

Forschungsinitiative INVENT

Intelligenter Verkehr und Nutzergerechte Technik

Schlussbericht FAS









Beitrag des VOLKSWAGEN AG
Zuwendungsempfängers: Brieffach 011/1895
38436 Wolfsburg

zu den Teilprojekten: FUE - Fahrumgebungserfassung

VAS - Vorausschauende Aktive Sicherheit

FVM - Fahrerverhalten und Mensch-

Maschine-Interaktion

VRA - Verkehrliche Wirkung, Recht und

Akzeptanz

Laufzeit: 1. Juli 2001 - 30. September 2005

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 19S1056D gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

gefördert vom













1	Einleitung	3
2	Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion FVM	5
2.1	Kurzfassung	
2.1.1	Aufgabenstellung	
2.1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	
2.1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	
2.1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn	
2.1.5 2.2	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	
	Engehende Darstellung	
2.2.1	Erzielte Ergebnisse in FVMEinleitung	
	AP 1000 Fahrerverhaltensdaten	
	AP 2000 Selbsterklärende Fahrerassistenzsysteme	
	AP 2200 Methode zur Feststellung des Lernfortschritts bzw. des	. ∠ 1
2.2.1.7	Systemverständnisses	22
2.2.1.5	AP 3000 Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion	
	AP 4000 Gestaltungsunterstützung für Applikationsprojekte	
2.2.2	Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse	
2.2.3	Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen	
2.2.4	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	
3	Fahrumgebungserfassung und -interpretation FUE	33
3.1	Kurzfassung	33
3.2	Eingehende Darstellung	36
3.2.1	Ergebnisse	
3.2.1.1	AP1000 Spezifikation	
3.2.1.2	AP2000 Sensorik	. 39
3.2.1.3	AP3000 Datenfusion und Interpretation	. 44
3.2.1.4	AP4000 Systemarchitektur	. 56
	AP5000 Validierung	
	AP6000	
3.2.2	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	72
4	Vorausschauende Aktive Sicherheit VAS	73
4.1	Kurzfassung	
4.1.1	Aufgabenstellung	
4.1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	
4.1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	
4.1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn	
4.2	Eingehende Darstellung	75











4.2.1	Ergebnisse	.75
4.2.2	Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse	
4.2.3	Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen	
4.2.4	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	
5	Verkehrliche Wirkung, Recht und Akzeptanz VRA	.89
5.1	Kurzfassung	.89
5.2	Eingehende Darstellung	
5.2.1	Ergebnisse im Detail	
	Verkehrliche Wirkungen	
	Akzeptanz und Mensch-Maschine-Interaktion	
	Was die Kunden denken	
5.2.1.4	Gebrauchssicherheit	94
	Rechtsfragen und die Antworten	
	Ökonomische Bewertung	
	Gesamtwirtschaftliche und private Nutzen von Fahrerassistenzsystemen	











1 Einleitung

Nach wie vor gehören Verkehr und Transport zu den wichtigsten Wirtschaftsfaktoren. Sie sind die Grundlage von Wohlstand und Fortschritt und sie sichern unsere Wettbewerbsfähigkeit. Mobil zu sein ist ein wesentlicher Bestandteil von Lebensqualität, Selbstverwirklichung und persönlicher Freiheit. Gleichzeitig war jedoch das steigende Verkehrsaufkommen in den vergangenen Jahrzehnten von negativen Folgen wie Unfällen und Staus begleitet. Nur durch den Einsatz innovativer Technologien besteht die Chance, diese Probleme nachhaltig in den Griff zu bekommen und den Verkehr der Zukunft auch bei weiterem Wachstum sicherer und effizienter zu machen. Einen Beitrag zu diesem Ziel will die **Forschungsinitiative INVENT** (Intelligenter Verkehr und nutzergerechte Technik) leisten. Dazu arbeiten zahlreiche Unternehmen zusammen in den drei in Abbildung 1 dargestellten Projekten Fahrerassistenz, Aktive Sicherheit, Verkehrsmanagement 2010 und Verkehrsmanagement in Transport und Logistik.

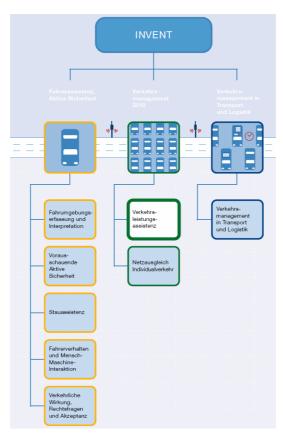


Abbildung 1: Inhaltliche Struktur des Projektes INVENT











Thema des Projekts Fahrerassistenz, Aktive Sicherheit (FAS) sind Assistenzsysteme, die den Fahrer entlasten und unterstützen. Dabei soll das Teilprojekt Vorausschauende Aktive Sicherheit (VAS) Ansätze zur Spurhalte- und Spurwechselassistenz, Kreuzungsassistenz und anderen zukunftsträchtigen Systemen in Prototypen darstellen. Das gemeinsame Querschnittsprojekt Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion (FVM) sorgt dafür, dass aus diesen technologischen Lösungen auch wirklich nutzergerechte Technik wird. Damit die Assistenzsysteme der Zukunft den Fahrer in jeder Situation optimal unterstützen können, müssen sie ihr Umfeld gut kennen. Das Teilprojekt Fahrumgebungserfassung und -interpretation (FUE) bringt ihnen das "Sehen, Kommunizieren und Denken" bei.

Nicht alles, was technologisch machbar ist, bringt wirklichen Nutzen. Um kostspielige Fehlentwicklungen zu vermeiden, wird das Querschnittsprojekt **Verkehrliche Wirkung, Recht und Akzeptanz** (VRA) von Anfang an die betriebs- und volkswirtschaftlichen Auswirkungen der neuen Technologien durchleuchten und die Bedürfnisse der zukünftigen Anwender erforschen.

Der folgende Bericht gibt einen umfassenden Einblick in die Arbeit der VOLKSWA-GEN AG innerhalb des Teilprojektes Fahrerassistenz, Aktive Sicherheit. Es werden dabei für jedes Unterprojekt nach einer kurzen Darstellung der Rahmenbedingungen und des Projektablaufes detaillierte Ergebnisse der Untersuchungen sowie der Nutzen und die Verwertbarkeit der Ergebnisse beschrieben.











2 Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion FVM

2.1 Kurzfassung

2.1.1 Aufgabenstellung

Aus den technologischen Lösungen der INVENT-Partner sollen nutzerfreundliche und verkehrssichere Assistenzsysteme werden. Das erfordert ein möglichst gutes Zusammenwirken zwischen Fahrer und System. Das Querschnittsprojekt Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion sollte dazu die methodischen Grundlagen schaffen und zu drei verschiedenen Themenschwerpunkten Wissen und Methoden erarbeiten:

- Der Schwerpunkt Fahrerverhaltensdaten beinhaltete die systematische Aufbereitung des verfügbaren Wissens zum Thema Fahrerverhalten.
- Innerhalb des Schwerpunkts selbsterklärendes Assistenzsystem untersuchten die Partner, wie Mensch-Maschine-Schnittstellen gestaltet werden müssen, um ein intuitives Systemverständnis und leichte Erlernbarkeit zu gewährleisten.
- Der Schwerpunkt verkehrssichere Mensch-Maschine-Interaktion befasste sich mit der Frage, wie sich die Interaktion des Fahrers mit Assistenzsystemen und Informationssystemen auf die Verkehrssicherheit auswirkt – und wie sich diese Auswirkungen objektiv bewerten lassen.

Als Querschnittsprojekt stand die Unterstützung der Applikationsprojekte in INVENT im Vordergrund. Die entsprechenden Ziele waren hierbei:

- Erarbeitung von methodischen Grundlagen (Modelle, experimentelle Verfahren)
- Validierung der entwickelten Modelle und Verfahren anhand von Prototypen (Versuchsfahrzeug/Simulator) mit größtmöglicher Anlehnung an die Applikationsprojekte (idealerweise Bereitstellung der Prototypen durch die Applikationsprojekte)











- Bereitstellung von FAS-relevanten Fahrerverhaltensdaten
- Bereitstellung einer allgemein zugänglichen, erweiterbaren Datenbank für Fahrerverhaltensdaten
- Erarbeitung von Gestaltungsrichtlinien für selbsterklärende, verkehrssichere Fahrerassistenzsysteme
- Unterstützung bei der System- und insbesondere MMI-Auslegung der Demonstratoren aus den Applikationsprojekten

2.1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Im Teilprojekt FVM wurden bis auf das Arbeitpaket 2300 alle Arbeiten von den Projektpartnern gemeinsam bearbeitet bzw. gemeinsam beauftragt.

Ein ursprünglich geplantes Unterarbeitspaket "Langzeitbewertung der Verkehrssicherheit" konnten die Projektpartner nicht durchführen. Zum einen standen aus den Applikationsprojekten noch keine Versuchsträger mit einem ausreichend stabilen Entwicklungsstand zur Verfügung.

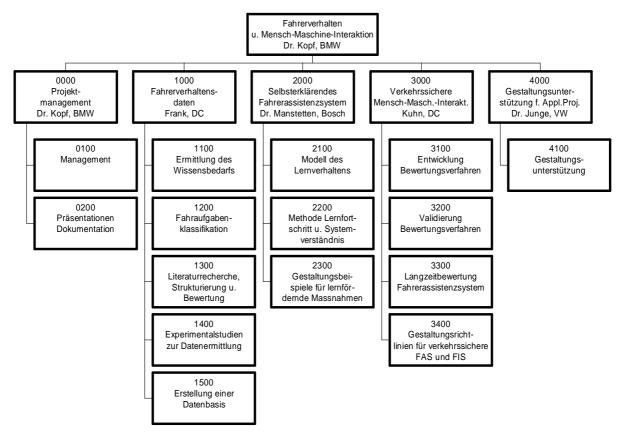


Abbildung 2: Arbeitspaketstruktur in INVENT-FVM.











2.1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Struktur

Das Teilprojekt wurde in folgende 5 Arbeitspakete unterteilt:

- Projektmanagement (Projektabwicklung, Meetings, Präsentation und Dokumentationskoordination)
- Fahrerverhaltensdaten
- Selbsterklärendes Fahrerassistenzsystem
- Verkehrssichere Mensch-Maschine-Interaktion
- Gestaltungsunterstützung für Applikationsprojekte

Abbildung 2 gibt eine Übersicht über die Unterarbeitspakete.

In Tabelle 1 sind die ursprünglich geplanten Bearbeitungszeiten für die Arbeitspakete dargestellt. Auf Abweichungen von diesem Plan, die sich im Laufe der Projektbearbeitung ergeben haben, wird im folgenden Text hingewiesen.

Tabelle 1: Zeitplan über die Projektlaufzeit (4 Jahre)

		Jał	nr 1			Jał	ır 2		Jahr 3				Jahr 4			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
0000 Projektmanagement																
1100 Ermittlung Wissensbedarf																
1200 Fahraufgabenklassifikation																
1300 Literaturrecherche																
1400 Experimentalstudien																
1500 Aufbau Datenbasis																
2100 Lernmodell																
2200 Methode Lernfortschritt																
2300 Gestaltungsbeispiele																
3100 Entwicklung Bewertungs- verfahren																
3200 Validierung Bewertungsverf.																











3300 Langzeitbewertung								
3400 Gestaltungsrichtlinien								
4100 Gestaltungsunterst. für Applikationsprojekte								

Bearbeitung der Arbeitspakete

AP 1000 Fahrerverhaltensdaten

Das AP 1100 Ermittlung des Wissensbedarfs bearbeiteten die Partner BMW, BOSCH, DaimlerChrysler und Volkswagen gemeinsam mit den Partnern der Applikationsprojekte und weiteren Experten in Form von Workshops.

Für AP 1200 Fahraufgabenklassifikation wurde Dr. Fastenmeier (MVU, München) gemeinsam beauftragt.

Das AP 1300 Literaturrecherche, Strukturierung und Bewertung wurde in gemeinsamer Beauftragung der Partner durch das Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt durchgeführt.

AP 1400 Studien zur Füllung wichtiger Wissenslücken

Dieses AP besteht aus Experimentalstudien mit Fahrzeugen bzw. Fahrsimulatoren. Auf der Grundlage einer gemeinsamen Anforderungsliste aus den Applikationsprojekten STA und VAS sowie unter Berücksichtigung der in AP 1200 und AP 1300 ermittelten Wissenslücken wurde das Fahrerverhalten an Kreuzungen als zu bearbeitendes Themenfeld definiert.

Folgende drei Institute wurden mit den Untersuchungen beauftragt:

• WIVW Würzburg (Prof. Krüger)

Schwerpunkt: Fahrerverhaltensmodelle bei Kreuzungsfahrt

• DLR Braunschweig (Prof. Lemmer)

Schwerpunkt: Messtechnisch komplexe Fahrversuche zum Fahrerverhalten

bei Kreuzungsfahrt im Straßenverkehr

• mvu München (Dr. Fastenmeier)

Schwerpunkt: Ist-Verhalten bei Kreuzungsfahrt (in Ergänzung zum erfassten

Soll-Verhalten aus AP 1200).

5Die Beauftragung von Dr. Fastenmeier (mvu München) mit dem Schwerpunkt auf dem Ist-Verhalten bei Kreuzungsfahrt wurde am 29.9.2003 mit einer Präsentation der Ergebnisse abgeschlossen. Eine Abschlusspräsentation zur Beauftragung von DLR und WIVW im AP 1400 fand am 05.07.2004 in Veitshöchheim statt. Der Abschluss des AP 1400 – und damit des Arbeitspakets 1000 – hatte sich damit infolge von Verzögerungen bei der Beauftragung und Bearbeitung von Unteraufträgen gegenüber der ursprünglichen Planung um ca. weitere 3 Monate verzögert. Allerdings blieb die Verschiebung ohne Auswirkungen auf andere Teilprojekte.











Die für AP 1500 Datenbasiserstellung ursprünglich geplanten Mittel wurden in AP 1400 und AP 2200 eingesetzt, da mit der in AP 1300 erstellten Literaturdatenbank bereits eine recherchierbare Datenbasis für die INVENT-Partner vorlag.

AP 2000 Selbsterklärendes Fahrerassistenzsystem

AP 2100 Erstellung eines Modells des Lernverhaltens

Das Thema "Erstellung eines Modells des Lernverhaltens" wurde ausgeschrieben und von Prof. Krüger (WIVW, Würzburg) den INVENT-Partnern BMW AG, Bosch GmbH, DaimlerChrysler AG und Volkswagen AG gemeinsam beauftragt.

Die Arbeiten begannen im Oktober 2001. Im Juli 2002 wurden die bis dahin erfolgten Implementierung im WIVW-Fahrsimulator sowie die geplanten Experimente zur Erlernbarkeit von Fahrerassistenzsystemen in Veitshöchheim vorgestellt. Während des Workshops hatten die Teilnehmer Gelegenheit, die einzelnen Systeme im Fahrsimulator selbst zu fahren.

Die Ergebnisse des AP 2100 wurden am 22. November 2002 in Veitshöchheim im Rahmen einer Abschlusspräsentation des WIVW präsentiert und in Form eines Abschlussberichtes dokumentiert. Das AP wurde somit termingerecht im Berichtszeitraum abgeschlossen.

AP 2200 Methode zur Feststellung des Lernfortschritts

Noch während des AP 2100-Workshops im Juni 2002 wurde Prof. Krüger (WIVW, Würzburg) von den FVM-Projektpartnern aufgefordert, ein Angebot zur Durchführung des AP 2200 ("Methode zur Feststellung des Lernfortschritts bzw. des Systemverständnisses") zu erstellen. Dieses Angebot wurde vom WIVW im Juli 2002 abgegeben. Nach eingehender Beratung durch die Projektpartner und in Betracht der Erfahrungen des WIVW aus AP 2100 sowie insbesondere aufgrund der sich direkt anschließenden Thematik in AP 2200 wurde dieses Angebot ohne zusätzliche Ausschreibung akzeptiert. Der Vertrag wurde im Berichtszeitraum von allen Partnern unterzeichnet. Die Arbeiten beim WIVW konnten deshalb noch in 12/2002 beginnen und wurden Anfang April 2004 abgeschlossen. Dazu fand am 2.4.2004 eine Abschlusspräsentation bei dem Vertragspartner Bosch in Stuttgart statt.

AP 2300 Gestaltungsbeispiele für lernfördernde Maßnahmen

In diesem Arbeitspaket haben sich die Partner die Arbeiten aufgeteilt. Folgende Themen waren geplant:

- Anfangsinstruktion und Online-Hilfen
- Wahl der Systemgrenzen / Rückkopplung der Annäherung an die Systemgrenzen
- Design für Fehlerfreundlichkeit und Fehlerrobustheit











- Lernstufenadaptives MMI
- Fahreradaptives Feedback

Die gewonnenen Erkenntnisse sollten in einer Gestaltungsrichtlinie zusammengefasst werden.

Volkswagen bearbeitete das Thema "Anfangsinstruktionen und Online-Hilfen. Für ein besseres Verständnis von Fahrerinformations- und -assistenzsystemen wurden Gestaltungsrichtlinien für FIS/FAS unter Berücksichtigung eines multimedialen Kontextes erarbeitet. Dazu wurden Art und Umfang von Anfangsinstruktionen sowie mögliche Online-Hilfen untersucht.

Die Arbeiten wurden in folgenden Schritten geplant:

- Status-quo-Analyse bisher verwendeter Anfangsinstruktionen (Recherche) unter zusätzlicher Einbeziehung einer gezielten Befragung ausgewählter Kunden zu verschiedenen Zeitpunkten (z. B. vor der Systemnutzung, unmittelbar nach Kauf, nach ca. 2-wöchiger Systemnutzung)
- Bewertung bisher verwendeter Anfangsinstruktionen in Abhängigkeit von bereits vorhandenem Wissen
- Verknüpfung der Ergebnisse aus AP 2100 (Lerntyp) mit Arten von Anfangsinstruktionen
- Ableitung von Grundsätzen für eine situative (kontextsensitive) Hilfestellung

Dazu wurden mit Fahrzeugen verschiedener europäischer Hersteller Vergleichsfahrten durchgeführt. Der Focus lag dabei auf den Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen (FIS/FAS), deren Bedienkonzepten und auf der Analyse der verschiedenen z. T. konventionellen sowie medial gestützten Bedienungshandbücher (Manuals).

