

Audi

Dissertationsreihe



Entwicklung eines Modells zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit

Fallstudie: Car-to-Car und
Car-to-Infrastructure Kommunikation

Claudia Kratzsch

Audi-Dissertationsreihe, Band 44

**Entwicklung eines Modells zur fahrerzentrierten
Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit.
Fallstudie: Car-to-Car und Car-to-Infrastructure
Kommunikation**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt der
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Technischen Universität Ilmenau

von Dipl.-Ing. Claudia Kratzsch
geboren am 29.09.1982 in Dresden

Gutachter: Prof. Dr. Heidi Krömker
Prof. Dr. Jochen Seitz
Dr. Frank Keck

Tag der Einreichung: 03.12.2010
Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 11.05.2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2011

Zugl.: (TU) Ilmenau, Univ., Diss., 2011

978-3-86955-781-6

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2011

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2011

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86955-781-6

Zusammenfassung

Durch Systeme der passiven Sicherheit konnte in den letzten Jahrzehnten die Zahl der tödlichen Unfälle maßgeblich gesenkt werden. Maßnahmen der passiven Sicherheit erreichen bezüglich des Insassen- und Partnerschutzes nun mehr eine Sättigung der Effektivität. Aus diesem Grund werden zunehmend Systeme der Fahrerassistenz und der aktiven Fahrzeugsicherheit entwickelt, um Unfälle zu vermeiden bzw. Unfallfolgen weiterhin zu senken. Die Kombination aus Fahrerassistenz, aktiver und passiver Fahrzeugsicherheit wird im Kontext dieser Arbeit als Integrale Fahrzeugsicherheit bezeichnet.

Um Systeme der Integralen Fahrzeugsicherheit realisieren zu können, muss das Fahrzeug selbsttätig das umgebende Umfeld wahrnehmen können. Damit ist das Fahrzeug fähig Verkehrssituationen zu interpretieren und gegebenenfalls Fahraufgaben zu übernehmen. Da nun Fahrer und Fahrzeug durch das Konzept der Integralen Fahrzeugsicherheit Fahraufgaben ausführen können, kann es zu Konflikten bei der Fahraufgabenausführung kommen. Bisherige Untersuchungen zu Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modellen zeigen diesen Sachverhalt jedoch nicht auf.

Aus diesem Grund ist das Ziel der vorliegenden Arbeit ein allgemeingültiges, fahrerzentriertes Modell für die Integrale Fahrzeugsicherheit zu entwickeln und zu beschreiben. Die Modellkomponenten - Fahrer, Fahrzeug, Umfeld und Fahraufgabe - werden dafür systematisch klassifiziert und Wechselwirkungen zur Beschreibung des Informationsflusses zwischen den Modellkomponenten werden analysiert. Schlussendlich wird das Konstrukt der kontextadaptiven Fahraufgabenallokation abgeleitet. Als Eingangsgröße werden dafür die Fahrzustände „normal“, „kritisch“, „Unfall unvermeidbar“, „Unfall“ und „Post-Crash“ definiert. Zunächst einmal kann festgehalten werden, dass die Verantwortung der Kraftfahrzeugführung stets beim Fahrer liegt.

In normalen Fahrzuständen führt der Fahrer Fahraufgaben selbsttätig aus. Er kann Aufgaben durch die aktive Initiierung an das Fahrzeug abgeben (z.B. ACC). In kritischen Fahrzuständen wird der Fahrer durch das Fahrzeug unterstützt. Dies geschieht durch die Unterstützung fahrergetriggelter Handlungen mit dem Ziel der Unfallvermeidung (z.B. Bremskraftunterstützung) und durch die Warnung des Fahrers vor kritischen Situationen durch das Fahrzeug. In Situationen, in denen ein Unfall unvermeidbar wird, übernimmt das Fahrzeug Fahraufgaben selbsttätig, um die Kollisionsschwere zu reduzieren und so das Ausmaß eines Unfalls zu minimieren (z.B. aktives Bremsen durch das Fahrzeug). In Unfall-Situationen werden letztendlich Rückhaltesysteme der passiven Fahrzeugsicherheit ausgelöst und Stabilisierungsaufgaben werden durch das Fahrzeug ausgeführt. In Situationen nach einem Unfall kann das Fahrzeug autonom oder durch manuelle Auslösung des Fahrers Notrufsysteme aktivieren, um das Retten und Bergen bestmöglich durchführen zu können.

Anschließend wird das fahrerzentrierte Modell zur Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit anhand einer Fallstudie angewendet. Dazu wird die Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation gewählt, da diese wesentliche Vorzüge für den Wahrnehmungskanal des Fahrzeuges bietet (z.B. Weitergabe vorausschauender Informationen, erweiterter Öffnungswinkel des Sensors).

Weiterhin wird das fahrerzentrierte Modell anhand einer Fahrsimulatorstudie empirisch überprüft. Dazu werden die in der Fallstudie entwickelten Funktionen in die Fahrsimulation überführt. Die Studie untersucht die zur kontextadaptiven Fahraufgabenallokation aufgestellten Thesen im Rahmen des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit. Weiterhin werden die fahrsicherheitliche Wirkung und die Nutzerakzeptanz der mit Hilfe des Modells aufgestellten Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation Funktionen geprüft. Zur empirischen Überprüfung des fahrerzentrierten Modells wird die Simulation gewählt, da nicht alle Situationen und Fahrzustände in der Realität überprüft werden können. Unfälle lassen sich demnach u.a. aus ethischen Gründen ausschließlich in einer Fahrsimulation darstellen. Nach Überprüfung der Wirksamkeit wird eine Verifikation des Modells durchgeführt.

Abschließend wird ein Leitfaden zur Anwendung des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit abgeleitet. Ziel des Leitfadens ist es, eine Hilfestellung bei der Spezifikation neuer Systeme der Integralen Fahrzeugsicherheit zu geben.

Abstract

The number of fatal car accidents has been substantially reduced in the past decades with the introduction of passive safety systems. Passive safety measures have though today reached a level of saturation regarding their use for passenger protection. Therefore an increasing number of driver assistance and active safety systems are being developed to further reduce the amount of accidents or their severity. The combination of driver assistance systems with active and passive safety systems is referenced as integrated safety in the context of this work.

A key requirement for the realization of integrated safety systems is the ability of the car to autonomously recognize its environment. Through these mechanisms the vehicle is able to interpret traffic situations and assist the driver where applicable. Because both, the driver and the vehicle, might now concurrently initiate driving tasks, conflicts might arise during their execution. Existing research regarding models of driver, vehicle and environment do not adress these issues.

Accordingly, the goal of this work is to define a generic, driver-centric model for integrated vehicle safety. The model components - driver, vehicle, environment and driving tasks - are systematically classified and analyzed regarding the interdependencies within the information flow. Input variable of this model is among others the driving conditions which can be either „normal“, „critical“, „accident unavoidable“, „accident“ and „post crash“. Finally the architecture for context-sensitive allocation of driving tasks is derived. It must be stated at this point that the vehicle guidance remains the responsibility of the driver. In normal driving conditions the driver executes the manouvres independently. The driver is able to then hand off certain tasks (e.g. adaptive cruise control). In critical situations the driver is assisted by the vehicle. This happens by supporting driver-triggered actions with the goal of

collision avoidance (e.g. braking assistance) and by warning the driver about critical situations. In settings where an accident is no longer avoidable the vehicle takes over the control autonomously trying to mitigate the severity of the collision (e.g. automatic braking). In the moment the accident actually takes place, restraint systems are triggered (e.g. airbags, seat belt retension) and the vehicle deploys stabilisation tasks. In situations following an accident the vehicle is able to start an emergency call system autonomously or triggered manually by the driver to ensure the best possible rescue and salvage.

Afterwards the driver-centric model of the integrated vehicle safety is applied in a case study. Car-to-car and car-to-infrastructure communication is selected for this study as it offers certain advantages over other sensor systems regarding the recognition channel into the vehicle (i.e. opening angle, range, predictive information).

Furthermore the driver-centric model is evaluated empirically based on a study conducted in a driving simulator which replicates the integrated safety functions developed in this work. The study examines the theory of context-sensitive allocation of driving tasks. Additionally the effectivity regarding vehicle safety and user acceptance of the car-to-car and car-to-infrastructure developed applications according to the model are validated. A driving simulation is selected for the empirical study because not even all situations and driving conditions could be verified in real environments. According to this, accidents are solely represented in a driving simulation due to ethical causes. Afterwards a verification of the driver-centric model is done.

Finally a set of guidelines for the application of the integrated vehicle safety model is derived. The goal of these guidelines is to deliver an applicable aid during the specification of next-generation integrated safety systems.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	a
Abstract	c
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufgabenstellung und Forschungsfragen	3
1.3 Aufbau der Arbeit	5
2 Stand der Forschung	8
2.1 Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modelle	9
2.1.1 Allgemeine Modelle	9
2.1.2 Modellkomponenten	16
2.2 Informationsfluss und Einflussfaktoren	21
2.2.1 Informationsfluss im Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell	21
2.2.2 Aufgabenallokation und Kontrolle	28
2.2.3 Beanspruchung, Belastung und Vigilanz	35
2.2.4 Risiken und menschliche Fehler	38
2.2.5 Rechtliche Rahmenbedingungen	44
2.2.6 Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation	46
2.3 Anforderungen an ein Modell für die Integrale Fahrzeugsicherheit	48
3 Fahrerzentriertes Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit	51
3.1 Integrale Fahrzeugsicherheit	52
3.2 Modell zur Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit	53
3.2.1 Modelldarstellung und -beschreibung	53
3.2.2 Klassifizierung der Fahraufgabe	58

3.2.3	Klassifizierung des Fahrers	60
3.2.4	Klassifizierung des Fahrzeugs	63
3.2.5	Klassifizierung des Umfelds	64
3.2.6	Wechselwirkungen der Modellkomponenten	68
3.3	Kontextadaptive Fahraufgabenallokation	73
4	Fallstudie: Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation	78
4.1	Fallstudienspezifische Fahraufgabenallokation	79
4.2	Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistent	79
4.2.1	Motivation	79
4.2.2	Beschreibung der Funktion	81
4.2.3	Spezifikation der Modellkomponenten der Integralen Fahrzeug- sicherheit	81
4.2.4	Anforderungen an das technische Konzept	83
4.2.5	Umsetzung und Implementierung	86
4.3	Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung	90
4.3.1	Motivation	90
4.3.2	Beschreibung der Funktion	92
4.3.3	Spezifikation der Modellkomponenten der Integralen Fahrzeug- sicherheit	92
4.3.4	Anforderungen an das technische Konzept	94
4.3.5	Umsetzung und Implementierung	97
5	Empirische Studie des fahrerzentrierten Modells	100
5.1	Konzept der empirischen Studie	101
5.1.1	Aufstellung der Hypothesen und Operationalisierung	101
5.1.2	Testdesign und Planung der Datenerhebung	105
5.1.3	Methoden zur Auswertung	108
5.2	Durchführung der empirischen Untersuchung	110
5.2.1	Stichprobe	110
5.2.2	Ablauf der Fahrsimulatorversuche	111
5.3	Auswertung und Bewertung der empirischen Untersuchung	113

5.3.1	Auswertung H.01 kontextabhängiger Bedarf der Fahraufgabenallokation	113
5.3.2	Auswertung H.02 Nutzerakzeptanz	115
5.3.3	Auswertung H.03 fahrsicherheitliche Wirkung	121
5.3.4	Fazit	131
5.4	Verifikation des fahrerzentrierten Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit	134
6	Extraktion eines Leitfadens zur Anwendung des Modells	135
6.1	Zielgruppe	136
6.2	Leitfaden zur Anwendung des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit	137
6.2.1	Allgemeines	137
6.2.2	Modellkomponenten	138
6.2.3	Wechselwirkungen der Modellkomponenten	140
6.2.4	Kontextadaptive Fahraufgabenallokation	141
7	Fazit und Ausblick	144
	Literaturverzeichnis	148
	Abbildungsverzeichnis	157
	Tabellenverzeichnis	160
	Abkürzungsverzeichnis	162
	Anhang	165
	Anhang A Umfeldwahrnehmung durch Fahrzeugsensoren	167
	Anhang B Fragebogen	168
	Anhang C Statistische Tabellen	171

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird zunächst die Motivation zur Untersuchung der Fragestellungen dieser Arbeit gegeben. Anschließend wird die Aufgabenstellung erläutert und der Aufbau der Arbeit beschrieben.

1.1 Motivation

Durch den Einsatz von Fahrerassistenz- und Sicherheitssystemen konnte in den letzten Jahrzehnten die Zahl der Unfälle bereits drastisch gesenkt werden. Sicherheitssysteme unterteilen sich dabei in die passive und die aktive Fahrzeugsicherheit. Mit der passiven Fahrzeugsicherheit sollen Unfallfolgen durch Maßnahmen während eines Unfalls vermindert werden. Die aktive Fahrzeugsicherheit soll Unfälle vermeiden bzw. Unfallfolgen durch Maßnahmen vor einem Unfall vermindern. Um Sicherheitssysteme bereits vor einem Unfall auslösen zu können, muss das Fahrzeug das Umfeld wahrnehmen und die Situation interpretieren können.

Maßnahmen der passiven Fahrzeugsicherheit erreichen nun immer mehr das Höchstmaß an Effizienz. Aus diesem Grund ist es entscheidend weitere aktive Sicherheitssysteme zu entwickeln, die zunehmend zur Unfallvermeidung und Unfallschwereminderung beitragen. Die Kombination von passiver und aktiver Fahrzeugsicherheit erweitert mit Fahrerassistenzsystemen wird in dem Kontext dieser Arbeit als Integrale Fahrzeugsicherheit bezeichnet.

Betrachtet man die Entwicklung der Zahl der im Straßenverkehr Getöteten von 1953 bis 2009 (siehe Abbildung 1.1), kann festgestellt werden, dass die Zahl der Unfallopfer zunehmend sinkt. Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass bereits verschiedene

Optimierungsmaßnahmen zu dieser Senkung geführt haben. Die Maßnahmen können dabei auch rechtlich-regulatorisch durch die Einführung von Gesetzen bestimmt sein. Maßnahmen zur Senkung der Unfallzahlen lassen sich in diesem Kontext wie folgt klassifizieren:

- Verkehrsinfrastruktur (z.B. Kreisverkehr, Ampel, Begrenzung der Höchstgeschwindigkeit)
- Passive Fahrzeugsicherheit (z.B. Gurt, Airbag, strukturoptimierte Fahrgastzelle)
- Aktive Fahrzeugsicherheit (z.B. ABS, ESP, PreCrash-Systeme)
- Fahrerassistenzsysteme (z.B. Auffahrwarner, Spurwechselassistent)

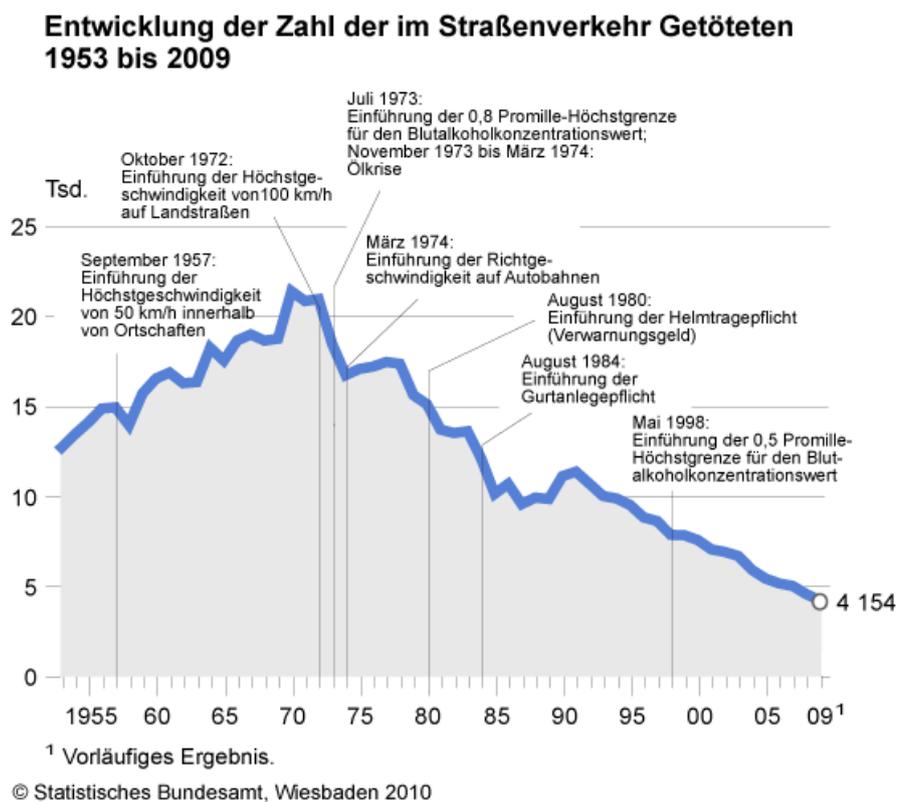


Abbildung 1.1: Entwicklung der Zahl der im Straßenverkehr Getöteten 1953 bis 2009 [Des10]

Unter anderem mit dem Ziel der Senkung der Anzahl Verkehrstoter durch die Nutzung der Optimierungspotenziale der oben angeführten Maßnahmen hat die Europäische Kommission im Jahr 2002 die Initiative eSafety gegründet. Durch die politische Initiative sollen Innovationen der Car-to-Car und Car-to-Infrastructure

Kommunikation vorangetrieben werden, da diese einen wesentlichen Baustein zur Umsetzung aktiver Fahrzeugsicherheits- und Fahrerassistenzsysteme bilden. Die Initiative eSafety weist im Fokus die Weiterentwicklung bestehender und die Einführung neuer Fahrerassistenzsysteme auf, die im Speziellen elektronische Einheiten im Fahrzeug nutzen, um bestmöglich mit Infrastrukturelementen und anderen Fahrzeugen kommunizieren zu können. Maßnahmen werden vor allem in der Entwicklung von Bausteinen intelligent integrierter Sicherheitssysteme, in der Anpassung von Rechtsvorschriften und Normen auf europäischer Ebene und zur Beseitigung gesellschaftlicher und unternehmerischer Hindernisse für eine breite Markteinführung der intelligenten Sicherheitssysteme ergriffen. [BMV]

Um die angeführten Optimierungspotenziale zur Senkung der Anzahl der Verkehrstoten vollständig zu nutzen, ist es entscheidend, die Integrale Fahrzeugsicherheit zur Vermeidung von Unfällen und Verminderung der Unfallschwere voranzutreiben. Im Speziellen ist es notwendig ein Modell zu entwickeln, das die Integrale Fahrzeugsicherheit fahrerzentriert beschreibt, um einen Rahmen im gesamten Entwicklungsprozess einer neuen Sicherheitsfunktion zu geben. Betrachtet man den zeitlichen Einsatz verschiedener Optimierungsmaßnahmen (siehe Abbildung 1.1) wird deutlich, dass der Fahrer zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit immer mehr in den Fokus rückt. Damit ist ein fahrerzentriertes Modell ein entscheidender Bestandteil zur Erreichung des Ziels der Integralen Fahrzeugsicherheit. Im Besonderen muss die Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation weiterentwickelt und durch intelligente Einführungsszenarien ins Feld überführt werden, da die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur, die Grenzen der autarken Sensoren zur Umfeldwahrnehmung im Fahrzeug aufweiten kann.

1.2 Aufgabenstellung und Forschungsfragen

Die Gesamtheit der Integralen Fahrzeugsicherheit, also die Kombination aus passiver, aktiver Fahrzeugsicherheit und Fahrerassistenzsystemen, stellt ein neues Feld in der Mensch-Maschine Kommunikation dar, da das Fahrzeug zur Effektivitätssteigerung der Fahrzeugsicherheit selbsttätig das Umfeld wahrnehmen und interpretieren

kann. Somit ist es möglich Fahraufgaben kontextadaptiv zwischen Fahrer und Fahrzeug zu allokkieren. Daher ist das Ziel der vorliegenden Arbeit, ein allgemeingültiges fahrerzentriertes Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit zu entwickeln. Dabei sollen die Modellkomponenten Fahrer, Fahrzeug, Umfeld und Fahraufgabe berücksichtigt werden, da diese für das Ziel der Konzeptionierung einer kontextadaptiven Fahraufgabenallokation benötigt werden. Das Modell soll passend für die Fahrzeugsicherheit auf den Kontext verschiedener Fahrzustände angepasst und beschrieben werden.

Anhand einer Fallstudie soll das Referenzmodell mit Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation angewendet und empirisch in einer Fahrstudie überprüft werden. Zur empirischen Überprüfung des fahrerzentrierten Modells soll die Simulation gewählt werden, da nicht alle Situationen und Fahrzustände in der Realität überprüft werden können. Unfälle lassen sich demnach u.a. aus ethischen Gründen ausschließlich in einer Fahrstudie darstellen. Abschließend soll ein Leitfaden zur Anwendung des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit extrahiert werden. Die Nutzergruppe der Entwicklungsingenieure mit der Aufgabe der Spezifikation zukünftiger Fahrerassistenz- und Sicherheitsfunktionen können somit das Modell optimal in die Realität überführen.

Die gegebene Aufgabenstellung erfordert demnach die Beantwortung der folgenden Forschungsfrage:

Wie lässt sich die Integrale Fahrzeugsicherheit durch ein allgemeingültiges Modell nutzerzentriert beschreiben?

Weiterhin lässt sich die Forschungsfrage in sechs Subforschungsfragen für die Integrale Fahrzeugsicherheit unterteilen:

- Wie lassen sich Fahraufgaben klassifizieren?
- Welche Klassifizierung des Fahrers muss vorgenommen werden?
- Wie lassen sich Fahrzeugsysteme klassifizieren?
- Wie lässt sich das Umfeld charakterisieren?
- Wie lassen sich Fahrzustände im Modell kontextabhängig beschreiben?

- Welchen Einfluss haben die verschiedenen Fahrzustände auf die Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug?

Die Gültigkeit des aufgestellten Modells zur nutzerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit soll nach Überprüfung der Wirksamkeit des Modells bezüglich zur Zielerreichung der Verbesserung der Fahrzeugsicherheit durch Überprüfung auf Vollständigkeit und Richtigkeit verifiziert werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Abbildung 1.2 zeigt den Aufbau der Arbeit. Nach der gegebenen Einleitung zum Thema in **Kapitel 1** wird der Stand der Forschung in **Kapitel 2** aufgezeigt. Dazu werden die wesentlichen Modellkomponenten mittels Literaturrecherche analysiert. Es werden Lücken existierender Lösungsansätze zur Beantwortung der Forschungsfrage aufgezeigt und Anforderungen an das Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit abgeleitet.

Kapitel 3 beschreibt den Kern der wissenschaftlichen Arbeit. Das Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit wird entwickelt und systematisch beschrieben. Die einzelnen Modellkomponenten Fahrer, Fahrzeug, Umfeld und Fahraufgabe werden klassifiziert und Wechselwirkungen der Modellkomponenten werden analysiert. Abschließend wird die kontextadaptive Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug als Kernpunkt dieser Arbeit abgeleitet, die durch den Fahrzustand eines Verkehrsszenarios definiert wird.

Das Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit findet in **Kapitel 4** zur Verifikation der Gültigkeit in einer Fallstudie Anwendung. Die beiden Integralen Fahrzeugsicherheitsfunktionen Car-to-Car Kreuzungsassistent (KAS) und Car-to-Infrastructure Rotlichtverstoß-Warnung (RLV) werden in der Fallstudie umgesetzt. Bei beiden Funktionen wird das Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit angewendet, es werden Anforderungen an das technische Konzept gestellt und eine Implementierung vorgenommen.

Kapitel 5 prüft das Modell und dessen Anwendung mit Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation. Mit Hilfe einer Fahrsimulatorstudie werden die auf-

gestellten Hypothesen zum Bedarf der kontextadaptiven Fahraufgabenallokation der Integralen Fahrzeugsicherheit, zur Nutzerakzeptanz der einzelnen Funktionen und zur fahrsicherheitlichen Wirkung der Funktionen empirisch untersucht. Abschließend wird eine Verifikation des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit durchgeführt.

Anschließend wird in **Kapitel 6** ein Leitfaden zur Anwendung des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit für die Nutzergruppe der Entwicklungsingenieure mit der Aufgabe der Spezifikation von zukünftigen Fahrerassistenzsystemen und Funktionen der Integralen Fahrzeugsicherheit extrahiert.

Kapitel 7 gibt abschließend eine Zusammenfassung der Arbeit und einen Ausblick auf weiterführende Fragestellungen.

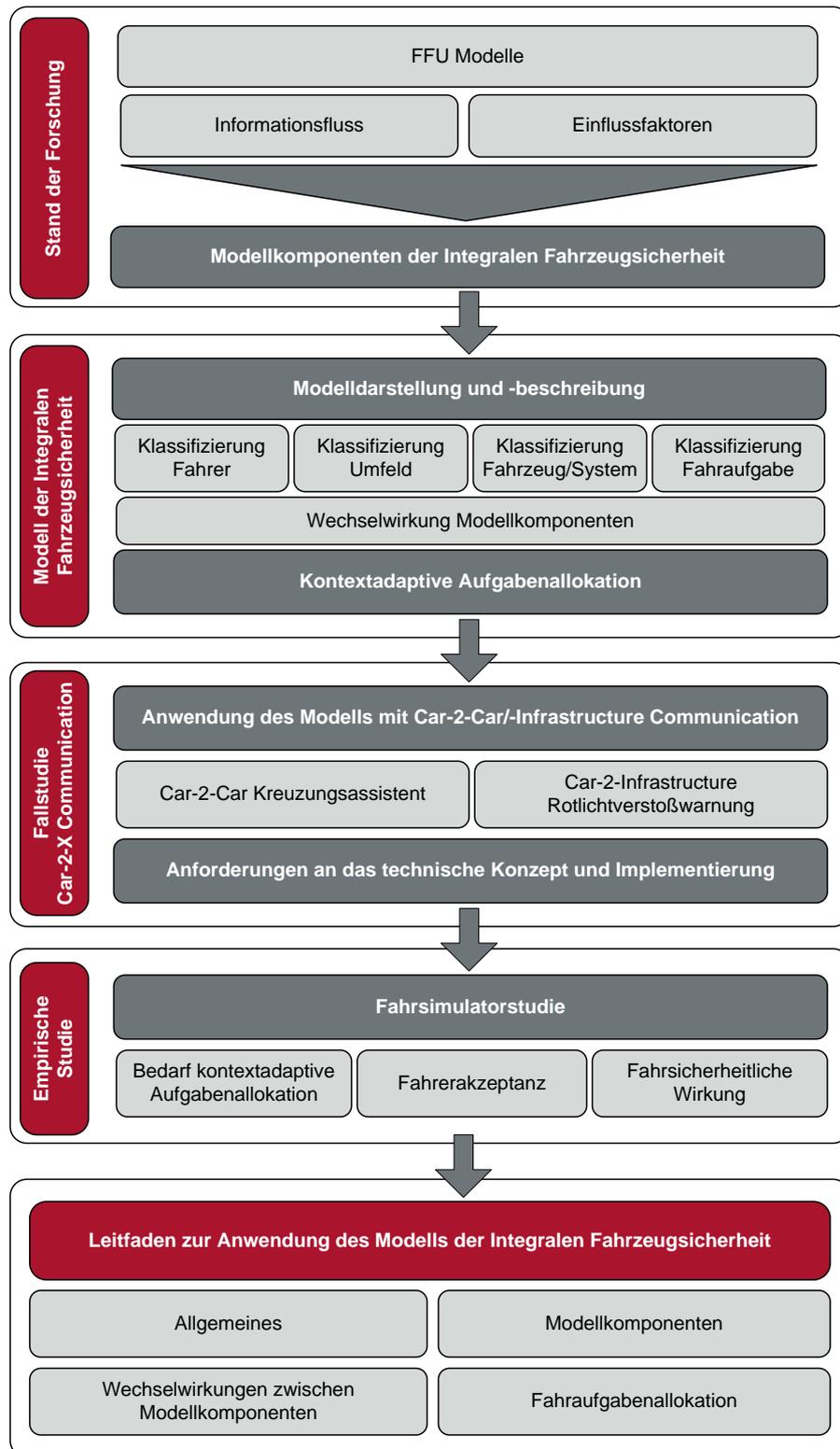


Abbildung 1.2: Aufbau der Arbeit

2 Stand der Forschung

Um die Forschungsfrage nach einem fahrerzentrierten Modell für die Integrale Fahrzeugsicherheit beantworten zu können, werden in Kapitel 2 die Grundlagen zur Ableitung eines Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit analysiert. Zunächst werden bereits bekannte Fahrer-Fahrzeug-Umfeld (FFU) Modelle beschrieben, miteinander verglichen und bezüglich der Anwendbarkeit für die Integrale Fahrzeugsicherheit bewertet. Ebenso werden bereits klassifizierte Modellkomponenten aufgezeigt. Weiterhin wird der Informationsfluss im Kontext Fahrer-Fahrzeug-Umfeld beschrieben und Einflussfaktoren für ein fahrerzentriertes Modell untersucht. Bereits in der Literatur beschriebene Aufgabenallokationen zwischen Mensch und Technik werden analysiert und detailliert aufgezeigt. Abschließend werden Anforderungen an ein Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell abgeleitet, die zur Beantwortung der Forschungsfrage überführen.

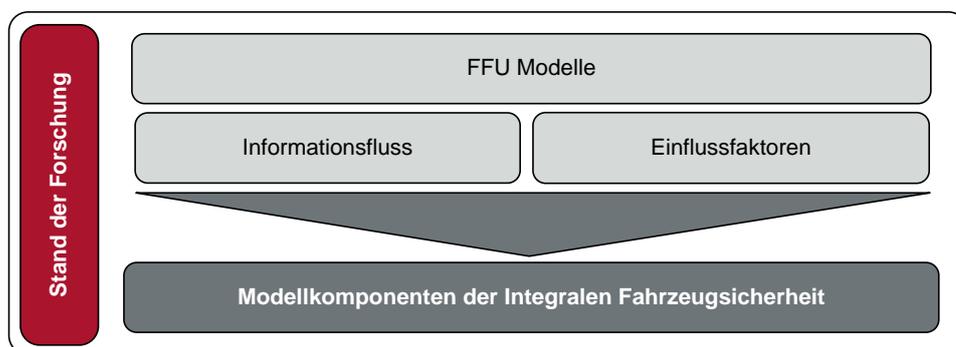


Abbildung 2.1: Aufbau des Kapitels

2.1 Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modelle

2.1.1 Allgemeine Modelle

Bereits im Jahr 1977 veröffentlichten Johannsen et al. ein Mensch-Maschine-Regelsystem in Verbindung mit der Kraftfahrzeugführung. Ein Regelsystem ist im Allgemeinen dadurch definiert, dass eine Eingangsgröße durch einen Prozess mit Störgrößen in einem in sich abgeschlossenen Wirkungsablauf beeinflusst wird und zu einer Ausgangsgröße führt [Lun08]. Abbildung 2.2 zeigt die einfachen Zusammenhänge zwischen dem Fahrer und dem Fahrzeug mit der Umwelt. Nach Johannsen et al. wird ein Mensch-Maschine-System durch ein biologisches (Mensch) und durch ein technisches System (Maschine) beschrieben. Um ein Ziel gemeinsam zu erreichen, muss ein wechselseitiger Informationsaustausch stattfinden. Dabei können Störungen aus der Umwelt auf die Teilsysteme Mensch und Maschine wirken. Das Regelsystem beschreibt den Menschen dabei nicht in seinem gesamtheitlichen Verhalten, sondern durch alle einer bestimmten Maschine zugeordneten Arbeitsaufgaben. Somit ergeben sich Mensch-Maschine Konstellationen z.B. aus Pilot-Flugzeug, Operateur-Werkzeugmaschine und Fahrer-Fahrzeug. [Je77]

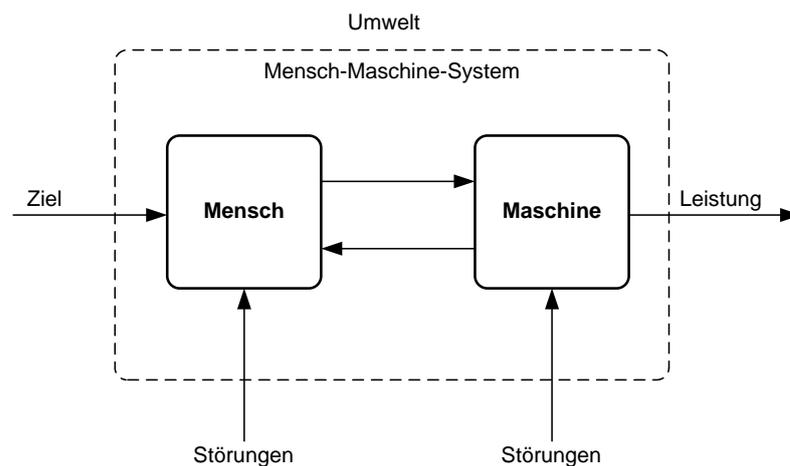


Abbildung 2.2: Fahrer-Fahrzeug-Regelsystem nach [Je77]

Um die bereits in der Literatur existierenden Beschreibungen zu FFU-Modellen für den Kontext dieser Arbeit zu bewerten, wird der neue Aspekt zur Mensch-Maschine Kommunikation in der Integralen Fahrzeugsicherheit aufgegriffen. Es sollen Fahr-

aufgaben durch das Fahrzeug übernommen werden können und ein Konzept zur Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug aufgestellt werden. Dazu ist es entscheidend, dass alle benötigten Modellkomponenten und der Informationsfluss zwischen den Modellkomponenten beschrieben werden, um letztendlich die kontext-adaptive Fahraufgabenallokation ableiten zu können. Jedes FFU-Modell wird zur Identifikation von Lücken zur Beantwortung der Forschungsfrage dementsprechend nach folgenden Kriterien bewertet:

- **Modellkomponenten:** Es wird analysiert, ob die Modellkomponenten Fahrer, Fahrzeug, Umfeld und Fahraufgabe im Modell enthalten sind.
- **Informationsfluss und Einflussfaktoren:** Es soll ein bidirektionaler Informationsfluss zwischen Fahrer und Fahrzeug, zwischen Fahrer und Umfeld und zwischen Fahrzeug und Umfeld im Modell beschrieben sein. Weiterhin wird untersucht, inwieweit die Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug in den Modellen verankert ist. Abschließend sollen die Modelle die Einflussfaktoren Beanspruchung, Belastung und Vigilanz sowohl für den Fahrer als auch das Fahrzeug erwähnen, dies kann durch die gestellte Fahraufgabe oder das Umfeld erfolgen.

Die Kriterien können verschiedene Erfüllungsgrade annehmen:

- o Merkmal ist nicht erfüllt.
- + Merkmal teils bzw. bedingt erfüllt.
- ++ Merkmal ist erfüllt.

Tabelle 2.1 zeigt die Bewertung der einzelnen Kriterien und gegebenenfalls Anmerkungen für das Fahrer-Fahrzeug-Regelsystem nach Johannsen et al. auf.

		Erfüllungsgrad	Bemerkung
Modellkomponenten	Fahrer	++	Benennung allgemein als Mensch
	Fahrzeug	++	Benennung allgemein als Maschine
	Umfeld	++	Benennung als Umwelt
	Fahraufgabe	+	Benennung der Fahraufgabe als Ziel
Informationsfluss und Einflussfaktoren	Informationsfluss	+	ausschließlich zwischen Fahrer und Fahrzeug vorhanden
	Fahraufgabenallokation	o	Erfüllung Fahraufgabe durch Bedienung von Fahrzeug-Stellgliedern vom Fahrer
	Beanspruchung, Belastung, Vigilanz	+	ausschließlich Störungen durch Umfeld

- o Merkmal ist nicht erfüllt.
- + Merkmal ist teils/bedingt erfüllt.
- ++ Merkmal ist voll erfüllt.

Tabelle 2.1: Bewertung des Fahrer-Fahrzeug-Regelsystem von Johannsen et al.

Abbildung 2.3 zeigt ein weiterentwickeltes Mensch-Maschine System speziell angewendet auf den Fahrer und das Fahrzeug. Bubb beschreibt die Kraftfahrzeugführung als einen Regelkreis zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt. Die Fahraufgabe wird von dem Straßenverlauf, von Verkehrsteilnehmern (z.B. Fahrzeuge, Fußgänger, Radfahrer) und Umgebungsbedingungen (z.B. Witterungsverhältnisse) beeinflusst. Dadurch werden die Führungsgrößen der Quer- und Längsdynamik bestimmt. Der Fahrer übernimmt in diesem Regelkreis die Aufgabe der visuellen Informationsaufnahme der Umgebung, die zur Informationsverarbeitung und letztendlich zur Informationsumsetzung durch Arm- und Fußmuskulatur führt. Informationsumsetzung kann die Bedienung des Lenkrads, des Schalthebels, des Gas-, Brems- und Kupplungspedals sein (vgl. 2.2.1). Neben der optischen Wahrnehmung können Informationen, die vom Fahrzeug verursacht werden, auch kinästhetisch über das Vestibularorgan, akkustisch über die Rezeptoren im Ohr oder haptisch über die Stellungsrezeptoren der Gelenke und die Berührungsrezeptoren auf der Haut aufgenommen und verarbeitet werden. [Bub01]

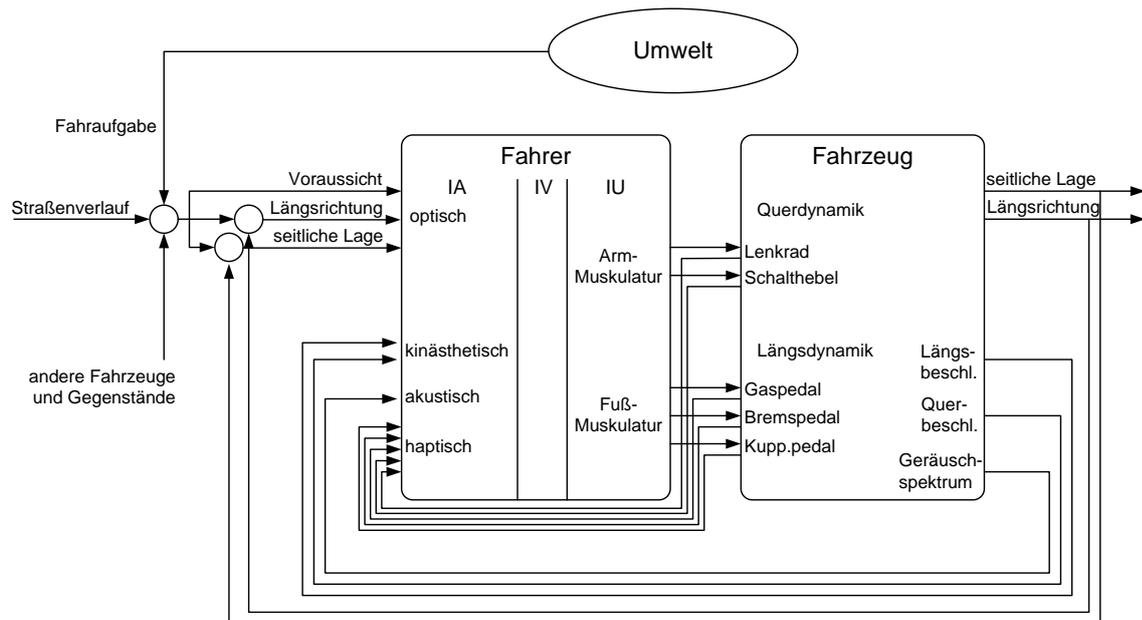


Abbildung 2.3: Fahrer-Fahrzeug-Regelsystem nach [Bub01]

Tabelle 2.2 zeigt die Bewertung der einzelnen Kriterien und gegebenenfalls Anmerkungen für das Fahrer-Fahrzeug-Regelsystem nach Bubb auf.

Abbildung 2.4 zeigt ein ähnliches Mensch-Maschine-System mit den Rollen Fahrer und Fahrzeug. Timpe konzentriert sich bei der Beschreibung des Systems hauptsächlich auf die technischen Komponenten des Fahrzeuges, die maßgeblich die Güte der Fahrzeugführung beeinflussen. Dazu zählen u.a. Anzeige- und Bedieneinheiten, die zur Erfüllung von Fahraufgaben und Komfortfunktionen dienen, Assistenzsysteme für unterschiedliche Anforderungen, dynamische Eigenschaften des Fahrzeuges und Bewegungs- und Sichtbedingungen innerhalb des Fahrzeuges nach außen. Diese sollten so ausgestaltet sein, dass der Fahrer auch in zeitkritischen Situationen die Fahraufgabe innerhalb seiner Grenzen der Informationsverarbeitung bewältigen kann. Zwischen Fahrer und Fahrzeug gibt es die motorische Vermittlung (z.B. über das Lenkrad und Gaspedal) und die direkte bzw. indirekte sensorische Vermittlung, die der Fahrer z.B. haptisch wahrnehmen kann. [Tim01]

Tabelle 2.3 zeigt die Bewertung der einzelnen Kriterien und gegebenenfalls Anmerkungen für das Fahrer-Fahrzeug-Modell nach Timpe auf.

		Erfüllungsgrad	Bemerkung
Modellkomponenten	Fahrer	++	
	Fahrzeug	++	
	Umfeld	++	Benennung als Umwelt
	Fahraufgabe	++	
Informationsfluss und Einflussfaktoren	Informationsfluss	+	kein Informationsfluss zwischen Umfeld und Fahrzeug
	Fahraufgabenallokation	o	Erfüllung Fahraufgabe ausschließlich durch Bedienung von Fahrzeug-Stellgliedern vom Fahrer
	Beanspruchung, Belastung, Vigilanz	o	

- o Merkmal ist nicht erfüllt.
- + Merkmal ist teils/bedingt erfüllt.
- ++ Merkmal ist voll erfüllt.

Tabelle 2.2: Bewertung des Fahrer-Fahrzeug-Regelsystem von Bubb

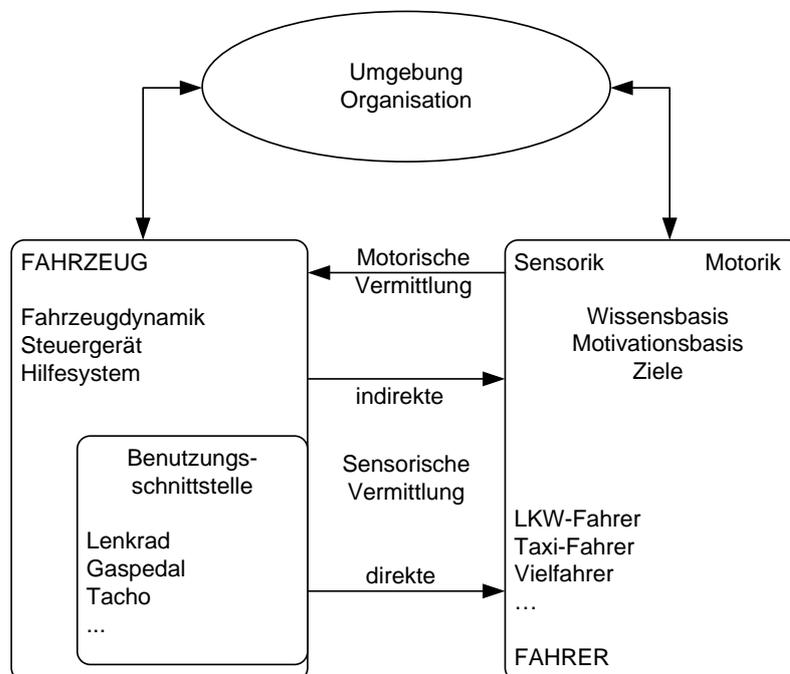


Abbildung 2.4: Fahrer-Fahrzeug-Modell nach [Tim01]

		Erfüllungsgrad	Bemerkung
Modellkomponenten	Fahrer	++	
	Fahrzeug	++	
	Umfeld	++	Benennung als Umgebung/Organisation
	Fahraufgabe	+	keine direkte Verankerung der Fahraufgabe im Modell
Informationsfluss und Einflussfaktoren	Informationsfluss	++	
	Fahraufgabenallokation	o	siehe Merkmal Fahraufgabe
	Beanspruchung, Belastung, Vigilanz	o	

- o Merkmal ist nicht erfüllt.
- + Merkmal ist teils/bedingt erfüllt.
- ++ Merkmal ist voll erfüllt.

Tabelle 2.3: Bewertung des Fahrer-Fahrzeug-Modells von Timpe

Lemmer beschreibt sein System als kognitives Fahrermodell (Abbildung 2.5). Durch Bedienhandlungen des Fahrers auf das Fahrzeug (1) kommt es zu Auswirkungen in der Umwelt (2). Ebenso ergibt sich eine Auswirkung auf den Fahrer über das Fahrzeug (4), beeinflusst durch die Umwelt (3). Neben den indirekten Einflüssen über das Fahrzeug gibt es auch direkte Wechselwirkungen zwischen Umwelt und Fahrer (5, 6). Weiterhin beschreibt Lemmer die Informationsaufnahme, -verarbeitung und -ausgabe des Menschen (vgl. 2.2.1). [Lem05]

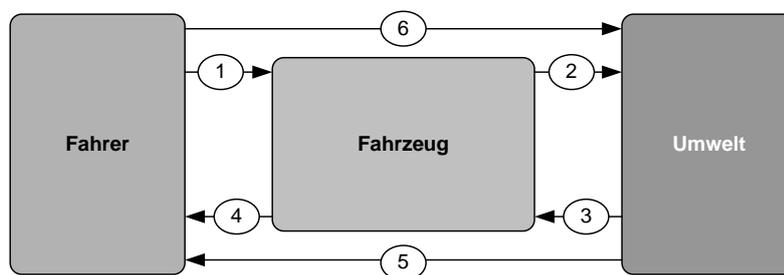


Abbildung 2.5: Fahrer-Fahrzeug-Modell nach [Lem05]

Tabelle 2.4 zeigt die Bewertung der einzelnen Kriterien und gegebenenfalls Anmerkungen für das Fahrer-Fahrzeug-Modell nach Lemmer auf.

		Erfüllungsgrad	Bemerkung
Modellkomponenten	Fahrer	++	
	Fahrzeug	++	
	Umfeld	++	Benennung als Umwelt
	Fahraufgabe	+	keine direkte Verankerung im Modell
Informationsfluss und Einflussfaktoren	Informationsfluss	+	kein Informationsfluss Fahrzeug zum Umfeld
	Fahraufgabenallokation	o	Erfüllung Fahraufgabe durch Bedienung von Fahrzeug-Stellgliedern vom Fahrer
	Beanspruchung, Belastung, Vigilanz	o	

- o Merkmal ist nicht erfüllt.
- + Merkmal ist teils/bedingt erfüllt.
- ++ Merkmal ist voll erfüllt.

Tabelle 2.4: Bewertung des Fahrer-Fahrzeug-Modells von Lemmer

Fazit

Abschließend ist zusammenzufassen (siehe Tabelle 2.5), dass alle vier Modelle gleiche Komponenten beinhalten (Fahrer, Fahrzeug, Umfeld), die sich gegenseitig beeinflussen, allerdings in unterschiedlichem Maße beschrieben sind. Die Umwelt beeinflusst zumeist den Fahrer und das Fahrzeug, der Fahrer regelt das Fahrzeug und erhält über einen Feedbackkanal Rückmeldungen durch das Fahrzeug. Es handelt sich bei allen Modellen also um Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Regelkreise, in denen der Mensch als Erfüller der Fahraufgabe im Mittelpunkt steht. Zunächst beschreiben Johannsen et al. ein einfaches Modell mit den Komponenten Mensch, Maschine und Umwelt, die durch Störungen beeinflusst, aus einem gegebenen Ziel eine entsprechende Leistung generieren. Aufbauend auf das allgemeine Modell von Johannsen et al. erweitert Bubb das Modell speziell für die Erfüllung von Fahraufgaben im Automobil. Timpe hingegen beschreibt das Modell von Johannsen et al. auf psychologisch technischer Ebene für den Regelkreis im Fahrzeug. Lemmer greift die Modelle auf und vertieft seine Beschreibung des Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modells auf die verschiedenen Wechselwirkungen der einzelnen Modellkomponenten.

Die in der Literatur existierenden Beschreibungen von Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modellen beinhalten die wesentlichen Modellkomponenten (Fahrer, Fahrzeug, Umfeld)

		Fahrer-Fahrzeug Regelsystem nach [Je77]	Fahrer-Fahrzeug Regelsystem nach [Bub01]	Fahrer-Fahrzeug Modell nach [Tim01]	Fahrer-Fahrzeug Modell nach [Lem05]
Modellkomponenten	Fahrer	++	++	++	++
	Fahrzeug	++	++	++	++
	Umfeld	++	++	++	++
	Fahraufgabe	+	++	+	+
Informationsfluss und Einflussfaktoren	Informationsfluss	+	+	++	+
	Fahraufgabenallokation	o	o	o	o
	Beanspruchung, Belastung, Vigilanz	+	o	o	o

- o Merkmal ist nicht erfüllt.
- + Merkmal ist teils/bedingt erfüllt.
- ++ Merkmal ist voll erfüllt.

Tabelle 2.5: Bewertung und Vergleich der Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modelle

zur Darstellung eines Regelkreises zur Erfüllung von Fahraufgaben. Eine ausführliche Thematisierung der Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug fehlt in den bisherigen Betrachtungen. Damit verbunden existieren auch keine Beschreibungen zur Umfeldwahrnehmung durch das Fahrzeug. Die Beschreibung der Fahraufgabenverteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug und die dadurch entstehende Beanspruchung des Fahrers und des Fahrzeuges wird ebenfalls nicht erwähnt. Zur Beantwortung der Forschungsfrage wird daher in Kapitel 3 ein erweitertes Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell dargestellt und systematisch beschrieben.

2.1.2 Modellkomponenten

Fahraufgaben

Bernotat beschreibt die Fahraufgabe 1970 in drei Ebenen - Stabilisierung, Führung und Navigation. Die Navigationsebene beschreibt die Wahl der Fahrtroute und die Festlegung des zeitlichen Ablaufs. In der Führungsebene werden abhängig von Bedingungen der Fahr- und Verkehrssituation Soll-Kurs, Soll-Geschwindigkeit und Fahrmanöver festgelegt. In der Stabilisierungsebene ist der Fahrer aufgefordert, Abweichungen der Ist-Werte von den Soll-Werten zu korrigieren. [Ber70]

McKnight und Adams unterteilen die Fahraufgaben 1970 in fünf Gruppen [MA70]:

- grundlegende Kontrollaufgaben
- allgemeine Fahraufgaben
- Fahraufgaben bezogen auf die Umwelt
- Fahraufgaben bezogen auf die Verkehrsbedingungen
- Fahraufgaben bezogen auf die Straßencharakteristika

Es lässt sich erkennen, dass McKnight und Adams damit bereits eine Beeinflussung der fahrzeugumgebenden Umwelt auf die Fahraufgabe beschreiben.

