es notwendig, zunächst einige psychophysiologische Grundlagen zu beleuchten. Bild 2.6 zeigt den menschlichen Prozess der Informationsverarbeitung, der die Grundlage für die Erklärung notwendiger psychophysiologischer Grundbegriffe darstellt. Er beginnt mit der Wahrnehmung der Umwelt. Daher werden zunächst Grundbegriffe der Aufmerksamkeit in Kapitel 2.2.1 und 2.2.2 definiert und erläutert. Die Verarbeitung der Informationen wird anschließend in Kapitel 2.2.4 unter dem Stichwort Situationsbewusstsein diskutiert.

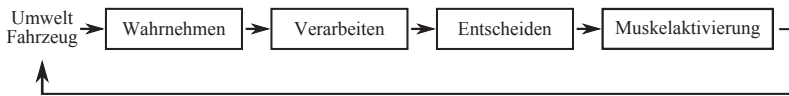


Bild 2.6: Informationsverarbeitungsprozess des menschlichen Fahrers, aus [88]

2.2.1 Aufmerksamkeit

Generell wird mit dem Begriff der Aufmerksamkeit ein Selektionsprozess verbunden, der Reize aus der Menge der verfügbaren Information auswählt, damit diese mental verarbeitet werden können [116]. Nach WERTH bezeichnet das Aufmerksamkeitsfeld den Bereich der Umgebung, auf den bewusst geachtet wird [153].

In Kapazitätsmodellen wird Aufmerksamkeit als eine Ressource mit einem endlichen Limit gesehen. Um eine Handlung durchzuführen, muss diese mit dem erforderlichen Maß an Aufmerksamkeit versehen werden. Kann sie nicht in einem ausreichenden Maß zu Verfügung gestellt werden, sind Leistungseinbußen zu erwarten. KAHNEMAN geht dabei von einer variablen Obergrenze aus [71] (Bild 2.7). Die Menge an zur Verfügung stehender Kapazität ist dabei variabel, was im Bild durch eine wellenförmige Linie dargestellt wird.

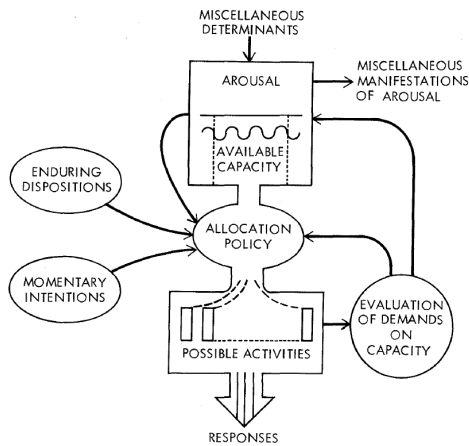


Bild 2.7: Das Kapazitätsmodell nach KAHNEMAN, entnommen aus [71]

Da die Kapazität der Aufmerksamkeit begrenzt ist, können nicht alle in der Umwelt vorhandenen Reize von einem Individuum wahrgenommen werden. Es muss eine Auswahl erfolgen. Die Ausrichtung des Aufmerksamkeitsfeldes ist also essentiell dafür, welche Teile der Umwelt wahrgenommen werden und welche nicht. Sie wird als *selektive Aufmerksamkeit* betrachtet [111].

Ihre Steuerung kann nach METZ in Top-Down und Bottom-Up Steuerung unterteilt werden [93]. Unter *Top-Down* Steuerung wird die „willentliche Ausrichtung der Aufmerksamkeit“ verstanden während bei der *Bottom-Up* Steuerung der Reiz selbst für eine Verschiebung der Aufmerksamkeit ursächlich ist. DOSHI & TRIVEDI haben herausgefunden, dass bei der Top-Down Steuerung eine einzigartige und signifikante Bewegung des Kopfes zeitlich vor der Bewegung der Augen hin zum jeweiligen Reiz zu beobachten ist [36]. Dieses Erkenntnis ist insbesondere dann wichtig, wenn man zwischen einer Top-Down oder Bottom-Up Zuwendung unterscheiden möchte. Im Fahrkontext wäre an dieser Stelle z. B. der Blick in einen der Rückspiegel

zu nennen, der bei Vorliegen einer entsprechenden Intention Top-Down und bei Vorliegen eines externen Reizes eher Bottom-Up erfolgt. Für weitere Details zum Thema Aufmerksamkeitssteuerung sei auf [93] verwiesen.

Während der Fahrt sind oft mehrere Reize und Aufgaben vorhanden, die mitunter auch parallel bearbeitet werden (Multitasking). Werden mehrere Aufgaben gleichzeitig durchgeführt, ist die Verteilung der gesamten Aufmerksamkeitskapazität von Interesse.

In einer Weiterentwicklung der Kapazitätsmodelle geht WICKENS davon aus, dass mehrere Dimensionen von Ressourcen existieren. Demnach beeinflussen sich zwei verschiedene Aufgaben nicht, solange sie in verschiedenen Dimensionen der Aufmerksamkeitsressourcen liegen. Erst wenn zwei verschiedene Aufgaben in gleichen Dimensionen der Aufmerksamkeit liegen und damit dieselbe Ressource beanspruchen, sind Leistungseinbußen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten [154]. Dabei wird von vier kategorialen und dichotomen Dimensionen der Ressourcen ausgegangen (vgl. Bild 2.8 auf Seite 28):

Phasen der Verarbeitung (engl. stages)

In der Phase der Verarbeitung wird zwischen Wahrnehmungs- und kognitiven Prozessen auf der einen Seite und Prozessen zur Auswahl und Ausführung einer Handlung auf der anderen Seite unterschieden.

Modalitäten (engl. modalities)

In der Modalität wird zwischen auditiver und visueller Wahrnehmung unterschieden. Dementsprechend gilt diese Unterteilung nur in der Wahrnehmungsphase der ersten Dimension.

Kodierungen (engl. codes)

Die Kodierung ist entweder räumlich (engl. spatial) oder verbal / linguistisch. Diese Unterteilung gilt auf allen Prozessebenen.

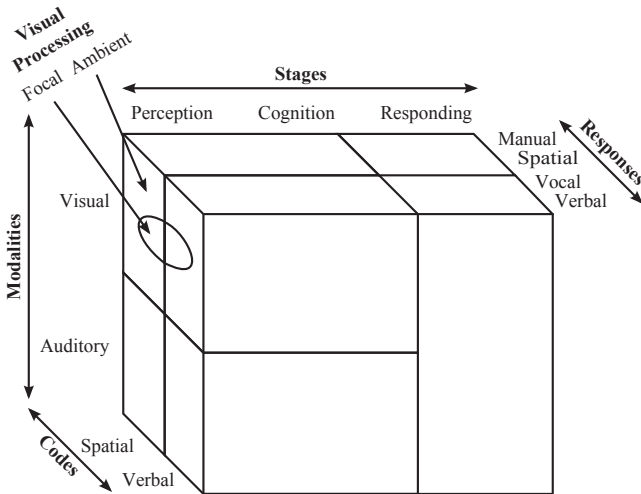


Bild 2.8: Das Modell multipler Ressourcen nach WICKENS, nach [155]

Visuelle Verarbeitung (engl. visual processing)

Hierbei handelt es sich um eine Dimension, die nur innerhalb der visuellen Wahrnehmungsmodalität vorkommt. Sie wird unterschieden zwischen fokalen und ambienten (peripheren) Blicken.

Der Bezug dieses Modells zum Fahrkontext wird im Folgenden anhand des Beispiels „Bedienung des Infotainmentsystems während der manuellen Fahrt“ betrachtet.

Dazu wird zunächst eine Einteilung der „manuellen Fahrt“ in die Ressourcendimensionen vorgenommen. Auf der Wahrnehmungsebene steht vor allem die visuelle Wahrnehmung im Vordergrund. Es kommt darauf an, die Position der umgebenden Objekte relativ zum eigenen Fahrzeug zu erfassen; die Kodierung ist also räumlich. Diese räumliche Erfassung des Umfelds geschieht sowohl über fokale als auch über periphere Blicke. Auf der Seite

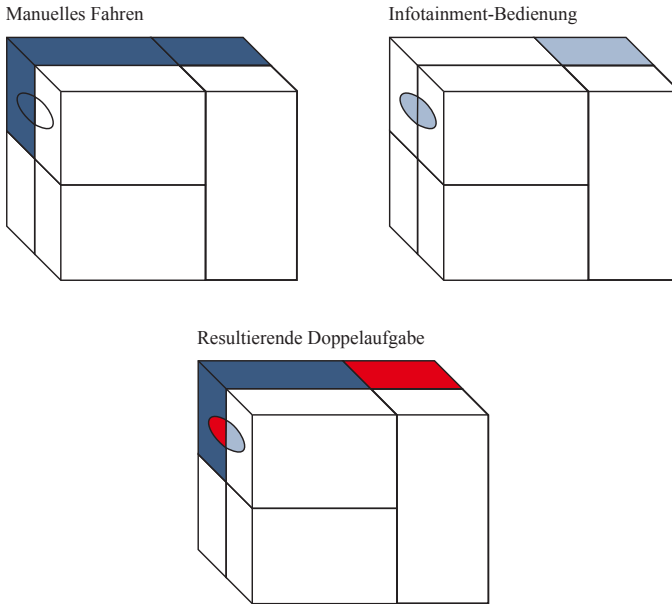


Bild 2.9: Beispiel für die Ressourcenbelegung von WICKENS Modell multipler Ressourcen für verschiedene Tätigkeiten. Oben links: manuelles Fahren. Oben rechts: Bedienung des Infotainmentsystems. Unten: Kombination beider Tätigkeiten. Ressourcenkonflikte sind rot dargestellt.

der Handlungsausführung ist vor allem die manuelle Bedienung von Lenkrad und Pedalerie zu sehen (vgl. Bild 2.9 oben links).

Bei der Bedienung des Infotainmentsystems ist auf der Wahrnehmungsseite ebenfalls die visuelle Wahrnehmung im Fokus. Jedoch werden hier lediglich fokale Blickzuwendungen benötigt. Die so aufgenommenen Informationen können räumlich (z. B. Betrachtung von Bildern oder grafischen Darstellungen) oder auch verbal (z. B. Lesen von Text) kodiert sein. Die Bedienung des Infotainmentsystems erfolgt klassischerweise ebenfalls manuell (vgl. Bild 2.9 oben rechts). Die Verwendung von alternativen Modalitäten, wie (z. B.

Sprachsteuerung oder Gestensteuerung) soll in diesem Beispiel zunächst nicht betrachtet werden.

Werden beide Aufgaben gleichzeitig durchgeführt, entstehen Ressourcenkonflikte, da teilweise identische Ressourcendimensionen beansprucht werden (vgl. Bild 2.9). Auf der Wahrnehmungsseite wird die Ressource der fokalen visuellen Aufnahme und Verarbeitung von räumlichen Informationen von beiden Aufgaben beansprucht, während der Konflikt auf der Seite der Handlungsausführung in der manuellen Bedienung beider Aufgaben entsteht. Dementsprechend sind Leistungseinbußen bei der manuellen Fahrt zu erwarten, wenn parallel ein Infotainmentsystem bedient wird.

2.2.2 Vigilanz (Daueraufmerksamkeit)

Der Begriff der *Vigilanz* kommt ursprünglich aus dem Lateinischen (Lat. *vigilantia*: „Wachheit“, „Schlauheit“) und bezieht sich auf das Aufrechterhalten der Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum. BULD definiert Vigilanz als die „Fähigkeit zur genauen Wahrnehmung und Reaktionsbereitschaft auf seltene Reize über einen längeren Zeitraum hinweg“ [22]. Sie wird daher auch oft als „Daueraufmerksamkeit“ bezeichnet.

Eine typische Vigilanzaufgabe ist beispielsweise der Mackworth Clock-Test, bei dem Versuchspersonen (VPn) über einen längeren Zeitraum den Sekundenzeiger einer Uhr beobachten und Zeigersprünge über zwei statt einer Sekunde erkennen müssen [87]. Die Abnahme der Anzahl korrekter Signalentdeckungen und/oder die Zunahme der Reaktionszeit sind dabei charakteristisch für eine Minderung der Vigilanz. In vielen Studien hat sich gezeigt, dass Vigilanzeffekte je nach Arbeitsumgebung schon nach ca. 20 bis 35 min zu beobachten sind [80].

2.2.3 Zusammenhang von Aufmerksamkeit, Workload und Leistung

Unter dem Workload versteht man allgemein die mentale Belastung eines Individuums. HART & STAVELAND geben eine allgemeine Definition [60]:

„Workload is not an inherent property, but rather it emerges from the interaction between the requirements of a task, the circumstances under which it is performed, and the skills, behaviours, and perceptions of the operator.“

Der Workload hängt also sowohl von personenbezogenen, umgebungsbezogenen und auch von aufgabenbezogenen Faktoren ab.

In verschiedenen Studien konnte bereits gezeigt werden, dass eine Reduktion des Workloads durch Automation möglich ist, z. B. in [18, 140]. Jedoch konnte in anderen Studien auch bereits nachgewiesen werden, dass der resultierende Workload des Fahrers nicht durch Automation beeinflusst wurde. Beispielsweise konnten ENDSLEY & KIRIS bei der Automatisierung einer Navigationsaufgabe im Bereich der Flugzeugführung keine Reduktion des Workloads feststellen [47].

Die bisher bekannten Modelle der Aufmerksamkeit reichen nicht aus, um alle bisher beobachteten Effekte bei der Reduktion von Workload durch Automation zu erklären. Vor allem eine reduzierte Leistungsfähigkeit bei sinkendem Workload konnte bisher nicht berücksichtigt werden [166]. Aus dem Grund schlagen YOUNG & STANTON ein erweitertes Modell der Aufmerksamkeit vor: die Malleable Attentional Resources Theory (MART) [167]. Ihr Kern ist, dass die zur Verfügung stehende Aufmerksamkeitskapazität nicht fix ist, sondern mit einer sinkenden Beanspruchung (Workload) ebenfalls sinkt. Daraus resultieren Leistungseinbußen bei Unterbelastung. Diese konnten in [166] nachgewiesen und auf eine verringertes zur Verfügung stehendes Aufmerksamkeitsniveau bezogen werden.

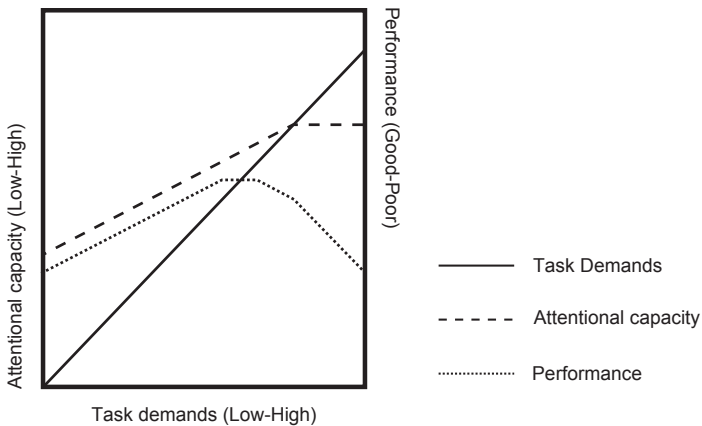


Bild 2.10: Zusammenhang zwischen Workload (Task demands) und der Leistung (Performance) eines Individuums nach der Malleable Attentional Resources Theory, entnommen aus [167]

Bild 2.10 zeigt die Zusammenhänge in einer qualitativen Übersicht. Die Linie der Leistung (Performance) zeigt in umgedrehtes „U“, wenn sie über dem Workload aufgetragen ist. Es gibt also einen Bereich optimaler Belastung. Negative Folgen auf die Leistungsfähigkeit können sich sowohl durch Über- als auch durch Unterbelastung eines Individuums ergeben.

Dieser Befund kann darüber hinaus die bereits in Kapitel 1.1 erwähnten „Ironies of Automation“ [9] erklären: Bei einer Automatisierung von bestimmten Aufgaben sinkt der Level an Workload für den Operator. Entsprechend sinkt die zur Verfügung stehende Aufmerksamkeitskapazität. In Folge ist es für den Operator - in diesem Fall den Fahrer - besonders schwierig, aufmerksam zu bleiben und die Automation zu überwachen.

2.2.4 Situationsbewusstsein

Das Konzept des Situationsbewusstseins beschreibt allgemein das Bewusstsein über den Zustand eines dynamischen Systems [43]. Es lässt sich auf unterschiedliche Domänen anwenden, wie z. B. das Führen oder Lotsen von Flugzeugen, die Führung von Fahrzeugen oder das Betreiben großer komplexer Systeme (z. B. Kraftwerke). Dabei können sowohl das Situationsbewusstsein von Menschen als auch von technischen Systemen oder auch von sozio-technischen Systemen mit menschlichen und technischen Anteilen im Fokus der Analyse stehen [125]. Je nach Herangehensweise werden unterschiedliche Modellvorstellungen für das Situationsbewusstsein herangezogen. Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist mit dem Begriff des Situationsbewusstseins stets das mentale Verständnis *des Fahrers* von einer vorhandenen Situation gemeint.

Ein ausreichendes Maß an Situationsbewusstsein ist wichtig, da es die Voraussetzung für ein erfolgreiches Ausführen von Aufgaben in sich dynamisch verändernden Systemen ist. Die dazugehörige Modellvorstellung wurde von ENDSLEY zunächst in [42] als „Aircrew Decision Model“ veröffentlicht und in [43] weiter verallgemeinert. Sie definiert das Situationsbewusstsein folgendermaßen:

„Situation Awareness is the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their status in the near future.“

Das Situationsbewusstsein ist also die Wahrnehmung der Elemente in der Umgebung, das Verständnis über ihre Bedeutung sowie eine Antizipation ihres zukünftigen Status. Diese drei Ebenen werden auch häufig als die drei Level des Situationsbewusstseins bezeichnet. Sie werden im Folgenden am Beispiel eines Fahrzeugführers erläutert.

Level 1: Wahrnehmung der Elemente in der Umgebung

Der erste Schritt zur Erlangung von Situationsbewusstsein ist die Wahrnehmung der relevanten Elemente in der Umgebung. Dabei kommen alle fünf Sinne des Menschen zum Einsatz (sehen, hören, fühlen, schmecken und riechen). Je nach Domäne (z.B. in der Luftfahrt oder während der Fahrzeugführung) sind unterschiedliche Elemente relevant. Auch der Einsatz der menschlichen Sinne hängt stark vom Kontext ab. Der Fahrzeugführer muss die Position und Dynamik anderer Verkehrsteilnehmer sowie den Status der Infrastruktur (z. B. eine rote Ampel) wahrnehmen, um den ersten Level des Situationsbewusstseins zu erreichen. HARTMANN postuliert, dass dabei mehr als 90 % der relevanten Informationen visuell aufgenommen werden [61]. Ähnliche Ansichten werden auch von anderen Autoren vertreten, z. B. in [100, 123]. Der visuelle Informationskanal spielt also in der Fahrzeugführung eine besonders wichtige Rolle.

Level 2: Verständnis ihrer Bedeutung

Im zweiten Schritt des Situationsbewusstseins müssen die verschiedenen aufgenommenen Informationen zu einem Gesamtverständnis der Situation integriert werden. Der zweite Level des Situationsbewusstseins kann analog zum Verstehen eines Textes im Gegensatz zum bloßen Lesen von Wörtern gesehen werden [46]. Ein Fahrzeugführer erkennt z. B. an der Verzögerung eines vorausfahrenden Fahrzeugs vor einer roten Ampel, dass dieses gerade anhält.

Level 3: Antizipation des zukünftigen Status

Der dritte und höchste Level des Situationsbewusstseins ist die Projektion des Status in die (nahe) Zukunft. Dazu ist zunächst das Erreichen von Level 1 und 2 erforderlich. Beispielsweise erkennt der Fahrzeugführer beim Erreichen einer roten Ampel an einer Kreuzung, dass eine hohe Kollisionswahrscheinlichkeit mit anderen Fahrzeugen besteht, falls er nicht vor der Kreuzung anhält.

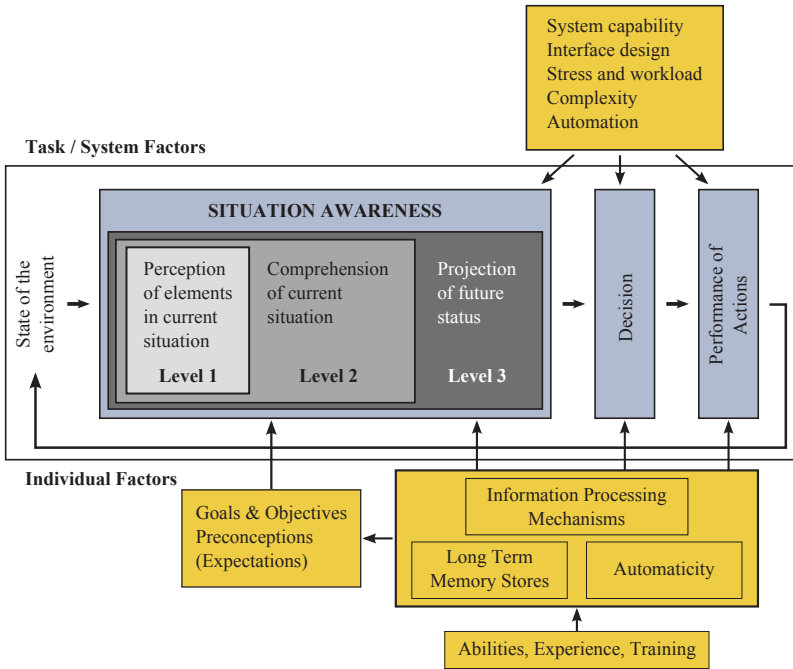


Bild 2.11: Die Feedbackschleife des Situationsbewusstseins inkl. beeinflussender individueller (unten) und aufgabenbezogener (oben) Faktoren nach [43], entnommen aus [114]

Bild 2.11 zeigt das gesamte Modell des Situationsbewusstseins als Feedbackschleife inklusiv aller beeinflussenden Faktoren. Ausgehend vom Zustand der Umgebung wird ein gewisses Maß an Situationsbewusstsein mit ihren drei Leveln entwickelt. Diese bildet die Basis für die Entscheidung für eine bestimmten Handlung. Ein gutes Situationsbewusstsein erhöht zusätzlich die Wahrscheinlichkeit für eine gute Leistung bei der Handlungsdurchführung [43]. Je nach Entscheidung und Durchführung einer Handlung ändert sich ggf. wieder der Status der Umgebung.

2.2.5 Verhaltensanpassung

Die Konzepte der Verhaltensanpassung wurden von WILDE unter der Theorie der Risikohomöostase zusammengefasst [158]. Sie wurde zunächst im Bereich der Fahrzeugsicherheit eingeführt, ist aber auch auf andere Bereiche übertragbar. Entsprechend der Theorie gibt es eine Regelschleife die das Verhalten eines Individuums derartig anpasst, dass das subjektiv empfundene Risiko einem persönlichen Zielwert entspricht. Sie ist in Bild 2.12 dargestellt. In Folge wird bei jeder technischen Maßnahme, die die Fahr-sicherheit erhöhen soll, das eigene Verhalten angepasst, um das Zielrisiko beizubehalten.

ASCHENBRENNER ET AL. fanden im Rahmen von intensiven Untersuchungen in Zusammenarbeit mit einem Taxiunternehmen Hinweise für eine Kompensation des Sicherheitsgewinns durch Antiblockiersystem (ABS) [8]. Die Taxifahrer sind weniger aufmerksam und überschätzen die Wirkung des ABS. Weiter verwenden die Taxifahrer das ABS aktiv zum schnelleren und riskanteren Vorwärtkommen. FOSSER ET AL. fanden heraus, dass Taxifah-

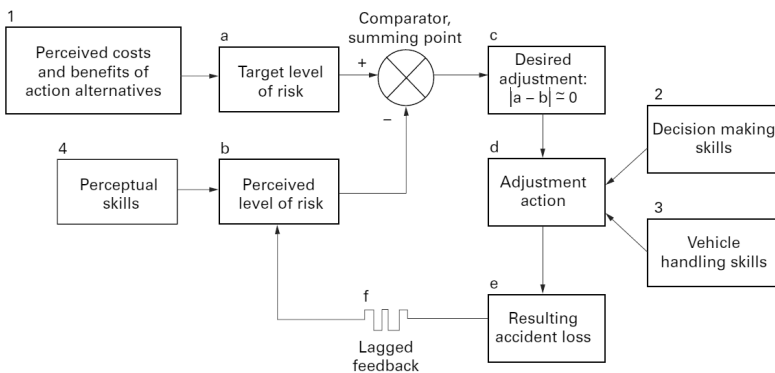


Bild 2.12: Regelschleife der Theorie der Risikohomöostase, aus [158]

rer in Fahrzeugen mit ABS zu geringeren longitudinalen Abständen neigen, als in solchen ohne ABS [52].

O'NEILL & WILLIAMS kritisieren jedoch die Theorie der Risikohomöostase, da sie nicht einmal innerhalb der Fahzeugsicherheit auf alle Bereiche übertragbar ist [104]. Nur bei Maßnahmen deren Sicherheitseinflüsse direkt und ohne eine abstrakte Hilfsvariable wie das wahrgenommene Risiko erfahrbar sind, würde sich das Verhalten der Fahrer in Richtung einer riskanteren Fahrweise ändern. Dies wäre z. B. bei besseren Scheinwerfersystemen in Fahrzeugen der Fall. Die Übertragbarkeit der Theorie der Risikohomöostase auf andere Bereiche sei relativ unklar. Die Wirkung der in dieser Arbeit betrachteten automatisierten FAS ist durch die Übernahme der Bahnführung für den Fahrer zu jedem Zeitpunkt klar erfahrbar. Daher kann die Theorie der Risikohomöostase dennoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit angewendet werden. In Folge würden die Fahrer aufgrund des niedrigeren wahrgenommenen Risikos ihr Verhalten bei der Systemüberwachung anpassen.

2.3 Der Fahrer im (teil-)automatisierten Fahrzeug

In diesem Kapitel soll eine Verbindung zwischen den beiden vorherigen Kapiteln zur Automation (Kapitel 2.1) und zu psychophysiologischen Grundlagen (Kapitel 2.2) geschaffen werden. Dabei soll der Mensch im automatisierten Fahrzeug einer genaueren Betrachtung unterzogen werden.

2.3.1 Einfluss auf das Situationsbewusstsein

Nachfolgend wird der Einfluss automatisierter Systeme auf das Situationsbewusstsein des Operators anhand vorhandener Literatur näher beleuchtet und diskutiert. Dazu wird zunächst auf das „Out-of-the-Loop“ Syndrom eingegangen. Anschließend wird die „Mode Awareness“ diskutiert, die sich durch Automation reduzieren kann.

Das „Out-of-the-Loop“ Syndrom

Die für diese Arbeit wichtigsten Effekte werden von ENDSLEY & KIRIS unter dem Begriff des „*Out-of-the-Loop*“ *Syndroms* zusammengefasst [47]. Mit dem Begriff des „Loops“ ist dabei der Regelkreis des betrachteten Systems gemeint - in dieser Arbeit also der Regelkreis der Fahrzeugführung. Dadurch, dass der Operator bei einer Automatisierung nicht mehr aktiv an der Regelung des Systems beteiligt ist - also aus dem Regelkreis herausgenommen wurde - verringert sich sein Situationsbewusstsein.

Das „Out-of-the-Loop“ Syndrom tritt vor allem bei Fehlfunktionen des Systems zum Vorschein. Durch geringeres Situationsbewusstsein sind Operatoren einerseits nicht in der Lage, diese Fehlfunktionen schnell genug zu erkennen. Andererseits kann es passieren, dass Operatoren - ebenfalls durch vermindertes Situationsbewusstsein - unfähig sind, im Fall von Systemausfällen stabilisierende Maßnahmen rechtzeitig und korrekt zu identifizieren [70].

Allgemein kann die Reduktion des Situationsbewusstseins, also das „Aus-dem-Regelkreis-Sein“, verschiedene Gründe haben [47]:

- Vigilanzminderung,
- überhöhte Complacency,
- passive Informationsverarbeitung und
- verminderte Qualität des Systemfeedbacks.

Bereits nach 30min konnten DAVIES & PARASURAMAN eine *Vigilanzminderung* in Bezug auf zu beobachtende Signale feststellen [30], zitiert in [46]. Es zeigt sich, dass Vigilanzeffekte nicht nur bei einfachen Systemen, sondern auch bei der passiven Beobachtung komplexer automatisierter Systeme auftreten können [46].

Complacency beschreibt ein übermäßiges Vertrauen in das automatische System infolgedessen es zur Vernachlässigung der Überwachungsaufgabe

kommt [107]. Sie kann nach ENDSLEY in die Konzepte „reliance“ und „compliance“ aufgeteilt werden. Während mit „reliance“ zu hohes Vertrauen durch eine geringe Rate an Fehlfunktionen beschrieben wird, meint „compliance“ ein zu hohes Vertrauen durch eine niedrige Rate an Fehlalarmen. Um den gegebenen Rahmen nicht zu sprengen sei für weitere Details auf [46, Kap. 10.2.1] verwiesen.

Das Maß an erworbenem Situationsbewusstsein ist bei *passiver Verarbeitung der Informationen* geringer als bei ihrer aktiven Verarbeitung. Als Grund dafür werden Unterschiede bei der Art der Informationsverarbeitung und Speicherung gesehen. Dies kann nach ENDSLEY analog zum Fahren zu einem unbekanntem Ort gesehen werden [46]. Saß man während der Fahrt auf dem Beifahrersitz, ist das Wissen über den korrekten Rückweg meist schlechter ausgeprägt als wenn man selbst gefahren wäre. Im Bereich der Luftfahrt konnte bereits in mehreren Studien ein geringeres Situationsbewusstsein durch den Wechsel von aktiver zu passiver Verarbeitung der Reize festgestellt werden, z. B. [46, 47].

Die *Qualität des Systemfeedbacks* wird direkt durch das Design der Automation bestimmt. Dabei kann es vorkommen, dass notwendige Hinweisreize absichtlich oder unabsichtlich vom Operator ferngehalten werden. Aufgrund von fehlenden oder qualitativ minderwertigen Informationen ist es demzufolge nicht möglich, ein adäquates Situationsbewusstsein zu entwickeln. Als Beispiel werden hier frühe fly-by-wire Systeme gegeben. Vibrationen im Steuerknüppel - die wichtige Hinweise über den derzeitigen Zustand des Flugzeugs liefern - wurden durch das elektronische System eliminiert. In neueren, verbesserten Systemen kommen daher Vibrationsgeneratoren an den Steuerknüppeln zum Einsatz [46]. Bei Fahrzeugen wäre z. B. ein Wegfall von Informationen zur Position des Lenkrads beim Fahren mit automatisierter Querführung denkbar, da der Fahrer hier die Hände nicht mehr am Lenkrad hat. Das Lenkrad befindet sich jedoch stets noch im Blickfeld des Fahrers. Änderungen des Lenkradwinkels können zudem sofort durch

eine fehlerhafte Trajektorie des Fahrzeugs erkannt werden. Es stellt sich dabei die Frage, ob die Qualität des Systemfeedbacks durch das Wegnehmen der Hände vom Lenkrad bereits zu stark reduziert wird.

Um allgemein während der Fahrt mit automatisierten FAS ein hohes Maß an Sicherheit zu gewährleisten, sollte das „Out-of-the-Loop“ Syndrom insgesamt vermieden werden. Dazu muss der Fahrer möglichst im Regelkreis der Fahrzeugführung verbleiben: eine Automatisierung der *gesamten* Fahraufgabe sollte vermieden werden [116].

Reduzierte Mode Awareness

Unter dem Begriff der „Mode Awareness“ definiert ENDSLEY ein Verständnis darüber, in welchem Zustand sich die Automation gerade befindet und welche Transitionen bevorstehen [46]. Demzufolge werden hier vor allem die Level 2 und 3 des Situationsbewusstseins (vgl. Kapitel 2.2.4) adressiert.

Zentral sind dabei die Fragen danach, was das System gerade durchführt, warum es dieses durchführt und was es in Zukunft durchführen wird. Um eine hohe Mode-Awareness zu erreichen, muss das mentale Modell des Systems beim Operator korrekt und vollständig ausgeprägt sein. Es muss weiterhin von den System-Anzeigen, also dem Human-Machine Interface (HMI), mit den richtigen Informationen versorgt werden.

2.3.2 Einfluss von Nebenaufgaben auf den Fahrer

Nebenaufgaben während der Fahrt haben zweifelsohne einen Einfluss auf den Fahrer. Entsprechend WICKENS' Modell multipler Ressourcen (vgl. Kapitel 2.2.1) müsste sich eine Nebenaufgabe während der Fahrt die Aufmerksamkeitsressourcen mit der Fahraufgabe teilen. Je nach Aufteilung der Ressourcendimensionen sind daher Reduktionen im Situationsbewusstsein und in der Fahrleistung zu erwarten. In Studien konnte eine Reduktion von Situationsbewusstsein durch Ablenkung in Folge von verbalen [59], visuellen [124] und kognitiven [124] Nebenaufgaben festgestellt werden. Zudem ist allgemein eine Beeinflussung des Fahrverhaltens im Rahmen einer Risikokompensation (vgl. Kapitel 2.2.5) durch Nebenaufgaben denkbar. Dieses Kapitel soll einen Überblick über die in der Literatur belegten Einflüsse von Nebenaufgaben geben. Dabei müssen jedoch die in Kapitel 2.1.2 vorgestellten Grade der Automatisierung berücksichtigt werden, da die Interaktion der beiden Aufgaben miteinander stark von der Art beider Aufgaben abhängig ist.

Bei *manueller Fahrt* führt die Ausführung von Nebenaufgaben vor allem zu einer Verhaltensanpassung der Fahrweise. Entsprechend der Theorie der Risikohomöostase geht mit der Beschäftigung mit Nebenaufgaben ein höheres wahrgenommenes Risiko einher. Dementsprechend würde sich die Fahrweise während der Bearbeitung von Nebenaufgaben als sicherer erweisen. Während der Bedienung der Nebenaufgabe wird die Fahrweise angepasst - z. B. in Form einer Geschwindigkeits-Reduktion [41, 92]. In schwierigeren Verkehrssituationen wird die Nebenaufgabe entweder nicht bedient oder unterbrochen [41].

In der *assistierten Fahrt* ist in der Literatur vor allem der Fall der automatisierten Längsführung (also die Systeme ACC und ACC S&G) betrachtet worden. MA & KABER untersuchten den Einfluss von Handy-Telefonaten während der Fahrt mit ACC [86]. Sie fanden heraus, dass sich durch das

Telefonieren zum einen ein höherer subjektiver Workload ergab und zum anderen das Situationsbewusstsein negativ beeinflusst wurde.

Der Effekt von Nebenaufgaben während der *teilautomatisierten Fahrt* wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Zum einen konnte REICHARDT keine negativen Einflüsse auf die Fahrsicherheit finden [119]. Es ist jedoch naheliegend, dass Nebenaufgaben gerade während der teilautomatischen Fahrt ihr Ablenkungspotential entfalten und das Out-of-the-Loop Syndrom (vgl. Kapitel 2.3.1) verstärken. Dies würde sich in verlängerten Reaktionszeiten oder gänzlich ausbleibenden Reaktionen auf kritische Ereignisse widerspiegeln, wie sie z. B. von WIMMER festgestellt wurden [159]. Allerdings wird aus der beschriebenen Veröffentlichung nicht deutlich, ob diese Effekte durch die Teilautomation an sich oder durch die Nebenaufgabe hervorgerufen wurden.

Insgesamt ist der Einfluss von Nebenaufgaben auf den Fahrer stark von der Art der jeweiligen Aufgabe abhängig. Gemäß WICKENS' Modell multipler Ressourcen (vgl. Kapitel 2.2.1) ist die Allokation der Aufmerksamkeitsressourcen auf die verschiedenen Aufgaben - nämlich die Fahraufgabe und die Nebenaufgabe - hier von besonderer Bedeutung.

2.4 Entwicklung der zentralen Forschungsfragen dieser Arbeit

Die in Kapitel 2.1.5 beschriebenen Überlegungen zu Einführungsszenarien automatischer FAS haben ein teilautomatisches System, welches den Fahrer bei der Folgefahrt im Stau auf einer Autobahn unterstützt, als das als nächstes realisierte automatisierte FAS identifiziert. Der teilautomatische Stauassistent wird daher im weiteren Verlauf der Arbeit *Traffic Congestion Assistant (TCA)* genannt und soll in dieser Forschungsarbeit als konkretes Funktionsbeispiel dienen.

Nach der rechtlichen Bewertung in [55] besteht bei teilautomatischen FAS besonderer Forschungsbedarf bei der Frage, wie das Situationsbewusstsein des Fahrers aufrechterhalten werden kann. Bild 2.13 zeigt die in der Literatur identifizierten leistungsmindernden Effekte für automatisierte Fahrerassistenzsysteme bezogen auf den Fahrer. Ein Verlust an Situationsbewusstsein sowohl durch das Out-of-the-Loop Syndrom als auch durch eine geringere Aufmerksamkeitskapazität in Folge einer geringeren Aktivierung der Fahrer (vgl. MART in Kapitel 2.2.3) möglich. Aufgrund geringen Situationsbewusstseins sind die Fahrer möglicherweise nicht in der Lage, jederzeit wieder die vollständige Fahraufgabe zu übernehmen. Dies könnte sich insbesondere bei unvorhersehbaren technischen Fehlfunktionen kritisch auswirken. SCHÖMIG & KAUSSNER haben gerade in vom System nicht erkennbaren Situationen eine Erhöhung der Reaktionszeit des Fahrers feststellen können [133].

Es ist daher die zentrale Aufgabe dieser Forschungsarbeit, Methoden und Mechanismen zu identifizieren, die den Fahrer während der Fahrt mit einem

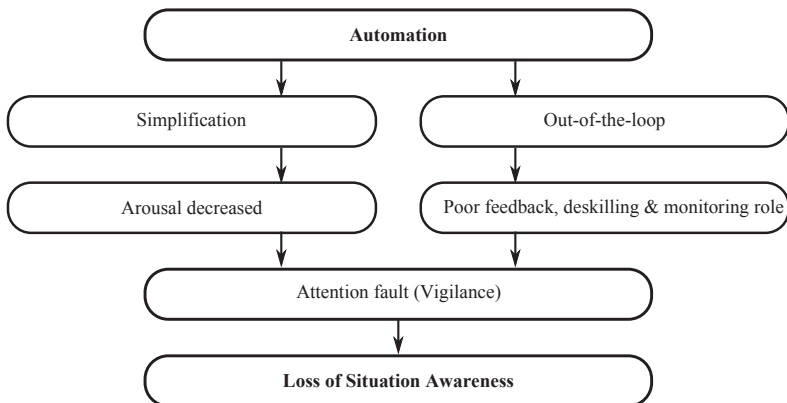


Bild 2.13: Leistungsmindernde Effekte für automatisierte Fahrerassistenzsysteme, Ausschnitt aus [144]

teilautomatischen *TCA* derartig unterstützen, dass sowohl sein Situationsbewusstsein als auch die resultierende Fahrsicherheit bei Überschreitungen der Systemgrenzen und Fehlfunktionen gesteigert werden.

ENDSLEY gibt bereits Vorschläge zur Unterstützung von Situationsbewusstsein bei automatischen FAS [46]:

- nur die Aufgaben automatisieren, in denen dies notwendig ist,
- der Fahrer sollte - z. B. durch niedrigere Grade der Automation - im Regelkreis behalten werden,
- nicht die Auswahl von Handlungsalternativen automatisieren.

Im Hinblick auf die in Kapitel 2.1.5 abgeleiteten Einführungsszenarien ist es jedoch nicht zielführend, nur Teile der Fahraufgabe zu automatisieren. Der Wunsch nach voll- und hochautomatisierten FAS besteht. Um diese Systeme zu entwickeln, müssen zunächst teilautomatische FAS in den Markt gebracht werden, bei denen der Fahrer das System lediglich überwachen muss. Ebenso ist ein Verbleib des Fahrers im Regelkreis der Fahrzeugführung auf dem Weg in Richtung voll- und hochautomatisierter FAS nicht wünschenswert. Die Automation von Handlungsalternativen sollte bei teilautomatischen FAS jedoch trotzdem weiter vermieden werden.

Keiner der von ENDSLEY genannten Vorschläge lässt sich ohne Weiteres auf diese teilautomatischen Systeme anwenden. Es ist daher das Ziel dieser Forschungsarbeit, Alternativen zu den o.g. Vorschlägen zu identifizieren (Kapitel 5) und diese zu evaluieren (Kapitel 6).

3 Analyse der Randbedingungen für einen Stauassistenten

In diesem Kapitel werden die Anforderungen an einen teilautomatischen Stauassistenten, den *Traffic Congestion Assistant (TCA)*, betrachtet. Dazu wird zunächst das Verkehrsumfeld „Stau“ erörtert. Anschließend werden die Anforderungen an eine solche Funktion aus Nutzer- und Systemsicht analysiert. Entsprechend der in Kapitel 1.2 dargestellten Entwicklungsmethodik „Entwicklung technischer Systeme“ gehört dieses Kapitel zu dem Schritt „Problemanalyse und -formulierung“.

3.1 Die Verkehrsumgebung

Dieses Unterkapitel liefert eine detaillierte Analyse der relevanten Verkehrsumgebung. Der in dieser Arbeit betrachtete *TCA* soll den Fahrer während der Fahrt im Stau auf Autobahnen unterstützen. Die Verkehrssituation „Stau“ wird in den folgenden Unterkapiteln genauer beleuchtet.

Auf Seiten der Infrastruktur wird dabei eine dreispurige Fernautobahn in Deutschland betrachtet. Die für die Linienführung¹ und Bemaßung² einer solchen Autobahn relevanten Vorschriften und Maße sind in Anhang A.1 aufgeführt.

¹ Kurvenführung und Steigungen

² Spurbreiten und Linienbreiten

3.1.1 Definition eines Staus

Der Begriff Stau umfasst eine Vielzahl von Verkehrssituationen, wie in Kapitel 3.1.2 später erläutert wird. Aus subjektiver Sicht wird damit immer eine Beeinträchtigung der Mobilität verbunden [127]. Diese ist eng mit dem Begriff der *Verkehrsqualität* gekoppelt, der die Güte des Verkehrs im Hinblick auf die Bewegungsfreiheit oder den Grad der Behinderung für ein einzelnes Fahrzeug beschreibt. Sie wird nach [50] in sechs Stufen eingeteilt:

Stufe A Die Verkehrsteilnehmer werden äußerst selten von anderen beeinflusst. Sie besitzen die gewünschte Bewegungsfreiheit in dem Umfang, wie sie auf der Verkehrsanlage zugelassen ist. Der Verkehrsfluss ist frei.

Stufe B Die Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer macht sich bemerkbar, bewirkt aber nur eine geringe Beeinträchtigung des Einzelnen. Der Verkehrsfluss ist nahezu frei.

Stufe C Die individuelle Bewegungsmöglichkeit hängt vielfach vom Verhalten der übrigen Verkehrsteilnehmer ab. Die Bewegungsfreiheit ist spürbar eingeschränkt. Der Verkehrszustand ist stabil.

Stufe D Der Verkehrsablauf ist gekennzeichnet durch hohe Belastungen, die zu deutlichen Beeinträchtigungen in der Bewegungsfreiheit der Verkehrsteilnehmer führen. Interaktionen zwischen ihnen finden nahezu ständig statt. Der Verkehrszustand ist noch stabil.

Stufe E Es treten ständige gegenseitige Behinderungen zwischen den Verkehrsteilnehmern auf. Bewegungsfreiheit ist nur in sehr geringem Umfang gegeben. Geringfügige Verschlechterungen der Einflussgrößen können zum Zusammenbruch des Verkehrsflusses führen. Der Verkehr bewegt sich im Bereich zwischen Stabilität und Instabilität. Die maximale Kapazität wird erreicht.

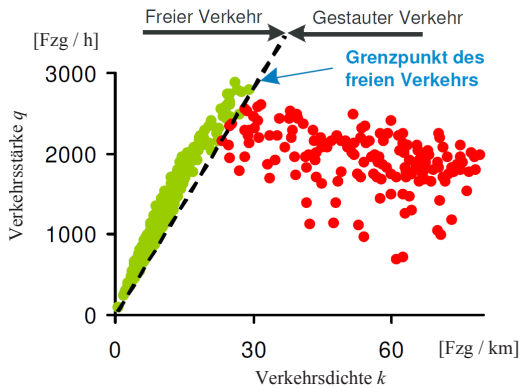


Bild 3.1: Unterschied zwischen freiem Verkehr (grüne Punkte) und gestautem Verkehr (rote Punkte) im Fundamentaldiagramm, entnommen aus [118]

Stufe F Die Nachfrage ist größer als die Kapazität. Die Verkehrsanlage ist überlastet.

Wichtige Parameter zur allgemeinen Beschreibung des Verkehrszustandes auf einer Straße sind die Verkehrsdichte k und die Verkehrsstärke q . Trägt man die Verkehrsstärke q in einem Diagramm über der Verkehrsdichte k auf, erhält man das Fundamentaldiagramm (vgl. Bild 3.1). Sie sind nach Gleichung 3.1 mit der durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit v_{mean} verbunden.

$$q = k \cdot v_{mean} \quad (3.1)$$

Die Drei-Phasen-Verkehrstheorie nach KERNER gibt eine zweite Möglichkeit zur Beschreibung des Verkehrs [75]. Sie teilt den vorkommenden Verkehr in Phasen auf. Zunächst wird freier Verkehr vom gestauten Verkehr unterschieden. Freier Verkehr lässt sich im Fundamentaldiagramm (Bild 3.1) durch eine streng monoton steigende Funktion beschreiben. Im Gegensatz dazu definiert KERNER gestauten Verkehr als den Verkehr, dessen durchschnittliche Geschwindigkeit v_{mean} geringer als die des freien Verkehrs ist.

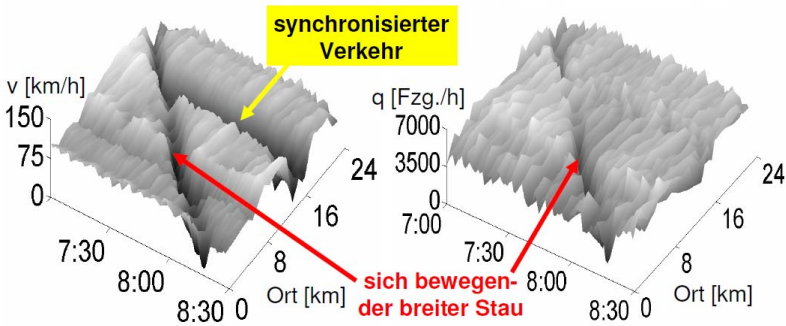


Bild 3.2: Zeitlicher Verlauf der mittleren Geschwindigkeit v_{mean} über der Position auf der Straße zeigt den Unterschied zwischen weitem sich bewegendem Stau und synchronisiertem Verkehr. Bild entnommen aus [118]

Nach Gleichung 3.1 verhält sich die Verkehrsstärke q proportional zur mittleren Geschwindigkeit v_{mean} bei konstanter Verkehrsdichte k . Demzufolge befinden sich die Messpunkte für gestauten Verkehr immer *unterhalb* der Linie für freien Verkehr im Fundamentaldiagramm (vgl. Bild 3.1).

Der gestaute Verkehr wird weiterhin nach der Position des *vorderen* Ende des Staus auf der Straße unterschieden. Das vordere Ende des Staus ist dabei die Position auf der Straße, an der die Fahrzeuge (Fzge.) aus dem Stau herausfahren und beschleunigen. Der Unterschied wird in Bild 3.2 verdeutlicht. Bei synchronisiertem Verkehr bleibt das vordere Ende des Staus an einer Position stehen. Dies ist häufig an festen Engstellen wie z. B. Baustellen oder Einfahrten der Fall. Der sich bewegende breite Stau bewegt sich hingegen mit der Geschwindigkeit des vorderen Stauendes rückwärts. Dabei kommen extrem niedrige Geschwindigkeiten - zum Teil bis hin zum Stillstand - vor.

Es resultieren daher drei Phasen des Verkehrs:

- freier Verkehr,
- synchronisierter Verkehr und
- sich bewogender, breiter Stau.