Zur weiteren Untersuchung von Menustrukturen für eine effiziente multimediale Benutzerunterstützung von FIS/FAS im Fahrzeug wurde eine Zusammenarbeitet u. a. mit der Universität Regensburg, Fachbereich Informationswissenschaft vereinbart. Zielsetzungen der Untersuchung zum Thema "Probleme bei der Bedienung und beim Betrieb von FAS am Beispiel der automatischen Distanzregelung (ADR)" waren:

- Identifikation von Problemen bei der Bedienung und beim Betrieb des ADR-Systems
- Analyse des Vorwissens und notwendiger Umfang der Anfangsinstruktionen
- Verbesserung des Systemverständnisses
- Ableitung von Grundsätzen für eine sichere Bedienung des ADR-Systems
- Ableitung von verallgemeinerungsfähigen Grundsätzen zur Bedienung von FAS











Innerhalb der mehrwöchigen Untersuchung wurden Testfahrten mit repräsentativ ausgewählten Versuchspersonen durchgeführt. In einem vierstufigen Testverfahren wurden die Probanden vor Testbeginn befragt, in das technische System eingeführt, während der Fahrt observiert (inkl. Think-aloud-Methode)) und nach dem Test erneut interviewt. Die hierbei erzielten Ergebnisse flossen in die Erstellung von Konzepten zur sicheren Bedienung von FAS mit ein.

Die gemeinsame Untersuchung mit der Universität Regensburg wurde im Oktober 2003 planmäßig abgeschlossen. Am 10.09.03 wurden die bis dahin vorliegenden Ergebnisse präsentiert.

Die Ergebnisse der Arbeiten der Volkswagen AG wurden in einer "Gestaltungsrichtlinie (FIS/FAS) - Anfangsinstruktionen und Online-Hilfen" zusammengefasst.

Für die Zusammenfassung in Form einer übergreifenden Gestaltungsrichtlinie für selbsterklärende Fahrerassistenzsysteme wurde ein Entwurf der Struktur und der Inhalte beim FVM Workshop am 3./4. März 2005 in Starzach unter den Partnern gemeinsam diskutiert. Die Ausarbeitung des Entwurfs verzögerte sich unter anderem auf Grund längerer Krankheit einer dafür zuständigen Mitarbeiterin und den Verzögerungen im AP 3100. Um die Ergebnisse des AP 3200 möglichst umfassend berücksichtigen zu können, wurde die Fertigstellung des AP 3400 zunächst auf Ende September 2005 verschoben. Final wurde eine Zusammenfassung der Beiträge aller Konsortialpartner im Rahmen des Projekts verworfen. Die Ergebnisse der jeweiligen Arbeiten liegen als eigenständige Dokumente vor.

AP 3000 Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion

Mit dem Thema "Entwicklung eines Bewertungsverfahrens" (AP 3100) wurde das Fraunhofer IVI (Dr. Nirschl) in Kooperation mit der TU Dresden (Lehrstuhl für Verkehrspsychologie, Prof. Schlag) durch die INVENT-Partner BMW AG, Bosch GmbH, DaimlerChrysler AG und Volkswagen AG beauftragt. Die Arbeiten wurden in 12/2001 begonnen. Ein vorläufiger inhaltlicher Abschluss des AP 3100 erfolgte mit der Präsentation des Bewertungsverfahrens am 28. Juli 2004. Der Abschlussbericht lag in endgültiger Form am 15.03.2005 vor. Insgesamt ergab sich damit für das AP 3100 eine Verspätung von 15 Monaten. Da die nachfolgenden Arbeitspakete das entwickelte Verfahren voraussetzen, haben sich diese entsprechend verschoben.

Das AP 3200 wurde seitens des Projektkonsortiums um die Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens erweitert und in "Validierung und Weiterentwicklung des MMI-Bewertungsverfahrens" umbenannt. Die für AP 3300 eingeplanten Mittel wurden für AP 3200 verwendet. Nach Ausschreibung, Angebotspräsentationen und Auswahl wurden die Forschungsarbeiten innerhalb des AP 3200 "Validierung und Weiterentwicklung des MMI-Bewertungsverfahrens.

Im Juli 2004 wurde der Versuch im Fahrsimulator der DaimlerChrysler AG abgeschlossen. Der Fahrversuch im realen Straßenverkehr wurde in den Monaten Oktober bis Dezember 2004 mit insgesamt 60 Versuchspersonen durchgeführt und ter-











mingerecht abgeschlossen. Eine Präsentation der kompletten Datenauswertung erfolgte am 22.07.2005 in Tübingen.

AP 4000 Gestaltungsunterstützung für Applikationsprojekte

Inhalt des AP 4000 waren Koordinationsaufgaben und die wechselseitige Teilnahme von Teilprojekt-Vertretern an den entsprechenden Workshops sowie der Informations- und Ergebnisaustausch. Innerhalb des AP 4000 waren keine Fremdleistungen vorgesehen.

2.1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn

Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Unter diesem Punkt sind sicher folgende beiden Arbeiten zu nennen, die wesentlich in das INVENT Traffic Safety Assessment (I-TSA) eingeflossen sind:

- Die Fahraufgabenklassifikation nach: Fastenmeier, W. (1995). "Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem". In W. Fastenmeier (Hrsg.), Autofahrer und Verkehrssituation. Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme (S. 27-78). In H. Häcker (Serien-Hrsg.), Mensch-Fahrzeug-Umwelt, Bd. 33. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Das Unfallentstehungsmodell nach: Reichart, G. (2001). "Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen". Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. VDI-Reihe 22, Nr. 7.

Verwendete Fachliteratur sowie benutzte Informations- und Dokumentationsdienste

Die verwendete Fachliteratur ist in einem methodenbezogenen Projekt üblicherweise sehr umfangreich. Nicht zuletzt aus diesem Grunde wurde die Literaturrecherche im AP 1300 in Auftrag gegeben. Dort wurden ca. 1400 Literaturstellen aufgenommen. Im Abschlussbericht zur Entwicklung des INVENT Traffic Safety Assessment (I-TSA), AP 3200 sind die verwendeten Literaturstellen aufgeführt. Es wird daher an dieser Stelle auf den entsprechenden Abschlussbericht verwiesen.











2.1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Folgende Unterauftragnehmer wurden in den jeweiligen Arbeitspaketen beauftragt:

AP 1200

Dr. Wolfgang Fastenmeier Mensch-Verkehr-Umwelt Institut für Angewandte Psychologie Thalkirchner Str. 76 D-80337 München Internet: www.mensch-verkehr-umwelt.de

AP 1300

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kurt Landau Institut für Arbeitswissenschaft Technische Universität Darmstadt Petersenstraße 30 64287 Darmstadt

AP 1400

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz Gemeinschaft Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung Lilienthalplatz 7 38108 Braunschweig

Prof. Dr. Hans-Peter Krüger Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften Raiffeisenstraße 17 97209 Veitshöchheim

Dr. Wolfgang Fastenmeier Mensch-Verkehr-Umwelt Institut für Angewandte Psychologie Thalkirchner Str. 76 D-80337 München Internet: www.mensch-verkehr-umwelt.de

AP 2100

Prof. Dr. Hans-Peter Krüger Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften Raiffeisenstraße 17 97209 Veitshöchheim











AP 2200

Prof. Dr. Hans-Peter Krüger Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg Röntgenring 11 97070 Würzburg http://www.psychologie.uni-wuerzburg.de/methoden

AP 2300

Universität Regensburg, Lehrstuhl für Informationswissenschaft Philosophische Fakultät IV - Sprach- und Literaturwissenschaft 93040 Regensburg

AP 3100

Dr. rer. nat. Günther Nirschl Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI) Zeunerstraße 38 01069 Dresden

Prof. Bernhard Schlag Professur für Verkehrspsychologie Technische Universität Dresden Mommsenstr. 13 01069 Dresden

AP 3200

Prof. Dr. Wilhelm R. Glaser
Psychologisches Institut
der Universität Tübingen
Friedrichstraße 21
72072 Tübingen
http://homepages.uni-tuebingen.de/wilhelm.glaser

Dipl.-Psych. Horst Waschulewski Geschäftsführer MTO Psychologische Forschung und Beratung GmbH Schweickhardtstraße 5 72072 Tübingen http://www.mto.de











2.2 Eingehende Darstellung

2.2.1 Erzielte Ergebnisse in FVM

2.2.1.1 Einleitung

Aus den technologischen Lösungen der INVENT-Partner sollen nutzerfreundliche und verkehrssichere Assistenzsysteme werden. Das erfordert ein möglichst gutes Zusammenwirken zwischen Fahrer und System. Das Querschnittsprojekt Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion schaffte dazu die methodischen Grundlagen und erarbeitete zu drei verschiedenen Themenschwerpunkten Wissen und Methoden:

- Der Schwerpunkt Fahrerverhaltensdaten beinhaltete die systematische Aufbereitung des verfügbaren Wissens zum Thema Fahrerverhalten. Wo Wissenslücken waren, führten die Projektpartner Studien durch, um die offenen Fragen zu beantworten.
- Innerhalb des Schwerpunkts selbsterklärendes Assistenzsystem untersuchten die Partner, wie Mensch-Maschine-Schnittstellen gestaltet werden müssen, um ein intuitives Systemverständnis und leichte Erlernbarkeit zu gewährleisten.
- Der Schwerpunkt verkehrssichere Mensch-Maschine-Interaktion befasste sich mit der Frage, wie sich die Interaktion des Fahrers mit Assistenzsystemen und Informationssystemen auf die Verkehrssicherheit auswirkt – und wie sich diese Auswirkungen objektiv bewerten lassen.

Zur Beantwortung dieser Fragen gaben die Projektpartner gemeinsam eine Reihe von Studien an Hochschulen und Forschungsinstituten in Auftrag. Die Inhalte wurden eng mit den anderen INVENT-Projekten abgestimmt und die untersuchten Beispielsysteme beruhten auf den Spezifikationen und Prototypen aus diesen Applikationsprojekten. So unterstützte FVM zum einen direkt die Gestaltung der Fahrer-System-Schnittstellen in INVENT, zum anderen können die erarbeiteten allgemeinen Methoden auch für künftige Systeme eingesetzt werden.

Darüber hinaus erarbeiteten die Projektpartner eigene Gestaltungsbeispiele für selbsterklärende und verkehrssichere Mensch-Maschine-Schnittstellen. Dies schloss auch Ansätze zur Verbesserung heutiger Fahrer-System-Schnittstellen mit ein.











2.2.1.2 AP 1000 Fahrerverhaltensdaten

AP 1100 Ermittlung des Wissensbedarfs

Das Thema "Ermittlung des Wissensbedarfs" wurde mit der Abstimmung des Forschungsbedarfs aus den Applikationsprojekten STA und VAS als Anforderungsprofil für das AP 1400 in FVM im 1. Halbjahr 2002 abgeschlossen. Dabei konnten Wissensbedarf und Forschungsstand aus Sicht der beiden AP 1200 (Fahraufgabenklassifikation) und AP 1300 (Literaturrecherche, Strukturierung und Bewertung) sowie der FVM-Teilprojektpartner mit eingebracht werden. Als Ergebnis wurde das Fahrerverhalten bei Kreuzungsfahrt als Schwerpunktthema für AP 1400 festgelegt.

AP 1200 Fahraufgabenklassifikation

Um den Bedarf und die Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Fahrersicht zu verstehen, sind genaue Kenntnisse sowohl über das Fahrerverhalten in unterschiedlichen Verkehrssituationen als auch über die Interaktion von Fahrer, Fahrzeug, Umfeld und Assistenzsystemen an den Schnittstellen notwendig. Zur Ermittlung des "Sollverhaltens" eines idealen Fahrers beauftragten die Partner deshalb beim Institut Mensch-Verkehr-Umwelt (mvu) in München eine gezielte Analyse und Klassifikation unterschiedlicher Fahraufgaben. Die Analysen konzentrierten sich dabei auf für die INVENT-Applikationen relevante Fahrsituationen mit offenem Wissensbedarf. Sie wurden an drei Fahrszenarien an Kreuzungen und zwölf Fahraufgaben beim Spurwechsel (bei einer Autobahnfahrt mit Kolonnenverkehr) durchgeführt.

In den Verkehrswissenschaften gibt es bislang keine Standardverfahren, die eine Anforderungsanalyse für Fahraufgaben erlauben. Das hier entwickelte Verfahren beruht auf einer arbeitspsychologischen Modellvorstellung zur Informationsverarbeitung während des Autofahrens. Im ersten Analyseschritt wird eine ausgewählte Fahraufgabe, etwa Linksabbiegen an einer ampelgeregelten Kreuzung, in einzelne zeitlich strukturierte Teilaufgaben zerlegt. Für jede Teilaufgabe erfolgt die eigentliche Anforderungsanalyse, die nach Wahrnehmung, Erwartungsbildung, Beurteilung, Gedächtnisprozessen, Entscheidung/Planung sowie Fahrzeugbedienung in jeweils bis zu acht Unterkategorien gegliedert ist. Daneben werden die für jede Teilaufgabe typischen Fehler aufgelistet. Die Bewertung hinsichtlich Komplexität der Aufgabe, Beanspruchung des Fahrers und Risiken ermöglicht anschließend eine Beurteilung dazu, welches Entlastungspotenzial Fahrerassistenzsysteme haben können.

In Ergänzung zu der theoretischen Klassifikation führten die Projektpartner zusammen mit Fahrschullehrerausbildern Fahrversuche zur Ermittlung des Normverhaltens durch. Das Versuchsfahrzeug war mit Messtechnik und einer Videoerfassungsanlage ausgestattet, so dass fahrdynamische Größen und Videodaten zeitsynchron vorlagen. Die Versuche erhärteten die Ergebnisse der theoretischen Fahraufgabenklassifikation und halfen, die Fahrabschnitte mit der höchsten Aufgabendichte für den Fahraufgabendichte für den F











rer zu definieren. Es zeigte sich: Die in FVM erarbeitete Methode ist ein universell einsetzbares, aber sehr sensibles Verfahren zur Fahraufgabenklassifikation, das plausible Ergebnisse liefert.

Die Klassifikation der Fahraufgaben sowie die Anforderungsanalyse wurden anhand von 3 Kreuzungsfahrt-Szenarien und 12 Szenarien im Längsverkehr (Autobahnfahrt im Kolonnenverkehr) auf der Grundlage des Soll-Verhaltens der Fahrer vorgenommen. Als Ergebnis wurden Aufgabenkomplexität, Risiko und Beanspruchung bewertet. Das von Dr. Fastenmeier (mvu) angewandte Bearbeitungsschema gestattet eine Aussage zur Komplexität einzelner Fahraufgaben bzw. Teilfahraufgaben und ermöglicht so, das diesen Fahraufgaben innewohnende Entlastungspotenzial von Fahrerassistenzsystemen zu bewerten.

AP 1300 Literaturrecherche, Strukturierung und Bewertung

Ziel der Literaturrecherche, Strukturierung und Bewertung war es, relevante Literaturstellen zum Fahrerverhalten und zu Fahrerleistungsdaten systematisch aufzubereiten und den Stand der aktuellen Forschung zu dokumentieren. Das beauftragte Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) der TU Darmstadt hat die Arbeiten zum AP 1300 "Literaturrecherche, Strukturierung und Bewertung" am 23.10.2003 im Rahmen einer Abschlusspräsentation abgeschlossen. Als Ergebnisse wurden den beteiligten Firmenvertretern folgende Leistungen transferiert:

- Übergabe des finalen Standes der MS-ACCESS Literaturdatenbank mit 1403 bewerteten Literaturstellen mit dem Schwerpunkt auf Literaturstellen ab dem Jahr 1990.
 - Die Bewertung der Literatur wurde u. a. hinsichtlich folgender Kriterien vorgenommen: Fachliche Tiefe, Breite der Bearbeitung und Übertragbarkeit.
- Benutzerhandbuch zum Aufbau und zur Anwendung der Literaturdatenbank
- Handbuch zum Stand der Wissenschaften bezüglich des Fahrerverhaltens (Analyse der Literaturdatenbank insbesondere zum Fahrerverhalten mit Fahrerassistenzsystemen).

Die Literaturdatenbank beinhaltet eine Kurzfassung und eine bewertende Zusammenfassung jeder erfassten Literaturstelle. Aufgrund des gesetzlichen festgeschriebenen Copyrights beinhaltet die Datenbank keine eingescannten Literaturstellen. Die bibliographischen Angaben zur vollständigen Literaturbestellung sowie der vom Auftragnehmer verfasste detaillierte Bericht stehen für die Literaturanalyse zur Verfügung. Die Datenbank enthält Suchfunktionen (z. B. über Autoren, Deskriptoren) und ermöglicht das Erstellen von Literaturverzeichnissen zu ausgewählten Themengebieten zum Fahrerverhalten und zu Fahrerassistenzsystemen.











B. Abendroth, E. Bender, M. Didier Cohen, C. Holschuh, A. Mauerhoff, M. Williams, A. Semke und K. Landau: "Benutzerhandbuch für die Datenbank", Institut für Arbeitswissenschaft, TU Darmstadt, Darmstadt, 2003.

B. Abendroth, E. Bender, M. Didier Cohen, C. Holschuh, A. Mauerhoff, M. Williams und K. Landau: "Abschlussbericht - Teilprojekt FVM (Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion) Arbeitspaket 1300 - Literaturrecherche, Strukturierung und Bewertung", Institut für Arbeitswissenschaft, TU Darmstadt, Darmstadt, 2003.