Nagel identifiziert 1994 in seinen Untersuchungen 17 elementare Fahrmanöver zur Beschreibung von Fahraufgaben, die anhand eindeutig identifizierbarer Fahrtabschnitte abgrenzbar sind [Nag94]:

1. An- und Weiterfahren
2. einer Straße folgen
3. Annäherung an Hindernis/Fahrzeug
4. Überholen
5. Anhalten vor Hindernis (z.B. Ampel)
6. Hindernis links/rechts passieren
7. hinter Fahrzeug anfahren
8. einem Fahrzeug folgen
9. Kreuzung durchfahren
10. Spurwechsel links/rechts
11. Abbiegen links/rechts
12. Rechts ranfahren und anhalten
13. Zurücksetzen
14. U-Turn links/rechts

15. Wenden 180°

16. Einparken

17. Ausparken

Bubb und Timpe gliedern die Fahraufgabe in drei Gruppen - Primär-, Sekundär- und Tertiäraufgabe (siehe Tabelle 2.6). Tertiäraufgaben beschreiben Aufgaben zur Zufriedenstellung des Komfort-, Unterhaltungs- und Informationsbedürfnisses des Menschen (z.B. Bedienung des Radios und der Klimaanlage). Sie haben keine direkte Verbindung zur eigentlichen Fahraufgabe. Im Zuge der Diskussionen um die Fahrzeugautomation (siehe Kapitel 2.2.2) gewinnen die Tertiäraufgaben allerdings zunehmend an Bedeutung, da der Fahrer durch die autonome Ausführung von Fahraufgaben durch das Fahrzeug viel mehr Zeit für Nebentätigkeiten hat. Sekundäraufgaben sind verkehrs- und umweltbedingte Aufgaben aus der Fahraufgabe (z.B. Blinker betätigen), die in enger Verknüpfung zur primären Fahraufgabe stehen. Primäraufgaben beschreiben im weitesten Sinne die eigentlichen Fahraufgaben zur Navigation, Führung und Stabilisierung des Fahrzeuges, wie sie auch in den drei Ebenen von Bernotat beschrieben werden. [Tim01] [Bub01]

Primäraufgabe	Navigationsaufgabe Längenmaßstab: n x 100 km Zeitmaßstab: Minuten bis Stunden
	Führungsaufgabe Längenmaßstab: 0,2 bis 200 Meter Zeitmaßstab: 1 bis 10 Sekunden
	Stabilisierungsaufgabe Längenmaßstab: 1 bis 10 Meter Zeitmaßstab: 1 bis 50 Millisekunden
Sekundäraufgabe	verkehrs- und umweltbedingte Aufgaben im Rahmen der Primäraufgabe z.B. blinken, hupen, wischen, Licht ein/aus
Tertiäraufgabe	Aufgaben zu Zufriedenstellung des Komfort-, Unterhaltungs- und Informationsbedürfnisses z.B. Bedienung Radio, Klimaanlage

Tabelle 2.6: Klassifizierung der Fahraufgabe nach [Tim01] [Bub01]

Fazit

Vergleichend lässt sich sagen, dass die verschiedenen Beschreibungen der Fahraufgabe in ihrer Tiefe variieren. Auf oberster Ebene erläutert Bernotat die Fahraufgabe in drei Ebenen. Dieses Konzept wird von Bubb und Timpe aufgegriffen und detaillierter weiterentwickelt. McKnight und Adams beschreiben die Fahraufgabe hingegen auf einer anderen Kontextebene. Sie verwenden Beeinflussungsgrößen aus der Umwelt zur Unterteilung der einzelnen Aufgaben. Nagel vertieft seine Ausführungen bis hin zu elementaren Fahrmanövern, die durch eindeutig identifizierbare Fahrabschnitte differenzierbar sind. Für den Kontext der Integralen Fahrzeugsicherheit sind Primäraufgaben, wie sie von Bernotat, Bubb und Timpe beschrieben werden, von entscheidender Bedeutung, da diese einen direkten Einfluss auf das Fahrzeug und seine Begebenheit in einer Verkehrssituation haben. Sekundär- und Tertiäraufgaben sollten nicht als vernachlässigbar angenommen werden, da diese das Verkehrsszenario indirekt beeinflussen. Allerdings werden für das abgeleitete Konstrukt der kontext-adaptiven Fahraufgabenallokation in Kapitel 3.3 ausschließlich Primäraufgaben auch durch das Fahrzeug übernommen. Für weitere Betrachtungen dieser Arbeit werden die Ausführungen von Bernotat, Bubb und Timpe aufgegriffen und in Kapitel 3.2.2 zur Beantwortung der Forschungsfrage angewendet.

Umfeldklassifizierung

Um eine gesamtheitliche Abbildung der FFU-Modelle aufstellen zu können, ist es notwendig, eine systematische Analyse des Verkehrsgeschehens vorzunehmen. Das Verkehrsgeschehen sollte dafür in überschaubare und abgegrenzte Teile komplexer Verkehrsverläufe zerlegt werden [Wil03]. In vorhandener Literatur wurde der Komplex zumeist als Verkehrssituation beschrieben und klassifiziert [BHSR83] [Fas95]. Benda, Hoyos und Schaible-Rapp beschreiben eine Verkehrssituation als „Umgebung des Mensch-Maschinen-Systems Fahrer-Fahrzeug aus Fahrersicht“ [BHSR83]. Sie stellen 1983 im Rahmen eines Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Straßenwesen Dimensionen auf, um eine systematische Klassifikation von Verkehrssituationen zu beschreiben [BHSR83]. Die genannten Dimensionen werden schließlich den Gruppen Straßentyp/-ausbau, Trasse, Sicht und Straßenzustand sowie Verkehrsablauf und -verhalten zugeordnet, um ein Klassifikationsschema darzustellen. Fasten-

meier zieht das Klassifikationsschema von Benda 1995 heran, um es zu einer stärkeren Anwendbarkeit in der Praxis zu führen. Nach zwei Modifikationsschritten, die als Ziel die Reduzierung der einzelnen Dimensionen haben, klassifiziert Fastenmeier eine Verkehrssituation nun nach drei Kriterien [Fas95]. Fastenmeier beschreibt die Verkehrssituationen fast ausschließlich durch statische Parameter. Tabelle 2.7 gibt einen Überblick der Umfeldklassifikation der beiden Autoren.

Umfeldklassifizierung nach [BHSR83]	Umfeldklassifizierung nach [Fas95]
<ul style="list-style-type: none"> - Verkehrsweg - Wegverlauf in der Horizontalebene: Kurvigkeit - Wegverlauf in der Vertikalebene: Steigung, Gefälle - Kreuzungen mit Straßen/Bahn - Straßenzustand, Fahrbahn - Engstellen, Hindernisse 	<ul style="list-style-type: none"> - Straßentyp und Straßenausbau (Autobahn, Landstraße, City/innerorts) - Trasse (Horizontalverlauf, Vertikalverlauf, Knotenpunkte) - Verkehrsablauf (Engstellen, Fahrtrichtung)
<ul style="list-style-type: none"> - Vorfahrtregelung - Verkehrsschilder 	
<ul style="list-style-type: none"> - (besondere) Sichtbedingungen - Wetterbedingungen 	
<ul style="list-style-type: none"> - Verkehrsdichte - Fahrfehler oder Verhaltensfehler anderer Verkehrsteilnehmer 	
<ul style="list-style-type: none"> - landschaftliche Umgebung 	

Tabelle 2.7: Klassifizierung des Umfelds nach [BHSR83] und [Fas95]

Fazit

Bei den Verkehrssituationen, die bereits in der Literatur beschrieben sind, fehlen entscheidende Parameter für eine notwendige Umfeldklassifizierung im Zusammenhang des Sachverhaltes der Integralen Fahrzeugsicherheit. Für diese Arbeit sind neben statischen Merkmalen auch dynamische Merkmale zur Klassifizierung des Umfeldes bedeutend. Einige dynamische Merkmale sind in den vorhandenen Beschreibung bereits enthalten (z.B. Wetterbedingungen, Verkehrsdichte), diese müssen allerdings u.a. durch weitere Verkehrsteilnehmer ergänzt werden, da diese potenzielle Unfallgegner darstellen und somit relevant für Integrale Fahrzeugsicherheitssysteme sein können. Ebenfalls muss für den Kontext dieser Arbeit eine gesamtheitliche Definition eines Verkehrsszenarios vorgenommen werden. Dieses kann sich dann aus dem adaptierten Umfeldkatalog, bestehend aus statischen und dynamischen Objekten, zur Beschreibung der einzelnen Elemente des Verkehrsszenarios bedienen. In Kapitel 3.2.5 wird eine Umfeldklassifikation und die Definition eines gesamtheitlichen Ver-

kehrsszenarios für den Kontext dieser Arbeit vorgenommen, die zur Beantwortung der Forschungsfrage führt.

2.2 Informationsfluss und Einflussfaktoren

2.2.1 Informationsfluss im Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell

In der Integralen Fahrzeugsicherheit steht der Informationsfluss zwischen den Modellkomponenten Fahrer, Fahrzeug und Umfeld stark im Vordergrund. Demnach müssen zunächst die Grundlagen des Prozesses der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung deutlich gemacht werden. Anforderungen eines Mensch-Maschine-Systems ergeben sich aus den Aufgabenmerkmalen und den verschiedenen Eigenschaften des Gesamtsystems. Die Anforderungen beziehen den gesamten Prozess von der Wahrnehmung bis zur Entscheidung über Eingriffe in das System und der Diagnose sowie Behebung von Störungen ein. Demgegenüber stehen die Leistungsmöglichkeiten des kognitiven Systems des Menschen. Um eine optimale Erfüllung von Aufgaben zu erreichen, müssen die Faktoren Mensch und System bestmöglich aufeinander abgestimmt werden. [Klu06]

Zur Einführung wird das Rahmenmodell der „Situation Awareness“ von Endsley vorgestellt. Das Rahmenmodell umfasst den Prozess und die Strukturen der menschlichen Informationsverarbeitung. Es werden ausgehend von dem aktuellen Zustand der Umgebung die menschliche Wahrnehmung, das Verständnis und die Prognose der Situationsweiterentwicklung beschrieben. Die Wahrnehmung der Umgebung ist dabei eng verbunden mit dem Erkennen von Situationen bzw. Merkmalen und deren Ausprägungen, also dem Einbeziehen bereits bekannten Wissens [Gol02]. Daraus ergeben sich abgeleitete Entscheidungen und Handlungen des Menschen. Neben den Situations- und Systemfaktoren sind individuelle Faktoren einzelner Personen entscheidende Kriterien für den Informationsverarbeitungsprozess. Abbildung 2.6 zeigt das Rahmenmodell des Situation Awareness Ansatzes nach Endsley. [End95]

Anschließend wird nun der Informationsfluss beim Fahrer und im Fahrzeug dargestellt. Grundlegend wird zur Beschreibung des Informationsflusses das Rahmenmo-

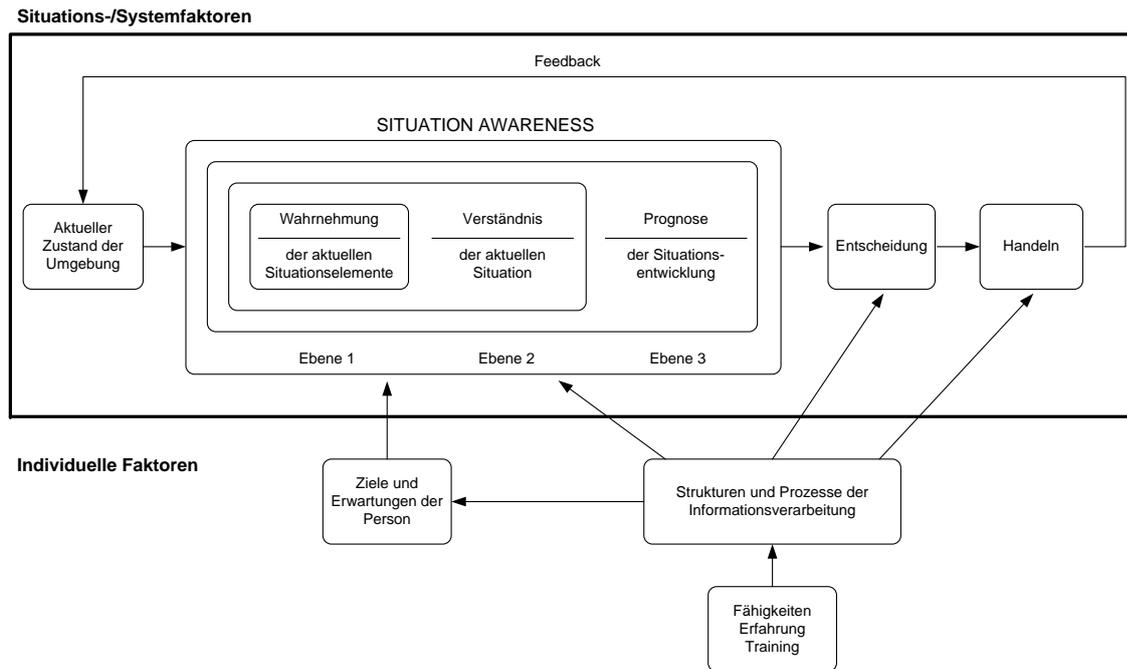


Abbildung 2.6: Rahmenmodell des Situation Awareness Ansatzes nach [End95] [Klu06]

dell der „Situation Awareness“ von Endsley vorausgesetzt. Um die Erfüllung von Fahraufgaben letztendlich optimal gewährleisten zu können, müssen die Informationskreise des Fahrers und des Fahrzeuges aufeinander abgestimmt werden. Der Informationsfluss kann dabei je nach Fahrzustand unterschiedlich ausgeprägt sein (siehe Kapitel 3.1 und 3.3). Somit kann die Kontextadaptivität der Fahraufgabenallokation beschrieben werden.

Fahrer

Rasmussen [Ras83] unterscheidet das menschliche Verhalten, auf dessen Grundlage Entscheidungen getroffen und abgeleitete Handlungen getätigt werden, in seinem Handlungsmodell in drei Ebenen:

- Wissensbasiertes Verhalten (*knowledge-based behavior*)
- Regelbasiertes Verhalten (*rule-based behavior*)
- Fertigkeitsbasiertes Verhalten (*skill-based behavior*)

Wissensbasiertes Verhalten beruht auf Handlungsstrategien, die auf Grundlage von generellem Wissen und dessen Interpretation entschieden werden. Die Situationen,

in denen wissensbasierte Handlungen ausgeführt werden, sind dem Handlungsausführer unbekannt. Ein Fahrschüler erfüllt beispielsweise die Fahraufgabe in der ersten Fahrstunde wissensbasiert. Bei regelbasiertem Verhalten werden erlernte Regeln angewendet, um Aufgaben zu beurteilen bzw. Probleme zu lösen (z.B. Geschwindigkeitsregulation je nach Wetterverhältnis). Fertigkeitsbasiertes Verhalten wird durch Signale ausgelöst und beruht auf Erfahrungen bereits durchgeführter Handlungen (z.B. Betätigung des Bremspedals bei dem Wunsch zu bremsen). Generell lässt sich bei den drei Ebenen festhalten, dass sich die Zeitdauer zur Ausführung einer Aufgabe von ferigkeitsbasiertem- bis zu wissensbasiertem Verhalten verlängert.

Im Folgenden soll weiterhin näher auf den menschlichen Wahrnehmungsprozess eingegangen werden und die damit verbundenen Sinnersorgane zur Wahrnehmung einer Situation. Der Mensch verfügt über neun sensorische Sinneskanäle, die parallel Informationen aufnehmen können. Die Leistung der Informationsaufnahme sinkt allerdings mit Erhöhung der Anzahl der parallel aufnehmenden Sinneskanäle. Für den Prozess der Kraftfahrzeugführung werden vier der neun sensorischen Modalitäten des menschlichen Wahrnehmungssystems genutzt - visuelle, akustische, haptische und vestibulare Wahrnehmung. [AB09]

Die visuelle Wahrnehmung erfolgt über das Auge, welches für Farb-, Objekt- und Bewegungswahrnehmung, sowie Wahrnehmung von Tiefe und Größe zuständig ist. Das Auge erfüllt dabei drei Grundaufgaben:

- Adaption - Anpassung der Empfindlichkeit des Auges an die Helligkeit (z.B. Helligkeitswechsel bei Fahrten in einen Tunnel)
- Akkomodation - Einstellung unterschiedlicher Sehentfernungen (z.B. Wechsel des Fokus von Vorderfahrzeug auf weit entfernte Straßenschilder)
- Fixation - Ausrichtung der Augen auf einen Gegenstand, so dass beide Sehachsen konvergent sind. (z.B. Fixierung der Augen auf ein Headup-Display)

Das Ohr dient zur auditiven Informationsaufnahme und erfüllt dabei drei Grundfunktionen:

- Adaption - Hörschwellenanstieg zur Differenzierung des Hörvorgangs (z.B. Ausrichten der auditiven Wahrnehmung auf unregelmäßige Geräusche des Motors)
- auditorische Mustererkennung (z.B. Erkennung von gleichen Mustern bei Warn-tönen im Fahrzeug)
- akustische Raumorientierung durch binaurales (beidohriges) Hören (z.B. Ein-satz von Stereolautsprechern im Fahrzeug)

Um Informationen haptisch aufzunehmen (z.B. Lenkradvibration als Warnung), wird der taktile (Verformung der Haut) und/oder der kinästhetische (Dehnung von Muskeln und Bewegung von Gelenken) Wahrnehmungskanal genutzt. Das vestibulare Wahrnehmungssystem wird zur Orientierung im Raum genutzt und wird über den sogenannten Vestibularapparat im Innenohr realisiert. Für die Kraftfahrzeugführung ist der visuelle Wahrnehmungskanal der relevanteste. Ca. 80-90 % der verkehrsrelevanten Informationen werden mit dem Auge erfasst und verarbeitet. [AB09]

Fahrzeug

Durch den Ansatz der Integralen Fahrzeugsicherheit ergeben sich besondere Anforderungen an den Informationsfluss durch das Fahrzeug. Da das Fahrzeug das umgebende Umfeld wahrnehmen, Verkehrssituationen dementsprechend beurteilen und Fahraufgaben übernehmen kann, muss der Informationsfluss zum Fahrer und zum Umfeld adaptiert werden. In der Literatur wird der Informationsfluss im Fahrzeug zum einen als kinästhetische, akustische und haptische Rückmeldung an den Fahrer durch Stellglieder im Fahrzeug beschrieben. Zum anderen kann das Fahrzeug durch die Schnittstelle zum Fahrer (Human Machine Interface, HMI) Informationen, die der Unterstützung der Fahraufgabe dienen, optisch, akustisch und haptisch weitergeben [Bub01]. Timpe beschreibt, dass prinzipiell alle Funktionen der menschlichen Informationsverarbeitung durch den Informationsfluss des Fahrzeuges an den Fahrer

unterstützt werden können. Tabelle 2.8 zeigt die einzelnen Funktionen der menschlichen Informationsverarbeitung und Beispiele zur Unterstützung durch das Fahrzeug auf.

Funktion	Beispiele
Wahrnehmung	Prädiktoranzeigen, aufgabenbezogene Informationsdarstellung, multimodale bzw. ökologische Schnittstellen
(Sensu)motorik	Kraftverstärkung
Problemlösen	Automatisierte Interferenzen, Hinweise auf Inkonsistenzen, wissensbasierte Systeme, Auralisation bzw. Visualisierung von Informationen, Checklisten, Ablage von Faktenwissen, adaptierbare Informationsdarbietung, Glossar, Lexikon, Fallsammlung
Entscheiden	Zielstrukturierung, Alternativenbewertung, Gewichtung
Aktivierung	Optisch, akustische und haptische Signale

Tabelle 2.8: Beispiele für die Unterstützung von Funktionen der menschlichen Informationsverarbeitung [Tim01]

Im Folgenden soll auch beim Fahrzeug näher auf den Wahrnehmungsprozess und die mit den menschlichen Sinnesorganen vergleichbaren Sensoren des Fahrzeuges eingegangen werden. Tabelle 2.9 gibt einen Überblick zu den Sensortechnologien im Fahrzeug [BLR09], [Ged09], [SBD09], [NR09], [Win09].

Vergleichbarer menschlicher Wahrnehmungskanal	Sensortechnologie	Sensorsystem
visuell	Entfernungsmesssysteme (Laufzeitmessungen, Triangulation)	Radar-, Lidar- und Ultraschallsensoren
visuell	opto-elektronische Kamerasysteme (Erfassung eines 2D-Abbildes des Umfelds)	Monokamera, Stereokamera
visuell	3D-Imaging Sensoren (Kombination eines 2D-Abbildes mit gemessenen Entfernungen)	Photonic Mixer Device
auditiv	Ad-hoc Kommunikation	automotive WLAN (802.11p)

Tabelle 2.9: Überblick der autarken Umfeldsensoren im Fahrzeug

Um den Wahrnehmungskanal analog des menschlichen Ohrs und des Auges nachzubilden und mit erweiterter Intelligenz zu versehen, wird in der Fahrzeugtechnik die sogenannte Fahrzeugkommunikation verwendet. Dabei kommuniziert ein Fahrzeug

mit seinem Umfeld über einen automotiven Wireless Local Area Network (WLAN) Standard. Informationen können somit drahtlos von Fahrzeug zu Fahrzeug und von Fahrzeug zur Infrastruktur (z.B. Lichtsignalanlagen, Verkehrszeichen, etc.) ausgetauscht werden. Damit wird es dem Fahrzeug ermöglicht, verkehrsrelevante Informationen aus dem Umfeld auf direktem Weg zu erhalten und zu verarbeiten. Ein Vorteil dieser Kommunikationstechnologie gegenüber menschlichen Sinnesorganen liegt in der erhöhten Reichweite der Informationswahrnehmung und in der Fähigkeit, verdeckte Objekte erkennen zu können. Für diese Arbeit ist die Kommunikationstechnik der relevante Aspekt der fahrzeugseitigen Informationsaufnahme. Aus diesem Grund werden die anderen Sensoriksysteme nicht weiter betrachtet. In Kapitel 2.2.6 wird im Speziellen auf den automotiven WLAN Standard eingegangen.

Informationsfluss Fahrer-Fahrzeug

Abbildung 2.7 zeigt den vereinfacht dargestellten Informationsfluss im Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell. Ausgehend von der Wahrnehmung der Umwelt durch die Sinnesorgane des Fahrers wird nach erfolgter Informationsverarbeitung eine Umsetzung durch die Muskulatur des Fahrers bewirkt. Diese bedingt eine Veränderung der Stellgrößen (z.B. Lenkrad, Bremspedal) beim Fahrzeug und dadurch kommt es zu einem veränderten Abbild der Umwelt. Gleichzeitig erhält der Fahrer kinästhetische, akustische und/oder haptische Rückmeldungen in Folge der Bedienung der Fahrzeugstellgrößen. Weiterhin kann das Fahrzeug optische, akustische und haptische Informationen an den Fahrer weitergeben, die zur Unterstützung der Fahraufgabe dienen.

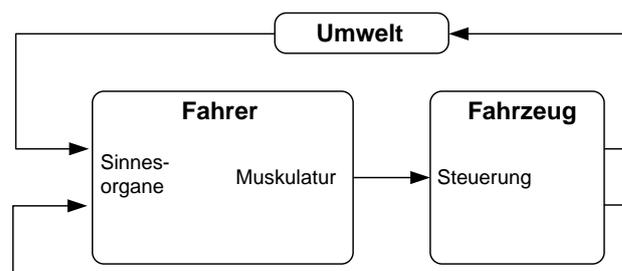


Abbildung 2.7: Informationsfluss im Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell nach [Bub01] [Dur97] [KW04]

Ein wesentlicher Bestandteil der Integralen Fahrzeugsicherheit ist die Warnung des Fahrers in kritischen Fahrzuständen, um die Aufmerksamkeit des Fahrers auf ein Ereignis zu lenken bzw. Handlungsanweisungen zu geben. Wichtig ist dabei den Informationsfluss vom Fahrzeug zum Fahrer zu untersuchen und die davon ausgehende Reaktion des Fahrers durch Bedienung von Stellgliedern im Fahrzeug (z.B. Bremspedalbetätigung). Abbildung 2.8 zeigt die Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen von Beginn der peripheren Wahrnehmung bis zum Stillstand des Fahrzeuges [Bur85].

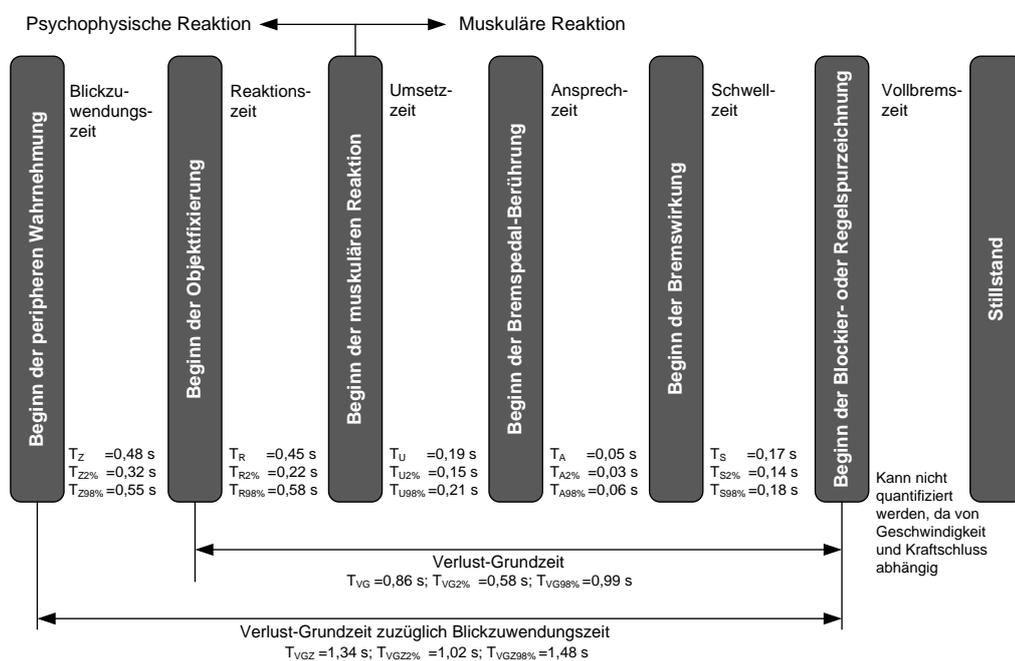


Abbildung 2.8: Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen [Bur85]

Diese Reaktionszeiten spielen eine wesentliche Rolle bei der Auslegung eines HMI-Konzeptes für Warnfunktionen der Integralen Fahrzeugsicherheit.

Fazit

Der Informationsfluss im Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell ist in der Literatur mit Konzentration auf den Fahrer tiefgehend beschrieben und untersucht. Das Fahrzeug dient dabei als Instrument für den Fahrer zur Umsetzung von Fahraufgaben. Es vermittelt dem Fahrer durch Rückmeldungen der Stellglieder ein optimales Gefühl der Informationsumsetzung. Für den Kontext dieser Arbeit ist die Informationsauf-

nahme durch das Fahrzeug eine entscheidende Grundlage für weitere Betrachtungen. Dies kann über die mit den menschlichen Sinnesorganen vergleichbaren visuellen und auditiven Wahrnehmungskanälen durch das Fahrzeug geschehen. Verbunden mit der Wahrnehmung des Umfelds ist das Fahrzeug fähig eine Interpretation des Verkehrsszenarios vorzunehmen und den Fahrzustand, in dem sich das Fahrzeug befindet, zu bestimmen. Damit kann das Fahrzeug selbsttätig Fahraufgaben übernehmen, was dazu führt, dass eine Kooperation zwischen Fahrer und Fahrzeug erfolgen muss, um Konflikte bei der Fahraufgabenausführung zu vermeiden. Dieser Sachverhalt wird in Kapitel 3.3 aufgegriffen. Vorweg wird in Kapitel 3.2.4 die Modellkomponente „Fahrzeug“ für den Kontext dieser Arbeit klassifiziert. In Kapitel 3.2.6 werden die Wechselwirkungen zur Modellkomponente „Fahrer“ und „Umfeld“ beschrieben, die letztendlich zur kontextadaptiven Fahraufgabenallokation in der Integralen Fahrzeugsicherheit führen.

2.2.2 Aufgabenallokation und Kontrolle

Zunächst kann bei einer Aufgabenallokation im Allgemeinen von einer gewissen Automatisierung im Arbeitsprozess der Kraftfahrzeugführung ausgegangen werden. Das heißt, das Fahrzeug übernimmt eigenständig Fahraufgaben, was bis hin zum autonomen Fahren führen kann.

Bereits 1951 gab es erste Überlegungen, wie man eine Aufgabenallokation zwischen Mensch und Maschine vornehmen kann. Fitts erstellte dazu eine sogenannte MABA-MABA Liste, aus der menschliche Vorteile („*Men Are Better At*“ MABA) und maschinelle Vorteile („*Machines Are Better At*“ MABA) hervorgehen. [Fit51]

In Tabelle 2.10 ist eine modifizierte MABA-MABA Liste dargestellt. Die Listen können für eine traditionelle statische Funktionsallokation zwischen Mensch und Technik verwendet werden.

Im Allgemeinen kann die Aufgabenallokation zwischen Mensch und Maschine durch die Erweiterung und die Ergänzung von Fähigkeiten durch Mensch oder Maschine bzw. durch die Übernahme von Aufgaben durch die Maschine bei Überforderung des Menschen erfolgen [She92].

Men are Better at	Machines are Better at
Mustererkennung	Schnelle Antwort auf Signale
Improvisation und Flexibilität	Aufbringen großer Kräfte oder Leistungen mit hoher Genauigkeit und in definiertem Ablauf
Induktives Schließen	Deduktives Schließen
Durchführung komplexer, schwieriger Entscheidungen	Reproduzierbarkeit
Anpassung und Lernen	langfristige, unterbrechungslose Einsatzzeit
Beurteilung	Ausführen vieler komplexer Operationen gleichzeitig

Tabelle 2.10: MABA-MABA Liste modifiziert nach [Fit51], [KB86]

Nach Rouse wird die Aufgabenteilung nach deren Art unterschieden [Rou91]:

- Vergleichsallokation (Aufgabenzuteilung auf Grund eines Vergleichs zwischen Mensch und Maschine)
- „*leftover*“-Allokation (Aufgabenzuteilung zum Mensch, wenn System es nicht leisten kann.)
- Ökonomische Allokation (Aufgabenzuteilung auf Grund wirtschaftlicher Entscheidungen)

In früheren Betrachtungen zur Automation wurde zumeist die „*leftover*“-Allokation bevorzugt, bei der Aufgaben ausschließlich beim Menschen belassen werden, die von der Maschine nicht geleistet werden können [Bai82], [HCL85]. Dies kann zu Fehl- und Falschanwendungen führen, die durch Parasuraman und Riley wie folgt beschrieben sind [PR97]:

- *Misuse*: Beeinträchtigung der Benutzer-Wachsamkeit und -Entscheidungen, da sich der Benutzer zu sehr auf das System verlässt.
- *Disuse*: Keine Anwendung der Automation durch den Nutzer, da System eine hohe Fehl- und Falschauslösungsquote hat.
- *Abuse*: Falschimplementierung der Automatisierung ohne den Nutzer einzubeziehen, führt zu den ersten beiden Fehlanwendungen.

Der traditionelle, statische MABA-MABA Ansatz wurde in den weiteren Jahren der Entwicklung zur Automation weitgehend zum sogenannten „*human-centered design*“-Ansatz abgewandelt [Haa07]. Dieser Ansatz stellt den Nutzer in den Mittelpunkt und wandelt die statische in eine dynamische Aufgabenverteilung. Dabei können je nach Situation verschiedene Grade der Automation angenommen werden. Sheridan und Verplank beschreiben zehn Stufen der Automatisierung („*levels of automation, LOA*“) [SV78]:

1. Keine Unterstützung durch das System
2. Aufzeigen von Handlungsalternativen durch das System
3. Aufzeigen von Handlungsalternativen durch das System und Einschränkung der Auswahl um wenige
4. Aufzeigen von Handlungsalternativen durch das System und Vorschlag einer Handlungsalternative
5. Aufzeigen von Handlungsalternativen durch das System und Ausführung des Handlungsvorschlags bei Zustimmung des Nutzers
6. Aufzeigen von Handlungsalternativen durch das System und automatische Ausführung einer Operation nach Ablauf der Einspruchzeit des Nutzers
7. Aufzeigen von Handlungsalternativen durch das System und automatische Ausführung mit anschließender Information an den Fahrer
8. Aufzeigen von Handlungsalternativen durch das System und automatische Ausführung mit anschließender Information an den Fahrer, wenn dieser ausdrücklich danach gefragt hat.
9. Aufzeigen von Handlungsalternativen durch das System und automatische Ausführung mit anschließender Information an den Fahrer, wenn das System dies für richtig hält.
10. Autonomes Entscheiden und Handeln durch das System.

Sheridan erweitert 1998 den Ansatz der LOA und unterscheidet zunächst vier Funktionsklassen [She98]:

1. Informationsgewinnung
2. Informationsanalyse und -anzeige
3. Entscheiden
4. Handeln

Weiterhin fügte Sheridan die zehn Stufen der Automatisierung den vier verschiedenen Dimensionen von Funktionsklassen zu. Abbildung 2.9 zeigt an einem Beispiel die zweidimensionale Zuordnung der zehn Automatisierungsgrade zu den vier Funktionsklassen. Bei dem dargestellten Beispiel wird zunächst die Informationsgewinnung voll autonom vom Roboter durchgeführt (z.B. mit Hilfe von Bildverarbeitungssoftware). Anschließend werden die Daten analysiert und bei vom System ermitteltem Bedarf an den Operator angezeigt (z.B. im Fehlerfall). Um eine Entscheidung durchzuführen, schlägt das System dem Operator Handlungsalternativen vor, von denen der Operator eine Handlung auswählt (z.B. Entscheidung zur Fehlerfallbehebung). Abschließend führt das System die Handlung voll autonom aus.

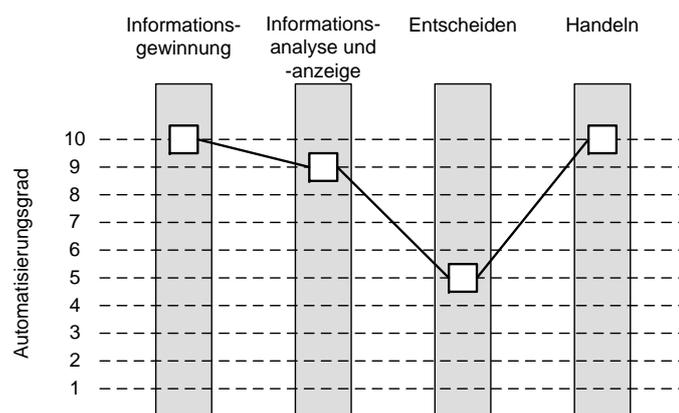


Abbildung 2.9: Zweidimensionale Ansicht der Automatisierungsgrade und Funktionsklassen am Beispiel einer Roboteraufgabe in der Produktion modifiziert nach [She98]

Der Ansatz der mehrdimensionalen Zuordnung von Automatisierungsgraden zeigt, dass die Aufgabenallokation je nach Anwendung und Situation variieren und dabei auch dynamisch auf die verschiedenen Ebenen der Funktionsklassen angepasst werden kann [She02].

Onken, Otto und Garrel [OOG01] beschreiben 2001 die Weiterentwicklung der konventionellen Automation zur kognitiven Automation und damit verbunden die kognitive Kooperation zwischen Fahrer und Fahrzeugsystem. Abbildung 2.10 zeigt zunächst die Unterschiede zwischen konventioneller und kognitiver Automation anhand des 3-Ebenen-Handlungsschemas zum kognitiven Verhalten des Menschen im Arbeitsprozess nach Rasmussen (siehe Kapitel 2.2.1). In der Darstellung ist ersichtlich, dass das System nun auch künstlich kognitiv ausgelegt sein muss, um ein umfassendes Situationsbewusstsein (siehe Kapitel 2.2.1) zu entwickeln, um explizite Handlungsziele zu verstehen, um rationale Entscheidungen zu treffen, um zu planen und um Probleme zu lösen. Unter diesen Voraussetzungen kann eine kognitive Kooperation zwischen Mensch und System gestaltet werden. [OS09]

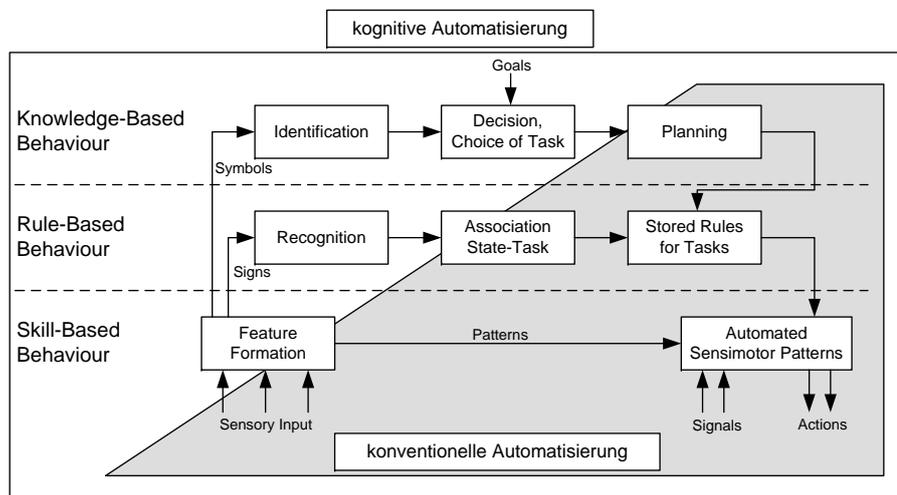


Abbildung 2.10: Konventionelle versus kognitive Automation [OOG01]

Flemisch et al. beschreiben 2003 den Ansatz der H-Metapher (*Horse-Metapher*) für hochautomatisierte Fahrzeuge. Der Ansatz beschreibt das hochautomatisierte Fahren als Metapher des Pferdereitens. Der Fahrer hat die Kontrolle über das Fahrzeug, indem es dem Fahrzeug z.B. eine Richtung vorgibt. Danach kann sich der Fahrer anderen nicht primären Fahraufgaben widmen. Das Fahrzeug sensiert sicher das Umfeld und erfüllt primäre Fahraufgaben ohne Zusammenstoß mit Hindernissen. Kommt es zu einer unvorhergesehenen Situation erhält der Fahrer physisches Feedback vom Fahrzeug und kann gegebenenfalls dem Fahrzeug erweiterte Anweisungen geben. Somit ist der Fahrer immer im Bewusstsein über die vorherrschende Situation in der sich das hochautomatisierte Fahrzeug befindet. Das Fahrzeug sensiert

ebenso die Aufmerksamkeit des Fahrers in der Fahrsituation und kann somit das Fahrverhalten anpassen. Auf der anderen Seite kann der Fahrer auch selbst „die Zügel in die Hand nehmen“ und dem Fahrzeug genauere Anweisungen geben. Der Fahrer steht bei dem Ansatz der H-Metapher stets im Mittelpunkt und bestimmt die Fahrsituationen maßgeblich. [Fe03]

Löpel, Kelsch und Flemisch greifen 2008 mehrere Ansätze der flexiblen, geteilten Kontrolle auf ([CW02], [MP07], [GG05]) und entwickeln die Sichtweise der kooperativen Kontrolle zwischen Automation und Fahrer. Abbildung 2.11 zeigt den Ansatz im Wandel von der exklusiven zur kooperativen Kontrolle. Die Kooperation zwischen Fahrer und Automation besteht darin, dass es in einer Konfliktsituation zu einer Abstimmung zwischen den beiden Akteuren kommen muss und einer der beiden Akteure seine Ausgangsstrategie zu einer gemeinsamen Strategie ändern muss, um das gemeinsame Ziel zu erreichen. [LKF08]

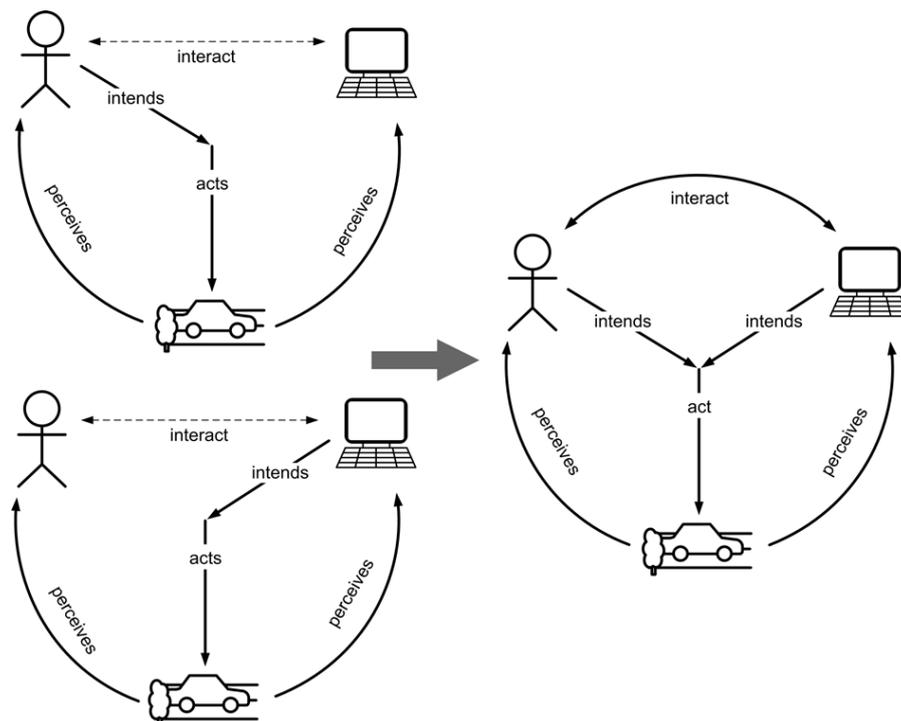


Abbildung 2.11: Von exklusiver Kontrolle zu gemeinsamer Kontrolle („*Shared Control*“, „*Cooperative Control*“) [LKF08]

Löpel, Kelsch und Flemisch [LKF08] greifen weiterhin 2008 den Ansatz der kooperativen Kontrolle und der H-Metapher auf und entwickeln den Ansatz der kooperativen Automation. Abbildung 2.12 verdeutlicht die einzelnen Schritte der kooperativen

Automation. Zunächst wird auf beiden Seiten - der Automation und des Menschen - das Umfeld wahrgenommen und die Situation erfasst. Als nächstes werden Handlungsalternativen auf vier Levels erarbeitet, die abschließend in eine gemeinsame Absicht zusammenfließen müssen und ausgeführt werden. In der Mitte ist erkennbar, dass die Anteile der Handlungsausführung zwischen den beiden Akteuren dynamisch verschoben werden können. [LKF08]

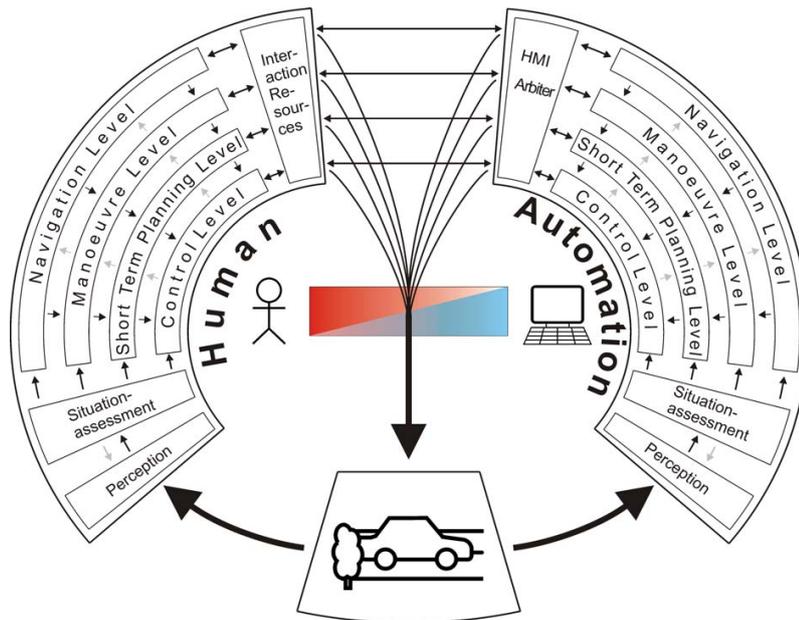


Abbildung 2.12: Kooperative Automation und Mensch [LKF08]

Haller greift den Aspekt der Unterstützungsgrade und damit verbunden die Verteilung der Kontrolle zwischen dem Fahrer und dem Fahrzeug auf. Abbildung 2.13 zeigt die verschiedenen Kontrollstufen, die zwischen Fahrer und Fahrzeug aufgeteilt werden können. So können Fahrzeugsysteme von der einfachen Situationsanalyse über die Bewertung von Situationen, die Aktionsauswahl und die Aktionsausführung alle Stufen annehmen, bei denen der Fahrer stets die volle Verantwortung gegenüber der Situation hat. Letztendlich kann das Fahrzeug auch die letzte Stufe der Kontrolle erhalten, in dem es selbst die Verantwortung trägt. [Hal01]

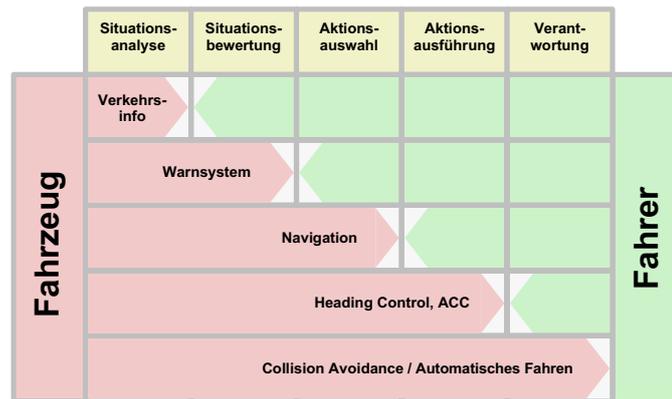


Abbildung 2.13: Unterstützungsgrade und Kontrolllevel zwischen Fahrer und Fahrzeug [Hal01]

Fazit

In den Ausführungen der Literatur lassen sich Konzepte zur Aufgabenallokation in der Kraftfahrzeugführung finden, die weitgehend ausgereift sind. Es bestehen getrennte Konzepte zur kognitiven und zur kooperativen Automation, die allerdings Lücken in der Kontextadaptivität aufweisen. Die Kooperation zwischen Fahrer und Fahrzeug ist bei der Fahraufgabenallokation entscheidend, da es sonst zu Konflikten in der Ausführung der Aufgaben kommen kann. Dies kann kritische Verkehrssituationen zur Folge haben, was dem Ziel der Integralen Fahrzeugsicherheit entgegen wirkt. Das Modell der kooperativen Automation zeigt allerdings nicht auf, inwieweit sich die Kontrolllevel durch den Fahrer und das Fahrzeug in verschiedenen Fahrzuständen verschieben. Die Fahrzustände bilden allerdings eine entscheidende Eingangsgröße für das Modell zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit. Für weitere Betrachtungen dieser Arbeit wird daher das Konzept der kooperativen Automation von Löpel, Kelsch und Flemisch aufgegriffen und in Kapitel 3.3 mit der Kontextadaptivität durch verschiedene Fahrzustände für die Integrale Fahrzeugsicherheit erweitert.

2.2.3 Beanspruchung, Belastung und Vigilanz

Zunächst werden Definitionen vorgenommen, um die Begrifflichkeiten und Zusammenhänge zwischen Beanspruchung, Belastung und Vigilanz im Allgemeinen zu beschreiben. In DIN EN ISO 6385 wird Arbeitsbelastung als „Gesamtheit der äu-

ßeren Bedingungen und Anforderungen im Arbeitssystem, die auf den physiologischen und/oder psychologischen Zustand einer Person einwirken“, definiert. Weiterhin beschreibt die Norm Arbeitsbeanspruchung als „innere Reaktion des Arbeitenden/Benutzers auf die Arbeitsbelastung, der er ausgesetzt ist und die von seinen individuellen Merkmalen (z.B. Größe, Alter, Fähigkeiten, Begabungen, Fertigkeiten usw.) abhängig ist.“ [DIN04]

Über einen längeren Zeitraum die Aufmerksamkeit auf eine Aufgabe zu richten, wird als Vigilanz bezeichnet [Klu06]. Nach Buld et al. gibt es verschiedene Dimensionen von Belastungen, die sich auf die Planungs- und Steuerungsebene des menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses (siehe Kapitel 2.2.1) beziehen [Ba02]:

- kognitiv-mentale Belastung (Entscheiden müssen, Mehrfach Tätigkeiten ausführen, in Zusammenhängen denken, Aufgaben präzise ausführen müssen)
- emotionale Belastung (unter Unsicherheitsbedingungen handeln, Lästigkeit)
- energetische Belastung (körperliche Belastung, Monotonie ertragen)

Die Beanspruchung, Belastung und Vigilanz von Menschen im Kontext der Fahrzeugführung lassen sich aus der Komplexität der in Kapitel 2.1.2 beschriebenen Verkehrssituationen ableiten. Tabelle 2.11 zeigt verschiedene Komplexitätsgrade einer Verkehrssituation und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Dimension der relevanten Anforderungen nach Fastenmeier [Fas95].

Komplexitätsgrad	Situationsmerkmale	Relevante Anforderungsdimensionen
Gering	BAB; Landstraßen; Stadt (mit wenig Gegenverkehr); gerade freie Strecke	Visuelle Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit; Vigilanzleistungen; Erkennen optischer Farbtöne Helligkeitsunterschiede; Schätzen von Distanzen
Mittel	Straßensituationen mit beschilderter Kreuzung: Fahrer hat Vorfahrt; Autobahnen bei Einmündungen; Auffahrten: Fahrer auf der BAB	Schätzen von Distanzen; Wiedererkennen; Gefahrensymbole richtig verstehen; Analyse von Informationen
Mittel	Ältere Landstraßen; kurviger, unübersichtlicher Verlauf; Straßensituationen mit Lichtsignalanlage; Stadtsituationen mit beschilderter Kreuzung: Fahrer hat Vorfahrt	Vigilanzleistungen; optische Anzeigen beachten; Erkennen optischer Farb- und Helligkeitsunterschiede
Hoch	Stadtsituationen mit beschilderter Kreuzung: Fahrer wartepflichtig	Besonders schnelles Erkennen optischer Unterschiede; Schätzen von Geschwindigkeiten/ Distanzen/ Größen/ Zeitdauer; Kombinieren von Informationen; Entscheidung unter Unsicherheit

Tabelle 2.11: Komplexität von Verkehrssituationen nach [Fas95]

Aus den verschiedenen Komplexitätsgraden ist zu erkennen, dass die Anforderungen an den Fahrer durch steigende Komplexität unterschiedlicher Verkehrssituationen zunehmen. Es lassen sich dabei statische und dynamische Belastungsmerkmale definieren [Rau04]:

- statische Belastungsfaktoren (Verkehrssituation definiert nach [Fas95])
- dynamische Belastungsfaktoren (Fahrmanöver, Einflüsse des Verkehrs, Umweltfaktoren)

Den Einfluss des Verkehrs definiert Rauch durch die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern (z.B. starkes Bremsen des Vorderfahrzeuges) und durch die Verkehrsdichte. Auf die Beanspruchung und Belastung negativ wirkende Umweltfaktoren sind nach Rauch Nachtfahrten, Regen und Schnee/Eis bzw. Nebel. [Rau04]

Fazit

In der Literatur sind die Prozesse und das Zusammenwirken von Beanspruchung, Belastung und Vigilanz weitgehend beschrieben. Die Effekte dieser Störfaktoren zur Fahrzeugführung dienen als Motivation, um ein optimales Zusammenspiel zwischen Fahrer und Fahrzeug zu generieren. Dabei soll die mentale Belastung des Fahrers soweit in Einklang gebracht werden, dass die Vigilanz bei der Kraftfahrzeugführung erhalten bleibt. Die Belastung bei der Fahraufgabe soll nicht wie bei körperlicher Belastung soweit als möglich durch eine Maschine zurückgefahren werden. Die Prozesse der Beanspruchung, Belastung und Vigilanz werden auf Grund ihrer bereits erfolgten tiefergehenden Beschreibung in der Literatur in dieser Arbeit nicht weiter ausgeführt. Wichtig ist allerdings, dass diese Faktoren einen Einfluss auf den Fahrer im Rahmen der Kraftfahrzeugführung haben. So hat die Fahraufgabe und auch das umgebende Umfeld einen Einfluss auf die Beanspruchung, Belastung und Vigilanz des Fahrers. Diese Rahmenbedingung wird als indirekte Einflussgröße des Modells zu Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit angesehen.