3.1.2 Dynamik der Situationen

Für die in der vorliegenden Arbeit angestrebte Konzeption eines Stauassistenten ist insbesondere eine Charakterisierung der im Stau vorkommenden Situationen wichtig. Im Rahmen der öffentlich geförderten Forschungsinitiative Intelligenter Verkehr und Nutzergerechte Technik (INVENT) hat SANDKÜHLER die Verkehrssituation Stau analysiert [126]. Dabei wurde auf Basis von $n = 30$ realen Staufahrten eine subjektive Klassifikation der Situationen erarbeitet. Die Fahrer wurden also nach ihrem subjektiven Eindruck befragt und urteilten, ob in der jeweiligen Situation ein Stau vorlag oder nicht. KERNERS Definition von gestautem Verkehr (vgl. Kapitel 3.1.1) kam in dieser Studie nicht zum Einsatz.

Die im Stau vorkommenden Verkehrssituationen werden vor allem durch die gefahrenen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen charakterisiert. Bild 3.3 zeigt die im Stau vorkommenden Geschwindigkeiten und Längsbeschleunigungen. Es ist erkennbar, dass bereits ca. 78 % der Stau-Zeit unterhalb von $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ gefahren wird. Wählt man $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ als obere Geschwindigkeitsgrenze eines Stauassistenten, kann bereits 99,2 % der Stau-Zeit berücksichtigt werden. Etwa 14 % der Zeit wird im Stillstand verbracht. Der zeitliche Anteil in der die maximale Längsbeschleunigung weniger als $\pm 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ beträgt, liegt bei über 80 %.

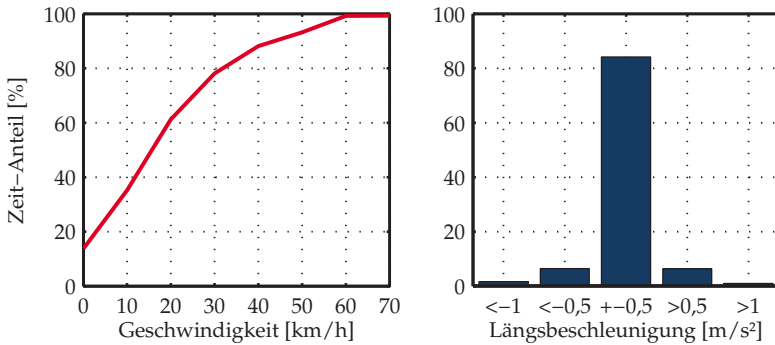


Bild 3.3: Links: kumulierter Anteil der subjektiv im Stau verbrachten Geschwindigkeiten. Rechts: Anteil der dabei vorkommenden Längsbeschleunigungen, jeweils bezogen auf die Stau-Gesamtzeit. Daten aus [148]

Im Rahmen der Untersuchungen konnte SANDKÜHLER folgende Situationsklassen während der Fahrt im Stau identifizieren [126]:

1. Staueinfahrt,
2. Fahrt im Stau:
 - Folgen,
 - Anhalten,
 - Anfahren,
 - Spurwechsel des eigenen Fahrzeugs,
 - Ein- oder Ausscheren anderer Verkehrsteilnehmer,
3. Stauauflösung.

Diese Klassen konnten teilweise noch weiter aufgliedert und charakterisiert werden. Für detaillierte Informationen sei auf [126, 148] verwiesen.

3.1.3 Verkehrsunfälle im Stau

Der in dieser Arbeit konzipierte Stauassistent soll einerseits den Komfort des Fahrers erhöhen, andererseits jedoch auch das Risiko für Unfälle mindern. Im Stau vorkommenden Verkehrsunfälle wurden daher im Rahmen einer statistischen Analyse betrachtet [96]. Dazu wurde die German In-Depth Accident Study (GIDAS) Datenbank herangezogen [12].

Gemäß der Analyse kommen 3,7 % aller Unfälle mit Personenschaden im Stau vor. Die meisten Unfälle passieren dabei am hinteren Stauende außerhalb geschlossener Ortschaften. Bei ca. 86 % der Stauunfälle mit Personenschaden handelt es sich um Unfälle mit maximal Leichtverletzten.

Da Unfälle ohne Personenschäden in der GIDAS-Datenbank nicht erfasst werden, lässt sich über diese Unfallkategorie³ keine Aussage treffen. Aufgrund geringer Differenzgeschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge im Stau lässt sich jedoch annehmen, dass viele der Stau-Unfälle dieser Kategorie angehören.

3.2 Unterstützungsbedarf aus Nutzersicht

Dieses Kapitel betrachtet die Randbedingungen, die sich aus Sicht des Fahrers für einen teilautomatischen Stauassistenten ergeben. Dazu wird zunächst auf den subjektiven Unterstützungsbedarf der Fahrer eingegangen. Anschließend wird der allgemeine Nutzen eines teilautomatischen *TCA* während einer Staufahrt diskutiert.

Der subjektive Unterstützungsbedarf im Stau wurde in der Literatur bereits intensiv analysiert. Im Rahmen von INVENT hat SCHIERGE sowohl in Multimediabefragungen als auch in Fahrversuchen den Nutzen eines teilautomatischen Stauassistenten mit einer oberen Geschwindigkeitsgrenze von

³Unfälle, die lediglich Sachschäden verursachen

50 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ erfasst [132]. Die Teilnehmer nannten als potentiellen Kaufgrund vor allem eine Verringerung der Unfallwahrscheinlichkeit gefolgt von einem Komfortgewinn durch Entlastung des Fahrers. Die Testfahrer bevorzugten ein automatisches Anfahren ohne eine notwendige Anfahrfreigabe, wie sie in aktuellen Adaptive Cruise Control Stop & Go (ACC S&G)-Systemen gefordert wird.

Ähnliche Ergebnisse erzielte eine Studie von VAN DRIEL & VAN AREM [38]. Sie befragten im Rahmen einer Online-Studie $n = 1049$ niederländische PKW-Fahrer. Ziel war es, einerseits den allgemeinen Unterstützungsbedarf während des Fahrens zu ermitteln und andererseits das subjektiv ideale Fahrerassistenzsysteme (FAS) zu identifizieren. Mehr als 90 % der Teilnehmer nannten den Bedarf an Informationen über die Verkehrsqualität des weiteren Streckenverlaufs, 51 % möchten beim Folgen anderer Fahrzeuge unterstützt werden und 42 % wünschen sich eine Unterstützung während der Fahrt im Stau. VAN DRIEL hat den daraufhin erarbeiteten „Congestion Assistant“ - bestehend aus einer Stauwarnung, einer haptischen Führung über ein aktives Gaspedal während der Stau einfahrt sowie einer automatischen Längsführung im Stau - auf seine Akzeptanz untersucht [37]. Besonders positive Bewertungen erhielten dabei die Stauwarnung und die automatische Längsführung.

RIMINI-DÖRING ET AL. erfragten im Rahmen einer für Deutschland repräsentativen Online-Studie mit $n = 3003$ Teilnehmern den Unterstützungsbedarf für Stausituationen [122]. Bild 3.4 fasst die Ergebnisse zusammen. Das „Anfahren & Stoppen“ sowie die „Verschwendung von Treibstoff“ können bereits durch eine automatisierte Längsführung adressiert werden. Eine Automatisierung der Querverführung kommt in dem hier ermittelten Bedarf erst an vorletzter Stelle unter dem Gesichtspunkt „Halten & Wechseln der Spur“ vor. Aspekte des Zeitverlusts und der Langeweile scheinen jedoch einen Bedarf an Nebentätigkeiten aufzudecken. Die im Stau verlorene Zeit voller Langeweile soll mit sinnvollem oder wenigstens interessantem Inhalt

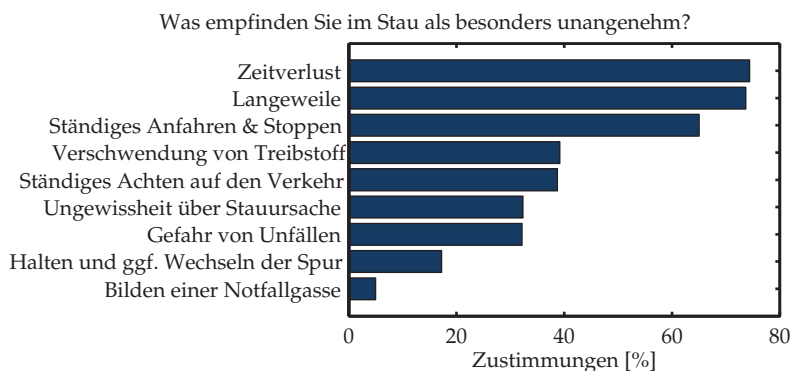


Bild 3.4: Repräsentative Ergebnisse zum Unterstützungsbedarf im Stau, aus [122]

gefüllt werden. Insbesondere während der Fahrt im Stau besteht also eine intrinsische Motivation der Fahrer, Nebentätigkeiten zu bearbeiten.

Wird im Stau automatisiert gefahren, wird es dem Fahrer ermöglicht, sich verstärkt Nebenbeschäftigungen zuzuwenden. Grund dafür ist nach ZEEB eine Verhaltensadaption, bei der die durch die Automation freigewordenen kognitiven und visuellen Ressourcen die verstärkte Beschäftigung mit einer Nebenaufgabe erlauben [170]. Diese verstärkte Zuwendung zu Nebentätigkeiten während der allgemeinen automatisierten Fahrt wird auch von anderen Autoren antizipiert [86, 119, 164] bzw. konnte bereits in Probandenstudien nachgewiesen werden [68].

Welche Tätigkeiten als Nebentätigkeiten in Frage kommen, ermittelten HUEMER & VOLLRATH in einer Befragungsstudie mit $n = 289$ Verkehrsteilnehmern an Raststätten [67]. Sie erfragten dabei realistische Angaben zur Beschäftigung mit Nebentätigkeiten während der *manuellen* Fahrt in den jeweils letzten 30 min. Die Ergebnisse sind in Bild 3.5 zusammengefasst. Es ist erkennbar, dass sich zum einen ein hoher Anteil der Fahrer mit integrierten Geräten beschäftigt - ihre zeitliche Dauer ist jedoch recht gering. Unter

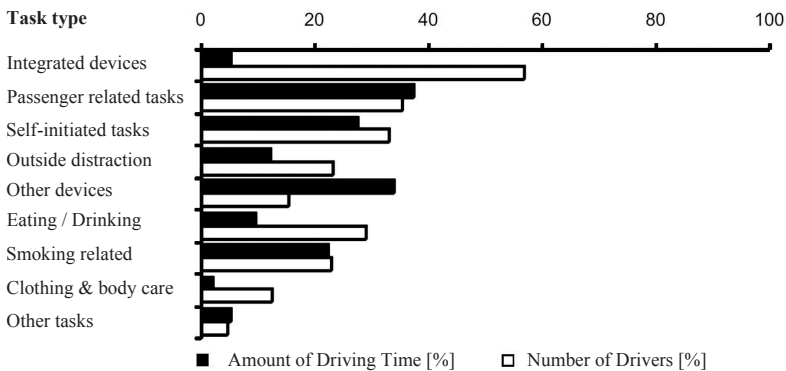


Bild 3.5: Frequenz und Dauer spezifischer Nebenaufgaben während der manuellen Fahrt, aus [67]

„integrierten Geräten“ werden dabei solche Geräte verstanden, die in das Fahrzeug fest eingebaut werden, wie z. B. Sitze oder Infotainment-Systeme. Auf der anderen Seite beschäftigt sich ein kleiner Teil der Fahrer mit „anderen Geräten“, wie z.B Smartphones - und das mit einem relativ hohen Anteil bezogen auf die Gesamtfahrzeit.

In der Studie von RIMINI-DÖRING ET AL. wurde auch nach der Beschäftigung mit Nebentätigkeiten sowohl während manueller Fahrt als auch während der Fahrt im Stau mit einem teilautomatischen FAS gefragt [122]. Die Ergebnisse sind in Bild 3.6 dargestellt. Durch die Teilautomatisierung wurden - bis auf Musik hören - alle Arten von Nebentätigkeiten in ihrer Frequenz erhöht. Bei der Betrachtung dieser Ergebnisse muss jedoch beachtet werden, dass es sich um eine Online-Studie handelt. Ihre Übertragbarkeit ist nicht ohne Weiteres gewährleistet, da sich durch die Art der Fragestellung systematische Verzerrungen der Ergebnisse ergeben können. Die Befragten haben zudem die Situation des teilautomatischen Fahrens nicht real erlebt und mussten sich diese Situation vorstellen.

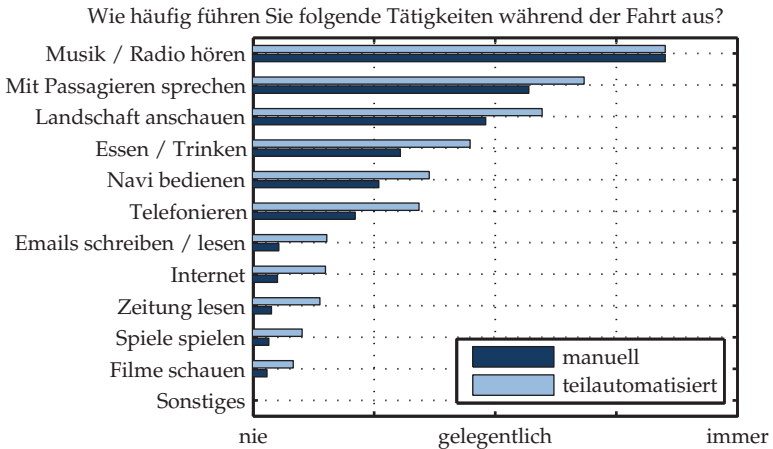


Bild 3.6: Frequenz spezifischer Nebenaufgaben während der manuellen und teilautomatisierten Fahrt, aus [122]

Um den in Kapitel 2.1.2 dargestellten rechtlichen Anforderungen zu genügen, ist zur Durchführung von Nebentätigkeiten theoretisch ein hochautomatisiertes FAS erforderlich, bei dem der Fahrer die Verantwortung für die Fahraufgabe an das System abgibt. Weiter oben wurde eine hohe intrinsische Motivation der Fahrer zur Durchführung von Nebentätigkeiten hergeleitet. Daher ist - obwohl nicht explizit erlaubt - eine Abwendung von der Fahraufgabe auch schon bei Teilautomation zu erwarten. Sie muss daher beim Design des Systems entsprechend berücksichtigt werden.

Durch die zunehmende Vernetzung kommen weitere Informationsquellen ins Fzg., wie z. B. Emails, Internetseiten oder soziale Netzwerke. Um die durch ihre Nutzung entstehende Ablenkung möglichst gering zu halten, werden spezialisierte Apps entwickelt, die in fest im Fzg. verbauten Infotainmentssystemen angezeigt werden [14, 39]. Solche vernetzten Fahrzeugsysteme erfahren derzeit eine starke Wachstumsphase. Gemäß einer Hochrechnung werden im Jahr 2016 weltweit bereits etwa 210 Millionen Fahrzeuge mit

dem Internet verbunden sein [23]. In dieser Arbeit wird daher davon ausgegangen, dass sich die Fahrer während der Fahrt mit einem teilautomatischen *TCA* vor allem mit dem bordeigenen Infotainmentsystem beschäftigen.

3.3 Resultierende Anforderungen an einen teilautomatischen TCA

Diese Arbeit hat ein teilautomatisches FAS im Fokus - den *TCA*, der den Fahrer während der Fahrt im Stau auf einer Autobahn unterstützen soll. Die Fahrumgebung wurde in Kapitel 3.1 beschrieben, der Unterstützungsbedarf aus Sicht des Fahrers wurde in Kapitel 3.2 analysiert. In diesem Abschnitt werden die resultierenden Anforderungen an die Funktion und einer daraus hervorgehenden technischen Realisierung im Fahrzeug behandelt.

3.3.1 Funktionalität

Entsprechend der Definition von Teilautomation in Kapitel 2.1.2 soll der *TCA* sowohl die Längsführung als auch die Quersführung des Fahrzeugs im Stau auf Autobahnen automatisieren. Es ergeben sich die folgenden Anforderungen.

Der *TCA* soll die Längsführung des Fahrzeugs übernehmen

Dies beinhaltet das Halten eines adäquaten Abstands zum vorausfahrenden Zielobjekt (*ZO*), das Anhalten hinter einem stehenden oder angehaltenen *ZO* und das Wiederauffahren. Entsprechend den Ergebnissen von SCHIERGE (vgl. Kapitel 3.2) sollte das Wiederauffahren dabei ohne eine nötige Anfahrfreigabe des Fahrers erfolgen. Ausgehend von der Auswertung der im Stau vorkommenden Geschwindigkeiten (vgl. Kapitel 3.1.2) soll der *TCA*

in einem Geschwindigkeitsbereich von 0 bis $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ arbeiten. So wird der größte Teil der Stausituationen abgedeckt.

Bei Ein- oder Ausscherern soll der *TCA* automatisch das neue relevante ZO für die Regelung auswählen.

Der makroskopische Einfluss der Längsregelung auf den Verkehr soll die Verkehrsqualität mit zunehmender Ausstattungsrate und gleicher Verkehrsstärke verbessern. Dazu ist eine geeignete Parametrierung der Regelung erforderlich [75]. Gleichzeitig soll dabei der Energieverbrauch des eigenen Fahrzeugs optimiert werden.

Der *TCA* soll die Querführung des Fahrzeugs übernehmen

Dies beinhaltet das Halten des Fahrzeugs innerhalb der eigenen Fahrspur. Der Fahrer muss dabei seine Hände nicht am Lenkrad haben und profitiert von der erwarteten Möglichkeit zur Durchführung von Nebentätigkeiten während der Fahrt.

3.3.2 Human-Machine Interface

Bezogen auf das Human-Machine Interface (HMI) des *TCA* ergeben sich die folgenden Anforderungen.

Der Fahrer soll stets in der Lage sein, das System zu überwachen und ggf. einzugreifen

Damit der Fahrer eingreifen kann, müssen sowohl die Längsführung als auch die Querführung grundsätzlich übersteuerbar gestaltet sein.

Zusätzlich ist es nötig, das Out-of-the-Loop Syndrom (vgl. Kapitel 2.3.1) auf ein Minimum zu reduzieren, damit der Fahrer nötige Fahrereingriffe

überhaupt erkennen kann. Entsprechend ENDSLEY'S Empfehlung soll dazu die taktische Auswahl von Fahrmanövern stets beim Fahrer verbleiben (vgl. Kapitel 2.4). Die weitere Erfüllung dieser Anforderung im Rahmen des Interaktionskonzeptes ist zentraler Bestandteil dieser Forschungsarbeit.

Der Fahrer soll sich stets über den aktuellen Zustand des TCA bewusst sein

Das Interaktionskonzept soll derartig gestaltet sein, dass eine reduzierte Mode Awareness (vgl. Kapitel 2.3.1) vermieden wird. Dazu muss einerseits das Konzept der Anzeigen einfach verständlich sein und die notwendigen Informationen in ausreichender Qualität liefern. In diesem Fall bedeutet das, dass mindestens die Zustände „TCA ist aktivierbar“, „TCA ist aktiv“ sowie vom System erkannte notwendige Fahrerübernahmen angezeigt werden.

Zudem sollte das System bei geänderten Umfeldbedingungen, wie z. B. Ein- oder Ausscherern, möglichst früh ein spürbar verändertes Regelverhalten aufweisen. Auf diese Art und Weise weiß der Fahrer, dass der TCA die geänderten Umfeldbedingungen erkannt hat und auf diese reagieren wird [21].

Weiterhin ist eine Durchgängigkeit des Interaktionskonzeptes des TCA mit dem der anderen im Fahrzeug verbauten FAS erforderlich. Gerade bei der Ein- und Ausfahrt des Staus muss ein geeignetes Übergabekonzept zwischen TCA und z. B. Adaptive Cruise Control (ACC) existieren.

3.3.3 Sensorik

Die Sensorik des TCA muss so ausgeprägt sein, dass alle relevanten Umfeldobjekte erkannt werden. Auf Autobahnen müssen daher folgende Objektarten durch die vorhandenen Sensoren detektiert werden:

- bewegte, angehaltene und stehende Fahrzeuge:
 - Personenkraftwagen,
 - Lastkraftwagen,
 - Motorräder,
 - Fußgänger⁴ und
- Infrastrukturelemente:
 - Fahrspurmarkierungen sowie
 - Baustellenbegrenzungen.

Im Hinblick auf die notwendige Reichweite der Sensoren gilt die Anforderung, dass alle staurelevanten Fahrzeuge auf der eigenen und den Nachbarfahrspuren bis zu einer bestimmten longitudinalen und lateralen Reichweite erkannt werden müssen. Diese notwendigen Reichweiten berechnen sich folgendermaßen.

Longitudinale Reichweite

Der *TCA* muss im schlechtesten Fall auf stehende Objekte - ein Stauende - reagieren, auf die mit maximaler Geschwindigkeit v_{ego} zugefahren wird. In diesem Fall sollte die Sensorreichweite mindestens dem maximalen Anhalteweg d_{stop} entsprechen. Der Anhalteweg ist dabei abhängig von der maximalen Systemverzögerung $a_{x,min}$ und der Objekterkennungszeit t_{rec} :

$$d_{stop} = \frac{v_{ego}^2}{2 \cdot a_{x,min}} + t_{rec} \cdot v_{ego} \quad (3.2)$$

⁴Fußgänger kommen nach längerer Stillstandsdauer auch auf Autobahnen vor, vgl. z. B. [16]

Bei einer Anfangsgeschwindigkeit von $v_{ego} = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, einer konstanten Verzögerung von beispielsweise $a_{x,min} = -4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ und einer Objekterkennungszeit von beispielsweise $t_{rec} = 0,5 \text{ s}$ berechnet sich der Anhalteweg zu $d_{stop} \approx 39\text{m}$.

Laterale Reichweite

Die Sensoren des *TCA* sollen alle Objekte, die sich neben dem EGO-Fahrzeug auf der Nachbarfahrspur befinden, erkennen. Bei einer angenommenen Fahrzeugbreite von 2 m und der Annahme eines RQ36-Querschnitts der Fahrbahnbreiten (vgl. Kapitel A.1) muss die laterale Reichweite der Sensoren mindestens 5,25 m betragen, um die gesamte Nachbarfahrspur in jedem Fall abzudecken.

3.3.4 Aktorik

Die Fahrzeugtrajektorie soll unter Verwendung bereits bekannter Aktoren aus Kapitel 2.1.3 eingeregelt werden.

In Längsrichtung bietet sich dazu die Verwendung der bisher von ACC S&G verwendeten Aktorik an. Dabei werden Beschleunigungsanforderungen über den Antriebstrang und Verzögerungsanforderungen über das Bremssystem (z. B. das elektronische Stabilitäts Programm ESP oder rekuperierende Generatoren) realisiert.

Zur Durchführung der Querführung soll eine im Fahrzeug verbaute Electric Power Steering (EPS) verwendet werden.

4 Konzeption eines Stauassistenten

Ausgehend von den im vorherigen Kapitel abgeleiteten Anforderungen wird in diesem Kapitel die Spezifikation eines teilautomatischen Stauassistenten - dem *Traffic Congestion Assistant (TCA)*- erarbeitet. Dieser bildet die Grundlage für die in Kapitel 6 beschriebene Fahrsimulatorstudie. Da die technische Ausgestaltung des Systems im Fahrzeug nicht im Fokus dieser Forschungsarbeit steht, wird das Konzept lediglich in dem in Kapitel 6.2.1 beschriebenen Fahrsimulator umgesetzt.

Für die konzeptionelle Gestaltung des Gesamtsystems sind im Wesentlichen zwei der in Kapitel 3.3.2 gestellten Anforderungen relevant: Zum einen soll der Fahrer stets in der Lage sein, das System zu überwachen und ggf. einzugreifen. Die grundsätzliche Übersteuerbarkeit des *TCA* aus technischer Sicht wird in Kapitel 4.6 beschrieben. Notwendige Maßnahmen zur Vermeidung des Out-of-the-Loop Syndroms sind Kern dieser Forschungsarbeit. Diese werden in Kapitel 5 erarbeitet und in Kapitel 6 evaluiert.

Zum anderen soll sich der Fahrer stets über den aktuellen Zustand des Systems bewusst sein, er soll eine ausreichende Mode Awareness ausbilden. Dazu sind eine möglichst einfache Bedienungsphilosophie und Gestaltung der Übergänge nötig, aber auch eine verständliche Gestaltung der Human-Machine Interface (HMI) - Anzeigen notwendig. Die folgenden Unterkapitel beschreiben den resultierenden *TCA*.

4.1 Ein Zustandsautomat zur Integration von Längs- und Querdynamik

Ein Zustandsautomat wird im Allgemeinen als ein Verhaltensmodell informationsverarbeitender Systeme definiert [142]. In ihr werden einerseits alle Zustände, die das System annehmen kann, festgehalten und andererseits jeder mögliche Zustandsübergang - im Folgenden „Transition“ genannt - bestimmt.

In dieser Arbeit ist sie das Bindeglied zwischen der Längsführung und der Querverführung. Die beiden vorhandenen Systeme werden in einem integrierten Zustandsautomaten in einer geschickten Art und Weise miteinander verknüpft. Erste Ansätze zur Verbindung beider Domänen gab bereits FREYER, der Daten aus der Querverführung dazu verwendet hat, um die Längsführung z. B. bei Spurwechseln zu verbessern [53]. Das resultierende Gesamtsystem soll sich sowohl gut in die bestehende Landschaft der Fahrerassistenzsysteme (FAS) eingliedern als auch möglichst einfach und verständlich sein.

Es lassen sich zwei unterschiedliche Philosophien zur Bedienung teilautomatischer FAS identifizieren. Auf der einen Seite kann jedes System einzeln für sich bedient werden. Dieses Konzept wird derzeit in Serienfahrzeugen eingesetzt, wo Systeme zur Längsführung unabhängig von Systemen der Querverführung bedient werden.

Auf der anderen Seite gibt es in der Forschung Bestrebungen, die unterschiedlichen Systeme als *ein* integriertes Gesamtsystem darzustellen. Dies wird z. B. über Bedienmetaphern dargestellt [85, 162]. Die einzelnen Systeme werden entsprechend der Metapher gruppiert und in diesen Gruppen entsprechend aktiviert und deaktiviert. Ein Beispiel für eine solche Metapher wäre z. B. die Schutzschild-Metapher von WÄLLER ET AL. [162], bei der die Systeme entsprechend ihrer Wirkrichtung (längs oder quer) angeordnet werden.

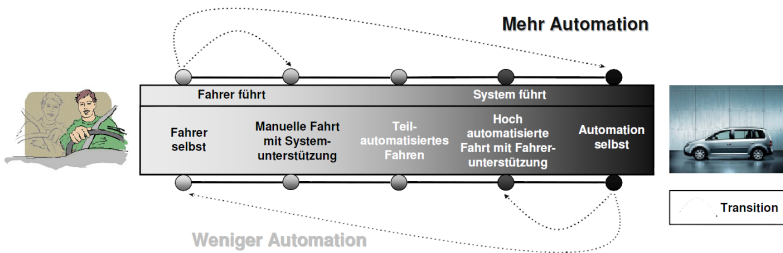


Bild 4.1: Beispiel für die eindimensionale Anordnung unterschiedlicher Automatisierungsgrade, entnommen aus [108].

Im Highly automated vehicles for intelligent transport (HAVEit)-Projekt wurde ein Konzept mit einer eindimensionalen Anordnung der unterschiedlichen Automatisierungsgrade erarbeitet und evaluiert [49]. Bild 4.1 zeigt ein Beispiel für eine solche eindimensionale Anordnung. Zentraler Bestandteil dieses Konzeptes ist es, dass man den Automatisierungsgrad mit einem Bedienelement - z. B. einem Hebel - schrittweise erhöhen oder reduzieren kann. Dabei werden die jeweiligen Assistenzsysteme zu- oder abgeschaltet. Wichtig ist dabei anzumerken, dass in dieser Systematik assistierende Systeme der Querführung nicht für sich alleine stehend vorkommen, sondern nur in Verbindung mit Systemen der Längsführung in einem teilautomatischen System auftreten. Insbesondere Parklenkassistenten (vgl. Kapitel 2.1.3) können daher nicht Bestandteil eines solchen Konzeptes sein.

Dieses Konzept der eindimensionalen Anordnung wurde bereits in einer Reihe von Studien im Hinblick auf verschiedene Aspekte untersucht. PETERMANN hat Transitionen zwischen den verschiedenen Automatisierungsstufen in Simulator- und Realfahrzeugversuchen untersucht [108, 109]. SCHIEBEN ET AL. haben die Transitionen bei Fahrereingriffen analysiert [129, 130]. Alle Autoren empfehlen gleichermaßen möglichst einfache, aufeinander aufbauende Systeme mit wenigen unterschiedlichen Automatisierungsstufen. Diese sollten vor allem haptisch und kinästhetisch klar voneinander

unterscheidbar sein. Fahrerinitiierte Transitionen sollten unabhängig vom derzeitigen Automatisierungsgrad stets in den gleichen Zielzustand führen, wie z. B. in die manuelle Fahrt bei einem Bremsengriff des Fahrers.

Da die Bedienphilosophie der unterschiedlichen FAS in einem Fahrzeug stets vom jeweiligen Original Equipment Manufacturer (OEM) festgelegt wird, soll der im *TCA* verwendete Ansatz voll in die Welt bestehender Systeme, wie Adaptive Cruise Control (ACC) und Lane Keeping Support (LKS), integrierbar sein. Nach aktuellem Stand der Entwicklung bedingt dies, dass *TCA* unabhängig von anderen FAS zu bedienen sein muss. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Konzept wurde in iterativen Untersuchungen mit Hilfe der „Wizard of Oz“ Methodik entwickelt. Bei der „Wizard of Oz“ Methodik wird das zu untersuchende technische System durch einen verdeckt operierenden Menschen emuliert [75]. Auf diese Art sind Tests von komplexen Systemen bereits sehr früh in der Entwicklung möglich.

Der resultierende Zustandsautomat des *TCA* arbeitet nach folgenden Prinzipien:

- Die existierende Welt (bestehend aus ACC und LKS) wird von der des *TCA* getrennt. Wird *TCA* aktiviert, schalten sich andere aktive Systeme automatisch ab.
- Bei Deaktivierung des *TCA* erfolgt die Transition immer in den Zustand „Manuelle Fahrt“. Einzige Ausnahme: Der Fahrer erhöht die Setzgeschwindigkeit v_{set} , dann wird mit aktiviertem ACC und aktiviertem LKS weitergefahren.
- Kann *TCA* den vorausfahrenden Fahrzeugen aufgrund seiner Maximalgeschwindigkeit nicht mehr folgen, wird der Fahrer zur Übernahme der Fahrzeugführung aufgefordert. Erfolgt diese nicht, muss das Fahrzeug in einen sicheren Zustand wie z. B. Stillstand gebracht und *TCA* deaktiviert werden.

4.2 Ein- und Ausschalten

Sobald ein Stau erkannt wird, ist *TCA* aktivierbar. Dazu müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Die Geschwindigkeit v_{ego} beträgt weniger als $55 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- Der Abstand zum Zielobjekt (ZO) beträgt weniger als 80 m.

Diese Bedingungen haben sich in den verwendeten Fahrsimulator-Szenarien als ausreichend ergeben. Soll *TCA* in einem realen Fahrzeug umgesetzt werden, sollten diese Bedingungen noch weiter detailliert und evaluiert werden.

TCA wird über einen Knopf an der rechten Seite des Lenkrads aktiviert und deaktiviert. Ist *TCA* aktivierbar, wird dies dem Fahrer im Head-Up Display (HUD) angezeigt. Die dazugehörigen Anzeigeelemente werden im folgenden Kapitel beschrieben. Die Ausfahrt aus dem Stau ist in der in Kapitel 6 beschriebenen Untersuchung nicht vorgesehen und wird daher zunächst nicht im Systemdesign implementiert.

4.3 Allgemeine HMI-Anzeigen

Im Zuge des HAVEit-Projekts wurde bereits ein allgemeines Konzept der HMI-Anzeigen erarbeitet [131]. Das Konzept inklusive der Anzeigen wurde von SCHIEBEN ET AL. im Hinblick auf seine Usability untersucht und im Allgemeinen als verständlich bewertet. [131]. Bild 4.2 zeigt eine Übersicht über das erarbeitete Design.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein an diese Anzeigen angelehntes Anzeigekonzept erarbeitet. Es ist in Bild 4.3 dargestellt und beinhaltet die folgenden Elemente mit ihren Bedeutungen:



Bild 4.2: Das im HAVEit-Projekt erarbeitete HMI-Design, entnommen aus [131].

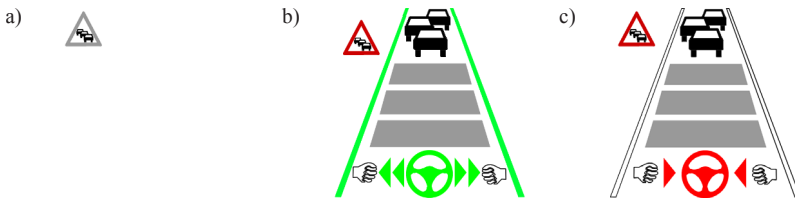


Bild 4.3: Statusanzeigen des TCA a) Stau erkannt; TCA ist aktivierbar, b) TCA ist aktiv, c) TCA ist aktiv, Querführung ist im Standby-Modus

Fahrzeuge	Erkannte ZOs.
Balken	Gewählte Zeitlücke τ .
Spurmarkierung	Zustand der Querführung: Grün = aktiv; Weiß / Grau = Standby.
Lenkrad	Zustand der Querführung: Grün = hands off; Rot = hands on.
Verkehrsschild Stau	Zustand des TCA: Grau = aktivierbar; Farbige = aktiv.

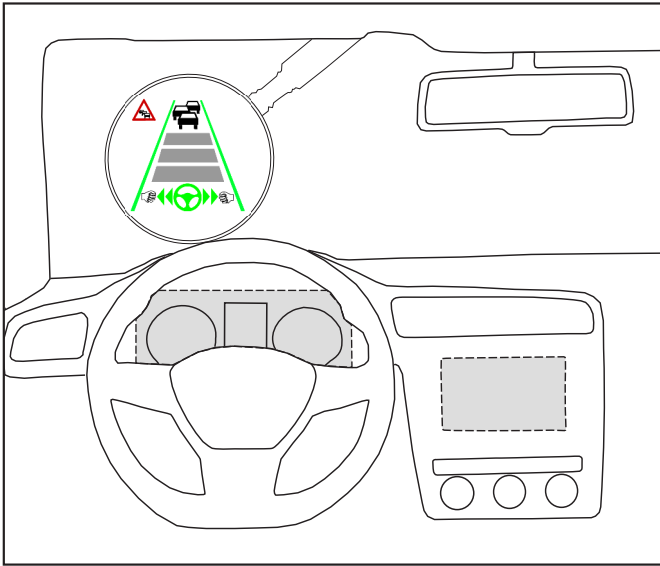


Bild 4.4: Schematische Positionierung der Statusanzeigen im HUD, vergrößert dargestellt.

Die Elemente sind mit bestehenden Systemen zur Längsführung und Querführung von Fahrzeugen kombinierbar und werden im HUD dargestellt, wie in Bild 4.4 schematisch abgebildet.

4.4 Längsdynamik

In *Längsrichtung* hält *TCA* stets einen adäquaten Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, dem *ZO*. Dieser Abstand wird analog zu bestehenden *ACC*-Systemen über die Zeitlücke τ definiert. Üblicherweise ist sie in gewissen Grenzen einstellbar [160]. Um die Variabilität der in Kapitel 6 beschriebenen Studie zu reduzieren und den Ablauf der Szenarien möglichst reproduzierbar

zu gestalten, ist die Zeitlücke τ des *TCA* jedoch nicht einstellbar und auf einen festen Wert eingestellt.

Die maximal erlaubte Bremsverzögerung beträgt $a_{brems} = -4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Sie liegt damit in dem durch ISO 22179 [3] festgelegten Bereich. Übersteigt die notwendige Verzögerung die erlaubte, wird ein Warnton abgespielt und der Fahrer muss eingreifen. Dies könnte z. B. bei einer plötzlichen Vollbremsung des vorausfahrenden Fahrzeugs geschehen. Der *TCA* ist in der Lage, das Fahrzeug automatisch in den Stillstand zu bringen. Entgegen heutiger Adaptive Cruise Control Stop & Go (ACC S&G)-Systeme ist nach längeren Stillstandsphasen keine Anfahr freigabe des Fahrers erforderlich. Die Setzgeschwindigkeit v_{set} ist im Stau nicht einstellbar und beträgt $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Auf diese Weise können fast alle Stausituationen abgedeckt werden (vgl. Kapitel 3.1.2).

4.5 Querdynamik

In *Querrichtung* wird das Fahrzeug stets in der Mitte der Fahrspur gehalten. Diese wird im Fahrsimulator über die Spurmarkierungen erkannt und ist deswegen unabhängig vom Verhalten der vorausfahrenden Fahrzeuge. Der Fahrer darf die Hände vom Lenkrad nehmen solange die Querführung aktiv ist. Dies wird ihm über die Anzeigen im HUD visualisiert (Bild 4.3). Das System misst stets den lateralen Abstand d_{lat} zu Fahrzeugen auf der Nachbarfahrspur. Unterschreitet dieser einen Minimalabstand von $d_{lat,min} = 0,5 \text{ m}$ bei aktivierter Querführung, wird ebenfalls ein Warnton abgespielt. Dies kann z. B. bei verengten Fahrspuren oder falls die Fahrzeuge auf der Nachbarspur nicht innerhalb ihrer Spurmarkierungen bleiben der Fall sein.

4.6 Verhalten bei Fahrereingriffen

Der Fahrer ist jederzeit in der Lage, den *TCA* durch beliebige Eingriffe zu übersteuern. Je nach Fahrereingriff werden bestimmte Teile des Systems temporär oder dauerhaft abgeschaltet. Eine Übersicht über das resultierende Systemverhalten ist in Tabelle 4.1 aufgelistet. Analog zu den Ergebnissen aus Kapitel 4.1 ist das Verhalten des Systems in sich konsistent und entspricht den Empfehlungen.

Tabelle 4.1: Verhalten des teilautomatischen Stauassistenten *TCA* bei unterschiedlichen Fahrereingriffen

Eingriffsart	Systemreaktion
Bremsen	Das System schaltet sich komplett ab
Beschleunigen	Querregelung bleibt aktiv Längsregelung geht in den Standby-Modus (bis Eingriffsende)
Lenken	Querregelung geht in den Standby-Modus (bis Eingriffsende) Längsregelung bleibt aktiv

5 Entwicklung der Interaktionsmechanismen

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, ist es besonders bei der Fahrt mit einem teilautomatischen Fahrerassistenzsystem (FAS) notwendig, dass die Fahrer ein ausreichendes Situationsbewusstsein ausprägen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Endkunden gerade im Stau Nebentätigkeiten durchführen werden, unabhängig davon, ob dies explizit erlaubt ist (vgl. Kapitel 3.2). Gerade Nebentätigkeiten fördern jedoch das Out-of-the-Loop Syndrom, wie in Kapitel 2.3 beschrieben.

In diesem Kapitel sollen daher mit Hilfe einer systematischen Suche neue Interaktionsmechanismen gefunden werden. Diese neuen Mechanismen sollen einerseits ein hohes Situationsbewusstsein des Fahrers unterstützen, es ihm aber andererseits auch ermöglichen, während der Fahrt mit dem *Traffic Congestion Assistant (TCA)* Nebentätigkeiten durchzuführen [164].

Dazu wird zunächst ein Überblick über den verwendeten Entwicklungsprozess gegeben. Anschließend werden die einzelnen Schritte anhand des in dieser Arbeit verwendeten Funktionsbeispiels des *TCA* erläutert. Den Schluss bildet eine Detaillierung der gefundenen neuen Lösungsansätze.

5.1 Überblick über den verwendeten Entwicklungsprozess

Um neue Interaktionsmechanismen zu finden, wurde in dieser Forschungsarbeit ein Innovationsprozess durchgeführt. Dieser Prozess ist dabei an den von PAHL & BEITZ vorgestellten „Prozess zum Finden neuer Produkte“ angelehnt [105]. Bild 5.1 zeigt einen Überblick über den verwendeten Pro-

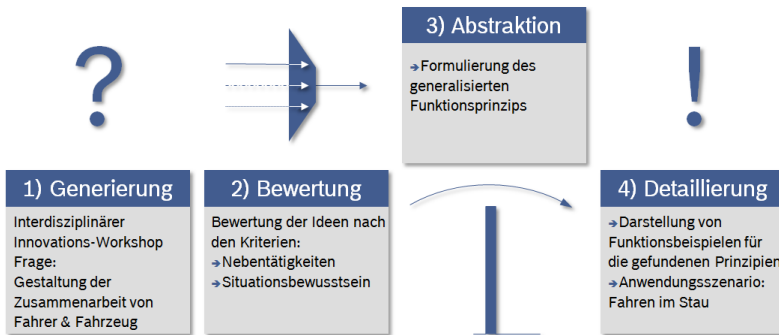


Bild 5.1: Überblick über den verwendeten Entwicklungsprozess, nach [164].

zess. Die einzelnen Schritte werden in den folgenden Unterkapiteln am Funktionsbeispiel des *TCA* durchgeführt.

Dabei werden zunächst neue Ideen generiert und diese anschließend in einem Bewertungsschritt ausgewählt und weiter detailliert. Gemäß PAHL & BEITZ können neue Ideen mit Hilfe unterschiedlicher Methoden gefunden werden, wie z. B. der „Analyse bestehender Systeme“ oder andere [105]. In dieser Arbeit wurde zur Generierung neuer Ideen ein Innovationsworkshop durchgeführt. Das dabei verwendete Brainstorming gehört zu den intuitiv betonten Methoden. Dabei sollen möglichst viele Ideen erzeugt werden, unabhängig von ihrer Qualität.

Nach der Generierung von neuen Ideen müssen diese bewertet und gefiltert werden. Dies geschieht im zweiten Schritt, der Bewertung. Identische Ideen werden zusammengefasst, um ihre Anzahl zu reduzieren. Anschließend werden sie im Hinblick auf die zuvor definierten Kriterien bewertet. Das Ziel dieses Schrittes ist es, die Quantität der Ideen zu reduzieren und ihre Qualität zu erhöhen.

Es wird angenommen, dass viele der zuvor gefundenen Ideen nach nur wenigen verschiedenen Prinzipien funktionieren. Diese Theorie wurde bereits

durch ALTSCHULLER im Bereich der konstruktiven Lösung von Problemen formuliert [6] (zitiert in [56]). Er geht davon aus, dass sich bestimmte Problemstellungen und ihre Lösungen in abstrahierter Form in verschiedenen Industriezweigen wiederholen und hat diese in der Theorie des erfinderischen Problemlösens (TRIZ) zusammengefasst.

Daher wurden in dieser Arbeit zwei zusätzliche Schritte durchgeführt, um die Qualität der Ergebnisse weiter zu erhöhen: die Abstraktion und die Detaillierung. Für jede zuvor als gut bewertete Idee wird das zugrundeliegende, generalisierte Funktionsprinzip formuliert. Dieses Prinzip beschreibt, wie die definierten Zielkriterien mit der jeweiligen Idee erreicht werden sollen. Damit wird ein weiterer Schritt zur Reduktion der Quantität und zur Erhöhung der Qualität der Ergebnisse durchgeführt.

Im darauffolgenden Detaillierungsschritt werden die resultierenden Interaktionsmechanismen nur aus den generalisierten Funktionsprinzipien abgeleitet. Der Vorteil dieses Vorgehens ist, dass die Ergebnisse des Entwicklungsprozesses von den Ideen aus dem Innovationsworkshop entkoppelt werden. Zusätzlich wird während der Ableitung der Interaktionsmechanismen eine neue Perspektive auf das Problem ermöglicht, was zusätzlich neue Denkanstöße gibt. Auf diese Art und Weise werden die Ergebnisse möglichst holistisch.

5.2 Ideengenerierung

In einem interdisziplinären Innovationsworkshop sollen insgesamt 14 Experten aus verschiedenen Bereichen Ideen generieren. Um das Problem aus möglichst vielen Blickwinkeln zu betrachten, werden die Teilnehmer dabei aus drei verschiedenen Gruppen rekrutiert:

1. Experten aus dem Bereich der Fahrerassistenzsysteme,
2. Experten aus dem Bereich der Human-Machine Interaction,
3. Experten aus anderen Bereichen.

Zwei geschulte Moderatoren führten die Teilnehmer durch den in zwei Teile mit jeweils unterschiedlichem Fokus aufgeteilten Workshop. Im ersten Brainstorming sollten sich die Teilnehmer gedanklich dem Fokus von FAS im Stau annähern. Die konkrete Frage an die Teilnehmer des Workshops lautete daher: „*Welchen Nutzen wünschen Sie sich von einem Stauassistenten?*“

Die Ergebnisse des ersten Brainstormings beinhalteten auf der einen Seite generelle Kategorien des Nutzens. Auf der anderen Seite wurden ebenfalls spezifische Interaktions-Schematas genannt, wie z. B. die Anzeige der verbleibenden Stillstandsdauer. Diese konnten jeweils einer korrespondierenden Nutzenkategorie zugeordnet werden - in diesem Fall dem Ermöglichen von Nebenaufgaben. Bild 5.2 zeigt die Ergebnisse.

Der von den meisten Teilnehmern antizipierte Nutzen eines Stauassistenten, ist das Ermöglichen von Nebenaufgaben. Dabei wurden unterschiedliche

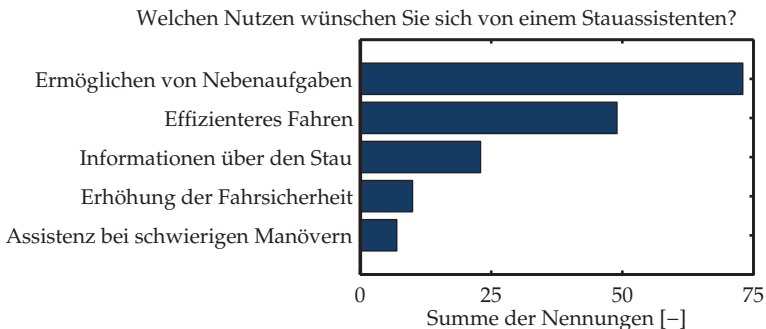


Bild 5.2: Allgemeine Nutzenkategorien von Fahrerassistenzsystemen im Stau, nach [164].

Aktivitäten wie z. B. das Lesen von Nachrichten oder das Spielen von Spielen genannt.

Ein zweiter wichtiger Nutzen von automatisierten FAS im Stau besteht in einer effizienteren Fahrweise. Durch Reduktion von Fahrfehlern bezüglich der Geschwindigkeits- und Abstandswahl kann der Verkehrsfluss optimiert werden. Dadurch wird die Durchschnittsgeschwindigkeit im Stau erhöht und der Kraftstoffverbrauch reduziert, wie in Kapitel 2.1.4 bereits anhand der Literatur dargestellt. Dieser Nutzen führt zu der in Kapitel 3.3.2 erarbeiteten Anforderung einer energieeffizienten Parametrierung der Längsführung des TCA. Die weiteren genannten Nutzenkategorien werden entweder durch Navigations-Systeme abgedeckt oder haben keinen direkten Bezug zum Situationsbewusstsein des Fahrers.

Die quantitative Verteilung der Nutzenkategorien ähnelt den in Kapitel 3.2 genannten repräsentativen Ergebnissen aus [122] (vgl. Bild 3.4 auf Seite 53). Dies unterstreicht die Validität der von den Teilnehmern des Workshops erarbeiteten Ergebnisse.

Das zweite Brainstorming konzentrierte sich auf die Erarbeitung neuer Interaktionsmechanismen. Vor Beginn wurden die Teilnehmer über die technischen Details von teilautomatischen FAS informiert. Insbesondere die Anforderung einer konstanten Befähigung des Fahrers, das System zu überwachen und ggf. korrigierend einzugreifen, stand dabei im Fokus. Die konkrete Frage an die Teilnehmer lautete daher: *„Wie müssen Stauassistent und Fahrer zusammenarbeiten, so dass der Fahrer trotz hoher Entlastung seiner Verantwortung gerecht wird?“*

Zur Ideengenerierung wurden die Teilnehmer jeweils in eine von fünf verschiedenen Gruppen - jeweils mit einer spezifischen Fragestellung - eingeteilt. Dabei wurde sich jeweils auf bestimmte Situationen konzentriert:

1. Ein- und Ausschalten des Systems,

2. Allgemeines Verhalten im Stau (z. B. Anfahren, Folgen allgemein),
3. Fahrer greift ein / muss übernehmen,
4. Besondere Infrastruktur (z. B. endende Fahrspur),
5. Besondere Verkehrsteilnehmer (z. B. Einscherer oder Hindernisse).