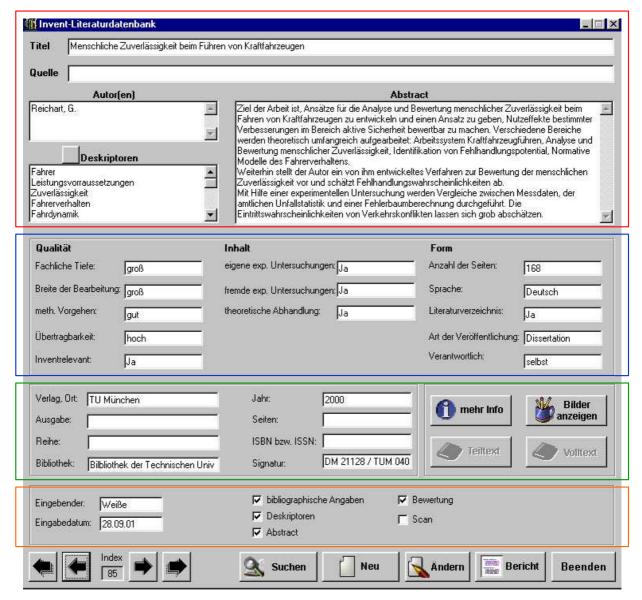


Abbildung 3: Suchmaske der Literaturdatenbank











AP 1400 Füllung wichtiger Wissenslücken

Zu AP 1400 "Füllung wichtiger Wissenslücken" wurden drei Institute zur Analyse des Fahrerverhaltens bei Kreuzungsfahrt mit jeweils unterschiedlichen Schwerpunkten beauftragt. Grund war, dass die INVENT-Projekte erstmals praktische Applikationen zur Unterstützung des Fahrers an Kreuzungen entwickelten und die gegenwärtige Literatur dazu zahlreiche Fragen offen ließ. Drei sich inhaltlich ergänzende Vorhaben gaben die Projektpartner gemeinsam in Auftrag:

- DLR, Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung, Braunschweig (Prof. Lemmer): Untersuchung des Fahrerverhaltens bei Kreuzungsfahrten gestützt durch mobile und stationäre Verkehrserfassung
- Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW, Prof. Krüger): Erstellung eines Konflikt- und Aufmerksamkeitsmodells für Kreuzungsfahrten
- mvu München (Dr. Fastenmeier): Abgleich des Ist-Fahrerverhaltens an Kreuzungen mit dem Soll-Fahrerverhalten

Untersuchung des Fahrerverhaltens gestützt durch mobile/stationäre Verkehrserfassung

Ziel der Arbeiten des DLR war es, das Verhalten von Fahrern an Kreuzungen unter drei Aspekten zu beschreiben:

- Wie wird die Aufgabe "Durchfahren einer Kreuzung" typischerweise bewältigt?
- Unter welchen Umständen entstehen für den Fahrer Belastungen?
- Wie entstehen kritische Situationen?

Während umfangreicher Kreuzungsfahrten im Realverkehr in Berlin und Braunschweig wurde eine Reihe von Messgrößen in einem ausgerüsteten Versuchsfahrzeug erfasst:

- Fahrerverhalten einschließlich Blickrichtung
- Verkehrsfluss an der Kreuzung (Fahrzeugbewegungen beteiligter Verkehrsteilnehmer)
- Bauliche und verkehrliche Merkmale der Kreuzung

Mit Hilfe dieser Daten ließ sich bestimmen, von welchen Faktoren – statischen und dynamischen Kreuzungsmerkmalen – die Schwierigkeit einer Kreuzungsüberfahrt abhängt.

Die Erkenntnis: Einflussfaktoren wie die Beschilderung oder Sichtbehinderungen überlagern sich praktisch linear und die Ergebnisse der statistischen Faktorenanalyse











sind weitgehend stabil, so dass sich die Schwierigkeit einer Kreuzungsüberfahrt gut vorhersagen lässt.

M. Vollrath, M. Brünger-Koch, C. Schießl und F. Waibel: "INVENT AP1400 - Studie zur Untersuchung des Fahrerverhaltens bei Kreuzungsfahrten", Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugführung, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e. V., Braunschweig 2004.

Erstellung eines Konflikt- und Aufmerksamkeitsmodells

Aufgabe des Projektteils, der vom WIVW (Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften) bearbeitet wurde, war die Entwicklung von Modellen für potenzielle Verkehrskonflikte an Kreuzungen (objektive Komponente), für die Aufmerksamkeitsverteilung von Fahrern in Kreuzungssituationen (subjektive Komponente) sowie deren Integration in ein Warnkonzept eines Assistenzsystems.

Die erarbeitete Literaturdatenbank, ergänzt mit weiteren Literaturrecherchen, diente dabei als Basis für eine Übersicht über zeitbasierte Faktoren, die Geschwindigkeitswahl und Entscheidungsverhalten in Kreuzungssituationen bestimmen. Das WIVW untersuchte im Simulator unter verschiedenen Bedingungen, wie gut Autofahrer die Zeit abschätzen können, die andere Fahrzeuge bis zum Eintreffen an der Kreuzung oder einer etwaigen Kollision benötigen. Dabei durchleuchteten die Forscher insbesondere so genannte Maskierungseffekte zwischen direkt beobachteten und im Gedächtnis gespeicherten Fremdfahrzeugen und formulierten Hypothesen für kritische Wahrnehmungsprobleme. In einem weiteren Arbeitsschritt wurde das Blickverhalten des Fahrers beim Übergueren von Kreuzungen über ein Blickregistriergerät untersucht - per Videodetektion des Cornea-Reflexes und der Pupille mit einer Infrarotkamera, verbunden mit einer Szenenkamera. Ein "Aufmerksamkeitsmodell" sollte eine Prognose der vom Fahrer voraussichtlich wahrgenommenen und nicht wahrgenommenen Gefahren ermöglichen. Denn mit einer solchen Prognose könnte ein Assistenzsystem selektiv nur vor den nicht wahrgenommenen Gefahren warnen und die Zahl "unnötiger" Warnungen reduzieren.

Die Untersuchungen zeigten jedoch, dass dies noch schwierig ist: Dieselben Fahrer zeigen in den gleichen oder vergleichbaren Situationen oft ein unterschiedliches Blickverhalten. Ferner kann aus einer messtechnisch erfassten Blickposition nicht ohne weiteres gefolgert werden, dass das dortige Objekt tatsächlich wahrgenommen wurde – das "Looked but failed to see"- Phänomen.

R. Scheuchenpflug, W. Piechulla, M. Grein und H.-P. Krüger: "FVM AP 1400 Abschlußbericht", Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW), Würzburg 2003.

Abgleich des Ist-Fahrerverhaltens mit dem Soll-Fahrerverhalten

Das mvu führte einen Abgleich des beobachteten Ist-Fahrerverhaltens an Kreuzungen mit dem Soll-Verhalten durch. Dabei kam ebenfalls das mit Kameras bestückte











Versuchsfahrzeug zum Einsatz. Bei den Untersuchungen im Stadtgebiet München mit 60 Personen in zwei Altersgruppen stimmten die beobachteten Fahrfehler gut mit den in der Fahraufgabenanalyse identifizierten kritischen Belastungen überein: Meist handelte es sich bei den Fehlern um mangelhaftes Absichern gegenüber anderen Fahrzeugen. Die Gruppe der älteren Fahrer machte dabei deutlich mehr Sicherungsfehler als die anderen Versuchspersonen. Das entspricht dem aus der allgemeinen Unfallstatistik bekannten höheren Anteil älterer Autofahrer an Kreuzungsunfällen.

W. Fastenmeier, H. Galsterer und H. Gstalter: "INVENT-FVM - AP 1400: Fahrerverhalten in Kreuzungen: Teilprojekt Fahrverhaltensbeobachtung und SOLL-IST-Vergleich", Mensch-Verkehr-Umwelt, Institut für Angewandte Psychologie, München 2003.

2.2.1.3 AP 2000 Selbsterklärende Fahrerassistenzsysteme

Der Umgang mit einem neuen Fahrerassistenzsystem stellt eine Reihe von Anforderungen an den Fahrer. Er muss eine Vorstellung vom Verhalten des Systems entwickeln und wissen, wie es aktiviert wird. Er muss lernen, mit dem System zusammenzuarbeiten sowie bei Übernahmeaufforderungen oder Systemausfällen richtig und prompt zu reagieren.

Die FVM-Projektpartner suchten daher einen Weg zur Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen, deren Funktionsweise, Bedienung und Systemgrenzen für den Nutzer intuitiv sind und die möglichst ohne Bedienungsanleitung auskommen. Dazu wurden in zwei gemeinsamen Aufträgen der Projektpartner an das Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW) methodische Grundlagen dazu erarbeitet, wie Nutzer das System erlernen und wie sich der Lernfortschritt messen lässt.

AP 2100 Erstellung eines Modells des Lernverhaltens

Das Modell des Lernverhaltens bei der Nutzung von Assistenzsystemen sollte ursprünglich folgende Aspekte berücksichtigen:

- Definition von Lernstufen
- Charakteristika des beobachtbaren Verhaltens in jeder Lernstufe
- Abfragbare oder anderweitig ermittelbare innere Vorgänge beim Nutzer
- Definition von Systemverständnis vor dem Hintergrund des Lernmodells
- Experimentelle Validierbarkeit

Bereits in einer frühen Projektphase zeigte sich, dass ein systemunabhängiges Modell nicht zum Ziel führt. Deshalb erarbeiteten die Forscher zunächst theoretische Grundlagen zum Lernen und konkretisierten sie an Hand experimenteller Untersuchungen mit Beispielsystemen. Dabei berücksichtigten sie sowohl handlungsersetzende Systeme – wie der Stauassistent, der Längs- und Querführung zumindest zeitweise vom Fahrer übernimmt – als auch handlungsbegleitende Systeme wie der











Spurwechselassistent, der den Fahrer im Falle eines drohenden Konflikts mit dem nachfolgenden Verkehr informiert oder warnt.

In der Folgezeit lag der Schwerpunkt der Arbeiten in der Durchführung und Auswertung der Simulator-Experimente. Hierzu waren zwei Varianten der Stauassistenzfunktion sowie ein Spurwechselassistent mit den Projektkollegen aus INVENT, Teilprojekt STA, vereinbart worden. Die während der Versuche auftretenden Bedien- und Fahrfehler der Probanden sowie deren Fehler infolge eines nicht umfassenden Systemverständnisses wurden klassifiziert und in Bezug auf die Erlernbarkeit bei mehrfacher Wiederholung der Simulatorfahrten analysiert.

Die Ergebnisse bildeten unter anderem eine wichtige Grundlage für die Gestaltung der Schnittstellen im Projekt STA.

2.2.1.4 AP 2200 Methode zur Feststellung des Lernfortschritts bzw. des Systemverständnisses

Im AP 2200 wurden unter Nutzung der praktischen Erfahrungen und der Implementierungen aus AP 2100 weitere Experimente im Rahmen eines "Learnability Lab" durchgeführt. Ein für die Nutzung von Fahrerassistenzsystemen wichtiger Aspekt war dabei die Minimierung des Lernaufwands. Hierzu wurden drei typische Phasen beim Erlernen von Fahrerassistenzsystemen berücksichtigt.

- In der ersten Lernphase beschäftigen sich die Fahrer mit der allgemeinen Bedienung des Systems. Diese Phase ist besonders kritisch: Neben vielen Bedienfehlern treten auch Fahrfehler auf, weil das Fahren selbst vernachlässigt
 wird. Insgesamt werden die Fahrten dieser Phase als anstrengender beurteilt
 als das Fahren ohne ein System.
- In der zweiten Phase geht es darum, Vertrauen zu gewinnen und die kinästhetischen Eigenschaften des Systems kennen zu lernen. In dieser Phase gehen bei einigen Fahrern die Anzahl der "falschen Alarme" zurück. Sie können besser abschätzen, welche Differenzgeschwindigkeiten das System übernehmen kann. Dies trifft aber nicht auf alle Fahrer zu. Typabhängig gibt es Fahrer, die solchen Technologien grundsätzlich nicht vertrauen und bei den geringsten Anzeichen einer neuen Situation selbst übernehmen.
- Schließlich lässt in der dritten Lernphase die aktive Beschäftigung mit dem System nach. Der Fahrer baut die Möglichkeiten, die das System bietet, in den eigenen Fahrstil mit ein. Fehler im Umgang mit der Technik werden nicht mehr so kritisch hinterfragt oder dem System als "Fehlfunktion" zugeschrieben. Die Beurteilung des Systems wird positiver.

Um bereits bei der Auslegung eines neuen Fahrerassistenzsystems den späteren Lernaufwand für alle Lernphasen zu minimieren, wurde eine Vorgehensweise erarbeitet, welche Lernhindernisse durch eine formale Überprüfung technischer Zu-











standsdiagramme schon während der technischen Systementwicklung bis hin zur Systemoptimierung aufspüren kann. Damit kann in einem Learnability Lab die Minimierung des Lernaufwands beim Umgang mit Fahrerassistenzsystemen (FAS) erreicht werden.

H.-P. Krüger, S. Buld, S. Hoffmann und A. Kaussner: "AP 2200 Methode zur Feststellung des Lernfortschritts bzw. des Systemverständnisses", Abschlussbericht, Würzburg, 2004.

AP 2300 Gestaltungsbeispiele für lernfördernde Maßnahmen

Innerhalb des AP 2300 wurden, im Unterschied zu den gemeinsam beauftragten Forschungsarbeiten in den anderen FVM-Teilprojekten, firmenspezifische Arbeiten durchgeführt.

Die Arbeiten der Volkswagen AG konzentrierten sich auf das Thema: "Anfangsinstruktionen und Online-Hilfen". Dazu wurden unter anderem Art und Umfang von Anfangsinstruktionen sowie mögliche Online-Hilfen in verschiedenen Fahrzeugen der Oberklasse und oberen Mittelklasse untersucht.

Die Universität Regensburg, Fachbereich Informationswissenschaft wurde mit der Untersuchung von Menustrukturen für eine effiziente multimediale Benutzerunterstützung von FIS/FAS im Fahrzeug beauftragt. Zielsetzungen der Untersuchung zum Thema "Probleme bei der Bedienung und beim Betrieb von FAS am Beispiel der automatischen Distanzregelung (ADR)" waren:

- Identifikation von Problemen bei der Bedienung und beim Betrieb des ADR-Systems
- Analyse des Vorwissens und notwendiger Umfang der Anfangsinstruktionen
- Verbesserung des Systemverständnisses
- Ableitung von Grundsätzen für eine sichere Bedienung des ADR-Systems
- Ableitung von verallgemeinerungsfähigen Grundsätzen zur Bedienung von FAS

Innerhalb der mehrwöchigen Untersuchung wurden Testfahrten mit repräsentativ ausgewählten Versuchspersonen durchgeführt. In einem vierstufigen Testverfahren wurden die Probanden vor Testbeginn befragt, in das technische System eingeführt, während der Fahrt observiert (inkl. Tink-aloud-Methode)) und nach dem Test erneut interviewt. Die hierbei erzielten Ergebnisse flossen in die Erstellung von Konzepten zur sicheren Bedienung von FAS mit ein. Die gemeinsame Untersuchung mit der Universität Regensburg wurde im Oktober 2003 planmäßig abgeschlossen.











Die Ergebnisse der Arbeiten der Volkswagen AG wurden in einer "Gestaltungsrichtlinien für Selbsterklärende Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme (FIS/FAS)" zum Thema "Anfangsinstruktionen und Online-Hilfen" zusammengefasst und dem Konsortium zur Verfügung gestellt (Bild 2).



Abbildung 4: Gestaltungsrichtlinien für Selbsterklärende Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme (FIS/FAS) als Ergebnis der Arbeiten der Volkswagen AG zum AP 2300

M. Junge, K. Lehrach und M. Neumann: "Gestaltungsrichtlinien FIS/FAS- Anfangsinstruktionen und Online-Hilfen", Bericht, Volkswagen Konzernforschung, Wolfsburg 2005.

2.2.1.5 AP 3000 Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion

Neben Gestaltungsempfehlungen wurde im Teilprojekt FVM auch ein objektives Bewertungsverfahren für die Verkehrssicherheit von Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen entwickelt. Die standardisierte Bewertungsmethode lässt sich im Fahrsimulator genauso wie im Feldversuch anwenden und erfasst Verhaltensänderungen während der gesamten Nutzungsphase.











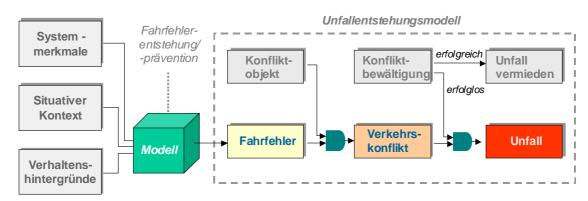


Abbildung 5: Allgemeines Unfallentstehungsmodell

Im **AP 3100** entstand das Bewertungsverfahren im gemeinsamen Auftrag der Projektpartner beim Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI) in Dresden in Kooperation mit dem Institut für Verkehrspsychologie der TU Dresden (Prof. Schlag).

Bei der Entwicklung gingen die Experten davon aus, dass Fahrfehler eine relevante Größe zur Beschreibung der Verkehrssicherheit darstellen, und untersuchten, wie sich Fahrerassistenz- und Informationssysteme auf die Entstehung oder Vermeidung von Fehlern auswirken Bild 3.

Anhand konkreter Situationen analysierten die Verkehrsexperten, wie Systemmerkmale, situative Randbedingungen, kognitive Belastung und verkehrspsychologische Hintergründe bei der Entstehung von Fahrfehlern zusammenwirken. Zur formalen Beschreibung dienten "Fahrfehlerbäume".

Das theoretische Modell wurde zunächst im Fahrsimulator und im realen Verkehr unter Aufzeichnung relevanter Messdaten mit Fahrlehrern überprüft. Aus dem Vergleich der subjektiven Aussagen der Fahrlehrer mit objektiven Daten entstand eine Datenbasis zur Definition von Fahrfehlern.

Das MMI-Bewertungsverfahren wurde am 28. Juli 2004 in Stuttgart-Untertürkheim den Projektpartnern und weiteren Firmenvertretern präsentiert.