2.2.4 Risiken und menschliche Fehler

Im Rahmen der Kontrolle und Steuerung von Kraftfahrzeugen durch den Menschen können Fehler mit katastrophalen Auswirkungen eintreten. Wesentliche Ursachen für Fehler liegen u.a. in der menschlichen Informationsverarbeitung. Die Informationsverarbeitung unterliegt einigen Einschränkungen, die durch das individuelle Wissen, die begrenzte Verarbeitungskapazität und durch motivationale und emotionale Faktoren einer Person bestimmt werden. [Klu06]

Die Auswertungen des Statistischen Bundesamtes zeigen bei der Unfallentwicklung auf deutschen Straßen für 2008, dass 86 % aller Unfälle mit Personenschäden auf das Fehlverhalten von Fahrzeugführern zurückzuführen sind. An erster Stelle stehen dabei Fehler beim „Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren und Ein-/Anfahren“, die 16 % aller menschlichen Fehler im Unfallgeschehen ausmachen. Die zweit häufigste Fehlerart machen Fehler durch „Missachtung der Vorfahrt, Vorrang“ aus (15 %). Die nichtangepasste Geschwindigkeit war mit 14 % die dritthäufigste Unfallursache. Abbildung 2.14 zeigt die prozentualen Anteile des Fehlverhaltens von Fahrzeugführern bei Unfällen mit Personenschaden für das Jahr 2008.



Abbildung 2.14: Fehlverhalten der Fahrzeugführer bei Unfällen mit Personenschaden im Straßenverkehr 2008 [Bun09]

Jones und Endsley [JE00] untersuchten menschliche Fehler in systematischer Verbindung mit dem Rahmenmodell des „Situation Awareness“ (vgl. Kapitel 2.2.1). Die Fehler wurden in Beziehung zu den drei Ebenen des Modells unterschieden:

- Fehlerhafte Wahrnehmung der Situation (Ebene 1)
- Fehlerhaftes Verständnis der Situation (Ebene 2)
- Fehlerhafte Prognose (Ebene 3)

Jones und Endsley untersuchten das Fehlverhalten im Luftverkehr, was, wie schon häufig geschehen, auf den Straßenverkehr übertragen werden kann. Aus ihren Berichten kann entnommen werden, dass 72 % der Unfälle im Luftverkehr die Ebene 1 betreffen, 22 % der Unfälle Ebene 2 und 6 % der Unfälle auf Fehler der Ebene 3 zurückzuführen sind. Daraus lässt sich ableiten, dass Fehlern in der Ebene 1, d.h. Fehler die auf die Wahrnehmung einer Situation zurückzuführen sind, prozentual ein hohes Maß an Wichtigkeit zugeschrieben werden muss. Die Informationen können dabei nicht oder falsch wahrgenommen werden. Fehler in der Ebene 2 werden auch als Repräsentationsfehler bezeichnet, dabei wird die Situation richtig wahrgenommen, aber die Bedeutung derer kann von einer Person nicht richtig interpretiert werden. Dies schließt auf ein falsches mentales Modell, das in der bestimmten Situation verwendet wird. Fehler in der Ebene 3 beinhalten eine falsche Prognose der Situationsentwicklung, die Situation wird dabei allerdings richtig wahrgenommen und verstanden. [JE00]

Abbildung 2.15 zeigt ein Modell des Handlungsablaufes bei Fehlern. Rasmussen beschreibt bereits 1982 sequentiell einzelne Schritte zwischen der Informationsaufnahme und der Handlungsausführung, die zu unterschiedlichen kausalen Fehlern führen können. Mit Hilfe des systematischen Leitfadens können Ursachen von Fehlern durch die Analyse einfacher Ablaufberichte identifiziert werden. Zimmer adaptiert dieses Modell auf die Fahrzeugführung. [Ras82] [Zim01]

Das Modell von Reason (Abbildung 2.16) kann als die Prozessmodellierung bei fehlerhafter Richtungskontrolle beschrieben werden. Die Klassifikation menschlicher Fehler wird anhand gefährlicher Handlungen analysiert. Es wird dabei nach zwei Kriterien unterschieden - beabsichtigte oder unbeabsichtigte Handlung;

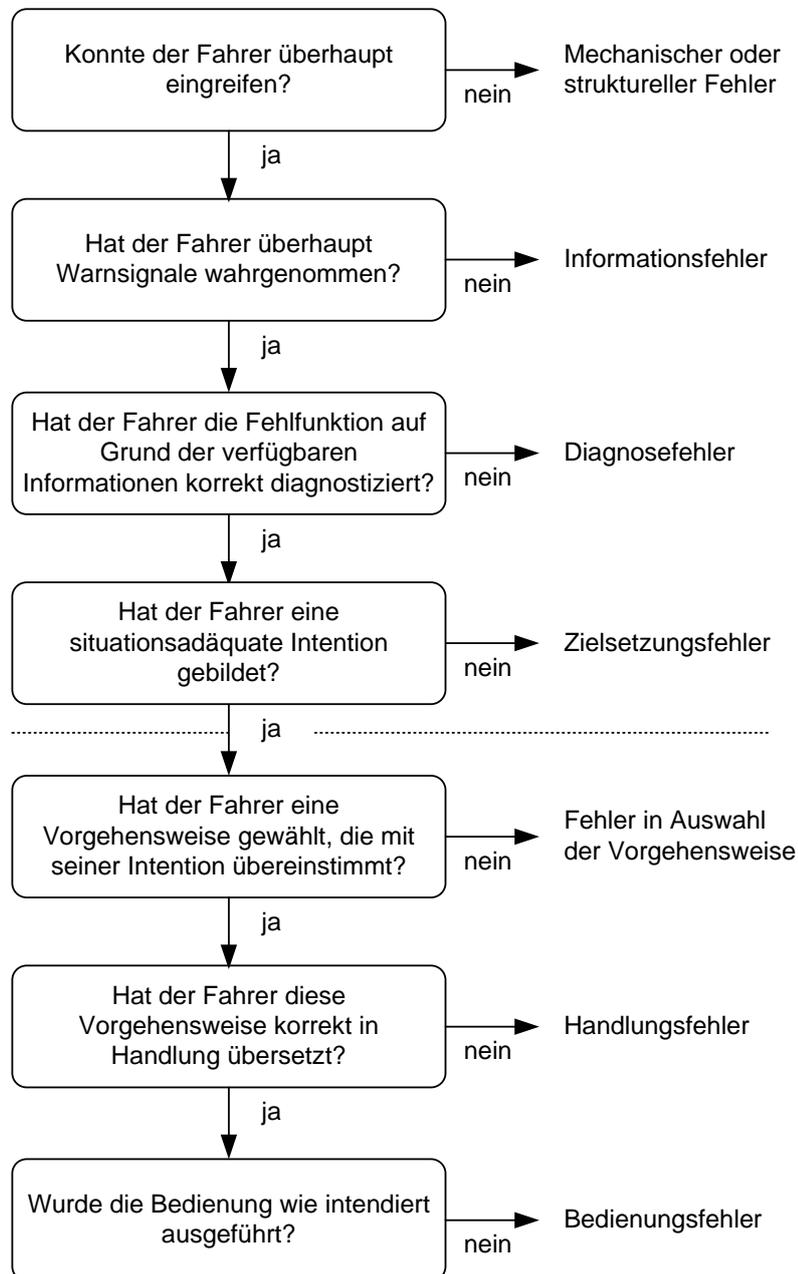


Abbildung 2.15: Modell der internalen Fehlerfunktion adaptiert für die Fahrzeugführung nach Rasmussen [Ras82] [Zim01]

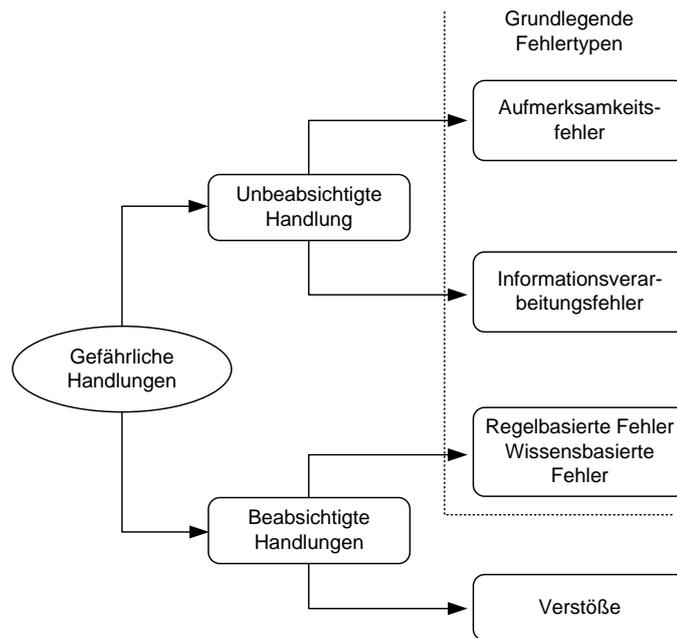


Abbildung 2.16: Zusammenfassung gefährlicher Handlungen nach Reason [Rea90]

sicherheitsorientierte oder effektivitätsorientierte Handlungsmotivation. Die verschiedenen Verhaltensweisen führen dementsprechend zu grundlegenden Fehlertypen, wie Aufmerksamkeits-, Informationsverarbeitungs- und Zielsetzungsfehlern (regelbasierte -, wissensbasierte Fehler), sowie zu Verstößen, die beabsichtigten Handlungen nachgeschaltet sind. [Rea90]

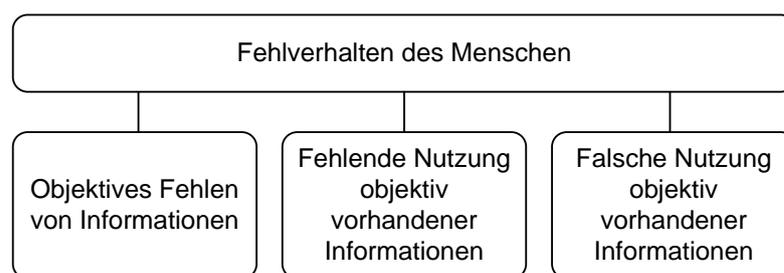


Abbildung 2.17: Ursachen menschlichen Fehlverhaltens [Hac86]

Abbildung 2.17 zeigt die Ursachen menschlichen Fehlverhaltens nach Hacker. Demnach kann Fehlverhalten auf das objektive Fehlen von Informationen (z.B. durch verdeckte Sicht), auf die fehlende Nutzung objektiv vorhandener Informationen (z.B. durch Nichtbeachtung von Verkehrszeichen und Signalen) und auf die falsche Nut-

zung objektiv vorhandener Informationen (z.B. Verstärken des Bremsdruckes, obwohl Räder bereits blockieren) zurückgeführt werden. [Hac86]

Staubach adaptiert das Modell von Hacker 2010 auf den Verkehrskontext. Das Konzept von Staubach soll Unfalleinflüsse beurteilen und einen tieferen Einfluss in psychologische Fehlhandlungsursachen geben, als es amtliche Statistiken bisher tun. Tabelle 2.12 zeigt die konkreten Einflüsse der drei Fehlhandlungskategorien von Hacker. [Sta10]

Fehlhandlungskategorie	Konkreter Einfluss	Beispiele für Bedingungen
Objektives Fehlen von Informationen	Sichtverdeckung	Bebauung, Bepflanzung, andere Fahrzeuge
	Reizmaskierung	Dunkelheit, Blendung, Regen, Schnee, Nebel
Fehlende Nutzung von Informationen	Übersehen durch mangelnde Aufmerksamkeit	Ablenkung durch Objekte im / außerhalb des Fahrzeugs, verminderte Aktivierung infolge Müdigkeit / Medikamenten, falscher Aufmerksamkeitsfokus
	Vergessen / Versäumen	Einlegen des richtigen Gangs, Schulterblick
	Übergehen	Absichtliche Verstöße gegen die Geschwindigkeit oder Missachtung der Vorfahrt
	Informationsreduktion	Erwartungs- und Stereotypisierungsfehler, z.B. Annahme, dass eine breite Straße eine Vorfahrtsstraße ist.
	Verarbeitungsdefizite	Beschleunigungswahrnehmung
Falsche Nutzung von Informationen	Orientierungs- bzw. Erwartungsfehler	Erwartungsfehler in Folge von Gewöhnung, z. B. das Nichteinsehen niedrig frequentierter Straßen auf Fahrzeuge von rechts
	Fehlurteile	Einschätzung von Geschwindigkeiten und Entfernungen
	Falsche Zielsetzung, fehlerhafte Programme	Ausweichen statt Bremsen, Verwechseln von Gas und Bremse

Tabelle 2.12: Fehlhandlungsklassifikation nach [Sta10]

Willumeit und Jürgensohn stellen heraus, dass die meisten Unfälle auf Grund von Wahrnehmungsfehlern des Fahrers passieren [WJ97], was auch den Ausführungen von Jones und Endsley zu entnehmen ist [JE00]. Damit entsprechen die meisten Unfallursachen der Ebene 1 im „Situation Awareness“ Ansatz von Endsley (siehe Kapitel 2.2.1).

Fazit

Es lässt sich aus der Statistik feststellen, dass die meisten Unfälle auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen sind. Da die Kraftfahrzeugführung eine stark fertigkeitbasierte Tätigkeit ist, kann davon ausgegangen werden, dass Fehler auf der wissensbasierten bzw. strategischen Ebene, wie sie von Reason vorgeschlagen werden, eher vernachlässigbar sind. Vielmehr kann auf das Fehlverhaltensmodell von Staubach zurück gegriffen werden, um Ursachen bei Verkehrsunfällen zu untersuchen. Dadurch, dass die meisten Unfälle auf Fehlhandlungen des Menschen auf der Wahrnehmungsebene zurückzuführen sind, wird ein enormes Potenzial für Systeme der Integralen Fahrzeugsicherheit geboten, um Unfälle zu vermeiden. Abgeleitet aus den Untersuchungen von Staubach können Einflussfaktoren, die zu Fehlhandlungen führen, durch verschiedene Systeme der Integralen Fahrzeugsicherheit durch das Fahrzeug abgewendet werden. Tabelle 2.13 zeigt die Einflussfaktoren und Beispiele zur Unterstützung des Fahrers durch ein technisches System im Fahrzeug.

Konkreter Einflussfaktor	Unterstützung durch Fahrzeug möglich?	Beispiele für System der Integralen Fahrzeugsicherheit
Sichtverdeckung	ja	Visualisierung verdeckter, kritischer Objekte durch Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation
Reizmaskierung	ja	Visualisierung verdeckter, kritischer Objekte durch Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation; Bessere Ausleuchtung durch Scheinwerfer
Übersehen durch mangelnde Aufmerksamkeit	ja	Aufmerksamkeit auf relevante Aspekte leiten; Warnung in kritischen Situationen; Fahrerzustandserkennung und gegebenenfalls andere Warnstrategie
Vergessen / Versäumen	nein	
Übergehen	teilweise	Warnung vor Geschwindigkeitsübertretung; Fahrverbot bei Detektion von Alkoholeinfluss
Informationsreduktion	teilweise	Punktuelle Warnung vor schlechten Witterungs- und Straßenbedingungen
Verarbeitungsdefizite	ja	Unterstützung bei Spurhaltung; Unterstützung bei Abstandshaltung
Orientierungs- bzw. Erwartungsfehler	ja	Warnung in kritischen Situationen, z.B. an Kreuzungen
Fehlurteile	teilweise	Warnung in kritischen Situationen
Falsche Zielsetzung, fehlerhafte Programme	ja	Warnung in kritischen Situationen; Unterstützung bei der Abstandshaltung

Tabelle 2.13: Einflussfaktoren von Fehlhandlungen vs. Systeme der Integralen Fahrzeugsicherheit

Die Unterstützung bzw. Aufgabenallokation der Systeme sollte den Fahrer dabei nicht unterfordern oder ablenken. Vielmehr sollte das Zusammenspiel zwischen Fahrer und Fahrzeug intelligent, kooperativ und kontextabhängig gestaltet werden. Kapitel 3.3 greift diese Randbedingungen auf und modifiziert diese zur Beantwortung der Forschungsfrage.

2.2.5 Rechtliche Rahmenbedingungen

Ein wesentliches Dokument, welches die rechtlichen Rahmenbedingungen von Systemen der Integralen Fahrzeugsicherheit prägt, ist das Wiener Übereinkommen (WVÜ) über den Straßenverkehr von 1968. Das Wiener Übereinkommen wurde unter dem Dach der Vereinten Nationen mit einem völkerrechtlichem Vertrag durch die Ratifizierung von 63 Staaten abgeschlossen. Ziel des Übereinkommens ist die Steigerung der Verkehrssicherheit durch die Erlassung einheitlicher Verkehrs- und Zulassungsregeln. Für Systeme im Kontext dieser Arbeit sind zwei Absätze des Wiener Übereinkommens von Entscheidung [Eur68]:

Art. 8 Abs. 5 WVÜ:

„Every driver shall at all times be able to control his vehicle or to guide his animals.“

Art. 13 Abs. 1 WVÜ:

„Every driver of a vehicle shall in all circumstances have his vehicle under control so as to be able to exercise due and proper care and to be at all times in a position to perform all manoeuvres required of him.“

Zusammenfassend bedeutet dies, dass jeder Fahrzeugführer sein Fahrzeug dauernd bzw. unter allen Umständen beherrschen muss. Aus rechtlichen Analysen des EU Projektes Response 1 geht hervor, dass ein Fahrerassistenzsystem vom Fahrer übersteuerbar sein muss, solange der Fahrer in der Detektion von kritischen Verkehrssituationen und in der Entscheidungsfindung überlegen ist [Sch07]. Weiterhin wurde

festgehalten, dass Fahrerassistenzsysteme, die Defizite menschlicher Leistungsfähigkeit ausgleichen, um Unfälle zu vermeiden bzw. zu mindern, von der Übersteuerbarkeit des Systems ausgenommen sind.

Weiterhin sind Integrale Fahrzeugsicherheitssysteme durch das Produkthaftungsgesetz bestimmt. In diesem lautet es wörtlich:

§ 3, Produkthaftungsgesetz

„Ein Produkt hat einen Fehler, wenn es nicht die Sicherheit bietet, die unter Berücksichtigung aller Umstände, insbesondere a) seiner Darbietung, b) des Gebrauchs, mit dem billigerweise gerechnet werden kann, c) des Zeitpunktes, in dem es in den Verkehr gebracht wurde, berechtigterweise erwartet werden kann.“

Damit werden Anforderungen an die Systemgestaltung, Zuverlässigkeit, Verständlichkeit, Vorhersagbarkeit und Robustheit gegen Fehlgebrauch mit eingeschlossen [KNB⁺07].

Um sicherzustellen, dass ein Produkt berechtigterweise als sicher gilt und dass man als Hersteller seiner Sorgfaltspflicht genüge getan hat, wurde im Rahmen des EU Projektes RESPONSE 3 ein Code of Practice (CoP) zur Entwicklung und Validierung von Fahrerassistenzsystemen entwickelt. Der CoP stellt eine unterstützende Richtlinie und Hilfestellung für Personen, die sich mit der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen beschäftigen. Mit dem CoP lässt sich der Stand der Technik zur Risikoidentifizierung und -bewertung festhalten und er enthält Methoden zur Einschätzung der Beherrschbarkeit eines Systems durch den Fahrer. [KNB⁺07]

Fazit

Für die Entwicklung und Vermarktbarkeit von Systemen der Integralen Fahrzeugsicherheit müssen im Wesentlichen zwei rechtliche Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Zum einen das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr von 1968, welches besagt, dass der Fahrzeugführer sein Fahrzeug dauernd bzw. unter allen Umständen beherrschen können muss. Und zum anderen das Produkthaftungsgesetz, welches die Haftung bei Fehlern eines Produktes regelt. Der Code of Practice

stellt dazu eine unterstützende Hilfestellung dar, die bei der Entwicklung von neuen Systemen der Integralen Fahrzeugsicherheit herangezogen werden sollte. Diese beiden gesetzlichen Rahmenbedingungen müssen bei der Konzeptionierung der kontextadaptiven Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug in Kapitel 3.3 als Einflussfaktor berücksichtigt werden.

2.2.6 Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation

Die drei Hauptziele von innovativen Fahrzeugkonzepten sind die Erhöhung der Fahrersicherheit, die Verbesserung des Fahrkomforts und der Effizienz im ökologischen und ökonomischen Kontext. Um die Erreichung dieser Ziele zu erwirken, kann das Fahrzeug nicht mehr nur als autarke Einheit gesehen werden, vielmehr muss es in Interaktion mit seinem Umfeld treten. Die Interaktion kann durch Car-2-X Kommunikation erreicht werden. [RTK10]

Für den Kontext dieser Arbeit ist dabei die Kommunikation des Fahrzeuges mit anderen Fahrzeugen und mit der Infrastruktur von Bedeutung. Sie stellt einen entscheidenden Mehrwert für die Integrale Fahrzeugsicherheit dar, da das Fahrzeug das umgebende Umfeld nun vergleichbar mit dem menschlichen auditiven Kanal wahrnehmen kann (siehe Kapitel 2.2.1).

Bei der Car-2-X Kommunikation wird die Kommunikation des Fahrzeuges über einen drahtlosen Kommunikationsstandard mit seinem Umfeld definiert:

- Direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen und zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur über ITS-G5A (IEEE 802.11p) [ETS09]
- Direkte Kommunikation über Consumer WLAN (IEEE 802.11b/g) [IEE03a], [IEE03b], [IEE03c]
- IP-basierte Kommunikation über GPRS, EDGE, UMTS oder HSPA

Tabelle 2.14 gibt einen Überblick der WLAN 802.11 Standard Spezifikationen, die Anwendung der in Kapitel 4 folgenden Fallstudie finden.

WLAN Standard	Modulation	Frequenz in GHz	Kanalbreite in MHz	Anzahl aller/nicht überlappender Kanäle	Bandbreite in Mbit/s	Übertragungreichweite (außen) in m
802.11a	OFDM	5,725–5,850	20	12/8	54	30
802.11b	DSSS	2,400–2,485	22	14/3	11	250
802.11g	OFDM	2,400–2,483	22	14/3	54	250
802.11p EU	OFDM	5,850–5,925	10 (20)	7/7	54	1.000
802.11p US	OFDM	5,875–5,905	10	7	54	1.000

Tabelle 2.14: IEEE 802.11 Standard Spezifikationen [PZRR10]

Fazit

Im Kontext dieser Arbeit stehen Integrale Fahrzeugsicherheitssysteme, die hohe Anforderungen an Latenz, Genauigkeit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit stellen (siehe Kapitel 4). Ebenfalls kann Kapitel 2.2.1 entnommen werden, dass der Kommunikationskanal wesentliche Vorteile in der Wahrnehmung des Umfeldes durch das Fahrzeug hat: Erkennung von verdeckten Objekten und erhöhte Reichweite. Unfälle durch den Einfluss von Sichtverdeckung stellen einen wesentlichen Anteil an Fehlhandlungen durch den Fahrer dar (siehe Kapitel 2.2.4). Diese können durch die Möglichkeit des Fahrzeuges, mit Hilfe des Kommunikationskanals verdeckte Objekte wahrzunehmen, eingedämmt werden. Aus diesen Gründen werden die Fahrzeug-zu-Fahrzeug (Car-to-Car) und die Fahrzeug-zu-Infrastruktur (Car-to-Infrastructure) Kommunikation über ITS-G5A als technischer Ansatz der beiden Funktionen der Fallstudie (siehe Kapitel 4) weiter verfolgt.

2.3 Anforderungen an ein Modell für die Integrale Fahrzeugsicherheit

Um die Forschungsfrage dieser Arbeit zu beantworten, ist der Stand der Forschung in diesem Kapitel recherchiert worden. Es sind dabei Lücken in den einzelnen Unterkapiteln identifiziert worden, die zur Beantwortung der Forschungsfrage geschlossen werden müssen. Um ein Modell zur Beschreibung der Integrale Fahrzeugsicherheit entwickeln zu können, muss der Stand der Forschung erweitert werden. Im Folgenden werden nun abgeleitet von den vorangegangenen theoretischen Grundlagenbetrachtungen (siehe Kapitel 2) und den dabei identifizierten Lücken zur Beantwortung der Forschungsfragen, Anforderungen an ein erweitertes, fahrerzentriertes Modell zur Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit abgeleitet. Auf Grund der Integralen Fahrzeugsicherheit soll das Fahrzeug nun selbsttätig das umgebende Umfeld wahrnehmen und interpretieren können, damit verbunden ist es dem Fahrzeug nun möglich Fahraufgaben auszuführen. Daraus ergibt sich, dass ein kontextadaptives Konzept zur Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug erstellt werden muss. Das erweiterte, nutzerzentrierte Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit soll demnach folgende Modellkomponenten, Informationsflüsse und Einflussfaktoren beschreibbar machen (modifiziert nach [KK09a]):

1. Modellkomponenten:

- a) Der Fahrer muss im Modell enthalten und klassifiziert sein.
- b) Das Fahrzeug muss im Modell enthalten und Fahrzeugsysteme müssen klassifiziert sein.
- c) Das Umfeld muss im Modell verankert und durch eine Verkehrssituation mit einzelnen Faktoren klassifiziert sein.
- d) Die Fahraufgabe muss im Modell enthalten und klassifiziert sein.

2. Informationsfluss und Einflussfaktoren:

- a) Wahrnehmungsprozess: Die Wahrnehmung des Umfeldes soll sowohl durch den Fahrer als auch das Fahrzeug erfolgen. Der Fahrer kann Umfeldinformationen durch Sinnesorgane aufnehmen, im Gehirn wahrnehmen und

- verarbeiten. Analog zu den Sinnesorganen des Menschen soll das Fahrzeug das Umfeld durch Sensoren wahrnehmen. (siehe Kapitel 2.2.1)
- b) Kommunikationsprozess: Es soll eine wechselseitige Kommunikation zwischen Umfeld und Fahrzeug stattfinden. Das Fahrzeug soll durch die Wahl einer geeigneten technischen Lösung mit dem Umfeld kommunizieren, um schlussendlich eine erweiterte Makroumfeldkarte aufbauen zu können. Das Fahrzeug soll in der Lage sein, situationsabhängige statische und dynamische Informationen über das eigene Fahrzeugsystem an weitere Akteure im Umfeld zu kommunizieren. (siehe Kapitel 2.2.1 und 2.2.6)
- c) Interaktionsprozess: Um eine Kooperation zwischen Fahrer und Fahrzeug zu ermöglichen, muss eine Interaktion zwischen beiden Modellkomponenten stattfinden. Der Fahrer interagiert mit dem Fahrzeug, in dem primäre Stellglieder (z.B. Lenkrad, Gaspedal) bedient werden. Und das Fahrzeug interagiert mit dem Fahrer durch optische, akustische und/oder haptische Rückmeldungen. (siehe Kapitel 2.2.1 und 2.2.2)
- d) Fahraufgabenausführung: Die Erfüllung von Aufgaben (siehe Kapitel 2.1.2) soll sowohl durch den Fahrer als auch das Fahrzeug erfolgen. Erweiternd zu bisherigen Betrachtungen (siehe Kapitel 2.1.1) sollen neben der Ausführung von Fahraufgaben durch den Fahrer auch Aufgaben vom Fahrzeug selbstständig, autonom übernommen werden, da die meisten Unfälle auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen sind (siehe Kapitel 2.2.4).
- e) Aufgabenallokation: Die Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug soll variabel, dynamisch, kooperativ und kontextabhängig erfolgen (angelehnt an Kapitel 2.2.2). Dies setzt eine Kooperation zwischen Fahrer und Fahrzeug voraus und ermöglicht eine kontextabhängige Variation der Kontroll-Level.
- f) Fahraufgabenanforderung: Die Anforderung durch die Fahraufgabe soll sowohl den Fahrer als auch das Fahrzeug betreffen. Durch die situationsabhängig gestellten Fahraufgaben werden sowohl Fahrer als auch Fahrzeug kontextabhängig beeinflusst. (siehe Kapitel 2.2.3)

- g) Umfeldbeeinflussung: Die Beeinflussung durch das Umfeld (siehe Kapitel 2.1.2 und Kapitel 2.2.3) soll die Fahraufgabe, den Fahrer und das Fahrzeug betreffen. Das Umfeld soll nicht nur, wie in bisherigen Betrachtungen (siehe Kapitel 2.1.1) den Fahrer und das Fahrzeug, sondern auch maßgeblich die Fahraufgabe mit beeinflussen. So wird beispielsweise ein und dieselbe Fahraufgabe (z.B. starkes Abbremsen vor einem Hindernis) in der Beanspruchung, Komplexität und Ausführung anders ausfallen, wenn schönes Wetter und eine trockene Fahrbahn vorherrscht, als wenn Schnee und eine vereiste Fahrbahn vorzufinden sind.

3 Fahrerzentriertes Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit

Um den Anforderungen aus Kapitel 2.3 gerecht zu werden, muss eine Erweiterung und maßgebliche Änderung an den bisherigen in der Literatur getätigten Ausführungen zum Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell erfolgen. Dies ist notwendig, da das Fahrzeug durch den Ansatz der Integralen Fahrzeugsicherheit das Umfeld wahrnehmen und interpretieren und damit auch selbsttätig Fahraufgaben übernehmen kann. Kapitel 3.1 beschreibt zunächst das Konstrukt „Integrale Fahrzeugsicherheit“ und ordnet dieses in einen zeitlichen Kontext nach Fahrsituationen ein. Anschließend wird das erweiterte fahrerzentrierte Modell in Kapitel 3.2 dargestellt und detailliert beschrieben. Kapitel 3.2.2 bis Kapitel 3.2.5 greifen die Untersuchungen zum Stand der Forschung (siehe Kapitel 2) auf und schließen identifizierte Lücken zur vollständigen Beschreibung der einzelnen Modellkomponenten. Kapitel 3.2.6 beschreibt die Wechselwirkungen der Modellkomponenten. Abschließend wird die kontextadaptive Fahraufgabenallokation der Integralen Fahrzeugsicherheit in Kapitel 3.3 abgeleitet und beschrieben.

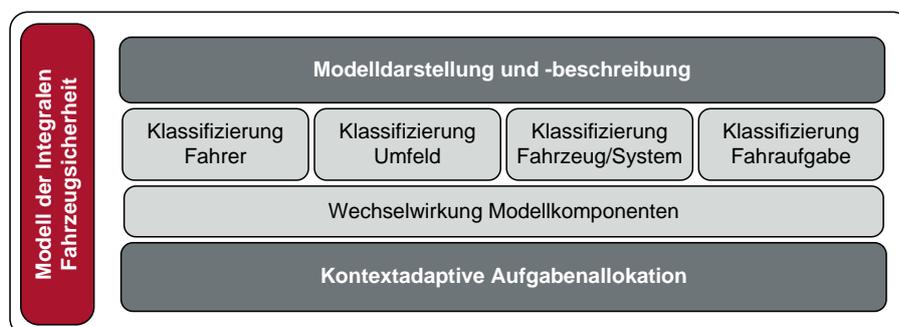


Abbildung 3.1: Aufbau des Kapitels

3.1 Integrale Fahrzeugsicherheit

Auf Grund des erweiterten Ziels der Fahrzeugsicherheit, Unfälle durch Warnungen an den Fahrer zu vermeiden bzw. die Unfallschwere durch Vorkonditionierung der Systeme (z.B. *Prefill* der Bremsen) zu mindern, erweitert sich der Ansatz der Fahrzeugsicherheit zur Integralen Fahrzeugsicherheit. [WG08]

Abbildung 3.2 zeigt die Integrale Fahrzeugsicherheit in einem zeitlichen Kontext. Die Integrale Fahrzeugsicherheit wird in die drei Hauptbereiche segmentiert, wie sie in Kapitel 1.1 bereits angeführt sind:

- Fahrerassistenz
- Aktive Sicherheit
- Passive Sicherheit

Der Bereich Fahrerassistenz beinhaltet Komfortsysteme, welche in normalen Fahrzuständen den Fahrer informieren und warnende Systeme, die in kritischen Fahrzuständen wirken. Der zweite Part bezeichnet die aktive Sicherheit. Diese beschreibt Systeme, die den Fahrer in kritischen Fahrsituationen warnen (z.B. Bremsassistent) bzw. unterstützen (z.B. Elektronisches Stabilitätsprogramm). Weiterhin werden in der aktiven Sicherheit Pre-Crash-Systeme aktiviert, die den Fahrer in dem Fahrzustand „Unfall unvermeidbar“ bestmöglich vor einer Verletzung während einer anstehenden Kollision schützen sollen. Der Bereich der passiven Sicherheit beinhaltet Rückhaltesysteme, die in dem Fahrzustand „Unfall“ ausgelöst werden, sowie Notruf- und Hilfesysteme, die in Situationen nach einem Unfall aktiviert werden.

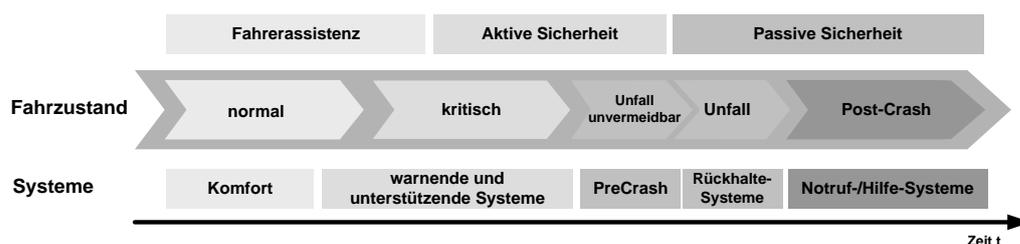


Abbildung 3.2: Integrale Sicherheit im zeitlichen Kontext

Für weitere Betrachtungen in dieser Arbeit ist die Segmentierung der Fahrzustände in der Integralen Fahrzeugsicherheit ein elementarer Bestandteil. Die Fahrzustände beschreiben die Integrale Fahrzeugsicherheit im zeitlichen Kontext. Auf Grund von Konstellationen eines Verkehrsszenarios (siehe Kapitel 3.2.5) kann das Fahrzeug diese Fahrzustände annehmen (siehe Kapitel 3.2.6). Sie finden üblicherweise auch in der Industrie allgemein Anwendung und werden daher als gegeben vorausgesetzt. Die verschiedenen Fahrzustände stellen eine entscheidende Eingangsgröße für die kontextadaptive Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug dar. Folgende Fahrzustände werden für die systematische Beschreibung der kontextadaptiven Fahraufgabenallokation angewendet:

- normal
- kritisch
- Unfall unvermeidbar
- Unfall
- Post-Crash

3.2 Modell zur Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit

3.2.1 Modelldarstellung und -beschreibung

In Kapitel 2 sind die wesentlichen Modellkomponenten zur Darstellung und Beschreibung des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit identifiziert und detailliert analysiert. Die Modellkomponenten sind demnach:

- Fahrer
- Fahrzeug
- Umfeld
- Fahraufgabe

Ebenfalls sind die wesentlichen Handlungen zur Abbildung der Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen den Modellkomponenten auf Grund der in Kapitel 2.3 gegebenen Anforderungen identifiziert. Sie beschreiben den Informationsfluss zwischen den Modellkomponenten:

- wahrnehmen
- kommunizieren
- interagieren
- ausführen
- kooperieren
- anfordern
- beeinflussen

Die Hauptforschungsfrage stellt die Frage, in welchem fahrerzentrierten Modell die Integrale Fahrzeugsicherheit beschreibbar ist. Um nun die Forschungsfrage dieser Arbeit zu beantworten, müssen die einzelnen Modellkomponenten und wesentlichen Handlungen zum Informationsfluss zwischen den Modellkomponenten in diesem Kapitel zu einem gesamtheitlichen Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit zusammengeführt werden. Ebenfalls müssen die identifizierten Lücken der einzelnen Modellkomponenten durch systematische Klassifizierungen geschlossen werden (siehe Kapitel 3.2.2 bis 3.2.5). Der wesentliche neue Aspekt der sich durch die Integrale Fahrzeugsicherheit ergibt, ist die Wahrnehmung des Umfeldes und die Interpretation des Verkehrsszenarios durch das Fahrzeug. Daher werden in dieser Arbeit hauptsächlich die Wechsel- und Auswirkungen der Modellkomponenten durch die Wahrnehmung des Umfelds durch das Fahrzeug betrachtet. Ebenfalls ist die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Umfeld ein entscheidender Bestandteil dieser Arbeit, der ebenfalls eine Überarbeitung der Konzepte zur Interaktion und Kooperation zwischen Fahrer und Fahrzeug nach sich zieht. Das Fahrzeug ist nunmehr in der Lage selbsttätig Fahraufgaben zu übernehmen.

Abbildung 3.3 zeigt das erweiterte, gesamtheitliche Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit. Es lassen sich alle identifizierten Modellkomponenten und Handlungen zur Beschreibung des Informationsflusses wiederfinden.

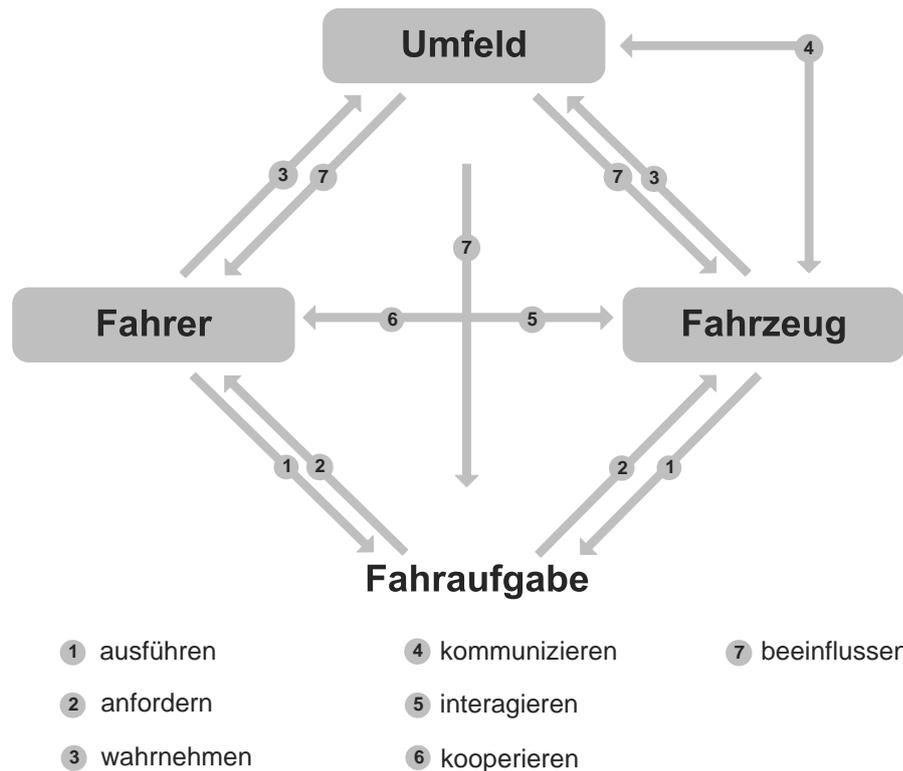


Abbildung 3.3: Draufsicht des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit modifiziert nach [KK09b]

Es wird deutlich, dass die Wahrnehmung des Umfeldes sowohl vom Fahrer als auch vom Fahrzeug erfolgt (siehe Kapitel 2.3, Anforderung 2.a). Die Wahrnehmung des Umfeldes durch den Fahrer erfolgt dabei durch die in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Wahrnehmungskanäle. Das Fahrzeug kann das Umfeld durch die in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Umfeldsensoren, die den visuellen und auditiven Wahrnehmungskanälen des Menschen nachempfunden sind, wahrnehmen. Somit kann auch das Fahrzeug ein situatives Umfeldwissen aufbauen. Im Idealfall kann das Fahrzeug das Umfeldwissen erweitern, so dass das System ein umfangreicheres Wissen über die Umgebung aufbauen kann als der Fahrer.

Es wird durch die bidirektionale Kommunikation zwischen Fahrzeug und Umfeld ermöglicht, dass sowohl das Fahrzeug eine umfangreiche situations- und kontextabhängige Makroumfeldkarte aufbauen kann und dass andere Akteure im Umfeld Informationen über das Fahrzeug erhalten (siehe Kapitel 2.3, Anforderung 2.b). Die weiteren Akteure in der Makroumfeldkarte werden in Kapitel 3.2.5 detaillierter klassifiziert und beschrieben.

Auf Grund der Interaktion und Kooperation hat das Fahrzeugsystem die Möglichkeit sich adaptiv auf den Fahrer anzupassen und somit Auslösestrategien von Systemen entsprechend auszulegen. Beispielsweise kann ein eher konservativer Fahrer zu einem früheren Zeitpunkt vor einer kritischen Situation gewarnt werden, weil das System weiß, dass er sich im Normfall anders verhalten hätte (z.B. früher gebremst). Anders würde das System einen sportlichen Fahrer später warnen, weil dieser sich vor einer kritischen Situation noch wie im Normfall verhält (z.B. Fahrer fährt rasant an eine rote Ampel.). Auch kann das Fahrzeug durch optische, akustische und haptische Rückmeldungen dem Fahrer Informationen und Warnungen weiter vermitteln. (siehe Kapitel 2.3, Anforderung 2.c).

Aus Abbildung 3.3 ist ersichtlich, dass sowohl der Fahrer als auch das Fahrzeug die Ausführung von Fahraufgaben übernehmen können (siehe Kapitel 2.3, Anforderung 2.d). Das Modell lässt die Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug dabei variabel zu, da je nach Fahrzustand die Allokation der Fahraufgabe dynamisch zwischen den beiden Akteuren erfolgen kann (siehe Kapitel 2.3, Anforderung 2.e). Auch ist gewährleistet, dass beide Akteure kooperieren können, um zu einer gemeinsamen Zielsetzung zu gelangen (siehe Kapitel 2.3, Anforderung 2.c). Die Beschreibung der kontextadaptiven Fahraufgabenallokation wird in Kapitel 3.3 fortgesetzt.

Die Fahraufgabe fordert in diesem Modell sowohl den Fahrer als auch das Fahrzeug an (siehe Kapitel 2.3, Anforderung 2.f). Die Anforderung ist dabei abhängig von dem Fahrzustand, in dem sich das Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell befindet, da sich daraus auch ein unterschiedlicher Grad der Fahraufgabe ergeben kann.

Weiterhin ist dem Modell zu entnehmen, dass sowohl der Fahrer und das Fahrzeug, sowie die situationsabhängige Fahraufgabe durch das Umfeld beeinflusst werden (siehe Kapitel 2.3, Anforderung 2.g). So kann beispielsweise auf Grund von Witterungsbedingungen (z.B. Glatteis) eine Fahraufgabe mit geringem Zeithorizont in der Bahnführungsebene (z.B. Überholen eines LKWs) zu einer dynamischeren Fahraufgabe in der Stabilisierungsebene führen (z.B. Verhinderung von Fahrzeugausbruch), (siehe Kapitel 2.1.2).

Das Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit kann verschiedene Zustände annehmen. Diese Zustände sind abhängig vom Fahrzustand. Der

Fahrzustand wird durch die einzelnen Modellkomponenten beeinflusst, was wiederum Auswirkungen auf die Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug hat. Der Fahrzustand hat folgende Ausprägungen (siehe Kapitel 3.1):

- normal
- kritisch
- Unfall unvermeidbar
- Unfall
- Post-Crash

In Kapitel 3.3 ist beschrieben, welche Wechselwirkungen die verschiedenen Fahrzustände zwischen den einzelnen Modellkomponenten bewirken.

Fazit

Das in diesem Kapitel beschriebene fahrerzentrierte Modell beantwortet die Hauptforschungsfrage nach der modellhaften Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit. Es sind die wesentlichen Modellkomponenten und deren Handlungen zur Beschreibung des Informationsflusses untereinander dargestellt und beschrieben. Dies wurde zur Notwendigkeit, da das Fahrzeug durch die Möglichkeit der Umfeldwahrnehmung durch Sensoren (siehe Kapitel 2.2.1) selbsttätig Situationen interpretieren und dementsprechend Fahraufgaben ausführen kann. Dieser Sachverhalt kann nun zu Konflikten in der Kraftfahrzeugführung führen, da sowohl der Fahrer als auch das Fahrzeug in der Lage sind, Fahraufgaben zu übernehmen. In dem vorliegenden Modell zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit sind die wesentlichen Modellkomponenten „Fahrer“, „Fahrzeug“, „Umfeld“ und „Fahraufgabe“ enthalten, wie sie in Kapitel 2.3 für das Modell gefordert werden. Auch sind die Handlungen zur Beschreibung des Informationsflusses zwischen den Modellkomponenten in das Modell integriert, wie sie in Kapitel 2.3 als Anforderung an das Modell aufgestellt worden sind. Somit ist die Grundlage für die Subforschungsfragen gelegt. Diese werden nun in nachfolgenden Kapiteln näher klassifiziert.

3.2.2 Klassifizierung der Fahraufgabe

Angelehnt an [Tim01] und [Bub01] (siehe Kapitel 2.1.2) wird im Folgenden die Klassifizierung der Fahraufgabe, die sowohl vom Fahrer als auch vom Fahrzeug erfüllt werden kann, weiter unterteilt und verfeinert, um auf einer tieferen Beschreibungsebene Fahraufgaben für die Allokation zwischen Fahrer und Fahrzeug bereit zu stellen. Die eigentliche primäre Fahraufgabe lässt sich auf der Stabilisierungsebene in die einfachen Aufgaben Lenken, Beschleunigen und Bremsen untergliedern, die sich aus der Bedienung der primären Stellglieder Lenkrad, Gas- und Bremspedal ergeben. Fahraufgaben in der Führungsebene bestehen aus Querführungs- (z.B. Überholen) und Längsführungsaufgaben (z.B. Fahrgeschwindigkeit auf Bundesautobahn). Auf der Navigationsebene werden Aufgaben erfüllt, die das Fahrzeug von Ort A nach Ort B navigieren. Betrachtet man sekundäre Fahraufgaben, lassen sich Aufgaben zur Bedienung von Stellgliedern definieren, die unmittelbar mit der primären Fahraufgabe im Zusammenhang stehen - Schalten, Hupen, Lichtschalter betätigen, Assistenzsysteme bedienen, Blinken und sonstige Sekundäraufgaben. Aufgaben der tertiären Ebene haben im eigentlichen Sinne der Fahraufgabe keinen direkten Zusammenhang, können diese allerdings beeinflussen und werden in diesem Zusammenhang auch feiner unterteilt - Klimaanlage bedienen, Telefonieren, Radio bedienen, sonstige Tertiäraufgaben.

Primäraufgabe	Stabilisierungsaufgabe	Lenken
		Beschleunigen
		Bremsen
	Führungsaufgabe	Querführung
		Längsführung
	Navigationaustgabe	Navigieren
Sekundäraufgabe	Schalten	
	Hupen	
	Lichtschalter betätigen	
	Assistenzsystem bedienen	
	Blinken	
	sonstige Sekundäraufgaben	
Tertiäraufgabe	Klimaanlage bedienen	
	Telefonieren	
	Radio bedienen	
	sonstige Tertiäraufgaben	

Tabelle 3.1: Erweiterte Klassifizierung der Fahraufgabe modifiziert nach [Tim01] [Bub01]

Fazit

Im eigentlichen Sinne der Fahrzeugsicherheit müssen ausschließlich die primären Fahraufgaben betrachtet werden. Jedoch sind sekundäre und tertiäre Fahraufgaben in das Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell mit einzubeziehen, da diese einen hohen Einfluss auf den Beanspruchungsgrad des Fahrers haben (siehe Kapitel 2.3, Anforderung 2.f). Für weitere Betrachtungen der Aufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug werden allerdings ausschließlich Primäraufgaben analysiert, da diese von Systemen der Integralen Fahrzeugsicherheit auch durch das Fahrzeug übernommen werden können. Tabelle 3.1 zeigt die Klassifizierung der Fahraufgabe für die Integrale Fahrzeugsicherheit.

3.2.3 Klassifizierung des Fahrers

Das Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell beschreibt den Fahrer als idealtypisch und konstant. In Studien hat sich allerdings gezeigt, dass sich differierende Fahrergruppen unterschiedlich auf das Modell auswirken. So weisen zum Beispiel ältere Fahrer ein anderes Fahrverhalten im Straßenverkehr auf als jüngere Fahrer [Jan01]. Somit ist es für eine adaptive Auslegung von Fahrzeugsystemen notwendig, eine Klassifizierung des Fahrers nach verschiedenen Merkmalen vorzunehmen. Tabelle 3.2 stellt die Merkmale und deren Ausprägungen des Fahrers dar.

Alter	unter 21
	21 - 59
	über 59
Geschlecht	weiblich
	männlich
Fahrstil/Fahrertyp	komfortabel
	moderat
	sportlich
Fahrpraxis/-erfahrung	wenig
	mittel
	stark
Aufmerksamkeit	nicht abgelenkt
	abgelenkt
Beanspruchung	nicht bis wenig
	mittel
	stark

Tabelle 3.2: Klassifizierung des Fahrers

In der nachfolgenden Betrachtung wird der Fahrer nach sechs Merkmalen klassifiziert:

- Alter: Eine Clusterung des Alters ist schwierig zu definieren, da z.B. Menschen gleichen chronologischen Alters ein unterschiedliches funktionales Alter haben können. Der Faktor des funktionalen Alters wird allerdings bei der Klassifizierung des Fahrers in nachfolgenden Punkten weiter betrachtet [LSU06]. So wird an dieser Stelle eine dreistufige Clusterung nach chronologischem Alter vorgenommen (unter 21 Jahre, 21 bis 59 Jahre, über 59 Jahre).
- Geschlecht: Unterteilung nach weiblichen und männlichen Fahrer.
- Fahrstil/Fahrertyp: Um ein Fahrzeugsystem benutzergerecht auszulegen, ist eine Individualisierung nach Fahrertyp notwendig. Die Clusterung wird dreistufig vorgenommen - komfortabel, moderat, sportlich. Die Clusterung wird in Abhängigkeit der Durchschnittsgeschwindigkeit, der Anzahl der Spurwechsel und der mittleren Zeitlücke zum Vorderfahrzeug definiert. [DBF06]
- Fahrleistung/-erfahrung: Dieses Merkmal ist entscheidend für die nach [Ras83] vorgenommene Unterscheidung der verschiedenen Handlungsebenen (siehe Kapitel 2.2.1). Die Clusterung erfolgt dreistufig - wenig, mittel, stark.
- Aufmerksamkeit: Die Aufmerksamkeit des Fahrers spielt eine wesentliche Rolle, da sie einen entscheidenden Einfluss auf die Wahrnehmung des Umfeldes durch den Fahrer und somit auf die Erfüllung der Fahraufgabe hat. Es wird nach abgelenktem und nicht abgelenktem Fahrer unterschieden. Bei abgelenkten Fahrern kann es nach der Definition von Fehlverhalten zu objektiven Fehlern von Informationen (siehe Kapitel 2.2.4) oder zu erhöhten Reaktionszeiten von der peripheren Wahrnehmung bis zur Umsetzung einer Aktion durch den Fahrer kommen (siehe Kapitel 2.2.1).
- Beanspruchung: Die Beanspruchung des Fahrers durch eine Aufgabe wird u.a. durch Stress und Müdigkeit verdeutlicht. Dieses Merkmal beeinflusst das Fahrer-Fahrzeug Modell deutlich. Die Fahrerbeanspruchung wird dreistufig unterteilt - wenig, mittel, stark.