Die Erarbeitung erfolgte mit der Identifikationsmethode nach WACK [143]. Jeder Gruppe wurde dabei eine Person zugeordnet, aus deren Blickwinkel das Problem bearbeitet werden sollte, wie z. B. einer Familie mit zwei Kindern auf dem Weg in den Urlaub. Zusätzlich wurden jeder Gruppe einige beispielhafte Fragen als Anregung bereitgestellt.

Bild 5.3 zeigt eine Übersicht der im zweiten Brainstorming generierten Ideen. Diese sind charakterlich so verschieden, dass weitere Details jedoch den Rahmen dieser Forschungsarbeit sprengen würden. Im nächsten Schritt werden alle gefundenen Ideen (aus beiden Brainstormings) hinsichtlich der zuvor gesetzten Ziele bewertet.

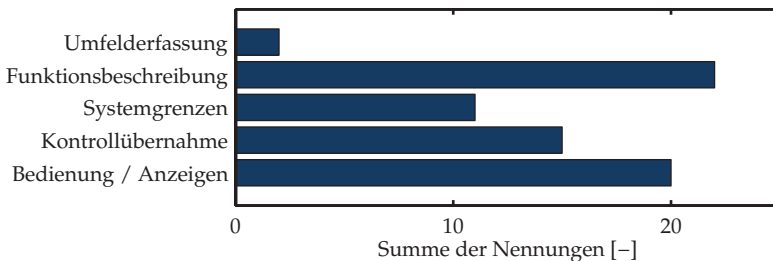


Bild 5.3: Anzahl der im zweiten Brainstorming generierten Ideen in verschiedenen Kategorien.

5.3 Bewertung

Im zweiten Schritt erfolgte eine Bewertung der gefundenen Ideen, um ihre Anzahl zu reduzieren. Da auch im ersten Brainstorming spezifische Interaktionsschemata genannt wurden, werden die Ideen beider Brainstormings aus Kapitel 5.2 bei der Bewertung herangezogen.

Zunächst werden alle Ideen mit identischem Inhalt zusammengefasst. Anschließend erfolgt die Bewertung anhand der zuvor definierten Ziele. Auf der einen Seite sollen die Interaktionsmechanismen das Situationsbewusstsein des Fahrers unterstützen. Auf der anderen Seite soll die Durchführung von Nebenaufgaben während der teilautomatisierten Fahrt ermöglicht werden und damit der Kundennutzen erhöht werden.

Aufgrund des Out-of-the-Loop Syndroms (vgl. Kapitel 2.3) stehen beide Ziele möglicherweise in einem Zielkonflikt zueinander. Die Ideen wurden daher im Hinblick beider Ziele separat bewertet. Die Bewertung erfolgte durch ein Team bestehend aus zwei Experten aus den Bereichen der FAS-Entwicklung und des HMI-Designs. Sie wurden in folgende Kategorien eingeordnet:

- Die Idee hat einen negativen Effekt auf das jeweilige Ziel.
- Die Idee hat einen neutralen Effekt auf oder ist irrelevant für das jeweilige Ziel.
- Die Idee hat einen positiven Effekt auf das jeweilige Ziel.

Ideen ohne positiven Beitrag zu einem der beiden Ziele werden abgelehnt. Durch den beschriebenen Filterschritt kann die Anzahl der zu betrachtenden Ideen weiter reduziert werden.

5.4 Formulierung von generalisierten Funktionsprinzipien

Ausgehend von den als positiv bewerteten Ideen wird für jede Idee das generalisierte Funktionsprinzip aufgestellt. Da ähnliche Ideen durchaus nach dem gleichen Funktionsprinzip arbeiten können, ist dies ein weiterer Schritt zur Reduktion der Anzahl zu berücksichtigender Ideen. Das Funktionsprinzip beinhaltet dabei eine abstrakte Beschreibung, wie das jeweilige Ziel erreicht werden soll.

Aus allen Ideen des Workshops werden vier verschiedene Funktionsprinzipien formuliert, die in zwei Gruppen einteilbar sind. Während die ersten beiden Prinzipien die Verteilung der Fahraufgabe zwischen dem Fahrer und dem System betreffen, konzentrieren sich die letzten beiden Prinzipien auf Kommunikationsschemata zwischen dem Fahrer und dem System. Alle vier gefundenen Funktionsprinzipien werden im Folgenden kurz erläutert.

1) Limitierung der Performance der Automation (Qualität)

KOMPASS [78] beschreibt die Zuverlässigkeit von automatisierten FAS mit Hilfe eines Zielkorridors. Ist die Zuverlässigkeit - und damit die Qualität der Automation - zu hoch, werden die funktionalen Systemgrenzen für den Fahrer nicht mehr erlebbar, weil das System „zu gut“ ist. In Folge kommt es zu überhöhtem Vertrauen in die Fähigkeiten des Systems. Der negative Einfluss einer hohen Systemzuverlässigkeit konnte in einer Fahrsimulatorstudie anhand von assistierenden Systemen der Längsführung bereits nachgewiesen werden [102]. Auf der anderen Seite sollte die Zuverlässigkeit des Systems nicht zu niedrig sein. Je niedriger ihre Zuverlässigkeit, desto häufiger werden die funktionalen Grenzen des Systems überschritten. Werden sie zu oft überschritten, leidet das Vertrauen und damit die Akzeptanz der Fahrer in das System [9].

Eine Reduktion der Qualität des automatisierten FAS kann einerseits durch Weglassen bestimmter Teile der Fahraufgabe oder aber auch durch eine künstliche Verschlechterung des Regelverhaltens gegenüber einem voll funktionsfähigen System erreicht werden. Beispielsweise kann das System nur die Längsführung des Fahrzeugs automatisieren oder einer der Bewegungsregler schwingend ausgeführt sein. Mit Hilfe dieses Prinzips ist sich der Fahrer stets über die funktionalen Systemgrenzen des Fahrzeugs bewusst, da er sie konstant erlebt. Dadurch wird eine intrinsische Motivation zur Überwachung dieser Systemgrenzen erzeugt. Durch die stets erforderliche Bereitschaft, die Bahnführung des Fahrzeugs zu übernehmen, folgen die Fahrer dem Fahrgeschehen. Das Situationsbewusstsein bleibt auf einem hohen Niveau.

2) Limitierung der Verfügbarkeit der Automation (Quantität)

Durch eine Reduktion der Verfügbarkeit wird der zeitliche Anteil des automatisierten Fahrens reduziert. Beispielsweise könnte das System nur in bestimmten Geschwindigkeitsbereichen oder jeweils nur für eine bestimmte Zeitdauer aktivierbar sein.

Damit wird die Anzahl der Systemgrenzen-Überschreitungen erhöht. Analog zur Limitierung der Performance im vorangegangenen Funktionsprinzip erlebt der Fahrer diese Systemgrenze deutlich und folgt daher dem Fahrgeschehen, was sich in einem hohen Situationsbewusstsein niederschlägt. Eine zu hohe Häufigkeit an Systemgrenzen-Überschreitungen kann jedoch in einer geringeren Akzeptanz des Gesamtsystems resultieren [9].

3) Lenkung der Aufmerksamkeit des Fahrers

Entsprechend ENDSLEY'S Modell des Situationsbewusstseins muss zunächst eine ausreichende Wahrnehmung der relevanten Objekte sichergestellt werden, um ein allgemein hohes Situationsbewusstsein zu erzeugen (vgl. Kapitel 2.2.4). Da der Großteil der zur Fahrzeug-

führung notwendigen Informationen über den visuellen Sinneskanal aufgenommen werden [61, 100, 123], ist dazu eine Lenkung der Blickrichtung des Fahrers in die geometrisch wichtige Richtung erforderlich.

Studien haben gezeigt, dass die dynamische Stabilität beim Fahren auch mittels peripherem Sehens gehalten werden kann, insbesondere wenn die mentale Arbeitsbelastung und der Exzentrizitätswinkel niedrig sind [15, 24, 25]. Es soll daher darauf geachtet werden, dass der Winkel zwischen der Blickrichtung und der relevanten Fahrumgebung möglichst niedrig bleibt.

4) Überwachung der Aufmerksamkeit des Fahrers

Mit einer geeigneten Überwachungseinrichtung kann der Aufmerksamkeitszustand des Fahrers überwacht werden. Sobald der Fahrer das erforderliche Aufmerksamkeitsniveau bezüglich der Fahrumgebung verliert, wird dieses als ein Überschreiten einer zusätzlichen Systemgrenze gewertet. Das System kann den Fahrer in geeigneter Art und Weise warnen und sich ggf. deaktivieren.

Eines der Hauptprobleme ist dabei die sichere Erkennung des Fahrerzustands. RAUCH ET AL. präsentierten bereits einen Ansatz zur Realisierung eines solchen Systems mit Hilfe einer Innenraumkamera [117]. Es besteht jedoch noch erheblicher Forschungsaufwand auf diesem Gebiet. Dieses Funktionsprinzip steht daher nicht im Fokus der vorliegenden Forschungsarbeit.

5.5 Detaillierung der Interaktionsmechanismen

Im letzten Schritt des in Kapitel 5.1 dargestellten Entwicklungsprozesses werden ausgehend von den generalisierten Funktionsprinzipien konkrete Interaktionsmechanismen abgeleitet. Diese Erarbeitung erfolgt erneut in

einem Brainstorming mit vier Experten im Bereich der Fahrerassistenz. Die Aufgabe dabei war, anhand der generalisierten Funktionsprinzipien spezifische Realisierungen zu finden. Aufgrund dieses Vorgehens sind die gefundenen Ergebnisse vollkommen von den Ideen aus den vorherigen Brainstormings entkoppelt.

Durch diesen zusätzlichen Schritt konnten etwa 20% neue Funktionsideen erarbeitet werden. Dies ist ein Hinweis dafür, dass durch den durchgeführten Prozess zusätzliche Blickwinkel auf das gegebene Problem ermöglicht werden: die Ergebnisse werden ganzheitlicher. Sie werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Jedes FAS beinhaltet zwei Elemente. Das Funktionalitätsschema definiert, wie sich das System verhält und welche Aufgaben es übernimmt. Das Kommunikationsschema hingegen behandelt alle Aspekte der Mensch-Maschine Kommunikation - auch Human-Machine Interface (HMI) genannt. In den verschiedenen entwickelten Interaktionsmechanismen werden diese Schemata auf unterschiedliche Art manipuliert, wie Tabelle 5.1 zeigt. Sie lassen sich zudem den verschiedenen in Kapitel 5.4 genannten generalisierten Funktionsprinzipien zuordnen.

In den folgenden Unterkapiteln werden die vier resultierenden Interaktionsmechanismen im Detail beschrieben. Als Basis wird dabei stets der in

Tabelle 5.1: Überblick über die resultierenden Interaktionsmechanismen.

Mechanismus	Manipulation von		
	Funktionalität	Kommunikation	Funktionsprinzip
<i>ACC</i>	X	-	1
<i>SLOW</i>	X	-	1
<i>SIFA</i>	X	X	2, 3
<i>VIDEO</i>	-	X	3

Kapitel 4 eingeführte *TCA* eingesetzt und entsprechend manipuliert. Für jeden Mechanismus werden Hypothesen über ihre Effekte im Hinblick auf Workload, Situationsbewusstsein, Fahrsicherheit und subjektive Akzeptanz formuliert. Diese Hypothesen werden in Kapitel 6 in einer Fahrsimulatorstudie evaluiert.

5.5.1 Mechanismus ACC

Beim Interaktionsmechanismus *ACC* wird der teilautomatische *TCA* um die Automatisierung der Querführung reduziert. Der Fahrer muss das Fahrzeug selbst in der Spur halten. Dieser Mechanismus lässt sich dem Funktionsprinzip 1) *Limitierung der Performance der Automation* zuordnen. Durch Weglassen der automatisierten Querführung erhält man ein assistierendes System der Längsführung, wie es schon im Serieneinsatz ist (vgl. Kapitel 2.1.3), nämlich das Adaptive Cruise Control Stop & Go (*ACC S&G*).

Um die Querführung des Fahrzeugs selber durchzuführen, muss der Fahrer die Fahrumgebung beobachten und ist in Folge aktiv am Fahrgeschehen beteiligt. Dadurch wird sich zum einen der Workload des Fahrer erhöhen. Es lässt sich daher die folgende Hypothese aufstellen:

Hypothese 1. *Durch Weglassen der Querführung wird der Workload des Fahrers erhöht.*

Zum anderen wird sich durch die aktive Beteiligung am Fahrgeschehen das Situationsbewusstsein des Fahrers und damit die Fahrsicherheit erhöhen:

Hypothese 2. *Durch Weglassen der Querführung erhöht sich das Situationsbewusstsein des Fahrers.*

Hypothese 3. *Durch Weglassen der Querführung erhöht sich die resultierende Fahrsicherheit.*

Durch den höheren Workload sinkt der subjektiv empfundene Nutzen während der Fahrt mit dem System. Daher lässt sich folgende Hypothese bezüglich der resultierenden Akzeptanz formulieren:

Hypothese 4. *Durch Weglassen der Querführung reduziert sich die Nutzer-Akzeptanz des Gesamtsystems.*

5.5.2 Mechanismus *SLOW*

Der Interaktionsmechanismus *SLOW* lässt sich ebenfalls dem Funktionsprinzip 1) *Limitierung der Performance der Automation* zuordnen. Entgegen dem in Kapitel 5.5.1 beschriebenen Mechanismus wird hierbei jedoch eine Performance-Limitierung der Längsführung umgesetzt.

Um die Limitierung zu realisieren, wird der bereits im *TCA* verwendete Längsregler um eine Adaption der Zeitlücke τ erweitert. Sie beschreibt den geschwindigkeitsabhängigen Soll-Abstand zum vorausfahrenden Zielobjekt (ZO) (vgl. Kapitel 2.1.3). Im Gegensatz zu der im *TCA* eingesetzten konstanten Zeitlücke (vgl. Kapitel 4.4) wird eine mit der Zeit stetig steigende Zeitlücke eingesetzt. Die Steig-Geschwindigkeit ist dabei in Voruntersuchungen auf einen festen Wert eingestellt worden, der merklich aber nicht zu schnell den Abstand zum ZO erhöht. Diese Manipulation bewirkt eine stetige Erhöhung des Abstands zum vorausfahrenden ZO. Um die Zeitlücke wieder auf den Standard-Wert zurückzusetzen, muss der Fahrer kurz das Gaspedal betätigen.

In einem realen Stau würden andere Verkehrsteilnehmer ständig in den so entstehenden Zwischenraum einscheren, sodass das eigene Fahrzeug „nach hinten durchgereicht“ wird. Es entsteht eine extrinsische Motivation, die Zeitlücke vor Erreichen des individuellen Maximalabstands zurückzusetzen.

Fahrspurwechsel der umgebenden Fahrzeuge können mit dem bestehenden Konzept der Staumsetzung im Fahrsimulator (vgl. Anhang A) nicht reali-

siert werden. Die durch diese Manöver gegebene extrinsische Motivation zum Zurücksetzen der Zeitlücke entfällt daher im Fahr Simulator. Um die Studie dennoch realitätsnah zu gestalten, muss ein Ersatz für dieses Szenario implementiert werden. Die Versuchspersonen (VPn) werden daher in der Versuchsanweisung zum einen darauf hingewiesen, dass sie sich dieses Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer vorstellen sollen. Zum anderen wird eine Maximal-Zeitlücke τ_{max} eingeführt und in Vorversuchen auf einen Wert eingestellt, der von den meisten Versuchspersonen gerade nicht erreicht wird. Die Zeitlücke beschreibt dabei den Abstand zum ZO (vgl. Kapitel 2.1.3). Ist die Zeitlücke $\tau = \tau_{max}$ erreicht, schaltet sich das System ohne eine weitere Warnung ab. Die derzeitige Zeitlücke wird dem Fahrer nicht angezeigt.

Mit dem dargestellten Mechanismus muss der Fahrer stets den Abstand zum ZO beobachten und prüfen, ob dieser nicht bereits zu groß geworden ist. Dafür muss er das Fahr geschehen vor dem Fahrzeug verstärkt beobachten. Dadurch wird sowohl der resultierende Workload erhöht als auch der resultierende Level an Situationsbewusstsein und Fahrsicherheit vergrößert. Es lassen sich daher folgende Hypothesen formulieren:

Hypothese 5. *Durch die beschriebene Reduktion der Qualität der Längsführung wird der Workload des Fahrers erhöht.*

Hypothese 6. *Durch die beschriebene Reduktion der Qualität der Längsführung erhöht sich das Situationsbewusstsein des Fahrers.*

Hypothese 7. *Durch die beschriebene Reduktion der Qualität der Längsführung erhöht sich die resultierende Fahrsicherheit.*

Analog zu dem in Kapitel 5.5.1 beschriebenen Mechanismus wird durch den höheren Workload der subjektiv empfundene Nutzen durch das System geringer:

Hypothese 8. *Durch die beschriebene Reduktion der Qualität der Längsführung reduziert sich die Nutzer-Akzeptanz des Gesamtsystems.*

5.5.3 Mechanismus SIFA

Beim Interaktionsmechanismus *SIFA* wird eine Sicherheitsfahrerschaltung in den teilautomatischen *TCA* integriert. Solche Sicherheitsfahrerschaltungen sind bereits aus der Bahntechnik bekannt [4]. Kern solcher Systeme ist es, die Handlungsfähigkeit oder Vigilanz des Operators eines automatisierten Systems durch erzwungene Bedienhandlungen zu überprüfen. Zu vom System gegebenen Zeitpunkten muss der Operator einen Schalter betätigen. Tut er dies nicht im notwendigen Zeitraum, schaltet sich die Automation ab. Im Bereich der Bahntechnik wird in diesem Fall eine automatische Zwangsbremmung des Zuges eingeleitet. Ein bekanntes Schlagwort dazu ist die Bezeichnung „Totmannschalter“.

Hörwick und Wimmer [64, 66] haben einen „Potentialtrigger“ entwickelt, der analog zu einer Sicherheitsfahrerschaltung eine ausreichende Vigilanz des Fahrers durch eine erzwungene Bedienhandlung sicherstellt. Kern der Entwicklung ist eine in einem Head-Up Display (HUD) angebrachte Anzeige, die das verbleibende Automatisierungspotential darstellt. Ist dieses aufgebraucht, muss der Fahrer es über eine Taste in der Nähe des Lenkrads wieder auffüllen.

Die Sinkgeschwindigkeit des Potentials wird dabei von verschiedenen Risikofaktoren wie z. B. der Zeitlücke τ oder der Blickrichtung des Fahrers abhängig gemacht. Auf diese Art und Weise werden in diesem Konzept sowohl die motorische Reaktionsfähigkeit des Fahrers (durch die erzwungene Bedienhandlung) als auch das Situationsbewusstsein des Fahrers (implizit

über die Blickrichtung und Infotainment-Bedienung) erfasst. In [159] ist eine Studie zur Evaluierung von verschiedenen Parametrierungen eines solchen Systems beschrieben. Dabei ging es vor allem um die Ermittlung aus Nutzersicht optimaler Parameter zur Berechnung der Sinkgeschwindigkeit des Automatisierungspotentials.

Analog zum Potentialtrigger aus [66] wird bei dem in dieser Forschungsarbeit umgesetzten Interaktionsmechanismus *SIFA* die verbleibende Restzeit der Automation durch einen Balken im HUD angezeigt. Da es in dieser Untersuchung das Ziel ist, die prinzipielle Eignung eines solchen Mechanismus zur Erhöhung von Situationsbewusstsein und Fahrsicherheit während der teilautomatischen Fahrt zu untersuchen, wird jedoch auf eine Variierung der Sinkgeschwindigkeit verzichtet.

Sobald der Balken nur noch zu 25 % gefüllt ist, wechselt er die Farbe von grün zu rot. Der Fahrer muss nun eine Taste am Lenkrad betätigen, um den Balken wieder aufzufüllen. Wird der Schalter zu früh oder zu spät betätigt, schaltet sich der *SIFA* ohne eine weitere Warnung ab. Die Gesamt-Ablaufdauer beträgt 20s. Die Positionierung der Restzeitanzeige und der Taste für die Sicherheitsfahrschaltung sind schematisch in Bild 5.4 dargestellt.

Der dargestellte Interaktionsmechanismus lässt sich den beiden Funktionsprinzipien 3) *Lenkung der Aufmerksamkeit des Fahrers* sowie 2) *Limitierung der Verfügbarkeit der Automation* zuordnen. Zum einen wird die Blickrichtung und damit die Aufmerksamkeit des Fahrers durch eine rein visuelle Anzeige der verbleibenden restlichen Automatisierungszeit in das HUD gelenkt. Dabei liegt die Fahrumgebung im peripheren Blickfeld des Fahrers.

Zum anderen ist die Automation nur zu gewissen Anteilen der Zeit verfügbar, nämlich nur dann, wenn die Sicherheitsfahrschaltung zum richtigen Zeitpunkt betätigt wird. Es lassen sich daher folgende Hypothesen formulieren:

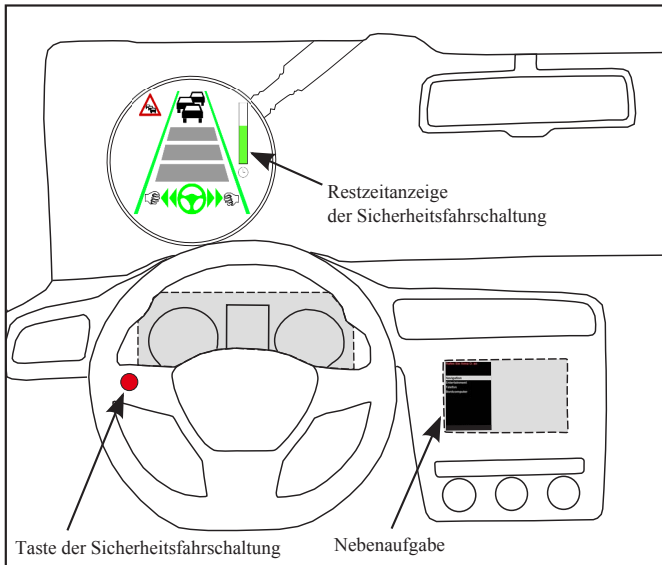


Bild 5.4: Schematische Positionierung der Sicherheitsfahrschaltung. Anzeigen im HUD vergrößert dargestellt.

Hypothese 9. *Durch Einführung einer Sicherheitsfahrschaltung mit Anzeige im HUD wird der Workload des Fahrers erhöht.*

Hypothese 10. *Durch Einführung einer Sicherheitsfahrschaltung mit Anzeige im HUD erhöht sich das Situationsbewusstsein des Fahrers.*

Hypothese 11. *Durch Einführung einer Sicherheitsfahrschaltung mit Anzeige im HUD erhöht sich die resultierende Fahrsicherheit.*

Hypothese 12. *Durch Einführung einer Sicherheitsfahrschaltung mit Anzeige im HUD reduziert sich die Nutzer-Akzeptanz des Gesamtsystems.*

5.5.4 Mechanismus VIDEO

Im Interaktionsmechanismus *VIDEO* wird eine Ansicht der Fahrumgebung auf dem Infotainment-Display angezeigt. Diese Bild ist so parametrierbar, als ob es von einer derzeit in Serie verfügbaren Fahrerassistenz-Kamera, die im Bereich des mittleren Rückspiegels an der Windschutzscheibe befestigt ist, kommen würde. Bild 5.5 zeigt die Positionierung des Videobilds auf dem Infotainment-Display.

Das in diesem Interaktionsmechanismus eingesetzte Wirkprinzip ist 3) *Lenkung der Aufmerksamkeit des Fahrers*. Insbesondere während der Beschäftigung mit dem Infotainment des Fahrzeugs befindet sich das Videobild im peripheren Blickfeld des Fahrers. Auf der einen Seite wird die Wahrneh-

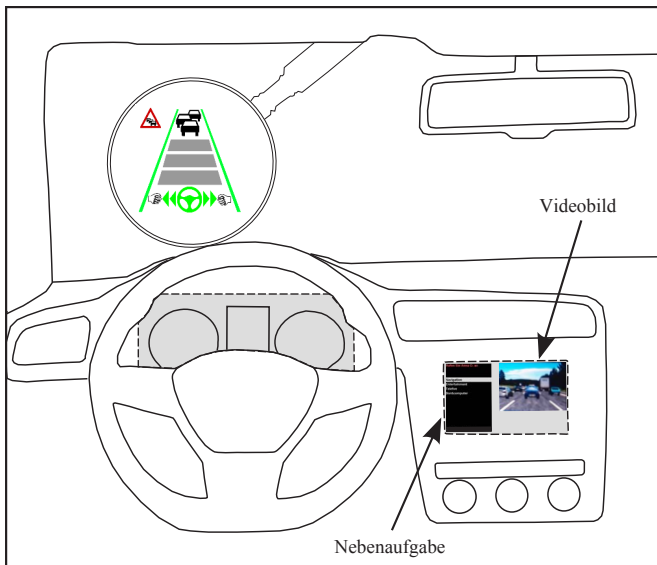


Bild 5.5: Schematische Positionierung des Videobildes auf dem Zentralsdisplay. Systemanzeigen im HUD vergrößert dargestellt.

mung der Fahrumgebung gefördert. Auf der anderen Seite ist der Aufwand, während der Beschäftigung mit Nebenaufgaben im Infotainment-Display kurze Kontrollblicke durchzuführen, durch den verringerten Exzentritätswinkel stark reduziert. Infolgedessen erhöht sich der resultierende Level an Situationsbewusstsein und Fahrsicherheit, während sich der Workload verringert.

Hypothese 13. *Das Einführen eines Videobilds im Infotainment-Display verringert den Workload des Fahrers.*

Hypothese 14. *Das Einführen eines Videobilds im Infotainment-Display erhöht das Situationsbewusstsein des Fahrers.*

Hypothese 15. *Das Einführen eines Videobilds im Infotainment-Display erhöht die resultierende Fahrsicherheit.*

Da sich durch den postulierten geringeren Workload in diesem Interaktionsmechanismus der subjektiv empfundene Nutzen des Fahrers erhöhen würde, wird folgende Hypothese bezüglich der Nutzerakzeptanz formuliert:

Hypothese 16. *Das Einführen eines Videobilds im Infotainment-Display erhöht die Akzeptanz des Gesamtsystems.*

5.6 Zusammenfassung des Kapitels

In diesem Kapitel wurden mit Hilfe einer systematischen Suche neue Interaktionsmechanismen erarbeitet. Diese neuen Mechanismen sollen einerseits ein hohes Situationsbewusstsein des Fahrers unterstützen, es ihm aber andererseits auch ermöglichen, während der Fahrt mit dem TCA Nebentätigkeiten durchzuführen [164].

Der Innovationsprozess beinhaltet einen ersten Schritt der Ideengenerierung (Abschnitt 5.2) mit einer anschließenden Bewertung (Abschnitt 5.3). Dabei wurden die in einem Innovationsworkshop erarbeiteten Ideen anhand

zuvor definierter Kriterien ausgewählt. Das Ziel dabei war es, einerseits ihre Quantität zu reduzieren und ihre Qualität zu erhöhen.

Im dritten Schritt wurde für jede positiv bewertete Idee ihr generalisiertes Funktionsprinzip abstrahiert (Abschnitt 5.4). Da viele Ideen nach dem gleichen Prinzip funktionieren, ergaben sich die vier generalisierten Funktionsprinzipien:

1. Limitierung der Performance der Automation (Qualität),
2. Limitierung der Verfügbarkeit der Automation (Quantität),
3. Lenkung der Aufmerksamkeit des Fahrers und
4. Überwachung der Aufmerksamkeit des Fahrers.

Im letzten Schritt des Prozesses wurden aus den generalisierten Funktionsprinzipien vier konkrete Interaktionsmechanismen abgeleitet (*ACC*, *SLOW*, *SIFA* und *VIDEO*). Sie wurden in Abschnitt 5.5 anhand des in Kapitel 4 beschriebenen *TCA* detailliert vorgestellt. Auf der Basis des vermuteten Wirkprinzips wurden für jeden Mechanismus Hypothesen aufgestellt, die im folgenden Kapitel 6 anhand einer Fahrsimulatorstudie evaluiert werden.

6 Evaluierung der Interaktionsmechanismen

Die in Kapitel 5.5 dargelegten Interaktionsmechanismen sollen in einer Probandenstudie untersucht werden. Diese Studie wird in den folgenden Kapiteln beschrieben. Dabei wird zunächst in Kapitel 6.1 auf das Untersuchungsziel eingegangen. Anschließend werden die notwendigen Vorbereitungen im verwendeten Fahrsimulator beschrieben. Nach einer detaillierten Erläuterung der verwendeten Methodik stehen in den Kapiteln 6.5 bis 6.7 die einzelnen Ergebnisse im Fokus der Diskussion.

6.1 Ziel der Untersuchung

Entsprechend Kapitel 3.2 wird davon ausgegangen, dass die Fahrer bereits während der teilautomatischen Fahrt im Stau Nebenaufgaben durchführen, obwohl sie noch verantwortlich für die Fahraufgabe sind. Aufgrund von reduziertem Situationsbewusstsein sind dabei Einbußen in der Fahrleistung zu erwarten. Zentrales Ziel bei der in diesem Kapitel durchgeführten Untersuchung ist es, die in Kapitel 5.5 beschriebenen Interaktionsmechanismen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit während der Fahrt mit dem in Kapitel 4 entwickelten *Traffic Congestion Assistant (TCA)* zu evaluieren. Dabei stellen das Situationsbewusstsein und die Fahrsicherheit die wichtigsten Bewertungskriterien dar. Es wird erwartet, dass sich sowohl das Situationsbewusstsein als auch die Fahrsicherheit durch Einführen der Mechanismen während der Fahrt mit einem teilautomatischen *TCA* erhöhen.

Um jedoch im Sinne einer nutzerzentrierten Entwicklung den Fahrer nicht aus den Augen zu verlieren, werden zusätzlich der Workload und die Akzeptanz der resultierenden Gesamtsysteme, bestehend aus Stauassistent *TCA* und dem jeweiligen Interaktionsmechanismus, bewertet. Da sich durch die Einführung der beschriebenen Mechanismen die vom Fahrer zu übernehmenden Tätigkeiten teilweise erhöhen, besteht die Befürchtung, dass der Workload zu sehr steigt und dadurch der wahrgenommene Komfort und damit die Akzeptanz der Systeme sinkt.

6.2 Vorbereitung der Simulation

Dieses Kapitel beschreibt die zur Vorbereitung der in Kapitel 6.3 beschriebenen Probandenstudie notwendigen Schritte zur Erstellung einer geeigneten Stausimulation im Fahrsimulator. Dazu wird zunächst der verwendete statische Fahrsimulator beschrieben. Anschließend wird der Aufbau der Verkehrssimulation zur Darstellung einer realistischen Stau-Umgebung dargestellt. Zuletzt werden die für die Untersuchung wesentlichen Fahrscenarien im Detail erläutert.

6.2.1 Fahrsimulator

Die in dieser Arbeit beschriebenen Untersuchungen wurden in einem statischen Fahrsimulator im BOSCH-Forschungszentrum Schwieberdingen durchgeführt. Bild 6.1 zeigt eine Aussen- und Innenansicht des Simulator-Mockups.

Das Mockup des Simulators besteht aus einer realistischen Nachbildung der vorderen Sitzreihe eines PKW. Sowohl das Kombiinstrument, als auch das Infotainment-Display sind als voll programmierbare Monitore ausgeführt. Das Infotainment-Display ist darüber hinaus mit einer Touch - Be-

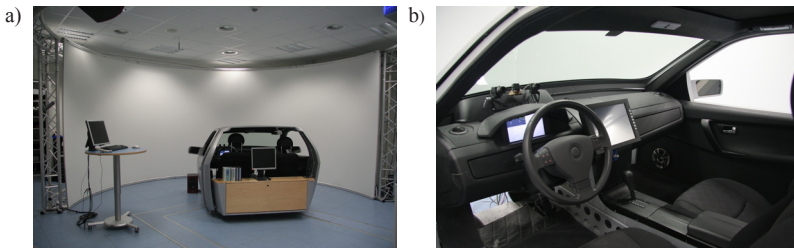


Bild 6.1: a) Aussen- und b) Innenansicht des Simulator-Mockups.

dienmöglichkeit ausgestattet. Hier wird die in Kapitel 6.3.2 beschriebene Nebenaufgabe dargestellt.

Im Simulator wird ein seriennahes Lenksystem eines *VW Touran* verwendet. Dabei handelt es sich um eine elektrische Servolenkung (Electric Power Steering, EPS). Die hier verwendete, speziell angepasste, Software-Version der Lenkung erlaubt es, zusätzliche Lenkmomente mit einem Betrag von bis zu 4,5 N m aufzuschlagen. Daneben ist eine Lenkwinkelschnittstelle implementiert, die es auch während der Fahrt mit hohen Geschwindigkeiten erlaubt, Lenkradwinkel von bis zu $\pm 30^\circ$ direkt einzustellen. Diese Schnittstelle wird für die in Kapitel 4.5 beschriebene Querführung verwendet. Detailliertere Infos zu der im Fahrsimulator verwendeten EPS finden sich in [81].

Die simulierte Fahrumgebung wird durch drei Projektoren auf eine Rundleinwand projiziert. Der maximale seitliche Blickwinkel beträgt dabei 180° . Nach oben und unten wird der sichtbare Bereich der Leinwand durch die Windschutzscheibe und Seitenfenster des Mockups beschränkt. Dadurch wird eine größtmögliche Immersion der Probanden in die simulierte Umgebung ermöglicht.

6.2.2 Allgemeines Verkehrsszenario

Damit die Versuchspersonen (VPn) einen möglichst realistischen Stau durchfahren, wurde eine Verkehrsumgebung implementiert, die im Folgenden beschrieben wird. Nähere Informationen zur Szenarienprogrammierung in der verwendeten Fahrsimulatorsoftware *SILAB* sind z. B. [74] zu entnehmen.

Alle Fahrten finden auf einer dreispurigen Autobahn statt, wobei sich das EGO-Fahrzeug, also das eigene Fahrzeug, jeweils auf der mittleren Spur befindet. Die VPn werden angewiesen, keine Spurwechsel durchzuführen. Die Umgebung der Autobahn ist wenig abwechslungsreich gestaltet und besteht aus Wiesen, Hügeln und Wäldern mit vereinzelt Gebäuden. Damit die Abfolge der einzelnen Szenarien permutiert werden kann, beinhaltet die Simulation insgesamt neun Module. Sie sind in Tabelle 6.1 aufgelistet.

Mit Ausnahme des Moduls für die Gewöhnungsfahrt sind alle Module anfangs identisch aufgebaut: Das EGO-Fahrzeug startet auf der mittleren Fahrspur. Nach einer Strecke von ca. 300m erreicht der Fahrer das Ende eines Staus und fährt im weiteren Verlauf im Stau. Die hier gefahrenen

Tabelle 6.1: Überblick über die im Versuch verwendeten Stau-Module.

Modul	Inhalt	Dauer
Modul 0	Gewöhnungsfahrt	ca. 12 min
Modul 1-F	Szenario 1, Freezing	3:40 min
Modul 1-R	Szenario 1, Reaktion	3:55 min
Modul 2-F	Szenario 2, Freezing	4:25 min
Modul 2-R	Szenario 2, Reaktion	4:40 min
Modul 3-F	Szenario 3, Freezing	5:10 min
Modul 3-R	Szenario 3, Reaktion	5:40 min
Modul 4-F	Szenario 4, Freezing	4:15 min
Modul 4-R	Szenario 4, Reaktion	4:25 min

Geschwindigkeitsprofile wurden aus Messungen bestimmt, die im Rahmen der Forschungsinitiative *Intelligenter Verkehr und Nutzergerechte Technik (INVENT)* in realen Staus durchgeführt wurden [62]. Details zur Umsetzung des Staus finden sich in Anhang A sowie in [62].

Am Ende jedes Moduls wird die VPn mit einem von vier kritischen Szenarien konfrontiert, um die Reaktion auf unvorhergesehene Ereignisse zu untersuchen. Die verwendeten kritischen Szenarien sind in Kapitel 6.2.3 beschrieben. Sie kommen immer in zwei Modulen vor, je einmal in einem sogenannten F-Modul (Freezing) und einmal in einem R-Modul (Reaktion).

In den F-Modulen wird die Simulation jeweils kurz nach Auftauchen des entsprechenden Schlüsselreizes der kritischen Situation pausiert und der Bildschirm geschwärzt. Dieses Vorgehen dient zur objektiven Erhebung des Situationsbewusstseins mit Hilfe der Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT)-Methodik (vgl. Kapitel 6.3.4).

In den R-Modulen hingegen erlebt die VPn die gesamte Situation und muss entsprechend in das Fahrgeschehen eingreifen, um eine Kollision zu verhindern. Dabei wird das Reaktionsverhalten der VPn als Maß für die resultierende Fahrsicherheit erhoben (vgl. Kapitel 6.3.5).

Im folgenden Kapitel wird die Erarbeitung und der Aufbau der vier kritischen Situationen erläutert.

6.2.3 Kritische Szenarien

Um die Reaktion der VPn auf unvorhergesehene Ereignisse zu untersuchen, wurden vier verschiedene kritische Szenarien konstruiert und in den Stau-modulen eingebaut. Ein kritisches Szenario ist in diesem Versuch als eine Verkehrssituation definiert, die einen Eingriff des Fahrers benötigt, um Kollisionen zu verhindern. Jede der vier Situationen ist daher so konzipiert, dass

Tabelle 6.2: Überblick über die implementierten vier kritischen Szenarien.

Nr.	Beschreibung des Szenarios	Fahrer- warnung	Notwendige Reaktion
1	Starke Verzögerung des vorausfahrenden Fzg.	Ja	bremsen
2	Gefährlicher Einscherer von links	Nein	bremsen
3	Objekt auf rechter Fahrspur; Fzg. rechts scheren leicht aus	Ja	lenken
4	Nicht erkannter Fehler des Querreglers	Nein	lenken

sie vom Stauassistenten *TCA* nicht bewältigt werden kann, da jeweils eine funktionale Systemgrenze überschritten wird oder ein Systemfehler auftritt.

Zum einen ist dabei zu beachten, dass es Situationen gibt, in denen das Überschreiten der funktionalen Systemgrenze von der Fahrzeug-Sensorik erkannt werden kann und solche, in denen dies nicht möglich ist. Falls die Sensorik das Überschreiten der funktionalen Systemgrenze erkennt, ist das System in der Lage, den Fahrer mittels einer adäquaten Strategie zu warnen. Zum anderen lassen sich die Szenarien nach der Art des erforderlichen Fahrereingriffs einteilen (Lenken oder Bremsen). Um möglichst vielschichtige Ergebnisse zu erzielen, wurde bei der Konstruktion der Szenarien darauf geachtet, diese Anforderungen möglichst gut abzubilden. Tabelle 6.2 zeigt einen Überblick über die resultierenden vier Szenarien. Sie werden in den folgenden Unterkapiteln genauer erläutert. Exemplarische Verläufe der kritischen Szenarien sind in Anhang A.3 zu finden.

Szenario 1: Bremsung ZO

Das Zielobjekt (ZO) führt eine abrupte und nicht vorhersehbare Vollbremsung aus. Der *TCA* ist zwar in der Lage, die Situation mit Hilfe seiner

Sensorik zu erkennen. Da aber die maximale Verzögerung des Assistenten begrenzt ist (vgl. Kapitel 4.4), muss der Fahrer bremsend eingreifen, um die Situation zu entschärfen und eine Kollision mit dem ZO effektiv zu verhindern. Sobald der Assistent prädiziert, dass das ihm zur Verfügung stehende Verzögerungsvermögen nicht mehr ausreicht, um eine Kollision zu verhindern, wird eine akustische Warnung ausgegeben.¹

Szenario 2: Einscherer

Dieses Szenario ist dadurch geprägt, dass die gefahrene Geschwindigkeit auf der mittleren Fahrspur im Durchschnitt schneller ist als auf der linken Spur. Infolgedessen gibt es ein Fahrzeug auf der linken Spur, welches kurz vor dem EGO-Fahrzeug in die mittlere Fahrspur einschert. Es beginnt bereits lange vorher, den bevorstehenden Spurwechsel durch Blinken und einen gewissen lateralen Versatz innerhalb der eigenen Fahrspur anzukündigen.

Der Spurwechsel-Vorgang ist dabei so konzipiert, dass das einscherende Fahrzeug nicht rechtzeitig von der eigenen Fahrzeug-Sensorik erfasst werden kann. Der *TCA* fährt daher mit unverminderter Geschwindigkeit weiter - es gibt keine Warnung. Die Fahrer müssen in Folge bremsend eingreifen, um eine Kollision mit dem einschierenden Fahrzeug zu verhindern.

In Vorversuchen hat sich gezeigt, dass ein bereits vorherrschender lateraler Versatz des einschierenden Fahrzeugs zu deutlich auf den bevorstehenden Spurwechsel hinweist und er daher zu gut von den VPn antizipiert werden

¹Damit in dieser Situation überhaupt ein Fahrereingriff notwendig wird, mussten folgende Punkte am regulären Ablauf manipuliert werden:

- Die gefahrene Zeitlücke τ des *TCA* musste gegenüber dem Standardwert reduziert werden. Der Assistent fährt also in den Modulen mit der Situation 1 insgesamt dichter auf als in den anderen Modulen.
- Die gefahrene Geschwindigkeit kurz vor der Bremsung des ZO wurde auf einen Wert von ca. $35 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erhöht.
- Die Verzögerung des ZO tritt plötzlich und ohne Aufbauzeit ein.

So wird das dargestellte Szenario kritisch und ein Fahrereingriff notwendig.

kann. Daher wurde in den Hauptversuchen auf einen lateralen Versatz des spurwechselnden Fahrzeugs verzichtet und lediglich das Blinksignal als Hinweisreiz für die Situation 2 eingesetzt.

Szenario 3: Hindernis rechts

Im kritischen Szenario 3 befindet sich auf der rechten Fahrspur ein Baustellenfahrzeug als Hindernis. In Folge fahren die Fahrzeuge auf der rechten Fahrspur mit einem lateralen Versatz von ca. 1,5 m an diesem Fahrzeug vorbei. Dabei überqueren sie die Fahrspurmarkierung und befahren auch die mittlere Fahrspur. Auch die Fahrzeuge auf der mittleren Fahrspur weichen etwas nach links aus, so dass weiterhin dreispurig an dem Baustellenfahrzeug vorbeigefahren werden kann.

Die Fahrzeugsensorik ist zum Beispiel mit Ultraschallsensoren in der Lage, eine laterale Annäherung des Fahrzeugs auf der Nachbarfahrspur zu erkennen. Per Definition fährt der *TCA* allerdings immer in der Mitte der Fahrspur. Der Fahrer muss daher korrigierend in die Lenkung eingreifen und nach links ausweichen. Sonst droht eine Kollision mit dem auf der rechten Nachbarfahrspur fahrenden Fahrzeug.

In Vorversuchen hat sich gezeigt, dass der laterale Versatz der vorausfahrenden Fahrzeuge bei einer geraden Strecke bereits weit im Voraus gut erkennbar ist. Daher wurde beschlossen, die Position des Baustellenfahrzeugs in eine leichte Rechtskurve zu verlegen, um die notwendige Erkennungsleistung der VPn zu erhöhen und Deckeneffekte - also durch Überschreitung des Messbereichs hervorgerufene Messfehler - in der Auswertung zu verhindern.

Szenario 4: Fehler des QR

Im Szenario 4 wird ein vom System nicht erkannter Fehler im Querregler (QR) simuliert. Dieser wird dazu kurz vor der Einfahrt in eine Rechtskurve

deaktiviert. Der *TCA* fährt infolgedessen trotz Kurve geradeaus weiter und verlässt die eigene Fahrspur. Der Fahrer muss korrigierend in die Lenkung eingreifen, um das Fahrzeug auf der mittleren Spur zu halten und eine Kollision mit Fahrzeugen auf der Nachbarfahrspur zu verhindern. Da es sich in diesem Szenario um einen *nicht erkannten* Fehler handeln soll, wird der Ausfall der Lenkung nicht durch veränderte Anzeigen oder akustische Warnsignale angezeigt.

6.3 Methodik

Dieses Kapitel beschreibt die verwendete Methodik. Dazu wird zunächst das Test-Design sowie die verwendete Nebenaufgabe dargestellt. Anschließend wird der Ablauf der Studie für eine einzelne VPn veranschaulicht. Den Abschluss bildet eine detaillierte Beschreibung der abhängigen Variablen als Operationalisierung von Situationsbewusstsein, Fahrsicherheit, Workload und Akzeptanz.

6.3.1 Versuchsdesign

In der Studie wurde ein unvollständiges dreifaktorielles $2 \times 3 \times 3$ -Design mit den Faktoren *Nebenaufgabe*, *Funktionalität* und *Interaktion* verwendet. Tabelle 6.3 zeigt einen Überblick über die sechs resultierenden Bedingungen. Sie werden in den folgenden Unterkapiteln im Detail erläutert.

Der zweistufige Faktor *Nebenaufgabe* besitzt die beiden Ausprägungen *ohne Nebenaufgabe* und *mit Nebenaufgabe*. Die eingesetzte Nebenaufgabe wird in Kapitel 6.3.2 beschrieben. Um den Einfluss der Nebenaufgabe während der teilautomatischen Fahrt mit dem Stauassistenten *TCA* zu untersuchen, werden zunächst nur die Bedingungen *W/O NA* (ohne Nebenaufgabe) und *VOLL* (mit Nebenaufgabe, jedoch ohne Interaktionsmechanismus) miteinander verglichen.

Tabelle 6.3: Überblick über die Faktoren der untersuchten Bedingungen.
(x = Faktor in der Bedingung vorhanden.)

Bedingung	W/O NA	ACC	SLOW	VOLL	SIFa	VIDEO
Faktor						
Längsführung	x	x	„slow“	x	x	x
Querführung^a	x	-	x	x	x	x
Nebenaufgabe	-	x	x	x	x	x
Interaktion	-	-	-	-	SiFa	Video

^ahands-off erlaubt

In den darauf folgenden Untersuchungen wird die Bedingung *VOLL* jeweils als Referenz betrachtet. Die eingesetzten Funktionalitäts - Mechanismen (Bedingungen *ACC* und *SLOW*) sowie die eingesetzten Interaktions - Mechanismen (*SIFa* und *VIDEO*) werden jeweils mit der Bedingung *VOLL* verglichen, um den Einfluss des jeweils eingesetzten Mechanismus zu evaluieren. In einigen Untersuchungen werden die Mechanismen zusätzlich untereinander verglichen, jedoch niemals mit der Bedingung *W/O NA*, da in einem solchen Vergleich gefundene Einflüsse nicht eindeutig der Nebenaufgabe oder dem Interaktionsmechanismus zugeordnet werden können.

6.3.2 Die eingesetzte Nebenaufgabe

Um die Probanden in einer realistischen Art und Weise abzulenken, soll während der simulierten Fahrt im Stau eine Nebenaufgabe angeboten werden. Diese soll folgende Anforderungen erfüllen:

- Die Fahraufgabe soll für den Fahrer klar als Hauptaufgabe erkennbar sein.
- Die Nebenaufgabe soll möglichst nah an üblicherweise im Stau durchgeführte Tätigkeiten angelehnt sein. Dazu soll sie nach WICKENS' Modell multipler Ressourcen (Kapitel 2.2.1) nahezu dieselben Ressourcen wie die Fahraufgabe selbst ansprechen.

In Kapitel 3.2 wurde dargestellt, dass gerade während der teilautomatischen Fahrt im Stau eine zunehmende Beschäftigung der Fahrer mit Infotainment-Systemen zu erwarten ist. Diese Tätigkeit ist geprägt durch eine visuelle Zuwendung (Informationsaufnahme), kognitive Ablenkung (Informationsverarbeitung) sowie eine motorische Beanspruchung (Bedienvorgänge). Die Bedienung des Systems ist dabei auch durch Spracheingabe denkbar. Nebenaufgaben, wie z. B. das Vorlesen einer SMS oder das Zählen von bestimmten Wörtern in einem Text entsprechen daher nicht dem geforderten realistischen Charakter der Nebenaufgabe, da durch sie andere Ressourcenkanäle angesprochen werden. Es bietet sich daher an, die Nebenaufgabe möglichst analog zu der Bedienung eines Infotainment-Systems zu gestalten.