Um einen weiteren Einblick in die Ergebnisse aus dem AP 3100 vermitteln zu können, sei an dieser Stelle aus dem Abschlussbericht zitiert:

Zusammenfassung AP3100

Im Arbeitspaket 3100 des INVENT-Teilprojekts "Fahrerverhalten/MMI (FVM)" wurde ein objektives Verfahren zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen (FISFAS) entwickelt. Mit dem Verfahren wird, sehr allgemein, die Verkehrssicherheit beim Autofahren dadurch beurteilt, dass das Auftreten von Fahrfehlern bzw. von Fahrfehlerrisiken messtechnisch erfasst und ausgewertet wird. Im Vordergrund steht dabei











der Vergleich des Auftretens von Fahrfehlern beim Fahren mit Nutzung eines FISFAS gegenüber dem Fahren ohne FISFAS. Neben kurzfristigen Faktoren wie Aufmerksamkeit und Ablenkung des Fahrers können bei der Bewertung auch langfristige Faktoren berücksichtigt werden, etwa der Einfluss eines schrittweisen Lernerfolgs. Die standardisierte Bewertungsmethode lässt sich im Fahrsimulator genau so anwenden wie im Feldversuch und kann Verhaltensänderungen während der gesamten Lernphase erfassen.

Als Vorbereitung für die Entwicklung eines geeigneten Fahrfehlerentstehungsmodells wurden im ersten Arbeitsschritt nach einer Begriffsklärung zunächst verschiedene existierende Ansätze zur Modellierung verkehrssicheren Verhaltens aufgezeigt. Im zweiten Arbeitsschritt wurde dann eine umfassende Übersicht bereits vorhandener MMI-Bewertungsverfahren zusammengestellt. Um für die Spezifikation der in dem zu entwickelnden Bewertungsverfahren zu überprüfenden Fahrfehler eine empirische Vergleichsbasis zu erhalten, wurden die Bewertungskriterien von Fahrfehlern in relevanten Fahrsituationen erhoben. Hierzu wurden Testfahrten mit Versuchspersonen durchgeführt und ausgewertet. Im nächsten Vorbereitungsschritt zur Modell- und Verfahrensentwicklung wurden alle relevanten Fahrerverhaltensdaten strukturiert zusammengestellt.

Auf der Grundlage der vorbereitenden Arbeiten wurde schließlich ein Modellansatz über den Zusammenhang zwischen FISFAS-Merkmalen, situativem Kontext und kognitiver Belastung einerseits und der Verkehrssicherheit andererseits heraus gearbeitet. Die sich daran anschließende Entwicklung der Verfahrensspezifikation des INVENT-Bewertungsverfahrens stellt die Operationalisierung des Modellansatzes dar.

In der Verfahrensspezifikation werden die im INVENT-Bewertungsverfahren zur Überprüfung vorgesehenen Fahrfehler und Situationen zusammen mit den Verfahrenskriterien (Grenzwerten) und Bewertungskategorien in der "Fahrfehler-Datenbasis" fest gelegt. Außerdem werden hier die zu erhebenden verkehrspsychologischen Parameter (z.B. Mental/Visual Workload) angegeben. In der Verfahrensspezifikation werden weiterhin die durchzuführenden Tests (Versuchsdesign), deren Auswertung und die Bildung der Ergebnisparameter (Auswirkung auf die Verkehrssicherheit) beschrieben.

Zur Überprüfung des gewählten Modellansatzes und des entwickelten Verfahrens wurde ein Simulatorversuch entworfen und im IVI-Fahrsimulator durchgeführt, bei dem als FISFAS ein "Stauassistent" und ein Informationssystem eingesetzt wurden. Anhand der Ergebnisse der Simulatoruntersuchung wurden die Verfahrenskriterien überprüft und teilweise angepasst. Eine umfassende Validierung des entwickelten INVENT-Bewertungsverfahrens wird in einem separaten Folgeprojekt vorgenommen.

S. Böttcher, G. Nirschl, B. Schlag, M. Voigtländer und G. Weller: "Arbeitspaket 3100 – Entwicklung eines Bewertungsverfahrens", Abschlussbericht, Dresden, 2005.













Abbildung 6: Beispielhafter Ausschnitt aus dem Simulatorversuch (Live-Beobachtung von Versuchsstrecke und Versuchsperson, deren Dateneingabe im FIS sowie der Tachometeranzeige)



Abbildung 7: Beispielhafter Ausschnitt aus einer Versuchsfahrt im Straßenversuch.

Für das **AP 3200** wurde ein zweiter gemeinsamer Auftrag der Projektpartner an eine unabhängige Forschergruppe der Universität Tübingen, Psychologisches Institut (Prof. Glaser) und der Firma MTO galt der Validierung und Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens. Zum einen führten die Forscher mit insgesamt 60 Versuchspersonen einen Versuch im DaimlerChrysler-Fahrsimulator in Berlin durch.











In einem zweiten Fahrversuch mit Fahrerinformationssystemen und Fahrerassistenzsystemen fuhren ebenfalls 60 Probanden in einem ausgerüsteten Testfahrzeug mit ACC System und Blickerfassungskamera

Eine gute Übersicht über die Ergebnisse aus dem AP 3200 gibt die im Folgenden zitierte Zusammenfassung aus dem Abschlussbericht:

Zusammenfassung AP3200

Das hier berichtete Projekt, Arbeitspaket 3200 aus dem INVENT Teilprojekt Fahrverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion (FVM), baut auf dem Vorgängerprojekt, Arbeitspaket 3100, auf. In diesem wurde ein Bewertungsverfahren für die Auswirkungen von Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen (FIS/FAS) auf die Verkehrssicherheit vorgeschlagen. Seine wichtigste Komponente ist eine Fahrfehlerliste, die alle mit moderner Messtechnik erfassbaren Fahrfehler enthält und diesen jeweils drei Fehlerstufen zuordnet. Die Grenzwerte zwischen den Stufen wurden aus der aktuellen wissenschaftlichen Literatur hergeleitet. Eine weitere wichtige Komponente ist ein Fehlerbaummodell der Unfallentstehung, das einen Wahrscheinlichkeitszusammenhang zwischen messbaren Fahrfehlern und Verkehrssicherheit herstellt.

Auf der Basis dieser Vorarbeiten wurden zwei umfangreiche Experimente mit 55 bzw. 59 Vpn durchgeführt. Das Ziel war es zu ermitteln, wie sich die Eingabe von Adressen oder Radioeinstellungen in ein Fahrerinformationssystem (FIS) und die Benutzung eines Abstandsregeltempomaten (FAS) auf die Häufigkeit und Dauer der einzelnen Fahrfehler auswirkt. Das erste Experiment wurde auf dem dynamischen Fahrsimulator der DaimlerChrysler AG in Berlin-Marienfelde, das zweite mit einem BMW Versuchsfahrzeug der Firma Robert Bosch GmbH Stuttgart, im öffentlichen Straßenverkehr gefahren. Die reine Fahrtdauer betrug pro Vp 70 bzw. 120 bis 150 Minuten. Der Simulatorversuch enthielt nur die unabhängige Variable ohne/mit Bedienung des FIS. Bei einem Teil des Straßenversuchs wurde diese mit der zweiten unabhängigen Variablen Nichtbenutzung/ Benutzung des ACC (FAS) faktoriell gekreuzt. Beide Experimente wurden so weit wie möglich übereinstimmend geplant, um die Vorund Nachteile von Simulator- und Straßenfahrversuchen in diesem Kontext zu bewerten. Alle Fahrten wurden von einer erfahrenen Fahrlehrerin begleitet, die die Fahrsicherheit fortlaufend bewertete und die einzelnen Fahrfehler registrierte.

Experimente dieser Art haben eine große Zahl abhängiger Variablen. Ein wichtiger Teil der Projektarbeit bestand darin, daraus eine kleine Zahl von Kenngrößen abzuleiten, die die Ergebnisse prägnant und übersichtlich wiedergeben. Die einzelnen abhängigen Variablen wurden zunächst nach Fehlerstufen klassifiziert. Danach wurde mittels exploratorischer Faktorenanalysen die Faktorenstruktur der Fehlerstufenvariablen aufgeklärt. Miteinander korrelierende Variablen wurden durch Liniearkombination zu Skalen zusammenge-











fasst, die den Namen I-TSA (INVENT Traffic Safety Assessment) erhielten. Diese wurden auf die Standardabweichung 10 und für die Kontrollbedingung auf den Mittelwert 100 standardisiert. Die I-TSA-Maßzahlen geben damit die Wirkung der unabhängigen Variablen als Abweichungsmaße wie psychometrische Tests an: Die Maßzahl "110" bedeutet eine Verbesserung der Sicherheit gegenüber der Kontrollbedingung um eine Standardabweichung, die Maßzahl "90" eine Verschlechterung gleicher Stärke.

Die ersten fünf Skalen beruhen auf objektiven Fahrdaten. Ihre Namen lauten: I-TSA 1 Längsführung, I-TSA 2 Gas und Längsbeschleunigung, I-TSA 3 Querführung links, I-TSA 4 Querführung rechts, I-TSA 5a Querbeschleunigung und I-TSA 5b Querführung Indikatoren. Zwei weitere objektive Maße schließen sich an: I-TSA 6 Blickbewegungen und I-TSA 7 Lenkbewegungen. Die letztere Skala wird nicht als Fahrparameter, sondern als psychodiagnostisches Maß für mentale Beanspruchung interpretiert. Das Sicherheitsurteil Fahrlehrer wurde mit I-TSA 8, die subjektive Einschätzung der mentalen Beanspruchung durch die VI mit I-TSA 9 und das Situationsbewusstsein mit I-TSA 10 bezeichnet. Auch diese Maße wurden auf einen Mittelwert von 100 in der Kontrollbedingung und eine Standardabweichung von 10 standardisiert.

Die Ergebnisse stimmen zwischen Simulator- und Straßenfahrt weitgehend überein. Eingabe in das Navigationssystem führte bei den Skalen zur Längsführung und Querbeschleunigung (I-TSA 1, I-TSA 2 und I-TSA 5a) zu einer Erhöhung der Sicherheit durch langsameres Fahren. Alle anderen I-TSA-Variablen zeigten zum Teil massive Verschlechterungen. Bei der Fahrt *mit ACC* ergaben sich bei den Längsführungsvariablen und der mentalen Beanspruchung deutliche Verbesserungen gegenüber der Fahrt *ohne ACC*, die sich den Auswirkungen der Eingabe in das Navigationssystem additiv, also ohne statistische Wechselwirkung, überlagerten. Alle diese Effekte waren statistisch signifikant.

Zusammen mit den im Text ausführlich dargestellten Optimierungen des Versuchsplans stellt die entwickelte Auswertetechnik für Experimente dieses Typs ein standardisiertes, flexibel an variierende Anforderungen anpassbares Messverfahren für die Auswirkungen von FIS/FAS-Systemen auf die Verkehrssicherheit dar.

W. R. Glaser, H. Waschulewski: "Arbeitspaket 3200 - Validierung und Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens I-TSA (Invent – Traffic Safety Assessment)", Abschlussbericht, Tübingen 2005.

2.2.1.6 AP 4000 Gestaltungsunterstützung für Applikationsprojekte

Ziel dieses eigenen Arbeitspakets innerhalb FVM war es, die INVENT-Applikationsprojekte gezielt bei der Entwicklung ihrer Fahrerassistenz- und Informationssysteme zu unterstützen, so dass diese verständlich sind und sicher vom Autofahrer bedient werden können. Die Arbeit orientierte sich an den Bedürfnissen der Applikationsprojekte, der Wissenstransfer fand in gemeinsamen Workshops statt.











Besonders intensive Kontakte gab es zu den Applikationsprojekten STA und VAS (Kreuzungsassistenz) So wurden z. B. die Untersuchungen aus AP1400 zum Fahrerverhalten an Kreuzungen (Dr. Fastenmeier) zusammen mit dem Applikationsprojekt Kreuzungsassistent präsentiert und diskutiert.

Die Untersuchungen im Fahrsimulator des WIVW zielten auf die Systemauslegung und deren Einfluss auf die Verständlichkeit zweier exemplarischer ACC/STA-Varianten ab. Eine Frageliste von STA beinhaltete dagegen vornehmlich konkrete Aspekte bezogen auf die STA-Systemspezifikation(en) und die darin enthaltene "MMI-Spezifikation Stauassistent". Die Frageliste konnte daher nur zum Teil durch die zuvor beschriebenen Untersuchungen des WIVW beantwortet werden. Der überwiegende Teil der Fragen wurde durch Diskussionen im FVM-Konsortium bearbeitet und entsprechende Gestaltungsempfehlungen an das Teilprojekt STA übergeben.

Parallel erhielten alle INVENT-Partner Zugang zu einer recherchierbaren und ausbaufähigen Literaturdatenbank, ein Benutzerhandbuch (Anleitung zur Nutzung der Literaturdatenbank) und ein Handbuch zu Fahrerleistungsdaten.

Zum Abschluss von AP 3100 wurde der Stand des entwickelten Bewertungsverfahrens am 28.07.2004 in Stuttgart präsentiert und diskutiert. Hierzu waren auch Vertreter der Applikationsprojekte eingeladen.

2.2.2 Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse

Eine Langzeitbewertung neuer, als Entwicklungsprototypen realisierter Fahrerassistenzsysteme erfordert einen erheblichen Zeitaufwand. Dieses Aufwandsproblem ist auch in künftigen Forschungsprojekten nicht einfach zu lösen. Es wird deshalb schwierig sein, eine belastbare quantitative Prognose über die Netto-Auswirkungen einer spezifischen Systemauslegung auf die Verkehrssicherheit zu stellen.

Die FVM-Verfahren zur systematischen Bestimmung des Lernfortschritts und zur Identifikation von Lernhindernissen, zur Kontrolle des Systemverständnisses sowie zur Messung von Systemauswirkungen auf die Verkehrssicherheit werden jedoch entscheidend zu einer qualitativen Optimierung des Verkehrssicherheitspotentials von Fahrerassistenzsystemen beitragen.

Das INVENT Traffic Safety Assessment (I-TSA) soll 2006 veröffentlicht und damit weiteren wissenschaftlichen Überprüfungen und Weiterentwicklungen zugängig gemacht werden.

Im Rahmen des Teilprojekts FVM wurden im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans seitens der Volkswagen AG keine Schutzrechte angemeldet.

2.2.3 Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Es sind dem Zuwendungsempfänger während der Durchführung im Sinne paralleler Arbeiten keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.











Das Thema "Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen im Kraftfahrzeug" wurde im Laufe des Projekts im Rahmen der AAM-Guidelines aufgegriffen. Diese lagen am 31.08.2003 in der Version 2.1 vor und geben einige Hinweise zur Gestaltung von Schnittstellen für Informations- und Kommunikationssysteme im Fahrzeug. Fahrerassistenzsysteme und deren Mensch-Maschine-Interaktionen werden in den AAM-Guidelines nicht behandelt.

Gleiches gilt für das "European Statement of Principles on HMI (ESoP)". Auch hier werden Fahrerassistenzsysteme und deren Mensch-Maschine-Interaktionen nicht behandelt.

2.2.4 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Veröffentlichungen in Deutsch (beinhaltet auch Veröffentlichungen von Unterauftragnehmern)

"INVENT FVM – Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion", Projektbroschüre, 2002.

J. Simon, M. Kopf: "Schritte zum lernstufenadaptiven, selbsterklärenden Fahrerassistenzsystem". 4. Berliner Mensch-Maschine-Werkstatt, Berlin, Okt. 2001.

Haus der Technik Konferenz "Selbsterklärende Fahrerassistenzsysteme", organisiert von M. Kopf, München, 23. April 2002.

Präsentationen der FVM Partner:

- M. Kopf: Einführung und Leitung der Tagung
- D. Manstetten: "Bewertung der Verständlichkeit von Fahrerinformationssystemen"
- M. Zedler: "Gestaltung minimalisierter Bedienungsanleitungen"
- M. Kopf: "Systemauslegung von Fahrerassistenzsystemen auf Verständlichkeit"
- J. Simon: "Situations- und fahreradaptiver Tutor für ein Fahrerassistenzsystem"
- W. Fastenmeier, H. Gstalter: "Entwicklung und Anwendung einer neuen Methodik zur Fahraufgabenanalyse". VDI-Tagung "Der Fahrer im 21. Jahrhundert", Juni 2002.
- S. Buld: "INVENT Das Learnability Lab bei der Untersuchung von Fahrerassistenzsystemen". in: "Informations- und Assistenzsysteme im Automobil Erlernbarkeit als Beitrag zur Fahrsicherheit", BASt/FAT Symposium, Bergisch-Gladbach, Juli 2003.
- A. Engeln, G. Nirschl, B. Schlag, G. Weller: "Situativer Kontext, kognitive Belastung und Verkehrssicherheit". 44. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, September 2004, Göttingen.
- S. Tattersall, G. Weller, B. Schlag: "Modellierung von Entscheidungskriterien im Fahrlehrerurteil am Beispiel von Abstandsfehlern", 44. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, 26.-30.9.2004, Göttingen.











- G. Weller, B. Schlag, G. Nirschl: "Entstehung von Fahrfehlern Ergebnisse eines Simulatorexperiments". 44. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, 26.-30.9.2004, Göttingen.
- P. Zahn, D. Ehmanns, K.H. Meitinger: "Hinweis Warnung Abgebremst! Neue Kreuzungs-Kopiloten mehr aktive Sicherheit?". 13. Aachener Kolloqium, 04.-06. Oktober 2004, Eurogress Aachen.
- G. Nirschl, S. Böttcher, B. Schlag, G. Weller: "Verfahren zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Fahrerassi-stenzsystemen durch objektive Erfassung von Fahrfehlerrisiken", VDI/VW-Tagung "Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme", 27./28. Oktober 2004, Wolfsburg.
- M. Vollrath, D. Manstetten: "Eine Kreuzungsfahrt was ist daran so schwierig". 1. Verkehrstechnischer Tag des DLR "Sicher zum Ziel", 25.11.2004, Braunschweig.

Publications in English (includes publications by sub-contractors)

- "INVENT FVM Driver Behavior and Human-Machine Interaction", Project Brochure, 2002.
- M. Kopf, J. Simon: "A Concept for a Learn-Adaptive Advanced Driver Assistance System". Conference on Cognitive Science Approaches '01, Neubiberg, Sept. 2001.
- D. Manstetten, W. Krautter, A. Engeln, P. Zahn, J. Simon, F. Kuhn, P. Frank, M. Junge, K.H. Lehrach, S. Buld: "Learnability of Driver Assistence Systems", Proc. 10th ITS World Congress, 16.-20. November 2003, Madrid.
- D. Manstetten: "Evaluating the traffic safety effects of driver assistance systems", AAET 2005 (Automation, Assistance and Embedded Real Time Platforms for Transportation), 16./17.2.2005, Braunschweig.