Eine Studie von Buld hat ergeben, dass die Fahrermerkmale Alter, Geschlecht und Fahrerfahrung keinen signifikanten Einfluss auf die Wirkung von Assistenz und Automation haben. Vielmehr ist das Merkmal Fahrleistung, also die tatsächlich gefahrenen Kilometer pro Jahr entscheidend für die Wirkung von Assistenz und Automation. Die Studie von Buld setzte sich dabei aus zwei Teilstudien zusammen. Der erste Teil untersuchte die individuellen Benutzungsmerkmale eines ACC-Systems. Dabei haben 18 Versuchsfahrer im Alter von 22 bis 57 Jahren teilgenommen, die eine Fahrpraxis von 4 bis 39 Jahren und eine Fahrleistung von 7.500 bis 40.000 km/Jahr aufwiesen. Die Fahrsimulatorstudie zur Untersuchung individueller Benutzungsmerkmale eines ACC-Systems wurde nach zwei Monaten wiederholt. Im zweiten Teil der Studie wurden individuelle Benutzungsmerkmale eines Spurhalteassistenten untersucht. An der Studie nahmen 20 Versuchsfahrer im Alter von 22 bis 56 Jahren, mit einer Fahrpraxis von 3 bis 38 Jahren und einer Fahrleistung von 600 bis 40.000 km/Jahr teil. [Ba02]

Fazit

Für das Modell zur nutzerorientierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit sind letztendlich alle in diesem Unterkapitel klassifizierten Fahrermerkmale relevant. Auch wenn nach Buld für die Wirkung von Assistenz und Automation nur das Merkmal Fahrleistung einen signifikanten Einfluss hat, müssen auch die anderen Fahrermerkmale im Modell berücksichtigt werden. Dies ist zum einen darin begründet, dass Systeme der Integralen Fahrzeugsicherheit auf unterschiedliche Zielgruppen abzielen, die in den Merkmalen Alter und Geschlecht variieren. Beispielsweise kann ein Nothalteassistent, der bei plötzlicher Fahrunfähigkeit des Fahrzeugführers ein abgesichertes Anhalten ermöglicht, älteren Menschen bei gesundheitlichen Notfallsituationen helfen [WKAH10]. Weiterhin muss das Fahrermerkmal Fahrstil/Fahrertyp im Modell berücksichtigt werden, da verschiedene Fahrertypen ein unterschiedliches Normverhalten in bestimmten Verkehrsszenarien aufweisen. So fährt zum Beispiel ein moderater Fahrer langsam an eine rote Ampel heran und bremst bereits frühzeitig. Ein sportlicher Fahrer hingegen fährt schneller an eine rote Ampel heran und bremst spät vor der Haltelinie. Dies hat Auswirkungen auf die Auslegung von Warnsystemen, indem der moderate Fahrer z.B. früher gewarnt wird, als der sportli-

che Fahrertyp. Auch die Merkmale Aufmerksamkeit und Beanspruchung des Fahrers haben Auswirkung auf die Auslegung von Aktionskonzepten von Systemen der Integralen Fahrzeugsicherheit und müssen daher im Modell berücksichtigt werden. So benötigt z.B. ein abgelenkter Fahrer mehr Reaktionszeit als ein nicht abgelenkter Fahrer [Bur85] (siehe Kapitel 2.2.1). Somit finden alle klassifizierte Fahrermerkmale in der Fallstudie zur Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation Anwendung in Kapitel 4. Weiterhin werden alle Fahrermerkmale in Kapitel 5 als Eingangsgröße für die Probandengruppe der empirischen Studie berücksichtigt.

3.2.4 Klassifizierung des Fahrzeugs

Um das Fahrzeug in dem FFU Modell umzusetzen, muss das System mit drei Hauptkomponenten ausgestattet werden (siehe Abbildung 3.4). Die Hauptkomponenten Sensorik (siehe Kapitel 2.2.1), Algorithmus und Aktorik dienen dem Aufbau einer künstlichen Kognition des Fahrzeuges und ermöglichen den Prozess der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung. Neben den unter Kapitel 2.2.1 beschriebenen autarken Onboard-Sensoren gibt es weiterhin Inertialsensoren. Mit Hilfe von Inertialsensoren werden Beschleunigungs- und Rotationskräfte gemessen. Durch eine Integration über die Beschleunigungen der verschiedenen Freiheitsgrade können Geschwindigkeiten in verschiedenen Freiheitsgraden bestimmt werden.

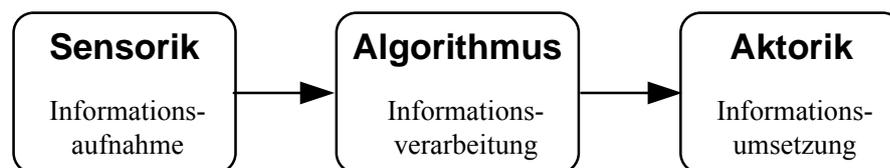


Abbildung 3.4: Komponenten der Fahrzeugsysteme

Vorausschauende Sensoren sind zum einen autarke Onboard-Sensoren (z.B. Radar, Video, etc.) und zum anderen kooperative Sensoren (z.B. Fahrzeug-zu-Fahrzeug- und Fahrzeug-zu-Infrastructure Kommunikation). Dadurch kann ein situatives Umfeldwissen im Fahrzeug aufgebaut werden. Der Algorithmus des Systems kann synonym für das menschliche Gehirn verwendet werden, indem Informationen verarbeitet und zu Handlungsalternativen zusammengestellt werden. Die Aktorik des Systems

beschreibt die Stellglieder mit denen Handlungen umgesetzt werden können. Die Aktorik zur Informationsumsetzung kann verschiedene Charakter annehmen (siehe Kapitel 3.3):

- Informierender Charakter - Der Fahrer wird frühzeitig über ein bevorstehendes Ereignis informiert.
- Warnender Charakter - Der Fahrer wird vor einem bevorstehenden, gefährlichen Ereignis/Situation gewarnt.
- Unterstützender Charakter - Der Fahrer wird in seiner Fahraufgabe durch ein Fahrzeugsystem unterstützt.
- Handelnder Charakter - Das Fahrzeug greift aktiv in die Fahraufgabe ein und übernimmt die Kontrolle über die Fahrsituation.

Fazit

In Anlehnung an Abbildung 3.3 kann das Fahrzeug somit das Umfeld wahrnehmen, Fahraufgaben ausführen, eine Interaktion bzw. Kooperation mit dem Fahrer durchführen und mit dem Umfeld kommunizieren. Das Hauptziel des Einsatzes der Fahrzeugsysteme im Kontext dieser Arbeit ist die Vermeidung von Unfällen bzw. die Minderung von Unfallfolgen. Entsprechend der Definition der Integralen Fahrzeugsicherheit werden die Fahrzeugsysteme im Kontext dieser Arbeit den drei Hauptbereichen der Fahrerassistenz, aktiven Sicherheit und passiven Sicherheit zugeordnet (siehe Kapitel 3.1). Abhängig vom Fahrzustand, indem sich das Fahrer-Fahrzeug-Umfeld System befindet (siehe Kapitel 3.2.1), werden unterschiedliche Fahrzeugsysteme automatisch oder durch manuelle Auslösung des Fahrers aktiviert. Dieser Sachverhalt wird in Kapitel 3.3 als kontextadaptive Fahraufgabenallokation detailliert analysiert und konzeptioniert. Die einzelnen Komponenten des Fahrzeugsystems werden in Kapitel 4 beispielhaft in einer Fallstudie angewendet und detailliert konzipiert und spezifiziert.

3.2.5 Klassifizierung des Umfelds

In Kapitel 2.1.2 sind bereits aus Literatur bekannte Umfeldklassifizierungen aufgezeigt. Ebenfalls wurden Lücken für die Beantwortung der Forschungsfrage iden-

tifiziert. In diesem Kapitel sollen diese Lücken geschlossen werden, um eine ganzheitliche Klassifizierung des Umfeldes im Zusammenhang mit der Integralen Fahrzeugsicherheit vorzunehmen. Tabelle 3.3 zeigt eine Übersicht der Klassifizierung des Umfeldes im Zusammenhang mit dem Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell. Das Umfeld lässt sich demnach in drei Kategorien unterteilen:

- Statische Objekte: Objekte mit unveränderlichem Zustand
- Dynamische Objekte: Objekte mit veränderlichem Zustand
- Ereignisse: aufgetretenes, beobachtbares Geschehen

Statische bzw. dynamische Objekte und Ereignisse sind Elemente, um ein Verkehrsszenario zu beschreiben. Ein Verkehrsszenario im Sinne der Fahrzeugsicherheit umfasst dabei das Ego-Fahrzeug, Akteure, die eine Gefahr für die Fahrsicherheit darstellen (z.B. querende Fahrzeuge auf Kollisionskurs), und Randbedingungen, die durch Situationsmerkmale gegeben sind (z.B. Verkehrszeichen, Straßen, Gebäude). Die Komplexität eines Verkehrsszenarios erhöht sich mit steigender Anzahl der Akteure und Randbedingungen in einer Situation. So ist beispielsweise das Überqueren einer Kreuzung bei freier Sicht und freiem Verkehr ein wenig komplexes Verkehrsszenario. Sobald allerdings die zu überquerende Kreuzung dicht bebaut ist und ein hohes Verkehrsaufkommen herrscht, erreicht die Komplexität des Verkehrsszenarios ein hohes Maß. Tabelle 3.4 zeigt die Verkehrsszenarien beschreibenden Elemente aus Sicht der Integralen Fahrzeugsicherheit.

statische Objekte	Verkehrszeichen	sichtbar	
		nicht sichtbar	
	Straßen		
	Gebäude		
Bepflanzung			
dynamische Objekte	Fahrzeuge	nicht verdeckt	
		verdeckt	
	Radfahrer	nicht verdeckt	
		verdeckt	
	Fußgänger	nicht verdeckt	
		verdeckt	
	Lichtsignalanlagen	sichtbar	
		nicht sichtbar	
	Wechselverkehrszeichen	sichtbar	
		nicht sichtbar	
Ereignisse	Unfall	nicht verdeckt	
		verdeckt	
	Panne	nicht verdeckt	
		verdeckt	
	Baustelle	nicht verdeckt	
		verdeckt	
	Objekte auf der Fahrbahn	nicht verdeckt	
		verdeckt	
	Meteoreologische Daten	Temperatur	
		Wind	
		Niederschlag	
		Bewölkung	
		Glätte	
		Sichtweite	
	Verkehrslage	freier Verkehr	
		wenig Verkehr	
		dichter Verkehr	sichtbar
nicht sichtbar			
Stau		sichtbar	
		nicht sichtbar	

Tabelle 3.3: Klassifikation des Fahrumgebungsumfeldes

Elemente	Beschreibung	Umfeldkategorie
Ego-Fahrzeug	Bezugspunkt des Verkehrsszenarios	dynamische Objekte
Akteure	Situationsmerkmale, die eine Gefahr für die Fahrsicherheit des Ego-Fahrzeuges darstellen.	dynamische Objekte statische Objekte Ereignisse
Randbedingungen	Situationsmerkmale, die keine unmittelbare Gefahr für die Fahrsicherheit des Ego-Fahrzeuges darstellen.	dynamische Objekte statische Objekte Ereignisse
Komplexität	Summe und Ausprägung der beteiligten Akteure und Randbedingungen	

Tabelle 3.4: Verkehrsszenario beschreibende Elemente

Fazit

Die für die Integrale Fahrzeugsicherheit relevanten Elemente zur Beschreibung einer Verkehrssituation sind aufgestellt. Für die Beschreibung eines Verkehrsszenarios, in denen ein Fahrzeugsystem der Integralen Fahrzeugsicherheit wirken soll (siehe Kapitel 3.2.4), müssen neben dem Ego-Fahrzeug, die beteiligten Akteure, die eine Gefahr für die Einhaltung des Ziels der Integralen Fahrzeugsicherheit darstellen, die Randbedingungen, die das gesamte Verkehrsszenario definieren, und die Komplexität des Verkehrsszenarios beschrieben werden. Damit wird zum einen die Grundlage gelegt, um eine tiefere Spezifikation der Komponenten des Fahrzeugsystems vorzunehmen. Weiterhin kann genauer definiert werden, wann die verschiedenen Fahrzustände für ein spezielles Verkehrsszenario erreicht werden (siehe Kapitel 3.1). Das Verkehrsszenario bildet demnach die Grundlage zur Spezifikation von Fahrzeugsystemen der Integralen Fahrzeugsicherheit. Ebenso sind die einzelnen Elemente des Umfelds für die Fahrzeugsicherheit hinreichend klassifiziert. Somit ist die Voraussetzung zur Beschreibung der Modellkomponente „Umfeld“ gelegt (siehe Kapitel 3.2.1). Die Umfeldklassifizierung findet in Kapitel 4 bei der Konzeptionierung von Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikations-Funktionen sowie als Eingangsgröße in Kapitel 5 bei der empirischen Studie Anwendung.

3.2.6 Wechselwirkungen der Modellkomponenten

Das Kernelement dieses Kapitels ist die systematische Beschreibung der kontextadaptiven Aufgabenallokation in der Integralen Fahrzeugsicherheit. Zur Hinführung werden zunächst die Möglichkeiten der Umfeldwahrnehmung durch den Fahrer und das Fahrzeug sowie der Einfluss des Umfeldes auf die Fahraufgabe erläutert. Desweiteren wird der Zusammenhang zwischen menschlichen Fehlern, Verkehrsszenarios und Fahrzuständen der Integralen Fahrzeugsicherheit gezogen.

Umfeldwahrnehmung

Tabelle 3.5 zeigt die Möglichkeiten der Wahrnehmung von Umfeldelementen durch den Fahrer und das Fahrzeug. Die Klassifizierung des Fahrers für das Potenzial zur Umfeldwahrnehmung ist mit Ausnahme vom Merkmal „Aufmerksamkeit“, was sich in den Ausprägungen „abgelenkt“ bzw. „nicht abgelenkt“ unterteilt, vernachlässigbar anzunehmen (siehe Kapitel 3.2.3). Beim Fahrzeug ist davon auszugehen, dass es die Möglichkeit besitzt, sowohl eine Vorausschau mit „sehender“ sowie mit „kommunizierender“ Sensorik zu erzeugen (siehe Kapitel 2.2.1). Im Anhang sind die Möglichkeiten der Wahrnehmung der einzelnen Umfeldelemente durch das Fahrzeug nach den verschiedenen Sensoren aufgeschlüsselt. Tabelle 3.5 zeigt das Potenzial zur Umfeldwahrnehmung durch den Fahrer und das Fahrzeug im Überblick auf.

In Tabelle 3.5 ist eine Bewertung mit folgenden Ausprägungen vorgenommen worden:

- Umfeldelement kann nicht wahrgenommen werden (z.B. Ein verdeckter Fußgänger kann von einem Fahrer nicht wahrgenommen werden.).
- Umfeldelement kann nur bedingt wahrgenommen werden, d.h. das Umfeldelement kann grundsätzlich wahrgenommen werden, in der gegebenen Fahrsituation ist dies allerdings nicht möglich (z.B. Außentemperatur, wenn Fahrer im Fahrzeug sitzt.).
- Umfeldelement kann wahrgenommen werden (z.B. Der Fahrer ist nicht abgelenkt und kann sichtbare Verkehrszeichen grundsätzlich wahrnehmen.).

Umfeld		Modellkomponente		Fahrer		Fahrzeug	Erweitertes Umfeldwissen durch Fahrer und Fahrzeug	
				abgelenkt	nicht abgelenkt			
statische Objekte	Verkehrszeichen	sichtbar		-	+	+	+	
		nicht sichtbar		-	-	+	+	
	Straßen			o	+	+	+	
	Gebäude			o	+	o	+	
	Bepflanzung			o	+	o	+	
dynamische Objekte	Fahrzeuge	nicht verdeckt		-	+	+	+	
		verdeckt		-	-	+	+	
	Radfahrer	nicht verdeckt		-	+	+	+	
		verdeckt		-	-	+	+	
	Fußgänger	nicht verdeckt		-	+	+	+	
		verdeckt		-	-	+	+	
	Lichtsignalanlagen	sichtbar		-	+	+	+	
		nicht sichtbar		-	-	+	+	
	Wechselverkehrszeichen	sichtbar		-	+	+	+	
		nicht sichtbar		-	-	+	+	
Ereignisse	Unfall	nicht verdeckt		-	+	+	+	
		verdeckt		-	-	+	+	
	Panne	nicht verdeckt		-	+	+	+	
		verdeckt		-	-	+	+	
	Baustelle	nicht verdeckt		-	+	+	+	
		verdeckt		-	-	+	+	
	Objekte auf der Fahrbahn	nicht verdeckt		-	+	+	+	
		verdeckt		-	-	+	+	
	Metereologische Daten	Temperatur			o	o	+	+
		Wind			o	o	o	o
		Niederschlag			+	+	o	+
		Bewölkung			+	+	o	+
		Sichtweite			+	+	o	+
	Verkehrslage	freier Verkehr			o	+	+	+
		wenig Verkehr			o	+	+	+
dichter Verkehr		sichtbar		o	+	+	+	
		nicht sichtbar		-	-	+	+	
Stau		sichtbar		o	+	+	+	
		nicht sichtbar		-	-	+	+	

- Umfeldelement kann nicht wahrgenommen werden.

o Umfeldelement kann nur bedingt wahrgenommen werden.

+ Umfeldelement kann wahrgenommen werden.

Tabelle 3.5: Wahrnehmung von Umfeldelementen durch Fahrer und Fahrzeug

Es wird deutlich, dass das Fahrzeug bei der Wahrnehmung von nicht sichtbaren bzw. verdeckten Umfeldelementen durch den Kommunikationskanal wesentliche Vorteile gegenüber dem Fahrer hat. Durch Ablenkung des Fahrers ergeben sich wesentliche Beeinflussungen der Umfeldwahrnehmung durch den Fahrer (siehe Kapitel 2.2.3). Dies ist wiederum als Vorteil des Fahrzeuges auszulegen, da das System diese Beeinflussungsmerkmale nicht aufweist.

Beeinflussung der Fahraufgabe

In Tabelle 3.6 ist der Einfluss von Umfeldelementen auf die Fahraufgabe dargestellt. Es ist davon auszugehen, dass ein umfassendes Umfeldwissen durch das Fahrzeug und den Fahrer vorliegt (siehe Tabelle 3.5). An einem Beispiel soll dieser Zusammenhang erläutert werden: Zunächst ist von einem normalen Fahrzustand auszugehen. Die Situation wird nicht durch umgebende Verkehrsteilnehmer oder statische Objekte beeinflusst. Der Fahrer erfüllt Aufgaben in der Führungsebene (z.B. Überholvorgang). Erfolgt nun ein unvorhergesehenes Wetterereignis (z.B. Glatteis) kann die Führungsaufgabe beeinflusst werden und in eine Stabilisierungsaufgabe führen, da das Fahrzeug auszubrechen beginnt.

Die Bewertung in Tabelle 3.6 erfolgte nach folgenden Ausprägungen:

- Umfeldelement hat keinen Einfluss auf die Ausführung der Fahraufgabe (z.B. Außentemperatur ist für eine Navigationsaufgabe irrelevant.).
- Umfeldelement hat bedingt Einfluss auf die Ausführung der Fahraufgabe, d.h. dass das Umfeldelement grundsätzlich einen Einfluss auf die Fahraufgabe haben könnte, dieser Fall muss allerdings nicht in jeder Fahrsituation eintreten (z.B. Ereignis Unfall, also ein verunfalltes Fahrzeug auf der Fahrbahn des Ego-Fahrzeuges, kann zu einer Beeinflussung der Lenkaufgabe führen, muss allerdings nicht, wenn der Unfall vor einiger Zeit passiert ist und davon ausgegangen wird, dass Fahrer und Fahrzeug ein umfassendes Umfeldwissen haben, führt es u.a. ausschließlich zu einer Beeinflussung der Querführungsaufgabe.).
- Umfeldelement hat Einfluss auf die Ausführung der Fahraufgabe (z.B. Lichtsignalanlage schaltet auf rot, Fahrer muss bremsen.).

Erweitertes Umfeldwissen durch Fahrer und Fahrzeug		Primäraufgaben						
		Stabilisierungsaufgabe			Führungsaufgabe		Navigationsaufgabe	
		Lenken	Beschleunigen	Bremsen	Querführung	Längsführung	Navigieren	
statische Objekte	Verkehrszeichen	o	+	+	+	+	o	
	Straßen	+	+	+	+	+	o	
	Gebäude	o	o	o	o	o	-	
	Bepflanzung	o	o	o	o	o	-	
dynamische Objekte	Fahrzeuge	+	+	+	+	+	-	
	Radfahrer	+	+	+	+	+	-	
	Fußgänger	+	+	+	+	+	-	
	Lichtsignalanlagen	-	+	+	o	+	-	
	Wechselverkehrszeichen	-	+	+	o	+	-	
Ereignisse	Unfall	+	+	+	+	+	o	
	Panne	+	+	+	+	+	o	
	Baustelle	+	+	+	+	+	o	
	Objekte auf der Fahrbahn	+	+	+	+	+	o	
	Metereologische Daten	Temperatur	+	+	+	+	+	-
		Wind	+	+	+	+	+	-
		Niederschlag	+	+	+	+	+	-
		Bewölkung	-	-	-	-	-	-
		Sichtweite	+	+	+	+	+	-
	Verkehrslage	freier Verkehr	+	+	+	+	+	+
		wenig Verkehr	+	+	+	+	+	+
		dichter Verkehr	+	+	+	+	+	+
		Stau	+	+	+	+	+	+

- Umfeldelement hat keinen Einfluss auf Erfüllung der Fahraufgabe.
- o Umfeldelement hat bedingt Einfluss auf Erfüllung der Fahraufgabe.
- + Umfeldelement hat Einfluss auf Erfüllung der Fahraufgabe.

Tabelle 3.6: Einfluss von Umfeldelementen auf die Fahraufgabe

Es wird deutlich, dass die meisten Akteure und Randbedingungen einer Verkehrssituation (siehe Kapitel 3.2.5) einen entscheidenden Einfluss auf die Fahraufgaben Beschleunigen und Bremsen in der Stabilisierungsebene sowie die Querführung und Längsführung in der Führungsebene haben. Umfedelemente haben grundsätzlich einen geringen bzw. keinen Einfluss auf die Ausführung einer Navigationsaufgabe. Das Umfedelement Niederschlag hat zum Beispiel einen starken Einfluss auf die Stabilisierungsaufgaben Beschleunigen und Bremsen, da es bei starkem Regenfall zu Aquaplaning kommen kann und dementsprechend die Stabilisierungsaufgaben angepasst ausgeführt werden müssen. Beispielsweise hat auch ein langsamfahrender Traktor auf einer Landstraße einen starken Einfluss auf die Längsführung, da der Fahrer seine Geschwindigkeit auf den vorausfahrenden Traktor anpassen muss und zum anderen auch auf die Querführung, da der Fahrer durch das vorausfahrende langsamere Fahrzeug zu einem Überholvorgang ansetzen kann.

Verkehrsszenario - Menschliche Fehler - Fahrzustand

Zunächst kann festgehalten werden, dass ein Verkehrsszenario aus dem Ego-Fahrzeug, beteiligten Akteuren und Randbedingungen besteht (siehe Kapitel 3.2.5). Bei einem Verkehrsszenario wird von dem Ego-Fahrzeug als Bezugspunkt des Verkehrsszenarios ausgegangen. Somit ist das Ego-Fahrzeug auch der Bezugspunkt weiterer Sachverhalte dieses Unterkapitels. Ein Verkehrsszenario kann verschiedene Fahrzustände annehmen (siehe Kapitel 3.1). In normalen Fahrzuständen entspricht das Istverhalten des Fahrers des Ego-Fahrzeugs dem Sollverhalten in einem Verkehrsszenario. D.h. der Fahrer begeht keine menschlichen Fehler, um Fahraufgaben unfallfrei auszuführen. Kommt es zu menschlichen Fehlhandlungen (siehe Kapitel 2.2.4) die auf objektives Fehlen von Informationen, fehlende Nutzung vorhandener Informationen oder falsche Nutzung von Informationen zurückzuführen sind, kann dies dazu führen, dass die am Verkehrsszenario beteiligten Akteure eine Gefahr für das Ego-Fahrzeug darstellen können, was wiederum einen kritischen Fahrzustand nach sich zieht und die Fahrzustände „Unfall unvermeidbar“, „Unfall“ und „Post-Crash“ zur Folge haben kann. Auf Grund der hauptsächlich durch menschliche Fehlhandlungen verursachten Fahrzustände eines Verkehrsszenarios kann die in folgendem Kapitel 3.3 beschriebene kontextadaptive Fahraufgabenallokation abgeleitet werden.

3.3 Kontextadaptive Fahraufgabenallokation

Die kontextadaptive Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug kann nun abgeleitet werden, da die wesentlichen Modellkomponenten vorweg beschrieben und klassifiziert sind. Weiterhin ist die Notwendigkeit der Definition einer Fahraufgabenallokation gegeben, da sowohl Fahrer und Fahrzeug Fahraufgaben ausführen können, was zu Konflikten in der Zielerreichung führen kann. Aus diesem Grund ist es essentiell, dass eine Kooperation zwischen Fahrer und Fahrzeug erfolgt (siehe Kapitel 2.2.2). Die aus der Integralen Fahrzeugsicherheit abgeleiteten Fahrzustände werden nun als kontextadaptive Eingangsgröße für die Aufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug herangezogen. Da für die Fahrzeugsicherheit ausschließlich primäre Fahraufgaben bedeutend sind, werden sekundäre und tertiäre Fahraufgaben vernachlässigt (siehe Kapitel 3.2.2). Tabelle 3.7 zeigt die abgeleitete Hypothese der Aufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug in Abhängigkeit vom Fahrzustand. Aus der Tabelle ist ersichtlich, welche Fahraufgabe in welchem Fahrzustand von welcher Modellkomponente (siehe Kapitel 3.2) ausgeführt wird. Es wird deutlich, dass Aufgaben ausschließlich in Situationen, in denen ein Unfall unvermeidbar wird, vom Fahrzeug autonom durch Handlungen ausgeführt werden. Weiterhin ist festzuhalten, dass es primäre Fahraufgaben gibt, die ausschließlich vom Fahrer ausgeführt werden (z.B. Stabilisierungsaufgaben in normalen Fahrzustand) und Fahraufgaben, die durch die Initiierung durch den Fahrer an das Fahrzeug übergeben werden können (z.B. Fahraufgaben der Längsführung bei ACC). Zusätzlich gibt es Fahraufgaben bei denen das Fahrzeug den Fahrer unterstützt, d.h. der Fahrer ist der Aufgabeninitiator, das Fahrzeug unterstützt ihn aktiv, um zu der gewünschten Zielerreichung zu gelangen (z.B. ESP in kritischem Fahrzustand). Die Navigationsaufgabe wird entweder vollständig durch den Fahrer durchgeführt oder durch das Fahrzeug unterstützt, indem dem Fahrer Informationen in visueller bzw. auditiver Form dargeboten werden.

Fahraufgabe \ Fahrzustand	Primäraufgaben					
	Stabilisierungsaufgabe			Führungsaufgabe		Navigationsaufgabe
	Lenken	Beschleunigen	Bremsen	Querführung	Längsführung	Navigieren
normal	oo	oo	oo	oo/+	oo/+	oo/o
kritisch	o	o	o	o	o	oo/o
Unfall unvermeidbar	++	++	++	-	-	-
Unfall	++	-	++	-	-	-
Post-Crash	-	-	-	-	-	-

- Fahraufgabe wird nicht ausgeführt.
- oo Fahraufgabe wird **vollständig vom Fahrer** ausgeführt.
- o Fahraufgabe wird **fahrergetriggert** ausgeführt und **durch das Fahrzeug unterstützt**.
- + Fahraufgabe wird **nach Aktivierung** durch den Fahrer **vom Fahrzeug autonom ausgeführt**.
- ++ Fahraufgabe wird **vollständig autonom vom Fahrzeug** ausgeführt.

Tabelle 3.7: Aufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug in Abhängigkeit vom Fahrzustand

Ausgehend von den vorangegangenen Betrachtungen können Aktionen und Fahraufgaben in Abhängigkeit vom Fahrzustand abgeleitet werden, die vom Fahrzeug ausgeführt werden (siehe Tabelle 3.8). Abhängig vom Fahrzustand führt das Fahrzeug verschiedene Aktionen in den unterschiedlichen Ebenen der primären Fahraufgabe aus. Weiterführend erfolgt die Ausführung von weiteren Aufgaben durch das Fahrzeug, die nicht im Zusammenhang mit der eigentlichen Fahraufgabe stehen (Rückhaltesysteme und Notruf-/Hilfesysteme auslösen).

Es ist nun eine allgemeingültige Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug spezifiziert. Diese kann anhand des fahrerzentrierten Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit dargestellt werden. In den Abbildungen 3.5 bis 3.9 ist die Auftei-

Fahrzustand	Aktion	Fahrzeugaufgabe
normal	informieren	Navigationsaufgabe
normal	handeln (nach aktiver Übergabe durch den Fahrer)	Führungsaufgabe
kritisch	warnen / unterstützen	Führungsaufgabe / Stabilisierungsaufgabe
Unfall unvermeidbar	handeln	Stabilisierungsaufgabe
Unfall unvermeidbar	handeln	Rückhaltesysteme auslösen
Unfall	handeln	Stabilisierungsaufgabe
Unfall	handeln	Rückhaltesysteme auslösen
Post-Crash	handeln	Notruf-/Hilfesysteme auslösen

Tabelle 3.8: Fahrzustand-adaptive Aktionen und Fahraufgaben des Fahrzeuges

lung der Fahraufgaben für die Fahrzustände normal, kritisch, Unfall unvermeidbar und Unfall dargestellt.

Aus Abbildung 3.5 ist ersichtlich, dass der Fahrer die Ausführung der Fahraufgabe in einem normalen Fahrzustand übernimmt. Das Fahrzeug nimmt das Umfeld wahr und interpretiert die Verkehrssituation hinsichtlich des Fahrzustandes. Ausschließlich durch die aktive Übergabe von Teilen der Fahraufgabe durch den Fahrer an das Fahrzeug kann das Fahrzeug auch selbsttätig Fahraufgaben ausführen.

In Abbildung 3.6 ist erkennbar, dass das Fahrzeug in kritischen Fahrzuständen bereits deutlich in Interaktion mit dem Fahrer und der Fahraufgabe tritt. Nach Wahrnehmung des Umfeldes und Interpretation der Verkehrssituation als kritisch gibt das Fahrzeug eine Warnung an den Fahrer und unterstützt ihn in der Ausführung der Fahraufgabe. Die Unterstützung der Fahraufgabe ist so gestaltet, dass der Fahrer der Initiator der Fahraufgabenausführung ist, das Fahrzeug ihn aber in seiner Zielerreichung unterstützt. Das oberste Ziel der Fahrzeugsicherheit ist in kritischen Situationen den Unfall zu vermeiden. Das Fahrzeug kann den Fahrer zur Erreichung des Ziels z.B. durch eine Bremskraftunterstützung helfen.

Die in Abbildung 3.7 dargestellte Fahraufgabenallokation zeigt diese in dem Fahrzustand, in dem Unfälle bereits unvermeidbar sind. Es wird deutlich, dass der Fahrer in diesem Fahrzustand die Verkehrssituation nicht mehr beeinflussen kann. Ab diesem

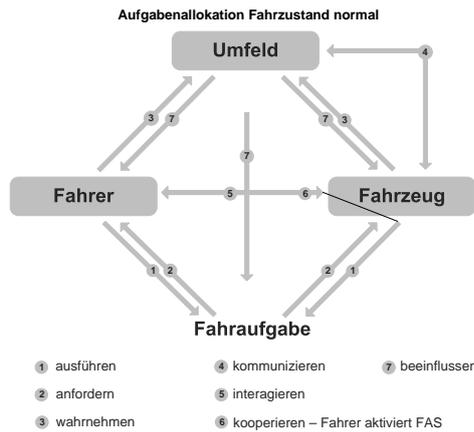


Abbildung 3.5: Aufgabenallokation bei normalem Fahrzustand

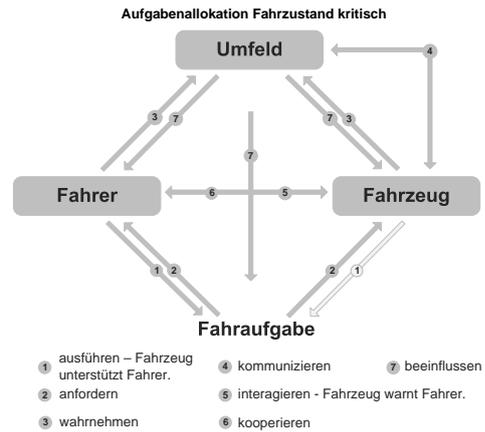


Abbildung 3.6: Aufgabenallokation bei kritischem Fahrzustand

Fahrzustand wandelt sich das oberste Ziel der Fahrzeugsicherheit zur Verminderung der Unfallschwere. Dies kann hauptsächlich durch Reduktion der Kollisionsgeschwindigkeit erreicht werden. Das Fahrzeug führt autonom Fahraufgaben aus, die in der Stabilisierungsebene liegen. Für die beiden Funktionen der Fallstudie bremst das Fahrzeug in diesem Fahrzustand. Gleichzeitig können bereits Rückhaltesysteme ausgelöst werden (z.B. reversibler Gurtstraffer). Während eines Unfalls wird in Abbildung 3.8 ersichtlich, dass die Fahraufgabe ausschließlich darin besteht, dass das Fahrzeug Stabilisierungsaufgaben ausführt, um Unfallfolgen zu mindern. In diesem Fahrzustand soll der Fahrer bestmöglich vor Unfallfolgen geschützt werden, indem das Fahrzeug Rückhaltesysteme auslöst.

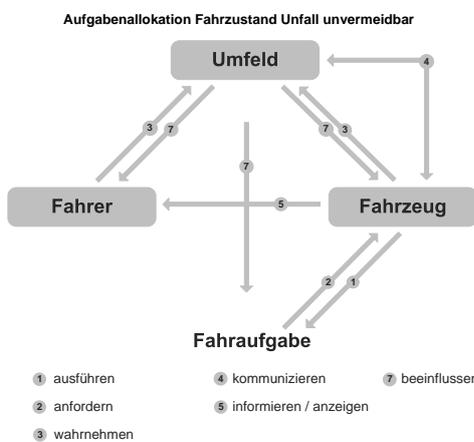


Abbildung 3.7: Aufgabenallokation bei Unfall unvermeidbarem Fahrzustand

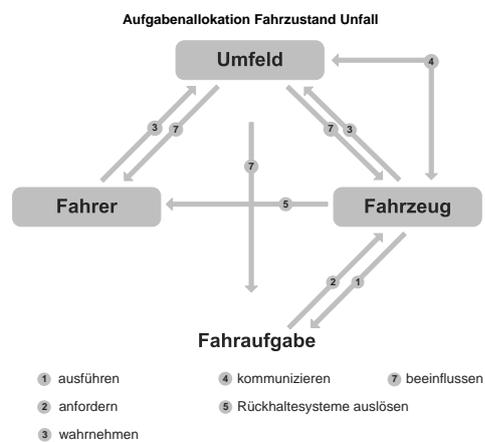


Abbildung 3.8: Aufgabenallokation bei Fahrzustand Unfall

Nach einem Unfall löst das Fahrzeug autonom Notruf- bzw. Hilfesysteme aus, indem es, wie in Abbildung 3.9 ersichtlich, durch Kommunikation einen Notruf absetzt. Die eigentliche Fahraufgabe, wie sie in Kapitel 3.2.2 definiert ist, findet in Fahrzuständen nach einem Unfall keine Anwendung.

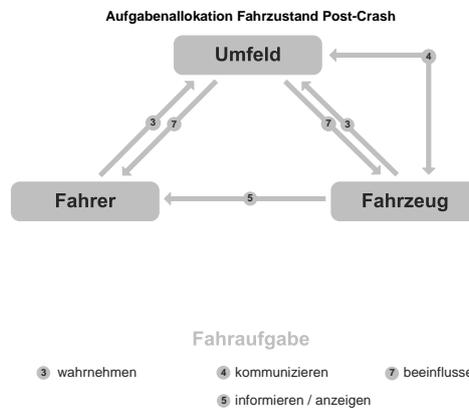


Abbildung 3.9: Aufgabenallokation bei Fahrzustand Post-Crash

Fazit

In diesem Kapitel ist das Potenzial zur Ausführung der Fahraufgaben durch den Fahrer und das Fahrzeug in verschiedenen Fahrzuständen aufgezeigt. In der Kraftfahrzeugführung muss das Fahrzeug den Fahrer an seinen physischen und psychischen Grenzen unterstützen, um somit das Ziel der Integralen Fahrzeugsicherheit, Unfälle zu vermeiden bzw. die Unfallschwere zu mindern, zu erreichen.

Die fahrzeuginitiierte Aufgabenübernahme darf ausschließlich in „Unfall unvermeidbar“ bzw. in „Unfall“ Situationen erfolgen. In kritischen Situationen unterstützt das Fahrzeugsystem den Fahrer, wobei der Fahrer aber stets die Kontrolle über die Fahrzeugführung hat. In normalen Fahrzuständen kann der Fahrer unliebsame Fahraufgaben dem Fahrzeug durch aktive Übergabe überlassen.

Somit wird stets die Kontrolle über die Kraftfahrzeugführung beim Fahrer belassen. Ausschließlich zur Verbesserung der Fahrsicherheit werden fahrzeuginitiierte Fahraufgaben ausgeführt.

Die aufgestellte Hypothese zur kontextadaptiven Fahraufgabenallokation in der Integralen Fahrzeugsicherheit wird in Kapitel 5 empirisch überprüft.

4 Fallstudie: Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation

Das Ziel der Fallstudie ist es, das fahrerzentrierte Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit anzuwenden (siehe Kapitel 3) und damit verbunden die Grundlagen für die Ableitung eines Leitfadens zur Anwendung des Modells für Kapitel 6 zu geben. Ebenso wird anhand der Fallstudie die Voraussetzung für die Fahrstudie in Kapitel 5 gelegt, da mit Hilfe beider Funktionen das fahrerzentrierte Modell empirisch untersucht werden soll.

Als Fallstudie werden zwei Funktionen der C2C und C2I Kommunikation ausgewählt. Zunächst werden für die Fallstudie spezifische Besonderheiten der kontextadaptiven Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug für die beiden Funktionen aufgezeigt. Danach werden Anforderungen an das technische Konzept gestellt und die Umsetzung und Implementierung der Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikations-Funktionen beschrieben.

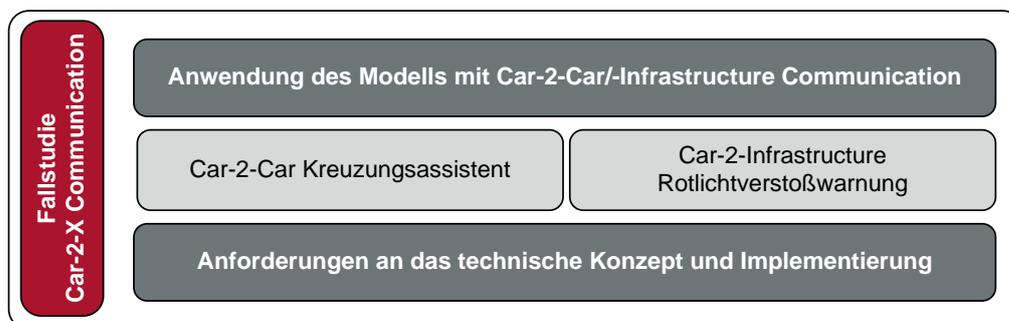


Abbildung 4.1: Aufbau des Kapitels

4.1 Fallstudienspezifische Fahraufgabenallokation

Im Folgenden werden die beiden Funktionen der C2C und C2I Kommunikation so spezifiziert, dass das Fahrzeug erst in kritischen Verkehrssituationen durch Warnung an den Fahrer und durch Unterstützung der Fahraufgabenausführung durch den Fahrer aktiv wird. Erst in unvermeidbaren Unfall-Situationen greift das Fahrzeug aktiv in die Fahraufgabe ein, in dem es das Bremssystem autonom auslöst, um eine Minimierung der Kollisionsgeschwindigkeit zu erreichen. Später, in der eigentlichen Kontaktphase mit dem Unfallgegner, werden Rückhaltesysteme ausgelöst, um Insassen bestmöglich vor der Kollision zu schützen. Der Fahrzustand Post-Crash kann für die nachfolgende Fallstudie der C2C und C2I Kommunikation vernachlässigt werden, da dieser nicht Gegenstand der Funktionalität ist.

4.2 Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistent

Der Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistent (KAS) ist als Beispiel für eine Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikations Funktion gewählt. Zunächst ist eine Motivation zur Auswahl dieser Funktion gegeben. Anschließend wird ausgehend von der Beschreibung der Funktion das in Kapitel 3.2 aufgestellte Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit angewendet. Es sind Anforderungen an das technische Konzept gestellt, die implementiert und ins Fahrzeug integriert sind.

4.2.1 Motivation

Aus Unfallanalysen ist ersichtlich, dass ca. zwei drittel aller Unfälle mit Personenschaden an Kreuzungen passieren (siehe Abbildung 4.2). Ca. 14 % der Unfälle ereignen sich dabei beim Abbiegen und ca. 26 % der Unfälle beim Einbiegen bzw. Kreuzen. [Kon08]

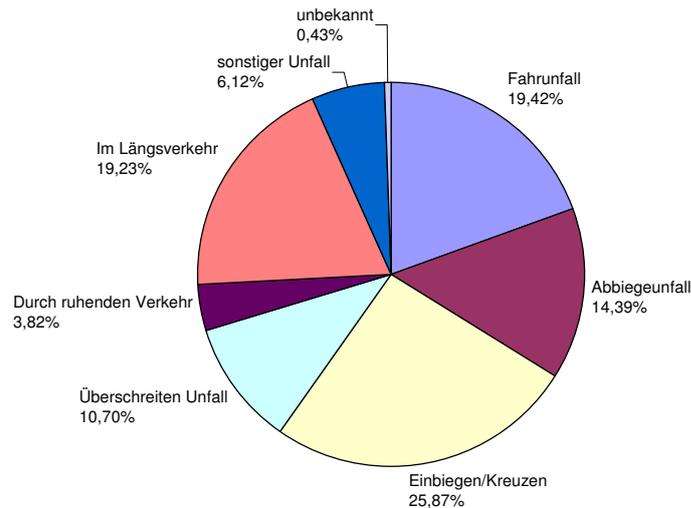


Abbildung 4.2: Unfallhäufigkeiten - Verteilung auf Unfallebene aus GIDAS [Kon08]

Im nationalen Förderprojekt Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland (simTD) ist das maximal anzunehmende Wirkfeld für einen Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistenten ausgewiesen. Demnach können 8,9 % aller Unfälle mit Personenschaden durch den Assistenten adressiert werden. Dies stellt ein hohes Potenzial zur Unfallvermeidung dar.

Unfälle mit Personenschaden mit Querverkehr



Abbildung 4.3: Wirkfeld Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistent [WMBK09]

4.2.2 Beschreibung der Funktion

Die Funktion warnt den Fahrer vor drohenden Kollisionen mit querendem Verkehr an Kreuzungen. Das Ego-Fahrzeug hat in diesen Verkehrssituationen keine Vorfahrtsberechtigung, Querverkehr muss demnach Vorfahrt gewährt werden. Reagiert der Fahrer nicht oder nicht angemessen auf die Warnung, werden autonome Aktionen in unfallunvermeidbaren Fahrsituationen bzw. Rückhaltesysteme in Unfallsituationen vom Fahrzeug ausgelöst. Mit diesen Maßnahmen soll erreicht werden, dass eine Kollision mit dem Querverkehr vermieden bzw. die Unfallschwere vermindert wird. Abbildung 4.4 zeigt die Funktion KAS als Schaubild.

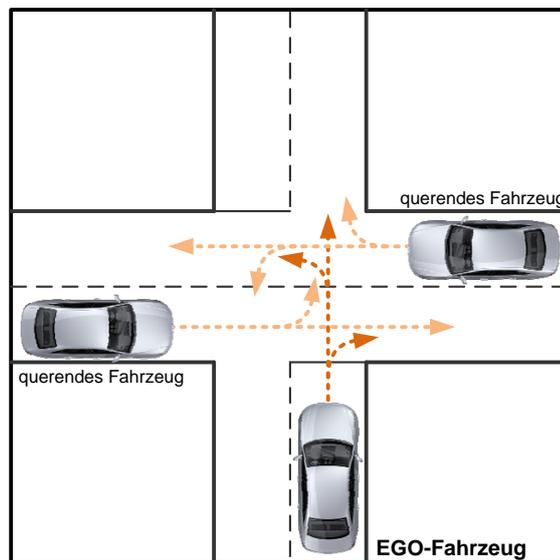


Abbildung 4.4: Schaubild Car-2-Car Kommunikation Kreuzungsassistent

4.2.3 Spezifikation der Modellkomponenten der Integralen Fahrzeugsicherheit

Zur Überführung der Beschreibung der Funktion KAS (siehe Kapitel 4.2.2) in ein technisches Konzept werden nun die einzelnen Modellkomponenten (siehe Kapitel 3) spezifiziert. Tabelle 4.1 zeigt die detaillierten Modellkomponenten und deren Variationen.

Spezifizierung		Spezifizierung der Modellkomponente
Modellkomponente		
Umfeld	Ego-Fahrzeug	PKW
	Akteure	querendes Fahrzeug
	Randbedingungen	Verkehrszeichen (Rechts-vor-Links, Vorfahrt-Achten, Stopp) Gebäude (Kreuzungsbebauung) Straßen (Kreuzung) Verkehrslage (frei, wenig, dicht, Stau)
	Komplexität	gering / mittel / stark
Fahrer	Alter	unter 21 / 21 - 59 / über 59
	Geschlecht	weiblich / männlich
	Fahrstil/Fahrertyp	sportlich / moderat / komfortabel
	Fahrleistung-erfahrung	wenig / mittel / viel
	Aufmerksamkeit	aufmerksam / nicht aufmerksam
	Beanspruchung	keine bis wenig / mittel / stark
Fahrzeugsystem	Sensorik	vorausschauende Wahrnehmung des Verkehrsszenarios
	Algorithmus	Bestimmung Fahrzustand ausgehend von Verkehrsszenario
	Aktorik	Display Lautsprecher Bremsystem Rückhaltesysteme
Fahraufgabe	Navigationsaufgabe	Navigieren
	Führungsaufgabe	Querführung / Längsführung
	Stabilisierungsaufgabe	Bremsen

Tabelle 4.1: Grobspezifikation der Modellkomponenten des Kreuzungsassistenten

Das Verkehrsszenario für den KAS beschreibt als Akteure querende Fahrzeuge (siehe Abbildung 4.4) an Kreuzungen. Das Ego-Fahrzeug ist in diesen Szenarien nicht vorfahrtsberechtigt, d.h. als Randbedingung ist gegeben, dass ein Vorfahrt-Achten oder ein Stopp-Schild bzw. die Rechts-vor-Links Regel für das Ego-Fahrzeug gilt. Weitere Randbedingungen sind Kreuzungstyp und Kreuzungsbebauung. Der Kreuzungstyp kann die Ausprägung T-Kreuzung oder X-Kreuzung mit unterschiedlicher Anzahl an Spuren aufweisen. Die Variation der Kreuzungsbebauung reicht von freier Kreuzung ohne Randbebauung bis hin zu Bebauung dicht an die Kreuzung heran. Dies hat zur Folge, dass die Kreuzung für den Fahrer gut oder sehr schwer einsehbar ist. Durch unterschiedliche Ausprägung der Randbedingungen kann die Komplexität des Verkehrsszenarios von gering bis stark variieren.

Die Spezifizierung des Fahrers hat ebenfalls Einfluss auf die Auslegung des technischen Konzepts. Die Untermerkmale Alter, Geschlecht, Fahrstil/Fahrertyp,

Fahrleistung/-erfahrung, Aufmerksamkeit und Beanspruchung des Fahrers können alle Ausprägungen annehmen, wie sie in Kapitel 3.2.3 klassifiziert sind.

Das Fahrzeugsystem ist durch Sensorik, Algorithmus und Aktorik beschrieben (siehe Kapitel 3.2.4). Das Hauptziel der Sensorik ist durch die vorausschauende Wahrnehmung des beschriebenen Verkehrsszenarios bestimmt. Aus diesem Ziel lassen sich in folgendem Kapitel 4.2.4 Anforderungen an das technische Konzept ableiten. Der KAS Algorithmus soll ausgehend vom beschriebenen Verkehrsszenario den Fahrzustand des Ego-Fahrzeuges bestimmen können und diesen an den Entscheider zur Aktorikauslösung weitergeben. Die ausgelöste Aktorik des Fahrzeugsystems ist abhängig vom jeweiligen Fahrzustand und der damit verbundenen Aufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug (siehe Kapitel 3.3). Grundsätzlich soll für die Warnung der visuelle, auditive und haptische Sinneskanal des Fahrers angesprochen werden (Display, Lautsprecher, Bremssystem für Bremsruck). Weiterhin sind für die Aktorik des KAS das Bremssystem für autonome Auslösung durch das Fahrzeug in Situationen, in denen ein Unfall mit querenden Fahrzeugen unvermeidbar ist, vorgesehen. Für Unfallsituationen sind Rückhaltesysteme im Ego-Fahrzeug spezifiziert.

Die Fahraufgabe ist für die Navigations-, Führungs- und Stabilisierungsebene spezifiziert, wobei die Fahraufgabenallokation allgemeingültig in Kapitel 3.3 beschrieben ist.

4.2.4 Anforderungen an das technische Konzept

Um der spezifizierten Modellkomponente Fahrzeugsystem (siehe Kapitel 4.2.3) für den KAS gerecht zu werden, ergeben sich Anforderungen an das technische Konzept. Die Anforderungen werden aus den Aufgaben der Komponenten des Fahrzeuges abgeleitet (siehe Tabelle 4.1). So hat zum Beispiel der Sensor im Fahrzeug die Aufgabe der vorausschauenden Wahrnehmung des Verkehrsszenarios. Das entsprechende Verkehrsszenario ist ebenfalls in Kapitel 4.2.3 spezifiziert. Im Folgenden werden Anforderungen an den Sensor, den Algorithmus und die Aktorik gestellt.

Anforderungen an den Sensor

In dieser Fallstudie findet der Kommunikationssensor Anwendung (siehe Kapitel 2.2.6). Bestimmend für den KAS ist die Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation zur Detektion des querenden Fremdfahrzeuges. Tabelle 4.2 stellt die wesentlichen Anforderungen an den Kommunikationssensor für den Anwendungsfall KAS zusammen (siehe Kapitel 4.2.3).