RAUCH hat in ihrer Arbeit ein Messmodell sowie eine Versuchsanordnung entwickelt, die in der Lage sind, Prozesse der Handlungsplanung und der Handlungsabsicherung durch eine Nebenaufgabe messbar zu machen [114]. Die Ebene der Handlungsplanung wird dabei vor allem über die bewusste Entscheidung für oder gegen eine Nebenaufgabe operationalisiert.

Die Ebene der Handlungsabsicherung wird dagegen erst während der Aufgabebearbeitung sichtbar. Durch kontinuierlich durchgeführte Kontrollblicke wird der weitere Verlauf der Verkehrssituation verfolgt. RAUCH nimmt an, dass dabei eine Fokussierung auf die vorab als relevant eingestuft Reize erfolgt. Ein hohes Maß an Situationsbewusstsein wird in anspruchsvollen Situationen vor allem durch unter- oder abgebrochene Aufgaben messbar gemacht.

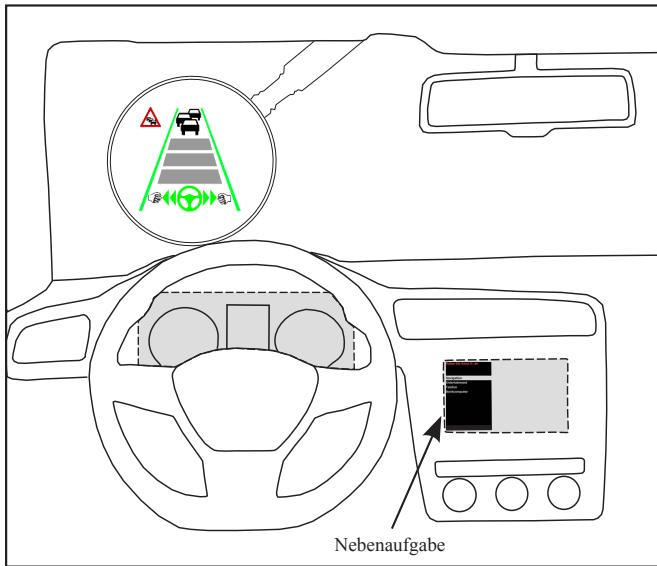


Bild 6.2: Schematische Positionierung der Nebenaufgabe. Anzeigen im HUD vergrößert dargestellt.

Eine Nebenaufgabe gemäß dem in [114] entwickelten Versuchsaufbau hat also den Vorteil, dass sie einerseits die gleichen Ressourcendimensionen wie sonst durchgeführte Tätigkeiten beansprucht und andererseits eine zusätzliche Operationalisierung für Situationsbewusstsein bietet. Sie wird daher für die Untersuchungen in dieser Arbeit gewählt. Dabei handelt es sich um die Bedienung eines hierarchischen Menüs, dessen Aufbau sich an die Menüstruktur aktueller Fahrerinformationssysteme anlehnt. Die Bedienung der Menüaufgabe erfolgt über den im Fahrsimulator angebrachten Touchscreen oberhalb der Mittelkonsole, das Infotainment-Display. Die Positionierung der Nebenaufgabe ist schematisch in Bild 6.2 dargestellt.

Um den Fahrer zur Bearbeitung der Nebenaufgabe zu motivieren, wurde - wiederum in Anlehnung an RAUCH - ein Punktesystem eingeführt [114].

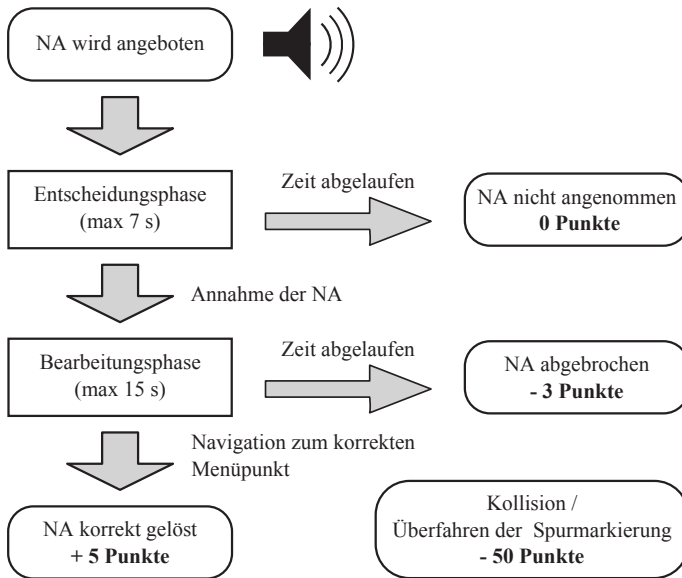


Bild 6.3: Ablauf einer angebotenen Nebenaufgabe (NA) mit allen Entscheidungsmöglichkeiten und resultierenden Punktzahlen

Zur Ermöglichung einer angemessenen Gewichtung zwischen Haupt- und Nebenaufgabe wird die Fahraufgabe in das Punktesystem mit einbezogen. Für jeden Fahrfehler (Kollision, Überfahren der Spurmarkierung) wird eine bestimmte Punktzahl abgezogen. Der aktuelle Punktestand wird dem Fahrer jederzeit im unteren Teil des Infotainment-Displays angezeigt. Die Struktur des eingesetzten Menüs ist in Anhang B.2 aufgelistet, der Ablauf einer Aufgabe - inklusive des Punktesystems - ist in Bild 6.3 skizziert.

Die Aufgaben werden dem Fahrer an unregelmäßigen aber vordefinierten Punkten der Fahrstrecke durch ein akustisches Signal angekündigt. Der Fahrer soll sich daraufhin entscheiden, ob er die Aufgabe annehmen möchte und dies ggf. mit dem Feld „Aufgabe annehmen“ auf dem Touchscreen bestätigen. Erfolgt innerhalb von 7 s keine Reaktion des Fahrers, gilt die

Aufgabe als abgelehnt. Erst nach Annahme der Aufgabe erscheint der zu erreichende Menüpunkt sowie die oberste Menüebene auf dem Bildschirm. Der Fahrer muss nun zum entsprechenden Menüpunkt navigieren und diesen auswählen. Dabei kann er jederzeit über die „Zurück“-Option wieder zur nächsthöheren Menüebene gelangen. Ist nach Ablauf von 15 s der korrekte Menüpunkt nicht erreicht worden, z. B. weil die Aufgabe unterbrochen wurde, gilt sie als abgebrochen. Der Fahrer muss nun warten, bis die nächste Aufgabe angeboten wird. Alle Probanden bekamen vor den Versuchen die Anweisung, möglichst viele Menüaufgaben zu lösen, wobei das Fahren allerdings immer die Hauptaufgabe darstellen sollte.

Infolge der ablenkenden Wirkung der Nebenaufgabe sind Einbußen im Situationsbewusstsein und der Fahrsicherheit zu erwarten²:

Hypothese 17. *Die Einführung der Nebenaufgabe reduziert das Situationsbewusstsein des Fahrers.*

Hypothese 18. *Die Einführung der Nebenaufgabe reduziert die Fahrsicherheit.*

Infolge der zusätzlichen Beanspruchung werden ebenfalls Einflüsse auf den resultierenden Workload erwartet.

Hypothese 19. *Die Einführung der Nebenaufgabe erhöht den Workload des Fahrers.*

²Hinweis: Fortführung der Nummerierung der Hypothesen aus Kapitel 5

6.3.3 Versuchsablauf

Bild 6.4 zeigt den hier verwendeten Versuchsablauf. Er ist - mit Ausnahme der permutierten Elemente - für jede VPn identisch und an den von ARNDT [7] entwickelten Ablauf für Akzeptanz-Tests für Fahrerassistenzsysteme (FAS) angelehnt.

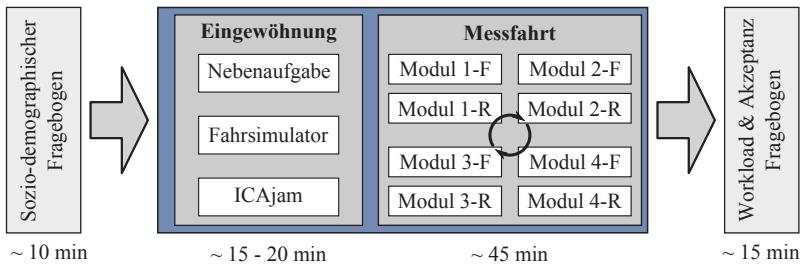


Bild 6.4: Ablauf des Versuchs für jede Versuchsperson

Dabei gibt es drei Abschnitte:

1. einen sozio-demographischen Fragebogen,
2. die Produkt-Präsentation (in diesem Fall die simulierte Fahrt mit dem System) sowie
3. einen Fragebogen zur Akzeptanz des Systems.

Der sozio-demographische Fragebogen ist für alle Bedingungen identisch. Es werden allgemeine personenbezogene Daten erhoben.

Die Produkt-Präsentation beginnt mit einer Eingewöhnungsphase, in der die VPn sukzessive die folgenden Tätigkeiten kennenlernen und einüben können:

1. Bedienung der Nebenaufgabe im Stand (außer Bedingung *W/O NA*),
2. Fahren mit Fahrsimulator bei stautypischen Geschwindigkeiten, aber ohne andere Verkehrsteilnehmer,
3. Fahren mit dem jeweiligen Stauassistenten im Stau,
4. Bedienung der Nebenaufgabe während der teilautomatisierten Fahrt mit dem Stauassistenten im Stau (ausser Bedingung *W/O NA*).

Erst anschließend folgt die eigentliche Messfahrt. Sie besteht, wie in Bild 6.4 dargestellt, aus den in Kapitel 6.2.2 beschriebenen acht verschiedenen Stau-Modulen.

Um Reihenfolgeeffekte zu verhindern, wird die Abfolge der einzelnen Module für jede VPn variiert. Eine Besonderheit besteht hierbei darin, dass jede Situation zweimal durchfahren werden soll. Die Freezing-Module sollen dabei immer *vor* dem kompletten Durchfahren der Situationen (Reaktions-Module) dargeboten werden. Andernfalls wäre der weitere Verlauf einer Situation beim Freezing bereits vom vorherigen Durchfahren der Situation bekannt und könnte besser antizipiert werden. Daher wurden mit Hilfe eines lateinischen Quadrats vierter Ordnung vier verschiedene Abfolgen erstellt, in denen die o.g. Permutationsanforderungen erfüllt werden (vgl. Anhang B.1). Sie werden innerhalb jeder Bedingung gleich häufig angeboten.

Nach erfolgreichem Durchfahren aller Module bekommen die VPn die Aufgabe, den Workload- und Akzeptanzfragebogen auszufüllen. Anschließend ist der Versuch beendet. Alle in der Studie verwendeten Fragebögen sind in Anhang B.3 abgedruckt.

6.3.4 Operationalisierung des Situationsbewusstseins

Im Rahmen immer höherer Automatisierungsgrade von FAS bis hin zur Teilautomation ist das Situationsbewusstsein als ein zentrales Konstrukt identifiziert worden, um zu bewerten, ob der Fahrer überhaupt in der Lage ist, auf unvorhergesehene Ereignisse adäquat zu reagieren. Das Konstrukt des Situationsbewusstseins wurde in Kapitel 2.2.4 detailliert beschrieben. Bild 6.5 zeigt einen Ausschnitt des Modells für Situationsbewusstsein sowie eine Aufteilung der verwendeten Messdimensionen auf die einzelnen Schritte im Modell.

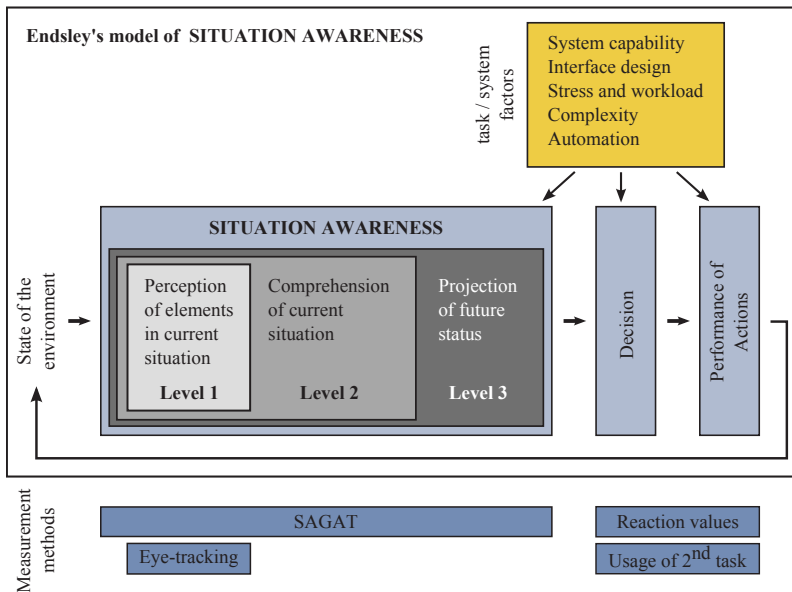


Bild 6.5: Ausschnitt aus Endsley's Modell des Situationsbewusstseins (in Anlehnung an [43]) und Allokation der Messmethoden zum Modell, entnommen aus [165].

Das Situationsbewusstsein der Fahrer wird in dieser Studie mit verschiedenen Methoden und an verschiedenen Stellen im Modell erhoben. Dabei kommen sowohl direkte als auch indirekte Messverfahren zum Einsatz. Im Folgenden werden die verwendeten Methoden zur Erfassung des Situationsbewusstseins genauer erläutert.

Blickerfassung

Gemäß Endsley's Modell besteht der erste Schritt bei der Erlangung eines ausreichenden Situationsbewusstseins in der Wahrnehmung der Umgebung. Da während des Fahrens die meisten Informationen über den visuellen Kanal aufgenommen werden [100, 123], ist eine Erfassung der Blickrichtung der VPn zielführend, um Einflüsse auf den Informationsaufnahmeprozess zu erfassen.

Zur Messung der Blickrichtung wird das in Bild 6.6 dargestellte, kopfbasierte Kamerasystem *Dikablis* der Firma *Ergoneers* verwendet. Es ist in der Lage, mit Hilfe der am Kopf befestigten Kameras den Punkt des fovealen Sehens in der Umgebung zu bestimmen. Mit Hilfe von Markern, die rela-



Bild 6.6: Versuchsperson mit Dikablis Blickerfassungs-System [48].

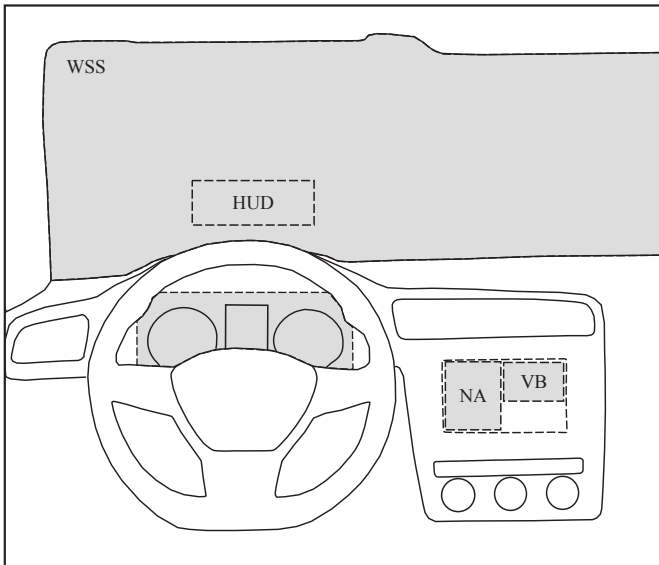


Bild 6.7: Schematische Anordnung der vier verwendeten AOIs in der Simulatorumgebung:
Windschutzscheibe (WSS), Head-Up Display (HUD), Nebenaufgabe (NA) und Videobild (VB).

tiv zu interessierenden Flächen montiert werden, können Areas of Interest (AOIs) definiert und in den aufgenommenen Videobildern automatisiert erkannt werden. Auf diese Art und Weise ist es möglich, verschiedene Parameter wie z. B. die durchschnittliche Dauer pro Blick, die Anzahl oder die Gesamtdauer der Blicke in eine bestimmte AOI zu berechnen. Für weitere Informationen zum verwendeten Blickerfassungssystem sei auf [82] verwiesen. Im Rahmen der Untersuchungen wurden vier AOIs definiert. Bild 6.7 zeigt eine Übersicht über ihre Anordnung im Fahrersimulator. Anzumerken ist dabei, dass Blicke, die in der AOI Head-Up Display (HUD) liegen, gleichzeitig auch in der AOI Windschutzscheibe (WSS) liegen. Daher wurde eine

fünfte AOI eingeführt: Die *Fahrszene* berechnet sich aus der AOI WSS abzüglich der Blicke, die in das HUD fallen.

Situation Awareness Global Assessment Technique

Eine Möglichkeit zur direkten Messung von Situationsbewusstsein bietet die von Endsley entwickelte Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) [44, 45]. Dabei wird die Simulation zu nicht vorhersehbaren Zeitpunkten eingefroren und die Bildschirme geschwärzt (Freezing). Anschließend werden die VPn über das gerade erlebte Geschehen befragt. In dieser Studie wird dafür ein Fragebogen verwendet (vgl. Anhang B.3). Ein Vergleich der Antworten mit dem Messprotokoll der Simulation ergibt ein objektives Maß über das vorhandene Situationsbewusstsein. Durch geschickte Wahl der Fragen (Items) kann zudem auf die verschiedenen Ebenen des Situationsbewusstseins eingegangen werden.

Endsley empfiehlt, vor allem Reize abzufragen, die bei der Ausführung der jeweiligen Aufgabe relevant sind [44]. Im Rahmen dieser Studie zeigte sich allerdings die Schwierigkeit, dass die Verkehrsumgebung gerade beim Fahren im Stau eher monoton und von geringer Dynamik geprägt ist. Viele der Reize, die normalerweise von Bedeutung sind, treten im Stau eher in den Hintergrund, wie z. B. das Tempolimit oder das Vorhandensein anderer Verkehrsteilnehmer. Daher ist es in dieser Studie unumgänglich, auch irrelevante Items in die Fragebögen mit aufzunehmen, wie beispielsweise Verkehrszeichen oder die Farbe von anderen Fahrzeugen. Um die Suggestivität der Fragen weiter zu reduzieren, werden zusätzlich zu den jeweils relevanten und irrelevanten Items auch Fragen zu bestimmten in der Situation nicht existenten Reizen, in so genannten Dummy-Items, abgefragt. Außerdem werden zwei Dummy-Freezings eingeführt. Diese befinden sich etwa in der Mitte der Module 1-F und 2-F an Positionen eingebaut, an denen keine Besonderheiten im Szenario vorliegen. Dadurch erfahren die

VPn, dass das Auftreten eines Freezings nicht unbedingt auch ein kritisches Szenario impliziert.

Die SAGAT Fragebögen werden jeweils in den Freezing-Modulen kurz nach Erscheinen der Schlüsselreize des jeweiligen Szenarios dargeboten (vgl. Kapitel 6.2.2). Diese Schlüsselreize sind in Bild 6.8 auf Seite 112 abgebildet und aufgelistet. Nach den kritischen Freezings ist das jeweilige Modul beendet und das nächste wird gestartet. Mit Hilfe dieses Vorgehens erleben die VPn den Ablauf der kritischen Szenarien erst bei ihrer Durchfahrt im R-Modul.

Benutzung der Nebenaufgabe

Die dritte Messung des Situationsbewusstseins erfolgt über die Bearbeitung der Nebenaufgabe während des Fahrens entsprechend der von RAUCH [114] entwickelten Methodik. Die eingesetzte Nebenaufgabe wurde bereits in Kapitel 6.3.2 ausführlich beschrieben. Zentral ist dabei die optionale Gestaltung der Aufgabe, sodass der Fahrer zu jeder angebotenen Aufgabe selber zwischen der Fahraufgabe und der Nebenaufgabe priorisieren kann und muss. Kurz vor den vier kritischen Szenarien wird jeweils eine Aufgabe angeboten. Der Zeitpunkt ist dabei analog zu den Freezing-Zeitpunkten für die SAGAT Fragebögen so gewählt, dass der jeweilige Hinweisreiz bereits erkennbar ist. In Szenario 1 (Bremsung ZO) war dies aufgrund der sehr kurzen Ablaufdauer des Szenarios nicht möglich, sodass die Nebenaufgabe hier zeitlich um einige Sekunden nach vorne geschoben wurde. Aus der vorgenommenen Priorisierung dieser kritischen Nebenaufgaben können Rückschlüsse auf das Situationsbewusstsein gezogen werden.

Als Maß für das Situationsbewusstsein wird dabei jeweils die letzte Nebenaufgabe vor der Situation in den R-Modulen verwendet, da in den F - Modulen die Simulation durch das Freezing abgebrochen wird und somit die Messung verfälscht werden würde. Untersuchungen haben gezeigt, dass

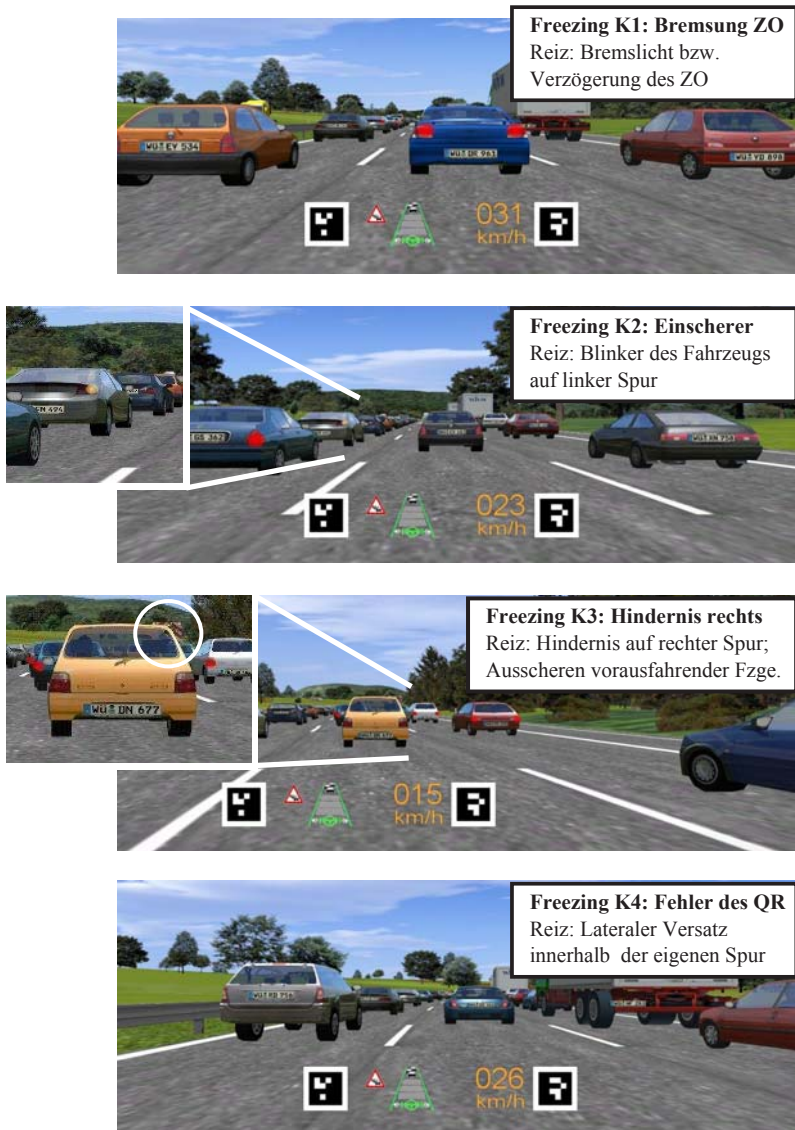


Bild 6.8: Die Schlüsselreize der vier kritischen Freezings K1 bis K4 in den jeweiligen Szenarien zum Zeitpunkt des Freezings.

die Parameter „Annahme der Aufgabe“ und „Bearbeitungsdauer der Aufgabe“ zur Beurteilung von Situationsbewusstsein herangezogen werden können [114, 170]. Aufgaben werden bei hohem Situationsbewusstsein in kritischen Szenarien also entweder gar nicht erst angenommen oder zwischendurch unterbrochen, was in einer längeren Bearbeitungsdauer resultiert.

6.3.5 Operationalisierung der Fahrsicherheit

Die Fahrsicherheit wird in dieser Studie anhand der Reaktion der VPn auf die vier kritischen Szenarien erhoben. Dazu werden zum einen Reaktionsgrößen, wie z. B. die Reaktionszeit (RZ) verwendet. Die genauen Definitionen zur Bestimmung der RZs sind in Tabelle 6.4 angegeben. Zum anderen wird die Performance der Reaktion anhand der effektiven Abwendung von Kollisionen bewertet.

Zusätzlich zur RZ bietet sich in Szenario 1 die minimale Time-to-Collision TTC_{min} als Messgröße an, die bei nicht erfolgter Kollision die maximale Kritikalität widerspiegelt. Das dazugehörige Pendant in Querrichtung ist die minimale Time-to-Linecrossing TLC_{min} , die in Szenario 4 erhoben wird. Bei-

Tabelle 6.4: Definition der Reaktionszeiten in den vier kritischen Szenarien

Szenario	Beginn	Ende
1: Bremsung ZO ^a	Aufleuchten der Bremslichter	Fahrer brems
2: Einscherer	Beginn des Spurwechsels	Fahrer brems
3: Hindernis rechts	Sichtbarkeit des Hindernisses	QA ^b wird aufgebaut
4: Fehler des QR ^c	Deaktivierung des QR	Fahrer lenkt

^aZielobjekt (ZO)

^bQuerablage (QA) - Lateraler Versatz des Fahrzeugs innerhalb der eigenen Fahrspur

^cQuerregler (QR)

de Variablen sind in den jeweils anderen Szenarien nicht sinnvoll evaluierbar. In den Szenarien 2 und 3 erfolgt die Evaluierung der Fahrsicherheit daher ausschließlich anhand der RZ und der Auftretenshäufigkeit von Kollisionen.

In der Bedingung *ACC* wurde die automatisierte Querführung des Stauassistenten deaktiviert. Die Fahrer sind selber dafür verantwortlich, das Fahrzeug korrekt in der Spur zu halten. Infolgedessen sind die RZs im kritischen Szenario 4 (Fehler des Querregler (QR)) in dieser Gruppe nicht sinnvoll umsetzbar. Um den VPn dennoch die gleiche Anzahl an Fehlfunktionen darzubieten und damit die Ergebnisse für die Akzeptanzuntersuchung nicht methodisch zu verfälschen, wird an dieser Stelle ein alternatives Szenario umgesetzt. Die Längsführung des Systems wird unkontrolliert beschleunigen und in das vorausfahrende Fahrzeug fahren. Der Fahrer muss also bremsen, um das System auszuschalten und eine Kollision zu verhindern. Aufgrund des völlig anderen zeitlichen Ablaufs dieses Alternativszenarios sind sämtliche Reaktionsgrößen nicht mit den anderen Bedingungen vergleichbar und werden daher aus der Bewertung ausgeschlossen.

Aufgrund der nicht automatisierten Querführung in Bedingung *ACC* ist zudem die Ermittlung der Lenk-Reaktionszeit in Szenario 3 (Hindernis rechts) nicht konsistent mit den anderen Bedingungen. Während in den anderen Bedingungen das Übersteuern der Querregelung eine klar erkennbare Größe ist, sind in der Gruppe *ACC* nur sehr kleine Lenkbewegungen notwendig, um das Fahrzeug innerhalb der eigenen Fahrspur nach links zu bewegen. Auch die Querablage ist als Kriterium nicht verwendbar, da die VPn nicht unbedingt wie der Stauassistent genau in der Mitte der Fahrspur fahren. Die Reaktionszeiten der Gruppe *ACC* werden daher auch in Szenario 3 aus der Auswertung ausgeschlossen.

Nach Endsley's Modell wird die Reaktion auf bestimmte Ereignisse vor allem vom vorherrschenden Situationsbewusstsein bestimmt (vgl. Bild 6.5 auf Seite 107). Das Reaktionsverhalten in den kritischen Szenarien kann

daher auch als indirektes Maß zur Bestimmung von Situationsbewusstsein betrachtet werden [115].

6.3.6 Operationalisierung des Workloads

Nach Ende der Messfahrt wird der Workload der Gesamtsysteme mit Hilfe eines Fragebogens evaluiert. Es wird eine verkürzte und adaptierte Variante des *NASA Task Load Index (NASA-TLX)* Fragebogens verwendet [60]. Dabei müssen die VPn die wahrgenommene Beanspruchung zur Durchführung verschiedener Aufgaben bewerten. Im Gegensatz zum vollständigen Fragebogen wurde die Gewichtung der einzelnen Messdimensionen mit Hilfe eines paarweisen Vergleichs weggelassen, um die benötigte Zeit zum Ausfüllen des Fragebogens zu reduzieren. Studien haben gezeigt, dass die ungewichteten Resultate äquivalent sensitiv zur Messung von Workload sind [97].

Die ursprünglichen Dimensionen der Messung wurden an den in dieser Untersuchung vorliegenden Use-Case angepasst. Es resultieren die folgenden Dimensionen:

- Erkennung von Gefahren,
- Bedienung der Nebenaufgabe (NA),
- Überwachung des Verkehrs,
- Überwachung und Bedienung des jeweiligen *TCA* sowie
- Ausführung der gesamten Fahraufgaben.

Der verwendete Workload Fragebogen ist im Anhang B.3.3 aufgelistet.

6.3.7 Operationalisierung der Akzeptanz

Zur Erhebung der Akzeptanz der Gesamtsysteme wird ein von ARNDT [7] entwickelter Fragebogen adaptiert und eingesetzt. Dabei werden die Systeme unter verschiedenen subjektiven Gesichtspunkten betrachtet:

- Einstellung zum System,
- wahrgenommene Eigenschaften des Systems und
- wahrgenommener Nutzen des Systems.

Die Einstellung der VPn zum Stauassistenten wurde mit Hilfe eines semantischen Differentials, bestehend aus 18 Adjektivpaaren untersucht. Die wahrgenommenen Eigenschaften des Systems werden mit Hilfe von 28 Aussagen ermittelt, zu denen die VPn jeweils ihre Zustimmung auf einer fünfstufigen Likert-Skala geben. Diese 28 Aussagen werden jeweils zu den Skalen *Usability*, *Sicherheit*, *Imagebeitrag*, *Fahrspass*, *Systemvertrauen*, *Komfort*, *Umweltfreundlichkeit* und *Kontrollierbarkeit* zusammengefasst [7]. Zusätzlich bewerten die VPn die Konsequenzen, die sich durch den Kauf und die Nutzung des Systems ergeben. Mit diesen Daten lässt sich der Nutzen der Stauassistenten abschätzen und evaluieren.

6.4 Beschreibung der Stichprobe

Im folgenden Kapitel wird auf die Vorgehensweise bei der Auswahl geeigneter VPn eingegangen. Zu ihrer Akquise wurde auf eine BOSCH-interne Probandendatenbank zurückgegriffen. Dabei wurden folgende Punkte bereits bei Beginn der Rekrutierung als Annahmebedingung definiert:

- Besitz eines gültigen Führerscheins,
- keine Farbenfehlsichtigkeit (zur Sicherstellung gleicher Wahrnehmungsbedingungen) und

- keine Hinweise auf Simulatorkrankheit.

Bei der Simulatorkrankheit handelt es sich um eine spezielle Form der Kinetose (Reisekrankheit), der visuell induzierten Kinetose. Dabei treten bei manchen Personen im Fahrsimulator Symptome wie Übelkeit oder Kopfschmerzen auf [69].

Entsprechend der von BUBB veröffentlichten Vorüberlegungen bzgl. notwendiger Probandenzahlen [19] wurde eine Zielzahl von 25 VPn pro Bedingung festgelegt, um hinreichend signifikante Ergebnisse zu erzielen. In Summe entspricht das 150 VPn. Aufgrund von Ausfällen unterschiedlicher Art konnten letztendlich $N = 135$ gültige VPn in die Auswertung mit einbezogen werden.

Tabelle 6.5: Demographische Merkmale der sechs Gruppen von VPn. Für die statistischen Größen sind Mittelwerte angegeben (Standardabweichungen in Klammern).

Merkmal	W/O NA	ACC	SLOW	VOLL	SIFA	VIDEO
Anzahl N	22	22	23	23	23	22
davon ♂	19	19	21	20	19	19
davon ♀	3	3	2	3	4	3
Alter [Jahre]	36,95 (8,07)	37,95 (9,09)	35,74 (7,61)	38,19 (10,72)	34,30 (8,83)	36,32 (8,75)
Fahrleistung [tkm pro Jahr]	17,36 (7,44)	18,09 (10,84)	18,41 (9,60)	22,17 (10,90)	19,13 (10,54)	20,30 (9,92)
KUT^a [0 .. 5]	4,33 (0,63)	4,36 (0,38)	4,26 (0,46)	4,30 (0,37)	4,29 (0,45)	4,38 (0,39)

^aDie Kontrollüberzeugung im Umgang mit Technik nach BEIER [13] ist ein Maß für die subjektive Überzeugung, technische Systeme in der Umgebung beherrschen zu können

Damit sich die Gruppen der sechs Bedingungen hinsichtlich ihrer demographischen Merkmale möglichst ähnlich sind, werden aus der Gesamtstichprobe Schichten nach den Merkmalen Geschlecht, Alter und jährlicher Fahrleistung gebildet. Diese Schichten werden jeweils möglichst gleichmäßig auf die sechs Bedingungen verteilt. Tabelle 6.5 gibt einen Überblick über die resultierenden sechs Gruppen hinsichtlich ihrer demographischen Merkmale. Die Gesamt-Stichprobe ist jedoch zum einen durch einen geringen Anteil an weiblichen Teilnehmern und zum anderen durch eine hohe Technik-Affinität - operationalisiert durch den KUT-Wert - geprägt. Dies wird vermutlich durch die Verwendung der BOSCH-Probandendatenbank zur Akquise der Probanden hervorgerufen. Viele der Probanden sind Mitarbeiter der ROBERT BOSCH GMBH. Es wird jedoch ersichtlich, dass sich alle Experimentalgruppen sehr ähnlich sind und daher keine systematischen Verzerrungen zu erwarten sind.

6.5 Die eingesetzte Nebenaufgabe

In diesem Kapitel sollen zunächst die Einflüsse der in Kapitel 6.3.2 eingeführten Nebenaufgabe untersucht werden. Diese Untersuchung dient dazu, die Nebenaufgabe an sich zu charakterisieren und die nachfolgend in Kapitel 6.6 beschriebenen Einflüsse der Interaktionsmechanismen in einen korrekten Kontext zu setzen. Daher analysiert das folgende Kapitel zunächst die auftretenden Effekte auf das Situationsbewusstsein. Anschließend wird auf die daraus entstehende Fahrsicherheit eingegangen.

6.5.1 Situationsbewusstsein

Um den Einfluss der Nebenaufgabe auf das Situationsbewusstsein zu analysieren, werden die in Kapitel 6.3.4 beschriebenen abhängigen Variablen betrachtet. Dabei wird in der vorliegenden Arbeit zunächst auf die Daten des

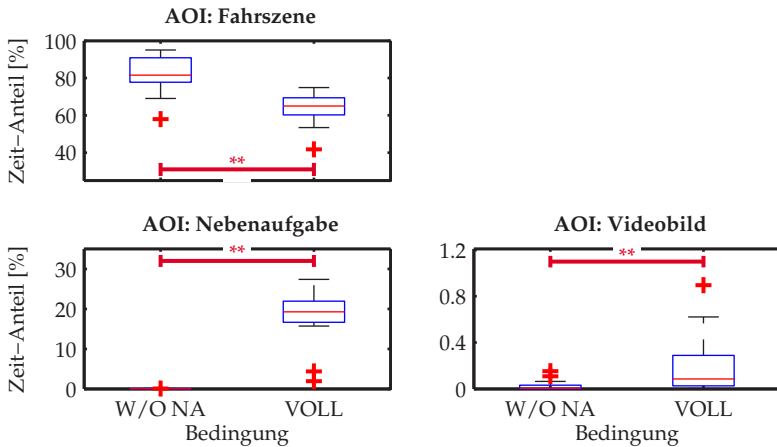


Bild 6.9: Anteile der Blicke in die AOIs in den Bedingungen *W/O NA* und *VOLL* als Boxplot.

Ausreisser: +, signifikante Unterschiede:

m.s. $p \leq 0,1$ – * $p \leq 0,05$ – ** $p \leq 0,01$.

Blickerfassungssystem eingegangen. Anschließend werden die erreichten Punkte in den SAGAT Fragebögen analysiert. In der Bedingung *W/O NA* wurde keine Nebenaufgabe eingesetzt. Daher kann in diesem Vergleich das Bedienverhalten der Nebenaufgabe nicht als abhängige Variable herangezogen werden.

Bild 6.9 zeigt die zeitlichen Anteile der Blicke in die drei hier relevanten AOIs, jeweils bezogen auf die Gesamt-Fahrtzeit. Die detaillierten Statistiken sind in Anhang C.1 zu finden. Es wird deutlich, dass sich durch die Nebenaufgabe der Anteil aller Blicke in die AOI Fahrscene (FSZ) hochsignifikant reduziert ($M_{FSZ,W/O NA} = 82,83\%$, $M_{FSZ,VOLL} = 64,26\%$, $p < 0,001$). Gleichzeitig erhöht sich der Anteil der Blicke in die AOI NA von $M_{NA,W/O NA} = 0,02\%$ auf ca. $M_{NA,VOLL} = 18,49\%$ ebenfalls hochsignifikant ($p < 0,001$). Die Dauer der Blicke in die AOI NA beträgt in der

Gruppe *VOLL* im Mittel 1,00s (Standardabweichung 0,38s). Sie sind damit im Bereich akzeptabler Blickabwendung, wie sie von *ZWAHLEN* formuliert wurde [171].

Die Reduktion der Blickanteile in die FSZ und die Erhöhung der Blickanteile in die NA weisen in etwa gleich große Beträge auf. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass sich die Blicke der Fahrer durch die Einführung der NA von der FSZ in die NA verschieben. Da weniger Blicke in die FSZ auch bedeuten, dass Hinweisreize weniger oft und gut wahrgenommen werden können, ist dies ein Hinweis für geringeres Situationsbewusstsein während der teilautomatischen Fahrt mit einer Nebenaufgabe.

Anzumerken ist zudem, dass sich durch die Einführung der Nebenaufgabe Blickanteil in die AOI Videobild (VB) ebenfalls hochsignifikant erhöht ($p = 0,007$), der Betrag der Erhöhung ist im VB allerdings deutlich geringer ($M_{Zunahme} = 0,16\%$) als in der NA. Da sowohl in der Bedingung *W/O NA*, als auch in *VOLL* an dieser Stelle nichts angezeigt wurde ist dies ein Hinweis für die leichte Ungenauigkeit des Blickerfassungssystems. Die Blicke galten eigentlich der NA und wurden vom System irrtümlich dem Videobild zugeordnet, welches im räumlich direkten Umfeld zur Nebenaufgabe angeordnet ist.

Die Summen aller korrekt beantworteten Fragen in den vier SAGAT Fragebögen sind in Bild 6.10 als Boxplot dargestellt. Eine hoher SAGAT-score ist dabei ein Hinweis für hohes Situationsbewusstsein, da die VPn den jeweiligen Hinweisreiz sowie seine Bedeutung und die Notwendigkeit, in das Fahrgeschehen einzugreifen, bei voller Punktzahl erkannt haben. Die detaillierten Statistiken der SAGAT-scores sind in Anhang C.2 zu finden. Auch in dieser Variable wird der Einfluss der Nebenaufgabe in zwei Freezings hochsignifikant (K2: $p = 0,004$ & K3: $p = 0,002$). VPn mit Nebenaufgabe beantworteten weniger Fragen zur aktuellen Fahrsituation korrekt als VPn ohne Nebenaufgabe. In Freezing K4 ist die gleiche Tendenz erkennbar, jedoch mit nicht signifikanten Werten.

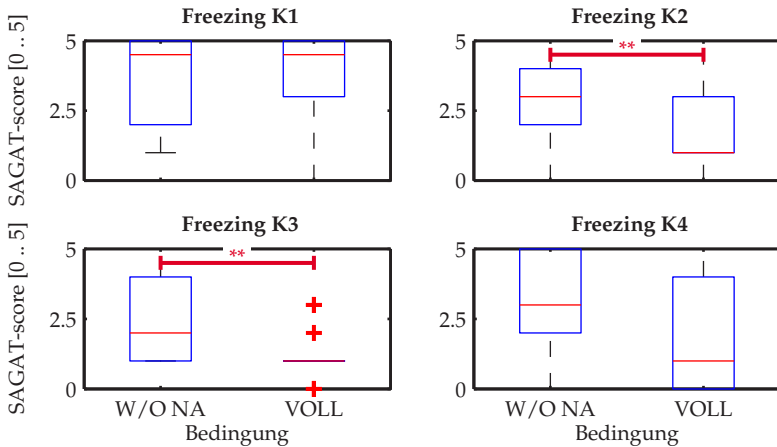


Bild 6.10: Boxplot der resultierenden SAGAT-scores in den Bedingungen *W/O NA* und *VOLL*.

Ausreisser: +, signifikante Unterschiede:

m.s. $p \leq 0,1$ - * $p \leq 0,05$ - ** $p \leq 0,01$.

Im Freezing K1 sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen *W/O NA* und *VOLL* erkennbar. Dieser fehlende Einfluss lässt sich durch methodische Gründe erklären. In Kapitel 6.2.3 wurde beschrieben, dass die gefahrene Zeitlücke des *TCA* in den Modulen 1-F und 1-R künstlich reduziert werden musste, damit dieses Szenario kritisch wird. Möglicherweise wird die Aufmerksamkeit der VPn dadurch - trotz Beschäftigung mit der Nebenaufgabe - besonders auf das vorausfahrende Fahrzeug gelenkt. In der Ebene der Handlungsabsicherung erfolgt eine zu starke Fokussierung auf zuvor als relevant eingestufte Elemente. In Folge werden periphere Reize eher übersehen [114]. Während der manuellen Folgefahrt in einem Fahrsimulator konnte ein solcher Effekt bereits nachgewiesen werden [26].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Hypothese 17 („Die Einführung der Nebenaufgabe reduziert das Situationsbewusstsein des Fahrers.“) ausgehend

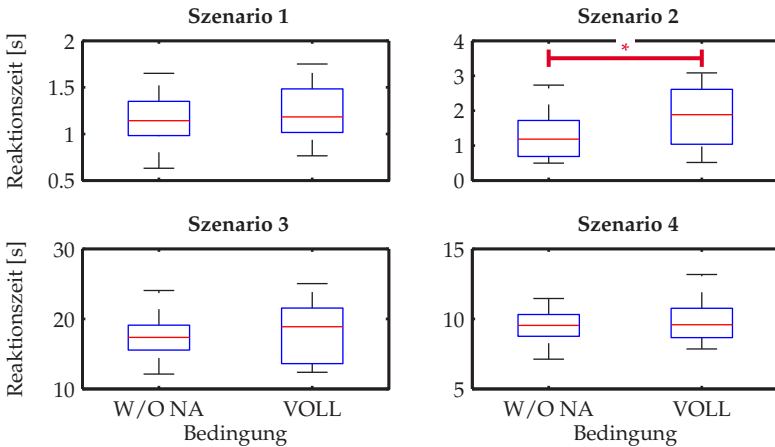


Bild 6.11: Boxplot der Reaktionszeiten in den Gruppen *W/O NA* und *VOLL*.

Ausreisser: +, signifikante Unterschiede:

m.s. $p \leq 0,1$ - * $p \leq 0,05$ - ** $p \leq 0,01$.

von den gezeigten Versuchsergebnissen angenommen werden kann. Das Ausführen der Nebenaufgabe während der Fahrt mit dem teilautomatischen TCA hat einen negativen Einfluss auf das Situationsbewusstsein des Fahrers.

6.5.2 Fahrsicherheit

Um den Einfluss der Nebenaufgabe auf die Fahrsicherheit zu analysieren, werden im Folgenden die in Kapitel 6.3.5 beschriebenen abhängigen Variablen analysiert. Dabei stehen zunächst die Reaktionszeiten der vier kritischen Szenarien im Mittelpunkt. Sie sind in Bild 6.11 als Boxplot dargestellt. Die erwartete Reduktion der Fahrsicherheit durch die Nebenaufgabe müsste sich in einer Erhöhung der Reaktionszeiten widerspiegeln. Die detaillierten Statistiken zur Fahrsicherheit sind in Anhang C.4 zu finden.

Die erwartete Erhöhung der Reaktionszeiten durch die Nebenaufgabe wird jedoch nur in Szenario 2, dem Einscherer, signifikant ($p = 0,045$). Die Reaktionszeit erhöht sich hier im Mittel von 1,29s in Bedingung *W/O NA* auf 1,81s in der Bedingung *VOLL*. In den übrigen Szenarien lassen sich keine signifikanten Unterschiede in den Reaktionszeiten zwischen den Bedingungen *W/O NA* und *VOLL* feststellen. Die verbleibenden abhängigen Variablen zur Operationalisierung der Fahrsicherheit (Kollisionshäufigkeit, TTC_{min} und TLC_{min}) zeigen keine signifikanten Einflüsse der Nebenaufgabe.

Ausgehend von den Befunden lässt sich Hypothese 18 („*Die Einführung der Nebenaufgabe reduziert die Fahrsicherheit.*“) nur ansatzweise bestätigen. Trotz der relativ deutlichen Einflüsse der Nebentätigkeit auf das Situationsbewusstsein (vgl. Kapitel 6.5.1) fällt ihr Einfluss auf die Fahrsicherheit nur gering aus. Es stellt sich daher die Frage, warum die Fahrsicherheit so stark vom Situationsbewusstsein entkoppelt ist. Entsprechend Endsley's Modell (vgl. Kapitel 2.2.4) hängt die Entscheidung für eine bestimmte Verhaltensweise neben dem Situationsbewusstsein auch von weiteren individuellen und aufgabenbezogenen Faktoren ab.

Es ist z. B. denkbar, dass sich einige VPn trotz geringem Situationsbewusstsein aufgrund von hoher Fahrerfahrung intuitiv für die korrekte Verhaltensweise entschieden haben. Ein Vergleich der Variable „gefahrte km in den letzten 12 Monaten“ zeigt im Mittelwert zwar eine Erhöhung von ca. 17,000km in der Gruppe *W/O NA* auf ca. 22,000km in der Gruppe *VOLL*, diese ist statistisch jedoch nicht signifikant. Unterschiedliche Fahrerfahrung der VPn kann daher als Grund für die Entkoppelung der Fahrsicherheit vom Situationsbewusstsein ausgeschlossen werden.

Weiter muss beachtet werden, dass mit Hilfe der SAGAT-Methodik lediglich das explizit verbalisierbare Wissen über die Fahrumgebung gemessen werden kann. Es ist daher möglich, dass die eingesetzte Nebenaufgabe vor allem dieses Wissen beeinträchtigt, unbewusste oder automatisierte Prozesse

jedoch nicht oder nur gering beeinflusst werden. RAUCH nimmt an, dass zur Ausführung der Fahraufgabe hauptsächlich implizite Wissensinhalte relevant sind [114], was den beschriebenen Effekt erklären würde.

Ein weiterer zu berücksichtigender Faktor liegt in der optionalen und sequenzierbaren Gestaltung der Nebenaufgabe. Sie kann vom Fahrer abgelehnt und während der Bearbeitung unterbrochen werden, wozu die VPn in den Instruktionen auch explizit aufgefordert wurden. Ein Vergleich der Nebenaufgaben miteinander zeigt, dass in den kritischen Szenarien deutlich weniger Nebenaufgaben angenommen wurden als in der übrigen Zeit. Auch die Bearbeitungsdauer war in diesen Situationen signifikant länger. Diese Befunde deuten auf einen situationsangemessenen Umgang in der Bedienung der Nebenaufgabe hin. Wenn viele VPn in den kritischen Szenarien die Nebenaufgabe ablehnen oder diese unterbrechen, sind in Folge keine oder nur geringe negativen Effekte der Nebenaufgabe auf die Fahrsicherheit zu erwarten.