3 Fahrumgebungserfassung und -interpretation FUE

3.1 Kurzfassung

Fahrzeugführung erfordert vielfältige Informationen über das eigene Fahrzeug, Objekte und Hindernisse in der nahen und fernen Umgebung, über die Straße und auch über den Fahrer. Der Weg zu neuen und höherwertigen Assistenzsystemen, die den Fahrer bei der Fahrzeugstabilisierung und -führung sowie bei Navigations- und Planungsaufgaben unterstützen sollen, führt über die Erfassung und intelligente Verknüpfung von Informationen aus allen diesen Bereichen. Während bisher überwiegend nur Informationen über das eigene Fahrzeug vorhanden waren, werden zukünftig auch vorausschauende Informationen über die Fahr- und Verkehrsumgebung erhältlich sein. In dem Maße, wie diese Informationen verfügbar sein werden, lassen sich intelligente Fahrerassistenzfunktionen schrittweise realisieren.



Abbildung 8: Roadmap "Fahrerassistenz"

Das Ziel des BMBF-geförderten Teilprojekts "INVENT-Fahrumgebungserfassung" ist die Schaffung theoretischer und praktischer Grundlagen zur Realisierung von integrierten Systemen zur Fahrumgebungserfassung und –interpretation, die es ermöglichen, die in verschiedenen Vorläuferprojekten (Prometheus, MoTiV, diverse EU-Projekte wie Collision Avoidance, Urban Drive Control, ADASE, …) entwickelte und mit hohem Nutzenpotential für effizienteres, komfortableres und sichereres Fahren im Straßenverkehr eingestufte Roadmap für künftige Fahrerassistenzsysteme schrittweise umzusetzen.











Dabei soll weniger die Entwicklung der Systemfunktionen an sich im Vordergrund stehen, da diese lediglich die Fahrsituationen und die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Fahrumgebungserfassung spezifizieren. Mit Hilfe physikalischer Redundanz und analytischer Redundanz (Modellwissen) ist die Robustheit und Zuverlässigkeit der Fahrumgebungserfassung zu verbessern, wobei - schon aus Kostengründen einer späteren Vermarktung - auch Minimalrealisierungen abzuleiten sind.

Bisher waren Fahrerassistenzsysteme dadurch gekennzeichnet, dass jede Applikation einen eigenen Sensor zur Umfeldwahrnehmung hatte (z.B. die Automatische Distanz-Regelung ist üblicherweise mit einem 77GHZ-Radarsensor gekoppelt). Durch das Auftrennen dieser direkten Verbindung zwischen Sensor und Applikation, konnte eine Zwischenschicht eingefügt werden (Abbildung 9). Diese Zwischenschicht beinhaltet die Datenfusion und die Interpretation. Dieser Schicht stehen die Informationen aller Sensoren zur Modellierung der Umgebung zur Verfügung. Basierend auf den Ergebnissen dieser Umfeldmodellierung können die Applikationen ausgeführt werden.

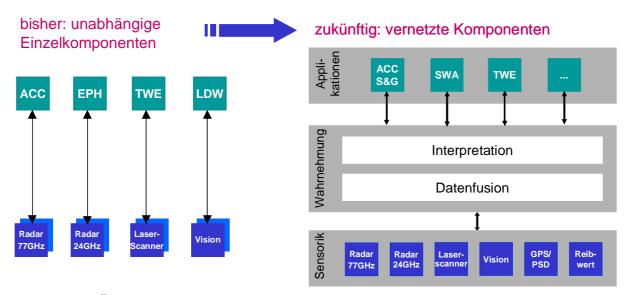


Abbildung 9: Übergang von der separaten zur gemeinsamen Fahrumgebungserfassung

An ausgewählten Applikationen wie Stau-Assistenz und Systemen zur Vorausschauenden Aktiven Sicherheit (Querführungsassistenz, Kreuzungsassistenz, Fußgängerund Radfahrerschutz, Prädiktive Fahrdynamik-Regelung), die dieser allgemeinen Roadmap entnommen sind und in den Schwesterprojekten in INVENT-FAS bearbeitet werden, ist die Leistungsfähigkeit der entwickelten Ansätze zu erproben und nachzuweisen.

Das Arbeitspaket AP1000 hatte zum Ziel Spezifikationen von Sensorfunktionen zur fahrzeugbezogenen Fahrumgebungserfassung für zukünftige Assistenzfunktionen, insbesondere für die Applikationen in STA und VAS, bereitzustellen. Der Arbeitsschwerpunkt lag in der Analyse der Fahrsituation für eine Fahrumgebungserfassung hinsichtlich der möglichen Applikationen. Sich hieraus ergebende Sensoranforderun-











gen und Anforderungen für eine Sensordatenfusion und -interpretation sollten definiert werden und als Grundlage für die Erarbeitung von Testszenarien dienen (Einzelsensoren und Fusionsmodule).

Im Arbeitspaket AP 2000 sollte an der Weiterentwicklung geeigneter Sensortechnologien gearbeitet werden, da diese die Grundlage für die Entwicklung von allen weiteren zukünftigen Fahrerassistenzsystemen bilden. Hier waren vor allem 24GHz-Radar-Sensoren, Laserscanner sowie Bildverarbeitungssysteme im Fokus. Zur Realisierung einer effektiven Erfassung der Fahrumgebung ist der Einsatz unterschiedlicher Sensoren erforderlich, da vielfältige Informationen erfasst und ausgewertet werden müssen (z.B. das Detektieren von Objekten und die Bestimmung der Bewegungsparameter, sowohl im Nah- als auch bis in den Fernbereich oder das Klassifizieren von Objekten). Neben der Entwicklung von autonomen Sensorsystemen sollte in weiteren Arbeitspunkten das Potential kooperativer Sensortechniken und Fragen zur Modularisierung des benötigten Sensorverbundes untersucht werden.

Ziel von Arbeitspaket AP3000 war es, Methoden und Algorithmen zur Interpretation der Fahrumgebung zur Verfügung zu stellen. Dies beinhaltete:

- geeignete Verfahren der Sensorfusion,
- Objektdetektions- und -erkennungsalgorithmen,
- die Situationserkennung als Basis für die Handlungen in den Demonstratoren,
- modellbasierte Analyseverfahren und
- Ansätze des aktiven Sehens.

Die Methoden sollten die Anwendungsspezifikationen abdecken. Der modulare Aufbau der Funktionen sollte eine größtmögliche Einsatzmöglichkeit der Algorithmen ermöglichen und durch eine flexible Architektur unterstützt werden. Die hier entwickelten Verfahren mussten sich über die in AP5000 definierten Bewertungsverfahren testen lassen.

Innerhalb des Arbeitspaketes AP4000 sollte ein Konzept für die Systemarchitektur einer fahrzeugbezogenen Fahrumgebungserfassung erarbeitet, wobei der Schwerpunkt in der Vernetzung von Einzelsystemen zu einer integrierten Fahrumgebungserfassung in einer offenen, modular und flexibel erweiterbaren Hard- bzw. Softwarearchitektur lag. Ausgehend von diesem Konzept waren die Schnittstellen und der Datenaustausch im Netzwerk festzulegen. Schließlich sollte basierend auf der erarbeiteten Systemarchitektur ein Konzept für eine geeignete Sensorintegration am Fahrzeug (Anbauort, Erfassungsbereich) erstellt werden. Das Ergebnis dieses Arbeitspaketes sollte ein Konzept für eine durchgängig definierte und spezifizierte Systemarchitektur einschließlich definierter Schnittstellen zwischen Sensoren, Fusionsmodulen und Applikationen sein. Ziel war es eine Systemarchitektur zu schaffen, mit der die zukünftige Implementation innovativer Applikationen wesentlich vereinfacht wird. Innerhalb von Arbeitspaket AP5000 sollten die Fortschritte bei der Weiterentwicklung der Sensoren (AP2000) sowie der Wahrnehmungs- und Interpretationsmodule (AP3000) anhand geeigneter Testszenarien im Labor, auf dem Testgelände und im Versuchsfahrzeug validiert, bewertet und dokumentieret werden.











In Arbeitspaket AP6000 sollten die Aufgaben des Projektmanagements sowie der Dokumentation und Präsentation beschrieben werden.

3.2 Eingehende Darstellung

3.2.1 Ergebnisse

3.2.1.1 AP1000 Spezifikation

Szenarien

Für die Überprüfung und Darstellung der Funktion von Sensoren, Fusion und Algorithmen in FUE, wurden mögliche Szenarien aus den Szenarienkatalogen der applikationsorientierten Teilprojekte STA und VAS ausgewählt. Die Szenenauswahl erfolgte derart, dass die Funktion der entscheidenden Elemente für die Fahrumgebungserfassung nachgewiesen werden können. Die den Szenarien zugeordneten Objektattribute wurden mit den in AP3000 beschriebenen Umfeldmodellen abgeglichen. Für sämtliche Objektparameter werden Fehler- und Zuverlässigkeitsmaße bereitgestellt. Anhand dieser Szenarien werden die Funktion der Sensorik und der Algorithmen.

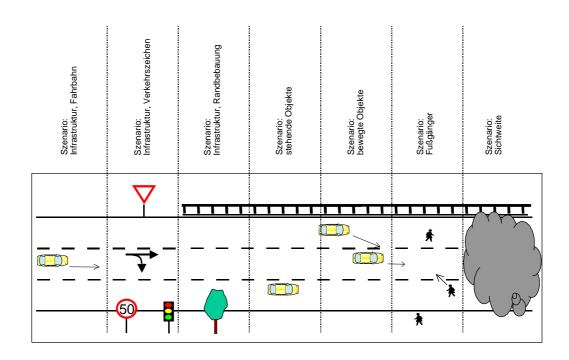


Abbildung 10: Auswahl relevanter Szenarien











Die Auswahl der Szenarien orientiert sich an den Erfordernissen der einzelnen Applikationen. Im ersten Schritt lassen sich zunächst statische Objekte (d.h. Objekte die bekannter Maßen keine Dynamik besitzen) und dynamische Objekte unterscheiden. Die Beschreibung der Bewegung dynamischer Objekte erfolgt durch unterlagerte Dynamikmodelle, welche relativ zu objektspezifischen Koordinatensystemen formuliert wurden. Der Grund für die Aufteilung in dynamische und statische Objekte liegt in der deutlichen Reduzierung der Szenenvielfalt und in der Schwierigkeit, komplexe dynamische Szenen nachzustellen und unter gleichen Randbedingungen zu testen. Neben der Dynamik wird auch die Form der Objekte relativ zu den objektspezifischen Koordinatensystemen durch Formmodelle beschrieben.

Bei dynamischen Objekten kann man nochmals zwischen den (momentan) stehenden und sich bewegenden Objekten unterscheiden werden. Der Grund besteht darin, dass bei stehenden Objekten die geometrischen Verhältnisse bekannt oder leicht zu verifizieren sind und damit die Sensorik und Algorithmen einfacher zu testen sind. Bei den bewegten Objekten interessiert zusätzlich noch die Situation (z. B. Einschervorgänge). Fußgänger werden gesondert behandelt, da sowohl die Erkennung als auch die Erstellung eines Form- und Dynamikmodells wesentlich schwieriger ist, als z.B. bei Fahrzeugen.

Zusätzlich wurde ein Glossar erarbeitete, welches Koordinatensysteme als Grundlage zur Beschreibung von Lage, Dynamik und Form von Objekten (Fahrzeuge, Fahrspur, Verkehrszeichen, ...) beschreibt. Innerhalb dieser Koordinatensysteme wurden aussagekräftige Größen zur Szenenbeschreibung eingeführt und mit Kurzbezeichnungen versehen.

Das fka Aachen hat im Auftrag der Volkswagen AG einen Bericht "Spezifikation für Test und Validierung von ausgewählten Fahrerassistenzsystemen" für das UAP1400 erstellt. Dieser Bericht definiert:

- die zu überprüfende Systemfunktionalität
- die Prüfkriterien
- die Umgebungsbedingungen
- die Testschnittstellen

Die Validierung der Systemfunktionalität beinhaltet eine Bewertung der Sensordaten und des Wahrnehmungsmoduls (Datenfusion und –interpretation). Für den Test des Sensorsystems und des Wahrnehmungsmoduls wurden Prüfkriterien, wie Reichweite, Ortungsfeld, Zielerkennung- und Zielverfolgung, bei verschiedenen Zielen und in unterschiedlichen Verkehrssituationen definiert.

Für die Reproduzierbarkeit der Tests müssen bestimmte, relevante Umgebungsbedingungen festgelegt werden. Diese wurden auf den zu erwartenden Systemeinsatz beschränkt und beinhalten Autobahn-, Landstraßen- und Kreuzungsszenarien bei trockenem Wetter und bei Gischtbedingungen.

Auf der Grundlage der ermittelten Prüfkriterien und Umgebungsbedingungen wurde ein Testkatalog für statische Tests und Fahrtests für relevante Verkehrsszenarien











aufgestellt. Die einzelnen Tests beschreiben für eine zu erfassende Systemeigenschaft die Prüfkriterien und die Testdurchführung.

Systemarchitektur

Die Vernetzung unterschiedlicher Sensoren zur Fahrumgebungserfassung bedarf einer dezidierten Systemarchitektur. Der Schwerpunkt liegt dabei in der Vernetzung von Einzelsystemen zu einer integrierten Fahrumgebungserfassung. Aufgrund der vielfältigen Sensorik- und Applikationsanforderungen, muss diese Vernetzung offen, modular und flexibel sein, was die Hardware und die Software betrifft. Ziel ist es, eine Vielzahl von Sensoren einbinden und sowohl Komfort- als auch Sicherheitsfunktionen bedienen zu können.

Die Sensoren liefern ihre Daten an einen Umfelddatenserver, der daraus mittels Sensordatenfusion eine Umfeldbeschreibung erzeugt. Diese enthält Modelle für die Objekte der Verkehrsszene, also zum Beispiel Fahrzeuge mit Position und Geschwindigkeiten. In einem weiteren Verarbeitungsschritt wird dann eine Interpretation vorgenommen, wie zum Beispiel eine Spurwechselerkennung. Die Fahrerassistenz-Funktionen setzen auf der interpretierten Umfeldbeschreibung auf und erzeugen z.B. Fahrbefehle. Die Funktionskoordination setzt diese ggf. konkurrierenden Anforderungen auf die vorhandene Aktorik um, indem sie z.B. bremst oder beschleunigt. Zur Realisierung einer solchen Systemarchitektur gehört die Festlegung von physikalischen und logischen Schnittstellen. Es wurden hierzu Objektattribute definiert, die

lischen und logischen Schnittstellen. Es wurden hierzu Objektattribute definiert, die einerseits von der Sensorik geliefert werden und andererseits auch teil der Umfeldbeschreibung sind. Durch die Abkopplung der Sensorik von der Funktion durch die Umfeldbeschreibung ist die Modularität hinsichtlich der Sensorik gewährleistet. Innerhalb des Umfelddatenservers kann eine Verarbeitung auf Basis eines Kalman-Filters gewählt werden, die die Modularität auch softwareseitig herstellt.

Die Software-Systemarchitektur muss weiterhin für eine Anpassung (Alignment) der Sensordaten sorgen. Dazu gehört die örtliche Ausrichtung auf bekannte Koordinatensysteme und die zeitliche Synchronisierung. Letztere kann durch einen globalen Zeitstempel erreicht werden, der den Sensoren im Rückkanal zur Verfügung gestellt wird. Eine andere Methode hierzu sind zeitgesteuerte Bussysteme.

Abbildung 31 zeigt die physikalische Vernetzung der Sensoren (Laserscanner, Radare, Videosysteme und Fahrzeugdaten), wie sie von Volkswagen durchgeführt wird. Die Sensoren selber verfügen über CAN-Schnittstellen, auf denen zyklisch Sensordaten übertragen werden. Gateways verbinden die Sensor-CANs mit dem zentralen FlexRay-Bus, auf dem die Daten zeitgesteuert und ggf. redundant übertragen werden. Die Umfeldwahrnehmung setzt darauf auf und erhält nun Sensordaten, die in einem deterministischen Zyklus empfangen werden können. Dieses erlaubt eine Optimierung der Architektur der Sensordatenfusion, da nun z.B. für eine gleichmäßige Rechenlast gesorgt werden kann.

Neben der zeitgesteuerten Datenübertragung wird auch eine zeitgesteuerte Sensorik entwickelt. Nur so lässt sich eine kontinuierliche Quality-of-Service erreichen, der insbesondere für Sicherheitsapplikationen unentbehrlich ist. Die Vorhersagbarkeit der Kommunikation und die Redundanz in der Übertragung schaffen die Voraussetzungen für eine sichere Systemarchitektur.











3.2.1.2 AP2000 Sensorik

Reibwertschätzung

Es wurde eine Unterbeauftragung an die TU Braunschweig mit dem Thema "Modell-basierte Reibwertschätzung mit fahrzeugintegrierter Sensorik" vergeben. Dieser Unterauftrag wurde abgeschlossen und mit einem Abschlußbericht dokumentiert.

Umfeldsensorik

Aus wissenschaftlich-technischer Sicht bieten Laser- und videobasierte Sensoren gegenüber den radarbasierten Systemen den Vorteil einer präzisen Konturvermessung. Die radarbasierten Sensoren ermöglichen hingegen durch das physikalische Messprinzip eine direkte Bestimmung der Objektgeschwindigkeit im Sensorsichtbereich. Beide Messgrößen erscheinen insbesondere im Hinblick auf zukünftige Systeme zur Unfallvermeidung besonders notwendig, denn nur ein konsistentes und präzises Abbild der Fahrumgebung (geometrische und dynamische Repräsentation im Rechner) ermöglicht zukünftig noch komplexere Assistenzfunktionen für den Fahrer eines Kraftfahrzeugs.

a) Lasersensorik

Durch die Firma IBEO AS GmbH wurde eine Weiterentwicklung der Laserscannersensorik durch zur Integration in eine deterministische und zeitgesteuerte Struktur durchgeführt. Die Weiterentwicklung konzentriert auf den Bereich der Software. Beim bisherigen Softwarestand erfolgt bereits eine Auswertung der in Fahrtrichtung übereinander liegenden Scan-Ebenen, um eine Fahrbahndetektion zu ermöglichen. Durch Ausblenden dieser "Fehlziele" verbessert sich das Tracking von vorausfahrenden Fahrzeugen, indem sich die Robustheit gegenüber Nickbewegungen erhöht. In Zusammenarbeit mit den Arbeiten im AP4000 zur Implementierung einer zeitgesteuerten Netzwerkarchitektur wurden die durchgeführten Sensoranpassungen validiert und implementiert.

b) Radarsensorik

Es wurde die Nutzbarkeit von Nahbereichsradarsensoren für den Seitenbereich untersucht. In Zusammenarbeit mit AP4300 Sensorintegrationskonzepte, wurde eine Möglichkeit gefunden den seitlichen Bereich links und rechts neben dem Fahrzeug abzudecken.