Anforderungen an Kommunikationssensor	
Kommunikationsart	Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation optional Infrastruktur-zu-Fahrzeug Kommunikation
Kommunikationsreichweite	250 m (8 s vor Kreuzung und max. Geschwindigkeit 110 km/h)
Sende-/Empfangsfrequenz	minimale Anforderung 10 Hz, maximale Anforderung 25 Hz
Latenzzeit	minimale Anforderung 100 ms, maximale Anforderung 40 ms
Botschaften/Signale	Positions-, Fahrdynamik- und statische Fremd-Fzg.-Daten

Tabelle 4.2: KAS Anforderungen an den Kommunikationssensor

Weiterhin werden für den Anwendungsfall Sensoren für Eigendaten des Ego-Fahrzeuges benötigt. Im Einzelnen wird auf die Funktionsweise der Sensoren in dieser Arbeit nicht eingegangen. Vom Ego-Fahrzeug werden für den KAS ebenfalls Positionsdaten, dynamische- und statische Fahrzeug-Daten benötigt.

Anforderungen an den Algorithmus

Die Anforderungen an den KAS Algorithmus sind in Tabelle 4.3 zusammengefasst dargestellt. Um dem Ziel (siehe Kapitel 4.2.3) gerecht zu werden, muss der Algorithmus neben der Erkennung einer bevorstehenden Kollision mit querenden Fahrzeugen und damit verbunden einer Fahrzustandsermittlung die Randbedingungen des Verkehrsszenarios (Kreuzungszufahrt und Vorfahrtsregelung) sowie die Fahrerreaktion erkennen.

	Anforderungen an den Algorithmus
Einsatzort	innerorts, außerorts
Geschwindigkeitsbereich	0 bis 110 km/h
Szenarien	Ego-Fzg. fährt geradeaus, biegt links oder rechts ab. Fremd-Fzg. quert von rechts oder links.
Akteure	Fahrzeuge (z.B. PKW, LKW, Motorrad)
Erkennung Fahrerreaktion	Anhalteintention Abbiegeintention
Erkennung Randbedingung	Kreuzungszufahrt Vorfahrtsregelung
Fahrzustand	normal, kritisch, Unfall unvermeidbar, Unfall

Tabelle 4.3: KAS Anforderungen an den Algorithmus

Anforderungen an die Aktorik

Die Warn-Aktorik muss visuell, auditiv und haptisch ausgelegt sein, um die in Abbildung 4.5 dargestellten Warnstufen 1 und 2 realisieren zu können. Weiterhin muss das Fahrzeugsystem befähigt sein, in Unfall unvermeidbaren Situationen autonome Bremsenriffe durchführen zu können. In Unfallsituationen sollen Rückhaltesysteme ausgelöst werden. Abbildung 4.5 zeigt den gesamten zeitlich, logischen Aktionsablauf des KAS.

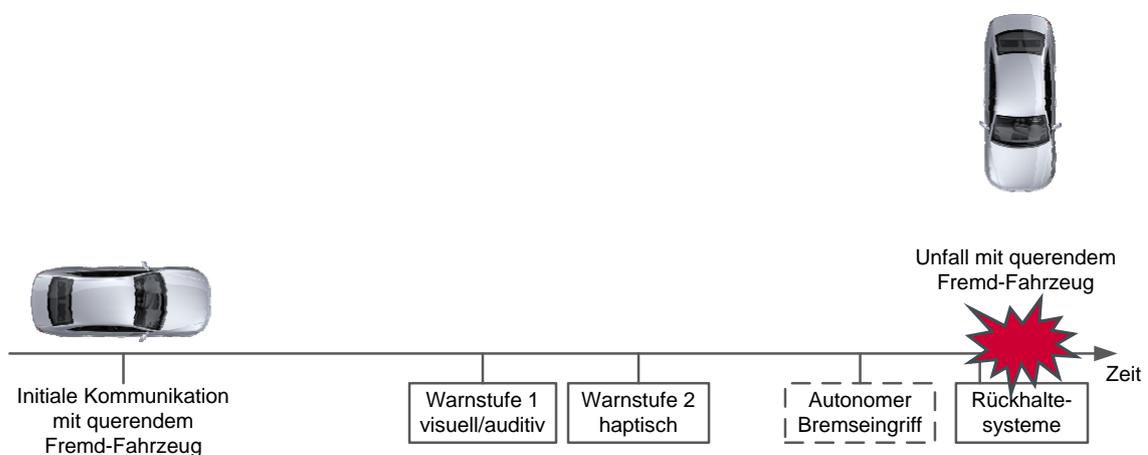


Abbildung 4.5: KAS Anforderungen an die Aktorik

4.2.5 Umsetzung und Implementierung

Abbildung 4.6 zeigt das Blockschaltbild des KAS. Zunächst werden im Folgenden Eingangsdaten definiert, die Komponenten *Time to Collision* (TTC) und *Time to Avoidance* (TTA) erläutert, und anschließend wird das Aktionskonzept dargestellt.

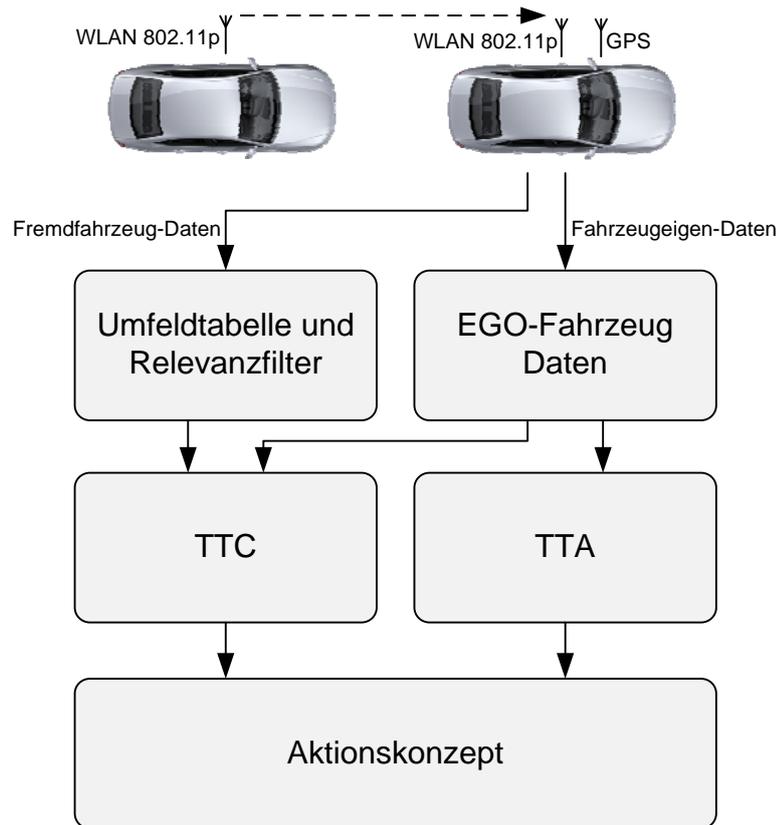


Abbildung 4.6: Blockschaltbild Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistent

Eingangsdaten

Die Eingangsdaten für den KAS setzen sich zusammen aus den Ego-Fahrzeugdaten, die vom Fahrzeugbus abgegriffen werden, und den Daten der Fremdfahrzeuge (Nachrichtentyp „*Cooperative Awareness Message*“ und optional Infrastruktur-Daten „*IntersectionGeometry*“ [HNM⁺09]), die aus der Luftschnittstelle im Ego-Fahrzeug empfangen werden. Die Fremdfahrzeug-Daten werden im Fahrzeug in der sogenannten Umfeldtabelle gespeichert und zentral bereitgestellt. Empfangene Daten werden in der Umfeldtabelle nach zeitlichen Gültigkeitsparametern gehalten und automatisch

entfernt. Der Relevanzfilter wird auf in der Umfeldtabelle abgelegte Nachrichten angewendet. Er ermöglicht die Filterung von Nachrichten zum einen bezüglich ihrer Attribute und zum anderen bezüglich bestimmter vordefinierter Filterfunktionen, um einen effizienten Datenzugriff auf Nachrichteninhalte zu realisieren.

Time to Collision (TTC)

Die *Time to Collision* (TTC) definiert die Zeit bis zu einer möglichen Kollision mit einem querendem Fahrzeug. Aus der TTC lässt sich durch Hinzunahme der Intention des Fahrers zum Vorfahrtgewähren berechnen, ob die Gefahr besteht, dass es zu einem Unfall mit querenden Fahrzeugen kommt. Zunächst wird die Größe *Time to Intersection* (TTX) eingeführt. Sie definiert die Zeit, bis ein Fahrzeug an einem bestimmten Punkt der Kreuzung ankommt. Es gibt eine Zeit bis zum Eintrittspunkt des Fahrzeuges in die Kreuzung (TTX_{ego_ein}) und eine Zeit bis das Fahrzeug aus dem Kreuzungsbereich ausgetreten ist (TTX_{ego_aus}). Bei den Zeitpunkten werden die Fahrzeugabmaße berücksichtigt. Die Zeitpunkte lassen sich aus einer gleichförmigen Bewegung des Ego-Fahrzeuges berechnen. Für beide Zeitpunkte des Ego-Fahrzeuges lassen sich folgende Gleichungen aufstellen:

$$TTX_{ego_ein} = \frac{d_{ego_ein}}{v_{ego}}$$

$$TTX_{ego_aus} = \frac{d_{ego_aus}}{v_{ego}}$$

Die Distanz bis zum Kreuzungseintritt des Ego-Fahrzeuges wird als d_{ego_ein} bezeichnet, entsprechend ist d_{ego_aus} die Distanz bis zum Kreuzungsausritt des Ego-Fahrzeuges. Die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges geht mit v_{ego} in die Gleichung ein. Für das querende Fremd-Fahrzeug sind die Gleichungen dementsprechend definiert.

$$TTX_{fremd_ein} = \frac{d_{fremd_ein}}{v_{fremd}}$$

$$TTC_{fremd_aus} = \frac{d_{fremd_aus}}{v_{fremd}}$$

Im Folgenden wird die TTC eingeführt - zunächst als Zwischengrößen TTC_{ein} und TTC_{aus} . Die Zwischengröße TTC_{ein} definiert die Zeit bis zu einer möglichen Kollision mit querenden Fremd-Fahrzeugen auf Basis der Eintrittszeiten des Ego- und des Fremd-Fahrzeuges TTC_{ego_ein} und TTC_{fremd_ein} in den Kreuzungsbereich. Dabei wird aus beiden Eintrittszeiten der größere ausgewählt und um den Schwellwert α vermindert. Die Zwischengröße TTC_{aus} definiert dementsprechend die Zeit bis zu einer möglichen Kollision mit querenden Fremd-Fahrzeugen auf Basis der Austrittszeiten des Ego- und Fremd-Fahrzeuges TTC_{ego_aus} und TTC_{fremd_aus} aus den Kreuzungsbereich. Dabei wird aus beiden Austrittszeiten die kleinere ausgewählt und um den Schwellwert β erhöht. α und β sind eingeführte Schwellwerte, die in Abhängigkeit der Positionsgenauigkeit zur Minderung bzw. Erhöhung der Ein- bzw. Austrittszeiten der Fahrzeuge aus dem Kreuzungsbereich angepasst werden können.

$$TTC_{ein} = \max(TTC_{ego_ein}, TTC_{fremd_ein}) - \alpha$$

$$TTC_{aus} = \min(TTC_{ego_aus}, TTC_{fremd_aus}) + \beta$$

Aus den gegebenen TTC Zwischengrößen lässt sich die TTC für den KAS nach

$$TTC = \begin{cases} TTC_{ein} & ; \text{für } TTC_{ein} \leq TTC_{aus} \\ \infty & ; \text{für } TTC_{ein} > TTC_{aus} \end{cases}$$

ableiten. Dabei wird für die TTC der Wert der TTC_{ein} gesetzt, wenn die TTC_{ein} kleiner gleich der TTC_{aus} ist. Ist dies nicht der Fall wird die TTC auf den Wert unendlich gesetzt.

Time to Avoidance (TTA)

Damit der Fahrer entsprechend der Warnung ausreichend Zeit hat, angemessen auf die Warnung zu reagieren und einen unfallvermeidenden Bremsvorgang einzuleiten, muss an dieser Stelle die *Time to Avoidance* (TTA) eingeführt werden.

$$TTA = t_{VGZ} + \frac{v}{\varepsilon \cdot \mu \cdot g}$$

Die TTA setzt sich aus Verlustgrundzeit zuzüglich Blickzuwendungszeit t_{VGZ} (siehe Kapitel 2.2.1) und aus einem konstanten Verzögerungsvorgang zusammen. Dabei ist μ die Haftreibungszahl des Reifen-Fahrbahnkontaktes und ε der Wichtungsfaktor zur Angabe des Maßes der Bremsung ($\varepsilon \leq 1$).

Für die Verlustgrundzeit zuzüglich Blickzuwendungszeit wird nach [Bur85], wie in Abbildung 2.8 dargestellt, der Wert 1,34 s angenommen.

Aktionskonzept

Das Aktionskonzept ist zweistufig-multimodal ausgelegt (siehe Abbildung 4.5). Die Auslösebedingung der Aktorik des KAS ergibt sich durch den Vergleich von TTC und TTA:

$$\gamma > TTC - TTA$$

Der Schwellwert γ wird an dieser Stelle eingeführt, um zwei Warnstufen realisieren zu können. Optional lassen sich damit auch weitere Warnstufen bzw. Schwellen zur Aktorikauslösung implementieren. Für den KAS ist in der ersten Warnstufe eine visuelle Anzeige im Kombidisplay und eine auditive Ausgabe eines Warngongs umgesetzt. Die zweite Warnstufe bildet eine Akutwarnung ab, bei der dem Fahrer neben der visuellen Anzeige im Kombidisplay ein Bremsruck dargeboten wird.

4.3 Car-to-Infrastructure Kommunikation

Rotlichtverstoß-Warnung

Die Funktion Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung (RLV) ist als Beispiel für eine infrastrukturbasierte Kommunikationsfunktion gewählt, da Lichtsignalanlagen Infrastrukturelemente sind, die eine hohe Dynamik und Veränderbarkeit von Verkehrssituationen aufweisen. Auch hier wird eine Motivation ausgehend von Unfallanalysen zur Auswahl der Funktion gegeben. Die Funktion wird beschrieben und nach Anwendung des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit werden technische Anforderungen abgeleitet, implementiert und ins Fahrzeug integriert.

4.3.1 Motivation

2008 führte der Auto Club Europa eine bundesweit angelegte Studie zum Regelverhalten von Verkehrsteilnehmern an Stoppschildern und Lichtsignalanlagen durch. An 882 Kreuzungen in 210 Städten, Gemeinden und Kreisen Deutschlands wurde das Regelverhalten nach einem einheitlichem Schema aufgezeichnet und anschließend bewertet. Tabelle 4.4 zeigt die Ergebnisse dieser Studie für die Überfahrten an Lichtsignalanlagen. Insgesamt wurden während der Studie 2,61 % Rotlichtverstöße begangen. [Eur09]

Betrachtet man nun die Unfallanalyse aus simTD, ist zu erkennen, dass die Funktion RLV ein maximal adressierbares Wirkfeld von 2,2 % an Unfällen mit Personenschaden in Folge eines Rotlichtverstoßes aufweist. [WMBK09]

	Radfahrer	Motorräder	PKW	LKW	Bus und LKW mit Anhänger	gesamt
bei grün	8.868	5.696	191.388	15.256	10.844	232.052
in Prozent	80,83%	89,25%	92,76%	88,13%	91,16%	91,76%
bei gelb	474	494	11.029	1.501	737	14.235
in Prozent	4,32%	7,74%	5,34%	8,67%	6,20%	5,63%
bei rot	1.629	192	3.916	553	314	6.604
in Prozent	14,85%	3,01%	1,90%	3,20%	2,64%	2,61%
gesamt	10.971	6.382	206.333	17.310	11.895	252.891

Tabelle 4.4: Lichtsignalüberfahrten ACE-Studie [Eur09]

Unfälle mit Personenschaden durch Missachtung Lichtsignal „Rot“



Abbildung 4.7: Wirkfeld Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung [WMBK09]

4.3.2 Beschreibung der Funktion

Die Funktion warnt den Fahrer in kritischen Fahrsituationen durch visuelle, auditive und haptische Reize vor bevorstehenden Rotlichtverstößen an Lichtsignalanlagen. Reagiert der Fahrer nicht auf die vom Fahrzeug ausgeführte Warnung, leitet das Fahrzeug in Situationen, die als Folge der Rotlichtmissachtung einen Unfall provozieren, autonom eine Bremsung ein. Somit können Unfälle in Folge eines Verstoßes verhindert bzw. deren Schwere vermindert werden. Als zweiten zusätzlichen Mehrwert für den Fahrer kann eine Reduzierung von Ordnungswidrigkeiten ausgewiesen werden. Der Fahrer wird allerdings nur in Situationen gewarnt, in denen die Lichtsignalanlage (LSA) bei Überfahrt der Haltelinie mindestens eine Sekunde das Signal rot gezeigt hat. Damit kann ausgeschlossen werden, dass der Fahrer bevormundet und somit genervt wird. Abbildung 4.8 zeigt die Funktion RLV als Schaubild.

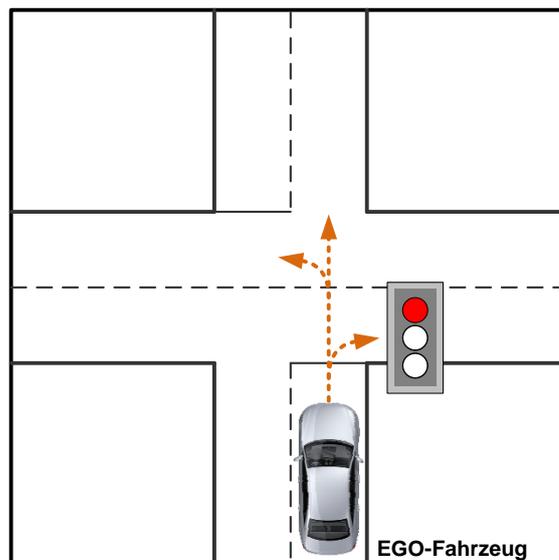


Abbildung 4.8: Schaubild Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung

4.3.3 Spezifikation der Modellkomponenten der Integralen Fahrzeugsicherheit

Auch die Funktion RLV (siehe Kapitel 4.3.2) wird nun zur Ableitung eines technischen Konzeptes in ihren einzelnen Modellkomponenten (siehe Kapitel 3) spezifi-

ziert. Tabelle 4.5 zeigt die spezifizierten Modellkomponenten und deren Merkmale mit verschiedenen Ausprägungen.

Spezifizierung		Spezifizierung der Modellkomponente
Modellkomponente		
Umfeld	Ego-Fahrzeug	PKW
	Akteure	Lichtsignalanlage (Zustand rot)
	Randbedingungen	Lichtsignalanlage (Zustand grün, gelb, rot/gelb) Straßen (Kreuzung) Verkehrslage (frei, wenig, dicht, Stau)
	Komplexität	gering / mittel / stark
Fahrer	Alter	unter 21 / 21 - 59 / über 59
	Geschlecht	weiblich / männlich
	Fahrstil/Fahrertyp	sportlich / moderat / komfortabel
	Fahrleistung/-erfahrung	wenig / mittel / viel
	Aufmerksamkeit	aufmerksam / nicht aufmerksam
	Beanspruchung	keine bis wenig / mittel / stark
Fahrzeugsystem	Sensorik	vorausschauende Wahrnehmung des Verkehrsszenarios
	Algorithmus	Bestimmung Fahrzustand ausgehend von Verkehrsszenario
	Aktorik	Display Lautsprecher Bremsystem Rückhaltesysteme
Fahraufgabe	Navigationsaufgabe	Navigieren
	Führungsaufgabe	Querführung / Längsführung
	Stabilisierungsaufgabe	Bremsen

Tabelle 4.5: Grobspezifikation der Modellkomponenten der Rotlichtverstoß-Warnung

Das Verkehrsszenario wird durch den Akteur Lichtsignalanlage definiert. Lichtsignalanlagen können verschiedene Zustände annehmen (grün, gelb, rot/gelb und rot), wobei der Zustand rot bei einer prognostizierten Überfahrt des Ego-Fahrzeugs entscheidend für den RLV ist. Die Komplexität des Szenarios steigt mit zunehmender Komplexität der Kreuzung (T-Kreuzung, X-Kreuzung, Anzahl der Spuren) und mit zunehmender Verkehrsdichte an der LSA-gesteuerten Kreuzung. Die Komplexität des Verkehrsszenarios kann von gering bis stark variieren.

Die Spezifikation der Modellkomponente Fahrer entspricht der des KAS, da beide Funktionen in erster Linie vor kritischen Akteuren eines Verkehrsszenarios warnen (siehe Kapitel 4.1). Die Fahrermerkmale (siehe Kapitel 3.2.3) können alle Ausprägungen annehmen.

Das Hauptziel der Sensorik des Fahrzeugsystems ist die vorausschauende Wahrnehmung des Verkehrsszenarios. Aus diesem Ziel lassen sich in folgendem Kapitel 4.3.4 Anforderungen an das technische Konzept ableiten. Der RLV Algorithmus soll ausgehend vom beschriebenen Verkehrsszenario den Fahrzustand des Ego-Fahrzeuges bestimmen können und diesen an den Entscheider zur Aktorikauslösung weitergeben. Die ausgelöste Aktorik des Fahrzeugsystems ist abhängig vom jeweiligen Fahrzustand und der damit verbundenen Aufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug (siehe Kapitel 3.3). Grundsätzlich soll für die Warnung der visuelle, auditive und haptische Sinneskanal des Fahrers angesprochen werden (Display, Lautsprecher, Bremssystem für Bremsruck). Weiterhin sind für die Aktorik des RLV das Bremssystem für autonome Auslösung durch das Fahrzeug in Situationen, in denen ein Rotlichtverstoß unvermeidbar ist, vorgesehen und für Unfallsituationen, die aus einem Rotlichtverstoß resultieren, sind Rückhaltesysteme im Ego-Fahrzeug spezifiziert.

Die Fahraufgabe ist für die Navigations-, Führungs- und Stabilisierungsebene spezifiziert, wobei die Fahraufgabenallokation allgemeingültig in Kapitel 3.3 beschrieben ist.

4.3.4 Anforderungen an das technische Konzept

Um der spezifizierten Modellkomponente Fahrzeugsystem (siehe Kapitel 4.3.3) für den RLV gerecht zu werden, ergeben sich Anforderungen an das technische Konzept. Diese werden aus den spezifizierten Aufgaben der einzelnen Komponenten des Fahrzeugs aus Tabelle 4.5 abgeleitet. Im Folgenden werden Anforderungen an den Sensor, den Algorithmus und die Aktorik gestellt.

Anforderungen an den Sensor

Für den Anwendungsfall RLV sind ebenfalls Anforderungen an einen Kommunikationssensor zu definieren (siehe Kapitel 2.2.6). Bestimmend für den RLV ist die

Infrastruktur-zu-Fahrzeug Kommunikation. Die Infrastruktur ist in diesem Anwendungsfall durch Lichtsignalanlagen beschrieben. Ausgehend vom laufenden Förderprojekt simTD werden verschiedene Nachrichtentypen und deren Inhalte, die von der Infrastruktur versendet werden, als gegeben angesehen. Lichtsignalanlagen versenden demnach sogenannte „*SignalStateData*“ und „*IntersectionGeometry*“ Nachrichten [HNM⁺09]. Tabelle 4.6 zeigt die Anforderungen an den Kommunikationssensor zusammengefasst.

	Anforderungen an Kommunikationssensor
Kommunikationsart	Infrastruktur-zu-Fahrzeug Kommunikation
Kommunikationsreichweite	150 m (6 s vor LSA-Kreuzung und max. Geschwindigkeit 85 km/h)
Sende-/Empfangsfrequenz	minimale Anforderung 2 Hz, maximale Anforderung 10 Hz
Latenzzeit	minimale Anforderung 500 ms, maximale Anforderung 100 ms
Botschaften/Signale	Inhalte des Nachrichtentyps <i>SignalStateData</i> und <i>IntersectionGeometry</i>

Tabelle 4.6: RLV Anforderungen an den Kommunikationssensor

Weiterhin werden für den Anwendungsfall Sensoren für Eigendaten des Ego-Fahrzeuges benötigt. Im Einzelnen wird auf die Funktionsweise der Sensoren in dieser Arbeit nicht eingegangen. Vom Ego-Fahrzeug werden für den RLV ebenfalls Positionsdaten, dynamische- und statische Fahrzeug-Daten benötigt.

Anforderungen an den Algorithmus

Die Anforderungen an den RLV Algorithmus sind in Tabelle 4.7 zusammengefasst dargestellt. Um dem Ziel (siehe Kapitel 4.3.3) gerecht zu werden, muss der Algorithmus neben der Erkennung eines bevorstehenden Rotlichtverstoßes und damit verbunden einer Fahrzustandsermittlung die Randbedingungen des Verkehrsszenarios (LSA-gesteuerte Kreuzungszufahrt, LSA Status und prognostizierte Schaltzeiten der LSA) sowie die Fahrerreaktion erkennen.

	Anforderungen an den Algorithmus
Einsatzort	innerorts, außerorts
Geschwindigkeitsbereich	20 bis 85 km/h
Szenarien	Ego-Fzg. fährt auf LSA-gesteuerte Kreuzung und will links oder rechts abbiegen oder geradeaus fahren, Ampel ist rot.
Akteure	LSA (Zustand ROT)
Erkennung Fahrerreaktion	Anhalteintention Abbiegeintention
Erkennung Randbedingung	LSA-gesteuerte Kreuzungszufahrt LSA Status und prognostizierte Schaltzeiten
Fahrzustand	normal, kritisch, Unfall unvermeidbar, Unfall

Tabelle 4.7: RLV Anforderungen an den Algorithmus

Anforderungen an die Aktorik

Die Warn-Aktorik muss visuell, auditiv und haptisch ausgelegt sein, um die in Abbildung 4.9 dargestellten Warnstufen 1 und 2 realisieren zu können. Weiterhin muss das Fahrzeugsystem befähigt sein, in Unfall unvermeidbaren Situationen, die durch bevorstehende Unfälle in Folge eines Rotlichtverstoßes bestimmt sind, autonome Bremsenriffe durchführen zu können. In Unfallsituationen sollen Rückhaltesysteme ausgelöst werden. Abbildung 4.9 zeigt den gesamten zeitlich, logischen Aktionsablauf des RLV.

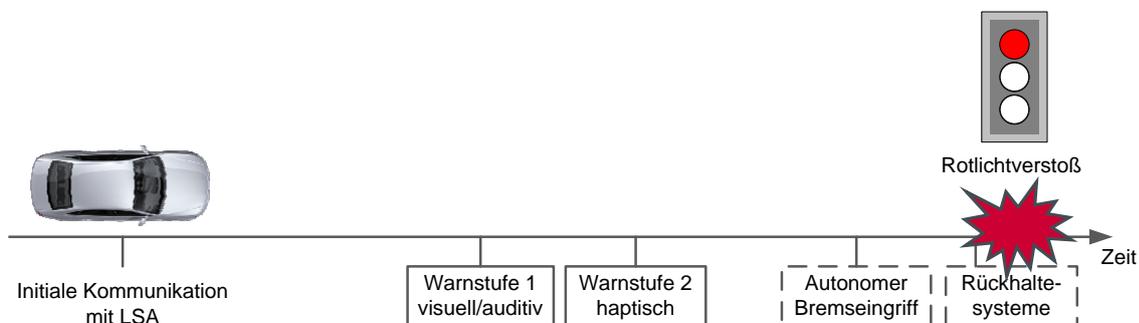


Abbildung 4.9: RLV Anforderungen an die Aktorik

4.3.5 Umsetzung und Implementierung

Abbildung 4.10 zeigt das Blockschaltbild des RLV. Auch hier werden zunächst Eingangsdaten beschrieben, die Komponenten *Time to StopLine* (TTSL) und *Time to Avoidance* (TTA) definiert und anschließend wird das Aktionskonzept dargestellt.

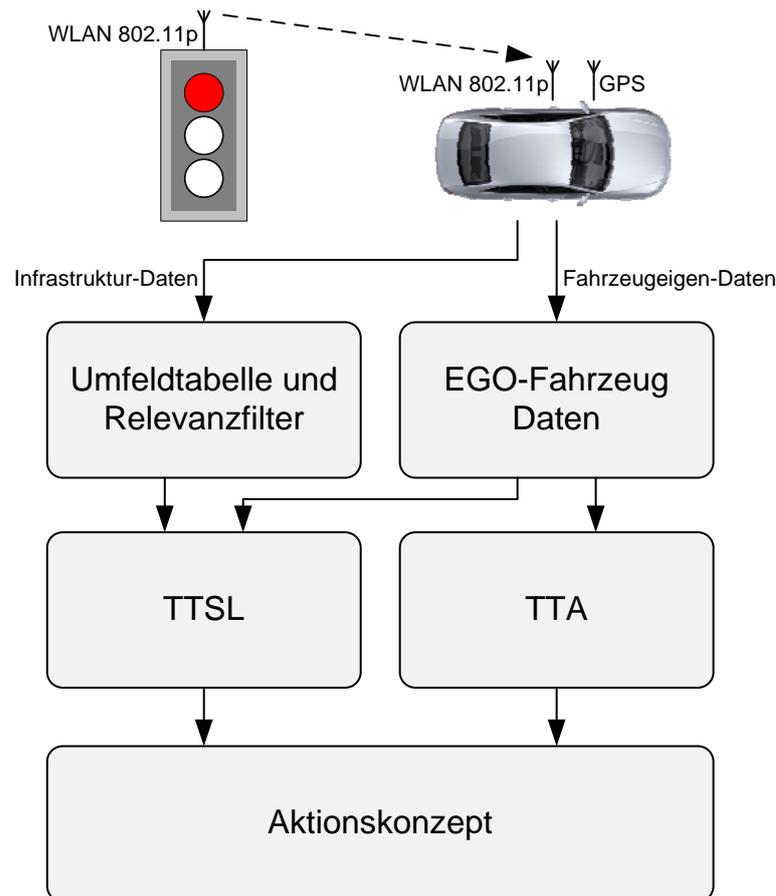


Abbildung 4.10: Blockschaltbild Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung

Eingangsdaten

Die Eingangsdaten für den RLV setzen sich zusammen aus den Ego-Fahrzeugdaten, die vom Fahrzeugbus abgegriffen werden, und den Daten der LSA (Nachrichtentyp „*SignalStateData*“ und „*IntersectionGeometry*“ [HNM⁺09]), die aus der Luftschnittstelle im Ego-Fahrzeug empfangen werden. Die Infrastruktur-Daten werden im Fahrzeug, wie in Kapitel 4.2.5 beschrieben, in der Umfheldtabelle gespeichert und zentral

bereitgestellt. Auch hier können Relevanzfilter auf in der Umfeldtabelle abgelegte Nachrichten angewendet werden.

Time to StopLine (TTSL)

Die *Time to StopLine* (TTSL) definiert die Zeit, die das Ego-Fahrzeug benötigt, bis es an der Haltelinie der Lichtsiganlage angekommen ist. Sie ist ein Teil der Berechnung eines möglichen Rotlichtverstoßes durch den Fahrer. Aus der TTSL lässt sich zusätzlich mit der Berechnung der Intentionen des Fahrers der mögliche Rotlichtverstoß ableiten. Die TTSL lässt sich durch eine vereinfacht dargestellte gleichmäßig konstante Weiterbewegung des Fahrzeuges mit aktuellen Parametern berechnen:

$$TTSL = \frac{d_{ego_SL}}{v_{ego}}$$

Die Distanz zur Haltelinie (d_{ego_SL}) wird mit Hilfe von Stützpunkten an der relevanten Kreuzung berechnet. Die Stützpunkte sind u.a. für Anfahrten an Kreuzungen beschrieben. Sie werden als Inhalt in dem Nachrichtentyp „*IntersectionGeometry*“ codiert, welches von der LSA ausgesendet wird. v_{ego} gibt die aktuelle Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges an.

Time to Avoidance (TTA)

Die TTA berechnet sich beim Anwendungsfall RLV gemäß der TTA Berechnung des KAS, da mit der TTA die Zeit angegeben wird, die unter Berücksichtigung der Reaktionszeiten des Fahrers noch bleibt, um einen Rotlichverstoß vollständig zu verhindern.

$$TTA = t_{VGZ} + \frac{v}{\varepsilon \cdot h \cdot g}$$

Entsprechende Ausführungen sind Kapitel 4.2.5 zu entnehmen.

Aktionskonzept

Wenn prognostiziert ist, dass bei Überfahrt der Haltelinie der relevanten LSA das Signal rot gilt, werden weitere Schritte zur Umsetzung des Aktionskonzeptes eingeleitet. Das Aktionskonzept des RLV (siehe Abbildung 4.9) ist analog des Aktionskonzeptes des KAS.

$$\gamma > TTSL - TTA$$

Sie unterscheiden sich lediglich in dem Inhalt der dargestellten visuellen Information im Kombidisplay. Ausführungen zum Aktionskonzept sind demnach Kapitel 4.2.5 zu entnehmen.

5 Empirische Studie des fahrerzentrierten Modells

In diesem Kapitel wird das in Kapitel 3 beschriebene fahrerzentrierte Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit und in Kapitel 4 anhand der Fallstudie C2C und C2I Kommunikation angewendete Modell abgeprüft. Ziel der Studie ist dabei anhand einer Fahrsimulation die kontextadaptive Fahraufgabenallokation, welche den Kern dieser Arbeit darstellt, empirisch zu untersuchen. Weiterhin soll das mit Hilfe der Fallstudie angewendete Modell auf seine Wirkung und Nutzerakzeptanz überprüft werden. Ableitend wird das Modell auf seine Gültigkeit verifiziert.

Es wird zunächst das Konzept der empirischen Studie beschrieben, in dem Hypothesen aufgestellt und operationalisiert, die Datenerhebung und das Testdesign geplant und die Methoden zur Auswertung abgeleitet werden. Anschließend wird die Durchführung der empirischen Studie dargestellt. Dazu werden Stichprobe und Ablauf der Fahrsimulatorstudie erläutert. Abschließend wird eine Auswertung und Bewertung der aufgestellten Hypothesen vorgenommen. Abschließend wird das Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit verifiziert.

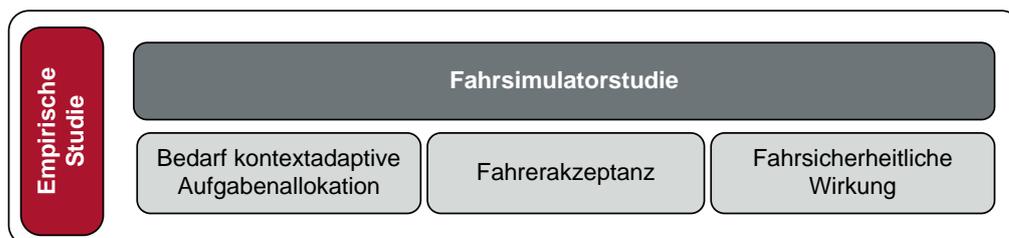


Abbildung 5.1: Aufbau des Kapitels

5.1 Konzept der empirischen Studie

Zunächst werden die zu untersuchenden Hypothesen aufgestellt und die Variablen zur Auswertung der Hypothesen operationalisiert. Anschließend erfolgt die Planung der Datenerhebung, die Aufstellung des Testdesigns und die Ableitung der Methoden zur Hypothesenprüfung.

5.1.1 Aufstellung der Hypothesen und Operationalisierung

Das Hauptziel der Integralen Fahrzeugsicherheit ist die Vermeidung von Unfällen bzw. die Minderung der Unfallschwere um Insassen und weitere Verkehrsteilnehmer bestmöglich zu schützen (siehe Kapitel 1). Aus diesem Grund werden zunehmend Systeme der Fahrerassistenz, der passiven und der aktiven Fahrzeugsicherheit entwickelt. Diese können nur entwickelt werden, da das Fahrzeug durch autarke Sensoren die Möglichkeit hat, das Umfeld selbstständig wahrzunehmen, zu interpretieren und somit Fahraufgaben auszuführen. Dieser Sachverhalt stellte die Grundlagen für die Hauptforschungsfrage nach einem Modell zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit, welches den Kern der kontextadaptiven Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug enthalten soll. Die Fahraufgabenallokation ist dabei abhängig von den verschiedenen Fahrzuständen, in denen sich das Modell Fahrer-Fahrzeug-Umfeld befinden kann. Dieses Modell wurde nach erfolgter Recherche zum Stand der Forschung (siehe Kapitel 2) in Kapitel 3 aufgestellt. Anhand einer Fallstudie der Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation wurde das Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit angewendet (siehe Kapitel 4).

Um den Kern des Modells im Kontext der Integralen Fahrzeugsicherheit empirisch zu überprüfen, werden nun Hypothesen aufgestellt, die den folgenden Dimensionen entsprechen:

- Kontextadaptive Fahraufgabenallokation
- Systemwirkung
- Fahrer

Der Kern dieser Arbeit ist die aus dem Modell zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit abgeleiteten kontextadaptiven Fahraufgabenallokation (siehe Kapitel 3.3). Da das Modell den Fahrer in den Mittelpunkt rückt, indem der Fahrer in normalen und kritischen Fahrzuständen Fahraufgaben selbsttätig bzw. durch ihn getriggert ausführt, wird die fahrzustandabhängige Fahraufgabenallokation mit dem Bedarf des Fahrers in einer empirischen Studie überprüft.

Desweiteren wird auf Grund der Zielsetzung der Integralen Fahrzeugsicherheit, Unfälle zu vermeiden bzw. Unfallfolgen zu mindern, die Systemwirkung der in der Fallstudie implementierten Funktionen KAS und RLV überprüft (siehe Kapitel 4). Es soll analysiert werden, inwieweit die Funktionen der Fallstudie zu einer Verbesserung der Fahrzeugsicherheit zum Schutz der Insassen führt.

Der dritte zu prüfende Aspekt betrifft den Fahrer als wesentlichen Bestandteil des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit. Es soll überprüft werden, wie stark die Nutzerakzeptanz der in der Fallstudie aufgestellten Funktionen KAS und RLV ist. Daraus können Rückschlüsse auf die Gestaltung von Systemen der Integralen Fahrzeugsicherheit gezogen werden.

In Tabelle 5.1 sind die zu prüfenden Hypothesen im Überblick dargestellt.

Nr.	Kurzfassung	Hypothese
H.01	kontextabhängiger Bedarf der Fahraufgabenallokation	Je kritischer der Fahrzustand ist, in dem sich ein Fahrer befindet, desto höher ist der Bedarf beim Fahrer, dass das Fahrzeug Aufgaben selbsttätig/autonom initiiert.
H.02a	Nutzerakzeptanz des Car-2-Car Kommunikation Kreuzungsassistenten (KAS)	Wenn der KAS vom Probanden erlebt wurde, kann eine positivere Nutzerakzeptanz des Systems nachgewiesen werden gegenüber einem Probanden, der den KAS nicht erlebt hat.
H.02b	Nutzerakzeptanz der Car-2-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung (RLV)	Wenn der RLV vom Probanden erlebt wurde, kann eine positivere Nutzerakzeptanz des Systems nachgewiesen werden gegenüber einem Probanden, der den RLV nicht erlebt hat.
H.03a	Fahrsicherheitliche Wirkung des Car-2-Car Kommunikation Kreuzungsassistenten (KAS)	Wenn der KAS aktiviert ist, kann eine positive fahrsicherheitliche Wirkung gegenüber nichtaktivem System nachgewiesen werden.
H.03b	Fahrsicherheitliche Wirkung der Car-2-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung (RLV)	Wenn der RLV aktiviert ist, kann eine positive fahrsicherheitliche Wirkung gegenüber nichtaktivem System nachgewiesen werden.

Tabelle 5.1: Übersicht der zu prüfenden Hypothesen

Im Folgenden werden die Hypothesen einzeln erläutert und operationalisiert.

Hypothese H.01 Kontextabhängiger Fahraufgabenallokationsbedarf

Die vom Fahrer gewünschte Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug ist kontextabhängig vom Fahrzustand (siehe Kapitel 3.3). Dies bedeutet, dass der Fahrer in den verschiedenen Fahrzuständen einen unterschiedlichen wahrgenommenen Bedarf an der Fahraufgabenteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug hat. Tabelle 3.7 und Abbildung 3.5 bis 3.8 (siehe Kapitel 3.3) zeigen die verschiedenen Zustände der kontextabhängigen Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug.

Zunächst wird vom Fahrer eine subjektive Einschätzung der gefahrenen Situation bezüglich des Fahrzustandes erfasst (siehe Anhang). Parallel dazu wird der Fahrzustand mit Hilfe der Zeit bis zum Eintritt in eine Konfliktzone (TTC bzw. TTSL) gemessen. Beide Größen werden abgeglichen und bewertet. Der Fahrzustand kann dabei die Größen normal, kritisch, Unfall unvermeidbar, Unfall und Post-Crash annehmen. Ausgehend vom Fahrzustand wird der damit verbundene kontextabhängige Bedarf der Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug sowohl quantitativ als auch qualitativ erfragt (siehe Anhang). Die Bewertungen des Probanden erfolgen jeweils in fünfstufigen Ratingskalen (Endstufen „trifft nicht zu“ bzw. „gar nicht gut“ bis „trifft zu“ bzw. „sehr gut“).

Hypothese H.02a und H.02b Nutzerakzeptanz

Die Daten zur Überprüfung der Nutzerakzeptanz der Car-2-X Systeme werden mittels Fragebogen erhoben. Dazu füllen die Versuchsteilnehmer im Anschluss der Fahrsimulatorstudie bzw. die Kontrollgruppe ohne Fahrsimulatorstudie einen Fragebogen mit 12 Einschätzungen zu vier Kategorien der Akzeptanz aus. Die Aussagen betreffen die Kategorien Kontrolle, Störung, Sicherheit und Spaß, die zu einer Gesamtakzeptanz des Systems führen. Kontrolle bedeutet im Nutzerakzeptanzkontext, ob sich der Fahrer durch ein System kontrolliert fühlt, was sich bei positiver Beantwortung negativ auf die Nutzerakzeptanz auswirken kann. Mit Störung wird u.a. die Ablenkung eines Systems, bzw. ob sich ein Fahrer genervt fühlt, beschrieben. Störung wirkt sich bei positiver Beantwortung ebenfalls negativ auf die Nutzerakzeptanz

aus. Die beiden Kategorien Spaß und Sicherheit, die ein Fahrer durch Nutzung eines Systems erfahren kann, wirken sich bei positiver Beantwortung auch positiv auf die Gesamtnutzerakzeptanz aus.

Nr.	Durch die Nutzung des Systems würde ich...	Kategorie
1	... mich sicherer fühlen.	Sicherheit
2	... sicherer fahren.	Sicherheit
3	... noch lieber Auto fahren.	Spaß
4	... mich in meiner persönlichen Freiheit eingeschränkt fühlen.	Kontrolle
5	... verantwortungsvoller fahren.	Sicherheit
6	... durch die Warnung/Anzeige genervt werden.	Störung
7	... bei der Anwesenheit von Mitfahrern peinlich berührt sein.	Störung
8	... mehr Spaß am Fahren haben.	Spaß
9	... mich kontrolliert fühlen.	Kontrolle
10	... durch die Warnung abgelenkt werden.	Störung
11	... mich bevormundet fühlen.	Kontrolle
12	... das Fahren unterhaltsamer finden.	Spaß

Tabelle 5.2: Items des Akzeptanzfragebogens nach [Fri09]

Tabelle 5.2 zeigt die 12 Items des Akzeptanzfragebogens, die jeweils mit einer fünf-stufigen Ratingskala (Endstufen „trifft nicht zu“ bis „trifft zu“) bewertet werden (siehe Anhang).

Hypothese H.03a und H.03b Fahrsicherheitliche Wirkung

Die fahrsicherheitliche Wirkung der Car-2-X Systeme lässt sich über einen geänderten Verlauf des Fahrerverhaltens bei Annäherung an eine Konfliktzone bzw. Konfliktsituation bestimmen. Sie setzt sich demnach zusammen aus der Fahrerreaktion (Betätigung Brems- und Gaspedal) und dem gemessenen Fahrzustandsverlauf (TTC bzw. TTSL). Eine Konfliktzone bzw. -situation beschreibt das räumliche und zeitliche Areal eines kritischen Bereiches.

Überblick der Messgrößen bei Annäherung an eine Konfliktzone/-situation:

- Verlauf der Position des Ego- und Fremdfahrzeuges
- Verlauf der Beschleunigung bei Annäherung an eine Konfliktzone in Meter pro Quadratsekunde
- Verlauf der Geschwindigkeit bei Annäherung an eine Konfliktzone in Meter pro Sekunde
- Verlauf des Fahrzustandes operationalisiert über die Zeit bis zu dem Eintritt in die Konfliktzone in Sekunden
- Verlauf der Bremspedalstellung
- Verlauf der Gaspedalstellung

Aus den gegebenen Messgrößen lässt sich zum einen der Fahrzustand und zum anderen die Fahrerreaktion vor einem Unfall mit querendem Verkehr bzw. vor einem Rotlichtverstoß ableiten.

5.1.2 Testdesign und Planung der Datenerhebung

Für eine kontrollierte Datenerhebung ist die experimentelle Felduntersuchung bezüglich der internen und externen Validität die überlegenste Kombination [BD06]. Zunächst wird für diese empirische Untersuchung allerdings die experimentelle Laboruntersuchung gewählt, da die Untersuchungen planmäßig durchgeführt werden müssen, eine Wiederholbarkeit der Versuchsfälle gegeben sein muss und die Untersuchungsbedingungen kontrolliert variierbar sein müssen. Zudem sollen Fahrzustände von „normal“ bis „Unfall“ erzeugt werden, die in einem Feldversuch aus ethischen und sicherheitskritischen Gründen nicht umsetzbar sind. Die Umsetzung der Versuchsfälle erfolgt im Fahrsimulator der Audi AG.

Für die Überprüfung der Hypothese zur kontextadaptiven Fahraufgabenallokation werden die Probanden entlang der Teststrecke in die Fahrzustände „normal“, „kritisch“, „Unfall unvermeidbar“ und „Unfall“ gebracht. Dies kann erreicht werden, indem der Proband einen menschlichen Fehler (siehe Kapitel 2.2.4) bei der

Kraftfahrzeugführung begeht. Für den Anwendungsfall KAS wird dies durch die Fehlhandlungskategorie „Objektives Fehlen von Informationen“ erreicht. Dazu wird in dem Simulationsszenario die Kreuzung mit Sichtverdeckung durch Häuser modelliert. Für den Anwendungsfall RLV wird die Fehlhandlungskategorie „fehlende Nutzung von Informationen“ nachgestellt, indem der Fahrer durch Aufforderung zur Ausführung einer tertiären Fahraufgabe (Navigation bedienen) abgelenkt wird und er dadurch seine Aufmerksamkeit auf das eigentliche Verkehrsszenario verliert. Dabei werden dem Fahrer verschiedene Unterstützungsformen durch das Fahrzeug dargeboten:

- Fahrzustand normal: Geschwindigkeitshinweise im Kombidisplay zur Überquerung einer Ampel bei grün
- Fahrzustand kritisch: visuelle und auditive Warnung (KAS und RLV)
- Fahrzustand Unfall unvermeidbar: keine, da statischer Simulator
- Fahrzustand Unfall: keine, da statischer Simulator

Im Anschluss an jeden vom Probanden erlebten Fahrzustand wird der Proband nach seinem Bedarf an Fahraufgabenallokation und nach alternativen Unterstützungsformen durch das Fahrzeug befragt. Insgesamt wird der Versuchsteilnehmer während einer Simulatorfahrt mehrmals in die verschiedenen Fahrzustände gebracht.

Zur Untersuchung der Nutzerakzeptanz der in der Fallstudie beschriebenen C2C und C2I Funktionen wird der Proband im Anschluss der Simulatorfahrt nach oben angegebenen Items befragt.

Die fahrsicherheitliche Wirkung des KAS und des RLV wird anhand von Messgrößen der Simulatorsoftware bestimmt. Dazu werden dem Probanden pro Funktion (KAS, RLV) jeweils zwei Szenarien mit aktivem System und zwei Szenarien ohne System dargeboten.

Für die Datenerhebung im Fahrsimulator sind zwei Versuchsfälle mit unterschiedlichen Variationen geplant. Das Template zur Spezifikation der Versuchsfälle umfasst neben der Bezeichnung des Versuchsfalls und der dazugehörigen Funktion auch eine Kurzbeschreibung, die variierbaren Szenarienmerkmale (Funktionsaktivität, Verkehrszustand, Fahreraufmerksamkeit, Fahrzustand, Kreuzung), die zu erhebenden

Messgrößen und die abzurückenden Hypothesen. Tabelle 5.3 zeigt den Versuchsfall für den KAS und Tabelle 5.4 den Versuchsfall für den RLV.

		Beschreibung und Merkmalsausprägungen			
Bezeichnung		Reaktionsverhalten bei drohender Kollision mit Querverkehr und Sichtbehinderung			
Funktion		Kreuzungsassistent (KAS)			
Kurzbeschreibung Versuchsfall		1. Fahrzeug fährt auf Kreuzung mit Sichtbehinderung zu. 2. Querendes Fahrzeug von rechts fährt auf gleiche Kreuzung zu. 3. Warnung / keine Warnung			
Funktionsaktivität		Funktion aktiv		Funktion nicht aktiv	
Verkehrszustand		frei - querendes Fahrzeug			
Fahreraufmerksamkeit / Blickzuwendung				Fahrer nicht abgelenkt	
Fahrzustand		normal	kritisch	Unfall unvermeidbar	Unfall
Kreuzung	Vorfahrtsregelung	Rechts-vor-Links			
	sonstiges	Sichtbehinderung			
Messgrößen		Variable Bedarf Fahraufgabenallokation (H.01) Variable Nutzerakzeptanz (H.02a und H.02b) Variable Position, Beschleunigung, Fahrzustand_gemessen, Geschwindigkeit, Brems- und Gaspedalstellung (H.03a und H.03b)			
Zu prüfende Hypothesen		alle			

Tabelle 5.3: Versuchsfall mit Merkmalsausprägungen für KAS

Der Versuchsfall KAS provoziert eine Kollision mit Querverkehr, indem der Fahrer zum einen fälschlicherweise angewiesen ist, auf der Hauptstraße 50 km/h zu fahren. Der Proband vermutet also, dass er Vorfahrt hat, wobei die Rechts-vor-Links Regel für die Versuchsfall-Kreuzung gilt. Zum anderen ist die Kreuzung dicht bebaut, so dass die Versuchsperson nur eine sehr eingeschränkte Einsicht in die Versuchsfall-Kreuzung hat. Je Proband wird der Versuchsfall zweimal mit Warnung und zweimal ohne Warnung vor dem Querverkehr abgeprüft.

Der Versuchsfall des RLV führt einen drohenden Rotlichtverstoß des Fahrers herbei, in dem der Fahrer auf eine grüne LSA zufährt und ihm dann eine ablenkende tertiäre Fahraufgabe gegeben wird, während dessen die LSA auf rot umschaltet. Dadurch wird erreicht dass die Aufmerksamkeit von der primären Fahraufgabe abgelenkt wird und ein Rotlichtverstoß bevorsteht. Der Proband hat während des gesamten Versuchsfalls uneingeschränkte Sicht auf die LSA. Der Versuchsfall wird ebenfalls je Teilnehmer zweimal mit Warnung und zweimal ohne Warnung vor einem möglichen Rotlichtverstoß durchgeführt.