Den negativen Effekt der Nebenaufgabe auf die Fahrsicherheit bestätigt ein Vergleich der Reaktionszeiten der VPn aus Bedingung *VOLL*, die die letzte Nebenaufgabe vor den kritischen Szenarien angenommen haben, mit denen, die diese nicht angenommen haben. Die Annahme der Nebenaufgabe führt zu tlw. signifikant höheren Reaktionszeiten (Szenario 2: $p = 0,002$, Szenario 4: $p = 0,079$).

6.5.3 Zwischenfazit zur eingesetzten Nebenaufgabe

Ausgehend von den in Kapitel 6.5.1 und 6.5.2 dargestellten Ergebnissen lässt sich zusammenfassen, dass die Ausführung der Nebenaufgabe einen negativen Einfluss auf das explizite Situationsbewusstsein hat. Dies zeigt sich einerseits im resultierenden Blickverhalten und andererseits in den Ergebnissen der SAGAT Fragebögen. Die Auswirkungen der Nebentätigkeit auf die Fahrsicherheit fallen jedoch nur gering aus. Der Grund liegt im

Tabelle 6.6: Übersicht über alle für die Nebenaufgabe getroffenen Hypothesen (= Hyp.).

	Hypothese	Resultat
Situationsbewusstsein	Hyp. 17	↓ angenommen
Fahrsicherheit	Hyp. 18	↓ keine klare Aussage möglich

situationsangemessenen Benutzungsverhalten der Nebenaufgabe. In besonderen Fahrsituationen werden die Nebenaufgaben verstärkt abgelehnt oder während der Bearbeitung unterbrochen. Wird eine Nebenaufgabe jedoch irrtümlicherweise in einer kritischen Fahrsituation ausgeführt, sind negative Effekte auf die Fahrsicherheit zu erwarten. Tabelle 6.6 fasst die zur Nebenaufgabe getroffenen Hypothesen zusammen.

6.6 Die Interaktionsmechanismen

Nachdem Kapitel 6.5 die Einflüsse der Nebenaufgabe intensiv analysiert hat, werden in diesem Kapitel die Einflüsse der in Kapitel 5.5 genannten Interaktionsmechanismen untersucht. Dazu steht - wie schon bei der Nebenaufgabe - zunächst das Situationsbewusstsein im Mittelpunkt. Erst danach wird die resultierende Fahrsicherheit als Ergebnis der Fahrerreaktionen in den kritischen Szenarien bewertet.

6.6.1 Situationsbewusstsein

Das folgende Kapitel analysiert die Einflüsse der vier Interaktionsmechanismen auf das resultierende Situationsbewusstsein der Fahrer. Dazu werden zunächst die Blickdaten betrachtet. Wie in Kapitel 6.3.4 beschrieben, werden weiterhin die SAGAT-scores - die Summe aller korrekt beantworteten Fra-

gen in den SAGAT Fragebögen - als Kriterium zur Messung des Situationsbewusstseins herangezogen. Anschließend erfolgt eine Analyse des Benutzungsverhaltens der Nebenaufgabe. Dabei werden vor allem die Parameter „Annahme der Aufgabe“ und „Bearbeitungsdauer“ berücksichtigt. Die folgenden Abschnitte vergleichen diese abhängigen Variablen in den Bedingungen *ACC*, *SLOW*, *SIFA* und *VIDEO* jeweils mit der Bedingung *VOLL*.

Blickerfassung

Bild 6.12 stellt die zeitlichen Blickanteile der Versuchsperson (VPn) in die vier definierten AOIs als Boxplot dar. Zusätzlich sind signifikante Unterschiede mit einem roten Balken markiert. Die detaillierten Statistiken der Blickerfassungsmessung sind in Anhang C.1 zu finden.

Die Bedingungen *ACC* und *SLOW* zeigen keine signifikanten Unterschiede im Blickverhalten verglichen mit der Bedingung *VOLL*. Offensichtlich kann weder das Weglassen der Querführung (*ACC*), noch eine künstliche Reduktion der Qualität der Längsführung (*SLOW*) eine Erhöhung der Blickanteile in die Fahrscene bewirken.

Das Einführen einer Sicherheitsfahrerschaltung mit Anzeige im Head-Up Display (HUD) in der Gruppe *SIFA* bewirkt eine hypothesenkonforme Erhöhung der Blickanteile in das HUD um ca. 7% ($p < 0,001$). Gleichzeitig reduziert sich der Anteil der Blicke in die Fahrscene (FSZ) durch die Sicherheitsfahrerschaltung (SiFa) um ca. 7% ($p = 0,026$). In den anderen Areas of Interest (AOIs) sind keine Unterschiede erkennbar. Es ergibt sich daher nicht, wie in Kapitel 5.5.3 erwartet, eine Verschiebung der Blicke von der Nebenaufgabe (NA) in das HUD, sondern von der Fahrscene (FSZ) in das HUD.

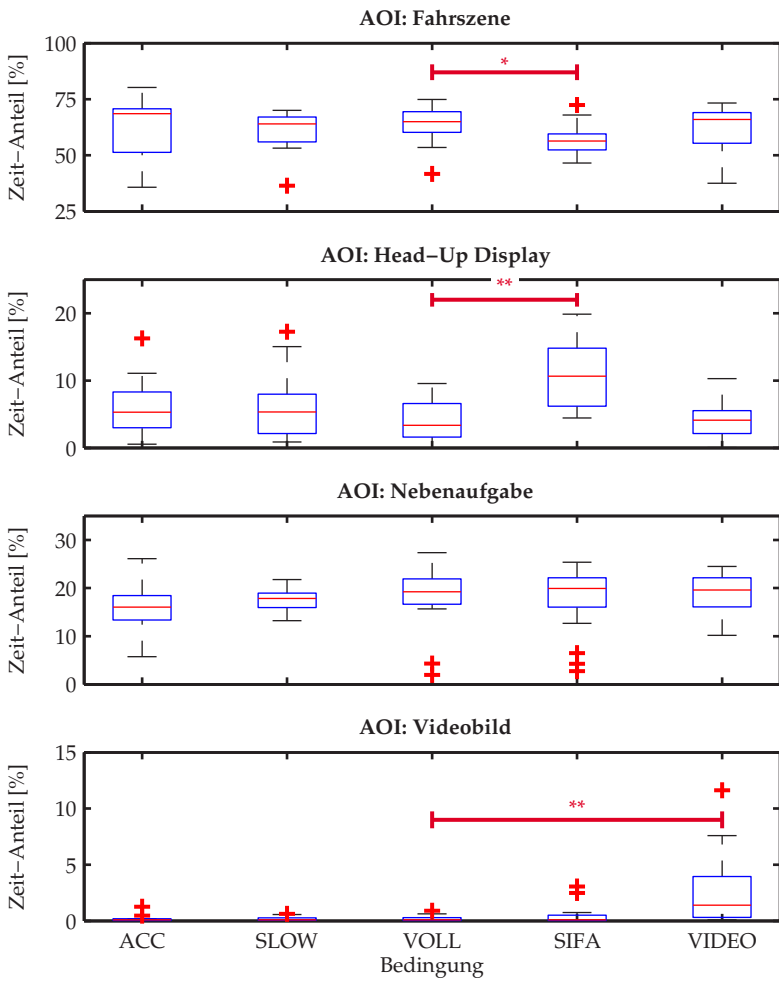


Bild 6.12: Blickanteile in die vier AOIs als Boxplot.

Ausreisser: +, signifikante Unterschiede:

m.s. $p \leq 0,1$ - * $p \leq 0,05$ - ** $p \leq 0,01$.

Durch das implementierte Videobild in der Bedingung *VIDEO* erhöht sich der zeitliche Anteil aller Blicke in die AOI Videobild (VB) um ca. 2,5% ($p = 0,006$). Hier ist jedoch anzumerken, dass mit dem verwendeten Messverfahren lediglich die *fokale* Blickzuwendung messbar ist. Für die Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins ist jedoch auch *periphere* Wahrnehmung relevant. Entsprechend der Herleitungen in Kapitel 5.5.4 reichen aufgrund der niedrigen Exzentrizität fokale Blicke auf die NA aus, um das VB im peripheren Blick zu haben.

In den drei anderen AOIs sind keine signifikanten Effekte des Videobilds erkennbar. Die Erhöhung der Blickanteile in die AOI VB ist hypothesenkonform, allerdings ist der Betrag der Erhöhung ca. um den Faktor 7,5 kleiner als die durch die Nebenaufgabe hervorgerufene Reduktion der Blickanteile in die FSZ. Es ist dabei zusätzlich zu beachten, dass Blicke, die in das VB fallen, nicht 1:1 mit Blicken, die in die FSZ fallen, vergleichbar sind. Sichtbare Elemente im VB müssen zunächst mental verarbeitet und auf die Fahrumgebung projiziert werden. Das verursacht eine zusätzliche mentale Belastung des Fahrers. Ausgehend von den Blickdaten scheint das Videobild eine positive Auswirkung auf das Situationsbewusstsein hervorzurufen, es ist jedoch unklar, ob der durch die Nebenaufgabe hervorgerufene negative Effekt durch das Videobild vollständig ausgeglichen werden kann.

Explizites Maß: SAGAT Fragebögen

Zur expliziten Erhebung des Situationsbewusstseins wurde in dieser Studie die Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT)-Methodik angewendet. Dabei gilt die Summe aller korrekt beantworteten relevanten Items als zentrale Messgröße zur Erhebung des Situationsbewusstseins in den jeweiligen kritischen Szenarien.

Bild 6.13 zeigt die resultierenden SAGAT-scores in den vier kritischen Freezings K1 bis K4 der VPn-Gruppen als Boxplot. Die detaillierten Statis-

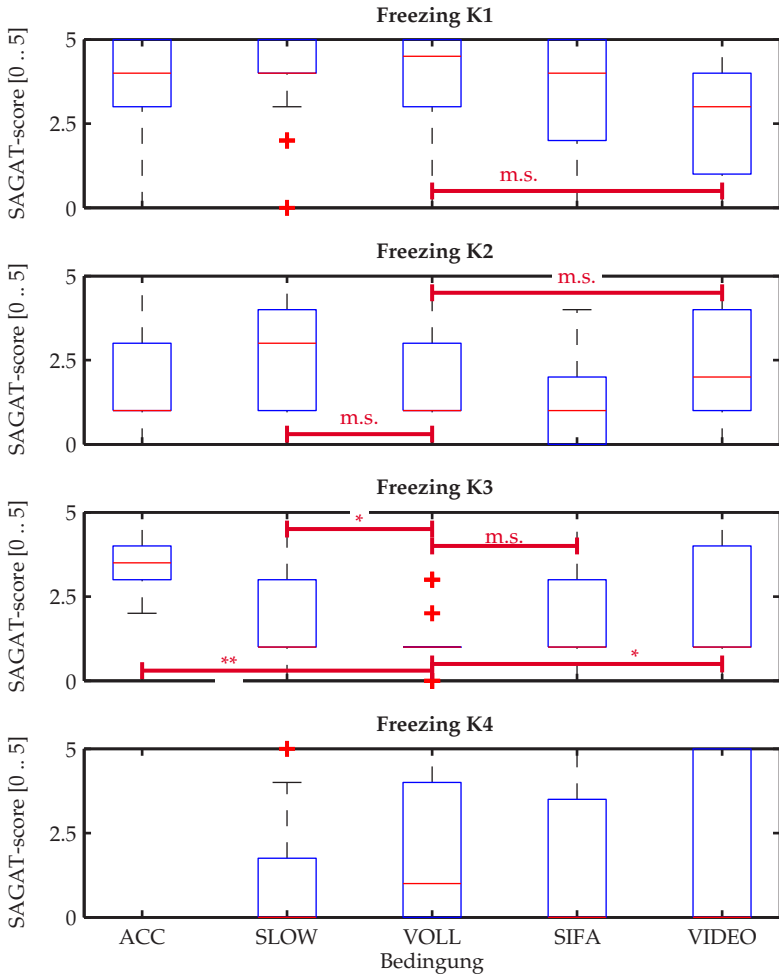


Bild 6.13: Boxplot der resultierenden SAGAT-scores in den kritischen Freezings K1 bis K4.

Ausreisser: +, signifikante Unterschiede:

m.s. $p \leq 0,1$ - * $p \leq 0,05$ - ** $p \leq 0,01$.

Tabelle 6.7: Mittelwerte der SAGAT-scores in den vier Freezings über alle Bedingungen ausser *W/O NA* (Standardabweichung in Klammern).

K1	K2	K3	K4
3,48 (1,69)	1,99 (1,60)	2,06 (1,47)	1,58 (2,08)

tiken der SAGAT-scores sind in Anhang C.2 zu finden. Eine Auswertung der vier Freezings zeigt, dass die Erkennungsleistung der verschiedenen Szenarien deutlich unterschiedlich ausgeprägt ist. Eine Betrachtung der mittleren SAGAT-scores über alle Bedingungen, die eine Nebenaufgabe implementiert hatten, verdeutlicht diesen Effekt (vgl. Tabelle 6.7). Während bei der Bremsung des Zielobjekts (Freezing K1) besonders viele Items korrekt beantwortet wurden, liegen die anderen drei Freezings auf einem deutlich niedrigeren Leistungsniveau. Bereits bei der Analyse des Einflusses der Nebenaufgabe (vgl. Kapitel 6.5.1) wurden mögliche Gründe für fehlende negative Effekte der Nebenaufgabe in Freezing 1 genannt: durch die methodisch notwendige Reduktion der Zeitlücke τ zum Zielobjekt wird die Aufmerksamkeit der Fahrer bereits vor Beginn der Bremsung auf das Zielobjekt gelenkt. Infolgedessen sind die in Freezing K1 gefundenen Unterschiede zwischen den Bedingungen durch methodische Ursachen verzerrt und bei der Bewertung von Situationsbewusstsein eher in den Hintergrund zu stellen.

In Bedingung *ACC* wurde die Querführung des Systems weggelassen. Im Vergleich mit der Gruppe *VOLL* zeigt sich, dass die Übernahme der Querführung durch den Fahrer sein Situationsbewusstsein positiv beeinflusst. In Freezing 3 (Hindernis auf rechter Fahrspur) konnten hochsignifikant mehr VPn in der Gruppe ohne Querführung das Hindernis erkennen und seine Bedeutung antizipieren ($p < 0,001$). Bei Betrachtung der Boxplots für Free-

Tabelle 6.8: Detailvergleich der Bedingungen *ACC* und *W/O NA* in Freezing K3. Für jede Ebene ist der Mittelwert der korrekt beantworteten Items in [%] angegeben.

Ebene der Informationsverarbeitung	<i>ACC</i>	<i>VOLL</i>	<i>p</i>-Wert
Reiz erkannt	57 %	11 %	< 0,001**
Gefahr erkannt	82 %	17 %	< 0,001**
Systemgrenze erkannt	59 %	13 %	0,001**

zing K3 (vgl. Bild 6.13) fällt zudem auf, dass alle anderen Gruppen deutlich weniger Items korrekt beantworten konnten.

Eine Detailanalyse der einzelnen Items in Freezing K3 (vgl. Tabelle 6.8) ergibt, dass sich durch das Weglassen der automatischen Querführung auf allen Ebenen Verbesserungen ergeben. Obwohl die VPn in der Gruppe *ACC* nicht öfter nach draußen schauen, ist sowohl die Erkennungsleistung für die kritischen Hinweisreize als auch die Erkennungsleistung für das Vorliegen einer Gefahr hochsignifikant besser. In diesem Szenario (Hindernis rechts) müssen die Fahrer *lenkend* in das System eingreifen. In der Gruppe *ACC* wird daher eine andere funktionale Systemgrenze überschritten als in den anderen Bedingungen, in denen die Querführung vom System übernommen wird. Die Ebene „Erkennen der Systemgrenze“ ist daher in den beiden betrachteten Bedingungen nicht vergleichbar.

Die Reduktion der Qualität der Längsführung in Bedingung *SLOW* resultiert in einer signifikanten Erhöhung des SAGAT-scores in Freezing K3 ($p = 0,043$) sowie einer marginal signifikanten Erhöhung des SAGAT-scores in Freezing K2 ($p = 0,072$).

Durch die in der Gruppe *SIFA* eingefügte Sicherheitsfahrerschaltung kann der SAGAT-score nur in Freezing K3 marginal signifikant erhöht werden ($p = 0,071$). In den anderen Freezings ergibt sich tendenziell eine Ver-

schlechterung, diese wird allerdings nicht signifikant. Der Einfluss einer Sicherheitsfahrerschaltung mit Anzeige im HUD auf das explizite Situationsbewusstsein kann daher nicht eindeutig festgestellt werden.

Eine Betrachtung der durch das Videobild in Gruppe *VIDEO* verursachten Einflüsse auf das Situationsbewusstsein liefert ein klareres Bild. In den Freezings K3 und K2 kann das explizite Situationsbewusstsein, gemessen durch den SAGAT-score, ggü der Bedingung *VOLL* jeweils signifikant und marginal signifikant erhöht werden (K3: $p = 0,035$, K2: $p = 0,055$). In Freezing K1 ist eine marginal signifikante Reduktion des Situationsbewusstseins feststellbar ($p = 0,054$). Es stellt sich also die Frage, warum sich gerade in diesem Freezing ein negativer Einfluss des Videobilds ergibt.

In Freezing K1 gilt die bereits erwähnte methodische Verzerrung der Ergebnisse durch die künstlich verringerte Zeitlücke τ , die sich in geringeren gefahrenen Abständen zum vorausfahrenden Fahrzeug widerspiegelt. Diese geringeren Abstände sind im Videobild aufgrund der fehlenden Darstellung der Motorhaube als Bezugsobjekt nur sehr schwer erkennbar. Zudem ist das Bild klein und die Perspektive ungewohnt. RIEDEL stellte in seinen Untersuchungen fest, dass die subjektiv empfundenen longitudinalen Abstände der Fahrzeugfront zu anderen Objekten in der Fahrumgebung in dem verwendeten Fahrsimulator einer hohen interpersonellen Variabilität unterliegen [121]. Eine mögliche Ursache für das verhältnismäßig schlechte Abschneiden des Videobilds in Freezing K1 könnte daher darin begründet sein, dass die methodische Verzerrung durch niedrige Zeitlücken im Videobild einen geringeren Effekt hervorruft als in den anderen Bedingungen weil der geringe Abstand hier schwerer erkennbar ist.

Eine genauere Betrachtung der zu erkennenden kritischen Reize (vgl. Tabelle 6.9) lässt eine weitere mögliche Ursache erkennen. Das Szenario 1 ist das einzige Szenario, in dem der Hinweisreiz einerseits nicht aus einer lateralen Bewegung anderer Objekte (Fahrzeuge oder Spurmarkierungen) besteht und der Hinweisreiz erst kurz vor dem Freezing auftaucht. Möglicherweise sind

Tabelle 6.9: Auflistung der zu erkennenden Hinweisreize in den vier Freezings K1 bis K4 und mittlere Dauer ihrer Sichtbarkeit zum Zeitpunkt der Freezings.

Freezing	Hinweisreiz	Dauer der Sichtbarkeit
K1	Bremslichter & Verzögerung des ZO	ca. 1,4 s
K2	Blinken des Fahrzeugs auf linker Fahrspur	ca. 3,5 s
K3	Hindernis rechts & laterale Bewegung voraus-fahrender Fahrzeuge	ca. 7,6 s
K4	Lateraler Versatz des eigenen Fahrzeugs	ca. 9,0 s

besonders laterale Bewegungen anderer Objekte gut im Videobild erkennbar. Das Aufleuchten von Signaleinrichtungen (Bremsleuchten, Blinker) ist in dem in dieser Untersuchung verwendeten Fahrsimulator verglichen mit einer realen Umgebung schwer erkennbar. Im Videobild potenziert sich diese Erschwernis durch die kleine Darstellung und die ungewohnte Perspektive. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die Kritikalität von Szenario 1 im Videobild schwerer erkennbar ist als in der Fahrszene selbst und sich daher negative Effekte des Videobilds auf das resultierende Situationsbewusstsein in diesem Szenario ergeben.

Implizites Maß: Benutzung der Nebenaufgabe

Wie bereits in Kapitel 6.3.4 beschrieben, wird die Interaktion der Fahrer mit der eingesetzten Nebenaufgabe als implizites Maß zur Messung von Situationsbewusstsein verwendet. Dabei kommen die Variablen „Annahme der Nebenaufgabe“ sowie „Dauer der Bearbeitung“ zum Einsatz. Ausgehend von RAUCHS Ergebnissen [114] und ZEEBS Voruntersuchungen [170] wird davon ausgegangen, dass sich ein hohes Situationsbewusstsein in den kritischen Szenarien in einer höheren Anzahl abgelehnter Nebenaufgaben sowie

einer längeren Bearbeitungsdauer niederschlägt. Aufgrund des höheren Situationsbewusstseins priorisieren die Fahrer die Fahraufgabe und nehmen die Nebenaufgabe entweder nicht an oder unterbrechen die Bearbeitung bis das kritische Szenario abgeschlossen ist. Da in Szenario 1 (Bremsung ZO) zum Zeitpunkt, an dem die letzte Nebenaufgabe angeboten wurde, der Hinweisreiz (Bremslichter / Verzögerung des ZO) noch nicht sichtbar war, wird in diesem Szenario lediglich die Bearbeitungsdauer zur impliziten Bewertung von Situationsbewusstsein herangezogen.

Anhang C.3 listet die kompletten Statistiken aller kritischen Nebenaufgaben auf. In den durchgeführten χ^2 -Tests sind lediglich für die Bedingung *VIDEO* marginal signifikante Unterschiede zur Referenzgruppe *VOLL* feststellbar. VPn mit Videobild haben die kritische Nebenaufgabe in Szenario 4 häufiger abgelehnt, als VPn, denen kein Videobild zur Verfügung stand ($p = 0,098$). Dies ist ein weiterer Hinweis für gestiegenes Situationsbewusstsein durch das Videobild. Die anderen Interaktionsmechanismen und Szenarien bewirken keine signifikanten Unterschiede zur Bedingung *VOLL*.

Bei Betrachtung der Bearbeitungsdauer der Nebenaufgaben, die kurz vor den kritischen Szenarien angeboten wurden, ergeben sich ebenfalls nur wenige signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Bedingungen. Anstiege der Bearbeitungsdauer durch Einführung eines der Interaktionsmechanismen sind nur in Szenario 2 (Einscherer) feststellbar. Durch die Reduktion der Qualität der Längsführung in Bedingung *SLOW* ($p = 0,065$) sowie durch Einführung des Videobildes in Bedingung *VIDEO* ($p = 0,038$) konnte die Bearbeitungsdauer gesteigert werden. Dieser Effekt lässt sich darauf zurückführen, dass die Nebenaufgabe in diesem Szenario häufiger unterbrochen wurde.

Mit Hilfe des Interaktionsverhaltens mit der Nebenaufgabe konnten - verglichen mit den anderen Operationalisierungen - nur wenige Einflüsse der Interaktionsmechanismen auf das Situationsbewusstsein identifiziert werden. Das ist allerdings kein Grund, das Maß an sich in Frage zu stellen. Der Einfluss

der kritischen Szenarien auf das Interaktionsverhalten mit der Nebenaufgabe zeigt sich in einem Vergleich der in kritischen Szenarien angebotenen Nebenaufgaben mit den in normalen Situationen angebotenen: In den kritischen Szenarien werden signifikant weniger Nebenaufgaben angenommen³ und auch die Bearbeitungsdauer steigt signifikant⁴ [170]. Die eingesetzten Interaktionsmechanismen scheinen nur wenige Einflüsse auf das gemessene implizite Situationsbewusstsein zu haben. Die gefundenen Einflüsse in den Bedingungen *SLOW* und *VIDEO* waren allerdings wie zuvor prognostiziert positiv.

6.6.2 Fahrsicherheit

Im Folgenden wird der Einfluss der einzelnen Interaktionsmechanismen auf die resultierende Fahrsicherheit beim teilautomatisierten Fahren analysiert. Dazu stehen zunächst die Reaktionszeiten in den vier kritischen Szenarien im Fokus. Anschließend wird auf die weiteren Variablen wie Kollisionen, TTC_{min} & TLC_{min} (vgl. Kapitel 6.3.5) eingegangen.

Reaktionszeiten

Bild 6.14 stellt die Reaktionszeiten für die einzelnen Gruppen als Boxplot dar. Rote Balken markieren signifikante Unterschiede der Gruppen jeweils zur Referenzgruppe *VOLL*. Die detaillierten Statistiken sind in Anhang C.4 zu finden. Diese Untersuchung gibt Unterschiede zwischen den einzelnen Mechanismen nicht an, da zunächst nur der Einfluss der jeweiligen Interaktionsmechanismen im Vergleich mit der Bedingung *VOLL* untersucht werden soll.

³ Alle Bedingungen: in kritischen Szenarien $M = 67\%$, sonst $M = 95\%$ ($p < 0,001$)

⁴ Alle Bedingungen: in kritischen Szenarien $M = 9,54\text{s}$, sonst $M = 8,00\text{s}$ ($p < 0,001$)

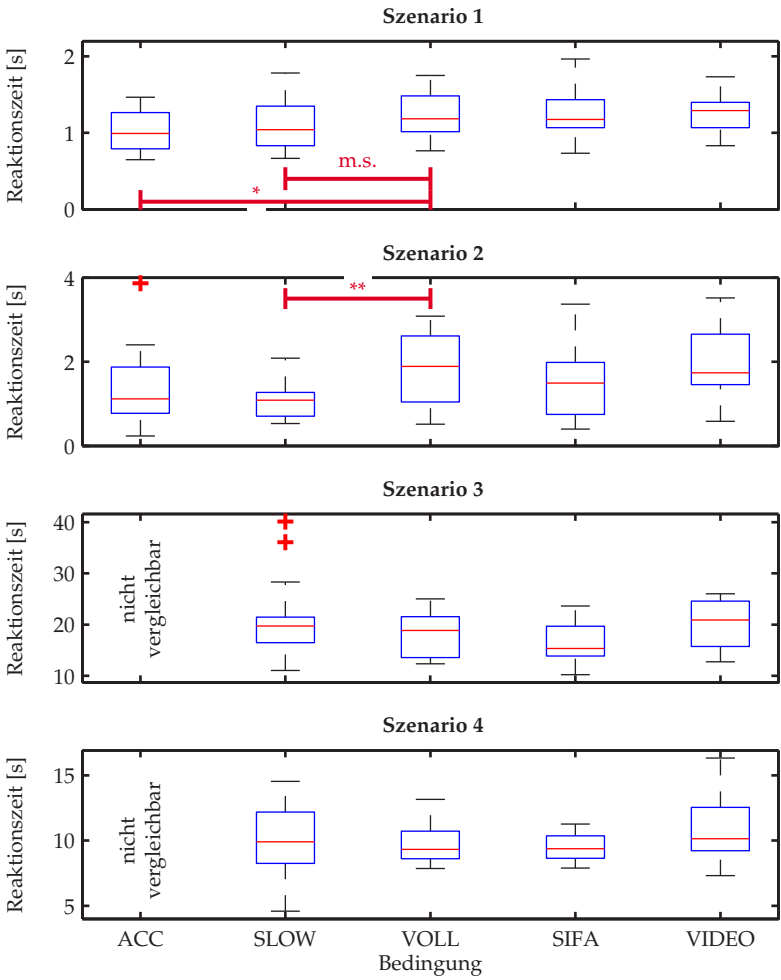


Bild 6.14: Boxplots der Reaktionszeiten in allen vier Szenarien.

Ausreisser: +, signifikante Unterschiede:

m.s. $p \leq 0,1$ - * $p \leq 0,05$ - ** $p \leq 0,01$.

Durch Weglassen der automatisierten Querführung in der Bedingung *ACC* kann die mittlere Reaktionszeit sowohl in Szenario 1 als auch in Szenario 2 verringert werden. Jedoch wird diese Reduktion nur bei der Bremsung des vorausfahrenden Fahrzeugs signifikant ($p = 0,019$).

Auch die Reduktion der Qualität der Längsführung (Bedingung *SLOW*) führt zu signifikanten Effekten auf die Reaktionszeit der Fahrer. Diese sind vor allem in den Szenarien, die einen Bremseneingriff erfordern, erkennbar. So wird die Reaktionszeit in Szenario 1 marginal signifikant ($p = 0,098$) und in Szenario 2 hochsignifikant ($p = 0,004$) reduziert.

Die Sicherheitsfahrerschaltung (Bedingung *SIFA*) bewirkt eine kürzere Reaktionszeit in den Szenarien 2 bis 4. Obwohl dieser Trend in keinem Szenario signifikant wird, ist die Häufigkeit der Reaktionszeitverkürzungen nicht zu vernachlässigen.

Das Videobild (Bedingung *VIDEO*) hat ebenfalls keine signifikanten Effekte auf die resultierenden Reaktionszeiten der VPn. Auch hier ist - im Vergleich mit der Gruppe *VOLL*- ein nicht signifikanter Trend erkennbar. Die mittlere Reaktionszeit wird durch das Videobild in jedem Szenario verlängert.

Kollisionen

Alle aufgetretenen Kollisionen wurden in χ^2 -Tests analysiert. Die vollständigen Statistiken sind in Anhang C.5 aufgelistet. In Szenario 1 erhöht der Einsatz des Videobildes die Anzahl der Kollisionen signifikant ($p = 0,036$). Durch die SiFa kann die Anzahl der Kollisionen in Szenario 3 dagegen marginal signifikant reduziert werden ($p = 0,090$). Alle anderen Bedingungen zeigen keine signifikanten Unterschiede zur Bedingung *VOLL*. Es bleibt daher ein positiver Effekt der Sicherheitsfahrerschaltung und ein negativer Effekt des Videobildes festzuhalten.

Time-to-Collision

Die TTC_{min} wird in Szenario 1 erhoben. Zur Vermeidung von Deckeneffekten müssen dabei diejenigen VPn, die Kollisionen verursacht haben, als fehlende Werte betrachtet werden. Alle gültigen Ergebnisse sind zusammen mit den Werten für die TLC_{min} aus Szenario 4 in Bild 6.15 abgebildet. Bei Betrachtung des Bildes fällt eine signifikante Reduktion der verbleibenden TTC_{min} in Bedingung *SIFA* im Vergleich zur Gruppe *VOLL* auf. Eine kleinere TTC_{min} bedeutet, dass die drohende Kollision immer knapper verhindert werden konnte. In den anderen Bedingungen ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zur Gruppe *VOLL*.

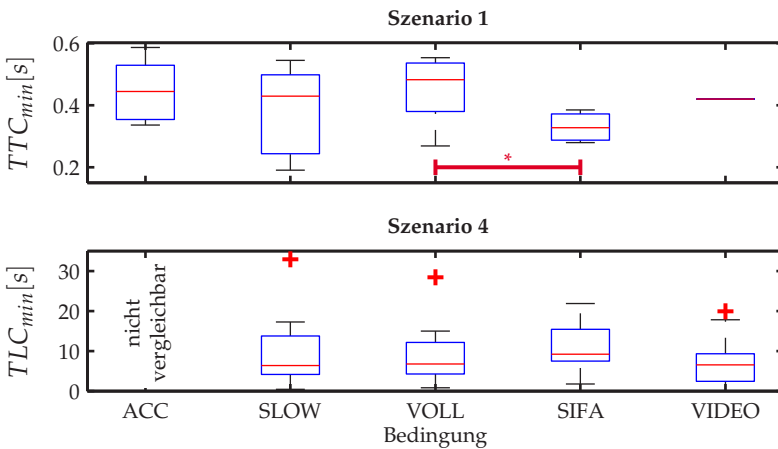


Bild 6.15: Boxplots der Variablen „Time to Collision“ und „Time to Linecrossing“.

Ausreisser: +, signifikante Unterschiede:

m.s. $p \leq 0,1$ - * $p \leq 0,05$ - ** $p \leq 0,01$.

Time-to-Linecrossing

Bei Betrachtung der Daten zur TLC_{min} fällt eine Tendenz zur Erhöhung in der Gruppe *SIFA* im Vergleich mit Bedingung *VOLL* auf (vgl. Bild 6.15). Der beschriebene Effekt wird allerdings nicht signifikant. Eine höhere TLC_{min} bedeutet, dass die Kritikalität für das Verlassen der eigenen Fahrspur geringer ausgeprägt ist. Hier zeichnet sich also ein (nicht signifikanter) positiver Effekt der Sicherheitsfahrerschaltung ab. In den anderen Gruppen ergeben sich ebenfalls keine signifikanten Effekte.

6.6.3 Zwischenfazit zu den eingesetzten Interaktionsmechanismen

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Einflüsse der vier eingesetzten Interaktionsmechanismen auf das resultierende Situationsbewusstsein und die Fahrsicherheit analysiert. Tabelle 6.10 auf Seite 140 listet eine qualitative Übersicht über alle vorliegenden Effekte der Interaktionsmechanismen auf das Situationsbewusstsein und die Fahrsicherheit auf. Diese werden in den folgenden Unterkapiteln für die jeweilige Bedingung zusammengefasst, interpretiert und auf die aufgestellten Hypothesen bezogen.

Bedingung *ACC*

Gegenüber der Referenz in Bedingung *VOLL* muss in der Bedingung *ACC* die Querführung des Fahrzeugs vom Fahrer selbst durchgeführt werden. Kapitel 5.5.1 postuliert positive Effekte auf das Situationsbewusstsein (Hypothese 2) und die Fahrsicherheit (Hypothese 3). Diese sollen im Folgenden anhand der Messergebnisse diskutiert werden.

Wie die Messung mittels der SAGAT Fragebögen zeigt, beeinflusst der Wegfall der automatisierten Querführung das explizite Situationsbewusstsein

Tabelle 6.10: Qualitative Übersicht der durch die einzelnen Mechanismen hervorgerufenen Effekte im Vergleich mit Bedingung *VOLL*. Senkrechte Pfeile zeigen signifikante Effekte an; diagonale Pfeile zeigen nicht signifikante Trends an. Positive Effekte sind grün markiert, negative rot.

Variable	<i>ACC</i>	<i>SLOW</i>	<i>SIFA</i>	<i>VIDEO</i>
Situationsbewusstsein				
Blickerfassung	→	→	↓	↑
SAGAT-score				
Szenario 1	→	→	↘	↓
Szenario 2	→	↑	↘	↑
Szenario 3	↑	↑	↑	↑
Szenario 4	→	→	↘	→
Interaktion mit NA				
Szenario 1	→	→	→	→
Szenario 2	→	↑	→	↑
Szenario 3	→	→	→	→
Szenario 4	→	→	→	↑
Fahrsicherheit				
Reaktionszeit				
Szenario 1	↓	↓	→	↗
Szenario 2	↘	↓	↘	↗
Szenario 3	n.v.	→	↘	↗
Szenario 4	n.v.	→	↘	↗
Kollisionen				
Szenario 1	→	→	→	↑
Szenario 2	→	→	→	→
Szenario 3	→	→	↓	→
Szenario 4	→	→	→	→
<i>TTC_{min}</i> (Szenario 1)	→	→	↓	→
<i>TLC_{min}</i> (Szenario 4)	n.v.	→	↗	→

positiv. Obwohl die Messungen der Blickdaten keine signifikanten Effekte zeigen, wird das Hindernis in Szenario 3 signifikant häufiger von den VPn in der Gruppe *ACC* gesehen. Dies ist ein Hinweis für deutlich stärkere mentale Beschäftigung mit der Fahraufgabe in Gruppe *ACC*, bzw. für eine stärkere Ausprägung des Out-of-the-loop - Phänomens in Gruppe *VOLL*.

Analog zu den Ergebnissen für das Situationsbewusstsein kann die mittlere Reaktionszeit durch den Wegfall der automatisierten Querführung in beiden messbaren Szenarien reduziert werden. Der weiter oben beschriebene positive Einfluss auf den SAGAT-score in Szenario 3 deutet zwar darauf hin, dass die Fahrsicherheit insgesamt von der stärkeren mentalen Beschäftigung mit der Fahraufgabe profitiert. Dies ist jedoch in den Szenarien 3 und 4 aufgrund fehlender Vergleichbarkeit der Reaktionszeiten mit den anderen Gruppen (mit automatisierter Querführung) nicht nachweisbar. In diesen Szenarien müssen die Fahrer auf Objekte mit Bezug zur Querführung reagieren, während in den Szenarien 1 und 2 Objekte mit Bezug zur Längsführung im Fokus stehen. Es bleibt daher prinzipiell offen, ob sich die höhere Fahrsicherheit nur auf Objekte mit Bezug zur Längsregelung des Fahrzeugs ausstreckt, oder ob vielmehr die gesamte Überwachungsaufgabe von der stärkeren mentalen Beschäftigung mit der Fahraufgabe profitiert.

Sowohl das Situationsbewusstsein als auch die Fahrsicherheit konnten in Bedingung *ACC* erhöht werden. Beide entsprechenden Hypothesen (Hypothese 2 & 3, Seite 82) sind daher anzunehmen.

Bedingung *SLOW*

In der Bedingung *SLOW* wurde die Qualität der Längsführung reduziert. Der Stauassistent *Traffic Congestion Assistant (TCA)* fährt dabei stets etwas langsamer als das vorausfahrende Fahrzeug, so dass sich der gefahrene Abstand kontinuierlich erhöht. Der Fahrer muss den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug von Zeit zu Zeit durch einen kurzen Gasstoß wieder auf

das Normalniveau zurückführen. Die Motivation dazu ist in einem realen Stau durch drängelnde Fahrzeuge hinten und einscherende Fahrzeuge gegeben. In der vorliegenden Untersuchung war dies nicht möglich, so dass auf einen Ersatzmechanismus zurückgegriffen werden musste. Der Stauassistent deaktiviert sich selbständig bei Erreichen eines definierten Maximalabstandes. In Kapitel 5.5.2 wurde postuliert, dass sich der Fahrer in Folge stärker mit der Fahrumgebung beschäftigt und dadurch das Situationsbewusstsein (Hypothese 6) und die Fahrsicherheit (Hypothese 7) steigen.

Obwohl keine Effekte auf das resultierende Blickverhalten der VPn erkennbar sind, wird das explizite Situationsbewusstsein in den Szenarien 2 & 3 signifikant erhöht. Auch das implizite Situationsbewusstsein, gemessen durch das Interaktionsverhalten mit der Nebenaufgabe, kann in Bedingung *SLOW* erhöht werden. Offensichtlich besteht - wie auch in Bedingung *ACC* - eine stärkere mentale Beschäftigung mit der Fahraufgabe. Anders ist das höhere Situationsbewusstsein bei gleichem Blickverhalten nicht zu erklären. Da das Situationsbewusstsein in der Bedingung *SLOW* erhöht wird, ist Hypothese 6 (Seite 84) anzunehmen.

Die Ergebnisse für die resultierende Fahrsicherheit in der Bedingung *SLOW* sind ebenfalls in Tabelle 6.10 qualitativ aufgelistet. Die Reaktionszeit konnte durch die Qualitätsreduktion der Längsführung in den Szenarien 1 & 2 signifikant verringert werden. In den übrigen Variablen ergeben sich keine signifikanten Effekte. Es fällt auf, dass die Reaktionszeit vor allem in den Szenarien, in denen gebremst werden musste, reduziert werden konnte. Das spricht für eine stärkere mentale Beschäftigung der Fahrer mit Objekten, die für die Längsführung relevant sind. Dabei werden für die Querverführung relevante Merkmale nicht unbedingt schlechter wahrgenommen als in der Referenzgruppe *VOLL*, aber auch nicht besser.

Ausgehend von den dargestellten Ergebnissen ist Hypothese 7 (Seite 84) daher anzunehmen, die Fahrsicherheit wird in der Gruppe *SLOW* insgesamt

gesehen positiv beeinflusst. Der Effekt erstreckt sich allerdings nur auf Objekte mit Bezug zur Längsführung des Fahrzeugs.

Bedingung *SIFA*

In der Gruppe *SIFA* wurde zusätzlich zum Stauassistenten *TCA* eine Sicherheitsfahrerschaltung mit optischer Anzeige im HUD implementiert. Durch die damit verbundene stärkere Beschäftigung der Fahrer mit der Anzeige im HUD haben die Fahrer die Fahrumgebung stets im peripheren Blickfeld. Es wurde vermutet, dass sich dadurch sowohl das Situationsbewusstsein (Hypothese 10, Seite 87) als auch die Fahrsicherheit (Hypothese 11, Seite 87) positiv beeinflussen lassen.

Die Analyse der Blickerfassungsdaten zeigt, dass die Fahrer zwar häufiger ins HUD schauen, sich dafür aber nicht weniger mit der Nebenaufgabe befassen. Es erfolgt daher eine Verschiebung der Blicke von der Fahrszene in das HUD. Die Fahrszene wird dann anstatt fokal nur noch peripher wahrgenommen. Dementsprechend ergibt die Analyse der SAGAT Fragebögen nur in Szenario 3 einen positiven Effekt der Gruppe *SIFA* auf das explizite Situationsbewusstsein. In allen anderen Szenarien ist ein negativer Trend zu beobachten, der jedoch nicht signifikant wird. In der Interaktion mit der Nebenaufgabe sind keine Effekte auf das implizit gemessene Situationsbewusstsein zu erkennen. Der vermutete positive Effekt der Sicherheitsfahrerschaltung auf das Situationsbewusstsein ist nicht eingetreten. Hypothese 10 (Seite 87) ist daher abzulehnen.

Eine Analyse der Ergebnisse der Variablen für die Fahrsicherheit ergibt in der Gruppe *SIFA* einen Trend zur Reduktion der Reaktionszeiten in den Szenarien 2, 3 und 4. Zudem kann in Szenario 4 die TLC_{min} tendenziell erhöht werden, die Anzahl der Kollisionen kann in Szenario 3 marginal signifikant reduziert werden. Diesen positiven Effekten steht die signifikante Reduktion

der TTC_{min} in Szenario 1 als negativer Effekt der Sicherheitsfahrerschaltung auf die Fahrsicherheit gegenüber.

Auch wenn außer in der Variablen TTC_{min} keiner der genannten negativen Effekte signifikant wird, ist ihre Häufung doch markant. Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass die positiven Effekte vor allem in den Szenarien, in denen Lenkeingriffe notwendig waren, auftreten (3 & 4). Die negativen Effekte auf die Fahrsicherheit sind dabei auf Szenario 1 (Bremsung des ZO) bezogen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse für das Situationsbewusstsein ist eine mögliche Erklärung, dass die Sicherheitsfahrerschaltung die Fahrer nicht durch eine Erhöhung des Situationsbewusstsein, sondern eher auf operativer Ebene unterstützt. Der im Rahmen der SiFa zu betätigende Knopf war an der linken Seite des Lenkrads befestigt. Die VPn hatten ihre linke Hand daher in dieser Gruppe tendenziell eher am Lenkrad als andere Gruppen. Demzufolge sinkt die Lenkreaktionszeit nicht durch eine frühere Entscheidung der Fahrer zu einem Eingriff, sondern einfach dadurch, dass die linke Hand bereits am Lenkrad ist und somit Lenkeinschläge früher sichtbar werden. Ausgehend von den Ergebnissen wird die Fahrsicherheit durch die implementierte Sicherheitsfahrerschaltung tendenziell erhöht. Hypothese 11 (Seite 87) wird daher angenommen.

Bedingung VIDEO

In der Gruppe *VIDEO* wurde ein Videobild der Fahrumgebung neben der Nebenaufgabe im Zentralsdisplay eingeblendet. Dieses Videobild ist so parametrisiert, als käme es von einer Fahrerassistenz - Kamera in der Nähe des Innenrückspiegels. Entsprechend der getroffenen Annahmen ist es für die VPn aufgrund des niedrigen Exzentrizitätswinkels zwischen Nebenaufgabe und Videobild sowie der nicht mehr notwendigen Akkomodation des Auges auf das Videobild einfacher, die Fahrumgebung hier zu überwachen. Dementsprechend wird angenommen, dass auch durch das Videobild das

Situationsbewusstsein (Hypothese 14, Seite 89) sowie die Fahrsicherheit (Hypothese 15, Seite 89) positiv beeinflusst wird.

Tabelle 6.10 auf Seite 140 gibt einen qualitativen Überblick über die resultierenden Versuchsergebnisse in der Gruppe *VIDEO*. In allen Variablen mit Bezug zum Situationsbewusstsein (Blickdaten, explizite & implizite Messung) kann ein positiver Einfluss des Videobilds nachgewiesen werden. Der SAGAT Fragebogen in Szenario 1 bildet hier die einzige Ausnahme. Als möglicher Grund für den negativen Einfluss des Videobilds auf das explizite Situationsbewusstsein in Szenario 1 wird in Kapitel 6.6.1 das Aushebeln einer methodischen Verzerrung genannt. Der in diesem Szenario reduzierte Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ist im Videobild aufgrund der fehlenden Darstellung der Motorhaube als Bezugsobjekt schwerer zu erkennen. Infolgedessen wird die Gefahr eines Auffahrunfalls in dieser Gruppe weniger gut wahrgenommen.

Bei einer globalen Betrachtung aller Variablen mit Bezug zum Situationsbewusstsein wird der positive Effekt des Videobilds deutlich. Hypothese 14 (Seite 89) wird daher angenommen.

Tabelle 6.10 (Seite 140) listet zusätzlich die Ergebnisse der Reaktionszeiten und Kollisionen zur Bewertung der resultierenden Fahrsicherheit auf. Für die Gruppe *VIDEO* ergibt sich trotz fehlender signifikanter Ergebnisse ein eindeutiger Trend: Die Reaktionszeit wird durch das Videobild in allen Szenarien erhöht. Zudem wird die Anzahl der Kollisionen in Szenario 1 signifikant erhöht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Fahrsicherheit durch das Videobild verschlechtert. Hypothese 15 (Seite 89) ist daher abzulehnen. Es bleibt jedoch die Frage, warum sich die Fahrsicherheit durch das Videobild verschlechtert, während das Situationsbewusstsein positiv beeinflusst wird.

Dafür gibt es mehrere mögliche Gründe: Zum einen könnte der kritische Reiz in Szenario 1 im Videobild schlecht erkennbar sein, wie bereits in

Kapitel 6.6.1 dargestellt. Dies wäre allerdings keine Erklärung für die hohen Reaktionszeiten in den anderen Szenarien.

Eine weitere mögliche Ursache liegt in einer Verstärkung des Complacency - Effekts durch das Videobild (vgl. Kapitel 2.3). Ein übermäßiges Vertrauen in die Automation und daraus resultierende Vernachlässigung der Überwachungsaufgabe werden im Allgemeinen als „Complacency“ bezeichnet [107]. In diesem Fall verlassen sich die Fahrer zu sehr auf das Videobild und verlagern dadurch einen zu großen Teil ihrer Aufmerksamkeit auf andere Bereiche. Dieser Erklärung steht der positive Effekt auf das Situationsbewusstsein gegenüber. Möglicherweise ist hier zudem zwischen Wissen über das *Vorhandensein* einer Situation und dem Wissen über ihre *Kritikalität* zu unterscheiden. Die VPn haben die jeweiligen Szenarien zwar gesehen, ihre Kritikalität aber verglichen mit den anderen Bedingungen geringer eingeschätzt.

Eine letzte mögliche Erklärung für das schlechte Abschneiden der Gruppe *VIDEO* in der Kategorie „Fahrsicherheit“ könnte darin begründet sein, dass das Videobild in kritischen Situationen auch ablenkend wirkt. Im Videobild gesehene Reize werden zunächst in der Fahrszene verifiziert, erst dann entscheiden sich die Fahrer zu einer Reaktion. Infolgedessen verlängern sich die Reaktionszeiten.

Überblick über angenommene und verworfene Hypothesen

In diesem Kapitel soll abschließend ein Überblick über die angenommenen und abgelehnten Hypothesen gegeben werden. Tabelle 6.11 enthält eine Auflistung.

Es wird ersichtlich, dass vor allem die beiden Funktionalitätsvarianten *ACC* und *SLOW* positive Werte erzielen. Sie können sowohl das Situationsbewusstsein als auch die Fahrsicherheit steigern. Bei den Interaktionsvarianten

Tabelle 6.11: Übersicht über alle für die Interaktionsmechanismen getroffenen Hypothesen (= Hyp.) bezüglich des Situationsbewusstseins und der Fahrsicherheit.