Am Versuchsträger sind sowohl auf der rechten als auch auf der linken Seite jeweils zwei Nahbereichsradare (24GHz) vom Typ UMRR der Firma s.m.s angebracht. Die Abbildung 12 zeigt qualitativ, in welcher Weise die Antennen der vier Sensoren ausgerichtet sind. Die Daten der zwei Radarsensoren jeder Seite werden mit Hilfe eines Steuergeräts fusioniert, sodass aus der Sicht der Sensordatenfusion nur jeweils ein virtuelles Seitenradar auf jeder Seite des Fahrzeugs existiert und damit ein zugehöriges Sensorkoordinatensystem.











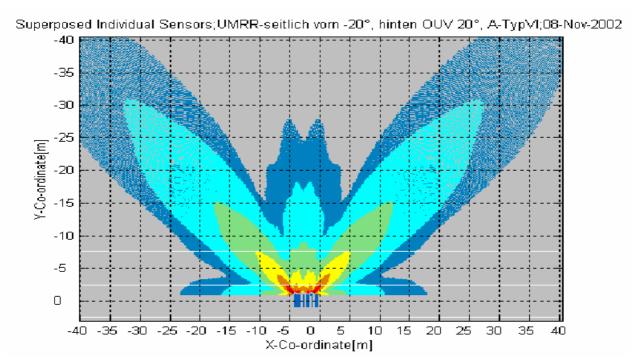


Abbildung 11: Radarausleuchtung auf der linken Fahrzeugseite

Beim Short Range Radar UMRR handelt es sich um ein LFMCW Radar. Auch hier werden wie beim Fernbereichsradar PCW7 für jeden Zielpunkt die radiale Entfernung, die radiale Geschwindigkeit und der Azimutwinkel vermessen. Die Schätzung des Azimutwinkels basiert auf dem Monopulsverfahren, womit die im Vergleich zum PCW7 geringere Unsicherheit der Winkelmessung zu erklären ist. Der Sichtbereich eines einzelnen Radarsensors vom Typ UMRR ist ebenfalls als Kreissektor mit einem Öffnungswinkel und einem Radius beschreibbar, jedoch beträgt die maximale Detektionsentfernung hier etwa 50 m bei einem Sichtwinkel von 26°. Der Einsatz unterschiedlicher Antennenformen erlaubt hinsichtlich des Sichtbereichs eine gewisse Bandbreite, grundsätzlich bedeutet ein Gewinn beim Öffnungswinkel einen Verlust bei der Detektionsentfernung. Die wichtigsten Daten des Nahradars UMRR sind in der Tabelle 2 zusammengestellt:











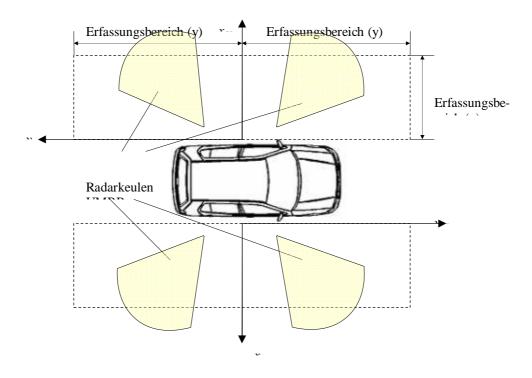


Abbildung 12: Anbau Nahbereichsradare UMRR, Sensorkoordinatensysteme und Erfassungsbereiche

Tabelle 2: Performance-Daten des Nahradars UMRR

Nahbereichsradar UMRR				
Parameter	Wert	Anmerkung/ Unsicherheit		
Antenne	verschiedene möglich	Anpassung Sichtbereich		
Frequenzband	24 – 24,25GHz	-		
Radiale Entfernungsmessung	min. 0,75m, max. 50m	typisch: 0,25m		
	, ,	0,755m: <0,5m		
		550m: <5%		
Radiale Geschwindigkeitsmessung	-250km/h+250km/h	typisch <0,25km/h		
Azimutwinkel	±13°	<0,5°		
Zykluszeit	<30ms	-5,5		











Im AP3300 wurde das zugehörige Sensormodell für die Sensorfusion unter Berücksichtigung der besonderen Sensoreigenschaften weiterentwickelt. Diese Arbeiten wurden im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt.

c) Stereo Bildverarbeitung

Im Versuchsträger wird ein Stereo-Bildverarbeitungssystem eingesetzt, welches sowohl Objekte als auch Fahrspuren detektiert. Die Bildverarbeitung sucht in beiden Bildern korrespondierende Bildpunkte und ermittelt eine 3D-Rekonstruktion der Szene. Diese Bildpunkte werden anhand verschiedener Kriterien gruppiert und zu Objekten zusammengefasst (Abbildung 13). Die Objekte werden als Quader mit Ausdehnung und Position beschrieben. Außerdem werden die Fahrspuren ermittelt und als Klothoiden-Modell beschrieben.

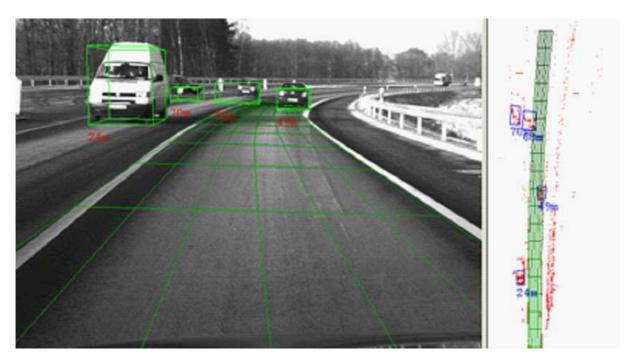


Abbildung 13: Von Stereo-Bildverarbeitung detektierte Objekte und Fahrspur; in Videobild eingeblendet (links) und in Vogelperspektive (rechts)

d) Zeitsteuerung der Sensorik

Die verwendete Laserscannersensorik ist hinsichtlich einer Zeitsteuerung weiterentwickelt worden. Die Drehgeschwindigkeit des Laser-Kopfes kann mit Hilfe einer zusätzlichen Synchronisationsleitung beeinflusst werden. Dies ermöglicht eine zeitliche Steuerung der Messdatenaufnahme und –verarbeitung. Zusätzlich wurde die verwendete Bildverarbeitung so modifiziert, dass sie über ein Digitalsignal triggerbar ist. Da bei Messungen im Fahrzeug die Daten zur Auswertung mit den Messdaten anderer Fahrzeuge verglichen werden müssen, muss die Zeitbasis des FlexRay-Netzwerkes von der GPS-Zeit abgeleitet werden.











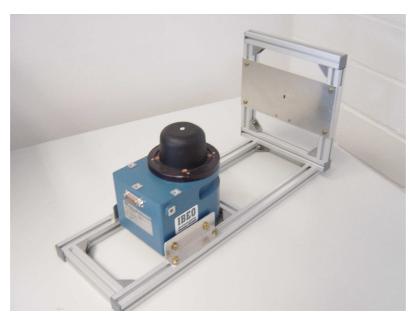


Abbildung 14: Versuchsaufbau zur Verifikation der Synchronisation des Laserscanners

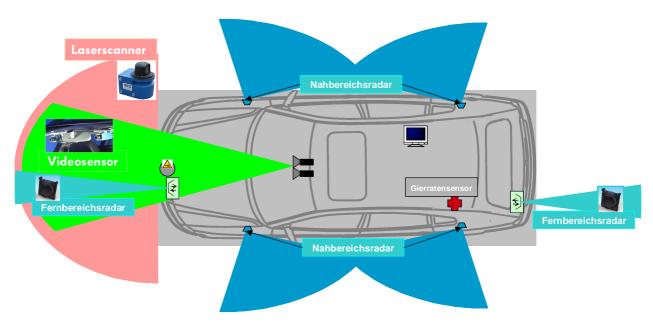


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Sensorbereiche im VW FUE Versuchsträger

Die hinsichtlich Zeitsteuerung weiterentwickelte Sensorik – die Laserscannersensorik sowie die Stereo-Bildverarbeitung – wurde in Betrieb genommen. Die Drehgeschwindigkeit des Laser-Kopfes kann über ein Sychronisationssignal beeinflusst werden, was eine zeitliche Steuerung der Messdatenaufnahme und –verarbeitung ermöglicht. Bei der Bildverarbeitung lässt sich über ein Triggersignal der Zeitpunkt der Bildaufnahme vorgeben. Zur Ansteuerung der Synchronisationsschnitstellen wurden die zum jeweiligen Sensor gehörigen FlexRay-CAN-Gateways modifiziert.











Hierzu war aus technischen Gründen auch eine Umstellung des Betriebssystems notwendig. Die Funktion der Synchronisation wurde in Einzelversuchen mit Hilfe spezieller Versuchsaufbauten verifiziert. Abschließend wurde eine Messung zur Verifikation des Gesamtsystems durchgeführt. Für diese Messung mussten die Messdaten der Sensoren mit Messdaten aus einem zweiten Fahrzeug verglichen werden. Hierzu war eine gemeinsame Zeitbasis (GPS-Zeit) notwendig. Das Fahrzeugdaten-Gateway wurde deshalb so modifiziert, dass die Daten eines GPS-Empfängers ausgewertet und zur Ableitung der FlexRay-Zeit von der GPS-Zeit herangezogen werden können.

e) Sensorübersicht

In Abbildung 15 sind zusammenfassend die Sichtbereiche der Umfeldsensoren im Versuchsträger in schematischer Darstellung abgebildet.

3.2.1.3 AP3000 Datenfusion und Interpretation

Die Aktivitäten im AP 3000 lassen sich an Hand einer dreistufigen Wahrnehmungspyramide beschreiben. Die unterste Stufe beinhaltet die Messdatenerfassung mit unterschiedlichen Sensoren. Im nächsten Schritt werden durch Detektion, Tracking und Klassifikation der Messdaten Objekte, wie zum Beispiel Verkehrsteilnehmer und Hindernisse, generiert. Das oberste Ziel der Perzeption ist die adäquate Beschreibung der Fahrumgebung in einem Umfeldmodell.

Modellierung der Fahrumgebung

a) Beschreibung des Umfeldmodells

Als Repräsentation der wahrgenommenen Fahrumgebung wird ein *Umfeldmodell* definiert). Das Umfeldmodell bildet einen Datencontainer, der Objekte für das eigene Fahrzeug, die Fahrbahn, andere Verkehrsteilnehmer und sonstige Objekte und Hindernisse in der Fahrumgebung beinhaltet. Die Sensordatenfusion legt die wahrgenommenen Informationen zu diesen Objekten in Dynamikmodellen ab. Die Dynamikmodelle repräsentieren die geometrischen, dynamischen und symbolischen Eigenschaften der Objekte:

- geometrische Eigenschaften: Länge, Breite, Höhe, Orientierung,
- dynamische Eigenschaften: Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung,
- symbolische Eigenschaften: zum Beispiel Objektklasse, wie PKW, LKW, Fußgänger.

Weiterhin wird das Bewegungsverhalten dieser Objekte mithilfe der Dynamikmodelle beschrieben, welche über Bewegungsgleichungen für einen gegebenen Zeitschritt die Zustandsgrößen der Objekte, wie zum Beispiel Positionen und Geschwindigkeit eines Fahrzeugs, vorhersagen.











Als Beschreibungssprache für die Modellierung der Fahrumgebung wurde UML (unified modelling language) eingesetzt. Diese Sprache hat sich als Standard für die Beschreibung in der objektorientierten Programmierung (OOP) etabliert.

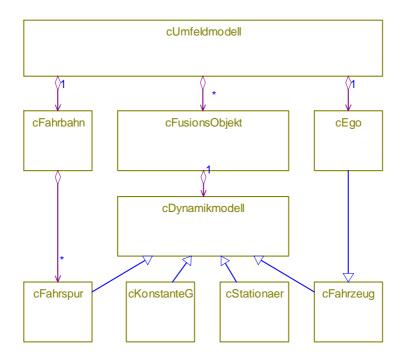


Abbildung 16: Umfeldmodell als Abbildung der Fahrumgebung mit Objektmodellen für das eigene Fahrzeug, die Fahrbahn und weitere Verkehrsteilnehmer oder Hindernisse

b) Beschreibung des Bewegungsverhaltens

Die Verkehrsteilnehmer in realen Verkehrssituationen weisen ein variierendes dynamisches Fahrverhalten auf. Als Beispiel soll eine Stop-and-Go-Situation dienen, bei der die Fahrzeuge zyklisch anfahren, abbremsen und stehen. Um dieses Verhalten zu berücksichtigen, wurden für die verschiedenen Fahrzustände angepasste Dynamikmodelle erstellt für:

- stehende Objekte: Dynamikmodell cStationaer,
- Objekte die sich entlang ihrer Ausrichtung bewegen: Dynamikmodell cFahrzeug,
- Objekte, bei denen Ausrichtung und Bewegungsrichtung unabhängig sind: Dynamikmodelle cKonstanteGeschwindigkeit und cKonstanteBeschleunigung.

Diese Dynamikmodelle lassen sich dynamisch umschalten (adaptive Filterung). Eine Dynamikklassifikation bestimmt dazu mithilfe von statistischen Tests anhand spezifischer Klassenmerkmale den aktuellen dynamischen Fahrzustand (zum Beispiel ste-











hendes Objekt) und wählt für dieses das optimale Dynamikmodell aus (zum Beispiel *cStationaer*). Als Klassemerkmale werden eingesetzt:

- die Signifikanz der geschätzten Zustandsgrößen des Schätzfilters
- die Innovation der Messung in Bezug zur Schätzung

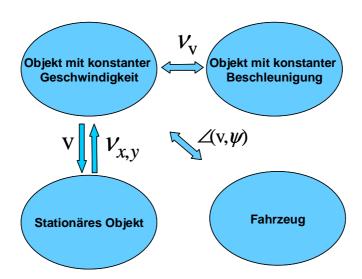


Abbildung 17: Zustandsautomat für die verschiedenen Dynamikmodelle mit Übergangsbedingungen (Dynamikklassifikation)

Im Ergebnis der Dynamikklassifikation wird die Objektverfolgung stets mit einem angepassten Dynamikmodell durchgeführt. Die Folge ist eine verbesserte Güte der Schätzung in Bezug auf die Konsistenz sowie die Genauigkeit der geschätzten Zustandsgrößen.

Sensordatenfusion

Der Schwerpunkt Sensordatenfusion zerfällt in die Themenblöcke Sensorplattform, Fusionskonzepte und Tracking. Es bleibt festzuhalten, dass bei allen Partnern die Datenfusion der unterschiedlichen Sensoren gewöhnlich auf Objektebene in einem Umfeldmodell (siehe auch AP 4000) erfolgt.

a) Sensorplattform

Es wurde eine Sensorkombination ausgewählt, die sowohl die komplementäre als auch kooperative Sensorfusion auf Objektebene umfasst und den Fusionsgewinn deutlich machen kann. Dazu gehört ein Bildverarbeitungssystem auf Stereo-Basis, ein 4-Ebenen-Laserscanner und Seitenradarsensorik (siehe auch AP 2000). Während die ersteren konkurrierende Informationen des Bereichs vor dem Fahrzeug liefern, deckt die Seitenbereichssensorik einen komplementären Bereich neben und hinter dem Fahrzeug ab.

Das Stereo-Bildverarbeitungssystem liefert die eigene Spur, Nachbarfahrspuren, Objekte und Fahrschlauchbegrenzungen. Während die eigene Spur und die Objekte











(Fahrzeuge, usw.) mit guter Qualität geliefert werden, werden Nachbahrfahrspuren und die Fahrschlauchbegrenzungen (z.B. Leitplanken) nur unter guten Bedingungen erkannt. Probleme machen auch unterschiedliche Beleuchtungsverhältnisse, wie sie beim Durchfahren von Unterführungen auftreten.

Der Laserscanner liefert zusammengefasste Konturobjekte von Fahrzeugen und Bebauung aller Art. Diese Konturen bestehen aus Mehrpunktbeschreibungen, die aus einem Punkt-Cluster berechnet werden. Die Clusterung der Datenpunkte ist angepasst an Fahrzeuge, so dass andere Objekte (insbesondere am Rand) häufig in mehrere Objekte zerfallen. Weiterhin ist die Messgüte sehr empfindlich gegenüber Regen.

Der Seitenradar besteht aus je zwei Sensoren die über Kreuz nach schräg vorne bzw. schräg hinten schauen. Der Seitenradar liefert zusammengefasste Detektionen. Da sich aus diesen Daten keine vollständige Objekthypothese (mit Ausdehnung) der Objekte generieren lässt, wird diese Sensorik ausschließlich zum Stützen von bereits vorhandenen Objekten benutzt.