		Beschreibung und Merkmalsausprägungen			
Bezeichnung		Reaktionsverhalten bei drohendem Verstoß gegen Rotlicht an Lichtsignalanlagen bei abgelenktem Fahrer			
Funktion		Rotlichtverstoß-Warnung (RLV)			
Kurzbeschreibung Versuchsfall		1. Fahrzeug nähert sich einer signalisierten Kreuzung, LSA GRÜN, sichtbar 2. Proband erhält eine Aufgabe / wird abgelenkt, LSA schaltet auf ROT 3. Warnungen Keine Warnungen			
Funktionsaktivität		Funktion aktiv		Funktion nicht aktiv	
Verkehrszustand		frei			
Fahreraufmerksamkeit / Blickzuwendung		Fahrer abgelenkt			
Fahrzustand		normal	kritisch	Unfall unvermeidbar	Unfall
Kreuzung	Vorfahrtsregelung				LSA
	sonstiges			keine Sichtbehinderung	
Messgrößen		Variable Bedarf Fahraufgabenallokation (H.01) Variable Nutzerakzeptanz (H.02a und H.02b) Variable Position, Beschleunigung, Fahrzustand_gemessen, Geschwindigkeit, Brems- und Gaspedalstellung (H.03a und H.03b)			
Zu prüfende Hypothesen		alle			

Tabelle 5.4: Versuchsfall mit Merkmalsausprägungen für RLV

5.1.3 Methoden zur Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgt für die drei Hypothesen unterschiedlich, da es sich um verschiedene Hypothesenarten handelt. Die Wahl der Methode des statistischen Verfahrens zur Hypothesenprüfung hängt davon ab, welche Hypothesenart vorliegt und welche Skala die Merkmale der Hypothesen aufweisen. Für jede Hypothese werden folgende Punkte erläutert:

- Art der Hypothese
- Statistisches Verfahren zur Hypothesenprüfung
- Signifikanzniveau
- Stichprobenumfang
- Teststärke

Bei allen Hypothesenprüfungen wird von einem Signifikanzniveau von 5 % und einer Teststärke von 80 % ausgegangen. Aus dem Signifikanzniveau, der Teststärke und der erwarteten Effektgröße lässt sich demnach der optimale Stichprobenumfang festlegen [BD06]. Demnach werden ca. 50 Probanden für die Fahrsimulatorstudie ausgewählt.

Hypothese H.01 Kontextabhängiger Fahraufgabenallokationsbedarf

Bei der Hypothese H.01 handelt es sich um eine bivariate, gerichtete Zusammenhangshypothese, da der Zusammenhang zwischen dem Merkmal Fahrzustand und dem Merkmal Bedarf an Fahraufgabenallokation untersucht werden soll. Der Korrelationskoeffizient einer Zusammenhangshypothese quantifiziert die Enge des Zusammenhangs. Da es sich bei den beiden Merkmalen um nominalskalierte Merkmale handelt, wird der Kontingenzkoeffizient zur statistischen Hypothesenprüfung herangezogen. Dieser wird mit einem Chi-Quadrat Test auf dessen Bedeutsamkeit überprüft. Ist die Voraussetzung für den Chi-Quadrat Test nicht gegeben, dass alle Erwartungswerte der Kreuztabelle mindestens den Wert fünf annehmen (genügend große Stichprobe), wird der exakte Freeman-Halton Test angewendet.

Kontextabhängiger Bedarf Fahraufgabenallokation	
Art der Hypothese	Zusammenhangshypothese
statistisches Verfahren	Abhängigkeit zweier nominalskalierter Variablen: Chi-Quadrat Test (bzw. Freeman-Halton Test)
Signifikanzniveau	5%
Stichprobenumfang	ca. 50 Probanden
Teststärke	80% (optimale Stichprobenumfänge, 1-beta=Teststärke)

Tabelle 5.5: Methoden zur Auswertung der Hypothese H.01

Hypothese H.02 Nutzerakzeptanz und H.03 Fahrsicherheitliche Wirkung

Bei den vier Hypothesen handelt es sich um einfache Effekthypothesen, da die Maßnahme „System aktivieren“ einen Einfluss auf die abhängige Variable „Nutzerakzeptanz“ bzw. „fahrsicherheitliche Wirkung“ hat. Die Effekte werden mit einer Un-

terschiedshypothese überprüft. Dazu werden Probanden die Versuchsfälle mit aktiviertem System und ohne System durchlaufen. Zur Überprüfung der Forschungshypothesen wird für die kardinalskalierten Merkmale ein t-Test für unabhängige Variablen und für die nominalskalierten Häufigkeitsmerkmale ein Chi-Quadrat Test (bzw. Freeman-Halton Test) durchgeführt. Ist für den t-Test für unabhängige Variablen die Voraussetzung nicht erfüllt, dass die Merkmalsverteilung der abhängigen Variable normalverteilt ist (Überprüfung mittels Kolmogorov-Smirnov Test), wird der Mann Whitney U-Test angewendet.

Nutzerakzeptanz und fahrsicherheitliche Wirkung	
Art der Hypothese	Unterschiedshypothese (Gruppe ohne System; Gruppe mit System)
statistisches Verfahren	Unterschied kardinalskalierten Merkmale: t-Test für unabhängige Variablen (bzw. Mann Whitney U-Test) Unterschied nominalskalierten Merkmale: Chi-Quadrat Test (bzw. Freeman-Halton Test)
Signifikanzniveau	5%
Stichprobenumfang	ca. 50 Probanden
Teststärke	80% (optimale Stichprobenumfänge, 1-beta=Teststärke)

Tabelle 5.6: Methoden zur Auswertung der Hypothesen H.02 und H.03

5.2 Durchführung der empirischen Untersuchung

In diesem Kapitel werden zunächst die Stichprobe und anschließend der Ablauf der Fahrsimulatorstudie beschrieben.

5.2.1 Stichprobe

Die Aufteilung der Probanden erfolgt in vier Gruppen. Alle Probanden durchlaufen neben dem KAS und dem RLV eine weitere Fahrerassistenzfunktion (FAS). Diese FAS wird den Versuchsteilnehmern auch als Untersuchungsgrund genannt, um einen Überraschungseffekt für die Versuchsfälle des KAS und RLV zu provozieren. Jeder Proband durchläuft den Versuchsfall KAS und RLV jeweils zweimal mit und ohne Warnung („KAS 1“ bis „KAS 4“ und „RLV 1“ bis „RLV 4“). Um Gewöhnungseffekte

und andere Störgrößen auszuschließen [BD06], sind die Gruppen jeweils nach dem Merkmal „System aktiv“, „System nicht aktiv“ randomisiert. Tabelle 5.7 zeigt die Aufteilung der Probanden in vier Gruppen, das randomisierte Merkmal Systemaktivität und die Anzahl der Probanden je Gruppe.

	Gruppe 1 (12 Probanden)	Gruppe 2 (12 Probanden)	Gruppe 3 (12 Probanden)	Gruppe 4 (12 Probanden)
KAS 1	Warnung	keine Warnung	Warnung	keine Warnung
KAS 2	Warnung	Warnung	keine Warnung	Warnung
KAS 3	keine Warnung	keine Warnung	Warnung	Warnung
KAS 4	keine Warnung	Warnung	keine Warnung	keine Warnung
RLV 1	Warnung	keine Warnung	Warnung	keine Warnung
RLV 2	keine Warnung	Warnung	keine Warnung	Warnung
RLV 3	Warnung	keine Warnung	keine Warnung	Warnung
RLV 4	keine Warnung	Warnung	Warnung	keine Warnung

Tabelle 5.7: Randomisierung der Systemaktivität in den Probandengruppen

Die Stichprobe setzt sich aus 7 weiblichen und 41 männlichen Probanden zusammen. Das Durchschnittsalter beträgt 31 Jahre. Im Schnitt haben die Probanden 13 Jahre Fahrerfahrung und eine Fahrleistung von 21.000 Kilometer pro Jahr. Durchschnittlich weisen die Versuchsteilnehmer eine hohe Technikaffinität auf, wobei die Kaufbereitschaft der Technik weniger hoch ausfällt. Die Zusammensetzung der Stichprobe entspricht damit den Anforderungen aus Kapitel 3.2.3 Klassifizierung des Fahrers.

5.2.2 Ablauf der Fahrsimulatorversuche

Je Proband ist eine Untersuchungsdauer von einer Stunde angesetzt. Zunächst erhält der Proband eine Einführung in das Erprobungsziel und in den Fahrsimulator. Anschließend durchlaufen alle Probanden nach einer kurzen Einfahrzeit je nach Gruppe die unterschiedlichen Versuchsfälle zu den einzelnen Systemen.

	Ablauf	Dauer	Ort
1.	Begrüßung	10 min	Fahrsimulator
2.	Erprobungsziel erläutern		
3.	Einfahren (Kreuzungen mit und ohne Ampeln)		
4.	Versuchsfall RLV 1, anschließend Fragebogen (wenn System aktiv)	30 min	
5.	Versuchsfall KAS 1, anschließend Fragebogen (wenn System aktiv)		
6.	Versuchsfall RLV 2, anschließend Fragebogen (wenn System aktiv)		
7.	Versuchsfall RLV 3, anschließend Fragebogen (wenn System aktiv)		
8.	Versuchsfall KAS 2, anschließend Fragebogen (wenn System aktiv)		
9.	Versuchsfall KAS 3, anschließend Fragebogen (wenn System aktiv)		
10.	Versuchsfall RLV 4, anschließend Fragebogen (wenn System aktiv)		
11.	Versuchsfall KAS 4, anschließend Fragebogen (wenn System aktiv)		
12.	Abschlussfragebogen	15 min	

Tabelle 5.8: Durchführung der empirischen Untersuchung im Fahrsimulator

Die Fragebögen für die Hypothese H.01 „kontextadaptiver Bedarf Fahraufgabenallokation“ werden während der Simulatorfahrt direkt nach den Versuchsfällen ausgefüllt, dafür stellt der Versuchsleiter aus einem abgetrennten Regieraum Fragen (siehe Anhang). Die Probanden werden dafür in die Fahrzustände „normal“, „kritisch“, „Unfall unvermeidbar“ und „Unfall“ gebracht. Für den normalen Fahrzustand wird im Anschluss an die Versuchsfälle der zusätzlichen Fahrerassistenzfunktion der Fragebogen befüllt.

Für die Hypothese H.02 erfolgt die Ausfüllung der Fragebögen im Anschluss an die Simulatorfahrt in einem abgetrennten Raum (siehe Anhang). Tabelle 5.8 zeigt den detaillierten Zeitplan je Versuchsteilnehmer.

5.3 Auswertung und Bewertung der empirischen Untersuchung

In folgenden Abschnitten wird die Fahrsimulatorstudie hinsichtlich der aufgestellten Hypothesen (siehe Kapitel 5.1.1) ausgewertet und bewertet.

5.3.1 Auswertung H.01 kontextabhängiger Bedarf der Fahraufgabenallokation

Zunächst wurde der vom Fahrer wahrgenommene Fahrzustand abgefragt und mit dem vom System tatsächlich ermittelten Fahrzustand verglichen. Abbildung 5.2 zeigt die Gegenüberstellung der subjektiven Selbsteinschätzung und der objektiven Bewertung der Situation durch das System.

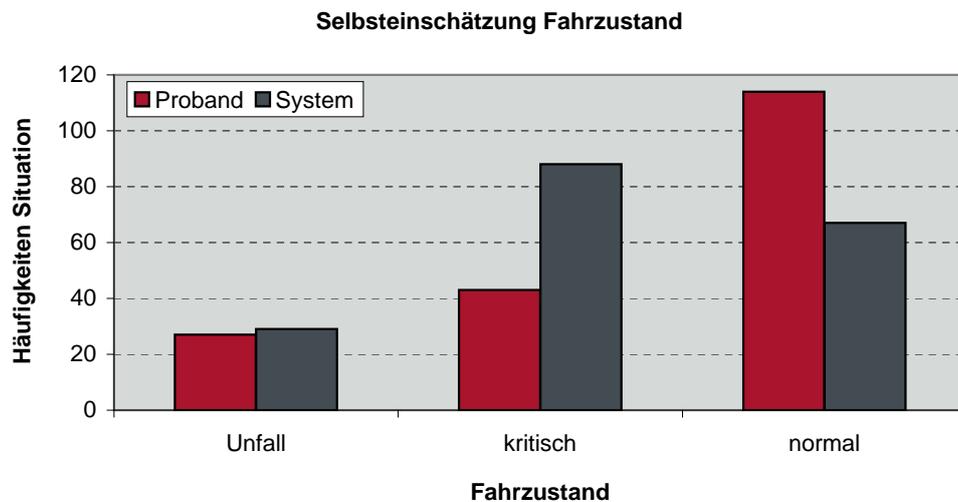


Abbildung 5.2: Selbsteinschätzung des Fahrzustandes durch Probanden

Es wird deutlich, dass es einen ersichtlichen Unterschied bei der Fahrzustandsbewertung des kritischen und des normalen Fahrzustandes zwischen Proband und System gibt. 48 Situationen sind von Probanden als normal eingeschätzt worden, obwohl diese einen kritischen Fahrzustand darstellten. Dies lässt sich auf das subjektive Empfinden des Probanden zurück schließen, da die Situationen bei den Versuchsfällen des RLV bereits eindeutig ohne Sichtverdeckung durch die Probanden ersichtlich waren. Eine Situation wurde von einem Probanden als kritisch eingeschätzt, bei der

das System die Situation als normal bewertet hat. Auch hier kann ein unterschiedlich subjektives Empfinden des Probanden beeinflussend sein. Des weiteren gab es Beeinflussungen aus den physischen Gegebenheiten des Fahrsimulators. Fünf Situationen sind demnach von Probanden als kritisch eingeschätzt worden, wobei bei diesen ein Unfall passierte und drei Situationen sind von Probanden als Unfall bewertet worden, bei denen ein kritischer Fahrzustand gegeben war.

Insgesamt sind 368 Fälle verarbeitet und ausgewertet worden. Es wird ein Chi-Quadrat Test nach Pearson zur Überprüfung der Signifikanz angewendet (siehe Anhang). Nach dem Chi-Quadrat Test kann angenommen werden, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen der subjektiven Selbsteinschätzung durch den Fahrer und der objektiven Bewertung der Situationen durch das System gibt. Dies kann zum einen auf die physiologischen Randbedingungen des Fahrsimulators und durch unterschiedlich subjektives Empfinden der Probanden begründet werden.

Hypothese H.01 (siehe Kapitel 5.1.1) soll den kontextabhängigen Bedarf der Fahraufgabenallokation ermitteln. Dazu sind Probanden in verschiedene Fahrzustände gebracht und im Anschluss des Szenarios im Fahrsimulator befragt worden. In den Abbildungen 5.3 und 5.4 ist der kontextabhängige Bedarf der Fahraufgabenallokation dargestellt.

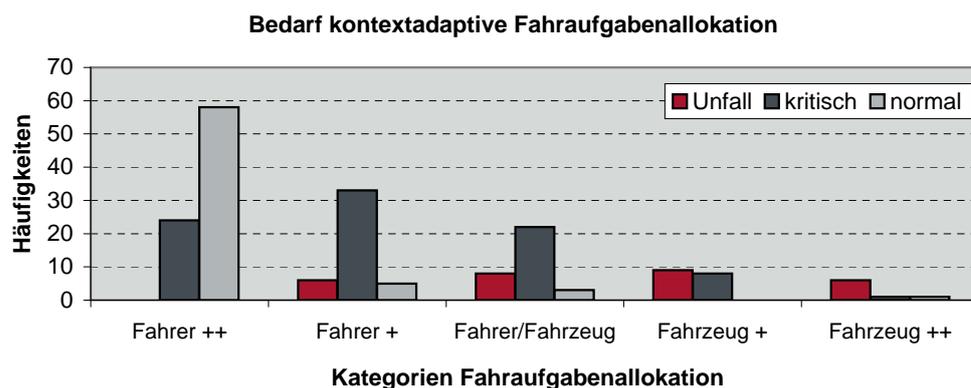


Abbildung 5.3: Bedarf kontextadaptiver Fahraufgabenallokation (absolute Häufigkeiten)

Es ist ersichtlich, dass in normalen Fahrzuständen der Fahrer die Aufgabe der Fahrzeugführung übernehmen soll. In kritischen Fahrzuständen ist die vom Fahrer gewünschte Aufgabenallokation weiter auf die Kategorien (Fahrer ++, Fahrer +, Fahrer/Fahrzeug und Fahrzeug +) verteilt. Es wird deutlich, dass der Fahrer in die-

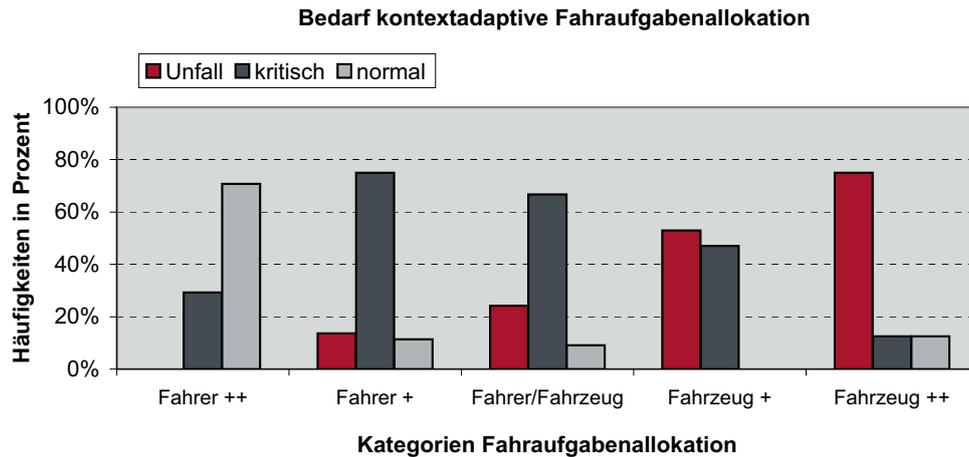


Abbildung 5.4: Bedarf kontextadaptiver Fahraufgabenallokation (relative Häufigkeiten in Prozent)

sen Situationen durchaus eine Unterstützung vom Fahrzeug fordert und akzeptiert. In Situationen bei denen ein Unfall passiert ist, verlangt der Proband merklich die Fahraufgabenausführung durch das Fahrzeug. Die statistische Auswertung mittels Chi-Quadrat Test ergibt einen signifikanten Unterschied der vom Fahrer gewünschten Fahraufgabenallokation in den verschiedenen Fahrzuständen ($p = 9,5 * 10^{-7}$). Entsprechende Kreuztabellen und Auswertungen können dem Anhang entnommen werden.

Fazit

Die Hypothese H.01 kann auf Grund der Fahrsimulatorstudie bestätigt werden. Der kontextabhängige Bedarf der Fahraufgabenallokation im Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit (siehe Kapitel 3.2.6) spiegelt den Bedarf der Probanden wider. Auch ist von den Probanden der Bedarf an Unterstützung bzw. Übernahme von Fahraufgaben durch das Fahrzeug in normalen Fahrzuständen genannt worden, die allerdings erst nach ausdrücklicher Übernahmeaufforderung durch den Fahrer an das Fahrzeug gewünscht ist.

5.3.2 Auswertung H.02 Nutzerakzeptanz

Die Auswertung der Hypothese H.02 (siehe Kapitel 5.1.1) erfolgt jeweils für den KAS und den RLV. Es werden die Kategorien Sicherheit, Kontrolle, Störung/Ablenkung

und Spaß hinsichtlich der Unterschiede zwischen der Probandengruppe mit Fahrerlebnis im Fahrsimulator und der Kontrollgruppe ohne Fahrerlebnis zur Identifizierung der Nutzerakzeptanz untersucht.

Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistent

Die Nutzerakzeptanz der einzelnen Kategorien für den KAS unterscheidet sich deutlich bei den beiden befragten Gruppen. Abbildung 5.5 zeigt die Medianwerte der Kategorien. Befragte aus der Gruppe mit Fahrerlebnis beurteilen den Sicherheitsgewinn durch den KAS deutlich höher (Median=4) als die Gruppe ohne Fahrerlebnis (Median=3). Ebenfalls wird der Spaß, der dabei erlebt wird, durch Probanden der Gruppe Fahrerlebnis größer beurteilt (Median=2). Die beiden Kategorien Kontrolle und Störung/Ablenkung, die, je höher sie bewertet werden, einen negativen Einfluss auf die Nutzerakzeptanz haben, sind von Teilnehmern der Kontrollgruppe größer eingestuft als von der Gruppe mit Fahrerlebnis.

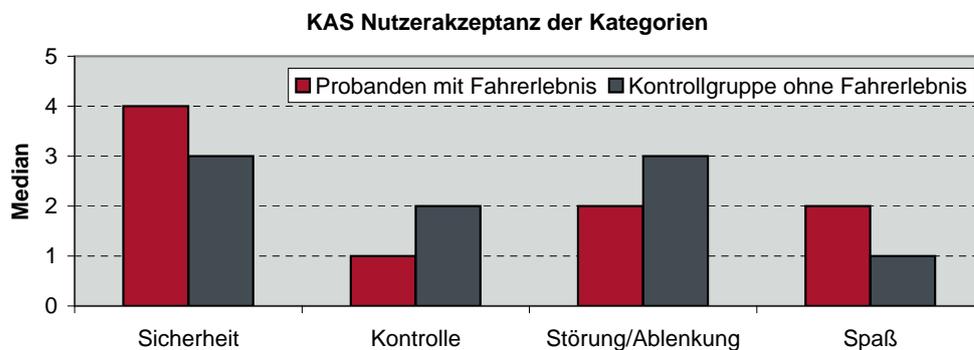


Abbildung 5.5: Median der einzelnen Kategorien zur Nutzerakzeptanz KAS

Abbildung 5.6 stellt die Häufigkeiten der Bewertung der Kategorie Sicherheit dar. Im Anhang ist die entsprechende Kreuztabelle zu finden. Da mindestens eine Zelle der Kreuztabelle einen Erwartungswert kleiner als fünf aufweist, wurde zur Signifikanzprüfung der Freeman-Halton Test angewendet. Nach Anwendung des Tests kann die Nullhypothese verworfen werden und ein signifikanter Unterschied in der Bewertung der subjektiven Sicherheit für den KAS festgestellt werden ($p = 1,61 \cdot 10^{-6}$) (siehe Anhang). D.h., Probanden der Fahrsimulatorstudie bewerten die fahrsicherheitliche Wirkung des KAS höher als Befragte ohne Fahrerlebnis.

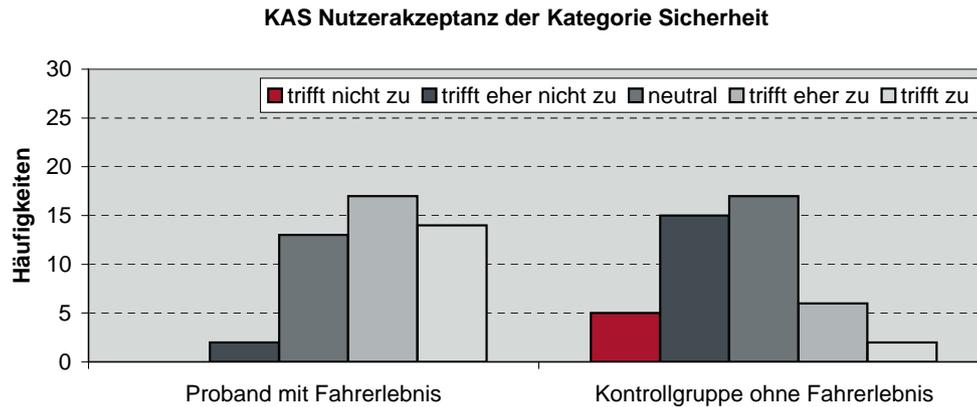


Abbildung 5.6: Nutzerakzeptanz Kategorie Sicherheit KAS

In der Nutzerakzeptanzkategorie Kontrolle (siehe Abbildung 5.7) kann ebenfalls ein deutlicher Unterschied festgestellt werden. Probanden, die den KAS im Fahr-simulator erlebt haben, antworteten deutlich häufiger, dass sie sich durch das Sys-tem nicht kontrolliert fühlen. Nach Signifikanzprüfung mittels Freeman-Halton Test, kann festgestellt werden, dass der Unterschied nicht signifikant ist ($p=0,012$) (siehe Anhang).

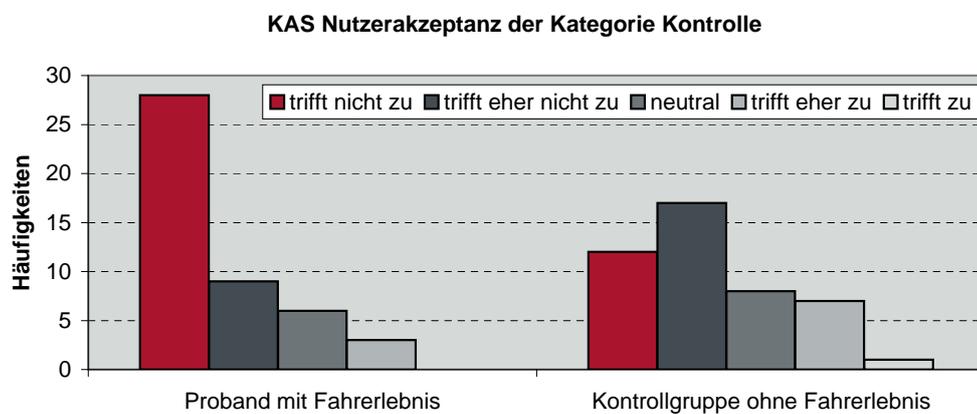


Abbildung 5.7: Nutzerakzeptanz Kategorie Kontrolle KAS

Die sich negativ auf die Nutzerakzeptanz auswirkende Kategorie Störung und Ablenkung ist von Befragungsteilnehmern ohne Systemnutzung als störender und ablenkender bewertet worden (siehe Abbildung 5.8). Auch der Signifikanztest nach Freeman-Halton ergibt einen signifikanten Unterschied der beiden Gruppen ($p = 2,1 * 10^{-5}$) (siehe Anhang).

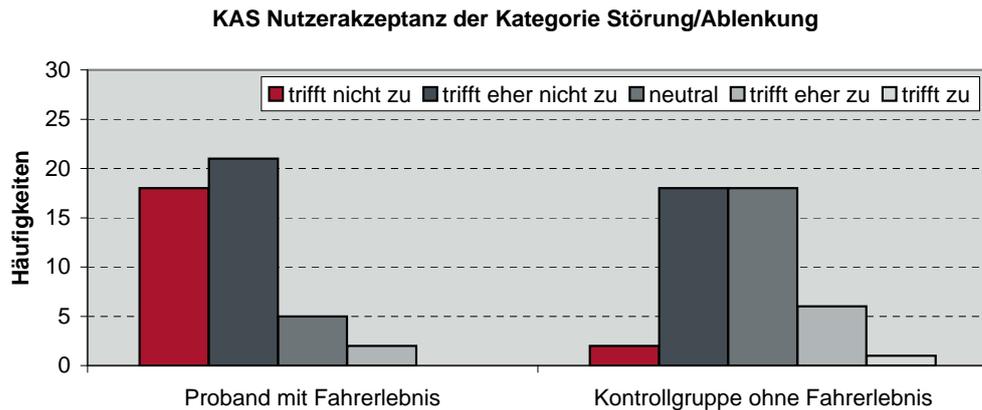


Abbildung 5.8: Nutzerakzeptanz Kategorie Störung/Ablenkung KAS

Der Spaß durch die Systemnutzung des KAS ist in beiden Gruppen als niedrig bewertet worden (siehe Abbildung 5.9), jedoch ist zu erkennen, dass die Gruppe ohne Fahrerlebnis prozentual häufiger die Antwort „trifft nicht zu“ gegeben hat. Der Freeman-Halton Test ergibt einen signifikanten Unterschied in der Kategorie Spaß ($p=0,003$) (siehe Anhang).

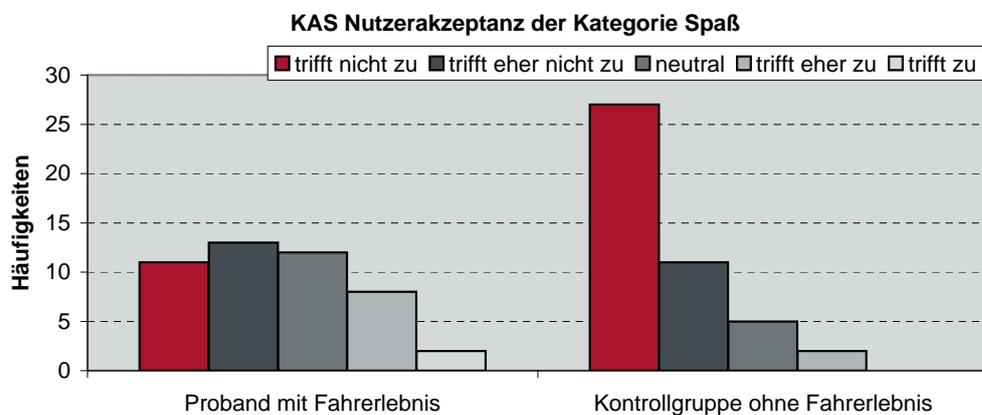


Abbildung 5.9: Nutzerakzeptanz Kategorie Spaß KAS

Fazit

Zusammenfassend wird deutlich, dass die Nutzerakzeptanz des KAS durch die Nutzung des Systems erheblich gesteigert ist. Dies lässt darauf schließen, dass das Fahrerlebnis eines Systems erheblich zu dessen Verständnis und Sinnhaftigkeit führt und damit unter Umständen zu einer verbesserten Vermarktbarkeit.

Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung

In Abbildung 5.10 sind die Medianwerte der Nutzerakzeptanzkriterien für den RLV dargestellt. Die Bewertung des RLV durch die beiden unterschiedlichen Gruppen zeigt in den Kategorien Kontrolle und Störung/Ablenkung keine Unterschiede in den Medianwerten. Durch das Erlebnis der Funktion ist eine höhere Einstufung des Sicherheitsgewinns und der Kategorie Spaß gegeben.

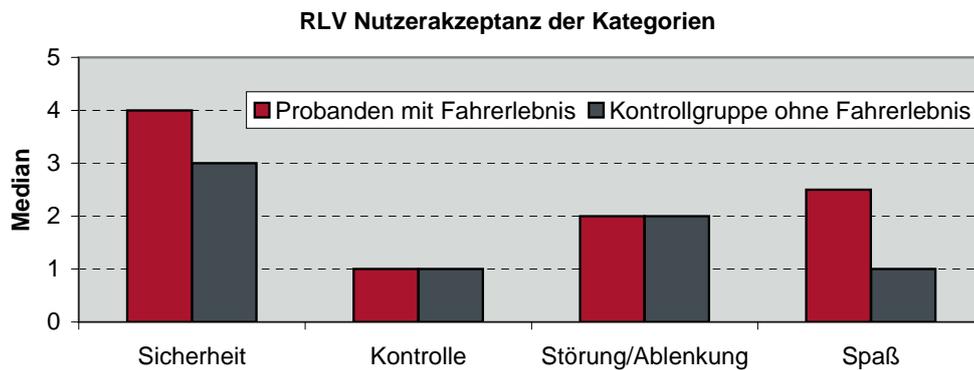


Abbildung 5.10: Median der einzelnen Kategorien zur Nutzerakzeptanz RLV

In Abbildung 5.11 sind die Häufigkeiten der genannten Antworten der Kategorie Sicherheit des RLV dargestellt. Nach Prüfung des Unterschieds beider Gruppen mittels Freeman-Halton Test kann die Nullhypothese verworfen und ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen zum Merkmal Sicherheit angenommen werden ($p=0,003$) (siehe Anhang).

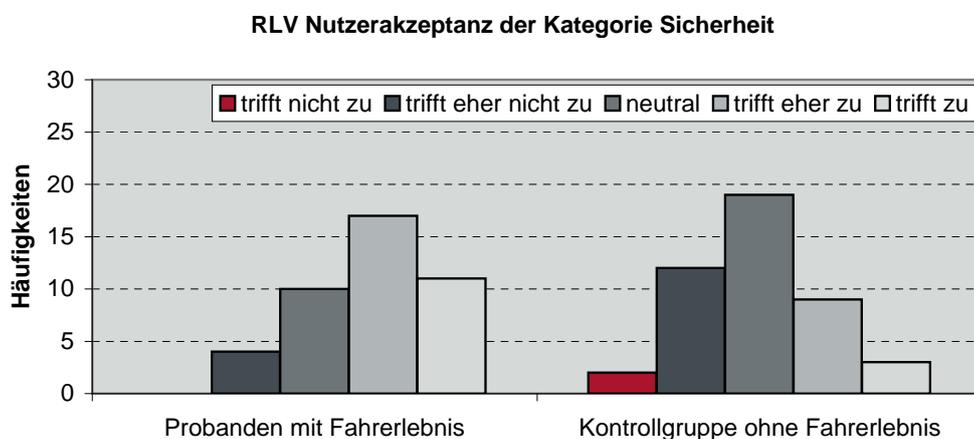


Abbildung 5.11: Nutzerakzeptanz Kategorie Sicherheit RLV

Die Kategorie Kontrolle (siehe Abbildung 5.12) ist bei beiden Gruppen ähnlich verteilt beantwortet worden. Nach Signifikanzprüfung konnte kein signifikanter Unterschied zu den erwarteten Häufigkeiten festgestellt werden ($p=0,682$) (siehe Anhang).

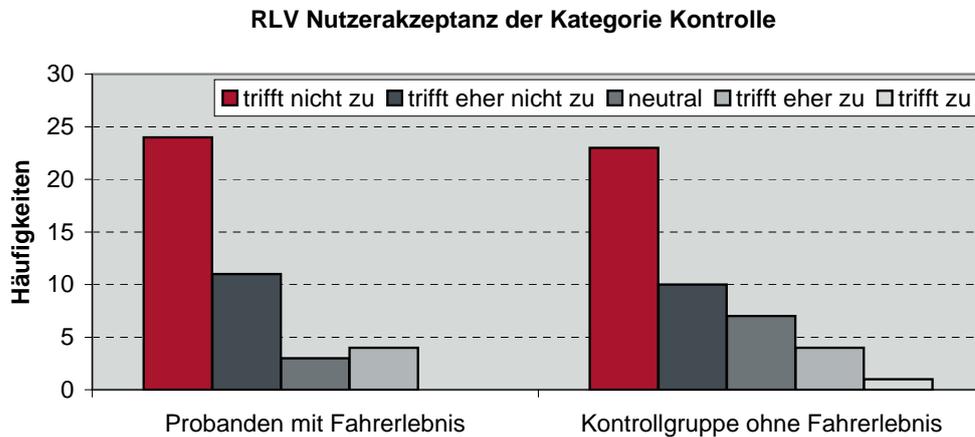


Abbildung 5.12: Nutzerakzeptanz Kategorie Kontrolle RLV

Auch bei dem Kriterium Störung und Ablenkung des RLV kann kein signifikanter Unterschied bei der Gruppe mit und ohne Fahrerlebnis festgestellt werden (siehe Abbildung 5.13) ($p=0,585$).

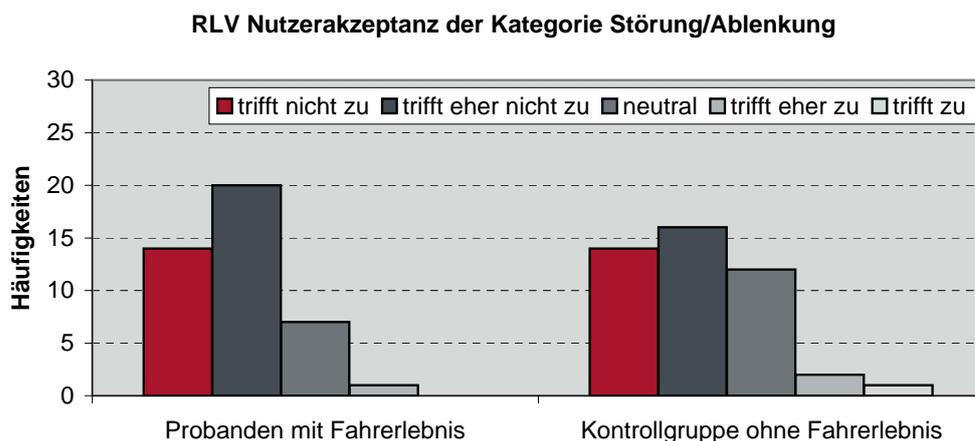


Abbildung 5.13: Nutzerakzeptanz Kategorie Störung/Ablenkung RLV

Eine sichtbare Steigerung der Nutzerakzeptanz des RLV ist in der Beantwortung der Kategorie Spaß sichtbar. Bei der Kontrollgruppe ist das Kriterium eher mit „trifft nicht zu“ angekreuzt worden, wohingegen die Gruppe, die das System im Fahrsimulator erlebt hat, tendenziell eher neutral antwortete (siehe Abbildung 5.14). Es kann

ein hoch signifikanter Unterschied der Bewertung der Kategorie Spaß nachgewiesen werden ($p = 3,97 * 10^{-5}$) (siehe Anhang).

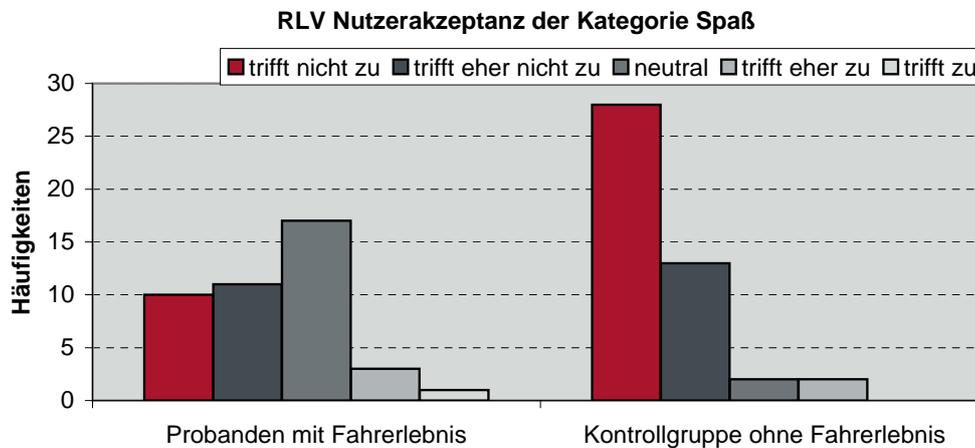


Abbildung 5.14: Nutzerakzeptanz Kategorie Spaß RLV

Die Unterschiede in der Nutzerakzeptanz des RLV zwischen den Gruppen mit und ohne Systemnutzung sind nicht merklich erkennbar.

Fazit

Es kann festgestellt werden, dass durch das Fahrerlebnis einer Kundenfunktion das Verständnis und der Nutzen einer Funktion dem Fahrer optimal verdeutlicht werden kann. Daraus ergibt sich eine höhere Gesamtnutzerakzeptanz eines Systems, was sich unter Umständen positiv auf die Vermarktbarkeit von zukünftigen Kundenfunktionen auswirken kann.

5.3.3 Auswertung H.03 fahrsicherheitliche Wirkung

Die Auswertung der Hypothese H.03 (siehe Kapitel 5.1.1) erfolgt jeweils für den KAS und den RLV. Es werden die Unfallhäufigkeiten, der Abstand zur Konfliktzone bei Gaspedalstellung gleich null, bei Bremspedalstellung größer null und die Fahrerreaktionen vor einem Unfall bzw. Rotlichtverstoß untersucht.

Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistent

Zum Nachweis der Hypothese H.03a sind 130 gültige Fälle verarbeitet worden. Dabei entfallen 65 Fälle auf die Warnausgabe und 65 Fälle auf Szenarien, bei denen keine Warnausgabe erfolgte. Insgesamt sind 69 Unfälle mit querenden Fahrzeugen passiert und 61 Szenarien, bei denen ein Unfall vermieden werden konnte. Betrachtet man die Kreuztabelle (siehe Anhang) verteilen sich die Unfälle zu 34,8 Prozent auf die Szenarien mit Warnausgabe und zu 65,2 Prozent auf die ohne Warnausgabe. Abbildung 5.15 zeigt die absoluten Unfallhäufigkeiten und Abbildung 5.16 die relativen Unfallhäufigkeiten mit und ohne Warnausgabe an den Probanden.

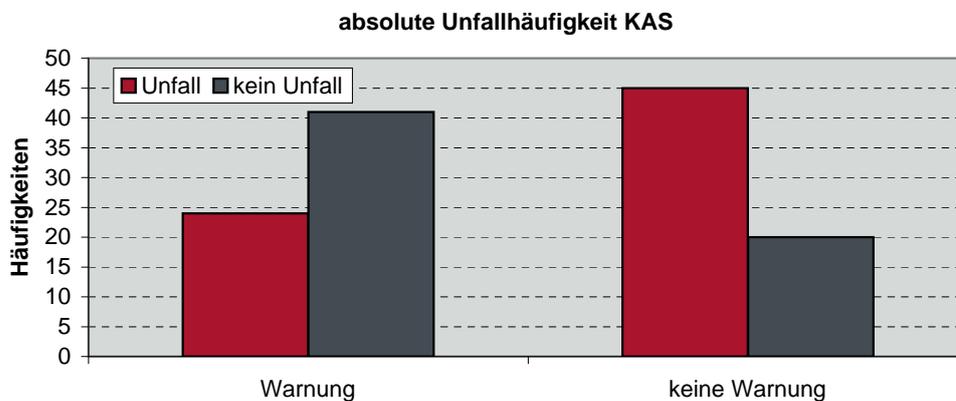


Abbildung 5.15: Absolute Unfallhäufigkeiten KAS

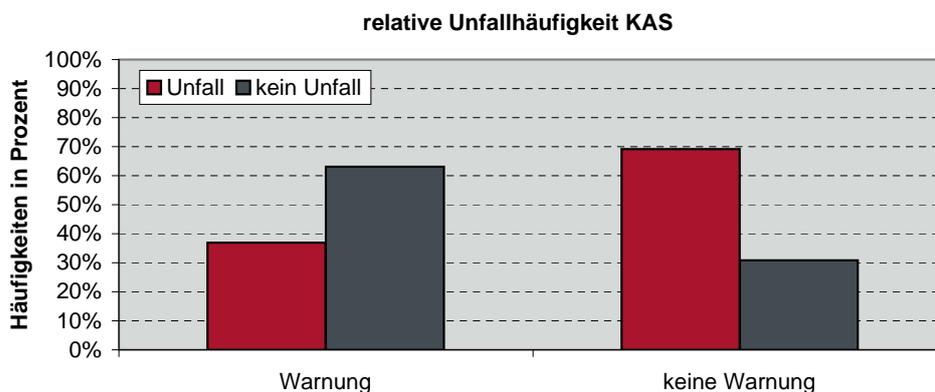


Abbildung 5.16: Relative Unfallhäufigkeiten KAS

Nach Auswertung des Chi-Quadrat Tests nach Pearson kann die Nullhypothese verworfen werden und ein signifikanter Unterschied in der Unfallhäufigkeit bei Szenarien

mit Warnausgabe und bei denen ohne Warnausgabe festgestellt werden ($p=0,0002$) (siehe Anhang). Demnach ist eine Verbesserung bei aktivem KAS erkennbar.

Abbildung 5.17 zeigt den Abstand zur Konfliktzone bei dem die Gaspedalstellung den Wert Null angenommen hat. Es wird also deutlich, dass der Proband zu diesem Zeitpunkt vor der Konfliktzone den Fuß vollständig vom Gaspedal genommen hat. Eine erste Fahrerreaktion kann damit indiziert werden. Aufgeschlüsselt ist der Abstand in Szenarien mit Warnausgabe und in gleichen Szenarien ohne Warnausgabe. Im Durchschnitt ging der Proband bei Szenarien mit Warnausgabe ($N=50$) 24,3 Meter (Standardabweichung= $8,3$ m) und bei Szenarien ohne Warnausgabe ($N=60$) 6,8 Meter (Standardabweichung= $6,8$ m) vor der Konfliktzone vom Gaspedal. Dies ist unter anderem dadurch zu begründen, dass der Proband erst sehr spät in die Kreuzung nach rechts und links einschauen konnte. Der Proband konnte also ohne Warnung das Szenario erst zu einem späteren Zeitpunkt realisieren.

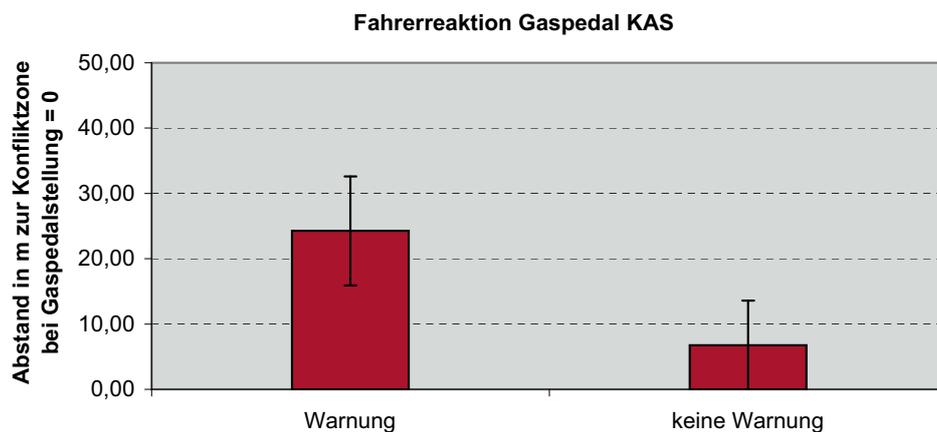


Abbildung 5.17: Abstand zur Konfliktzone bei Gaspedalstellung = 0

Nach Auswertung des Kolmogorov-Smirnov Tests kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei der Verteilung der Abstände zur Konfliktzone bei Gaspedalstellung gleich null nicht um eine Normalverteilung handelt (siehe Anhang). Daraus lässt sich ableiten, dass ein t-Test für unabhängige Stichproben zur Überprüfung der Nullhypothese nicht angewendet werden kann. Es muss der Mann Whitney U-Test durchgeführt werden. Nach Anwendung des Signifikanztests zur Überprüfung von Unterschieden kardinalskaliertter Merkmale kann die Nullhypothese verworfen werden und ein signifikanter Unterschied im Reaktionsverhalten (Gaspedal) des Probanden angenommen werden ($p = 2,1 * 10^{-15}$). Damit ist nachgewiesen, dass die

Warnausgabe eine frühzeitige Reaktion (Gaspedal) des Probanden gegenüber Szenarien ohne Warnausgabe hervorruft.

In Abbildung 5.18 ist das Reaktionsverhalten des Probanden beim Bremspedal dargestellt. Nach dem gleichen Prinzip wie beim Reaktionsverhalten bezüglich des Gaspedals, wird in dieser Auswertung der Abstand zur Konfliktzone bei erstmaliger Bremsreaktion durch den Fahrer mit und ohne Warnung angegeben. Der Mittelwert liegt bei Szenarien mit Warnung (N=65) bei 15,97 Meter (Standardabweichung=10,6 m) und bei Szenarien ohne Warnung (N=65) bei 4,6 Meter (Standardabweichung=5,4 m).

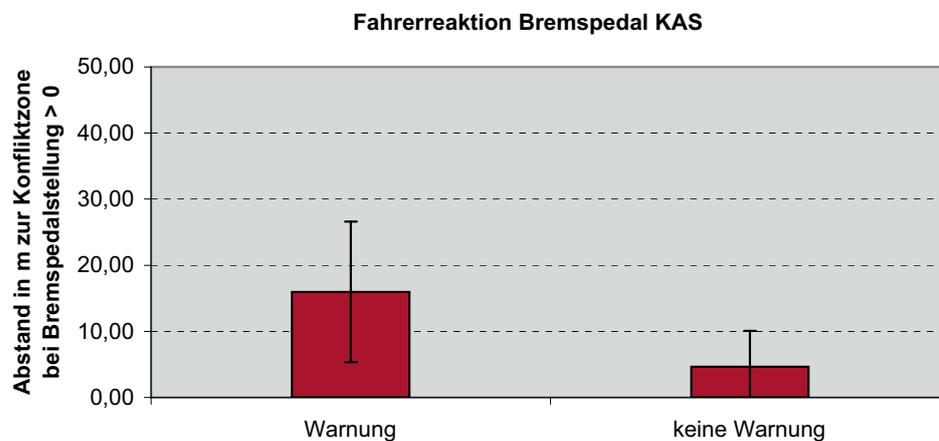


Abbildung 5.18: Abstand zur Konfliktzone bei Bremspedalstellung > 0

Nach Auswertung des Kolmogorov-Smirnov Tests kann angenommen werden, dass sich der Abstand zur Konfliktzone bei Bremspedalstellung größer null normalverteilt, woraufhin der t-Test für unabhängige Stichproben angewendet werden kann (siehe Anhang). Es ergibt sich ein signifikanter Unterschied beim Reaktionsverhalten (Bremspedal) bei Szenarien mit und ohne Warnausgabe ($p = 4,3 * 10^{-12}$). Damit kann bestätigt werden, dass durch die Warnausgabe bei bevorstehenden Kollisionen mit Querverkehr eine frühzeitigere Reaktion (Bremspedal) durch den Fahrer erfolgt.

Entscheidende Erkenntnisse für die Auslegung von Systemen der Integralen Fahrzeugsicherheit werden aus Unfalldaten gezogen. Die Daten werden hauptsächlich aus dem realen Unfallgeschehen im Feld gezogen. Aus den Daten der Fahrstudie können ebenfalls Erfahrungen bezüglich Fahrerreaktionen vor einem Unfall in

definierten Szenarien gewonnen werden. Abbildung 5.19 stellt die absoluten Häufigkeiten der Fahrerreaktionen vor Unfällen mit querenden Fahrzeugen und Abbildung 5.20 die relativen Häufigkeiten dar. Es wird deutlich, dass die Probanden bei Szenarien mit Warnausgabe in den meisten Fällen eine Reaktion gezeigt haben. 25 Prozent haben den Fuß vom Gaspedal genommen, 70,8 Prozent haben vor dem Unfall gebremst. Bei den Situationen ohne vorherige Warnung haben 35,6 Prozent der Probanden keine Reaktion gezeigt, 11,1 Prozent haben den Fuß vom Gaspedal genommen und 53,3 Prozent haben gebremst.