Bedingung	Situationsbewusstsein			Fahrsicherheit		
	Hyp.	↑		Hyp.	↑	
<i>ACC</i>	Hyp. 2	↑	angenommen	Hyp. 3	↑	angenommen
<i>SLOW</i>	Hyp. 6	↑	angenommen	Hyp. 7	↑	angenommen
<i>SIFA</i>	Hyp. 10	↑	abgelehnt	Hyp. 11	↑	angenommen
<i>VIDEO</i>	Hyp. 14	↑	angenommen	Hyp. 15	↑	abgelehnt

SIFA und *VIDEO* wird jeweils eine Hypothese zum Situationsbewusstsein und zur Fahrsicherheit abgelehnt.

6.7 Subjektive Bewertung der Gesamtsysteme

Nachdem in den vorherigen Kapiteln die objektiven Messgrößen zu Bewertung von Situationsbewusstsein und Fahrsicherheit analysiert wurde, geht dieses Kapitel auf die subjektive Bewertung der Stauassistenten durch die VPn ein. Dabei steht zunächst der resultierende Workload der Fahrer im Mittelpunkt. Anschließend wird die Nutzer - Bewertung der Systeme im Rahmen der Akzeptanz - Fragebögen betrachtet.

6.7.1 Workload

In diesem Kapitel wird die Beanspruchung der Fahrer während der Fahrt mit dem Stauassistenten untersucht. Die Bewertung ist für die verschiedenen betrachteten Messdimensionen in Bild 6.16 abgebildet.

Bei Betrachtung der Bewertungen fällt auf, dass alle Gruppen auf allen Dimensionen eine mittlere bis geringe Beanspruchung angegeben haben. Die

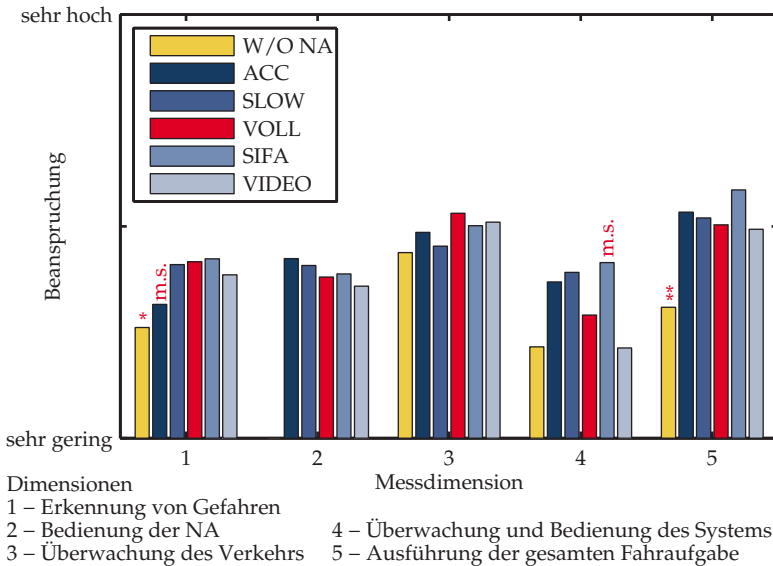


Bild 6.16: Subjektive Beanspruchung der VPn in verschiedenen Messdimensionen. Es sind Mittelwerte der Gruppen aufgetragen. Signifikante Unterschiede zur Bedingung *VOLL*:

m.s. $p \leq 0,1$ – * $p \leq 0,05$ – ** $p \leq 0,01$.

Beanspruchung der Fahrer während der Fahrt mit einem teilautomatischen Stauassistenten scheint unabhängig von den erlebten Interaktionsmechanismen gering zu sein.

Beachtenswerte Unterschiede auf die resultierende Beanspruchung ergeben sich vor allem durch das Weglassen der Nebenaufgabe in der Bedingung *W/O NA*. Es reduziert sich die Schwierigkeit in der Erkennung von Gefahren signifikant ($p = 0,011$) und die Anstrengung zur Ausführung der Fahraufgabe hochsignifikant ($p = 0,002$).

Weitere Unterschiede ergeben sich in der Dimension „Erkennung von Gefahren“ durch das Weglassen der Querführung in Bedingung *ACC*. Die

Schwierigkeit kann marginal signifikant reduziert werden ($p = 0,096$). Ferner wird die Beanspruchung in der „Überwachung und Bedienung des Systems“ durch die Sicherheitsfahrerschaltung (Bedingung *SIFA*) marginal signifikant erhöht ($p = 0,078$). Bei Betrachtung von Bild 6.16 fällt auf, dass die „Überwachung und Bedienung des Systems“ in der Bedingung *VIDEO* tendenziell geringer ausfällt. Dieser Effekt wird jedoch nur im Vergleich mit der Bedingung *SIFA* signifikant.

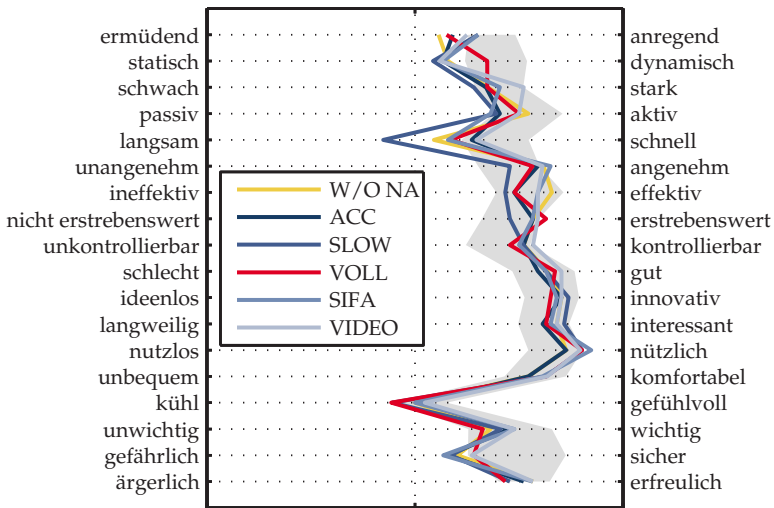
6.7.2 Akzeptanz

Die VPn bewerten nach der eigentlichen Messfahrt im Fahr Simulator ihre Akzeptanz bezüglich des gefahrenen Stauassistenten mit Hilfe eines Fragebogens. Um die Dauer der Bearbeitung für die VPn zu reduzieren, beinhaltet er jedoch nur einen Teil der in [7] vorgestellten Dimensionen der Akzeptanz, nämlich die Dimensionen *Einstellung zum System* sowie *Eigenschaften und Nutzen des Systems*. Die Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt und analysiert.

Einstellung zum System

Um die Einstellung der VPn zum Stauassistenten zu ermitteln, kam ein semantisches Differential bestehend aus 18 Adjektivpaaren zum Einsatz. Bild 6.17 bildet die Ergebnisse graphisch ab. Zum Vergleich ist der Bereich der Bewertungen anderer Fahrerassistenzsysteme mit demselben Instrument als grau schattierter Bereich dargestellt.

Ein Vergleich der untersuchten Stauassistenten mit den Bewertungen anderer Systeme in anderen Studien zeigt im Großen und Ganzen eine hohe Übereinstimmung. Unterschiede ergeben sich vor allem auf den Skalen *ermüdend - anregend*, *statisch - dynamisch*, *langsam - schnell* und *gefährlich - sicher*. Die Stauassistenten werden als ermüdender, statischer, langsamer



Bewertung der VPN

Bild 6.17: Polaritätsprofil der subjektiven Einstellung zum Stauassistenten. Es sind die Mittelwerte dargestellt. In grau sind die Bewertungen von 12 anderen Fahrerassistenzsystemen aus [7] dargestellt (Mittelwert der FAS \pm Standardabweichung).

und gefährlicher als die anderen Systeme betrachtet. Dies lässt sich zum einen mit dem erlebten hohen Automationsgrad des Stauassistenten erklären, der für die Fahrer durch die geringe Belastung ermüdender und damit gefährlicher wahrgenommen wird. Zudem werden die VPN im Verlauf der Untersuchung bewusst mit kritischen Szenarien konfrontiert. Durch diese Häufung kritischer Szenarien, könnte der subjektive Eindruck zur Sicherheit des TCA negativ beeinflusst werden. Zum anderen ist der Use-Case „Fahren im Stau“ an sich schon relativ statisch und langsam, verglichen mit anderen Fahrsituationen.

Zwischen den verschiedenen untersuchten Bedingungen ergeben sich auf Itemebene nur zwei signifikante Unterschiede in den Vergleichen mit der Referenz *VOLL*. Das System *SLOW* wird als statischer ($p = 0,064$) und als langsamer ($p = 0,031$) empfunden. Da in dieser Variante die Qualität der Längsführung dahingehend manipuliert wurde, dass stets etwas langsamer als das vorausfahrende Fahrzeug gefahren wird, sind diese Bewertungen naheliegend.

Eigenschaften des Systems

Die Eigenschaften des Systems werden mit Hilfe von 28 Aussagen ermittelt, zu denen die VPn jeweils ihre Zustimmung auf einer fünfstufigen Likertskala geben. Die 28 Aussagen werden zu den Skalen *Usability*, *Sicherheit*, *Imagebeitrag*, *Fahrspass*, *Systemvertrauen*, *Komfort*, *Umweltfreundlichkeit* und *Kontrollierbarkeit* zusammengefasst [7]. Die resultierende Bewertung der Stauassistenten durch die VPn ist in Bild 6.18 dargestellt.

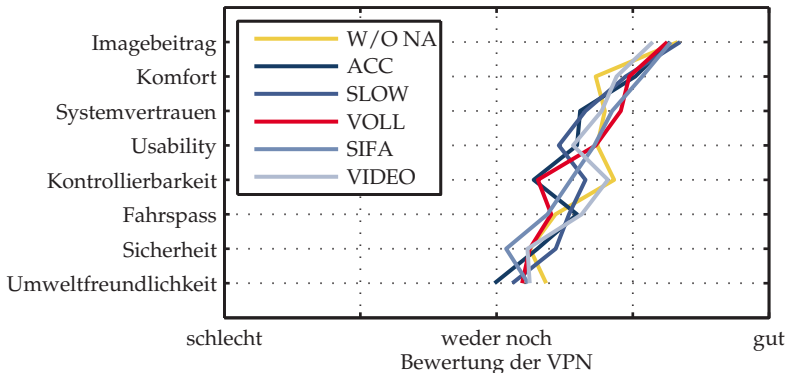


Bild 6.18: Mittelwerte der durch die VPn wahrgenommenen Eigenschaften der Stauassistenten. Die Skalen sind nach ihrem Mittelwert über alle Gruppen aufsteigend sortiert.

Bei Betrachtung der Abbildung fällt zunächst auf, dass der Stauassistent generell gute Eigenschaften aufzuweisen scheint. Selbst die ablehnendsten Bewertungen liegen maximal im Bereich „weder noch“. Die Skala mit der negativsten Bewertung ist die der Umweltfreundlichkeit. Diese Bewertung könnte auf eine nicht optimierte Längsdynamik der im Fahr Simulator implementierten Längsregelung zurückzuführen sein. Danach folgen die Skalen Sicherheit, Fahrspass und Kontrollierbarkeit. Diese Bewertungen sind vermutlich auf das Untersuchungskonzept und das Fahren mit einem teilautomatischen System im Stau zurückzuführen. Die VPn werden, wie schon im vorangegangenen Kapitel beschrieben, während der Untersuchung bewusst mit kritischen Szenarien konfrontiert. Dies könnte die Bewertung im Hinblick auf die Sicherheit des Systems negativ beeinflussen. Die verhältnismäßig schlechte Bewertung in der Kategorie Fahrspass kann auf den Use-Case „Fahren im Stau“ zurückzuführen sein, der generell als langweilig empfunden wird. Die besten Bewertungen bekommen die Stauassistenten in der Kategorie Imagebeitrag und Komfort. Hier scheinen die wahrgenommenen Stärken eines solchen Fahrerassistenzsystems zu sein.

Varianzanalysen ergeben nur auf einer Skala einen marginal signifikanten Unterschied der einzelnen Bedingungen zur Gruppe *VOLL*. VPn in der Bedingung *SLOW* haben die Usability des Systems schlechter bewertet, als VPn in der Gruppe *VOLL* ($p = 0,097$).

Nutzen des Systems

Die VPn bewerten die Konsequenzen, die sich durch den Kauf und die Nutzung des Systems ergeben. Die Daten lassen Rückschlüsse zum Nutzen des *TCA* zu. Bild 6.19 zeigt die Bewertungen.

Eine globale Betrachtung aller Gruppen liefert zunächst einmal die größten Nutzenkategorien. Das Fahren mit dem Stauassistenten wird von den meisten VPn als entspannter und angenehmer bezeichnet. Direkt danach

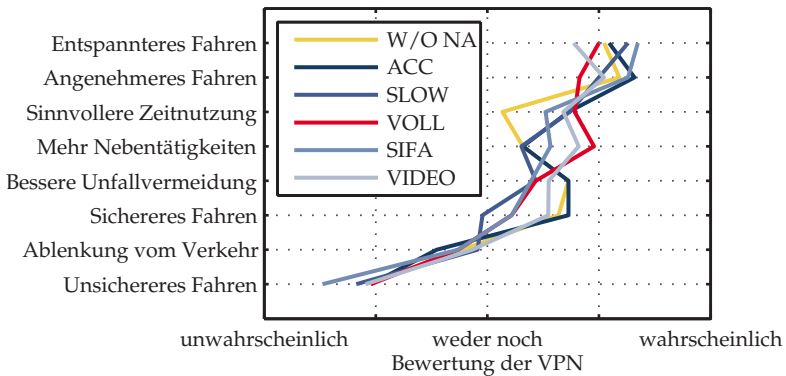


Bild 6.19: Mittelwerte der durch die VPn wahrgenommenen Konsequenzen durch Nutzung eines Stauassistenten. Die Skalen sind nach ihrem Mittelwert über alle Gruppen aufsteigend sortiert.

folgt eine sinnvollere Zeitnutzung und mehr Nebentätigkeiten. Kategorien, die mit Sicherheit in Zusammenhang stehen, werden als letztes genannt. Negative Konsequenzen wie unsichereres Fahren werden von vielen VPn als unwahrscheinlich bewertet.

Alle Ebenen wurden einer Kontraste-Analyse unterzogen. Signifikante Unterschiede zu Bedingung *VOLL* ergeben sich vor allem durch das Weglassen der Querführung (*ACC*) und durch das Hinzufügen der Sicherheitsfahr-schaltung (*SIFA*). So wird durch das Weglassen der Querführung in der Bedingung *ACC* das Fahren als besonders angenehm ($p = 0,046$) und sicher ($p = 0,073$) bewertet. Wird eine Sicherheitsfahr-schaltung wie in der Gruppe *SIFA* eingeführt, wird das Fahren als besonders angenehm ($p = 0,075$) und weniger unsicher ($p = 0,071$) eingeschätzt. Die Gruppen *W/O NA* und *SLOW* scheinen einen negativen Einfluss auf die Durchführung von Nebentätigkeiten zu haben. Die VPn der Gruppe *SLOW* bewerten die Durchführung von Nebentätigkeiten als marginal signifikant unwahrscheinlicher ($p = 0,078$). In der Gruppe *W/O NA* wird eine sinnvollere Zeitnutzung als signifikant

Tabelle 6.12: Qualitative Übersicht über die Einflüsse der jeweiligen Bedingungen auf den wahrgenommenen Nutzen, jeweils im Vergleich mit der Bedingung *VOLL*.

Nutzenkategorie	W/O NA	ACC	SLOW	SIFA	VIDEO
Komfort^a	-	↑	-	↑	-
Sicherheit^b	-	↑	-	↑	-
Effizienz^c	↓	-	↓	-	-

^aBeinhaltet die Konsequenzen „Angenehmeres Fahren“ und „Entspannteres Fahren“

^bBeinhaltet die Konsequenzen „Sichereres Fahren“ und „Unsichereres Fahren“ (umgepolt)

^cBeinhaltet die Konsequenzen „Sinnvollere Zeitnutzung“ und „Mehr Nebentätigkeiten“

unwahrscheinlicher ($p = 0,029$) beurteilt. Dies ist ein Hinweis dafür, dass die Beschäftigung mit einer NA während der Fahrt bisher nicht im Fokus der Fahrer liegt. Alle genannten signifikanten Einflüsse werden in Tabelle 6.12 qualitativ zusammengefasst.

6.7.3 Zwischenfazit der subjektiven Bewertungen

Dieses Kapitel gibt ein Zwischenfazit zur subjektiven Bewertung der verschiedenen betrachteten Bedingungen. Es wurden sowohl der Workload als auch die Akzeptanz der Systeme abgefragt.

Der Workload wird dabei im Wesentlichen durch die Nebenaufgabe beeinflusst. Wird eine zusätzliche Aufgabe bearbeitet, steigt er. Das Videobild (VB) in der Gruppe *VIDEO* weist nur im Vergleich mit der Gruppe *SIFA* einen niedrigeren Workload auf.

Bei der Untersuchung der Akzeptanz werden Unterschiede zwischen den Bedingungen lediglich im wahrgenommenen Nutzen sichtbar. Während er

Tabelle 6.13: Übersicht über alle die Interaktionsmechanismen getroffenen Hypothesen (= Hyp.) bezüglich der subjektiven Bewertung. Die antizipierte Wirkrichtung der Beeinflussung ist in Form von Pfeilen dargestellt.

Bedingung	Workload			Akzeptanz		
<i>W/O NA</i>	Hyp. 19	↑	angenommen	-	-	-
<i>ACC</i>	Hyp. 1	↑	abgelehnt	Hyp. 4	↓	abgelehnt
<i>SLOW</i>	Hyp. 5	↑	abgelehnt	Hyp. 8	↓	angenommen
<i>SIFA</i>	Hyp. 9	↑	angenommen	Hyp. 12	↓	abgelehnt
<i>VIDEO</i>	Hyp. 13	↓	angenommen	Hyp. 16	↑	abgelehnt

sich in den Bedingungen *ACC* und *SIFA* erhöht, wird der Bedingung *SLOW* ein geringerer Nutzen zugesprochen. Das VB in der Gruppe *VIDEO* scheint keinen Einfluss auf den Nutzen und die Akzeptanz des *TCA* zu haben.

Ausgehend von den Ergebnissen des Workloads und der Akzeptanz lassen sich die zuvor getroffenen Hypothesen annehmen oder ablehnen. Tabelle 6.13 listet alle entsprechenden Hypothesen auf.

6.8 Gesamt-Fazit der Evaluierung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Ergebnisse einer Probandenstudie vorgestellt und analysiert. Ziel der Untersuchung war es, die in Kapitel 5.5 erarbeiteten Interaktionsmechanismen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Unterstützung von Situationsbewusstsein und Fahrsicherheit während der teilautomatischen Fahrt mit dem Stauassistenten *TCA* zu evaluieren. Zusätzlich sollten Workload und Akzeptanz der resultierenden Gesamtsysteme betrachtet werden.

Im Sinne einer Evaluierung wurde in Kapitel 6.3 ein umfangreiches Untersuchungskonzept zur ganzheitlichen Evaluierung von Situationsbewusstsein,

Fahrsicherheit, Workload und Akzeptanz eines Stauassistenten erarbeitet. Während der Workload und die Akzeptanz nach der Messfahrt mit Hilfe von Fragebögen subjektiv erhoben werden, kommen vier verschiedene kritische Szenarien während der Messfahrt im Stau zum Einsatz, um resultierendes Situationsbewusstsein und Fahrsicherheit zu messen.

Die während der Studie eingesetzte Nebenaufgabe (NA) wurde in Kapitel 6.5 analysiert. Das Ausführen der hier verwendeten NA hat einen negativen Effekt auf das resultierende Situationsbewusstsein des Fahrers. Der negative Effekt auf die Fahrsicherheit in kritischen Szenarien fällt jedoch aufgrund der situationsangepassten Bedienung der optional gestalteten NA eher gering aus. Wird sie jedoch in kritischen Szenarien nicht adäquat abgebrochen, so sind negative Effekte auf die Fahrsicherheit zu erwarten, was die Notwendigkeit der vorliegenden Arbeit erneut unterstreicht.

Die vier eingesetzten Mechanismen (vgl. Kapitel 5.5) bestehen aus zwei Funktionalitätsvarianten (*ACC* und *SLOW*) sowie zwei verschiedenen Variationen der Interaktion zwischen Fahrer und System (*SIFA* und *VIDEO*).

Vor allem die beiden Funktionalitätsvarianten *ACC* und *SLOW* schneiden in der Erhöhung von Situationsbewusstsein und Fahrsicherheit gut ab. Während jedoch beim Wegfall der automatisierten Querführung (*ACC*) die Verarbeitung aller Reize gefördert wird, fokussieren sich die Fahrer in der Gruppe *SLOW* vor allem auf Reize, die die Längsführung betreffen. Für die Querführung relevante Reize werden tendenziell vernachlässigt.

Entgegen den Erwartungen erhöht sich der Workload sowohl in der Gruppe *ACC* als auch in *SLOW* nicht. Der Wegfall der automatisierten Querführung führt zu einem als komfortabler und sicherer empfundenen Fahren.

Die beiden Interaktionsmechanismen *SIFA* und *VIDEO* zeigen sehr unterschiedliche Ergebnisse. Während eine Sicherheitsfahrerschaltung scheinbar nicht geeignet ist, das Situationsbewusstsein des Fahrers zu unterstützen, ergeben sich trotzdem positive Effekte auf die Fahrsicherheit in Szenarien, die

einen Lenkeingriff benötigen. Diese sind dadurch erklärbar, dass die Fahrer ihre linke Hand tendenziell am Lenkrad haben, da sich hier der Schalter für die Sicherheitsfahrerschaltung befindet. Die Sicherheitsfahrerschaltung stellt daher vor allem eine Unterstützung auf Verhaltensebene dar. Wie erwartet wird der Workload durch das Einführen der Sicherheitsfahrerschaltung geringfügig erhöht. Dies scheint sich jedoch nicht auf den subjektiv empfundenen Nutzen auszuwirken. Verglichen mit der Gruppe *VOLL* wird der Stauassistent mit einer Sicherheitsfahrerschaltung als komfortabler und sicherer bewertet. Der Grund dafür ist aus Sicht dieser Forschungsarbeit unklar. An dieser Stelle besteht weiterer Forschungsbedarf.

Das Videobild in der Gruppe *VIDEO* ist geeignet, das Situationsbewusstsein des Fahrers zu erhöhen. Diese Erhöhung des Situationsbewusstseins spiegelt sich jedoch nicht in einer Erhöhung der Fahrsicherheit wider. Grund dafür könnte zum einen ein übermäßiges Vertrauen in die Automation und in die eigenen Fähigkeiten bei der Erkennung kritischer Szenarien im Videobild sein. Zum anderen könnte durch das Videobild eine gewisse Ablenkung erzeugt werden. Der Workload wird in der Gruppe *VIDEO* nur im Vergleich mit der Gruppe *SIFA* signifikant reduziert. Der durch ein Videobild verursachte reduzierende Effekt auf den Workload scheint nur sehr schwach ausgeprägt zu sein. Wie erwartet sind keine Einflüsse auf die Akzeptanz des Stauassistenten durch das Videobild erkennbar.

Die untersuchten Mechanismen sind also insgesamt geeignet, Situationsbewusstsein, Fahrsicherheit, Workload und Akzeptanz zu beeinflussen. Neben der Gruppe *ACC*, dessen Stauassistent ohne Querführung den aktuellen Stand der Technik darstellt, gab es jedoch keinen Mechanismus, der in allen Kategorien gut abschneidet. Eine abschließende Formulierung von Anforderungen und Gestaltungsempfehlungen für zukünftige Stauassistenten folgt daher in Kapitel 7.

7 Erweiterte Anforderungen und Gestaltungsempfehlungen zur Erhöhung des Situationsbewusstseins

In diesem Kapitel werden ausgehend von den Ergebnissen der Kapitel 5 und 6 Empfehlungen zur Gestaltung eines teilautomatischen Stauassistenten dargestellt werden. Dazu wird zunächst der subjektive Nutzen des Systems betrachtet, anschließend wird auf die Systemsicherheit eingegangen.

7.1 Subjektiver Nutzen

Die subjektive Bewertung des *Traffic Congestion Assistant (TCA)* (vgl. Kapitel 6.7) hat ergeben, dass die Akzeptanz eines solchen Systems insgesamt hoch ist. Der wahrgenommene Nutzen ergibt sich vor allem aus einem entspannteren und angenehmeren Fahren, aber auch durch eine sinnvollere Nutzung der zur Verfügung stehenden Zeit und mehr Nebentätigkeiten (vgl. Bild 6.19 auf Seite 152). Der in Kapitel 3.2 antizipierte Bedarf zur Durchführung von Nebentätigkeiten wird damit bestätigt, steht jedoch hinsichtlich des subjektiven Nutzens in der Wahrnehmung der Probanden nicht an erster Stelle.

Analog zur Entwicklung anderer technischer Systeme (z. B. Smartphones) könnte es sein, dass der Bedarf zur Durchführung von Nebentätigkeiten mit zunehmender Verbreitung teilautomatischer Fahrerassistenzsysteme FAS weiter steigt. Viele Menschen können sich möglicherweise nicht vorstellen, während der manuellen Fahrt nicht-fahrtbezogene Tätigkeiten durchzuführen.

ren. Mit einem teilautomatischen System wie z. B. dem *TCA* gewinnt jedoch die Ausführung von Nebentätigkeiten schlagartig an Bedeutung, wie durch eine Studie von JAMSON, MERAT & CARSTEN gezeigt werden konnte [68]. Es gilt, die durch Ablenkung entstehenden negativen Effekte der Nebentätigkeiten durch entsprechende Interaktionsmechanismen zu vermeiden, wie im folgenden Kapitel 7.2 dargestellt.

Es stellt sich grundsätzlich die Frage, ob aus Nutzersicht eine derart umfassende Teilautomation im Stau überhaupt notwendig ist oder ob nicht auch ein assistierendes System der Längsführung ausreichen würde. Mit Ausnahme der sinnvolleren Zeitnutzung können die meisten der in Kapitel 3.2 gezeigten Ergebnisse zum Unterstützungsbedarf im Stau bereits durch ein Adaptive Cruise Control Stop & Go (*ACC S&G*) in Kombination mit zusätzlichen Verkehrsinformationen - wie sie z. B. in Navigationsgeräten vorkommen - erreicht werden.

Die Ergebnisse der Evaluierung scheinen dies zu bestätigen. Würde sich durch die Übernahme der Querführung durch den Stauassistenten ein höherer Nutzen ergeben, so müsste die resultierende Akzeptanz der Bedingungen *VOLL* höher als die der Bedingung *ACC* ausfallen. Das Gegenteil ist jedoch der Fall - das Fahren ohne automatisierte Querführung wird subjektiv als signifikant angenehmer und marginal signifikant sicherer bewertet (vgl. Tabelle 6.12 auf Seite 154).

Eine mögliche Interpretation dieser Ergebnisse besteht in einem zu geringen Vertrauen der Probanden in die automatisierte Querführung des *TCA*. Bereits geringe Abweichungen in der Querführung können unmittelbar in einem Verlassen der eigenen Fahrspur und damit einer gefährlichen Situation resultieren. Dies ist in Längsrichtung erst bei deutlich größeren und spürbareren Regelaabweichungen der Fall.

Um das Vertrauen der Fahrer in die automatisierte Querführung zu stärken, könnte z. B. die zukünftig vom System gefahrene Trajektorie mit Hilfe eines

kontaktanalogen Head-Up Displays (HUD) eingeblendet werden. Eine solche Anzeige würde das Systemverhalten in den nächsten Sekunden deutlich vorhersehbarer gestalten. WEISSGERBER ET AL. konnten in einem Fahr Simulatorversuch Hinweise für einen positiven Effekt einer solchen Anzeige auf das Eingriffsverhalten der Fahrer in kritischen Situationen finden [146]. Dieser wurde aufgrund methodischer Schwierigkeiten jedoch nicht signifikant - es besteht also weiterer Forschungsbedarf. Insbesondere der Einfluss einer solchen Anzeige auf die Akzeptanz der Fahrer ist noch ungeklärt.

Es lässt sich zusammenfassen, dass im Sinne des in Kapitel 3.2 abgeleiteten Unterstützungsbedarfs im Anwendungsszenario Stau der größte Hub im Nutzen für den Kunden vermutlich erst mit Einführung von *hoch-* und *vollautomatischen* Fahrerassistenzsystem (FAS) entsteht. Bei diesen Systemen übergibt der Fahrer die Verantwortung für die Fahraufgabe zeitweilig an das FAS. Er kann sich daher ausdrücklich von der Überwachung der Fahraufgabe abwenden und wird bei Bedarf mit einer entsprechenden Zeitreserve zur Übernahme der Fahrzeugführung aufgefordert [55]. Ob allerdings das Vertrauen der Nutzer in die Querführung eines solchen Systems höher ausfällt kann aus Sicht dieser Forschungsarbeit nicht beantwortet werden.

7.2 Systemsicherheit

Während der Fahrt mit einem teilautomatischen FAS soll sich, verglichen mit der manuellen Fahrt, ein höheres Maß an Fahrsicherheit ergeben. Gemäß GASSER ET AL. ist es dazu notwendig, ein ausreichendes Unfallvermeidungspotential nachzuweisen (vgl. Kapitel 2.1.4) [55]. In Dauerlaufversuchen wird hierfür beispielsweise die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Fehlers empirisch ermittelt [40]. Gekoppelt mit der voraussichtlichen Schadensschwere - sollte der Fehler tatsächlich auftreten - ergibt sich das Gesamtrisiko für einen bestimmten Fehler.

Bei teilautomatischen FAS bildet der Fahrer stets die Rückfallebene der Automation - sollte das FAS ausfallen oder eine Fehlfunktion aufweisen [55,65]. Seine Möglichkeit, effektiv in das Fahrgeschehen einzugreifen und gefährliche Situationen zu entschärfen, bestimmt daher direkt die voraussichtliche Schadensschwere eines Systemfehlers.

In dieser Arbeit wurde das Vermögen des Fahrers, kritische Situationen zu entschärfen als Entwicklungsziel im Hinblick auf die Systemsicherheit gewählt. Als zentrales Konstrukt zur Bewertung wurde dafür in Kapitel 2.4 das Situationsbewusstsein des Fahrers identifiziert, welches bei Teilautomation besonders in Zusammenhang mit Nebenaufgaben negativ beeinflusst werden kann, wie in Kapitel 2.3 beschrieben. In dieser Arbeit wurden daher Interaktionsmechanismen erarbeitet und evaluiert, die das Situationsbewusstsein des Fahrers unterstützen.

In den folgenden Unterkapiteln werden zunächst mögliche Erweiterungen für die in Kapitel 6 untersuchten Interaktionsmechanismen untersucht. Anschließend wird auf die Gestaltung von Nebenaufgaben eingegangen. Den Abschluss bildet eine kurze Abhandlung über ein System zur Fahrerbeobachtung als eine mögliche Erweiterung des *TCA*.

7.2.1 Erweiterungen der betrachteten Mechanismen

Aufgrund der Performance-Limitierung der Längsführung erfahren die Fahrer mit den Interaktionsmechanismus *SLOW* eine intrinsische Motivation, diese zu überwachen. Dieser Effekt scheint jedoch auf die Längsführung des Fahrzeugs beschränkt zu sein, wie in Kapitel 6.6 gezeigt wurde. Um also diese positiven Effekte auch auf die Querverführung zu erweitern, müsste hier ebenfalls eine Performance-Limitierung eingeführt werden. Aufgrund der dadurch erfolgenden Limitierung der Gesamt-Systemperformance erscheint die Akzeptanz eines solchen Systems jedoch fraglich.

Durch die Implementierung der Sicherheitsfahrerschaltung im HUD (Mechanismus *SIFA*) wird - entgegen der Annahmen - die durch die Nebenaufgabe erzeugte Blickabwendung nicht reduziert (vgl. Kapitel 6.6). Dementsprechend ergeben sich in dieser Variante keine positiven Effekte auf das Situationsbewusstsein. Einzig das in geometrischer Nähe zur Nebenaufgabe installierte Videobild (Mechanismus *VIDEO*) ist in der Lage, die periphere Wahrnehmung der Fahrumgebung und damit eine Steigerung des Situationsbewusstseins zu ermöglichen. Entscheidend für die periphere Wahrnehmung ist der Betrag des Exzentrizitätswinkels zwischen der Nebenaufgabe und den relevanten Objekten der Fahrumgebung (vgl. Kapitel 5.4).

Die Fahrsicherheit kann dadurch erhöht werden, dass relevante Bedienelemente am Lenkrad verbaut werden. Im Fall des Mechanismus *SIFA* ist die Bedienung der Sicherheitsfahrerschaltung am Lenkrad ursächlich dafür, dass Lenkreaktionszeiten verkürzt werden (vgl. Kapitel 6.6). Es ergeben sich Vorteile gegenüber der Variante *VIDEO*, bei der das Videobild zwar das Situationsbewusstsein grundsätzlich erhöht, aber dennoch die Fahrsicherheit reduziert (vgl. Kapitel 6.6).

Eine Möglichkeit zur Optimierung könnte eine Positionierung der Anzeigen einer Nebenaufgabe in der Nähe der realen Fahrumgebung, also im Head-Up Display (HUD), darstellen, wie von WULF ET AL. vorgeschlagen [163]. Dies würde den in der Variante *VIDEO* gefundenen positiven Effekt auf das Situationsbewusstsein des Fahrers ausnutzen (Betrag des Exzentrizitätswinkels niedrig). Die negativen Effekte, die das Videobild auf die Fahrsicherheit zeigt, würden vermutlich in ihrer Effektstärke reduziert werden, da in der realen Fahrumgebung stets alle wichtigen Informationen in einer für den Fahrer gewohnten Art und Weise sichtbar sind. So wird zudem der mögliche ablenkende Effekt des Videobildes vermieden. Eine weitere Steigerung der Fahrsicherheit könnte durch eine Positionierung der für die Nebenaufgabe relevanten Bedienelemente am Lenkrad erreicht werden [163]. Dabei wird

der oben erwähnte Effekt der Reaktionszeitverkürzung durch Behalten der Hände am Lenkrad ausgenutzt.

Erste Ansätze zur Darstellung von Nebenaufgaben im HUD wurden bereits von MILIČIĆ dargestellt und untersucht [95]. Die Frage, wie Nebenaufgaben sinnvoll im HUD integriert werden können ist jedoch noch nicht abschließend geklärt. Insbesondere ihre Wirkung während der teilautomatischen Fahrt ist bisher nicht untersucht worden.

7.2.2 Arten von Nebenaufgaben

Im Hinblick auf das Vermögen des Fahrers, kritische Situationen zu entschärfen, sind also aus Sicht dieser Forschungsarbeit insbesondere die Nebenaufgaben zu betrachten. Der Fahrer darf durch eine Nebenaufgabe nicht zu sehr von der Überwachung des Systemverhaltens abgelenkt werden.

Die in dieser Arbeit eingesetzte Nebenaufgabe bestand in der Bedienung eines im Fahrzeug fest verbauten Infotainmentsystems (vgl. Kapitel 6). Aus den Ergebnissen der Evaluation lässt sich ableiten, dass eine solche Nebenaufgabe eine unzulässig hohe Ablenkung des Fahrers darstellt. Dies gilt zumindest in Verbindung mit dem in der Fahrsimulatorstudie gezeigten Nutzungsverhalten. Entsprechend der in Kapitel 3.2 dargestellten Untersuchungen ist jedoch zu vermuten, dass die Nutzer auch in realen Fahrsituationen ein ähnlich geartetes Nutzungsverhalten in Bezug auf Nebenaufgaben zeigen, auch wenn diese teilweise sogar verboten sind, wie z.B. die Benutzung von Tablet-PCs.

Eine Lösung könnte darin bestehen, die Überwachung des Systems in die Nebenaufgabe mit einzubeziehen. Solche Ansätze sind unter dem Begriff der „Gamification“ bekannt. Gamification ist nach DETERDING ET AL. die Verwendung von spieltypischen Elementen außerhalb von Spielen [31]. DAUN & LIENKAMP entwickelten einen Ansatz, Fahrer durch Gamification

bei der Erreichung einer energieoptimalen Fahrweise zu unterstützen [29]. Im Hinblick auf die Fragestellung, wie man Fahrer bei der Überwachung eines teilautomatischen FAS spielerisch unterstützen kann sind jedoch noch keine Konzepte bekannt. An dieser Stelle besteht also noch erheblicher Forschungsbedarf.

7.2.3 Überwachung des Fahrers

Bei Betrachtung der Ergebnisse ist zusätzlich anzumerken, dass das gefundene Prinzip *Überwachung der Aufmerksamkeit des Fahrers* aufgrund des zu großen notwendigen Entwicklungshubes nicht Gegenstand der empirischen Untersuchungen war. Es könnte ebenfalls eine Lösung für das dargestellte Problem von zu geringem Situationsbewusstsein sein. Dabei wird der Grad der Aufmerksamkeit des Fahrers im Hinblick auf die Überwachung des Systems und der Fahrumgebung überwacht. Sobald diese Aufmerksamkeit einen bestimmten Grad unterschreitet, wird er zunächst gewarnt. In einem zweiten Schritt könnte sich das teilautomatische FAS deaktivieren - der Fahrer muss die Fahraufgabe wieder selber übernehmen. Die Aufmerksamkeit und damit das Situationsbewusstsein des Fahrers erhöhen sich wieder.

Im Hinblick auf das Situationsbewusstsein des Fahrers stellten sich in dieser Forschungsarbeit folgende, in Kapitel 2.3.1 beschriebene Einflussfaktoren als bedeutsam heraus:

- zu hohe Minderung der Vigilanz,
- überhöhte Complacency,
- zu passive Verarbeitung der Informationen.

Sie sollten bei einer Überwachung des Fahrers als Systemgrenze verstanden werden.

Die quantitative Festlegung dieser Grenzen muss dabei im Rahmen weiterer Forschungen ermittelt werden. Zudem sollte der hypothetische Nutzen für das Situationsbewusstsein mit einem solchen System in geeigneter Weise evaluiert werden.

Ein System dieser Art könnte z. B. über eine Innenraumkamera [134] oder mit anderen physiolog. Sensoren [137] realisiert werden. Um einer zu hohen Vigilanzminderung effektiv vorzubeugen, muss ein ausreichendes Aktivierungsniveau sichergestellt werden. In einer weiteren Entwicklungsstufe könnte die Höhe des Aktivierungsniveaus beispielsweise über das Blickbewegungsverhalten operationalisiert werden. Um die erwähnte Complacency, also ein zu hohes Vertrauen in das System, zu verhindern, könnten Parameter wie „Blickrichtung auf die Fahrumgebung“ erhoben werden. Zudem ist eine zu große Beschäftigung mit nicht-fahrtbezogenen Tätigkeiten zu vermeiden. Insbesondere nicht im Fahrzeug verbaute Geräte (z. B. Smartphones oder Tablet-PCs) stellen hier voraussichtlich eine große Herausforderung dar, da die Interaktion mit ihnen im Fahrzeug nur schwer überwacht werden kann. Insgesamt kann an dieser Stelle noch ein erheblicher Forschungsbedarf identifiziert werden.

8 Zusammenfassung

Bei einem teilautomatischen Fahrerassistenzsystem (FAS) ist es die Aufgabe des Fahrers, das Systemverhalten auf Fehler zu überwachen und im Zweifelsfall einzugreifen. Der Fahrer ist jedoch aufgrund der Automation oftmals gar nicht in der Lage, die Gesamtsituation in der Art zu überblicken, wie er es bei manueller Fahrt tun würde. Die dafür wichtigsten Effekte werden von ENDSLEY & KIRIS unter dem Begriff des „*Out-of-the-Loop*“ *Syndroms* zusammengefasst [47].

In der vorliegenden Arbeit wird daher eine Systemvorstudie durchgeführt mit dem Ziel, Interaktionsmechanismen zu finden und zu bewerten, die zur Reduktion des „*Out-of-the-Loop*“ *Syndroms* beitragen können. Als Beispielfunktion wird ein teilautomatisches System gewählt, welches den Fahrer während der Fahrt in einem Stau auf der Autobahn unterstützen soll. Auf Basis der gesichteten Literatur erscheint ein solches System als das voraussichtlich als nächstes realisierte System. Dies wird z.B. von BARTELS postuliert [10]. Aber auch andere Autoren sind dieser Ansicht [33, 78, 99, 151]. Im Rahmen der Forschungsarbeit werden die folgenden Schritte durchgeführt:

- Problemanalyse,
- Problemformulierung,
- Systemsynthese,
- Systemanalyse,
- Beurteilung.

In der *Problemanalyse* und *-formulierung* werden in Kapitel 3 zunächst die Randbedingungen, die sich für einen teilautomatischen Stauassistenten ergeben, analysiert. Dabei ist sowohl die Fahrumgebung als auch der Nutzer zu berücksichtigen. Ein Stau ist geprägt durch eine langsame Fahrt mit bis zu $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und niedrigen longitudinalen Beschleunigungen. Aufgrund der vergleichsweise geringen Dynamik ist der Anteil der schweren Unfälle mit Personenschaden im Stau sehr gering. Dementsprechend besteht der Nutzen eines Stauassistenten im Wesentlichen in der Erhöhung des Komforts. Aber auch die Fahrsicherheit wird durch ein solches System erhöht, da anzunehmen ist, dass es zumindest die Wahrscheinlichkeit von Fahrfehlern in der Längsführung und Querführung erheblich reduziert [55].

Weiterhin wird der Nutzen aus Endkundensicht analysiert. Dabei haben sich hauptsächlich zwei Nutzenkategorien durch einen Stauassistenten gezeigt. Einerseits möchten die Endkunden die subjektiv „verlorene“ Zeit im Stau mit einem sinnvollen Inhalt füllen. Dies kann durch das Ausführen anderer Tätigkeiten, wie z. B. das Bearbeiten von E-Mails oder anderen Bürotätigkeiten während des Staus, realisiert werden. Auf der anderen Seite besteht der größte Unterstützungsbedarf im Stau in der Übernahme der Längsführung, die - durch das ständig notwendige Anhalten und Wiederanfahren - als belastende und ermüdende Tätigkeit angesehen wird. Diese Anforderung kann bereits durch existierende Systeme, wie Adaptive Cruise Control Stop & Go (ACC S&G) erfüllt werden.

Mit Hilfe der erarbeiteten Anforderungen wird in Kapitel 4 ein teilautomatischer Stauassistent abgeleitet. Er integriert assistierende Systeme der Längsführung und Querführung zu einem Gesamtsystem und wird daher *Traffic Congestion Assistant (TCA)* genannt. Der *TCA* ist in der Lage, innerhalb seiner Systemgrenzen die gesamte Fahraufgabe, bestehend aus Längs- und Querführung des Fahrzeugs, zu übernehmen. Die Systemgrenzen ergeben sich dabei zum einen durch beschränkte Eingriffsdynamiken und zum

anderen durch Grenzen in der sicheren Erkennung relevanter Verkehrsobjekte.

Im Rahmen der *Systemsynthese* werden in Kapitel 5 Interaktionsmechanismen erarbeitet, die das Situationsbewusstsein des Fahrers und damit die resultierende Fahrsicherheit erhöhen sollen. Dabei werden in einem im Rahmen dieser Arbeit erweiterten Entwicklungsprozess aus den Ergebnissen eines interdisziplinären Innovationsworkshops zunächst vier generalisierte Funktionsprinzipien formuliert. Ausgehend von diesen Funktionsprinzipien werden konkrete Interaktionsmechanismen erarbeitet und mit dem *TCA* kombiniert. Das vierte Prinzip „Überwachung der Aufmerksamkeit des Fahrers“ wird aufgrund des aktuell noch notwendigen Entwicklungshubes in dieser Arbeit nicht betrachtet.

Zwei dieser Mechanismen befassen sich mit der Aufteilung der Fahraufgabe zwischen dem Fahrer und dem System. Dadurch wird die Gesamtfunktionalität des *TCA* jeweils in Qualität oder Quantität reduziert. Infolgedessen werden die Systemgrenzen „erlebbar“ - der Fahrer entwickelt eine intrinsische Motivation, sie zu überwachen.

Zwei weitere Mechanismen befassen sich mit der Lenkung der Aufmerksamkeit. Dabei wird vor allem das visuelle Blickfeld betrachtet. Es wird so manipuliert, dass die Fahrszene mindestens im peripheren Blickfeld des Fahrers bleibt, auch wenn er sich mit Nebenaufgaben beschäftigt. Dies geschieht z. B. durch Lenkung der Blicke in das Head-Up Display (HUD). Diese Maßnahme soll die Wahrnehmung der Fahrumgebung trotz Ablenkung durch eine Nebenaufgabe steigern und somit das Situationsbewusstsein des Fahrers insgesamt erhöhen.

Die erarbeiteten Interaktionsmechanismen werden im Rahmen der *Systemanalyse* in Kapitel 6 im Hinblick auf ihr Wirkpotential evaluiert. Dabei kommt sowohl das Situationsbewusstsein des Fahrers als auch die resultierende Fahrsicherheit als Bewertungskriterium zum Einsatz. Zudem werden

Einflüsse der Interaktionsmechanismen auf Workload und Akzeptanz der Systeme analysiert.

Die untersuchten Mechanismen zeigen insgesamt positive Effekte auf das Situationsbewusstsein des Fahrers. Die in der Evaluierung verwendete Nebenaufgabe zeigt jedoch einen erheblichen negativen Einfluss auf das Situationsbewusstsein des Fahrers. Dieser negative Einfluss kann, bis auf eine Ausnahme, durch keinen der evaluierten Interaktionsmechanismen wieder komplett ausgeglichen werden. Bei dieser Ausnahme handelt es sich um ein assistierendes System, bei dem lediglich die Längsführung des Fahrzeugs automatisiert ist. Ein solches System ist in ähnlicher Form bereits in vielen Serienfahrzeugen verfügbar.

Ausgehend von den Ergebnissen der Evaluation werden in Kapitel 7 im Rahmen der *Beurteilung* Empfehlungen für die Gestaltung von teilautomatischen Stauassistenten ausgesprochen. Dabei wird zum einen auf die Nutzersicht, aber zum anderen auch auf die Systemsicht eingegangen.

Der Hauptnutzen von teilautomatischen FAS im Stau besteht für den Fahrer in der Übernahme der Längsführung, da diese als belastend empfunden wird. Durch eine Übernahme der Querführung ergibt sich weiterhin die Möglichkeit, die im Stau verbrachte Zeit mit sinnvollen Tätigkeiten zu füllen.

Aus Sicht der Systemsicherheit ist der Fahrer jedoch als Rückfallebene im Falle von Systemfehlern zu verstehen, die auch ohne Vorwarnung auftreten können. Er ist daher, wie in Kapitel 2.1.2 beschrieben zur stetigen Überwachung der Fahraufgabe angehalten. Das Ablenkungspotential einer Nebenaufgabe ist jedoch so hoch, dass keiner der untersuchten Mechanismen in der Lage war, in allen Fahrsituationen ein ausreichend hohes Situationsbewusstsein des Fahrers zu gewährleisten. Es muss daher Ziel eines Interaktionskonzeptes sein, diese Ablenkung zu minimieren. Ausgehend von den Untersuchungsergebnissen wird ein System vorgeschlagen, wel-

ches die Anzeigen der Nebentätigkeit im HUD des Fahrzeugs positioniert. Dadurch ist es dem Fahrer möglich, die Fahrumgebung stets im peripheren Blickfeld zu halten. Gleichzeitig sollten die dafür notwendigen Bedienelemente am Lenkrad verbaut werden, um im Falle von Systemfehlern schnelle Lenkreaktionszeiten zu ermöglichen. Eine solche Systemanordnung erscheint aufgrund der Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit als zielführend, muss jedoch noch in weiteren Untersuchungen überprüft werden.

Eine weitere Möglichkeit, eine ausreichende Systemsicherheit sicherzustellen, besteht in der Überwachung des Fahrers. Diese Fahrerüberwachung muss so gestaltet sein, dass das System eine unzulässige Ablenkung des Fahrers von der Überwachungsaufgabe erkennt und als Systemgrenze versteht. Dabei sollte sowohl eine zu niedrige Vigilanz als auch eine zu hohe Complacency im Fokus der Überwachung stehen und als unzulässiges Verhalten gewertet werden. Im Kern müssen sowohl visuelle Ablenkung als auch kognitive Ablenkung des Fahrers überwacht und vermieden werden.