Für die Visualisierung und Aufzeichnung im Online-Betrieb wurde ein Datenrekorder entwickelt (Abbildung 18). Bei der Offline-Wiedergabe ist es zusätzlich möglich, zeitsynchron zu den Sensordaten ein parallel aufgezeichnetes Video darzustellen (Abbildung 19). Die folgenden Abbildungen zeigen dies ausschnittweise:

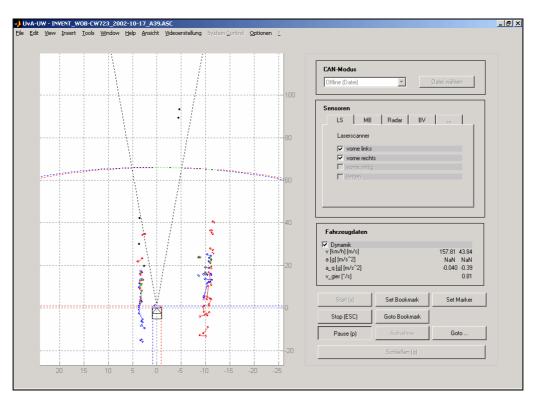


Abbildung 18: Datenrekorder zur Visualisierung und Aufzeichnung der Sensordaten im Onlinebetrieb











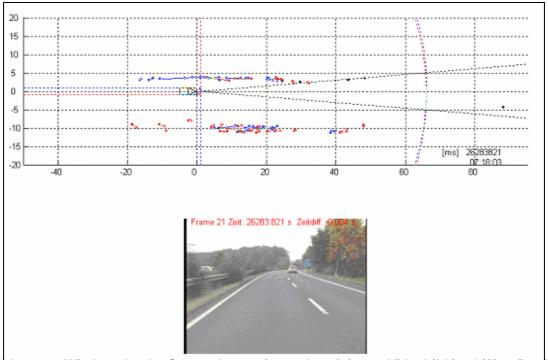


Abbildung 19: Wiedergabe der Sensordaten mit synchronisierten Videobild im Offline-Betrieb

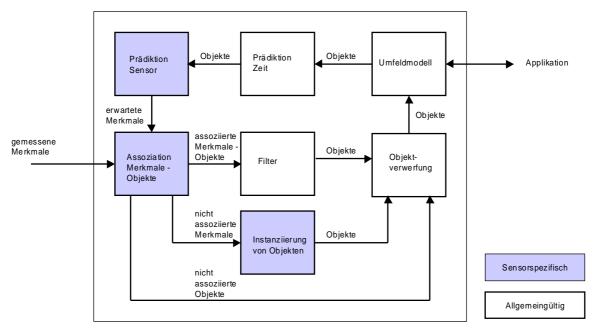


Abbildung 20: Rekursiver Ablauf der Sensordatenfusion mit sensorspezifischen Anteil (Sensormodelle) und allgemeingültigen Anteil (Filterkern)











b) Fusionskonzepte

Ausgehend von der Charakteristik der Umfeldsensoren wird eine Fusionsarchitektur eingesetzt, welche die Sensordaten komplementär, redundant und kooperativ fusionieren kann. Weiterhin kann die Sensordatenfusion nicht-deterministische Sensordaten integrieren.

Die Fusion erlaubt nun im Frontbereich eine Objektschätzung basierend auf Stereound Laserscannerdaten. Da beide Sensoren Objekte in der Position und Breite vermessen, erfolgt eine redundante Fusion, so dass die Güte der Gesamtschätzung steigt. Zusätzlich liefert Stereo eine Höhe, die die dritte Dimension des fusionierten Objekts beschreibt. Während die Entfernungsmessung hauptsächlich vom Laser bestimmt wird, ist die Querablage und Breite stark von der hier exakter messenden Videosensorik bestimmt.

Fahrzeuge, die vom Seitenbereich in das Sichtfeld der Sensorik eintreten, werden zunächst nur vom Laser gesehen, so dass dieser eine Objekthypothese generiert, die dann von Stereo gestützt werden kann.

Sensormodell Seitenradar:

Das Sensormodell des Seitenradars stützt sich auf die Beobachtung bevorzugter Reflexionspunkte eines Fahrzeugs im Seitenbereich und deren Bewertung hinsichtlich ihres Informationsgehalts. Sobald sich ein Fahrzeug direkt neben dem Versuchsfahrzeug befindet, besitzt der Reflexionspunkt z.B. keine Information mehr bezüglich der longitudinalen Bewegung. Daher wird ausschließlich der laterale Abstand in das zu stützende Objekt fusioniert.

Anhand zweier Modellansätze, die jeweils das Auftreten von Radarmesswerten an den für den Seitenradar sichtbaren Objektseitenflächen bzw. auf dem Objektgrundriss berücksichtigen, wurde die Objektverfolgung mit Hilfe des Seitenradars realisiert. Für jeden dieser Ansätze des Sensormodells wurde aufgrund einiger Annahmen eine Optimierung versucht, um die Ergebnisse des Tracking von Objekten des Umfeldmodells zu verbessern. Es stellte sich heraus, dass im Zusammenhang mit einem Autobahnszenario die besten Resultate mit dem Sensormodell erzielt werden können, dass zusätzlich zu den drei sichtbaren senkrechten Seitenkanten des Zielobjekts auch noch weitere Zielpunkte auf den Seitenflächen prädiziert bei einem konfigurierbaren Maximalabstand der Punkte von 1,5m. Zusätzlich wurde die Messfehler-Kovarianzmatrix vor dem Zuweisen der Messwerte sowie danach verdoppelt. Ein zweistufiges Assoziationsverfahren stellte dabei sicher, dass für den Fall mehrerer Zuordnungsmöglichkeiten die Eckpunkte des Objektgrundrisses bevorzugt assoziiert wurden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Objektverfolgung im Fahrzeugseitenbereich aufgrund des Sensormodells möglich ist, wenngleich Verbesserungspotenziale bestehen. Mögliche Ansatzpunkte sind die Zustandsgrößen Gierwinkel und Objektgeschwindigkeit, da hier offenbar große Sprünge im zeitlichen Verlauf der Zustandsschätzung auftreten. Da die beiden Größen bei der zeitlichen Prädiktion der Objektzustände entscheidende Bedeutung haben, verspricht eine gezielte Beeinflussung











der Unsicherheit dieser Größen eine verbesserte Performance der gesamten Zustandsschätzung.

Die Implementierung des Sensormodells für den Seitenradar und die Untersuchungen wurden im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt.

Besonderes Augenmerk lag bei den Untersuchungen auf der Fusion der Daten und der gegenseitigen Unterstützung der Verfahren, die durch die Verfügbarkeit unterschiedlicher Sensoren möglich sind. Es hat sich gezeigt, dass die Fusion prinzipiell sowohl unter Zugriff auf Roh- bzw. Messdaten, als auch auf Merkmalsdaten und Objektdaten stattfinden kann.

Die Sensordatenfusion integriert die Messmerkmale der Umfeldsensoren in die Objektmodelle des Umfeldmodells. Werden unterschiedliche Umfeldsensoren eingesetzt, unterscheiden sich auch die Messmerkmale. Eine Erweiterung der Kalman Filter ermöglicht hier eine Objektassoziation und -aktualisierung durch wechselnde Messmerkmale (Abbildung 21).

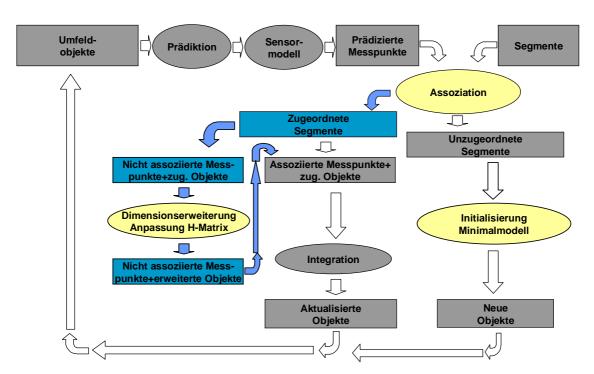


Abbildung 21: Erweiterung des Kalman-Filters für die Integration wechselnder Messmerkmale in heterogenen Sensornetzwerken

c) Simulationsplattform

Es wurde eine Simulationsumgebung aufgebaut, die Modelle für die detektierten Umfeldobjekte, das Ego-Fahrzeug und die Fahrbahn beinhaltet. Die Modelle basieren auf dem von der Volkswagen AG vorgestellten Umfeldmodell. Außerdem wurden verschiedene Sensormodelle (Dynamiksensor, Radar, Video) implementiert und in die Simulationsumgebung zu integrieren. Die Simulationsumgebung bildet die Grund-











lage für die Entwicklung und Validierung der Algorithmen für die Datenfusion und die Interpretation.

Aus dem Katalog der Referenzszenarien (AP1000) wurden einfache, grundlegende Szenarien ausgewählt und in die Simulationsumgebung implementiert. Für die Visualisierung wurde eine 2D/3D-Darstellung der Verkehrsszene erstellt.



Abbildung 22: Grafische Darstellung des Umfeldmodells in der Simulationsumgebung mit Fahrbahn, Ego-Fahrzeug (vorn) und weiteren Verkehrsteilnehmern

Objektverfolgung

Weiterhin sind Verfahren für einen Mehrfachhypothesenansatz (IMM Interacting-Mutiple-Model) erarbeitet worden, bei denen zeitgleich auf demselben Umfeldmodell unterschiedliche Dynamikmodelle für alle Objekte gerechnet werden, d.h. es werden mehrere Modellhypothesen gleichzeitig verfolgt. Als Ergebnis erhält man ein situations-adaptives Tracking sowie ein Wahrscheinlichkeitsgewicht für jede Modellhypothese.

Die implementierte Erweiterung des Trackings wurde anhand von Messdaten aus Stauszenarien getestet. Abbildung 23 zeigt den Geschwindigkeitsverlauf eines beobachteten Objektes in einer Stop-and-Go-Szene. Das beobachtete Fahrzeug wechselt hier zwischen den Fahrzuständen "Stehen" (Stationär), "Beschleunigen" und "Fahren mit konstanter Geschwindigkeit". Für diese Fahrzustände wurden dynamische Modelle für das Tracking-Filter implementiert. Die in Abbildung 23 gezeigten Modellwahrscheinlichkeiten spiegeln die Erkennung der verschiedenen Fahrzustände wieder und erlauben auch eine Interpretation der Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen (z.B. von stationär auf beschleunigt).











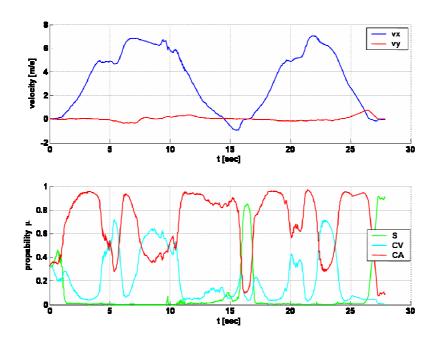


Abbildung 23: Geschwindigkeitsverlauf und Modellwahrscheinlichkeiten beim Multiple Model Tracking eines Stop-and-Go-Szenarios (verwendete Modelle: stationär (S), konstante Geschwindigkeit (CV), konstante Beschleunigung (CA))

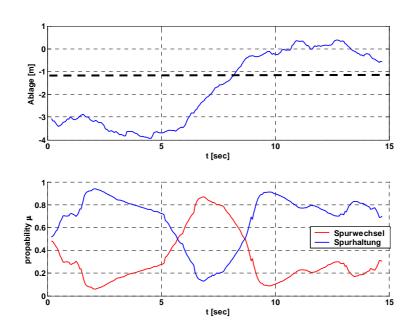


Abbildung 24: Verlauf der seitlichen Ablage des beobachteten Fahrzeugs und Modellwahrscheinlichkeiten des Multiple-Model-Filters während Einschervorgangs











Zusätzlich wurde das Interacting-Multiple-Model-Tracking (IMM) für die Erkennung von Fahrmanövern verwendet. Dazu wurden für die möglichen Fahrmanöver (z.B. Spurwechsel und Spurhalten) spezielle Filtermodelle implementiert. Beide Modelle laufen parallel innerhalb des Tracking-Prozesses.

Das Verfahren wird in Abbildung 24 anhand eines Einschervorgangs demonstriert. Das beobachtete Fahrzeug wechselt von der rechten Nachbar-Fahrspur in die Fahrspur des eigenen Fahrzeugs. Das Multiple-Model-Filter passt sich hierbei adaptiv an die verschiedenen Fahrzustände des beobachteten Fahrzeugs an. Die in Abbildung 24 dargestellten Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Teilfilter (Manöver-Hypothesen) ermöglichen eine frühzeitige Erkennung des Fahrmanövers Spurwechsel.

Interpretation der Verkehrssituation

Eine isolierte Betrachtung der geschätzten Eigenschaften des eigenen Fahrzeugs ist nur für einfache Fahrerassistenzsysteme ausreichend. Als Beispiel soll hier das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) dienen, welches die Zustände des eigenen Fahrzeugs betrachtet und über einen Bremseingriff eine Stabilisierung des Fahrzeugs in Schleudersituationen erreicht. Zukünftige Fahrerassistenzsysteme werden die Beziehungen zwischen den einzelnen Objekten in der Fahrumgebung stärker berücksichtigen.

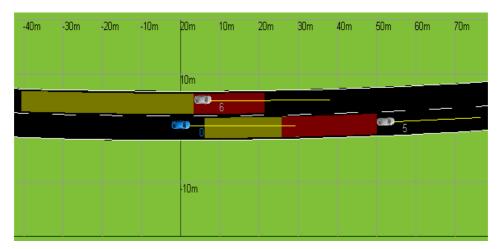


Abbildung 25: Darstellung einer simulierten Verkehrssituation (blau: eigenes Fahrzeug, grau: Umfeldobjekte) mit eingeblendeten Kollisions- und Abstandsbereichen (roter Bereich: kritischer Kollisionsbereich, der einen zeitlichen Abstand von ttc = 5 Sekunden widerspiegelt, gelber Bereich: kritischer Abstandsbereich mit einer Zeitlücke von tg = 1.8 Sekunden

Während in der Sensordatenfusion die Objekte in der Fahrumgebung (eigenes Fahrzeug, Umfeldobjekte, Fahrbahn) noch einzeln betrachtet werden, erfolgt in der Situationsklassifikation eine intelligente Verknüpfung der gewonnen Informationen über die Verkehrssituation. Es werden die Beziehungen zwischen den einzelnen Verkehrsteilnehmern und deren Aktionen betrachtet. Damit erfolgt der Schritt von der Umfelderkennung hin zum Verstehen der Bedeutung der aktuellen Verkehrssituation.











Für das AP 3100 "Situationserkennung und -modellierung" wurde eine Klassifikation von Verkehrssituation implementiert und anhand von simulierten Fahrszenen (Abbildung 25) und anhand von realen Autobahnszenarien getestet.

Es wurde für das AP 3100 "Situationserkennung und -modellierung" die Klassifikation von Elementarsituationen entwickelt und mit realen Autobahnszenarien verifiziert. Eine Elementarsituation beschreibt dabei die Beziehung zwischen dem eigenen Fahrzeug und einem Zielfahrzeug.

Die Merkmale für die Klassifikation der Elementarsituationen bilden die Fahrspur-Zuordnungen der Objekte, die Zeitlücke (time gap) und die Kollisionszeit (time to collision) zwischen dem eigenen Fahrzeug und dem Zielfahrzeug. Die Zeitlücke gibt die Zeit bis zum Erreichen der aktuellen Position des Zielfahrzeugs an, die Kollisionszeit die Zeit bis zu einer Kollision mit diesem Fahrzeug bei Betrachtung der aktuellen Zustände des eigenen und des beobachteten Fahrzeugs.

Diese Merkmale spannen einen Merkmalsraum auf und ermöglichen eine Einteilung der Elementarsituationen in die Klassen Anfahrt, Folgefahrt, Zurückfallen, Überholen und Überholt werden. Diese Situationsklassen werden näher charakterisiert, indem für die Zeitlücke eine kritische untere Grenze von 1.8 Sekunden und für die Kollisionszeit eine kritische untere Grenze von 5.0 Sekunden definiert wird. Mit diesen kritischen Zeitabständen lassen für ein gegebenes Zielobjekt kritische Fahrbereiche für das eigene Fahrzeug schätzen (Abbildung 25). Die in dieser Abbildung dargestellte Verkehrssituation zeigt die Klasse Anfahrt auf ein Zielobjekt in der eigenen Fahrspur.



Abbildung 26: Darstellung eines Ausschervorgangs (blau: eigenes Fahrzeug, grau: Umfeldobjekte) mit eingeblendetem Abstandsbereich (gelb) und Kollisionsbereich (rot)

Neben der Klassifikation der aktuellen Situation werden auch die Manöver der beobachteten Fahrzeuge detektiert. Mit den erkannten Manövern lässt sich die zukünftige Verkehrsituation vorhersagen. Abbildung 26 zeigt einen Ausschervorgang. Das Zielfahrzeug befindet sich noch in der eigenen Fahrspur, führt aber ein Spurwechselmanöver zur linken Fahrspur aus. Sowohl die aktuelle Fahrspur als auch die prognostizierte Fahrspur des Zielobjekts werden daher mit den kritischen Kollisionsund Abstandsbereichen gekennzeichnet.

Die Verkehrssituation nach Beendigung des Ausschervorgangs zeigt Abbildung 27. Die Bedeutung der dargestellten aktuellen Verkehrssituation lässt sich anhand der kritischen Fahrbereiche erkennen. Das eigene Fahrzeug führt eine Anfahrt auf das











Zielobjekt in der eigenen Fahrspur durch und befindet sich bereits im kritischen Abstandsbereich. Die Beziehung für das Zielfahrzeug auf der Nachbarfahrspur stellt die Klasse "Überholt werden" dar.

Die kritischen Fahrbereiche stellen eine Risikobewertung der erkannten Elementar-Situationen dar. Zudem lassen sich auch die Manöver in ihrem Risiko bewerten. Die Manöver, die in einen kritischen Fahrbereich führen, erhalten die Risikobewertung der mit diesem Manöver vorhergesagten Elementarsituation. Das Manöver Spurwechsel links des eigenen Fahrzeugs würde in der in Abbildung 27 dargestellten Verkehrssituation in einen kritischen Fahrbereich führen.

Die Risikobewertung der Elementarsituationen und der Manöver kann für die Steuerung der Aufmerksamkeit der Umfeldwahrnehmung eingesetzt werden. Die zu den kritischen Elementarsituationen und zu den kritischen Manövern zugehörigen Zielobjekte können mit einer höheren Messrate beobachtet und ihre Zustandsgrößen mit aufwendigeren Filteralgorithmen geschätzt werden.