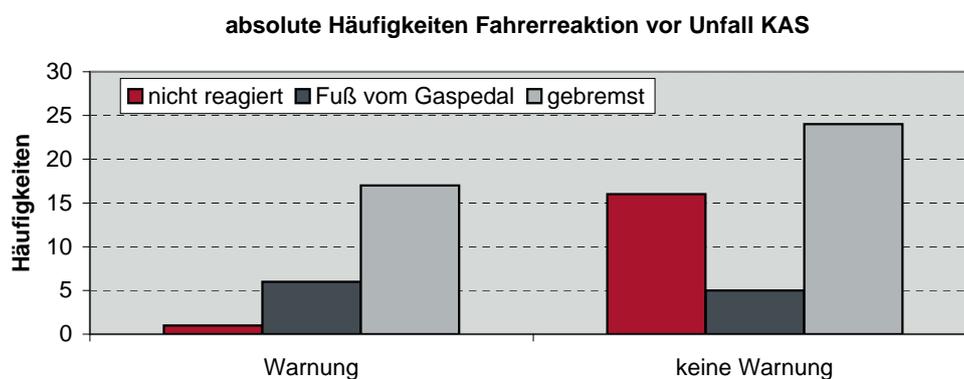


Abbildung 5.19: absolute Häufigkeiten Fahrerreaktion vor Unfall

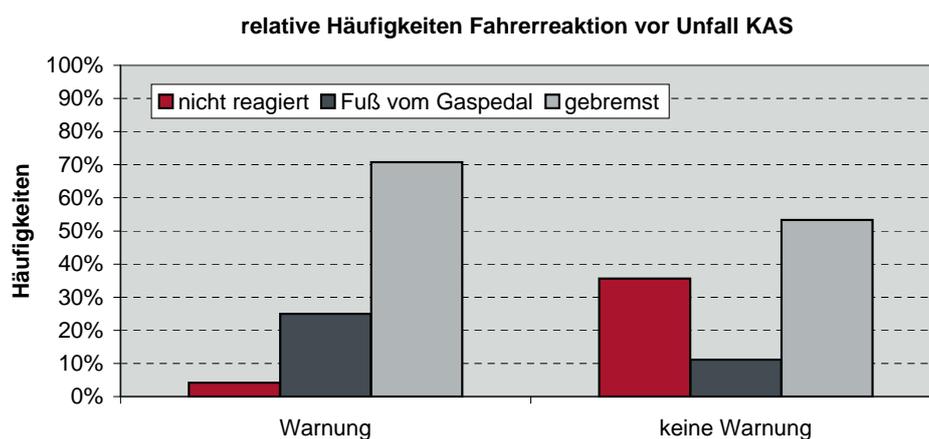


Abbildung 5.20: relative Häufigkeiten Fahrerreaktion vor Unfall

Für die statistische Auswertung der Häufigkeitsverteilung der Fahrerreaktion vor einem Unfall konnten 69 Fälle ausgewertet werden. Die erwartete Häufigkeit ist in einer Zelle der Kreuztabelle kleiner als 5, wonach der Chi-Quadrat Test nicht gültig ist. Es wird der exakte Freeman-Halton Test angewendet. Demnach kann ein signi-

fikanter Unterschied in der Fahrerreaktion mit und ohne Warnausgabe festgestellt werden ($p=0,006$) (siehe Anhang).

Fazit

Zusammenfassend ist zu erwähnen, dass der Car-2-Car Kommunikation Kreuzungsassistent eine positive fahrsicherheitliche Wirkung bei aktiviertem System aufweist. Durch die gegebene Sichtbehinderung im Kreuzungsbereich kam es bei dem ersten Versuchsfall mit Warnung dennoch zu vielen Unfällen. Dies lässt Rückschlüsse darauf ziehen, dass der Fahrer Warnungen nicht blind vertraut, sondern das Szenario erst selbst realisieren muss, um angemessen zu reagieren. Jedoch kann durch die Warnung eine erhöhte Aufmerksamkeit des Fahrers bewirkt werden, die eine schnellere Aktion beim Fahrer hervorruft. Bei gezeigter Fahrerreaktion in Situationen vor einem Unfall können Systeme auch weitaus intelligenter ausgelegt werden, indem eine Unterstützung des Fahrers zur vollständigen Unfallvermeidung wirkt. Zum Beispiel kann das System nach gezeigter Reaktion durch eine angefangene Bremsung des Fahrers eine Zielbremsung einleiten, so dass der Fahrer in seiner Aktion zielführend unterstützt wird.

Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung

Die Hypothese H.03b überprüft den RLV hinsichtlich seiner fahrsicherheitlichen Wirkung (siehe Kapitel 5.1.1). Es wurden 134 gültige Fälle zur Überprüfung der Hypothese ausgewertet. In 21 Fällen ist ein Rotlichtverstoß begangen worden, davon 7 bei Situationen mit Warnausgabe und 14 ohne Warnausgabe. Bei 113 Fällen passierte kein Rotlichtverstoß, der Proband hat an der Haltelinie angehalten. Abbildung 5.21 zeigt die absoluten Häufigkeiten der Rotlichtverstöße mit und ohne Warnung und Abbildung 5.22 zeigt die relativen Häufigkeiten der Rotlichtverstöße.

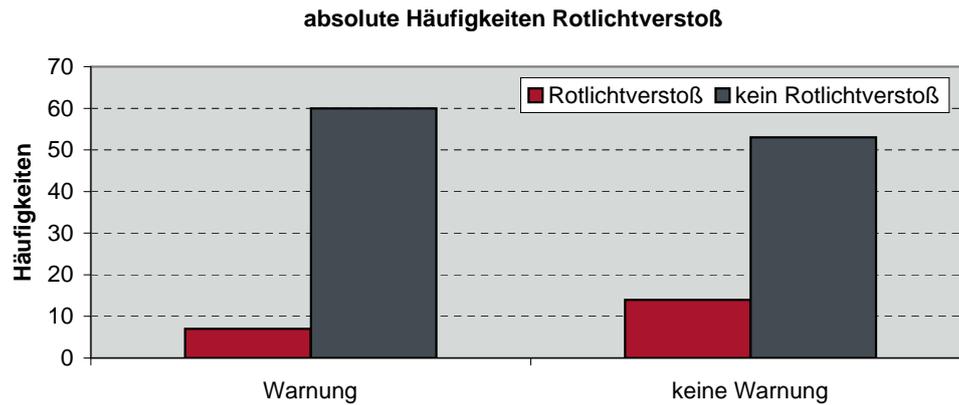


Abbildung 5.21: Absolute Häufigkeiten Rotlichtverstoß

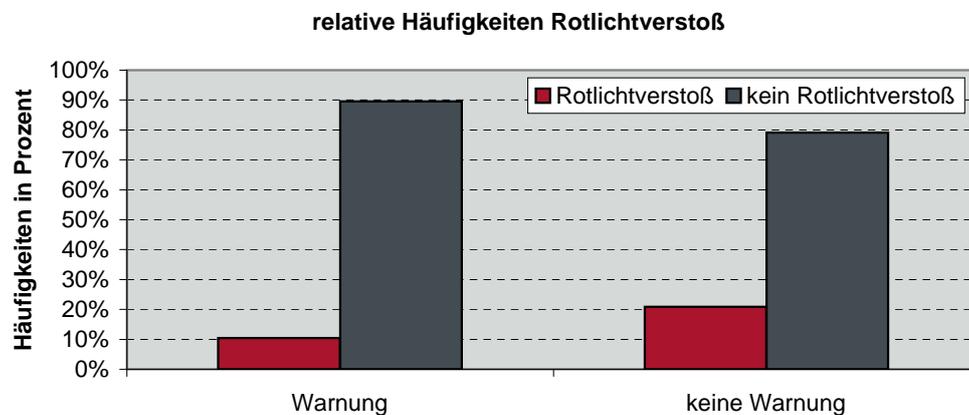


Abbildung 5.22: Relative Häufigkeiten Rotlichtverstoß

Die Auswertung des Chi-Quadrat Tests nach Pearson weist eine Signifikanz von $p=0,096$ aus, was zu der Annahme führt, dass die Nullhypothese angenommen werden muss (Irrtumswahrscheinlichkeit=0,05) (siehe Anhang). Damit kann kein signifikanter Unterschied der Häufigkeit der Rotlichtverstöße bei Szenarien mit Warnung und ohne Warnung nachgewiesen werden. Begründet kann dies unter anderem darin werden, dass die Reproduzierbarkeit des Szenarios zur Provozierung eines Rotlichtverstoßes im Fahrsimulator nur bedingt gegeben war. Dem Probanden sind Nebenaufgaben zur Aufmerksamkeitssenkung gegeben worden, die nicht reproduzierbar von Versuchsteilnehmern durchgeführt wurden. Somit ist es schwierig einen Rotlichtverstoß im Fahrsimulator zu provozieren.

Abbildung 5.23 stellt die Mittelwerte und Standardabweichungen zum Abstand vor der Konfliktzone bei Gaspedalstellung gleich null dar. Insgesamt konnten 129 Fälle

für die Auswertung verwendet werden. Der Abstand zur Konfliktzone mit definierter Bedingung beträgt bei Versuchsfällen mit Warnausgabe (N=64) 68,9 Meter und bei Versuchsfällen ohne Warnausgabe (N=65) 61,1 Meter.

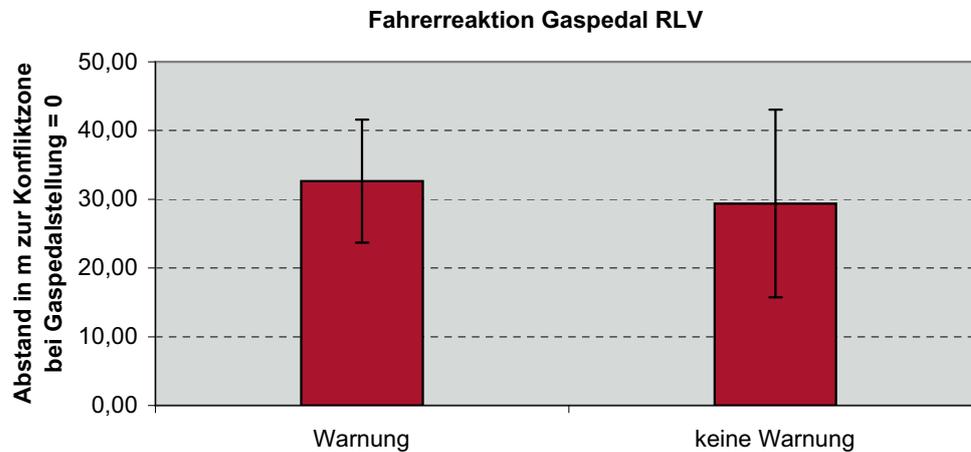


Abbildung 5.23: Abstand zur Konfliktzone bei Gaspedalstellung = 0

Nach Überprüfung der Verteilung der Abstände zur Konfliktzone muss die Nullhypothese des Kolmogorov-Smirnov Test verworfen werden. Damit kann die Verteilung nicht als normalverteilt angenommen werden und es muss der Mann Whitney U-Test zur Überprüfung der Signifikanz angewendet werden. Die Signifikanz liegt bei $p=0,235$, womit die Nullhypothese anzunehmen ist (siehe Anhang). Es kann kein signifikanter Unterschied in den Mittelwerten der Abstände zur Konfliktzone bei Gaspedalstellung gleich null bei Szenarien mit und ohne Warnung nachgewiesen werden.

In Abbildung 5.24 sind die mittleren Abstände zur Konfliktzone dargestellt, bei denen der Proband angefangen hat zu bremsen. Bei Szenarien mit Warnausgabe (N=67) ist der Mittelwert mit 26,1 Metern (Standardabweichung=8,7 m) gegeben und bei Szenarien ohne Warnausgabe (N=67) bei 22,1 Metern (Standardabweichung=11,9 m).

Nach Überprüfung der Verteilung der Abstände bei Bremspedalstellung größer null mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov Tests kann davon ausgegangen werden, dass diese normalverteilt ist. Daraufhin kann der t-Test für unabhängige Stichproben angewendet werden. Die Überprüfung ergibt, dass die Nullhypothese verworfen werden kann

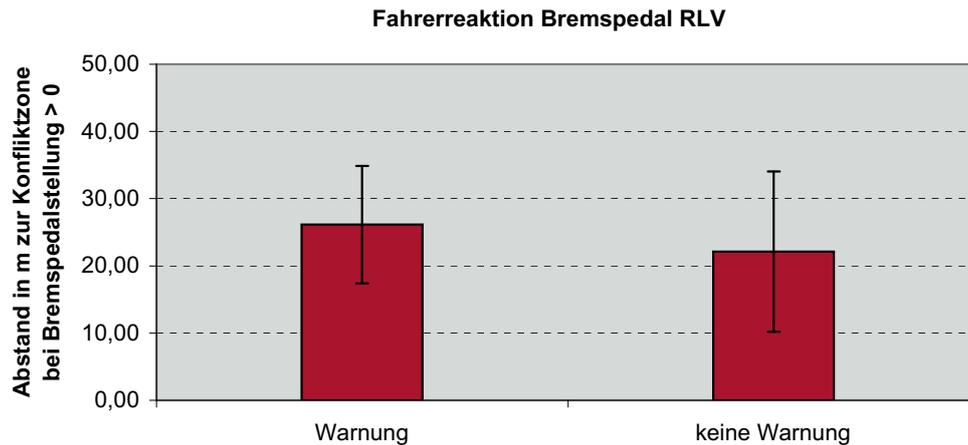


Abbildung 5.24: Abstand zur Konfliktzone bei Bremspedalstellung > 0

und ein signifikanter Unterschied beim Bremsverhalten des Fahrers mit und ohne Warnung vorliegt ($p=0,028$) (siehe Anhang).

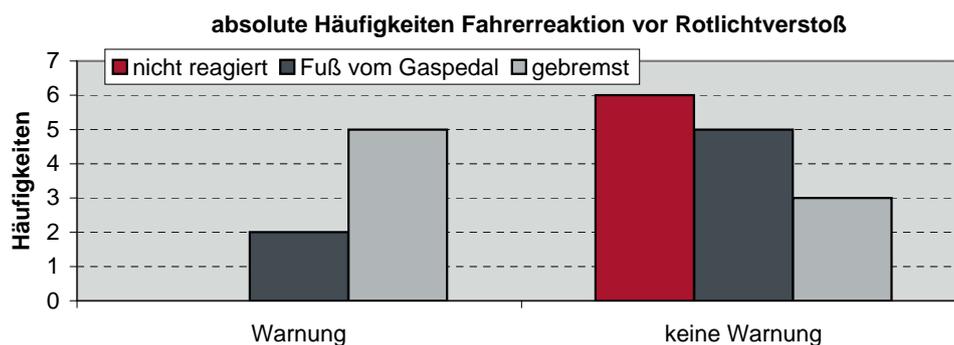


Abbildung 5.25: Absolute Häufigkeiten Fahrerreaktion vor Rotlichtverstoß

In Abbildung 5.25 sind die absoluten und in Abbildung 5.26 die relativen Häufigkeiten der Fahrerreaktion vor einem bevorstehenden Rotlichtverstoß aufgezeigt. Es wird deutlich, dass wesentlich mehr Probanden eine Fahrerreaktion bei Situationen mit Warnausgabe zeigten als ohne Warnung. Demnach haben 28,6 Prozent der Fahrer in Situationen vor einem Rotlichtverstoß mit Warnung den Fuß vom Gaspedal genommen und 71,4 Prozent haben vorher gebremst. Bei den Versuchsfällen ohne Warnung haben 42,9 Prozent der Probanden keine Reaktion gezeigt, 35,7 Prozent haben den Fuß vom Gaspedal genommen und 21,4 Prozent haben gebremst.

Die erwarteten Häufigkeiten sind in fünf von sechs Zellen kleiner als fünf, weswegen ein Chi-Quadrat Test nicht angewendet werden kann. Es wird stattdessen der ex-

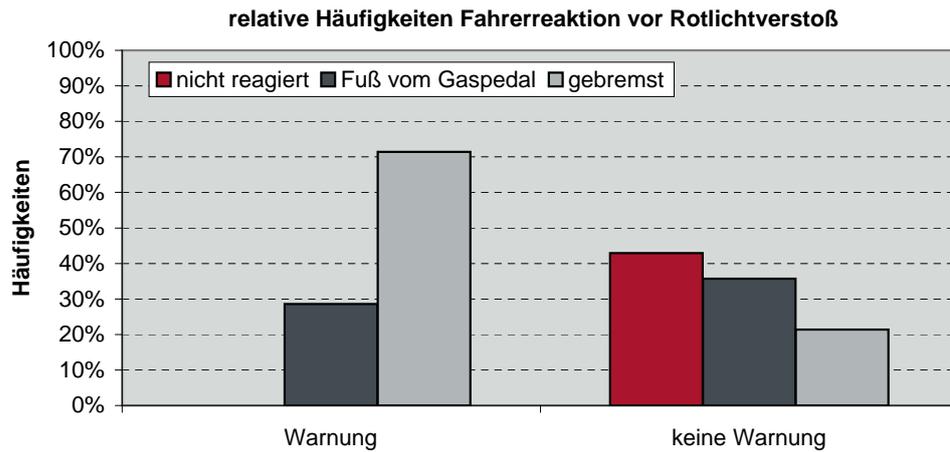


Abbildung 5.26: Absolute Häufigkeiten Fahrerreaktion vor Rotlichtverstoß

akte Freeman-Halton Test angewendet. Dieser ergibt, dass es keinen signifikanten Unterschied bei den Fahrerreaktionen mit und ohne Warnung vor einem Unfall gibt ($p=0,061$) (siehe Anhang).

Fazit

Als Zusammenfassung ist darzulegen, dass die Reproduzierbarkeit der Szenarien zur Provokation eines Rotlichtverstoßes während der Fahrsimulatorstudie nicht gegeben war. Der Proband wurde bestmöglich versucht abzulenken, was allerdings nicht reproduzierbar durchzuführen war. Aus diesem Grund lässt sich ein signifikanter Nachweis zur positiven fahrsicherheitlichen Wirkung des RLV nicht durchführen. Als subjektive Beobachtung des Versuchsleiters ist allerdings anzufügen, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers in den Situationen, in denen eine Warnung ausgegeben wurde, deutlich gesteigert war. In Versuchsfällen, bei denen der Fahrer nicht vor einer roten Ampel gewarnt wurde und in denen es zu einem Rotlichtverstoß kam, war deutlich ersichtlich, dass dem Fahrer die Situation der Rotlichtüberfahung in keiner Weise bewusst war.

5.3.4 Fazit

Ziel der empirischen Studie war die Überprüfung des Modells zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit und dessen beispielhafte Anwendung in einer Fallstudie mit Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation. Die Studie wurde mittels Fahrsimulation durchgeführt, da für die Integrale Fahrzeugsicherheit Fahrzustände eingenommen werden müssen, die bis zu Unfällen reichen.

Der Kern des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit beinhaltet neben der Beschreibung und Klassifizierung der einzelnen Modellkomponenten im Wesentlichen die kontextadaptive Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug. Da der Fahrer bei der Kraftfahrzeugführung einen entscheidenden Anteil hat, wurde anhand der Fahrsimulation überprüft, inwieweit dieser die in Kapitel 3.3 aufgestellten Thesen zur fahrzustandsabhängigen Fahraufgabenallokation bestätigt. Als Fazit für die empirische Untersuchung der Hypothese H.01 kann festgehalten werden, dass die kontextadaptive Fahraufgabenallokation von den Probanden bestätigt wurde. In normalen Fahrzuständen soll demnach der Fahrer die Fahraufgaben ausführen. Erst nach Übernahmeaufforderung des Fahrers an das Fahrzeug kann das Fahrzeug Fahraufgaben in normalen Fahrzuständen ausführen. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass ein vollständig autonomes Fahren durch das Fahrzeug vom Fahrer in normalen Fahrzuständen nicht gewünscht ist. Zieht man die „*levels of automation*“ von Sheridan und Verplank dazu heran, kann davon ausgegangen werden, dass in normalen Fahrzuständen maximal die Stufe 5 der Automatisierung erreicht werden kann (siehe Kapitel 2.2.2). In kritischen Fahrzuständen sind die Probanden schon eher bereit zu akzeptieren, dass das Fahrzeug unterstützend eingreift. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass in kritischen Fahrzuständen das Fahrzeug bereits Fahraufgaben übernehmen kann, welche den Fahrer in seiner Zielerreichung unterstützen. So kann beispielsweise das Fahrzeug durch eine Bremskraftverstärkung dem Fahrer helfen, wenn dieser eine Gefahr erkannt hat, allerdings nicht ausreichend darauf reagiert. Um eine Transparenz der Fahraufgabenausführung durch das Fahrzeug für den Fahrer zu schaffen, sollte das Fahrzeug durch eine Information an den Fahrer verdeutlichen, welche Fahraufgaben durch das Fahrzeug unterstützt wurden. Demnach kann in kritischen Fahrzuständen die Stufe sieben der *LOA* erreicht werden (siehe

Kapitel 2.2.2). In Fahrzuständen in denen ein Unfall passiert und demnach der Fahrzustand „Unfall unvermeidbar“ erreicht wurde, bestätigen die Probanden, dass eine Fahraufgabenausführung vom Fahrzeug autonom durchgeführt werden sollte. Somit kann in diesem Fahrzustand die Stufe zehn der *LOA* nach Sheridan und Verplank erreicht werden (siehe Kapitel 2.2.2).

Die Hypothesen H.02a und H.02b hatten zum Ziel die Nutzerakzeptanz der in der Fallstudie aufgestellten Funktionen zu überprüfen. Bei den Hypothesen handelt es sich um einfache Effekthypothesen, die einen signifikanten Unterschied in der Nutzerakzeptanz der Funktionen bei einer Probandengruppe, die an der Fahrsimulation teilgenommen haben, und einer Probandengruppe, die die Funktionen der Fallstudie nicht in simulativen Verkehrsszenarien erlebt hat, nachweisen sollen. Dabei hat sich ergeben, dass die Nutzerakzeptanz gesamtheitlich bei beiden Funktionen signifikant höher war, wenn die Befragten das System zuvor erlebt haben, als wenn die Probanden das System nicht in einer Fahrsimulation gefahren sind. Daraus lässt sich das Fazit ziehen, dass die Erlebbarkeit eines Systems der Integralen Fahrzeugsicherheit deutlich zu einer besseren Nutzerakzeptanz führt. Um eine Verbesserung der Fahrzeugsicherheit durch die Vermeidung von Unfällen und Verminderung von Unfallfolgen zu erzielen, sollten die Systeme der Integralen Fahrzeugsicherheit daher schon früh in die Verkehrserziehung eingeschlossen werden. So kann beispielsweise bereits in der Fahrschule die Anwendung und der Nutzen der Systeme vermittelt werden.

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der in der Fallstudie aufgestellten Funktionen mit Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation sind die Hypothesen H.03a und H.03b aufgestellt worden. Diese sollten untersuchen inwieweit das Hauptziel der Integralen Fahrzeugsicherheit, Unfälle zu vermeiden und Unfallfolgen zu mindern, mit Hilfe dieser Funktionen erreicht werden kann. Für den KAS kann die Hypothese H.03a bestätigt werden. Es ist eine signifikante positive fahrsicherheitliche Wirkung des KAS nachgewiesen. Die Unfallhäufigkeit mit querenden Fahrzeugen sank durch aktive Warnung des Fahrers, obwohl dieser die Situation selbst noch nicht einschätzen konnte. Jedoch sind bei dem ersten Versuchsfall des KAS mit Warnung noch viele Unfälle passiert, da der Proband nicht blind auf das Warnsystem im Fahrzeug vertraute und ihm die Bedeutung der Warnung nicht hinreichend bekannt war. Aus

diesem Grund ist es von entscheidender Bedeutung, dass dem Kunden zukünftige Fahrzeugfunktionen durch das Fahrerlebnis und intensive Erläuterungen näher gebracht werden. Nur so kann er in realen Verkehrsszenarien im Straßenverkehr adäquat auf die ihm dargebotenen Warnungen und Informationen reagieren. Die Hypothese H.03b kann für den RLV nicht bestätigt werden, da die Reproduzierbarkeit der Rotlichtverstoß-Situation nicht gegeben war. Es konnte allerdings gezeigt werden, dass es zu einer gesteigerten Aufmerksamkeit des Fahrers in Szenarien eines Rotlichtverstoßes kam, bei denen der Fahrer vorher gewarnt worden ist. Probanden zeigten in allen Fällen nach der Warnung eine Reaktion. Bei beiden Funktionen kann eine deutliche Steigerung der Aufmerksamkeit des Fahrers durch die Warnung vor dem kritischen Verkehrsszenario festgestellt werden. Ebenfalls haben fast alle Probanden nach einer Warnung eine Reaktion gezeigt. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass der Fahrer zumeist auf Warnungen durch das Fahrzeug reagiert, dies aber nicht immer in angemessenem Maße tut, um das Ziel der Unfallvermeidung zu erreichen. Dies kann nach Jones und Endsley auf eine menschliche Fehlhandlung in der Ebene 3 des Rahmenmodells der „Situation Awareness“ zurückgeführt werden (siehe Kapitel 2.2.1 und 2.2.4). Demnach hat der Fahrer in diesen Fällen die Situation zwar angemessen wahrgenommen und ein Verständnis für die Situation aufgebaut, jedoch kommt es zu einer fehlerhaften Prognose der Weiterentwicklung der Situation, was eine nicht angemessene Handlung nach sich zieht. Aus diesem Grund ist es unabdingbar, dass das Fahrzeug Fahraufgaben übernimmt und den Fahrer in der Zielerreichung unterstützt.

Allgemein kann zu der Überprüfung von Systemen der Integralen Fahrzeugsicherheit das Fazit gezogen werden, dass diese Funktionen sehr stark von der Dynamik eines Fahrzeuges in verschiedenen Verkehrssituationen abhängig sind. Aus diesem Grund ist es unabdingbar diese Funktionen auch in einem dynamischen Fahrsimulator zu testen. Dieser sollte in allen Ebenen flexibel variierbar sein, damit der Fahrer die hochdynamischen Verkehrsszenarien als realitätsgetreu empfindet. Nur so können valide Rückschlüsse auf die Systemgestaltung von Funktionen der Integralen Fahrzeugsicherheit gezogen werden.

5.4 Verifikation des fahrerzentrierten Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit

Nach Überprüfung der Wirksamkeit des Modells bezüglich der Zielerreichung der Verbesserung der Fahrzeugsicherheit kann anschließend eine Verifikation des gesamten Modells auf Vollständigkeit und Richtigkeit erfolgen. Dazu sind zunächst die benutzten Daten im vorangegangenen Kapitel 5.3.4 überprüft worden. Im Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit entsprechen diese den Modellkomponenten (Fahrer, Fahrzeug, Umfeld, Fahraufgabe) und der abgeleiteten kontextadaptiven Fahraufgabenallokation. Anschließend ist die regelgerechte Umsetzung der Modellkomponenten im gesamten Modell anhand der Korrektheit der Ausgangsdaten nachgewiesen worden. Im Modell dieser Arbeit entspricht die Korrektheit der Ausgangsdaten dem Ziel der Integralen Fahrzeugsicherheit. Dieses besteht aus der Verbesserung der Fahrzeugsicherheit durch Unfallfolgenminderung bzw. Unfallvermeidung. [KFG02]

Es kann festgehalten werden, dass im Modell alle notwendigen Modellkomponenten enthalten sind. Bei der Anwendung des Modells durch Spezifikation von zwei Systemen in einer Fallstudie (siehe Kapitel 4) und nach der empirischen Überprüfung der Korrektheit der aufgestellten Hypothese der Ausgangsdaten in einer Fahrsimulatorstudie sind keine fehlenden Modellkomponenten identifiziert worden. Ebenso kann die Vollständigkeit und Richtigkeit der Klassifikation der Modellkomponenten festgesetzt werden. Es ist jedoch festgestellt worden, dass die Modellkomponenten in sich Störfaktoren für das gesamte Modell darstellen können. So können z.B. hochdynamische Randbedingungen des Umfeldes (z.B. umgebender Verkehr eines Verkehrsszenarios, siehe Kapitel 3.2.5) Störeinflüsse auf das gesamte Verkehrsszenario darstellen und somit den Fahrzustand (siehe Kapitel 3.1) unvorhergesehen dynamisch verändern. Ebenso kann das Verhalten des Fahrers und des Fahrzeuges einen Störfaktor auf das Verkehrsszenario und seinen Fahrzustand darstellen. Aus den Gründen der Störfaktoren durch die Modellkomponenten an sich kann es dazu kommen, dass die Wirksamkeit der Verbesserung der Fahrzeugsicherheit durch das Modell nicht in jedem Fall hinreichend erreicht werden kann.

6 Extraktion eines Leitfadens zur Anwendung des Modells

Ziel des Leitfadens zur Anwendung des fahrerzentrierten Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit ist es, Entwicklern von neuen Systemen eine Hilfestellung bei der Spezifikation zu geben, um alle Komponenten während der Anforderungsanalyse zu berücksichtigen. Der Leitfaden gibt weiterhin das Konzept der kontextadaptiven Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug vor. Zunächst wird in diesem Kapitel die Zielgruppe definiert, die den extrahierten Leitfaden zur Anwendung überführen soll. Anschließend wird der Leitfaden zur Anwendung des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit (siehe Kapitel 3) extrahiert. Dieser wird aus der Fallstudie Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation (siehe Kapitel 4) abgeleitet.

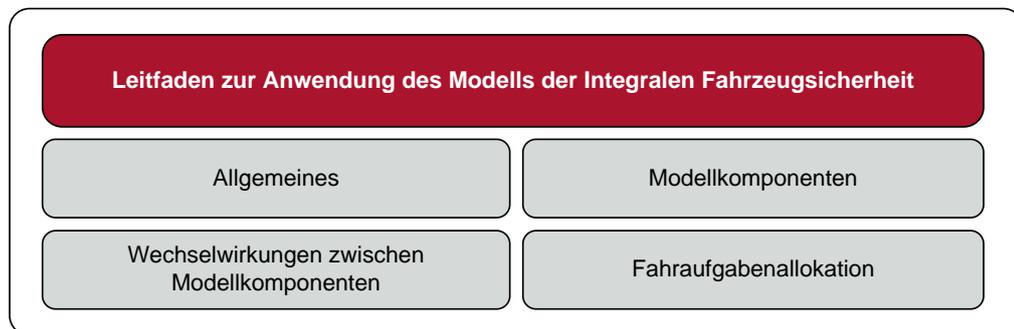


Abbildung 6.1: Aufbau des Kapitels

6.1 Zielgruppe

Zur Ableitung der Zielgruppe des extrahierten Leitfadens kann das V-Modell nach [Red97] referenziert werden (siehe Abbildung 6.2), da dieses zumeist in der Industrie angewendet wird. Auf der linken Seite des V-Modells sind Aktivitäten der Systemspezifikation dokumentiert, die schrittweise an Detaillierungstiefe zunehmen. Die Spezifikation folgt demnach einer Top-Down Struktur. An der Spitze des V-Modells wird die Codierung der Komponenten adressiert. Anschließend werden die Testfälle nach einer Bottom-Up Struktur definiert und durchgeführt. Zielgruppe des Leitfadens zur Anwendung des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit sind Entwickler, die die linke Seite des V-Modells bedienen. Es werden Regeln für die Aktivitäten der Systemspezifikation beschrieben. Der Detaillierungsgrad nimmt dabei mit zunehmender Tiefe im V-Modell zu, wobei sich der extrahierte Leitfaden hauptsächlich auf den Schritt der „Anforderungsanalyse“ beziehen. Aus den Spezifikationen werden schlussendlich auch Testfälle für die rechte Seite des V-Modells ableitbar.

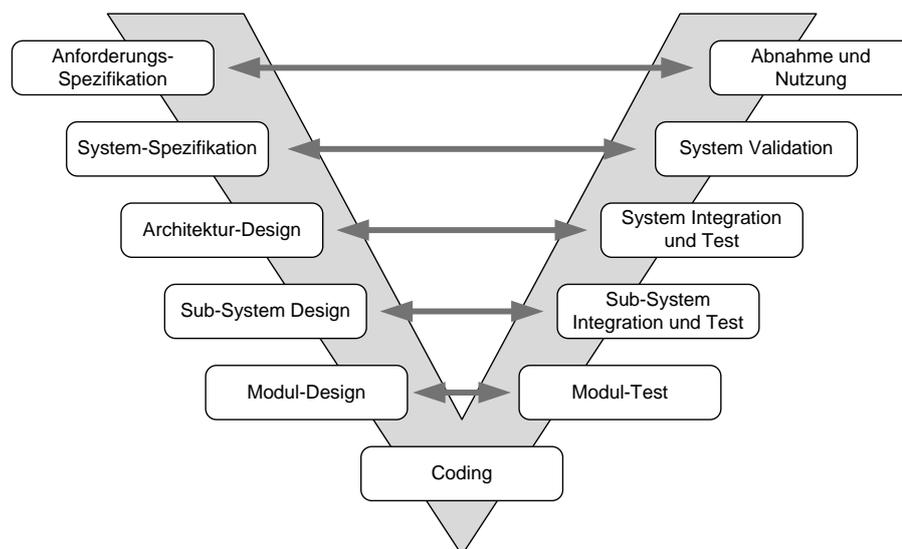


Abbildung 6.2: V-Modell nach [Red97]

6.2 Leitfaden zur Anwendung des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit

Abgeleitet aus der Fallstudie Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation wird nun ein Leitfaden zur Anwendung des allgemeingültigen fahrerzentrierten Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit für die Nutzergruppe Spezifikateure extrahiert. Die Regeln folgen einer zeitlichen und logischen Abfolge im Spezifikationsprozess und definieren Anweisungen zum Handeln, um zu dem gesteckten Ziel der Integralen Fahrzeugsicherheit zu führen. Der Leitfaden gliedert sich in vier Bereiche:

- **Allgemeines:** Spezifikation der Funktion auf oberster Ebene
- **Modellkomponenten:** funktionspezifische Spezifikation der einzelnen Modellkomponenten (siehe Kapitel 3.2)
- **Wechselwirkungen der Modellkomponenten:** funktionspezifische Spezifikation der Umfeldwahrnehmung durch Fahrer und Fahrzeug (siehe Kapitel 3.2)
- **kontextadaptive Fahraufgabenallokation:** funktionspezifische Spezifikation der Fahrzustände und der Fahraufgabenallokation (siehe Kapitel 3.3)

6.2.1 Allgemeines

Im allgemeinen Teil der Funktionsspezifikation soll eine Motivation zur Umsetzung der Kundenfunktion gegeben werden. Dies kann anhand einer Analyse des Unfallgeschehens und der Ableitung eines adressierbaren Wirkungsfelds auf Basis von Unfallstatistiken passieren. Gleichzeitig kann die Analyse des Unfallgeschehens als Grundlage für die Spezifikation des Verkehrsszenarios dienen, welches in einem späteren Schritt im Leitfaden erfolgt.

Weiterhin soll im allgemeinen Teil die Kundenfunktion auf oberster Ebene beschrieben werden. Damit kann ein erster Überblick der Funktion gegeben werden. Unterstützend soll die Kundenfunktion anhand einer Abbildung veranschaulicht werden.

Tabelle 6.1 gibt ein Template zur Spezifikation des allgemeinen Teils einer neuen Funktion der Integralen Fahrzeugsicherheit.

	Beschreibung
Motivation	- Analyse des Unfallgeschehens - Ableitung eines adressierbaren Wirkungsfeldes
Kundenfunktion	- Beschreibung der Kundenfunktion - Veranschaulichung durch Abbildung

Tabelle 6.1: Template zur Spezifikation des allgemeinen Teils der Funktion

6.2.2 Modellkomponenten

In diesem Abschnitt der Spezifikation einer Funktion sollen die Modellkomponenten „Fahrer“, „Fahrzeug“, „Umfeld“ und „Fahraufgabe“ beschrieben werden, die speziell für die Funktion von Bedeutung sind.

Die durch die Kundenfunktion adressierte Modellkomponente „Fahrer“ soll beschrieben werden, in dem die Clusterung aus Kapitel 3.2.3 berücksichtigt wird. Es sollen nur für die Funktion relevante Merkmale definiert werden, die aus der folgenden Clusterung besteht (siehe Kapitel 3.2.3):

- Alter: unter 21, 21 bis 59, über 59
- Geschlecht: weiblich, männlich
- Fahrstil/-typ: komfortabel, moderat, sportlich
- Fahrpraxiserfahrung: wenig, mittel, viel
- Aufmerksamkeit: abgelenkt, nicht abgelenkt
- Beanspruchung: nicht bis wenig, mittel, stark

Weiterhin sollen die für die Funktion spezifischen Anteile der Modellkomponente „Fahrzeug“ spezifiziert werden. Die Modellkomponente „Fahrzeug“ besteht dabei aus folgenden Teilkomponenten (siehe Kapitel 3.2.4):

- Sensorik: Wahrnehmung des Umfeldes
- Algorithmus: Interpretation der Verkehrssituation und Bestimmung des Fahrzeugzustandes
- Aktorik: Umsetzung der Informationen aus dem Algorithmus

Desweiteren soll die Modellkomponente „Umfeld“ spezifiziert werden, die das funktionsspezifische Verkehrsszenario beschreibt. Die Elemente des Verkehrsszenarios bedienen sich dem Katalog zur Klassifizierung des Umfeldes aus Kapitel 3.2.5 (statische Objekte, dynamische Objekte, Ereignisse). Das funktionsspezifische Verkehrsszenario besteht aus folgenden Elementen (siehe Kapitel 3.2.5):

- Ego-Fahrzeug: Bezugspunkt des Verkehrsszenarios
- Akteure: Situationsmerkmale, die eine Gefahr für die Fahrsicherheit des Ego-Fahrzeuges darstellen.
- Randbedingungen: Situationsmerkmale, die das gesamte Verkehrsszenario definieren, aber keine unmittelbare Gefahr für die Fahrsicherheit darstellen.
- Komplexität: Summe und Ausprägung der beteiligten Akteure und Randbedingungen des Verkehrsszenarios

Abschließend soll die Modellkomponente „Fahraufgabe“ spezifiziert werden, die durch die Funktion adressiert wird. Die Aufgaben können folgenden Ebenen der primären Fahraufgabe entsprechen:

- Stabilisierungsebene
- Führungsebene
- Navigationsebene

Tabelle 6.2 stellt ein Template zur Spezifikation der einzelnen Modellkomponenten für Systeme der Integralen Fahrzeugsicherheit bereit.

Spezifizierung		Spezifizierung der Modellkomponente
Modellkomponente		
Umfeld	Ego-Fahrzeug	dynamische Objekte
	Akteure	dynamische Objekte / statische Objekte / Ereignis
	Randbedingungen	dynamische Objekte / statische Objekte / Ereignis
	Komplexität	gering / mittel / stark
Fahrer	Alter	unter 21 / 21 bis 59 / über 59
	Geschlecht	männlich / weiblich
	Fahrstil/Fahrertyp	komfortabel / moderat / sportlich
	Fahrleistung/-erfahrung	wenig / mittel / stark
	Aufmerksamkeit	abgelenkt / nicht abgelenkt
	Beanspruchung	nicht bis wenig / mittel / stark
Fahrzeugsystem	Sensorik	vorausschauende Wahrnehmung des Verkehrsszenarios
	Algorithmus	Interpretation des Verkehrsszenarios durch Bestimmung des Fahrzustandes
	Aktorik	Umsetzung der Information aus Algorithmus
Fahraufgabe	Navigationsaufgabe	Navigieren
	Führungsaufgabe	Längsführung / Querführung
	Stabilisierungsaufgabe	Lenken / Beschleunigen / Bremsen

Tabelle 6.2: Template zur Spezifikation der Modellkomponenten der Funktion

6.2.3 Wechselwirkungen der Modellkomponenten

Um die nachfolgende kontextadaptive Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug effizient beschreiben und ableiten zu können, müssen vorweg die Wechselwirkungen der zuvor beschriebenen Modellkomponenten spezifiziert werden. Ein wesentlicher Bestandteil ist die funktionspezifische Wahrnehmung des Umfeldes durch den Fahrer und die vorausschauenden Fahrzeugsensoren. Für die Modellkomponente „Fahrer“ muss das Merkmal Aufmerksamkeit mit berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.2.6). Das Merkmal kann die Ausprägungen „abgelenkt“ und „nicht abgelenkt“ annehmen.

Tabelle 6.3 zeigt ein Template zur Beschreibung der Umfeldwahrnehmung. Die zu-

vor in der Modellkomponente „Umfeld“ spezifizierten Umfeldelemente müssen den einzelnen Zeilen zugefügt werden. Anschließend soll eine Bewertung der Möglichkeit zur Umfeldwahrnehmung durch den Fahrer und das Fahrzeug durchgeführt werden. Die Bewertung erfolgt dabei nach folgenden Ausprägungen:

- Umfeldelement kann nicht wahrgenommen werden. (-)
- Umfeldelement kann nur bedingt wahrgenommen werden, d.h. das Umfeldelement kann grundsätzlich wahrgenommen werden, in der gegebenen Fahrsituation ist dies allerdings nicht möglich. (o)
- Umfeldelement kann wahrgenommen werden. (+)

Modellkomponente Umfeld	Fahrer		Fahrzeug (Sensor xyz)	Erweitertes Umfeldwissen durch Fahrer und Fahrzeug
	abgelenkt	nicht abgelenkt		
definiertes Umfeldelement aus Modellkomponente	- / o / +	- / o / +	- / o / +	- / o / +
definiertes Umfeldelement aus Modellkomponente	- / o / +	- / o / +	- / o / +	- / o / +
definiertes Umfeldelement aus Modellkomponente	- / o / +	- / o / +	- / o / +	- / o / +

Tabelle 6.3: Template zur Spezifikation der Umfeldwahrnehmung der Funktion

6.2.4 Kontextadaptive Fahraufgabenallokation

Um die kontextadaptive Fahraufgabenallokation darstellen zu können, müssen zunächst die Fahrzustände definiert werden, in denen die Funktion wirken soll. Dabei können folgende Fahrzustände definiert werden (siehe Kapitel 3.1):

- normal
- kritisch
- Unfall unvermeidbar
- Unfall
- Post-Crash

Anschließend kann die kontextadaptive Fahraufgabenallokation für die definierten Fahrzustände aus der folgenden Abbildung 6.4 abgeleitet werden (siehe Kapitel 3.3).

Fahraufgabe	Primäraufgaben					
	Stabilisierungsaufgabe			Führungsaufgabe		Navigationsaufgabe
	Lenken	Beschleunigen	Bremsen	Querführung	Längsführung	Navigieren
normal	oo	oo	oo	oo/+	oo/+	oo/o
kritisch	o	o	o	o	o	oo/o
Unfall unvermeidbar	++	++	++	-	-	-
Unfall	++	-	++	-	-	-
Post-Crash	-	-	-	-	-	-

- Fahraufgabe wird nicht ausgeführt.
- oo Fahraufgabe wird **vollständig vom Fahrer** ausgeführt.
- o Fahraufgabe wird **fahrergetriggert** ausgeführt und **durch das Fahrzeug unterstützt**.
- + Fahraufgabe wird **nach Aktivierung** durch den Fahrer **vom Fahrzeug autonom ausgeführt**.
- ++ Fahraufgabe wird **vollständig autonom vom Fahrzeug** ausgeführt.

Tabelle 6.4: Allgemeingültige Aufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug in Abhängigkeit vom Fahrzustand

Ausgehend von den Fahrzuständen und der abgeleiteten Fahraufgabenallokation muss nun ein zeitlich, logischer Aktionsablauf spezifiziert werden, der die in Tabelle 6.5 dargestellten fahrzustandsabhängigen Aktionen berücksichtigt.

Die Darstellung des zeitlich, logischen Aktionsablaufs kann dabei durch eine Grafik visualisiert werden. Abbildung 6.3 gibt ein Beispiel für die Darstellung des Aktionskonzeptes.

Fahrzustand	Aktion	Fahrzeugaufgabe
normal	informieren	Navigationsaufgabe
normal	handeln (nach aktiver Übergabe durch den Fahrer)	Führungsaufgabe
kritisch	warnen / unterstützen	Führungsaufgabe / Stabilisierungsaufgabe
Unfall unvermeidbar	handeln	Stabilisierungsaufgabe
Unfall unvermeidbar	handeln	Rückhaltesysteme auslösen
Unfall	handeln	Stabilisierungsaufgabe
Unfall	handeln	Rückhaltesysteme auslösen
Post-Crash	handeln	Notruf-/Hilfesysteme auslösen

Tabelle 6.5: Allgemeingültige fahrzustandsabhängige Aktionen und Fahraufgaben des Fahrzeuges

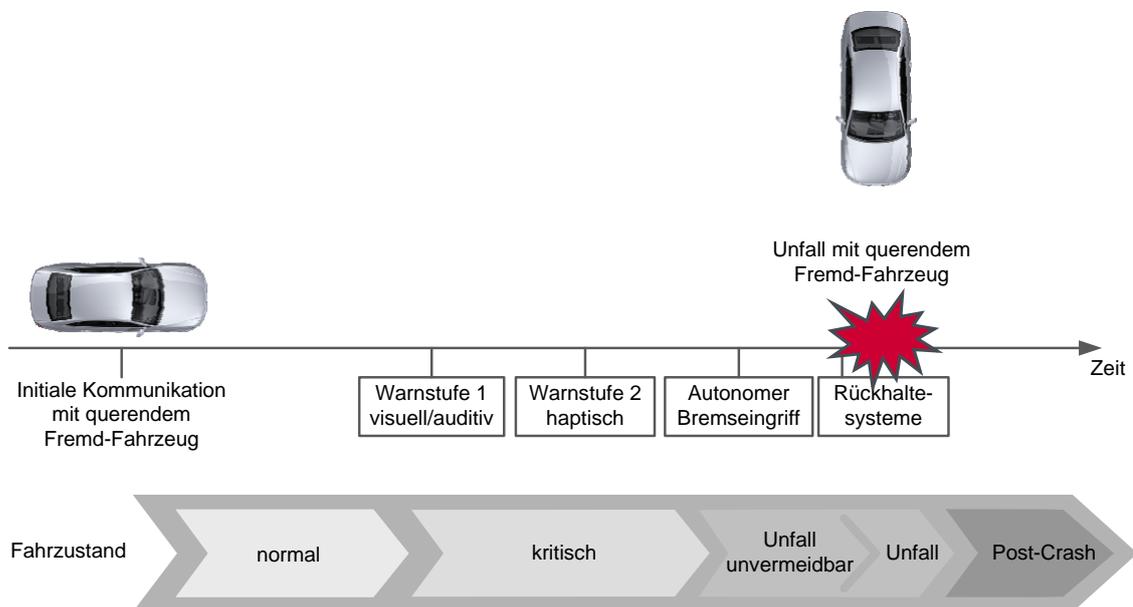


Abbildung 6.3: Beispiel eines zeitlich, logischen Aktionsablaufs

7 Fazit und Ausblick

Die Effektivität von Maßnahmen der passiven Fahrzeugsicherheit bezüglich Insassen- und Partnerschutz erreicht zunehmend eine Sättigung. Um diese Sättigung zu überwinden, müssen Systeme der aktiven Fahrzeugsicherheit zum Einsatz kommen und mit Maßnahmen der passiven Fahrzeugsicherheit verknüpft werden. Dieses Zusammenspiel verbunden mit Fahrerassistenzsystemen wird im Kontext dieser Arbeit als Integrale Fahrzeugsicherheit bezeichnet. Hauptziele der Integralen Fahrzeugsicherheit sind die Unfallvermeidung, die Unfallschwereminderung und die Steigerung des Fahrkomforts in unangenehmen Fahrsituationen (z.B. Stau, Einparken).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein allgemeingültiges Modell zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit zu entwickeln und zu beschreiben. Die Modellkomponenten sollten systematisch klassifiziert und Wechselwirkungen zur Beschreibung des Informationsflusses zwischen den Modellkomponenten sollten analysiert werden. Letztlich sollte daraus eine kontextadaptive Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug abgeleitet werden.

Bei der Recherche zum Stand der Forschung hat sich gezeigt, dass einige Lücken zur Beantwortung der Forschungsfrage existieren (siehe Kapitel 2). Es haben sich erweiterte Anforderungen an das Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit ergeben.

Als das Hauptergebnis dieser Arbeit ist ein Modell zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit entwickelt worden. Daraus lässt sich ableiten, dass zur umfangreichen Beschreibung zukünftiger Systeme der Integralen Fahrzeugsicherheit zunächst die Modellkomponenten „Fahrer“, „Fahrzeug“, „Umfeld“ und „Fahraufgabe“ spezifiziert werden müssen. Weiterhin müssen die funktionspezifischen Handlungen zur Beschreibung des Informationsflusses zwischen den Modellkomponenten beschrieben werden. Da das Fahrzeug im Modell der Integralen Fahr-

zeugsicherheit selbsttätig das Umfeld wahrnehmen, Situationen interpretieren und demnach auch selbsttätig Fahraufgaben übernehmen kann, ist es unabdingbar, dass eine kooperative Fahraufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug stattfindet. Diese sollte je nach Fahrzustand dynamisch adaptierbar sein. Für unterschiedliche Systeme der Integralen Fahrzeugsicherheit können systemspezifische Umsetzungen der Fahraufgabenallokation spezifiziert werden. Jedoch existieren allgemeingültige Regeln zur Umsetzung der Fahraufgabenallokation, die bei der Entwicklung zukünftiger Funktionen beachtet werden müssen. Zunächst einmal kann festgehalten werden, dass die Verantwortung der Kraftfahrzeugführung stets beim Fahrer liegt. In normalen Fahrzuständen führt der Fahrer Fahraufgaben selbsttätig aus. Er kann Aufgaben durch die aktive Initiierung an das Fahrzeug abgeben (z.B. ACC). In kritischen Fahrsituationen wird der Fahrer durch das Fahrzeug unterstützt. Dies geschieht durch die Unterstützung fahrergetriggelter Handlungen mit dem Ziel der Unfallvermeidung (z.B. Bremskraftunterstützung) und durch die Warnung vor kritischen Verkehrsszenarios durch das Fahrzeug. In Situationen, in denen ein Unfall unvermeidbar wird, übernimmt das Fahrzeug Fahraufgaben selbsttätig, um die Kollisionsschwere zu reduzieren und so das Ausmaß eines Unfalls zu minimieren (z.B. aktives Bremsen durch das Fahrzeug). In Unfall-Situationen werden letztendlich Rückhaltesysteme der passiven Fahrzeugsicherheit ausgelöst und Stabilisierungsaufgaben werden durch das Fahrzeug ausgeführt. In Situationen nach einem Unfall kann das Fahrzeug autonom oder durch manuelle Auslösung des Fahrers Notrufsysteme aktivieren, um das Retten und Bergen bestmöglich durchführen zu können.

Die Anwendung des Modells zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit in einer Fallstudie der Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation hat gezeigt, dass es zur Beschreibung zukünftiger Systeme weiterer tiefergehender Spezifikationsschritte bedarf. Jedoch stellt die Grobspezifikation der einzelnen Modellkomponenten die Grundlage der weiteren Schritte. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass durch die Grobspezifikation keine wesentlichen Komponenten für die Beschreibung zukünftiger Funktionen im Fahrer-Fahrzeug-Umfeld System vergessen werden. Der Entwickler geht dabei seiner Sorgfaltspflicht zur Einhaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen nach (siehe Kapitel 2.2.5).

Kapitel 5 hatte das Ziel anhand einer empirischen Studie das Modell zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit und dessen beispielhafte Anwendung in einer Fallstudie mit Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation zu überprüfen. Anhand einer experimentellen Laboruntersuchung im Fahrsimulator wurden die aufgestellten Hypothesen validiert. Als Ergebnis der empirischen Studie kann festgehalten werden, dass die aufgestellten Thesen zur fahrzustandsabhängigen Fahraufgabenallokation signifikant bestätigt werden können. Der Fahrer soll jederzeit die Kontrolle über die Kraftfahrzeugführung haben. Erst in kritischen Fahrzuständen soll er durch das Fahrzeug unterstützt werden. Und in Situationen in denen ein Unfall unvermeidbar wird, soll das Fahrzeug aktiv und autonom Fahraufgaben übernehmen. Weiterhin soll das Fahrzeug auch in normalen Fahrzuständen unliebsame Fahraufgaben durch aktive Übernahmeaufforderung des Fahrers an das Fahrzeug übernehmen. Ebenfalls kann aus der Fahrsimulatorstudie geschlossen werden, dass die Systemnutzung zu einer gesteigerten Nutzerakzeptanz von zukünftigen Systemen der Integralen Fahrzeugsicherheit führt. Auch wird die Systemwirkung nach der Systemnutzung gesteigert. Daher sollten neue Funktionen stets eingehend vom Fahrer in für ihn unkritischen Situationen erlebt werden. Dies kann z.B. anhand einer Fahrsimulation erfolgen. Somit wird dem Fahrer der Systemnutzen optimal vermittelt, so dass er in entsprechenden realen Verkehrsszenarien adäquat reagieren kann. Damit kann das Ziel der Unfallvermeidung und Unfallfolgenminderung besser erreicht werden. Zukünftige Forschungsaktivitäten sollten untersuchen, wie der Systemnutzen von Funktionen der Integralen Fahrzeugsicherheit an Fahrer unterschiedlicher Gruppen (siehe Kapitel 3.2.3) adäquat vermittelt werden kann.