A Realistische Verkehrssimulation in der SILAB Fahrsimulatorumgebung

In diesem Kapitel wird der Aufbau eines realistischen Verkehrs-Szenario zur Darstellung von Stauszenarien in der Fahrsimulatorumgebung SILAB beschrieben. Zunächst wird in Kapitel A.1 auf die verwendete Bemaßung der Infrastruktur eingegangen. Anschließend wird der allgemeine Aufbau des in Kapitel 6 verwendeten Stauszenarios eingegangen sowie die kritischen Szenarien erläutert.

A.1 Beschreibung der Infrastruktur

Die allgemeinen Vorschriften zur Planung und Bau von Autobahnen in Deutschland sind in [51] angegeben. Dabei wird sowohl auf die Linienführung (Kurven und Steigungen) als auch auf die Bemaßung der Fahrspurweiten eingegangen. Die verschiedenen Autobahnarten werden dabei in unterschiedliche Entwurfsklassen eingeteilt. Die für deutsche Fernautobahnen verwendete Entwurfsklasse ist EKA 1 A. Sie wird in dieser Arbeit als Grundlage für die Kapitel 6 verwendeten Stausimulation verwendet. Ihre allgemeinen Parameter sind in Tabelle A.1 aufgeführt. Der Querschnitt für eine dreispurige Autobahn der Entwurfsklasse EKA 1 A ist in Bild A.1 abgebildet.

Tabelle A.1: Empfohlene Parameter für eine Fernautobahn der Entwurfsklasse EKA 1 A nach [51]

Parameter	Wert
zulässige Höchstgeschwindigkeit	keine
empfohlener Knotenpunktabstand	> 8 km
minimaler Kurvenradius	900 m
minimale Kurvenlänge	75 m
maximale Steigung	4 %

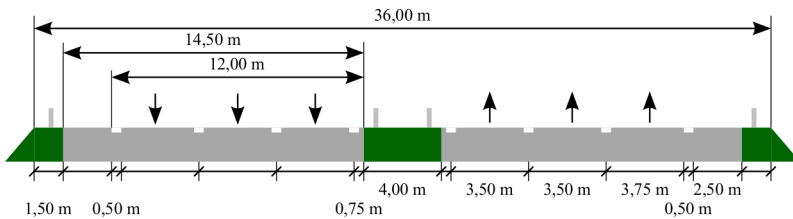


Bild A.1: Regelquerschnitt RQ36 für eine dreispurige Fernautobahn der Entwurfsklasse EKA 1 A, aus [51], zitiert in [62]

A.2 Prinzipieller Aufbau der Verkehrssimulation

Die Verkehrssimulation im verwendeten Fahrsimulator ist ähnlich, wie von KRAUTTER ET AL. beschrieben, umgesetzt [79]. Um Rechenzeit zu sparen, wird der Verkehr lediglich in einem sich bewegenden Fenster um das EGO-Fahrzeug simuliert. Dafür existiert in jeder Fahrspur ein Führungsfahrzeug. Das Geschwindigkeitsprofil dieses Fahrzeugs entspricht einem im realen Verkehr gemessenen Verhalten [62]. Die Geschwindigkeit aller folgenden Fahrzeuge berechnet sich gemäß des Fahrzeugfolgemedells nach WIEDEMANN [157].

Es gelten einige Restriktionen für das simulierte Stauszenario:

- Es sind keine Fahrstreifenwechsel der Verkehrsteilnehmer simuliert.
- Das EGO-Fahrzeug darf ebenfalls keine Fahrstreifenwechsel durchführen.
- Das EGO-Fahrzeug soll stets dem vorausfahrenden Fahrzeug folgen und darf nicht anhalten.

Diese Restriktionen sind dazu erforderlich, dass die Position des EGO-Fahrzeug relativ zum simulierten Stau stets konstant bleibt. Auf diese Art und Weise wird die Manipulation des Verkehrsablaufs zur Erzeugung der im folgenden Kapitel beschriebenen kritischen Szenarien ermöglicht.

A.3 Exemplarischer Ablauf der kritischen Szenarien

A.3.1 Szenario 1: Bremsung ZO

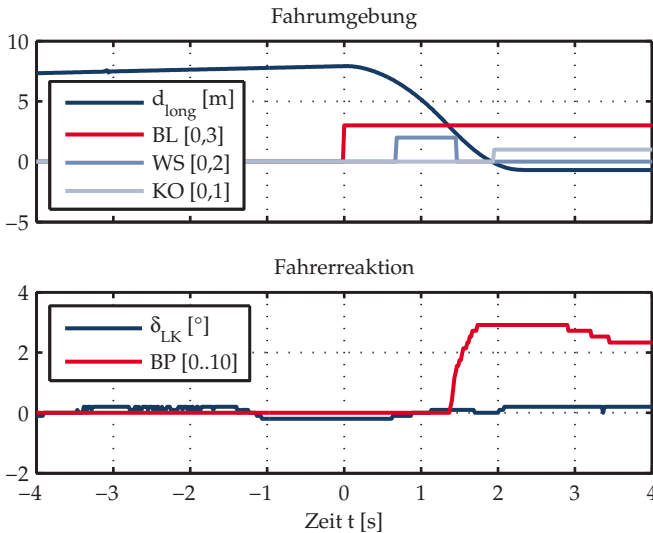


Bild A.2: Ablauf des kritischen Szenarios 1. Oben sind der longitudinale Abstand zum ZO (d_{long}), das Aufleuchten des Bremslichts (BL), das Ertönen des Warnsignals (WS) sowie das Auftreten einer Kollision (KO) aufgetragen. Unten ist die Fahrerreaktion als Lenkwinkel (δ_{LK}) und Bremspedalwert (BP) aufgetragen. Zum Zeitpunkt $t = 0$ s beginnt das ZO mit der Bremsung.

Der Ablauf des kritischen Szenarios 1 ist exemplarisch in Bild A.2 dargestellt. Der Abstand zum Zielobjekt d_{long} nimmt ab, sobald das vorausfahrende Fahrzeug beginnt, zu bremsen. Nach gut 0,5 s ertönt das akustische Warnsignal. Nach ca. 1,3 s beginnt der Fahrer, zu bremsen, kann aber in diesem Beispiel eine Kollision letztendlich nicht mehr verhindern.

A.3.2 Szenario 2: Einscherer

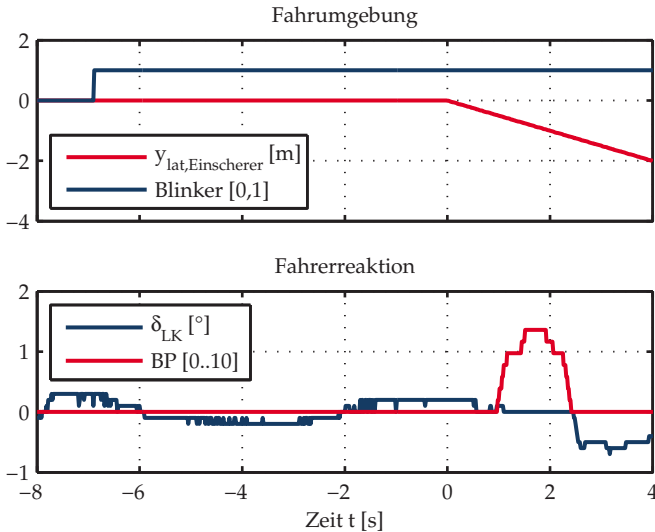


Bild A.3: Ablauf des kritischen Szenarios 2. Oben ist die laterale Position des Einscherers relativ zu seiner eigenen Fahrspur $y_{lat,Einscherer}$ dargestellt. Zusätzlich ist das Signal des Einschalten des Blinkers oben mit aufgetragen. Unten ist die Fahrerreaktion als Lenkwinkel (δ_{LK}) und Bremspedalwert (BP) aufgetragen. Zum Zeitpunkt $t = 0$ s beginnt der Einscherer mit dem Spurwechsel.

Der Ablauf des kritischen Szenarios 2 ist exemplarisch in Bild A.3 dargestellt. Es ist erkennbar, dass der Spurwechsel des einscherenden Fahrzeugs erst ca. 7 s nach Einschalten des Blinkers beginnt. Der Fahrer reagiert ca. 1 s nach Beginn des Spurwechsels mit einem Bremsmanöver.

A.3.3 Szenario 3: Hindernis rechts

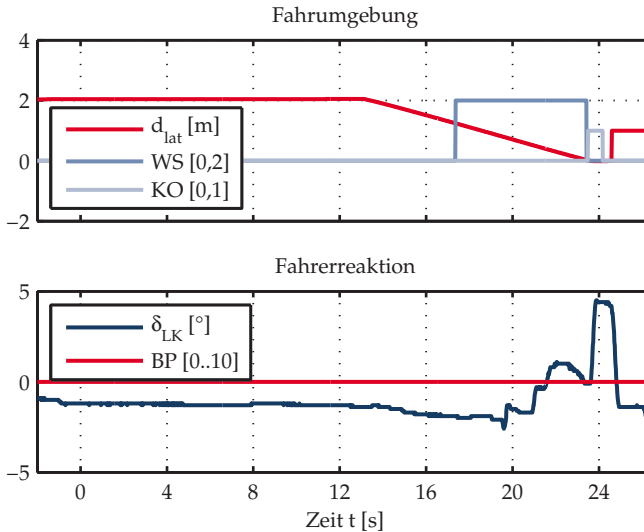


Bild A.4: Ablauf des kritischen Szenarios 3. Oben sind die laterale Position des kritischen Nachbarfahrzeugs (d_{lat}), das Ertönen des Warnsignals (WS) sowie das Auftreten einer Kollision (KO) aufgetragen. Unten ist die Fahrerreaktion als Lenkwinkel (δ_{LK}) und Bremspedalwert (BP) aufgetragen. Zum Zeitpunkt $t = 0$ s ist das Hindernis erstmalig vom Fahrer sichtbar.

Der Ablauf des kritischen Szenarios 3 ist exemplarisch in Bild A.4 dargestellt. Zum Zeitpunkt $t = 0$ s ist das Hindernis dabei erstmalig vom Fahrer sichtbar. Erst nach ca. 13 s beginnt das Nachbarfahrzeug auf der rechten Fahrspur sich lateral um ca. 2,1 m nach links zu bewegen. Dabei befährt es auch die mittlere Fahrspur. Da der Lenkeingriff des Fahrers nicht ausreichend ist, kommt es zu einer Kollision der beiden Fahrzeuge miteinander. Aufgrund eines internen Fehlers in der Berechnung des lateralen Abstands d_{lat} ertönt das Warnsignal bereits kurz bevor das Nachbarfahrzeug die eigene Fahrspur befährt und nicht - wie beabsichtigt - erst kurz bevor es zu einer

Kollision mit dem EGO-Fahrzeug kommt. Da dieser Fehler erst während der Auswertung aufgefallen ist, konnte er nicht mehr korrigiert werden. Dies spricht aber auch für die schlechte Abschätzbarkeit von lateralen Abständen zu Fahrzeugen auf der Nachbarfahrspur im Fahrsimulator, da der Fehler nicht bereits während der Vorversuche aufgefallen ist.

A.3.4 Szenario 4: Ausfall QR

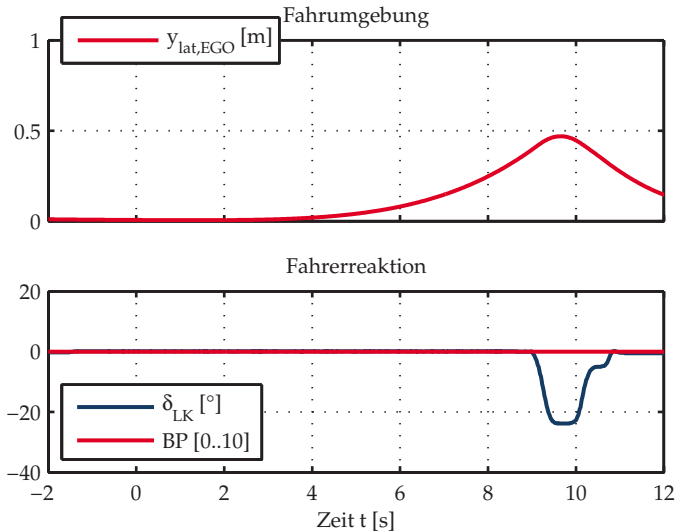


Bild A.5: Ablauf des kritischen Szenarios 4. Oben ist die laterale Position des EGO-Fahrzeugs in der mittleren Fahrspur dargestellt. Unten ist die Fahrerreaktion als Lenkwinkel (δ_{LK}) und Bremspedalwert (BP) aufgetragen. Zum Zeitpunkt $t = 0$ s wird der QR deaktiviert.

Der Ablauf des kritischen Szenarios 4 ist exemplarisch in Bild A.5 dargestellt. Zum Zeitpunkt $t = 0$ s wird dabei der QR an der Einfahrt in eine Rechtskurve deaktiviert. Im weiteren Verlauf der Fahrt baut sich daher eine stetig wachsende Querablage des EGO-Fahrzeugs relativ zur eigenen Fahrspur auf. Nach ca. 9 s greift der Fahrer mit einem Lenkmanöver korrigierend ein.

B Beschreibung der Fahrsimulatorstudie

B.1 Permutation der Stau-Module in der Fahrsimulatorstudie

In der Probandenstudie werden die einzelnen Module für jede Versuchsperson (= Versuchsperson (VPn)) in folgender Reihenfolge gestartet:

1. Szenario *a*-Freezing
2. Szenario *b*-Freezing
3. Szenario *b*-Reaktion
4. Szenario *c*-Freezing
5. Szenario *a*-Reaktion
6. Szenario *d*-Freezing
7. Szenario *c*-Reaktion
8. Szenario *d*-Reaktion

Dabei werden die Zuordnungen der Variablen *a* bis *d* entsprechend Tabelle B.1 für die Reihenfolgen R1 bis R4 vorgenommen. Jede VPn durchfährt die Module in einer der Reihenfolgen R1 bis R4.

Tabelle B.1: Zuordnung der Variablen *a* bis *d* zu den Szenarien 1 bis 4 für die Reihenfolgen R1 bis R4 (lateinisches Quadrat 4. Ordnung)

Reihenfolge Variable	R1	R2	R3	R4
<i>a</i>	1	4	3	2
<i>b</i>	2	1	4	3
<i>c</i>	3	2	1	4
<i>d</i>	4	3	2	1

B.2 Struktur des als Nebenaufgabe eingesetzten hierarchischen Menüs

- | | |
|------------------------|------------------------------|
| 1. Navigation | 2. Entertainment |
| a) Zieleingabe | a) Audio |
| i. Neues Ziel | i. CD |
| A. Postleitzahl | A. Mozart |
| B. Ort | B. Whitney Houston |
| C. Straße | C. Don Giovanni |
| D. Hausnummer | D. Kinderquatsch mit Michael |
| ii. Zielspeicher | ii. Radio |
| A. Nach Hause | A. SWR 3 |
| B. Büro | B. Antenne 1 |
| C. Sport | C. Radio Regenbogen |
| D. Lieblingsrestaurant | D. Deutschlandfunk |
| b) Optionen | b) TV |
| i. Routenoptionen | i. Quelle auswählen |
| A. Schnellste Route | A. Fernsehsender |
| B. Kürzeste Route | B. Festplatte |
| C. Beste Route | C. DVD |
| D. Dynamische Route | D. USB-Stick |
| ii. Kartenoptionen | ii. Einstellungen |
| A. 2D | A. Lautstärke |
| B. 3D | B. Bildgröße |
| C. Vogelperspektive | C. Farbeinstellungen |
| D. Zoom | D. Sendersortierung |

3. Telefon

a) Anrufe

i. Ruflisten

- A. Anrufe in Abwesenheit
- B. Gewählte Nummern
- C. Angenommene Anrufe
- D. Listen zurücksetzen

ii. Adressbuch

- A. Anna O. anrufen
- B. Sigmund F. anrufen
- C. Bertha P. anrufen
- D. Josef B. anrufen

b) Text-Mitteilungen

i. Mitteilung verfassen

- A. An Anna O.
- B. An Sigmund F.
- C. An Bertha P.
- D. An Josef B.

ii. Eingang

- A. Lesen
- B. Antworten
- C. Weiterleiten
- D. Löschen

4. Fahrzeug

a) Einstellungen

i. Fahrfunktionen

- A. Geschwindigkeitslimiter
- B. Einparkhilfe
- C. Berganfahrhilfe
- D. autom. Parkbremse

ii. Bordcomputer-Setup

- A. Uhrzeit
- B. Displayhelligkeit
- C. Sprache
- D. Maßeinheiten

b) Informationen

i. Aktuelle Fahrdaten

- A. Durchschn. Geschwindigkeit
- B. Durchschn. Verbrauch
- C. Aktueller Verbrauch
- D. Bisherige Fahrzeit

ii. Fahrzeugzustand

- A. Nächster Ölwechsel
- B. Nächster TÜV-Termin
- C. Reifendruck prüfen
- D. Bremsbeläge prüfen

B.3 Eingesetzte Fragebögen

B.3.1 Soziodemographische Erhebung

VpNr. _____ VL _____ Datum _____
(Wird vom Versuchsleiter ausgefüllt)

Fragebogen Teil 1

A. Ihre Person

Wie alt sind Sie? ____ Jahre	Sie sind:	<input type="checkbox"/> männlich	<input type="checkbox"/> weiblich
Welchen beruflichen Status haben Sie momentan?			
<input type="checkbox"/> Schüler	<input type="checkbox"/> berufstätig (Robert Bosch-Mitarbeiter)		
<input type="checkbox"/> in Ausbildung	<input type="checkbox"/> berufstätig (kein Robert Bosch-Mitarbeiter)		
<input type="checkbox"/> Student	<input type="checkbox"/> Rentner		
<input type="checkbox"/> Hausfrau/-mann	<input type="checkbox"/> nicht berufstätig		

B. Ihre Fahrgewohnheiten

Wie viele Kilometer haben Sie im letzten Jahr insgesamt am Steuer eines Pkws zurückgelegt? circa _____ Km			
Wie verteilt sich die Kilometerleistung pro Jahr auf die verschiedenen Straßentypen? (Bitte achten Sie darauf, dass die Summe 100 % ergibt)			
Stadtverkehr %	Land- Bundesstraße %	Autobahn: %	
Wie häufig haben Sie im letzten Jahr im Stau gestanden?			
<input type="checkbox"/> weniger als 1 mal pro Monat	<input type="checkbox"/> mehrmals pro Monat	<input type="checkbox"/> mehrmals pro Woche	<input type="checkbox"/> täglich

1

Bild B.1: Seite 1 des verwendeten soziodemographischen Fragebogens

Beschreiben Sie bitte mit Hilfe der folgenden Adjektivpaare Ihren persönlichen Fahrstil im Vergleich zu anderen Autofahrern.

Markieren Sie die Position zwischen den Wortpaaren, die Ihrem Fahrstil am besten entspricht. Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

Im Vergleich zu anderen Autofahrern fahre ich überwiegend...						
schnell	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	langsam
ängstlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mutig
offensiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	defensiv
vorsichtig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	risikobereit
sportlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gemütlich

2

Bild B.2: Seite 2 des verwendeten soziodemographischen Fragebogens

C. Ihr Verhalten im Stau

Wie unangenehm finden Sie es, im Stau zu stehen?

gar nicht unangenehm sehr unangenehm

Was empfinden Sie beim Stehen in einem Stau als besonders unangenehm?
(Sie können mehrere Antworten ankreuzen.)

- Zeitverlust
- Langeweile
- ständiges Anfahren und Stoppen
- Verschwendung von Treibstoff
- ständiges Achten auf den Verkehr
- Ungewissheit über Stauursache
- Gefahr von Unfällen
- Halten und ggf. Wechseln der Spur
- Bilden einer Notfallgasse
- Sonstiges: _____

Wie häufig führen Sie folgende Tätigkeiten aus, während Sie im Stau stehen?

	nie	selten	gelegentlich	oft	immer
Emails schreiben/lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zeitung lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Essen/Trinken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Im Internet surfen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Navigationsgerät bedienen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Filme schauen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3

Bild B.3: Seite 3 des verwendeten soziodemographischen Fragebogens

D. Ihre Einstellung zu Technik

Wie sehr treffen die folgenden Aussagen auf Sie zu?
Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Ich kann ziemlich viele der technischen Probleme, mit denen ich konfrontiert bin, alleine lösen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technische Geräte sind oft undurchschaubar und schwer zu beherrschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es macht mir richtig Spaß, ein technisches Problem zu knacken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weil ich mit bisherigen technischen Problemen gut zurechtgekommen bin, blicke ich auch künftigen optimistisch entgegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fühle mich technischen Problemen gegenüber so hilflos, dass ich lieber die Finger von ihnen lasse.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch wenn Widerstände auftreten, bearbeite ich ein technisches Problem weiter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich ein technisches Problem löse, so geschieht das meist durch Glück.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die meisten technischen Probleme sind so kompliziert, dass es wenig Sinn hat, sich mit ihnen auseinanderzusetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4

Bild B.4: Seite 4 des verwendeten soziodemographischen Fragebogens

E. Ihre Erfahrung mit technischen Geräten im Auto

Welche technischen Systeme sind in dem von Ihnen am häufigsten genutzten PKW vorhanden und wie oft nutzen Sie diese?

Machen Sie in jeder Zeile ein bzw. zwei Kreuze.

System	System vorhanden?			Falls vorhanden, wie häufig nutzen Sie diese Technik?				
	weiß nicht	nein	ja	nie	selten	gelegentlich	oft	immer
Tempomat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Automat. Abstandsregelung (Bsp. ACC)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einparkhilfe (Parkpilot)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Navigationssystem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bordcomputer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Multifunktionslenkrad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
aktiver Spurhalteassistent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
passiver Spurhalte-Assistent / Spurverlassenswarner	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stauassistent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Automatikgetriebe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					

5

Bild B.5: Seite 5 des verwendeten soziodemographischen Fragebogens

B.3.2 Situationsbewusstsein

SID Datum _____ VL _____ VpNr. _____

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte beziehen Sie sich bei den folgenden Fragen auf die letzte Fahr-situation, die Sie gesehen haben. Kreuzen Sie pro Frage nur ein Kästchen deutlich an.

1. Als wie sicher oder unsicher bewerten Sie das Verkehrsgeschehen in den nächsten paar Sekunden?

Sehr unsicher Sehr sicher

2. Wie muss der Stauassistent fahren, um den Abstand zum Fahrzeug vor Ihnen konstant zu halten?

Schneller Langsamer Gleich schnell

3. Wie schnell fahren Sie jetzt gerade etwa?

15 km/h 25 km/h 50 km/h Ich weiß nicht

4. Müssen Sie sich in den nächsten Sekunden auf eine Kollision vorbereiten?

Ja Nein

5. Besteht gerade eine mögliche Gefahrenquelle?

Ja Nein

Falls ja, welche? _____

6. Wer blinkt jetzt gerade?

Das Fahrzeug links von Ihnen Das Fahrzeug rechts von Ihnen Das Fahrzeug vor Ihnen Niemand

7. Wie schnell fährt das Fahrzeug links von Ihnen verglichen mit Ihrem eigenen Fahrzeug?

Schneller Langsamer Gleich schnell Ich weiß nicht

8. Was möchte das Fahrzeug rechts von Ihnen in den nächsten Sekunden machen?

Die eigene Spur verlassen Anhalten Überholen Nichts davon

9. Befinden Sie sich in der Mitte der Fahrspur?

Ja Nein

10. Müssen Sie in den nächsten Sekunden in den Verkehr eingreifen?

Ja Nein

Falls ja, was müssen Sie tun? _____

Bild B.6: SAGAT - Fragebogen im Dummy - Freezing D1

S1K Datum _____ VL _____ VpNr. _____

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte beziehen Sie sich bei den folgenden Fragen auf die letzte Fahr situation, die Sie gesehen haben. Kreuzen Sie pro Frage nur ein Kästchen deutlich an.

1. Als wie sicher oder unsicher bewerten Sie das Verkehrsgeschehen in den nächsten paar Sekunden?

Sehr unsicher Sehr sicher




2. Was macht das Fahrzeug vor Ihnen jetzt gerade?

Beschleunigen Bremsen Blinken Nichts davon

3. Was für ein Fahrzeug befindet sich rechts neben Ihnen?

PKW LKW Ich weiß nicht

4. Welches Verkehrszeichen haben Sie zuletzt gesehen?

   Ich weiß nicht

5. Hat der Stauassistent die Verkehrslage unter Kontrolle?

Ja Nein

6. Welche Farbe hat das Auto vor Ihnen?

Rot Silber Blau Ich weiß nicht

7. Womit rechnen Sie in den nächsten Sekunden? Dass der Stauassistent...

Bremsst Beschleunigt Die aktuelle Geschwindigkeit beibehält

8. Besteht gerade eine mögliche Gefahrenquelle?

Ja Nein

Falls ja, welche? _____

9. Wer will jetzt gerade die Spur wechseln?

Das Fahrzeug links von Ihnen Das Fahrzeug rechts von Ihnen Ihr eigenes Fahrzeug Niemand

10. Müssen Sie jetzt gerade in den Verkehr eingreifen?

Ja Nein

Falls ja, was müssen Sie tun? _____

Bild B.7: SAGAT - Fragebogen in Freezing K1

S2D Datum _____ VL _____ VpNr. _____

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte beziehen Sie sich bei den folgenden Fragen auf die letzte Fahr-situation, die Sie gesehen haben. Kreuzen Sie pro Frage nur ein Kästchen deutlich an.

1. Als wie sicher oder unsicher bewerten Sie das Verkehrsgeschehen in den nächsten paar Sekunden?

Sehr unsicher Sehr sicher

2. Wer verlässt in den nächsten Sekunden seine eigene Spur?

Das Fahrzeug links von Ihnen Das Fahrzeug rechts von Ihnen Ihr eigenes Fahrzeug Niemand

3. Was ist die zulässige Höchstgeschwindigkeit?

80 km/h 100 km/h 120 km/h Ich weiß nicht

4. Können Sie gerade auf die rechte Spur wechseln?

Ja Nein Ich weiß nicht

5. Befinden Sie sich in der Mitte der Fahrspur?

Ja Nein

6. Besteht gerade eine mögliche Gefahrenquelle?

Ja Nein

Falls ja, welche? _____

7. Welche Farbe hat das Auto links von Ihnen?

Grün Orange Blau Ich weiß nicht

8. Wie fährt das Fahrzeug links neben Ihnen verglichen mit Ihrem eigenen Fahrzeug?

Schneller Langsamer Gleich schnell Ich weiß nicht

9. Wie muss der Stauassistent fahren, um den Abstand zum Fahrzeug links von Ihnen konstant zu halten?

Weiter links Weiter rechts Unverändert Ich weiß nicht

10. Müssen Sie jetzt gerade in den Verkehr eingreifen?

Ja Nein

Falls ja, was müssen Sie tun? _____

Bild B.8: SAGAT - Fragebogen im Dummy - Freezing D2

SZK _____ Datum _____ VL _____ VpNr. _____

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte beziehen Sie sich bei den folgenden Fragen auf die letzte Fahr-situation, die Sie gesehen haben. Kreuzen Sie pro Frage nur ein Kästchen deutlich an.

1. Als wie sicher oder unsicher bewerten Sie das Verkehrsgeschehen in den nächsten paar Sekunden?

Sehr unsicher Sehr sicher

2. Wer blinkt jetzt gerade?

Das Fahrzeug auf der linken Spur Das Fahrzeug auf der rechten Spur Das Fahrzeug vor Ihnen Niemand

3. Was macht das Fahrzeug rechts von Ihnen in den nächsten Sekunden?

Die Spur wechseln Überholen Bremsen Nichts davon

4. Wie schnell fahren Sie gerade etwa?

5 km/h 20 km/h 50 km/h Ich weiß nicht

5. Besteht gerade eine mögliche Gefahrenquelle?

Ja Nein

Falls ja, welche? _____

6. Wie schnell fährt das Fahrzeug links von Ihnen verglichen mit Ihrem eigenen Fahrzeug?

Schneller Langsamer Gleich schnell Ich weiß nicht

7. Wie ist der weitere Straßenverlauf?

Gerade Rechtskurve Linkskurve Ich weiß nicht

8. Wer will jetzt gerade die Spur wechseln?

Das Fahrzeug auf der linken Spur Das Fahrzeug auf der rechten Spur Das Fahrzeug vor Ihnen Niemand

9. Womit rechnen Sie in den nächsten Sekunden? Dass der Stauassistent...

Bremsst Beschleunigt Die aktuelle Geschwindigkeit beibehält

10. Müssen Sie in den nächsten Sekunden in den Verkehr eingreifen?

Ja Nein

Falls ja, was müssen Sie tun? _____

Bild B.9: SAGAT - Fragebogen in Freezing K2

S3K Datum _____ VL _____ VpNr. _____

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte beziehen Sie sich bei den folgenden Fragen auf die letzte Fahrsituation, die Sie gesehen haben. Kreuzen Sie pro Frage nur ein Kästchen deutlich an.

1. Als wie sicher oder unsicher bewerten Sie das Verkehrsgeschehen in den nächsten paar Sekunden?

Sehr unsicher Sehr sicher




2. Auf welcher Spur kommt man momentan am schnellsten voran?

Auf der rechten Spur Auf der linken Spur Auf Ihrer eigenen Spur Ich weiß nicht

3. Womit rechnen Sie in den nächsten Sekunden? Dass der Stauassistent...

Nach links lenkt Nach rechts lenkt Unverändert weiterfährt

4. Welches Verkehrszeichen haben Sie zuletzt gesehen?

   Ich weiß nicht

5. Wie muss Ihr Fahrzeug in den nächsten Sekunden fahren, um den seitlichen Abstand zum Fahrzeug rechts von Ihnen konstant zu halten?

Weiter links Weiter rechts Unverändert

6. Befinden Sie sich in der Mitte der Fahrspur?

Ja Nein

7. Besteht gerade eine mögliche Gefahrenquelle?

Ja Nein

Falls ja, welche? _____

8. Wer will in den nächsten Sekunden seine Spur verlassen?

Das Fahrzeug auf der linken Spur Das Fahrzeug auf der rechten Spur Niemand

9. Auf was für einem Streckenabschnitt befinden Sie sich gerade?

Gerade Rechtskurve Linkskurve Ich weiß nicht

10. Müssen Sie in den nächsten Sekunden in den Verkehr eingreifen?

Ja Nein

Falls ja, was müssen Sie tun? _____

Bild B.10: SAGAT - Fragebogen in Freezing K3

S4K Datum _____ VL _____ VpNr. _____

Liebe/r Teilnehmer/in,

bitte beziehen Sie sich bei den folgenden Fragen auf die letzte Fahrsituation, die Sie gesehen haben. Kreuzen Sie pro Frage nur ein Kästchen deutlich an.

1. Als wie sicher oder unsicher bewerten Sie das Verkehrsgeschehen in den nächsten paar Sekunden?

Sehr unsicher Sehr sicher

2. Wer kommt gerade von seiner Spur ab?

Das Fahrzeug links von Ihnen Das Fahrzeug rechts von Ihnen Ihr eigenes Fahrzeug Niemand

3. Was ist die zulässige Höchstgeschwindigkeit?

100 km/h 120 km/h Unbegrenzt Ich weiß nicht

4. Welche Farbe hat das Fahrzeug rechts neben Ihnen?

Silber Rot Blau Ich weiß nicht

5. Befinden Sie sich in der Mitte der Fahrspur?

Ja Nein

6. Auf welcher Spur kommt man momentan am langsamsten voran?

Auf der rechten Spur Auf der linken Spur Auf Ihrer eigenen Spur Ich weiß nicht

7. Besteht gerade eine mögliche Gefahrenquelle?

Ja Nein

Falls ja, welche? _____

8. Wie schnell fahren Sie jetzt gerade etwa?

5 km/h 15 km/h 25 km/h Ich weiß nicht

9. Hat der Stauassistent die Verkehrslage unter Kontrolle?

Ja Nein

10. Müssen Sie jetzt gerade in den Verkehr eingreifen?

Ja Nein

Falls ja, was müssen Sie tun? _____


Bild B.11: SAGAT - Fragebogen in Freezing K4

B.3.3 Workload


Bed 2-6
 VpNr. _____ Datum _____


Fragebogen zur Beanspruchung


Bitte geben Sie bei den folgenden Fragen an, wie anstrengend oder beanspruchend Sie verschiedene Aspekte der Fahraufgabe und der Bedienung des Menüs empfunden haben. Markieren Sie dazu auf den folgenden Skalen jeweils genau einen Wert *zwischen* zwei Strichen, z.B.:





sehr gering sehr hoch


1. Wie geistig anstrengend empfanden Sie die Ausführung der Fahraufgabe gemeinsam mit der Bedienung des Menüs?


sehr gering sehr hoch
Anstrengung bei Ausführung der Fahraufgabe und Bedienung des Menüs
2. Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die Fahraufgabe ausgeführt, d.h. wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Gesamtfahrleistung unter Berücksichtigung von z.B. Unfällen, dem Umgang mit Gefahrensituationen etc.?


sehr gering sehr hoch
Zufriedenheit mit der Gesamtfahrleistung
3. Wie schwierig war es für Sie, Gefahrensituationen im Straßenverkehr zu erkennen, ggf. unter Zuhilfenahme von Hinweisen des Fahrassistenzsystems?


sehr einfach sehr schwer
Erkennen von gefährlichen Situationen
4. Wie geistig anstrengend empfanden Sie die Überwachung des Verkehrs?


sehr gering sehr hoch
Anstrengung bei der Überwachung des Verkehrs
5. Wie geistig anstrengend empfanden Sie die Überwachung und ggf. Bedienung des Stauassistenten?


sehr gering sehr hoch
Anstrengung bei der Überwachung und ggf. Bedienung des Stauassistenten
6. Wie geistig anstrengend empfanden Sie die Bedienung des Menüs?


sehr gering sehr hoch
Anstrengung bei der Bedienung des Menüs

Bild B.12: Workload - Fragebogen

B.3.4 Akzeptanz

VpNr. _____ VL _____ Datum _____
 (Wird vom Versuchsleiter ausgefüllt)

Im Folgenden werden Ihnen verschiedene Fragen zu dem Stauassistenten gestellt, den Sie während der Fahrt kennen gelernt haben. Hierbei ist es wichtig, dass Sie zwischen dem eigentlichen Stauassistenten und der davon unabhängigen Menüaufgabe strikt trennen.

Bewerten Sie bitte nur den Stauassistenten und nicht die Menüaufgabe!

A. Wie attraktiv ist der Stauassistent?

Bitte beurteilen Sie den Stauassistenten 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 den Stauassistenten am besten beschreibt.

Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

Ich finde den Stauassistenten:					
anregend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ermüdend
dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
müde	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	frisch
stark	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schwach
aktiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	passiv
schnell	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	langsam
unangenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	angenehm
effektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ineffektiv
erstrebenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht erstrebenswert
kontrollierbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unkontrollierbar
gut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schlecht
ideenlos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	innovativ
langweilig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	interessant
nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nutzlos
unbequem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	komfortabel
kühl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gefühlvoll
wichtig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwichtig
gefährlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sicher
erfreulich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ärgerlich

1

Bild B.13: Seite 1 des eingesetzten Akzeptanz - Fragebogens

B. Welche Eigenschaften hat der Stauassistent?

Bitte bewerten Sie die verschiedenen Eigenschaften des Stauassistenten.

Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Der Stauassistent fördert die körperliche Entspannung beim Fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent wirkt glaubwürdig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent erhöht den Fahrgegnuss.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent lenkt davon ab, Gefahren rechtzeitig zu erkennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahren mit dem System macht keinen Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent erhöht die Verkehrssicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch den Stauassistenten wird die Umwelt beim Fahren weniger belastet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit dem System kann man sportlich fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent schadet dem Image des Fahrers.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bild B.14: Seite 2 des eingesetzten Akzeptanz - Fragebogens

	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Der Stauassistent macht auch mal Fehler.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent kann vor Verkehrsverstößen bewahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Erlernen der Bedienung des Stauassistenten ist schwierig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Nutzer kann die Funktionen des Stauassistenten selbst steuern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent wird nur von Leuten genutzt, die sich im Straßenverkehr nicht sicher fühlen.	<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"/>
Beim Bedienen des Stauassistenten kommt man schnell zum gewünschten Ergebnis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent fördert den Stress beim Fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent macht das Autofahren langweilig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dank des Stauassistenten ist man auch noch nach längeren Fahrten entspannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3

Bild B.15: Seite 3 des eingesetzten Akzeptanz - Fragebogens

	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Man kann stolz sein, wenn man anderen den Stauassistenten vorführt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent trägt dazu bei, das Unfallrisiko der Autofahrer zu senken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Informationen, die der Stauassistent ausgibt, sind für den Nutzer ungenügend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es wäre mir vor meinen Kollegen peinlich, den Stauassistenten zu benutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent ist verlässlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent unterstützt eine umweltfreundliche Fahrweise.	<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"/>
Mit dem System kann man Sprit sparen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Stauassistent 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"/>

4

Bild B.16: Seite 4 des eingesetzten Akzeptanz - Fragebogens

C. Was bringt mir der Stauassistent?

Für wie wahrscheinlich halten Sie folgende Konsequenzen, die sich aus dem Kauf bzw. der Nutzung des Stauassistenten für Sie ergeben könnten? Bewerten Sie nur den Stauassistenten und nicht die Menüaufgabe.

Machen Sie in jeder Zelle ein Kreuz.

	sehr unwahrscheinlich	eher unwahrscheinlich	weder noch	eher wahrscheinlich	sehr wahrscheinlich
Wenn ich den Stauassistenten hätte...					
... würde ich im Stau mehr Nebentätigkeiten durchführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... könnte ich Unfälle im Stau besser vermeiden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... wäre ich beim Fahren im Stau entspannter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... würde ich mich im Stau sicherer fühlen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... fände ich das Fahren im Stau weniger unangenehm.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... würde er mich vom Verkehr ablenken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... würde ich mich im Stau unsicherer fühlen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... könnte ich die Zeit im Stau sinnvoller nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sonstiges: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bild B.17: Seite 5 des eingesetzten Akzeptanz - Fragebogens

D. Würden Sie den Stauassistenten kaufen?

Bitte beurteilen Sie **spontan** die nachfolgenden Aussagen. Bewerten Sie nur den Stauassistenten und nicht die Menüaufgabe.

Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Ich würde den Stauassistenten gern besitzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich werde den Stauassistenten nicht kaufen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim nächsten Autokauf werde ich den Stauassistenten in Betracht ziehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bild B.18: Seite 6 des eingesetzten Akzeptanz - Fragebogens

E. Welchen Wert hat der Stauassistent für Sie?

Wie wichtig ist es Ihnen, folgende Systeme in Ihrem Auto zu haben?
 Bitte vergeben Sie die Plätze 1 bis 8 (Platz 1 = wichtigstes System;
 Platz 8 = unwichtigstes System).

Vergeben Sie jeden Platz nur einmal.

System	Funktion	Platz
Notbremssystem	Vermindert die Unfallschwere bei Kollisionen durch Bremsenengriffe.	—
Tempomat	Hält eine vom Fahrer eingestellte Geschwindigkeit.	—
Einparkassistent	Vermisst mittels Ultraschallsensoren die Parklücke und parkt automatisch ein.	—
Spurverlassenswarner	Warnt den Fahrer, wenn er von der Spur abzukommen droht.	—
Stauassistent	Hält im Stau den Abstand zum Vordermann und hält die Spur.	—
Klimaanlage	Heizt oder kühlt auf Wunsch die Luft im Fahrzeuginnenraum.	—
Automatische Abstandsregelung (z.B. ACC)	Hält einen konstanten Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ein.	—
aktiver Spurhalteassistent	Unterstützt den Fahrer durch Mitlenken bei der Spurhaltung.	—

Bild B.19: Seite 7 des eingesetzten Akzeptanz - Fragebogens

C Ergebnisse der Fahrsimulatorstudie

C.1 Blickerfassung

Tabelle C.1: Prozentuale Zeitanteile aller Blicke in die jeweilige AOI. Es sind die Mittelwerte der einzelnen Gruppen angegeben (Standardabweichung in Klammern).

AOI	W/O NA	ACC	SLOW	VOLL	SIFA	VIDEO
FSZ	82,83 (9,57)	62,66 (14,87)	58,71 (12,57)	64,26 (8,15)	56,85 (6,54)	61,42 (10,62)
HUD	3,43 (3,32)	6,29 (4,68)	6,12 (4,62)	4,09 (3,19)	11,26 (4,91)	4,04 (2,48)
NA	0,02 (0,02)	15,72 (6,13)	17,50 (2,24)	18,49 (6,47)	17,87 (6,51)	18,65 (4,06)
VB	0,03 (0,04)	0,23 (0,38)	0,19 (0,20)	0,21 (0,25)	0,44 (0,82)	2,69 (3,22)

Tabelle C.2: Signifikanzniveaus der Gruppenvergleiche jeweils mit *VOLL*. Es sind die p-Werte einer Kontraste-Analyse angegeben. Bei signifikanten Effekten ist zusätzlich die Effektrichtung der jeweiligen Bedingung im Vergleich mit *VOLL* in Pfeilform angegeben.

AOI	<i>W/O NA</i>	<i>ACC</i>	<i>SLOW</i>	<i>SIFA</i>	<i>VIDEO</i>
FSZ	0,000** ↑	0,691	0,110	0,026* ↓	0,410
HUD	0,540	0,209	0,145	0,000** ↑	0,956
NA	0,000** ↓	0,276	0,550	0,771	0,928
VB	0,007** ↓	0,861	0,787	0,237	0,006** ↑

C.2 SAGAT-scores

Tabelle C.3: SAGAT-score ($= \sum$ aller richtig beantworteten relevanten Fragen) der einzelnen Gruppen. Es sind Mittelwerte angegeben (Standardabweichung in Klammern).

Freezing	W/O NA	ACC	SLOW	VOLL	SIFA	VIDEO
K1	3,82 (1,40)	3,50 (1,54)	4,04 (1,30)	3,73 (1,75)	3,33 (1,91)	2,77 (1,80)
K2	3,00 (1,57)	1,95 (1,65)	2,48 (1,56)	1,64 (1,53)	1,35 (1,19)	2,55 (1,79)
K3	2,55 (1,68)	3,41 (0,91)	1,96 (1,58)	1,17 (0,83)	1,77 (1,27)	2,05 (1,68)
K4	2,95 (1,94)	2,36 (1,05)	1,09 (1,38)	1,96 (2,12)	1,39 (2,08)	1,91 (2,39)

Tabelle C.4: Signifikanzniveaus der SAGAT-scores jeweils im Vergleich mit *VOLL*. Es sind die p-Werte einer Kontraste-Analyse angegeben. Bei signifikanten Ergebnissen ist zusätzlich die Effektrichtung des Vergleichs in Pfeilform angegeben.

Freezing	W/O NA	ACC	SLOW	SIFA	VIDEO
K1	0,853	0,643	0,515	0,428	0,054 ↓
K2	0,004 ** ↑	0,449	0,072 ↑	0,536	0,055 ↑
K3	0,002 ** ↑	0,000 ** ↑	0,043 * ↑	0,071 ↑	0,036 * ↑
K4	0,107	0,417	0,130	0,367	0,944

C.3 Interaktion mit der Nebenaufgabe

Wie in Kapitel 6.3.4 angegeben, wird das Szenario 1 hier aufgrund der sehr kurzen Ablaufdauer nicht in die Bewertung einbezogen.

Tabelle C.5: Anzahl der angenommenen kritischen Nebenaufgaben in den Szenarien 2 bis 4 (Anteil an der gültigen Grundgesamtheit in Klammern).

Szenario	<i>ACC</i>	<i>SLOW</i>	<i>VOLL</i>	<i>SIFA</i>	<i>VIDEO</i>
2	14 (67 %)	18 (78 %)	15 (65 %)	14 (64 %)	16 (73 %)
3	12 (55 %)	19 (83 %)	16 (70 %)	14 (64 %)	14 (64 %)
4	-	21 (91 %)	17 (94 %)	14 (67 %)	11 (50 %)

Tabelle C.6: Signifikanzniveaus des Annahmeverhaltens der Nebenaufgaben jeweils im Vergleich mit *VOLL*. Es sind die p-Werte von χ^2 -Analysen angegeben. Bei signifikanten Ergebnissen ist zusätzlich die Effektrichtung des Vergleichs in Pfeilform angegeben.

Szenario	<i>ACC</i>	<i>SLOW</i>	<i>SIFA</i>	<i>VIDEO</i>
2	0,919	0,326	0,912	0,586
3	0,299	0,300	0,673	0,673
4	-	0,120	0,599	0,098 ↓

Tabelle C.7: Mittelwerte der Bearbeitungsdauer der kritischen Nebenaufgaben in [s] (Standardabweichungen in Klammern).

Szenario	<i>ACC</i>	<i>SLOW</i>	<i>VOLL</i>	<i>SIFA</i>	<i>VIDEO</i>
1	10,04 (2,15)	11,39 (2,57)	11,38 (4,72)	12,48 (1,70)	10,01 (1,77)
2	10,00 (2,93)	10,57 (2,22)	7,88 (3,10)	9,18 (2,85)	11,46 (3,34)
3	8,92 (3,21)	8,22 (2,93)	8,41 (2,49)	8,45 (2,55)	8,18 (2,37)
4	-	9,40 (2,36)	9,21 (1,74)	7,61 (1,32)	5,45 (-) ^a

^akeine Standardabweichung, da N = 1

Tabelle C.8: Signifikanzniveaus Bearbeitungsdauer der kritischen Nebenaufgaben jeweils im Vergleich mit *VOLL*. Es sind die p-Werte von Kontrast-Analysen angegeben. Bei signifikanten Ergebnissen ist zusätzlich die Effektrichtung des Vergleichs in Pfeilform angegeben.

Szenario	<i>ACC</i>	<i>SLOW</i>	<i>SIFA</i>	<i>VIDEO</i>
K1	0,620	0,996	0,682	0,612
K2	0,209	0,065* ↑	0,483	0,038* ↑
K3	0,683	0,880	0,975	0,869
K4	-	0,888	0,373	0,146

C.4 Reaktionszeiten

Tabelle C.9: Reaktionszeiten der einzelnen Gruppen. Es sind Mittelwerte angegeben (Standardabweichung in Klammern).

Szenario	Variable	W/O NA	ACC	VOLL	SLOW	SIFA	VIDEO
1	RZ	1,16 (0,30)	1,03 (0,26)	1,10 (0,30)	1,25 (0,29)	1,25 (0,27)	1,26 (0,42)
2	RZ	1,29 (0,65)	1,40 (0,90)	1,06 (0,43)	1,81 (0,87)	1,51 (0,85)	1,88 (0,84)
3	RZ	17,47 (2,89)	-	20,71 (7,11)	18,33 (4,48)	16,64 (3,67)	19,97 (4,47)
4	RZ	9,38 (1,12)	-	9,96 (2,82)	9,82 (1,67)	9,49 (1,06)	10,82 (2,46)
1	TTC_{min}	0,47 (0,15)	0,45 (0,09)	0,38 (0,13)	0,45 (0,10)	0,33 (0,05)	0,42 (0,00)
4	TLC_{min}	8,87 (4,63)	-	8,97 (7,62)	8,61 (6,36)	10,62 (5,62)	6,89 (5,57)

Tabelle C.10: Signifikanzniveaus der Reaktionszeiten jeweils im Vergleich mit *VOLL*. Es sind die p-Werte einer Kontraste-Analyse angegeben. Bei signifikanten Ergebnissen ist zusätzlich die Effektrichtung des Vergleichs in Pfeilform angegeben.

Szenario	Variable	<i>W/O NA</i>	<i>ACC</i>	<i>SLOW</i>	<i>SIFA</i>	<i>VIDEO</i>
1	RZ	0,343	0,019* ↓	0,098 ↓	0,941	0,857
2	RZ	0,045* ↓	0,131	0,004** ↓	0,250	0,780
3	RZ	0,508	-	0,225	0,224	0,310
4	RZ	0,345	-	0,848	0,487	0,161
1	TTC_{min}	0,772	0,997	0,272	0,033* ↓	0,514
4	TLC_{min}	0,889	-	0,851	0,316	0,371

C.5 Kollisionen

Tabelle C.11: Anzahl von Kollisionen in den jeweiligen Gruppen und Szenarien (Prozentuale Anteile in Klammern).

Szenario	W/O NA	ACC	SLOW	VOLL	SIFA	VIDEO
1	9 (56%)	7 (37%)	7 (39%)	11 (61%)	18 (82%)	18 (90%)
2	0 (0%)	2 (10%)	1 (5%)	2 (9%)	1 (4%)	2 (9%)
3	1 (5%)	4 (18%)	2 (9%)	5 (22%)	1 (5%)	4 (18%)
4	0 (0%)	-	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (10%)

Tabelle C.12: Signifikanzniveaus der Gruppenvergleiche jeweils mit *VOLL*. Es sind die p-Werte einer χ^2 -Analyse angegeben. Bei signifikanten Effekten ist zusätzlich die Effektrichtung der jeweiligen Bedingung im Vergleich mit *VOLL* in Pfeilform angegeben.

Szenario	W/O NA	ACC	SLOW	SIFA	VIDEO
1	0,774	0,140	0,182	0,145	0,036* ↑
2	0,157	0,883	0,577	0,550	0,963
3	0,101	0,766	0,218	0,090 ↓	0,766
4	-	0,167	-	-	0,147

C.6 Workload

Tabelle C.13: Subjektive Bewertung der Beanspruchung auf verschiedenen Messdimensionen. Es sind Mittelwerte auf einer Skala von 1 bis 20 angegeben (Standardabweichung in Klammern).

Dimension	W/O NA	ACC	SLOW	VOLL	SIFA	VIDEO
1^a	5,95 (3,21)	7,00 (3,77)	8,78 (4,01)	8,91 (3,69)	9,04 (4,47)	8,32 (3,68)
2^b	-	9,05 (5,00)	8,74 (4,77)	8,22 (3,63)	8,36 (5,76)	7,82 (3,13)
3^c	9,32 (4,78)	10,23 (4,08)	9,61 (3,80)	11,09 (4,86)	10,52 (4,46)	10,68 (4,28)
4^d	5,09 (3,19)	8,00 (4,99)	8,43 (4,58)	6,52 (3,82)	8,87 (4,91)	5,05 (2,92)
5^e	6,86 (3,37)	11,14 (5,19)	10,87 (3,57)	10,56 (4,15)	12,13 (4,50)	10,36 (3,87)

^aErkennung von Gefahren

^bBedienung der NA

^cÜberwachung des Verkehrs

^dÜberwachung und Bedienung des Systems

^eAusführung der Fahraufgabe

Tabelle C.14: Signifikanzniveaus der Gruppenvergleiche jeweils mit *VOLL*. Es sind die p-Werte einer Kontraste-Analyse angegeben. Bei signifikanten Effekten ist zusätzlich die Effektrichtung der jeweiligen Bedingung im Vergleich mit *VOLL* in Pfeilform angeben.

Dimension	W/O NA	ACC	SLOW	SIFA	VIDEO
1^a	0,011* ↓	0,096 ↓	0,908	0,908	0,603
2^b	-	0,536	0,679	0,920	0,694
3^c	0,179	0,513	0,256	0,663	0,758
4^d	0,179	0,280	0,132	0,078 ↑	0,152
5^e	0,002** ↓	0,687	0,791	0,227	0,867

^aErkennung von Gefahren

^bBedienung der NA

^cÜberwachung des Verkehrs

^dÜberwachung und Bedienung des Systems

^eAusführung der Fahraufgabe

D Abkürzungen, Glossar und Formelzeichen

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Antiblockiersystem
ACC	Adaptive Cruise Control
ACC S&G	Adaptive Cruise Control Stop & Go
AOI	Area of Interest
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
EPS	Electric Power Steering
ESP	Elektronisches Stabilitäts Programm
FAS	Fahrerassistenzsystem
FSZ	Fahrscene
Fzg.	Fahrzeug
GIDAS	German In-Depth Accident Study
HAVEit	Highly automated vehicles for intelligent transport
HMI	Human-Machine Interface
HUD	Head-Up Display
ICA	Integrated Cruise Assist
INVENT	Intelligenter Verkehr und Nutzergerechte Technik
LKS	Lane Keeping Support
MART	Malleable Attentional Resources Theory
NA	Nebenaufgabe
NASA-TLX	NASA Task Load Index
OEM	Original Equipment Manufacturer
QR	Querregler

RZ	Reaktionszeit
SAGAT	Situation Awareness Global Assessment Technique
SiFa	Sicherheitsfahrerschaltung
StVO	Straßenverkehrsordnung
TCA	Traffic Congestion Assistant
TLC	Time-to-Linecrossing
TRIZ	Theorie des erfinderischen Problemlösens
TTC	Time-to-Collision
VB	Videobild
VPn	Versuchsperson
WSS	Windschutzscheibe
ZO	Zielobjekt

Glossar

Aufmerksamkeitsfeld

Ausschnitt aus der Umgebung, auf den bewusst geachtet wird [153].

automatisiertes Fahrerassistenzsystem

Technisches System, welches die Bahnführung eines Fahrzeugs ganz oder teilweise automatisiert. Für Details zur genaueren Einteilung der Automatisierungsgrade sei auf Kapitel 2.1.2 verwiesen.

Bahnführung

Unter Bahnführung wird die Wahl der Fahrzeugtrajektorie in längs und quer zur Fahrtrichtung auf der zur Verfügung stehenden Infrastruktur betrachtet. Sie erfolgt durch den Fahrer durch Längsführung und Querführung.

Complacency

Ein übermäßiges Vertrauen in die Automation infolgedessen es zur Vernachlässigung der Überwachungsaufgabe kommt [107]. Siehe auch Kapitel 2.3.1.

Deckeneffekt

Durch Überschreiten des Messbereichs hervorgerufener Messfehler.

Drei-Phasen-Verkehrstheorie

Theorie nach der der Verkehr in drei Phasen unterteilt werden kann: freier Verkehr, synchronisierter Verkehr und sich bewegender, breiter Stau. Siehe auch Kapitel 3.1.1.

EGO-Fahrzeug

Das eigene Fahrzeug.

Exzentrizitätswinkel

Winkel zwischen der fokussierten Blickrichtung und der Richtung aus der ein relevanter Reiz sichtbar wird.

Fahraufgabe

Die Aufgabe des Fahrers, das Fahrzeug mit seinen Passagieren oder seinem Transportgut unter Nutzung der verfügbaren sensorischen Informationen mit Hilfe motorischer Eingriffe über die Betätigungseinrichtungen des Fahrzeugs von einem Ausgangsort zu einem Zielort zu bringen. Im Kontext dieser Arbeit wird die Bahnführung des Fahrzeugs als Fahraufgabe betrachtet.

Gamification

Verwendung von spieltypischen Elementen außerhalb von Spielen [31].

Infotainment-Display

Das Infotainment-Display ist in der Mittelkonsole auf der gleichen Höhe wie das Kombiinstrument angeordnet. Es wird zur Anzeige von Informationen über Navigations-, Audio-, Telefon- und Heizungssystemen verwendet [77].

Kombiinstrument

Das Kombiinstrument wird für die Darstellung fahrerrelevanter Daten wie z. B. der aktuellen Fahrgeschwindigkeit verwendet [77]. Es ist hinter dem Lenkrad angeordnet.

Längsführung

Der Begriff der Längsführung umfasst alle Vorgänge, die die Dynamik des Fahrzeugs längs zur Fahrtrichtung betreffen. Sie erfolgt durch den Fahrer über die Stellglieder Gas und Bremse.

Mode Awareness

Verständnis darüber, in welchem Zustand sich ein System gerade befindet und welche Veränderungen bevorstehen.

Querablage

Lateraler Versatz des Fahrzeugs innerhalb der eigenen Fahrspur .

Querführung

Der Begriff der Querführung umfasst alle Vorgänge, die die Dynamik des Fahrzeugs quer zur Fahrtrichtung betreffen. Sie erfolgt durch den Fahrer über das Lenkrad.

SAGAT-score

Summe der korrekt beantworteten relevanten Fragen in den SAGAT-Fragebögen.

Situationsbewusstsein

Das Situationsbewusstsein ist die Wahrnehmung der relevanten Elemente in der Umgebung, das Verständnis über Ihre Bedeutung sowie eine Antizipation ihres zukünftigen Status. Für nähere Informationen sei auf Kapitel 2.2.4 verwiesen.

Theorie der Risikohomöostase

Auch Theorie der Risikokompensation. Diese Theorie besagt, dass Menschen ihr Verhalten in einem Regelkreis derartig anpassen, dass das wahrgenommene Maß an Risiko konstant bleibt. Siehe auch Kapitel 2.2.5.

Transition

Zustandsübergang in einem Zustandsautomaten.

Verkehrsdichte

Anzahl der Fahrzeug (Fzg.) eines Verkehrsstroms je Wegeinheit zu einem Zeitpunkt [50]. Siehe auch Kapitel 3.1.1.

Verkehrsstärke

Anzahl der Fzg. eines Verkehrsstroms je Zeiteinheit an einem Querschnitt [50]. Siehe auch Kapitel 3.1.1.

Vigilanz

Lat. *vigilantia*: „Wachheit“, „Schlauheit“; „Fähigkeit zur genauen

Wahrnehmung und Reaktionsbereitschaft auf seltene Reize über einen längeren Zeitraum hinweg“ [22], siehe auch Kapitel 2.2.2.

Workload

Mentale Beanspruchung eines Individuums, siehe auch Kapitel 2.2.3.

Zustandsautomat

Verhaltensmodell informationsverarbeitender Systeme.

Formelzeichen und Symbole

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$a_{x,min}$	Maximale Verzögerung	$[\frac{m}{s^2}]$
d_{long}	Longitudinaler Abstand	[m]
d_{stop}	Anhaltewege	[m]
k	Dichte des Verkehrsstroms	[Fzg / Weg]
q	Stärke des Verkehrsstroms	[Fzg / Zeit]
τ	Zeitlücke	[s]
TLC_{min}	Minimale Time-to-Linecrossing (TLC)	[s]
t_{rec}	Objekterkennungszeit	[m]
TTC_{min}	Minimale Time-to-Collision (TTC)	[s]
v_{ego}	Eigene Geschwindigkeit	$[\frac{m}{s}]$
v_{mean}	Mittlere Fahrgeschwindigkeit	$[\frac{m}{s}]$
v_{set}	Setzgeschwindigkeit	$[\frac{m}{s}]$

E Literaturverzeichnis

- [1] VDI-Richtlinie 2221: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. 1993 Online verfügbar unter www.intelligent-gamification.de/2011/05/11/was-ist-gamification/, abgerufen am 14.09.2013
- [2] Norm ISO 15622 2002. *Transport information and control systems - Adaptive Cruise Control systems - Performance requirements and test procedures*
- [3] Norm ISO 22179 2009. *Intelligent transport systems - Full speed range adaptive cruise control (FSRA) systems - Performance requirements and test procedures*
- [4] Norm DIN VDE 0119-207-5 2011. *Zustand der Eisenbahnfahrzeuge - Leittechnik - Teil 207-5: Sicherheitsfahrerschaltung (Sifa)*
- [5] *Verkehr in Zahlen 2011 / 2012*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2012
- [6] ALTSCHULLER, G. : *Erfinden - (k)ein Problem? Anleitung für Neuerer und Erfinder*. Verlag Tribüne, 1973
- [7] ARNDT, S. : *Evaluierung der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen - Modell zum Kaufverhalten von Endkunden*, Technische Universität Dresden, Diss., 2010
- [8] ASCHENBRENNER, K. M. ; BIEHL, B. ; WURM, G. W.: *Mehr Verkehrssicherheit durch bessere Technik? - Felduntersuchungen zur*

- Risikokompensation am Beispiel des Antiblockiersystems (ABS)*. Bundesanstalt für Straßenwesen, 1992
- [9] BAINBRIDGE, L. : Ironies of Automation. In: *Automatica* 19 (1983), Nr. 6, S. 775–779
- [10] BARTELS, A. : Roadmap Automatisches Fahren. In: *AAET Braunschweiger Symposium Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel* (2008), S. 350–364
- [11] BARTELS, A. ; TO, T.-B. ; KARREBERG, S. ; WEISER, A. : Hochautomatisches Fahren auf der Autobahn. In: *ATZ* 09 (2011), S. 652 – 657
- [12] BAST: *GIDAS: Den Verkehrsunfällen auf der Spur*. Online, 2009. – Online verfügbar unter http://www.bast.de/cln_033/nn_42740/SharedDocs/Publicationen/info-gidas_templateId=raw,property=publicationFile.pdf/info-gidas.pdf, abgerufen am 17.06.2013
- [13] BEIER, G. : *Kontrollüberzeugungen im Umgang mit Technik: Ein Persönlichkeitsmerkmal mit Relevanz für die Gestaltung technischer Systeme*, Humboldt - Universität zu Berlin, Diss., 2003
- [14] BERNHARD, W. ; SCHLICK, T. : Technik und Zukunft des vernetzten Fahrzeugs. In: *ATZ* 06 (2012), S. 518 – 523
- [15] BHISE, V. D. ; ROCKWELL, T. H.: Role of peripheral vision and time sharing in driving. In: *Proceedings of the 15th Annual Meeting of the American Association for Automotive Medicine*, 1972, S. 320 – 341
- [16] BLUM, A. : *Stau auf der A 81 bei Rottenburg*. Bild, 2013. – <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stau.jpg>, abgerufen am 20.06.13
- [17] BMW GROUP: *BMW Modellpflege-Maßnahmen zum Herbst*

2013. Online, September 2013. – Online verfügbar unter <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/download.html?textId=211159&textAttachmentId=256335>, abgerufen am 29.12.2014
- [18] BROOKHUIS, K. A. ; DRIEL, C. J. ; HOF, T. ; AREM, B. van ; HOEDEMAEKER, M. : Driving with a congestion assistant; mental workload and acceptance. In: *Applied Ergonomics* 40 (2008), S. 1019 – 1025
- [19] BUBB, H. : Wie viele Probanden braucht man für allgemeine Erkenntnisse aus Fahrversuchen? In: *Fahrversuche mit Probanden - Nutzwert und Risiko: Darmstädter Kolloquium* (2003), S. 26 – 39
- [20] BULD, S. ; KRÜGER, H.-P. : Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit / IZVW - Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg. 2002. – Abschlussbericht des Projekts EMPHASIS
- [21] BULD, S. ; PAULIG, J. ; KRÜGER, H.-P. : Vergleich von Fahrer- und Systemregelverhalten im Stau. In: *3. Workshop Fahrerassistenzsysteme, 2005*
- [22] BULD, S. ; TIETZE, H. ; KRÜGER, H.-P. : Auswirkungen von Teilautomation auf das Fahren. In: *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (2004), S. 161–187. – Uni Würzburg
- [23] BURKERT, A. : Sichere Apps fürs Auto. In: *ATZ* 02 (2012), S. 126 – 131
- [24] CHAN, H. S. ; COURTNEY, A. J.: Effects of Cognitive Foveal Load on a Peripheral Single-Target Detection Task. In: *Perceptual and Motor Skills* 77 (1993), S. 515 – 533
- [25] COHEN, A. S. ; HIRSIG, R. : The Role of Foveal Vision in the Process of Information Input. In: *Vision in Vehicles* 3 (1991), S. 153 – 160

- [34] DONGES, E. : Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. In: *Automobil-Industrie 2* (1982), S. 183 – 190
- [35] DONGES, E. : Fahrerhaltensmodelle. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Winner, Hermann and Hakuli, Stephan and Wolf, Gabriele, 2012, Kapitel A2, S. 15 – 23
- [36] DOSHI, A. ; TRIVEDI, M. M.: Head and eye gaze dynamics during visual attention shifts in complex environments. In: *Journal of Vision* 12 (2012), Nr. 2, S. 1 – 16
- [37] DRIEL, C. van: *Driver Support in Congestion - an Assessment of User Needs and Impacts on Driver and Traffic Flow*, Universität Twente, Diss., 2007
- [38] DRIEL, C. van ; AREM, B. van: Investigation of user needs for driver assistance: results of an Internet questionnaire. In: *European journal of transport and infrastructure Research* 4 (2005), S. 297 – 316
- [39] DURACH, S. ; HIGGEN, U. ; HUEBLER, M. : Smart Automotive Apps - An Approach to Context Driven Applications. In: *Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress*, 2012
- [40] EBEL, S. ; WILHELM, U. ; GRIMM, A. ; SAILER, U. : Ganzheitliche Absicherung von Fahrerassistenzsystemen in Anlehnung an ISO 26262. In: *VDI-Berichte* 2104 (2010), S. 393 – 405
- [41] EHMANN, D. ; ZAHN, P. ; SPANNHEIMER, H. ; FREYMAN, R. : Integrierte Längs- und Querführung - ein neues Konzept für Fahrerassistenzsysteme. In: *ATZ* 4 (2003), S. 346 – 352
- [42] ENDSLEY, M. R.: Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement. In: *Proceedings of the Human Factors Society* 32 (1988), S. 97 – 101
- [43] ENDSLEY, M. R.: Toward a Theory of Situation Awareness in Dy-

- dynamic Systems. In: *Human Factors* 37 (1995), Nr. 1, S. 32 – 64
- [44] ENDSLEY, M. R.: Measurement of Situation Awareness in Dynamic Systems. In: *Human Factors* 37 (1995), Nr. 1, S. 65 – 84
- [45] *Kapitel 7*. In: ENDSLEY, M. R.: *Direct measurement of situation awareness: validity and use of SAGAT*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2000
- [46] ENDSLEY, M. R. ; JONES, D. G.: *Designing for Situation Awareness - An Approach to User-Centered Design*. Taylor & Francis, 2012
- [47] ENDSLEY, M. R. ; KIRIS, E. O.: The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. In: *Human Factors* 37 (1995), Nr. 2, S. 381 – 394
- [48] ERGONEERS GMBH: *Das Dikablis Blickerfassungssystem*. Bild, . – www.ergoneers.de, abgerufen am 14.08.2013
- [49] FLEMISCH, F. ; SCHIEBEN, A. ; TEMME, G. ; HEESEN, M. : Research questions, development and evaluation process, use cases and general interaction schemes for the HAVEit Highly Automated Vehicle Systems. In: FLEMISCH, F. (Hrsg.) ; SCHIEBEN, A. (Hrsg.): *Deliverable D33.3 Validation of preliminary design by simulation*, HAVEit Consortium, 2009, S. 18 – 34
- [50] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV): *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen*. 2005
- [51] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV) - ARBEITSGRUPPE STRASSENENTWURF: *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen R1*. 2008
- [52] FOSSER, S. ; SAGBERG, F. ; SAETERMO, I. A. F.: Behavioural adaption to antilock brakes: Drivers keep a shorter distance. In:

Nordic road and transport research 8 (1996), Nr. 3, S. 21 – 22

- [53] FREYER, J. : *Vernetzung von Fahrerassistenzsystemen zur Verbesserung des Spurwechselverhaltens von ACC*, Universität der Bundeswehr München, Diss., 2008
- [54] FREYER, J. ; WINKLER, L. ; WARNECKE, M. ; DUBA, G.-P. : Eine Spur aufmerksamer - der Audi Active Lane Assist. In: *ATZ* 12 (2010), S. 926 – 930
- [55] GASSER, T. M. ; ARZT, C. ; AYOUBI, M. ; BARTELS, A. ; BÜRKLE, L. ; EIER, J. ; FLEMISCH, F. ; HÄCKER, D. ; HESSE, T. ; HUBER, W. ; LOTZ, C. ; MAURER, M. ; RUTH-SCHUMACHER, S. ; SCHWARZ, J. ; VOGT, W. : Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung / BASt - Bericht F 83. 2012. – Forschungsbericht
- [56] GAUSEMEIER, J. ; EBBESMEYER, P. ; KALLMEYER, F. : *Produktinnovation - Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen*. Carl Hanser Verlag, 2001
- [57] GAYKO, J. : Lane Departure Warning. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Winner, Hermann and Hakuli, Stephan and Wolf, Gabriele, 2012, Kapitel F34, S. 543 – 553
- [58] GRUBB, G. : Automatic Queue Assistance to Aid Under-loaded Drivers. In: *Conference Proceedings of the 16th World Congress on ITS*, 2009
- [59] GUGERTY, L. ; RAKAUSKAS, M. ; BROOKS, J. : Effects of remote and in-person verbal interactions on verbalization rates and attention to dynamic spatial scenes. In: *Accident Analysis and Prevention* 36 (2004), S. 1029 – 1043
- [60] HART, S. G. ; STAVELAND, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. (1988), S. 239 – 250

- [61] HARTMANN, E. : State-of-the-Art Driver Vision Requirements. In: *International Automobile Safety Conference compendium*, 1970
- [62] HEINE, S. : *Implementierung einer Stauumgebung zum Testen von Fahrerassistenzsystemen im Fahr Simulator*. 2012. – nicht-veröffentlichte Diplomarbeit
- [63] HOMEIER, K. ; MATTHAEI, R. ; NOTHDURFT, T. u. a.: Der Stadtpilot - Autonomes Fahren auf dem Braunschweiger Stadtring. In: *AAET Braunschweiger Symposium Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel* (2009), S. 28–48
- [64] HÖRWICK, M. ; WIMMER, M. : Fahrerüberwachungs- und Interaktionskonzept für hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme. In: *Fortschrittsberichte VDI, Reihe 22: Mensch-Maschine-Systeme* 32 (2010), S. 123 – 135
- [65] HÖRWICK, M. ; SIEDERSBERGER, K.-H. : Strategy and Architecture of a Safety Concept for Fully Automatic and Autonomous Driving Assistance Systems. In: *IEEE Intelligent Vehicles Symposium University of California*, 2010
- [66] HÖRWICK, M. ; WIMMER, M. ; SIEDERSBERGER, K.-H. ; OSTGATHE, N. : *EP 2 392 501 A2: Verfahren zur Steuerung des Betriebs eines vollautomatischen, zur unabhängigen Fahrzeugführung ausgebildeten Fahrerassistenzsystems eines Kraftfahrzeugs und Kraftfahrzeug*. 2011
- [67] HUEMER, A. K. ; VOLLRATH, M. : Driver secondary tasks in Germany: Using interviews to estimate prevalence. In: *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011), S. 1703 – 1712
- [68] JAMSON, A. H. ; MERAT, N. ; CARSTEN, O. ; LAI, F. : Fully-Automated Driving: The Road to Future Vehicles. In: *Proceedings of the Sixth International Driving Symposium on Human Factors in*

Driver Assessment, Training and Vehicle Design (2011)

- [69] JOHNSON, D. M.: Introduction to and Review of Simulator Sickness Research / U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences. 2005. – Forschungsbericht
- [70] KABER, D. B. ; ENDSLEY, M. R.: Out-of-the-loop performance problems and the use of intermediate levels of automation for improved control system functioning and safety. In: *Process Safety Progress* 16 (1997), Nr. 3, S. 126–131
- [71] KAHNEMAN, D. : *Attention and Effort*. Prentice-Hall Inc., 1973
- [72] KATZWINKEL, R. ; AUER, R. ; BROSIG, S. u. a.: Einparkassistentz. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Winner, Hermann and Hakuli, Stephan and Wolf, Gabriele, 2012, Kapitel F31, S. 471 – 477
- [73] KATZWINKEL, R. ; KOPISCHKE, S. : Fahrerassistenzsysteme. In: *ATZextra Der VW Touareg*. Springer Verlag, 2010
- [74] KAUSSNER, A. : *Dynamische Szenerien in der Fahrsimulation*, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Diss., 2003
- [75] KERNER, B. S. ; SCOTT KELSO, J. A. (Hrsg.): *The Physics of Traffic*. Springer, 2004
- [76] KESTING, A. ; TREIBER, M. ; SCHÖNHOF, M. ; HELBING, D. : Adaptive cruise control design for active congestion avoidance. In: *Transportation Research Part C* 16 (2008), S. 668 – 683
- [77] KNOLL, P. : Anzeigen für Fahrerassistenzsysteme. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Winner, Hermann and Hakuli, Stephan and Wolf, Gabriele, 2012, Kapitel D23, S. 330 – 342
- [78] KOMPASS, K. : Fahrerassistenzsysteme der Zukunft - auf dem Weg zum autonomen PKW? In: *Forschung für das Auto von morgen* (2008), S. 261–285

- [79] KRAUTTER, W. ; MACKAMUL, H. ; MANGA, B. ; MANSTETTEN, D. : Traffic scenarios in driving simulation: implementation and application. In: *Advances in Transportation Studies an international Journal* Special Issue (2004), S. 9 – 18
- [80] KRUEGER, G.P.: Sustained work, fatigue, sleep loss and performance: a review of the issues. In: *Work & Stress* 3 (1989), Nr. 2, S. 129 – 141
- [81] KWASNY, O. ; MANZ, H. : Die elektromechanische Lenkung des VW Touran. In: *ATZ* 5 (2003), S. 464 – 470
- [82] LANGE, C. ; BENGLER, K. ; SPIES, R. ; WOHLFARTER, M. : Entwicklung ablenkungsfreier Bediensysteme im Fahr Simulator. In: *ATZ elektronik* 6 (2011), Nr. 6, S. 64 – 69
- [83] LEE, W. C.: *Beiträge zur Entwicklung eines Fahrerassistenz-Systems für Einparkvorgänge*, Technische Universität Ilmenau, Diss., 2006
- [84] LINDBERG, T. ; SCHALLER, T. ; GRADENEGGER, B. : Stauassistentz - Unterstützung des Fahrers durch Übernahme der Quer- und Längsführung im Stau. In: *Human Machine Interface VDI-Berichte* 2015 (2007), S. 29–42
- [85] LINDBERG, T. ; TÖNERT, L. ; RÖTTING, M. ; BENGLER, K. : Integration aktueller und zukünftiger Fahrerassistenzsysteme - wie lässt sich der Lösungsraum für die HMI-Entwicklung strukturieren? In: *Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22: Mensch-Maschine-Systeme* 29 (2009), S. 457 – 463
- [86] MA, R. ; KABER, D. B.: Situation awareness and workload in driving while using adaptive cruise control and a cell phone. In: *International Journal of Industrial Ergonomics* 35 (2005), S. 939 – 953
- [87] MACKWORTH, J. F.: Vigilance, arousal and habituation. In: *Psychological Review* 75 (1968), Nr. 4, S. 308 – 322

- [88] MANN, M. : *Benutzerorientierte Entwicklung und fahrgerechte Auslegung eines Querführungsassistenten*, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München, Diss., 2007
- [89] MARKOFF, J. : *Google Cars Drive Themselves, in Traffic*. <http://www.nytimes.com/2010/10/10/science/10google.html>.
Version: Oktober 2010
- [90] MARKSCHLÄGER, P. ; WAHL, H.-G. ; WEBERBAUER, F. ; LEDERER, M. : Assistenzsystem für mehr Kraftstoffeffizienz. In: *ATZ* 11 (2012), S. 850 – 855
- [91] MERAT, N. ; JAMSON, A. H.: Is drivers' situation awareness influenced by a highly automated driving scenario? In: *Human Factors, Security and Safety* (2009), S. 161 – 171
- [92] MERAT, N. ; JAMSON, A. H. ; LAI, F. C. H. ; CARSTEN, O. : Highly Automated Driving, Secondary Task Performance, and Driver State. In: *Human Factors* 54 (2012), Nr. 5, S. 762 – 771
- [93] METZ, B. : *Worauf achtet der Fahrer? Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben*, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Diss., 2009
- [94] MICHON, J. A.: A critical view of driver behaviour models: What do we know, what should we do? In: *Human behaviour and traffic safety* (1985), S. 485 – 520
- [95] MILIČIĆ, N. : *Sichere und ergonomische Nutzung von Head-Up Displays im Fahrzeug*, Technische Universität München, Diss., 2010
- [96] MÖNNICH, J. : *Traffic Jam related accidents - accidents with casualties*. Bosch-interne Analyse der GIDAS-Datenbank, 2011
- [97] MORONEY, W. F. ; BIRS, D. W. ; EGGEMEIER, F. T.: Some Measurement and Methodological Considerations in the Application of

- Subjective Workload Measurement Techniques. In: *The International Journal of Aviation Psychology* 5 (1995), Nr. 1, S. 87 – 106
- [98] MOTIV: Abstands- und Geschwindigkeitsregelung - Abschlussbericht einer Machbarkeitsstudie zu „ACC im Ballungsraum“ / Bayerische Motorenwerke AG, Robert Bosch GmbH, MAN Nutzfahrzeuge AG, Adam Opel AG & Volkswagen AG. 2001. – Forschungsbericht
- [99] NAAB, K. : Automatisierung bei der Fahrzeugführung im Straßenverkehr. In: *at Automatisierungstechnik* 48 (2000), Nr. 5, S. 211 – 223
- [100] NAGAYAMA, Y. : Role of Visual Perception in Driving. In: *IATSS Research* 2 (1978), S. 64 – 73
- [101] NAVARRO, J. ; MARS, F. ; YOUNG, M. S.: Lateral control assistance in car driving: classification, review and future prospects. In: *IET Intelligent Transport Systems* 5 (2010), Nr. 3, S. 207 – 220
- [102] NIEDEREE, U. ; VOLLRATH, M. : Systemausfälle bei Längsführungsassistenten - Sind bessere Systeme schlechter? In: *Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22: Mensch-Maschine-Systeme* 29 (2009), S. 38 – 43
- [103] OERTEL, K. : Fahren per Knopfdruck - EU-Projekt HAVEit zeigt Lösungen für automatisiertes Fahren. In: *HANSER automotive - electronics + systems* 9 (2011), S. 24 – 27
- [104] O’NEILL, B. ; WILLIAMS, A. : Risk homeostasis hypothesis: a rebuttal. In: *Injury Prevention* 4 (1998), Nr. 2, S. 92 – 93
- [105] PAHL, G. ; BEITZ, W. ; FELDHUSEN, J. ; GROTE, K.-H. : *Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung - Methoden und Anwendung*. Springer, 2007
- [106] PANDER, J. : *Die vielen Augen der neuen S-Klasse*. 2013. – Online

verfügbar unter <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/die-neue-s-klasse-was-mercedes-audi-und-bmw-voraus-hat-a-900233.html>, abgerufen am 24.01.2014

- [107] PARASURAMAN, R. ; MOLLOY, R. ; SINGH, I. L.: Performance Consequences of Automation-Induced 'Complacency'. In: *International Journal of Aviation Psychology* 3 (1993), Nr. 1, S. 1 – 23
- [108] PETERMANN, I. ; KISS, M. : Die Rolle des Fahrers im Spektrum von Automation und Transition - Nutzerzentrierte Gestaltung von Übergabe- und Übernahmeprozessen zwischen Fahrer und drei aufeinander aufbauenden Automationsstufen. In: *VDI-Berichte* 2085 (2009), S. 153 – 166
- [109] PETERMANN, I. ; SCHLAG, B. : Auswirkungen der Synthese von Assistenz und Automation auf das Fahrer-Fahrzeug System. In: *11. Braunschweiger Symposium AAET 2010 Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel*, 2010
- [110] POCOL, C. ; NEDEVSCHI, S. ; MEINECKE, M.-M. : Obstacle Detection Based on Dense Stereovision for Urban ACC Systems. In: *International Workshop on Intelligent Transportation* (2008), S. 1 – 6
- [111] *Kapitel 9*. In: POSNER, M. I. ; RAFAL, R. D.: *Neuropsychological Rehabilitation*. Meier, Manfred J. and Benton, Arthur L. and Diller, Leonard, 1987, S. 182 – 201
- [112] RADKE, T. : *Energieoptimale Längsführung von Kraftfahrzeugen durch Einsatz vorausschauender Fahrstrategien*, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Diss., 2013
- [113] RASMUSSEN, J. : Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs and Symbols, and other Distinctions in Human Performance Models. In: *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* SMC 13 (1983), S. 257 – 266

- [114] RAUCH, N. : *Ein verhaltensbasiertes Messmodell zur Erfassung von Situationsbewusstsein im Fahrkontext*, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Diss., 2009
- [115] *Kapitel 10*. In: RAUCH, N. ; GRADENEGGER, B. ; KRÜGER, H.-P. : *Fortschritte der Verkehrspsychologie - Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2008, S. 197 – 214
- [116] RAUCH, N. ; GRADENEGGER, B. ; KRÜGER, H.-P. : *Das Konzept des Situationsbewusstseins und seine Implikationen für die Fahrsicherheit / FAT-Schriftenreihe Band 210*. 2008. – Forschungsbericht
- [117] RAUCH, N. ; KAUSSNER, A. ; KRÜGER, H.-P. ; BOVERIE, S. ; FLEMISCH, F. : *The importance of driver state assessment within highly automated vehicles*. In: *Conference Proceedings of the 16th World Congress on ITS*, 2009
- [118] REHBORN, H. : *Anwendungen der Drei-Phasen-Verkehrstheorie nach Kerner: Verkehrstechnik und Fahrerassistenz*. 2005. – Online Verfügbar unter http://www.dlr.de/fs/PortalData/16/Resources/dokumente/vk/vp_fs_ex_Vortrag_Rehborn_050407.pdf, abgerufen am 18.04.2011
- [119] REICHARDT, D. M.: *Using Automated Assistance Systems - Putting The Driver Into Focus*. In: *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Intelligent Vehicles*, 1998
- [120] RICHERT, F. ; ZAMBOU, N. ; BOLLIG, A. ; ABEL, D. ; SANDKÜHLER, D. : *Modellbasierte Stop-and-Go-Regelung für den INVENT-Stauassistenten*. In: *VDE Kongress: Innovationen für Menschen*, 2004
- [121] RIEDEL, S. : *Untersuchungen zur subjektiven Kritikalität von drohenden PKW-Fussgänger-Kollisionen*. 2012. – unveröffentlichte

Diplomarbeit

- [122] RIMINI-DÖRING, M. ; WULF, F. ; QU, J. : Traffic Jam Assistant: comparison of prospective usage and acceptance in Germany and China. (2014). – in Vorbereitung
- [123] ROCKWELL, T. H.: Eye movement analysis of visual information acquisition in driving: an overview. In: *6th Australian Road Research Board (ARRB) Conference* 6 (1972), S. 316 – 330
- [124] ROGERS, M. ; ZHANG, Y. ; KABER, D. ; LIANG, Y. ; GANGAKHEDKAR, S. : The Effects of Visual and Cognitive Distraction on Driver Situation Awareness. In: *Proceedings of the 9th international conference on Engineering psychology and cognitive ergonomics*. Springer-Verlag (EPCE'11). – ISBN 978-3-642-21740-1, 186-195
- [125] SALMON, P. M. ; STANTON, N. A. ; YOUNG, K. L.: Situation awareness on the road: review, theoretical and methodological issues, and future directions. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 13 (2012), Nr. 4, S. 472 – 492
- [126] SANDKÜHLER, D. : Analyse von Stausituationen für die Entwicklung eines Stauassistenten im Rahmen von INVENT / Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen. 2002. – Forschungsbericht
- [127] SCHALLER, T. : *Stauassistentz - Längs- und Querführung im Bereich niedriger Geschwindigkeit*, Technische Universität München, Diss., 2009
- [128] SCHALLER, T. ; SCHIEHLEN, J. ; GRADENEGGER, B. : Stauassistentz - Unterstützung des Fahrers in der Quer- und Längsführung: Systementwicklung und Kundenakzeptanz. In: *Tagung aktive Sicherheit*, 2008
- [129] SCHIEBEN, A. ; FLEMISCH, F. : Who is in control? Exploration of transitions of control between driver and an eLane vehicle automation.

- In: *VDI-Berichte* 2048 (2008), S. 455 – 469
- [130] SCHIEBEN, A. ; FLEMISCH, F. ; KÖSTER, F. : Was passiert, wenn ich Gas gebe? Untersuchung und Gestaltungshinweise für Fahrer-initiierte Transitionen in einem hochautomatisierten Fahrzeug. In: *6. VDI Tagung Der Fahrer im 21. Jahrhundert*, 2011
- [131] SCHIEBEN, A. ; FLEMISCH, F. ; TEMME, G. ; HEESEN, M. ; GRIESCHE, S. : Usability assessment of the preliminary design for the HAVEit Joint System. In: FLEMISCH, F. (Hrsg.) ; SCHIEBEN, A. (Hrsg.): *Deliverable D33.3 Validation of preliminary design by simulation*, HAVEit Consortium, 2009, S. 43 – 72
- [132] SCHIERGE, F. : Welche Fahrerassistenz wünschen sich Fahrer? In: *VDI-Berichte* 1919 (2005), S. 207 – 220
- [133] SCHÖMIG, N. ; KAUSSNER, A. : Driver's reactions to take-over requests when driving Highly Automated. In: FLEMISCH, F. (Hrsg.) ; SCHIEBEN, A. (Hrsg.): *Deliverable D33.3 Validation of preliminary design by simulation*, HAVEit Consortium, 2009, S. 73 – 81
- [134] SCHÖMIG, N. ; KAUSSNER, A. : Evaluation of intervention strategies for the HAVEit use cases 'driver drowsy' and 'driver distracted'. In: FLEMISCH, F. (Hrsg.) ; SCHIEBEN, A. (Hrsg.): *Deliverable D33.3 Validation of preliminary design by simulation*, HAVEit Consortium, 2009, S. 82 – 95
- [135] SCHMITZ, C. : *Adaptiver Spurverlassenswarner mit fahrerabsichts- und fahrerzustandsabhängiger Warnstrategie*, Universität Karlsruhe, Diss., 2005
- [136] SIMON, S. ; NIEHSEN, W. ; KLOTZ, A. ; LUCAS, B. : Video-basierte Objekt-Detektion und Verifikation von Radar-Objekt-Hypothesen für Komfort- und Sicherheitsfunktionen. In: *Workshop Fahrerassistenzsysteme* 3 (2005), S. 64 – 71

- [137] SONNLEITNER, A. ; SIMON, M. ; KINCSES, W. E. ; SCHRAUF, M. : Die physiologische Erfassung des Fahrerzustandes: Der Einfluss von Aufmerksamkeit und Ablenkung auf das Bremsverhalten in einem Car-Following Feldversuch. In: *6. VDI-Tagung Der Fahrer im 21. Jahrhundert*, 2011
- [138] SPIES, M. ; SPIES, H. : Automobile Lidar Sensorik: Stand, Trends und zukünftige Herausforderungen. In: *Advances in Radio Science* 4 (2006), S. 99 – 104
- [139] STANTON, N. A. ; MARSDEN, P. : From Fly-By-Wire to Drive-By-Wire: Safety implications of automation in vehicles. In: *Safety Science* 24 (1996), S. 35 – 49
- [140] STANTON, N. A. ; YOUNG, M. S. ; WALKER, G. H. ; TURNER, H. ; RANDLE, S. : Automating the Driver's Control Task. In: *International Journal of Cognitive Ergonomics* 5 (2001), Nr. 3, S. 221 – 236
- [141] STÄNDER, T. ; BARTELS, A. ; BECKER, U. ; STEININGER, U. ; WEIDL, T. : Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für zukünftige Fahrerassistenzsysteme auf Basis einer funktionsorientierten semi-quantitativen Risikoanalyse. In: *8. Braunschweiger Symposium: AAET - Automatisierungs- Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel*, 2007
- [142] TITZ, M. : *Entwicklung und Erprobung eines Fahrerassistenzsystems für die integrierte Längs- und Querführung unter Matlab/Stateflow*. 2011. – Unveröffentlichte Bachelorthesis
- [143] WACK, O. G. ; DETLINGER, G. ; GROTHOFF, H. : *Kreativ sein kann jeder: Kreativitätstechniken für Leiter von Projektgruppen, Arbeitsteams, Workshops und von Seminaren*. 1993
- [144] WARD, N. J.: Automation of Task Processes: An Example of Intelligent Transportation Systems. In: *Human Factors and Ergonomics in*

Manufacturing 10 (2000), Nr. 4, S. 395 – 408

- [145] WEBER, S. : Interdisziplinäre Zusammenhanganalyse realer Unfalldaten zur Potenzialeinschätzung von Fahrerassistenzsystemen. In: 9. *GUVU Verkehrsexpertentag*, 2010
- [146] WEISSGERBER, T. ; DAMBÖCK, D. ; KIENLE, M. ; BENGLER, K. : Auswirkung einer kontaktanalogen Anzeige auf die Querführung hochautomatisierter Fahrzeuge. In: 28. *VDI/VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit*, 2012
- [147] WEILKES, M. ; BAUM, D. ; MAURER, M. ; SAUERBREY, J. : Stauassistent - Systemkonzept und Funktionalität. In: *VDI-Berichte* 1728 (2002), S. 329 – 340
- [148] WEILKES, M. : *Situationsanalyse Stau: Situationsklassifizierung und Fahrerverhalten*. 2003. – interner Bericht
- [149] WEILKES, M. ; BÜRKLE, L. ; RENTSCHLER, T. : Lane-Keeping-Support: von haptischer Spurverlassenswarnung zu semi-autonomer Spurführung. In: *Aachener Kolloquium für Fahrzeug- und Motorentechnik* 15 (2006), S. 909 – 920
- [150] WEILKES, M. ; BÜRKLE, L. ; RENTSCHLER, T. ; SCHERL, M. : Stauassistent - teilautomatisierte Fahrzeugführung mit kombinierter Längs- und Querregelung. In: 13. *Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik* (2004)
- [151] WEILKES, M. ; BÜRKLE, L. ; RENTSCHLER, T. ; SCHERL, M. : Zukünftige Fahrzeugführungsassistenz - Kombinierte Längs- und Querregelung. In: *Automatisierungstechnik* 53 (2005), S. 4–10
- [152] WEILKES, M. ; NEIKNZIG, D. ; HOCHSTÄDTER, A. : Analyse neuer ACC-Strategien mit dem Verkehrssimulationstool PELOPS. In: 7. *Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik*, 1998

- [153] WERTH, R. : Die vielen Facetten der Aufmerksamkeit. In: *Spektrum der Wissenschaft* 2 (2012), S. 36 – 41
- [154] WICKENS, C. D.: Multiple resources and performance prediction. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 3 (2002), Nr. 2, 159 - 177. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14639220210123806>
- [155] WICKENS, C. D.: Multiple Resources and Mental Workload. In: *Human Factors* 50 (2008), Nr. 3, S. 449 – 455
- [156] WIDMANN, G. R. ; DANIELS, M. K. ; HAMILTON, L. ; HUMM, L. ; RILEY, B. ; SCHIFFMANN, J. K. ; SCHNELKER, D. E. ; WISHON, W. : Comparison of Lidar-Based and Radar-Based Adaptive Cruise Control Systems. In: *SAE 2000 World Congress*, 2000
- [157] WIEDEMANN, R. : *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, 1974
- [158] WILDE, F. J. S.: Risk homeostasis theory: an overview. In: *Injury Prevention* 4 (1998), S. 89 – 91
- [159] WIMMER, M. ; SIEDERSBERGER, K.-H. ; MEURLE, J. ; FÄRBER, B. : Evaluierung des Fahrerüberwachungskonzepts "Potentialtrigger" für hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme. In: *VDI-Berichte* 2166 (2012), S. 187 – 304
- [160] WINNER, H. ; WINTER, K. ; LUCAS, B. ; MAYER, H. ; IRION, A. ; SCHNEIDER, H.-P. ; LÜDER, J. ; ZABLER, E. ; DENNER, V. ; WALTHER, M. ; BAUER, H. (Hrsg.): *ACC Adaptive Cruise Control*. Robert Bosch GmbH, 2003
- [161] WINNER, H. ; DANNER, B. ; STEINLE, J. : Adaptive Cruise Control. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Winner, Hermann and Hakuli, Stephan and Wolf, Gabriele, 2012, Kapitel F32, S. 478 – 521

- [162] WÄLLER, C. ; PETERMANN, I. ; KLEEN, A. ; PEUKERT, M. : Konzeption und Bewertung von HMI-Metaphern für Fahrerassistenzsysteme. In: *VDI 2104* (2010), S. 261 – 277
- [163] WULF, F. ; RIMINI-DORING, M. ; ARNON, M. ; GAUTERIN, F. : Recommendations Supporting Situation Awareness in Partially Automated Driver Assistance Systems. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* PP (2015), Nr. 99, S. 1–7. <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2014.2376572>. – DOI 10.1109/TITS.2014.2376572. – ISSN 1524–9050
- [164] WULF, F. ; RIMINI-DÖRING, M. ; ARNON, M. ; GAUTERIN, F. : Approaches of User-Centered Interaction Development for Highly Automated Vehicles in Traffic-Jam Scenarios. In: *Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress* Bd. 12, 2012, S. 13 – 23
- [165] WULF, F. ; ZEEB, K. ; RIMINI-DÖRING, M. ; ARNON, M. ; GAUTERIN, F. : Effects of Human-Machine Interaction Mechanisms on Situation Awareness in Partly Automated Driving. In: *16th International IEEE Conference on Intelligent Transport Systems*, 2013
- [166] YOUNG, M. S. ; STANTON, N. A.: Malleable Attentional Resources Theory: A New Explanation For The Effects of Mental Underload on Performance. In: *Human Factors* 44 (2002), Nr. 3, S. 365 – 375
- [167] YOUNG, M. S. ; STANTON, N. A.: Attention and automation: New perspectives on mental underload and performance. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 3 (2002), Nr. 2, S. 178 – 194
- [168] YOUNG, M. S. ; STANTON, N. A.: Back to the future: Brake reaction times for manual and automated vehicles. In: *Ergonomics* 50 (2007), Nr. 1, S. 46 – 58

- [169] ZAVREL, M.; SIEDERSBERGER, K.-H.; BREU, A.; MAURER, M.:
Stauassistent: Teilautomatisierte Fahrzeugführung im Nieder-
geschwindigkeitsbereich. In: *VDI-Berichte* 1828 (2004), S. 371 – 380
- [170] ZEEB, K. : *Untersuchung von Mechanismen der Fahrer-Fahrzeug-
Interaktion im Rahmen eines Stauassistenten*. 2012. – unveröffent-
lichte Diplomarbeit
- [171] ZWAHLEN, H. T. ; ADAMS, C. C. ; DEBALD, D. P. J.: Safety Aspects
of CRT Touch Panel Controls in Automobiles. In: *Vision in Vehicles
II*, 1988

Liste der Abschlussarbeiten, die während dieser Forschungsarbeit entstanden, vom Autor inhaltlich betreut worden sind und deren Ergebnisse in der Dissertation verwendet wurden:

Michael Titz

Entwicklung und Erprobung eines Fahrerassistenzsystems für die integrierte Längs- und Querführung unter Matlab / Stateflow [142]

Sven Heine

Implementierung einer Stauumgebung zum Testen von Fahrerassistenzsystemen im Fahrsimulator [62]

Kathrin Zeeb

Untersuchung von Mechanismen der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion im Rahmen eines Stauassistenten [170]

ANALYSE DES SICHERHEITSGEWINNS DURCH TEILAUTOMATION AM BEISPIEL EINES STAUASSISTENTEN

Fahrerassistenzsysteme, die in bestimmten Situationen sowohl die Längs- als auch die Querführung eines Fahrzeugs übernehmen und bei denen der Fahrer stets die Rückfallebene für den Fall eines Systemfehlers darstellt, werden als teilautomatisch bezeichnet. Der Fahrer muss daher auch während der automatisierten Fahrt das System überwachen und stets eingriffsbereit sein. Der angenommene Hauptnutzen einer solchen Automatisierung der Fahraufgabe liegt in der Möglichkeit des Fahrers, Nebentätigkeiten durchführen zu können. Da die menschlichen Aufmerksamkeitsressourcen jedoch begrenzt sind, ergibt sich ein Zielkonflikt zwischen der Ausübung von Nebentätigkeiten und der kontinuierlichen Überwachung des Fahrzeugs bzw. des Fahrerassistenzsystems.

Die vorliegende Forschungsarbeit soll dazu beitragen, die Vor- und Nachteile von teilautomatischen Fahrerassistenzsystemen im Straßenverkehr genauer zu analysieren. Dazu sollen am Fallbeispiel eines Stauassistenten Wege erarbeitet und evaluiert werden, die es einem Fahrer ermöglichen, in kritischen Situationen auch bei Teilautomation effektiv in die Fahrzeugführung einzugreifen und Gefahrensituationen entgegenzuwirken.

ISBN 978-3-7315-0391-0



9 783731 503910 >