Abschließend ist ein Leitfaden zur Anwendung des Modells zur fahrerzentrierten Beschreibung der Integralen Fahrzeugsicherheit extrahiert worden. Damit wird Entwicklern zukünftiger Systeme eine Bedienungsanleitung zur Anwendung des Modells gegeben, um das Modell einfacher in die Praxis überführen zu können.

Weiterführend sollte das Modell der Integralen Fahrzeugsicherheit nun in die Praxis überführt werden, um eine einheitliche Spezifikation von zukünftigen Systemen der Fahrzeugsicherheit zu erreichen. Dazu müssen die Templates für die Anwendung in Werkzeuge der Anforderungsdefinition (z.B. Doors) überführt werden.

Weiterhin ist eine Systematisierung zur Ableitung von Versuchsfällen aus den gegebenen Spezifikationen zu entwickeln, um das aufgestellte technische Konzept nach der Implementierung validieren zu können.

Für die Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation müssen technische Fragestellungen geklärt werden, um die Effekte der experimentellen Laboruntersuchung auch in realen Verkehrsszenarien realisieren zu können. So muss an technischen Lösungen zur Verbesserung der Ortungsgenauigkeit gearbeitet werden. Es muss eine sinnvolle Fusion von Kommunikations- und autarker Onboard-Sensorik entwickelt werden, um den größten Nutzen für die Wahrnehmung des Umfeldes durch das Fahrzeug zu erzielen. Weiterhin müssen Einführungsszenarien für die Car-to-Car und Car-to-Infrastructure Kommunikation definiert werden, um schnellstmöglich für die Funktionen notwendige Ausstattungsquoten zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- [AB09] ABENDROTH, Bettina ; BRUDER, Ralph: Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. Vieweg+Teubner Verlag, 2009
- [Ba02] BULD, Susanne ; AL. et: Wirkung von Assistenz und Automation auf Fahrzustand und Fahrsicherheit - Projekt EMPHASIS / Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften. 2002. – Forschungsbericht
- [Bai82] BAILEY, Robert W.: *Human performance engineering: A guide for system designers*. Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1982
- [BD06] BORTZ, Jürgen ; DÖRING, Nicola: *Forschungsmethoden und Evaluation*. Springer Verlag, 2006
- [Ber70] BERNOTAT, Rainer: Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. In: *Ergonomics* 13 (1970), S. 353–377
- [BHSR83] BENDA, Helga von ; HOYOS, Carl G. ; SCHAIBLE-RAPP, Agnes: Klassifikation und Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen: Bericht zum Forschungsprojekt 7320 der Bundesanstalt für Strassenwesen / Technische Universität München im Auftrag der BASt. 1983. – Forschungsbericht. – FP 7320
- [BLR09] BUXBAUM, Bernd ; LANGE, Robert ; RINGBECK, Thorsten: 3D-Imaging. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. Vieweg+Teubner Verlag, 2009

- [BMV] BMVBS: *Die eSafety Initiative der Europäischen Kommission*. Website, . – Available online at <http://www.bmvbs.de/Verkehr/Internationale-Verkehrspolitik/eSafety-3021.1023304/Die-eSafety-Initiative-der-Eur.htm> visited on May 25th 2010
- [Bub01] BUBB, Heiner: Haptik im Kraftfahrzeug. In: *Kraftfahrzeugführung*. Springer Verlag, 2001
- [Bun09] BUNDESAMT, Statistisches: Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2008 / Statistisches Bundesamt. Wiesbaden, 2009. – Forschungsbericht
- [Bur85] BURCKHARDT, Manfred ; MITSCHKE, Manfred (Hrsg.) ; FREDERICH, Fritz (Hrsg.): *Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen*. TÜV Rheinland GmbH, 1985
- [CW02] CHRISTOFFERSEN, Klaus ; WOODS, David D.: How to make automated systems team players. In: SALAS, Eduardo (Hrsg.): *Advances in Human Performance and Cognitive Engineering Research* Bd. 2. Elsevier Science Ltd., 2002, S. 1–12
- [DBF06] DEML, Barbara ; BLASCHKE, Christoph ; FÄRBER, Berthold: Prädiktion des Fahrstils zur adaptiven Auslegung von Assistenzsystemen. In: GRANDT, Morten (Hrsg.): *Cognitive Systems Engineering in der Fahrzeug- und Prozessführung*. Bonn : Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V., 2006
- [Des10] DESTATIS: *Verkehrsunfälle*. Website, 2010. – Available online at <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Statistiken/Verkehr/Verkehrsunfaelle/Verkehrsunfaelle.psml> visited on May 25th 2010
- [DIN04] *Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen*. 2004. – DIN EN ISO 6385
- [Dur97] DURTH, Walter: *Die Einführung des Regelkreises in die Grundlagen des Straßenentwurfes*. Website, 1997. – Available online at <http://www1.>

- tu-darmstadt.de/fb/bi/ifv/sw/durth/text3.pdf visited on March 5th 2010
- [End95] ENDSLEY, Mica R.: Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. In: *Human Factors* 37 (1995), S. 32–64
- [ETS09] ETSI: ETSI TR 102 698 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; C2C-CC Demonstrator 2008; Use Cases and Technical Specifications / European Telecommunications Standards Institute. 2009. – Forschungsbericht
- [Eur68] EUROPE, Economic C.: *Convention on Road Traffic*. Website, 1968. – Available online at <http://www.unece.org/trans/conventn/crt1968e.pdf> visited on July 21th 2008
- [Eur09] EUROPA, Auto C.: Rotlicht- und Stoppschild-Verstöße - Eine Recherche des ACE Auto Club Europa / Auto Club Europa. 2009. – Forschungsbericht
- [Fas95] FASTENMEIER, Wolfgang: Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem. In: *Autofahrer und Verkehrssituation. Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme*. TÜV Rheinland, 1995
- [Fe03] FLEMISCH, Frank O. ; ET al.: The H-Metaphor as a Guideline for Vehicle Automation and Interaction / NASA. Hampton, 2003 (NASA/TM-2003-212672). – Forschungsbericht
- [Fit51] FITTS, Paul M.: *Human engineering for an effective air-navigation and traffic control system*. Washington, D.C. : National Research Council, 1951
- [Fri09] FRICKE, Nicola: *Gestaltung zeit- und sicherheitskritischer Warnungen im Fahrzeug*, Technische Universität Berlin, Diss., 2009
- [Ged09] GEDULD, Georg: Lidarsensorik. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. Vieweg+Teubner Verlag, 2009

- [GG05] GRIFFITHS, Paul ; GILLESPIE, R. B.: Sharing Control Between Human and Automation Using Haptic Interface: Primary and Secondary Task Performance Benefits. In: *Human Factors* 47 (2005), S. 574–590
- [Gol02] GOLDSTEIN, E. B.: *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg, Berlin : Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 2002
- [Haa07] HAARMANN, Andrea: *Der Einsatz psychophysiologischer Variablen bei der adaptiven Automatisierung am Beispiel einer Flugsimulationsaufgabe*, Universität Wuppertal, Diss., 2007
- [Hac86] HACKER, Winfried: *Arbeitspsychologie, Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern : Hans Huber Verlag, 1986
- [Hal01] HALLER, Rudolf: Fahrer-Assistenz versus Fahrer-Bevormundung: Wie erreicht man, dass der Fahrer Herr der Situation bleibt? In: *Kraftfahrzeugführung*. Springer Verlag, 2001
- [HCL85] HANCOCK, Peter A. ; CHIGNELL, Mark H. ; LOEWENTHAL, Alex: An adaptive human-machine system. In: *IEEE Proceedings Conference on Systems, Man Cybernetics*. New York, 1985
- [HNM⁺09] HILLER, Andreas ; NEUMANN, Carsten ; MATTHES, Manuel ; FESTAG, Andreas ; SANTOS, Hugo ; ZHANG, Wenhui ; SORGE, Christoph ; WIECKER, Martin: Spezifikation der Kommunikationsprotokolle / Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland simTD. 2009. – Forschungsbericht
- [IEE03a] IEEE: IEEE Std 802.11a-1999(R2003) Supplement to IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements; Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band / Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2003. – Forschungsbericht
- [IEE03b] IEEE: IEEE Std 802.11b-1999(R2003) Supplement to IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and Information Ex-

- change Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements; Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band / Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2003. – Forschungsbericht
- [IEE03c] IEEE: IEEE Std 802.11g-2003 Supplement to IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements; Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band / Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2003. – Forschungsbericht
- [Jan01] JANSEN, Elke: Ältere Menschen im Straßenverkehr / Bundesanstalt für Straßenwesen. 2001 (M 134). – Forschungsbericht
- [Je77] JOHANNSEN, Gunnar ; ET al.: *Der Mensch im Regelkreis*. Oldenbourg Verlag, 1977
- [JE00] JONES, Debra G. ; ENDSLEY, Mica R.: Overcoming representational errors in complex environments. In: *Human Factors* 42 (3) (2000), S. 367–378
- [KB86] KIRCHNER, Johannes-Henrich ; BAUM, Eckart: *Mensch-Maschine-Umwelt: Ergonomie für Konstrukteure, Designer, Planer und Arbeitsgestalter*. Berlin : Beuth, 1986
- [KFG02] KRALLMANN, Hermann ; FRANK, Helmut ; GRONAU, Norbert: *Systemanalyse im Unternehmen*. Oldenbourg Verlag, 2002
- [KK09a] KRATZSCH, Claudia ; KRÖMKER, Heidi: Integrale Sicherheit - Erweiterung des Mensch-Maschine Regelkreises. In: WANDKE, Hartmut (Hrsg.) ; KAIN, Saskia (Hrsg.) ; STRUVE, Doreen (Hrsg.): *Mensch und Computer 2009: Grenzenlos frei!?* Berlin : Oldenbourg Verlag, 2009
- [KK09b] KRATZSCH, Claudia ; KRÖMKER, Heidi: Vehicle-to-Vehicle Communication for Enhanced Integrated Safety. In: ADMINISTRATION, National

- Highway Traffic S. (Hrsg.): *21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*. Stuttgart, 2009
- [Klu06] KLUWE, Rainer H.: Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung. In: *Ingenieurpsychologie*. Hogrefe Verlag, 2006
- [KNB⁺07] KNAPP, Andreas ; NEUMANN, Markus ; BROCKMANN, Martin ; WALZ, Rainer ; WINKLE, Thomas: Code of Practice zur Entwicklung und Validierung von Fahrerassistenzsystemen (ADAS) / RESPONSE 3 a PReVENT Project. 2007. – Forschungsbericht
- [Kon08] KONZERNUNFALLFORSCHUNG: *GIDAS 2007-06, Unfälle mit Pkw-Beteiligung ab 1991*. 2008. – Unfallanalyse
- [KW04] KRAJZEWICZ, Daniel ; WAGNER, Peter: Ansätze zur kognitiven Simulation eines Autofahrers. In: *MMI interaktiv* 07 (2004), S. 1–12
- [Lem05] LEMMER, Karsten: Mensch-Maschine-Interaktion. In: *Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Vieweg Verlag, 2005
- [LKF08] LÖPER, Cristian ; KELSCH, Johann ; FLEMISCH, Frank O.: Kooperative, manöverbasierte Automation und Arbitrierung als Baustein für hochautomatisiertes Fahren. In: VERKEHR BRAUNSCHWEIG, Gesamtzentrum für (Hrsg.): *Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel*. Braunschweig, 2008, S. 215–237
- [LSU06] LEIBER, Paul ; SPANNER-ULMER, Birgit: Veränderung der Kognition im Alter. In: GRANDT, Morten (Hrsg.): *Cognitive Systems Engineering in der Fahrzeug- und Prozessführung*. Bonn : Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V., 2006
- [Lun08] LUNZE, Jan: *Regelungstechnik 1: Systemtheoretische Grundlagen, Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen*. Springer Verlag, 2008
- [MA70] MCKNIGHT, A. J. ; ADAMS, Bert B.: Driver education task analysis. Volume 1: Task descriptions / Alexandria, Va. : Human Resources Research Organization. 1970. – Forschungsbericht

- [MP07] MILLER, Christopher A. ; PARASURAMAN, Raja: Designing for Flexible Interaction Between Humans and Automation: Delegation Interfaces for Supervisory Control. In: *Human Factors* 49 (2007), S. 57–75
- [Nag94] NAGEL, Hans-Hellmut: A Vision of 'Vision and Language' Comprises Action: An Example from Road Traffic. In: *Artificial Intelligence Review* 8 (1994), S. 189–214
- [NR09] NOLL, Martin ; RAPPS, Peter: Ultraschallsensorik. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. Vieweg+Teubner Verlag, 2009
- [OOG01] ONKEN, Reiner ; OTTO, Hans-Jörg ; GARREL, Udo von: Adaptive Modellierung des Fahrerverhaltens - Ein Kernelement für die kognitive Kooperation bei zukünftiger Fahrerassistenz. In: *Kraftfahrzeugführung*. Springer Verlag, 2001
- [OS09] ONKEN, Reiner ; SCHULTE, Axel: *System-ergonomic Design of Cognitive Automation - Dual-Mode Cognitive Design of Vehicle Guidance and Control Work Systems - Studies in Computational Intelligence*. Bd. 235. Heidelberg : Springer Verlag, 2009
- [PR97] PARASURAMAN, Raja ; RILEY, Victor: Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. In: *Human Factors* 39 (1997), S. 230–253
- [PZRR10] POPESCU-ZELETIN, Radu ; RADUSCH, Ilja ; RIGANI, Mihai A.: *Vehicular-2-X Communication - State-of-the-Art and Research in Mobile Vehicular Ad hoc Networks*. Springer Verlag, 2010
- [Ras82] RASMUSSEN, James: Human errors: a taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. In: *Journal of Occupational Accidants* 4 (1982), S. 311–333
- [Ras83] RASMUSSEN, James: Skills, rules and knowledge, signal, sign and symbols, and other distinctions in human performance models. In: *IEEE Transaction on Systems, Man Cybernetics* SMC-13 (1983), S. 257–266
- [Rau04] RAUCH, Nadja: *Belastung/Beanspruchung: Belastungsfaktoren*. Website, 2004. – Available online visited on March 21th 2010

- [Rea90] REASON, James: *Human error*. Cambridge University Press, 1990
- [Red97] REDMILL, Felix: *Software Projects: Evolutionary vs. Big-Bang Delivery*. John Wiley & Sons Ltd, 1997
- [Rou91] ROUSE, William B.: *Design for success: a human-centered approach to designing succesful products and systems*. New York : John Wiley & Sons, 1991
- [RTK10] RONNERBERGER, Torsten ; THUM, Daniela ; KRATZSCH, Claudia: Konzepte zur Entwicklung, Integration und Vernetzung von Car-to-X Funktionen. In: *Tagungsband 8. Workshop Automotive Software Engineering*, 2010
- [SBD09] STILLER, Christoph ; BACHMANN, Alexander ; DUCHOW, Christian: Maschinelles Sehen. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. Vieweg+Teubner Verlag, 2009
- [Sch07] SCHWARZ, Jürgen: *Code of Practice für die Entwicklung, Validierung und Markteinführung von künftigen Fahrerassistenzsystemen*. Website, 2007. – Available online visited on September 11th 2010
- [She92] SHERIDAN, Thomas B.: *Telerobotics, automation and human supervisory control*. Cambridge : MIT Press, 1992
- [She98] SHERIDAN, Thomas B.: *Rumination on Automation*. Annual Reviews in Control, 1998, 1998 (25). – 89–97 S.
- [She02] SHERIDAN, Thomas B.: *Humans and automation: system design and research issues*. Human Factors and Ergonomics Society & Wileys, 2002
- [Sta10] STAUBACH, Maria: *Identifikation menschlicher Einflüsse auf Verkehrsunfälle als Grundlage zur Beurteilung von Fahrerassistenzsystem-Potentialen*, Technischen Universität Dresden, Diss., 2010
- [SV78] SHERIDAN, Thomas B. ; VERPLANK, William L.: Human and computer control of undersea teleoperators / Massachusetts Institute of Technology, Man-Machine Systems Lab. Cambridge, 1978. – Forschungsbericht

- [Tim01] TIMPE, Klaus-Peter: Fahrzeugführung: Anmerkungen zum Thema. In: *Kraftfahrzeugführung*. Springer Verlag, 2001
- [WG08] WIDMANN, Ulrich ; GOLLEWSKI, Torsten: Herausforderungen Integrale Sicherheit. In: *Karosseriebautage 2008 Hamburg*. Wiesbaden : Vieweg Technology Forum, 2008
- [Wil03] WILTSCHKO, Thomas: Mikroskopische Unfallanalyse zur Identifikation von Wirkungsfeldern zukünftiger Fahrerassistenzsysteme. In: *Tagungsband 19. Verkehrswissenschaftliche Tage, Dresden, 2003*
- [Win09] WINNER, Hermann: Radarsensorik. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. Vieweg+Teubner Verlag, 2009
- [WJ97] WILLUMEIT, Hans ; JÜRGENSOHN, Thomas: Fahrermodelle. Ein kritischer Überblick. Teil 1. In: *Automobiltechnische Zeitschrift ATZ* 99 7 und 8 (1997), S. 424–428
- [WKAH10] WALDMANN, Peter ; KAEMPCHEN, Nico ; ARDELT, Michael ; HOMM, Florian: Der Nothalteassistent - abgesichertes Anhalten bei plötzlicher Fahruntfähigkeit des Fahrzeugführers. In: *3. Deutscher Kongress - Assistenzsysteme im Dienste des Menschen: zuhause und unterwegs*, 2010
- [WMBK09] WINKLE, Thomas ; MÖNNICH, Jörg ; BAKKER, Jörg ; KOHSIEK, Anja: GIDAS-Wirkfeldanalyse ausgewählter simTD-Anwendungsfälle zur Darstellung eines maximal anzunehmenden Wirkungsfeldes / Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland simTD. 2009. – Forschungsbericht
- [Zim01] ZIMMER, Alf: Wie intelligent darf/muss ein Auto sein? Anmerkungen aus ingenieurspsychologischer Sicht. In: *Kraftfahrzeugführung*. Springer Verlag, 2001

Abbildungsverzeichnis

1.1	Entwicklung der Zahl der im Straßenverkehr Getöteten 1953 bis 2009 [Des10]	2
1.2	Aufbau der Arbeit	7
2.1	Aufbau des Kapitels	8
2.2	Fahrer-Fahrzeug-Regelsystem nach [Je77]	9
2.3	Fahrer-Fahrzeug-Regelsystem nach [Bub01]	12
2.4	Fahrer-Fahrzeug-Modell nach [Tim01]	13
2.5	Fahrer-Fahrzeug-Modell nach [Lem05]	14
2.6	Rahmenmodell des Situation Awareness Ansatzes nach [End95] [Klu06]	22
2.7	Informationsfluss im Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modell nach [Bub01] [Dur97] [KW04]	26
2.8	Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen [Bur85]	27
2.9	Zweidimensionale Ansicht der Automatisierungsgrade und Funktions- klassen am Beispiel einer Roboteraufgabe in der Produktion modifi- ziert nach [She98]	31
2.10	Konventionelle versus kognitive Automation [OOG01]	32
2.11	Von exklusiver Kontrolle zu gemeinsamer Kontrolle („ <i>Shared Con- trol</i> “, „ <i>Cooperative Control</i> “) [LKF08]	33
2.12	Kooperative Automation und Mensch [LKF08]	34
2.13	Unterstützungsgrade und Kontrolllevel zwischen Fahrer und Fahrzeug [Hal01]	35
2.14	Fehlverhalten der Fahrzeugführer bei Unfällen mit Personenschaden im Straßenverkehr 2008 [Bun09]	38

2.15	Modell der internalen Fehlerfunktion adaptiert für die Fahrzeugführung nach Rasmussen [Ras82] [Zim01]	40
2.16	Zusammenfassung gefährlicher Handlungen nach Reason [Rea90] . . .	41
2.17	Ursachen menschlichen Fehlverhaltens [Hac86]	41
3.1	Aufbau des Kapitels	51
3.2	Integrale Sicherheit im zeitlichen Kontext	52
3.3	Draufsicht des Modells der Integralen Fahrzeugsicherheit modifiziert nach [KK09b]	55
3.4	Komponenten der Fahrzeugsysteme	63
3.5	Aufgabenallokation bei normalem Fahrzustand	76
3.6	Aufgabenallokation bei kritischem Fahrzustand	76
3.7	Aufgabenallokation bei Unfall unvermeidbarem Fahrzustand	76
3.8	Aufgabenallokation bei Fahrzustand Unfall	76
3.9	Aufgabenallokation bei Fahrzustand Post-Crash	77
4.1	Aufbau des Kapitels	78
4.2	Unfallhäufigkeiten - Verteilung auf Unfallebene aus GIDAS [Kon08] .	80
4.3	Wirkfeld Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistent [WMBK09]	80
4.4	Schaubild Car-2-Car Kommunikation Kreuzungsassistent	81
4.5	KAS Anforderungen an die Aktorik	85
4.6	Blockschaltbild Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistent . . .	86
4.7	Wirkfeld Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung [WMBK09]	91
4.8	Schaubild Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung	92
4.9	RLV Anforderungen an die Aktorik	96
4.10	Blockschaltbild Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung	97
5.1	Aufbau des Kapitels	100
5.2	Selbsteinschätzung des Fahrzustandes durch Probanden	113
5.3	Bedarf kontextadaptiver Fahraufgabenallokation (absolute Häufigkeiten)	114

5.4	Bedarf kontextadaptiver Fahraufgabenallokation (relative Häufigkeiten in Prozent)	115
5.5	Median der einzelnen Kategorien zur Nutzerakzeptanz KAS	116
5.6	Nutzerakzeptanz Kategorie Sicherheit KAS	117
5.7	Nutzerakzeptanz Kategorie Kontrolle KAS	117
5.8	Nutzerakzeptanz Kategorie Störung/Ablenkung KAS	118
5.9	Nutzerakzeptanz Kategorie Spaß KAS	118
5.10	Median der einzelnen Kategorien zur Nutzerakzeptanz RLV	119
5.11	Nutzerakzeptanz Kategorie Sicherheit RLV	119
5.12	Nutzerakzeptanz Kategorie Kontrolle RLV	120
5.13	Nutzerakzeptanz Kategorie Störung/Ablenkung RLV	120
5.14	Nutzerakzeptanz Kategorie Spaß RLV	121
5.15	Absolute Unfallhäufigkeiten KAS	122
5.16	Relative Unfallhäufigkeiten KAS	122
5.17	Abstand zur Konfliktzone bei Gaspedalstellung = 0	123
5.18	Abstand zur Konfliktzone bei Bremspedalstellung > 0	124
5.19	absolute Häufigkeiten Fahrerreaktion vor Unfall	125
5.20	relative Häufigkeiten Fahrerreaktion vor Unfall	125
5.21	Absolute Häufigkeiten Rotlichtverstoß	127
5.22	Relative Häufigkeiten Rotlichtverstoß	127
5.23	Abstand zur Konfliktzone bei Gaspedalstellung = 0	128
5.24	Abstand zur Konfliktzone bei Bremspedalstellung > 0	129
5.25	Absolute Häufigkeiten Fahrerreaktion vor Rotlichtverstoß	129
5.26	Absolute Häufigkeiten Fahrerreaktion vor Rotlichtverstoß	130
6.1	Aufbau des Kapitels	135
6.2	V-Modell nach [Red97]	136
6.3	Beispiel eines zeitlich, logischen Aktionsablaufs	143

Tabellenverzeichnis

2.1	Bewertung des Fahrer-Fahrzeug-Regelsystem von Johannsen et al. . . .	11
2.2	Bewertung des Fahrer-Fahrzeug-Regelsystem von Bubb	13
2.3	Bewertung des Fahrer-Fahrzeug-Modells von Timpe	14
2.4	Bewertung des Fahrer-Fahrzeug-Modells von Lemmer	15
2.5	Bewertung und Vergleich der Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Modelle	16
2.6	Klassifizierung der Fahraufgabe nach [Tim01] [Bub01]	18
2.7	Klassifizierung des Umfelds nach [BHSR83] und [Fas95]	20
2.8	Beispiele für die Unterstützung von Funktionen der menschlichen In- formationsverarbeitung [Tim01]	25
2.9	Überblick der autarken Umfeldsensoren im Fahrzeug	25
2.10	MABA-MABA Liste modifiziert nach [Fit51], [KB86]	29
2.11	Komplexität von Verkehrssituationen nach [Fas95]	36
2.12	Fehlhandlungsklassifikation nach [Sta10]	42
2.13	Einflussfaktoren von Fehlhandlungen vs. Systeme der Integralen Fahr- zeugsicherheit	43
2.14	IEEE 802.11 Standard Spezifikationen [PZRR10]	47
3.1	Erweiterte Klassifizierung der Fahraufgabe modifiziert nach [Tim01] [Bub01]	59
3.2	Klassifizierung des Fahrers	60
3.3	Klassifikation des Fahrumgebungsumfeldes	66
3.4	Verkehrsszenario beschreibende Elemente	67
3.5	Wahrnehmung von Umfeldelementen durch Fahrer und Fahrzeug . . .	69
3.6	Einfluss von Umfeldelementen auf die Fahraufgabe	71

3.7	Aufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug in Abhängigkeit vom Fahrzustand	74
3.8	Fahrzustand-adaptive Aktionen und Fahraufgaben des Fahrzeuges . .	75
4.1	Grobspezifikation der Modellkomponenten des Kreuzungsassistenten .	82
4.2	KAS Anforderungen an den Kommunikationssensor	84
4.3	KAS Anforderungen an den Algorithmus	85
4.4	Lichtsignalüberfahrten ACE-Studie [Eur09]	91
4.5	Grobspezifikation der Modellkomponenten der Rotlichtverstoß-Warnung	93
4.6	RLV Anforderungen an den Kommunikationssensor	95
4.7	RLV Anforderungen an den Algorithmus	96
5.1	Übersicht der zu prüfenden Hypothesen	102
5.2	Items des Akzeptanzfragebogens nach [Fri09]	104
5.3	Versuchsfall mit Merkmalsausprägungen für KAS	107
5.4	Versuchsfall mit Merkmalsausprägungen für RLV	108
5.5	Methoden zur Auswertung der Hypothese H.01	109
5.6	Methoden zur Auswertung der Hypothesen H.02 und H.03	110
5.7	Randomisierung der Systemaktivität in den Probandengruppen . . .	111
5.8	Durchführung der empirischen Untersuchung im Fahrsimulator	112
6.1	Template zur Spezifikation des allgemeinen Teils der Funktion	138
6.2	Template zur Spezifikation der Modellkomponenten der Funktion . .	140
6.3	Template zur Spezifikation der Umfeldwahrnehmung der Funktion . .	141
6.4	Allgemeingültige Aufgabenallokation zwischen Fahrer und Fahrzeug in Abhängigkeit vom Fahrzustand	142
6.5	Allgemeingültige fahrzustandsabhängige Aktionen und Fahraufgaben des Fahrzeuges	143

Abkürzungsverzeichnis

2D	Zwei-Dimensional
3D	Drei-Dimensional
ABS	Anti-Blockier-System
ACC	Adaptive Cruise Control
C2C	Car-to-Car
C2I	Car-to-Infrastructure
C2X	Car-to-X
CAN	Controller Area Network
CoP	Code of Practice
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
ESP	Elektronisches Stabilisierungsprogramm
FAS	Fahrerassistenzsysteme
FFU	Fahrer-Fahrzeug-Umfeld
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HMI	Human-Machine Interface
HSPA	High Speed Packet Access
IA	Informationsaufnahme
ITS	Intelligent Transport Systems
IU	Informationsumsetzung
IV	Informationsverarbeitung
KAS	Car-to-Car Kommunikation Kreuzungsassistent
LOA	Level of Automation
LSA	Lichtsignalanlage
MABA-MABA	Men are better at - Machines are better at

PMD	Photonic Mixer Device
RLV	Car-to-Infrastructure Kommunikation Rotlichtverstoß-Warnung
TTA	Time to Avoidance
TTC	Time to Collision
TTSL	Time to StopLine
TTX	Time to Intersection
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WLAN	Wireless Local Area Network
WVÜ	Wiener Vertrags-Übereinkommen

Anhang

Anhang A Umfeldwahrnehmung durch Fahrzeugsensoren

Umfeld			vorausschauende Sensorik							
			Radar	Lidar	Ultraschall	Kamera	PMD	Laser-scanner	Car-to-X Kommunikation	
statische Objekte	Verkehrszeichen	sichtbar	o	-	-	+	o	-	+	
		nicht sichtbar	o	-	-	-	-	-	+	
	Straßen		-	o	-	+	+	o	+	
	Gebäude		o	+	+	+	+	+	-	
	Bepflanzung		o	+	+	+	+	+	-	
dynamische Objekte	Fahrzeuge	nicht verdeckt	+	+	+	+	+	+	+	
		verdeckt	o	-	-	-	-	-	+	
	Radfahrer	nicht verdeckt	o	+	+	+	+	+	o	
		verdeckt	o	-	-	-	-	-	o	
	Fußgänger	nicht verdeckt	o	+	+	+	+	+	o	
		verdeckt	o	-	-	-	-	-	o	
	Lichtsignalanlagen	sichtbar	-	-	-	+	o	-	+	
		nicht sichtbar	-	-	-	-	-	-	+	
	Wechselverkehrszeichen	sichtbar	-	-	-	+	o	-	+	
		nicht sichtbar	-	-	-	-	-	-	+	
Ereignisse	Unfall	nicht verdeckt	o	o	-	o	o	o	+	
		verdeckt	-	-	-	-	-	-	+	
	Panne	nicht verdeckt	o	o	-	-	-	-	+	
		verdeckt	-	-	-	-	-	-	+	
	Baustelle	nicht verdeckt	o	o	-	o	o	o	+	
		verdeckt	-	-	-	-	-	-	+	
	Objekte auf der Fahrbahn	nicht verdeckt	o	o	o	+	+	+	+	
		verdeckt	-	-	-	-	-	-	+	
	Meteorologische Daten	Temperatur		-	-	-	-	-	+	
		Wind		-	-	-	-	-	+	
		Niederschlag		o	o	-	o	o	o	+
		Bewölkung		-	-	-	o	-	-	-
		Sichtweite		o	o	-	o	o	o	+
	Verkehrslage	freier Verkehr		+	+	-	+	+	+	+
		wenig Verkehr		+	+	-	+	+	+	+
		dichter Verkehr	sichtbar	+	+	-	+	+	+	+
			nicht sichtbar	o	-	-	-	-	-	+
Stau		sichtbar	+	+	-	+	+	+	+	
		nicht sichtbar	-	-	-	-	-	-	+	

- Umfeldelement kann **nicht wahrgenommen** werden.
- o Umfeldelement kann **nur bedingt wahrgenommen** werden.
- + Umfeldelement kann **wahrgenommen** werden.

Anhang B Fragebogen

Fragebogen

F_1.1 Wie würden Sie den Fahrzustand in dem Sie sich gerade befinden einschätzen?

normal	kritisch	Unfall
--------	----------	--------

F_1.2 Wer sollte Ihrer Meinung die Fahraufgabe in der gerade erlebten Situation übernehmen?

Fahrer

trifft zu						trifft nicht zu
-----------	--	--	--	--	--	-----------------

Fahrzeug

trifft zu						trifft nicht zu
-----------	--	--	--	--	--	-----------------

Warum?

F_1.3 Wie gut fanden Sie die vom Fahrzeug ausgeführte Aktion in der gerade erlebten Situation?

sehr gut						gar nicht gut
----------	--	--	--	--	--	---------------

Warum? Alternative?

F_2.1 Wie hilfreich fanden Sie den Assistenten in der gerade erlebten Situation?

sehr hilfreich						gar nicht hilfreich
----------------	--	--	--	--	--	---------------------

F_3.1

Akzeptanzfragebogen**Durch die Nutzung des Systems würde ich...**

... mich sicherer fühlen.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... sicherer fahren.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... noch lieber Auto fahren.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... mich in meiner persönlichen Freiheit eingeschränkt fühlen.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... verantwortungsvoller fahren.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... durch die Warnung/Anzeige genervt werden.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... bei der Anwesenheit von Mitfahrern peinlich berührt sein.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... mehr Spaß am Fahren haben.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... mich kontrolliert fühlen.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... durch die Warnung abgelenkt werden.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... mich bevormundet fühlen.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

... das Fahren unterhaltsamer finden.

trifft zu

--	--	--	--	--

trifft nicht zu

Angaben zur Person

F_4.1 **Geschlecht**

weiblich	männlich
----------	----------

F_4.2 **Alter**

F_4.3 **Tätigkeitsbereich (z.B. Entwicklung, Vertrieb, Marketing, Produktion)**

F_4.4a **Seid wie vielen Jahren fahren Sie aktiv Auto?**

F_4.4b **Wie viele Kilometer fahren Sie ca. pro Jahr?**

F_4.4c **Wo fahren Sie am häufigsten?** Stadt Land Autobahn
Bitte Zutreffendes unterstreichen!

F_4.5 **Wie schätzen Sie Ihren Fahrstil ein?** komfortabel moderat sportlich
Bitte Zutreffendes unterstreichen!

F_4.6 **Welche der Aussagen trifft für Sie zu?**

Über neue technische Innovationen in der Unterhaltungselektronik informiere ich mich gern.

trifft zu

--	--	--	--	--

 trifft nicht zu

Über neue technische Innovationen in der Fahrzeugelektronik informiere ich mich gern.

trifft zu

--	--	--	--	--

 trifft nicht zu

Ich kaufe mir immer neue technische Innovationen der Unterhaltungselektronik.

trifft zu

--	--	--	--	--

 trifft nicht zu

Ich kaufe mir immer neue technische Innovationen der Fahrzeugelektronik.

trifft zu

--	--	--	--	--

 trifft nicht zu

Anhang C Statistische Tabellen

Selbsteinschätzung des Fahrzustandes durch Probanden

Fahrzustand * Bewerter des Fahrzustandes Kreuztabelle

			Bewerter des Fahrzustandes		Gesamt
			Proband	System	
Fahrzustand	Unfall	Anzahl	27	29	56
		Erwartete Anzahl	28,0	28,0	56,0
	kritisch	Anzahl	43	88	131
		Erwartete Anzahl	65,5	65,5	131,0
	normal	Anzahl	114	67	181
		Erwartete Anzahl	90,5	90,5	181,0
Gesamt	Anzahl	184	184	368	
	Erwartete Anzahl	184,0	184,0	368,0	

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	27,734	2	,000
Likelihood-Quotient	28,194	2	,000
Zusammenhang linear-mit-linear	12,308	1	,000
Anzahl der gültigen Fälle	368		

H.01 Bedarf kontextadaptive Fahraufgabenallokation

Bedarf Fahraufgabenallokation * Fahrzustand Kreuztabelle

			Fahrzustand			Gesamt
			Unfall	kritisch	normal	
Bedarf Fahraufgaben- allokation	Fahrer ++	Anzahl	0	24	58	82
		Erwartete Anzahl	12,9	39,2	29,9	82,0
	Fahrer +	Anzahl	6	33	5	44
		Erwartete Anzahl	6,9	21,0	16,0	44,0
	Fahrer/Fahrzeug	Anzahl	8	22	3	33
		Erwartete Anzahl	5,2	15,8	12,0	33,0
	Fahrzeug +	Anzahl	9	8	0	17
		Erwartete Anzahl	2,7	8,1	6,2	17,0
	Fahrzeug ++	Anzahl	6	1	1	8
		Erwartete Anzahl	1,3	3,8	2,9	8,0
	Gesamt	Anzahl	29	88	67	184
		Erwartete Anzahl	29,0	88,0	67,0	184,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	112,833	8	,000
Likelihood-Quotient	118,386	8	,000
Zusammenhang linear-mit-linear	78,096	1	,000
Anzahl der gültigen Fälle	184		

H.02a Nutzerakzeptanz KAS

KAS Kategorie Sicherheit

Sicherheit * Gruppe Kreuztabelle

			Gruppe		Gesamt
			Proband	Kontrollgruppe	
Sicherheit	trifft nicht zu	Anzahl	0	5	5
		Erwartete Anzahl	2,5	2,5	5,0
	trifft eher nicht zu	Anzahl	2	15	17
		Erwartete Anzahl	8,6	8,4	17,0
	neutral	Anzahl	13	17	30
		Erwartete Anzahl	15,2	14,8	30,0
	trifft eher zu	Anzahl	17	6	23
		Erwartete Anzahl	11,6	11,4	23,0
	trifft zu	Anzahl	14	2	16
		Erwartete Anzahl	8,1	7,9	16,0
	Gesamt	Anzahl	46	45	91
		Erwartete Anzahl	46,0	45,0	91,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	29,728	4	,000	,000		
Likelihood-Quotient	34,314	4	,000	,000		
Exakter Test nach Fisher	30,480			,000		
Zusammenhang linear-mit-linear	28,533	1	,000	,000	,000	,000
Anzahl der gültigen Fälle	91					

KAS Kategorie Kontrolle

Kontrolle * Gruppe Kreuztabelle

			Gruppe		Gesamt
			Proband	Kontrollgruppe	
Kontrolle	trifft nicht zu	Anzahl	28	12	40
		Erwartete Anzahl	20,2	19,8	40,0
	trifft eher nicht zu	Anzahl	9	17	26
		Erwartete Anzahl	13,1	12,9	26,0
	neutral	Anzahl	6	8	14
		Erwartete Anzahl	7,1	6,9	14,0
	trifft eher zu	Anzahl	3	7	10
		Erwartete Anzahl	5,1	4,9	10,0
	trifft zu	Anzahl	0	1	1
		Erwartete Anzahl	,5	,5	1,0
	Gesamt	Anzahl	46	45	91
		Erwartete Anzahl	46,0	45,0	91,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	11,738	4	,019	,012		
Likelihood-Quotient	12,392	4	,015	,014		
Exakter Test nach Fisher	11,604			,012		
Zusammenhang linear-mit-linear	8,066	1	,005	,005	,003	,001
Anzahl der gültigen Fälle	91					

KAS Kategorie Störung/Ablenkung**Störung/Ablenkung * Gruppe Kreuztabelle**

			Gruppe		Gesamt
			Proband	Kontrollgruppe	
Störung/Ablenkung trifft nicht zu	Anzahl		18	2	20
	Erwartete Anzahl		10,1	9,9	20,0
trifft eher nicht zu	Anzahl		21	18	39
	Erwartete Anzahl		19,7	19,3	39,0
neutral	Anzahl		5	18	23
	Erwartete Anzahl		11,6	11,4	23,0
trifft eher zu	Anzahl		2	6	8
	Erwartete Anzahl		4,0	4,0	8,0
trifft zu	Anzahl		0	1	1
	Erwartete Anzahl		,5	,5	1,0
Gesamt	Anzahl		46	45	91
	Erwartete Anzahl		46,0	45,0	91,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	23,370	4	,000	,000		
Likelihood-Quotient	26,222	4	,000	,000		
Exakter Test nach Fisher	24,286			,000		
Zusammenhang linear-mit-linear	20,358	1	,000	,000	,000	,000
Anzahl der gültigen Fälle	91					

KAS Kategorie Spaß

Spaß * Gruppe Kreuztabelle

			Gruppe		Gesamt
			Proband	Kontrollgruppe	
Spaß	trifft nicht zu	Anzahl	11	27	38
		Erwartete Anzahl	19,2	18,8	38,0
	trifft eher nicht zu	Anzahl	13	11	24
		Erwartete Anzahl	12,1	11,9	24,0
	neutral	Anzahl	12	5	17
		Erwartete Anzahl	8,6	8,4	17,0
	trifft eher zu	Anzahl	8	2	10
		Erwartete Anzahl	5,1	4,9	10,0
	trifft zu	Anzahl	2	0	2
		Erwartete Anzahl	1,0	1,0	2,0
Gesamt	Anzahl	46	45	91	
	Erwartete Anzahl	46,0	45,0	91,0	

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	15,377	4	,004	,002		
Likelihood-Quotient	16,705	4	,002	,003		
Exakter Test nach Fisher	14,883			,003		
Zusammenhang linear-mit-linear	14,711	1	,000	,000	,000	,000
Anzahl der gültigen Fälle	91					

H.02b Nutzerakzeptanz RLV RLV Kategorie Sicherheit

Sicherheit * Gruppe Kreuztabelle

			Gruppe		Gesamt
			Proband	Kontrollgruppe	
Sicherheit	trifft nicht zu	Anzahl	0	2	2
		Erwartete Anzahl	1,0	1,0	2,0
	trifft eher nicht zu	Anzahl	4	12	16
		Erwartete Anzahl	7,7	8,3	16,0
	neutral	Anzahl	10	19	29
		Erwartete Anzahl	14,0	15,0	29,0
	trifft eher zu	Anzahl	17	9	26
		Erwartete Anzahl	12,6	13,4	26,0
	trifft zu	Anzahl	11	3	14
		Erwartete Anzahl	6,8	7,2	14,0
	Gesamt	Anzahl	42	45	87
		Erwartete Anzahl	42,0	45,0	87,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	15,741	4	,003	,002		
Likelihood-Quotient	17,057	4	,002	,002		
Exakter Test nach Fisher	15,174			,003		
Zusammenhang linear-mit-linear	14,750	1	,000	,000	,000	,000
Anzahl der gültigen Fälle	87					

RLV Kategorie Kontrolle

Kontrolle * Gruppe Kreuztabelle

			Gruppe		Gesamt
			Proband	Kontrollgruppe	
Kontrolle	trifft nicht zu	Anzahl	24	23	47
		Erwartete Anzahl	22,7	24,3	47,0
	trifft eher nicht zu	Anzahl	11	10	21
		Erwartete Anzahl	10,1	10,9	21,0
	neutral	Anzahl	3	7	10
		Erwartete Anzahl	4,8	5,2	10,0
	trifft eher zu	Anzahl	4	4	8
		Erwartete Anzahl	3,9	4,1	8,0
	trifft zu	Anzahl	0	1	1
		Erwartete Anzahl	,5	,5	1,0
	Gesamt	Anzahl	42	45	87
		Erwartete Anzahl	42,0	45,0	87,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	2,569	4	,632	,682		
Likelihood-Quotient	2,997	4	,558	,682		
Exakter Test nach Fisher	2,528			,682		
Zusammenhang linear-mit-linear	,780	1	,377	,416	,219	,056
Anzahl der gültigen Fälle	87					

RLV Kategorie Störung/Ablenkung

Störung/Ablenkung * Gruppe Kreuztabelle

			Gruppe		Gesamt
			Proband	Kontrollgruppe	
Störung/Ablenkung trifft nicht zu	Anzahl	14	14	28	
	Erwartete Anzahl	13,5	14,5	28,0	
trifft eher nicht zu	Anzahl	20	16	36	
	Erwartete Anzahl	17,4	18,6	36,0	
neutral	Anzahl	7	12	19	
	Erwartete Anzahl	9,2	9,8	19,0	
trifft eher zu	Anzahl	1	2	3	
	Erwartete Anzahl	1,4	1,6	3,0	
trifft zu	Anzahl	0	1	1	
	Erwartete Anzahl	,5	,5	1,0	
Gesamt	Anzahl	42	45	87	
	Erwartete Anzahl	42,0	45,0	87,0	

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	2,994	4	,559	,578		
Likelihood-Quotient	3,399	4	,493	,578		
Exakter Test nach Fisher	2,996			,585		
Zusammenhang linear-mit-linear	1,455	1	,228	,279	,140	,047
Anzahl der gültigen Fälle	87					

RLV Kategorie Spaß

Spaß * Gruppe Kreuztabelle

			Gruppe		Gesamt
			Proband	Kontrollgruppe	
Spaß	trifft nicht zu	Anzahl	10	28	38
		Erwartete Anzahl	18,3	19,7	38,0
	trifft eher nicht zu	Anzahl	11	13	24
		Erwartete Anzahl	11,6	12,4	24,0
	neutral	Anzahl	17	2	19
		Erwartete Anzahl	9,2	9,8	19,0
	trifft eher zu	Anzahl	3	2	5
		Erwartete Anzahl	2,4	2,6	5,0
	trifft zu	Anzahl	1	0	1
		Erwartete Anzahl	,5	,5	1,0
	Gesamt	Anzahl	42	45	87
		Erwartete Anzahl	42,0	45,0	87,0

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	21,657	4	,000	,000		
Likelihood-Quotient	24,082	4	,000	,000		
Exakter Test nach Fisher	22,580			,000		
Zusammenhang linear-mit-linear	16,516	1	,000	,000	,000	,000
Anzahl der gültigen Fälle	87					

Unfallhäufigkeit KAS

Fahrzustand * Warnausgabe Kreuztabelle

			Warnausgabe		Gesamt
			Warnung	keine Warnung	
Fahrzustand	Unfall	Anzahl	24	45	69
		Erwartete Anzahl	34,5	34,5	69,0
	kein Unfall	Anzahl	41	20	61
		Erwartete Anzahl	30,5	30,5	61,0
Gesamt	Anzahl	65	65	130	
	Erwartete Anzahl	65,0	65,0	130,0	

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	13,621	1	,000		
Kontinuitätskorrekturb	12,354	1	,000		
Likelihood-Quotient	13,873	1	,000		
Exakter Test nach Fisher				,000	,000
Zusammenhang linear-mit-linear	13,516	1	,000		
Anzahl der gültigen Fälle	130				

KAS Abstand Konfliktzone bei Gaspedalstellung gleich null

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Abstand vor Konfliktzone bei Gaspedalstellung=0
N		110
Parameter der Normalverteilung ^{a, b}	Mittelwert	14,7112
	Standardabweichung	11,53513
Extremste Differenzen	Absolut	,117
	Positiv	,117
	Negativ	-,101
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,228
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,098

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Ränge

Warnausgabe	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Warnung	50	81,81	4090,50
Abstand vor Konfliktzone bei Gaspedalstellung=0 keine Warnung	60	33,58	2014,50
Gesamt	110		

Statistik für Test

	Abstand vor Konfliktzone bei Gaspedalstellung=0
Mann-Whitney-U	184,500
Wilcoxon-W	2014,500
Z	-7,938
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000

KAS Abstand Konfliktzone bei Bremspedalstellung größer null

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Abstand vor Konfliktzone bei Bremspedalst ellung>0
N		130
Parameter der Normalverteilung ^{a, b}	Mittelwert	10,3046
	Standardabweichung	10,14870
Extremste Differenzen	Absolut	,155
	Positiv	,145
	Negativ	-,155
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,767
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,004

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

KAS Abstand Konfliktzone bei Bremspedalstellung größer null

Test bei unabhängigen Stichproben

	Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
	F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
								Untere	Obere
Abstand vor Konfliktzone bei Bremspedalstellung > 0	28,390	,000	7,648	128	,000	11,32378	1,48057	8,38422	14,25335
Varianzen sind gleich									
Varianzen sind nicht gleich			7,648	95,248	,000	11,32378	1,48057	8,38458	14,26299

KAS Fahrerreaktion vor Unfall

Fahrerreaktion * Warnausgabe Kreuztabelle

			Warnausgabe		Gesamt
			Warnung	keine Warnung	
Fahrerreaktion	nicht reagiert	Anzahl	1	16	17
		Erwartete Anzahl	5,9	11,1	17,0
	Fuß vom Gaspedal	Anzahl	6	5	11
		Erwartete Anzahl	3,8	7,2	11,0
	gebremst	Anzahl	17	24	41
		Erwartete Anzahl	14,3	26,7	41,0
Gesamt	Anzahl	24	45	69	
	Erwartete Anzahl	24,0	45,0	69,0	

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	8,960 ^a	2	,011	,009		
Likelihood-Quotient	10,759	2	,005	,009		
Exakter Test nach Fisher	9,718			,006		
Zusammenhang linear-mit-linear	5,123 ^b	1	,024	,026	,015	,009
Anzahl der gültigen Fälle	69					

a. 1 Zellen (16,7%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 3,83.

b. Die standardisierte Statistik ist -2,264.

Unfallhäufigkeit RLV

Fahrzustand * Warnausgabe Kreuztabelle

		Warnausgabe		Gesamt	
		Warnung	keine Warnung		
Fahrzustand	Rotlichtverstoß	Anzahl	7	14	21
		Erwartete Anzahl	10,5	10,5	21,0
	kein Rotlichtverstoß	Anzahl	60	53	113
		Erwartete Anzahl	56,5	56,5	113,0
Gesamt	Anzahl	67	67	134	
	Erwartete Anzahl	67,0	67,0	134,0	

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	2,767	1	,096		
Kontinuitätskorrekturb	2,033	1	,154		
Likelihood-Quotient	2,812	1	,094		
Exakter Test nach Fisher				,153	,076
Zusammenhang linear-mit-linear	2,746	1	,097		
Anzahl der gültigen Fälle	134				

RLV Abstand Konfliktzone bei Gaspedalstellung gleich null

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Abstand vor Konfliktzone bei Gaspedalstellung=0
N		129
Parameter der Normalverteilung ^{a, b}	Mittelwert	30,4362
	Standardabweichung	12,13131
Extremste Differenzen	Absolut	,142
	Positiv	,101
	Negativ	-,142
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,611
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,011

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Ränge

Warnausgabe	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Warnung	64	68,94	4412,00
keine Warnung	65	61,12	3973,00
Gesamt	129		

Statistik für Test

	Abstand vor Konfliktzone bei Gaspedalstellung=0
Mann-Whitney-U	1828,000
Wilcoxon-W	3973,000
Z	-1,187
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,235

RLV Abstand Konfliktzone bei Bremspedalstellung größer null

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Abstand vor Konfliktzone bei Bremspedalst ellung>0
N		134
Parameter der Normalverteilung ^{a, b}	Mittelwert	24,1338
	Standardabweichung	10,61071
Extremste Differenzen	Absolut	,194
	Positiv	,119
	Negativ	-,194
Kolmogorov-Smirnov-Z		2,243
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,000

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

RLV Fahrerreaktion vor Unfall

Fahrerreaktion * Warnausgabe Kreuztabelle

			Warnausgabe		Gesamt
			Warnung	keine Warnung	
Fahrerreaktion	nicht reagiert	Anzahl	0	6	6
		Erwartete Anzahl	2,0	4,0	6,0
	Fuß vom Gaspedal	Anzahl	2	5	7
		Erwartete Anzahl	2,3	4,7	7,0
	gebremst	Anzahl	5	3	8
		Erwartete Anzahl	2,7	5,3	8,0
Gesamt	Anzahl	7	14	21	
	Erwartete Anzahl	7,0	14,0	21,0	

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	6,134 ^a	2	,047	,061		
Likelihood-Quotient	7,773	2	,021	,052		
Exakter Test nach Fisher	5,748			,061		
Zusammenhang linear-mit-linear	5,828 ^b	1	,016	,022	,013	,012
Anzahl der gültigen Fälle	21					

a. 5 Zellen (83,3%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 2,00.

b. Die standardisierte Statistik ist -2,414.