Abbildung 27: Verkehrssituation nach Beendigung des Ausschervorgangs (7 Sekunden nach Abbildung 26)

Aufmerksamkeitssteuerung zur Priorisierung relevanter Bereiche

Die Gewährleistung einer echtzeitfähigen Wahrnehmung erfordert eine Begrenzung der zu verarbeitenden Informationen in der Sensordatenfusion. Diese Begrenzung erfolgt auf der Ebene:

- der Messwerte: durch eine Einschränkung des ausgewerteten Erfassungsbereichs der Umfeldsensoren,
- des Umfeldmodells: durch eine Reduzierung der wahrgenommenen Objektmodelle.

Eine Aufmerksamkeitssteuerung muss dazu die relevanten Objekte und Bereiche in der Fahrumgebung bestimmen und kennzeichnen, die als Eingangsinformationen für die Funktion der Applikationen notwendig sind. Objekte und Bereiche, die nicht gekennzeichnet wurden, brauchen nicht umfassend betrachtet werden.

Relevante Objekte sollten dagegen eine höhere Aktualisierungsrate in der Sensordatenfusion erhalten oder mit komplexeren Schätzmethoden (wie zum Beispiel Multi-Modell Filter) beobachtet werden.











Eine Aufmerksamkeitssteuerung ist dabei auch abhängig von den eingesetzten Applikationen, die einen Aufmerksamkeitsbereich definieren. So können Objekte auf der Fahrspur des eigenen Fahrzeugs und der Nachbarfahrspuren eine höhere Relevanz erhalten, als Randobjekte. Die Relevanz der Objekte kann auch von ihrem Gefährdungspotenzial in Bezug auf das eigene Fahrzeug abhängen.

3.2.1.4 AP4000 Systemarchitektur

Konzeption einer Systemarchitektur

Die Anforderungen an die Systemarchitektur werden die Messzyklen und den Umfang der Messdaten der Umfeldsensoren bestimmt. Die unterschiedlichen Zykluszeiten, durch die verschiedenen Messbereiche, Messmethoden und Belichtungszeiten, variieren in einem Bereich von 1 bis 100 ms. Die von der Fahrsituation abhängige Anzahl der Objekte, erzeugt eine in jedem Messzyklus variable Vorverarbeitungszeit der Messdaten.

Zur Vernetzung der Sensorsysteme bieten sich ereignis- als auch zeitgesteuerten Architekturen für die Fahrumgebungserfassung an. Der prinzipielle Unterschied zwischen Ereignis- und Zeitsteuerung ist, dass bei der Ereignissteuerung der Bezug zurzeit durch ein Ereignis (Interrupt) hergestellt wird, wohingegen die Zeitsteuerung ausschließlich durch Voranschreiten einer globalen Zeit getrieben wird (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Vergleich zwischen Ereignissteuerung und Zeitsteuerung

Ereignissteuerung	Zeitsteuerung
Zeitliche Steuerung durch Ereignisse (Inter- rupt) abgeleitet	Zeitliche Steuerung durch voranschreiten der Zeit
keine präzise zeitliche Spezifikation der	Schnittstellen sind zeitliche Firewalls
Schnittstellen	definierte Latenzzeiten
unbestimmte Latenzzeiten	Regelalgorithmen stabil realisierbar (konstan-
System stellt variables Totzeitglied dar	tes Totzeitglied)
geeignet für sporadische Daten	deterministisch
nicht deterministisch	statisch berechenbar

Zeitgesteuerte Systeme verfügen systembedingt über eine global synchronisierte Zeitbasis. In ereignisgesteuerten Systemen wird eine globale Zeitbasis erreicht, indem ein Zeitmaster eine Nachricht mit einem Zeitstempel an die einzelnen Teilnehmer im Kommunikationsnetzwerk verteilt.

Definition von Schnittstellen für den Datenaustausch

Die verschiedenen Sensoren liefern je nach physikalischem Messprinzip, Technologie und Sensor-Vorverarbeitung objekt- bzw. fahrspurbezogene Attribute. Im Wahr-











nehmungsmodul (siehe auch AP 3000) werden diese Objekt-/ Fahrspurattribute weiterverarbeitet und als geometrisches, dynamisches Abbild der Fahrumgebung im Umfeldmodell abgelegt. Diese Repräsentation erfordert andere Attribute, insbesondere durch Hinzunahme der dynamischen Objekteigenschaften. Auf den beiden Workshops, die im Berichtszeitraum stattfanden, wurden die folgenden drei Attributklassen vorgestellt:

Attributklasse Sensor - Objekte

Attributklasse
 Attributklasse
 Sensor - Fahrspur/Infrastruktur
 Umfeldmodell – Zustandsgrößen

Die Attributklasse Sensor-Objekte enthält direkt messbare Größen der detektierten Objekte im jeweiligen Sensorsichtbereich, sowie indirekt abgeleitete Zustandsgrößen aus den Sensor-Vorverarbeitungsalgorithmen (zum Beispiel aus Tracking Filter): Breite, Länge, Höhe, Position, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Gierwinkel, Gierrate, Objekttyp und Identifikatoren.

In der Attributklasse Sensor-Fahrspur/Infrastruktur sind diejenigen Messgrößen zusammengefasst, die vorausschauende Informationen über den Fahrbahnverlauf und ortsbezogene Eigenschaften über den Straßenzustand enthalten: *Breite, Krümmung, Krümmungsänderung, Versatz, Gierwinkel, Markierungsart, Belagart, Reibwert, Sichtweite, Temperatur und Luftfeuchte.* Messgrößen wie Gierwinkel und Versatz stellen hierbei den Zusammenhang zwischen dem Weltkoordinatensystem und dem Koordinatensystem des eigenen Fahrzeugs her, auf das sich ein Großteil der Sensorinformationen bezieht (siehe hierzu auch die Festlegungen in Arbeitspaket Spezifikation, AP1000).

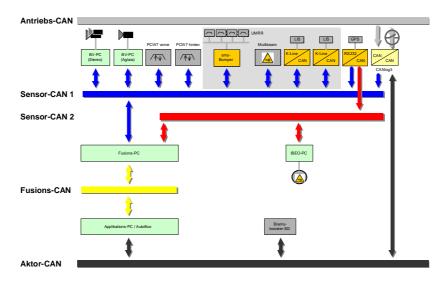


Abbildung 28: Topologie in CAN-Architektur (Ausbaustufe 1)











Die Information, die vom Umfeldmodell den Applikationen zur Verfügung gestellt wird, ist objektbezogen und nicht mehr sensorbezogen und erfordert eine eigene angepasste Attributklasse mit den Attributen: Breite, Länge, Höhe, Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Gierwinkel, Gierrate, Krümmung, Krümmungsänderung, Versatz, Markierungsart und Nachbarfahrspuren. Im Unterschied zu den Attributklassen der Sensoren sind im Umfeldmodell auch situationsabhängig interpretierte Größen enthalten wie zum Beispiel die Nachbarfahrspuren. Tracking-Informationen, wie sie bei verschiedenen Sensoren objektbezogen vorliegen, werden durch Dynamikmodelle ersetzt.

Topologie in CAN-Architektur (Ausbaustufe 1)

Der Versuchsträger wird in zwei Schritten aufgebaut. Zunächst wird das Fahrzeug CAN-vernetzt und in einem zweiten Schritt in die zeitgesteuerte Architektur mit Flex-Ray überführt. Das Vernetzungskonzept in der ereignisgesteuerten Architektur stellt sich wie folgt dar:

Das durch die Sensoren produzierte Datenaufkommen wurde abgeschätzt und das bestehende CAN-Transportprotokoll erweitert. Es wurde festgestellt, dass ein System mit ca. 5 MBit/s Datenübertragungsrate die Anforderungen aus Sensorssicht erfüllt, wobei gegebenenfalls die maximale Anzahl von Objekten, die ein Sensor zur Applikation übermittelt kann, limitiert werden muss. Allerdings ist hier bei der Verwendung einer CAN-Architektur bereits der Einsatz von zwei CAN-Bussen notwendig.

Topologie in FlexRay-Architektur (Ausbaustufe 2)

Die Topologie in der zeitgesteuerten Architektur sieht folgendermaßen aus:

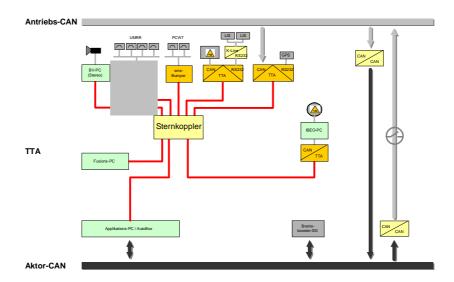


Abbildung 29: Topologie in FlexRay-Architektur (Ausbaustufe 2)











Die grau hinterlegten Teilnehmer sind analog zur CAN-Vernetzung optional. Das Vernetzungskonzept in der zeitgesteuerten Architektur sieht eine sternförmige Vernetzung vor. Der Sternkoppler ist in seiner Funktionsweise wie ein Hub zu betrachten, der die Nachrichten an alle Teilnehmer des Sterns durchreicht. Dabei wird das gesendete Frame vom Sternkoppler nur als Bitstrom betrachtet und nicht der CRC ausgewertet. Es handelt sich also um einen passiven Stern.

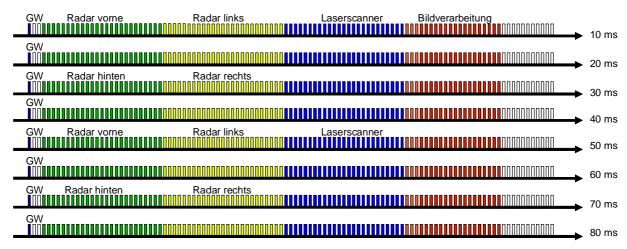


Abbildung 30: Schedule des FlexRay-Netzwerks

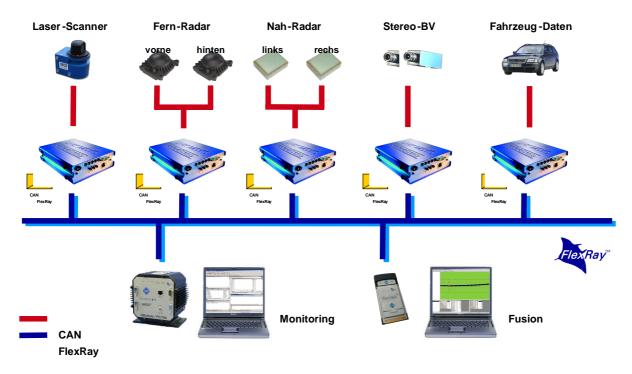


Abbildung 31: Übersicht FlexRay-Netzwerk mit der Anbindung von CAN-Sensoren über Gateways











Es wurde eine Datenfestlegung erarbeitet mit der unter den Randbedingungen der aktuellen FlexRay-Implementierung die Sensordaten zum Fusionsrechner übertragen werden können. In diesem Zusammenhang wurden unterschiedliche Methoden der Datenübertragung unter Nutzung der in FlexRay zur Verfügung stehenden Möglichkeiten (statischer/dynamischer Teil, Applikationszyklen) theoretisch betrachtet. Für die Sensorkonfiguration des Volkswagen Versuchsträgers wurde ein erster Schedule (Ablauf der zeitgesteuerten Kommunikation) erstellt:

Für eine einfache Migration der aktuell verfügbaren Sensoren wurde die Anbindung über CAN-FlexRay-Gateways gewählt. Bei der Programmierung dieser Gateways muss besonderes Augenmerk auf die Problematik der Behandlung von Events (Eintreffen von CAN-Botschaften) in einem zeitgesteuerten System gelegt werden.



Abbildung 32: Systemeinbau in den Volkswagen Versuchsträger mit FlexRay-Vernetzung (weiß umrandet)











3.2.1.5 AP5000 Validierung

Kurzfassung

Ziel des AP 5000 war die Bewertung der Fahrumgebungserfassung anhand geeigneter Testszenarien sowohl im Labor als auch auf dem Testgelände im Versuchsfahrzeug. Beim Kickoff-Treffen des AP 5000 in Rüsselsheim wurde vereinbart, dass eine qualitative Auswertung mit Hilfe von Visualisierungs- und Dokumentationstools an den Schnittstellen zwischen der Fahrumgebungserfassung und den Applikationsprojekten (STA und VAS) unterstützt werden muss.

In Zusammenarbeit mit dem Teilprojekten STA und VAS wurden repräsentative elementare Referenzszenarien anhand des jeweiligen Arbeitsstandes in AP1000 definiert und entsprechend parametriert. Im weiteren Projektablauf sind diese Szenarien durch Bewertungskriterien ergänzt worden.

Das Arbeitspaket 5000 ist in 3 Unter-Arbeitspakete aufgeteilt worden:

- UAP 5100 Aufbau von Test- und Referenzszenarien (UAN)
 - Erstellung und Pflege einer Datenbank von Schlüsselszenen
 - Durchführung von Messfahrten und Katalogisierung der Messseguenzen
- UAP 5200 Validierung und Fahrzeugerprobung
 - Ausrüstung der Versuchsträger mit Sensoren und Messtechnik, Inbetriebnahme
 - Versuchsdurchführung und Auswertung
 - Optimierung der Sensorauswertealgorithmen und der Sensordatenfusion
- UAP 5300 Demonstration und Präsentation
 - Versuchsträger mit Messtechnik und Sensoren ausgerüstet
 - Datenbank mit Verkehrsszenen für STA und VAS

Die grundsätzliche Zielsetzung des Arbeitspaketes Validierung und Bewertung wurde innerhalb des Teilprojektes FUE abgestimmt. Die wesentlichen Kernaufgaben wurden wie folgt formuliert:

- Die Demonstration der Leistungsfähigkeit der Sensorik soll applikationsabhängig anhand ausgewählter, definierter Szenarien auf Basis des in AP 1000 beschriebenen und mit den Applikationen abgestimmten Szenenkatalogs erfolgen.
- Die Leistungsfähigkeit der Modelle zur Umfeldbeschreibung soll durch Verwendung geeigneter Visualisierungstools transparent werden, zum Beispiel durch Verwendung umschreibender Quader für Objektkonturen in der Videodokumentation. Darüber hinaus soll die Visualisierung der Umfeldbeschrei-











bung flexibel konfigurierbar ausgelegt werden, um eine applikations- und situationsbezogene Auswertung und Optimierung zu unterstützen.

Bei der Volkswagen AG wurden für das Arbeitspaket AP5100 Testszenarien formuliert und umgesetzt.

Im AP5200 hat Volkswagen das Versuchsfahrzeug mit einem kompletten System von Sensoren zur Umfeldwahrnehmung und -interprätation aufgebaut und in einem umfangreichen Testprogramm beim fka getestet.

Im Rahmen des AP5300 ist das Fahrzeug beim BMBF in Bonn zu der Meilensteinpräsentation und zur INVENT-Abschlusspräsentation in München gezeigt werden.

Beschreibung

In dem AP 5000 war die Durchführung einer Bewertung der Güte der durch die angewandte Sensorik realisierten Fahrumgebungserfassung geplant. Diese Bewertung sollte anhand geeigneter Testszenarien sowohl im Labor als auch auf dem Testgelände im Versuchsfahrzeug durchgeführt werden.

Neben der qualitativen Erfassung, die durch eine Visualisierung möglich war, stellte die quantitative Auswertung die eigentliche Herausforderung dar, die aufgrund unterschiedlicher Sensorkonfigurationen nur bedingt gemeinsam im Projekt durchgeführt werden konnte. Einzelne Projektpartner verfügten über verschiedene Messstrecken, die entsprechend erfasst worden konnten. Für Teilaufgaben hingegen, wie z.B. die Erkennung von Verkehrszeichen, konnte ein Vergleich der Erkennungsverfahren erfolgen.

In Abstimmung mit den Partnern bezüglich der gemeinsamen Vorgehensweise bei der Validierung der Fahrumgebungserfassung wurden für die Aufgabe zwei Schritte festgelegt worden:

- 1. eine Charakterisierung der Leistungsfähigkeit der Einzelsensoriken anhand von Referenzszenarien
- 2. eine Bewertung der Fahrumgebungserfassung im Zusammenspiel mit den Applikationen.

Während der Meilensteinpräsentation in Bonn wurde deutlich, dass alle Teilprojektpartner in ihren Versuchsträgern Einrichtungen zur Echtzeit-Visualisierung der Fahrumgebungserfassung installiert haben, so dass die Ergebnisse der Fahrumgebungserfassung direkt sichtbar und beurteilbar waren.

Grundlage für den Validierungsprozess und für die Vorbereitung von Referenzszenarien war der Bericht der fka "Spezifikation von Szenarien für Test und Validierung von ausgewählten Fahrerassistenzsystemen" aus dem AP1400

Anhand einzelner Szenarien wurde bei VW sowohl eine Sensorvalidierung der Seitenradare als auch die Gesamtvalidierung der Sensoren und Sensorfusion schrittweise durchgeführt. Ziel der Tests war der Entwurf und die Ausarbeitung geeigneter Prüfverfahren zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Wahrnehmungssystems. Aus der Betrachtung des zu erwartenden Verkehrsumfeldes für die Anwendungen











des Wahrnehmungssystems wurde eine Vielzahl relevanter Situationen identifiziert, unter denen das System jederzeit zuverlässig funktionieren muss.

Als wichtige Elemente der Fahrumgebung sind die Streckengeometrie, die Randbebauung und der Verkehrsablauf gewählt worden. Man konnte feststellen, dass auch wechselnde Umweltbedingungen einen großen Einfluss auf die Systemfunktionalität haben können.

Das Standardtestverfahren für FUE-Sensoren ist auf die charakteristischen Eigenschaften der Sensoren abgestimmt werden. Diese zeichnen sich vor allem durch eine große Reichweite bei engem Strahlöffnungswinkel aus. Das Einsatzgebiet dieser Sensoren liegt auf gut ausgebauten Schnellstrassen. Sensoren für den Nahbereich haben demgegenüber meist einen größeren Öffnungswinkel und eine deutlich geringere Reichweite. Ihr Einsatzgebiet liegt auf allen Strassen bis hin zum Stadtverkehr. Daher können die Detektionsszenarien für diese Sensoren deutlich komplexer sein als es z.B. bei ACC-Sensoren der Fall ist. Je nach Einsatzbereich muss ein Nahfeldsensor in der Lage sein, die genaue Position eines Objektes relativ zum Sensor, die Relativgeschwindigkeit und den Abstand zu einem oder mehreren relevanten Objekten zu erkennen. Ein Nahfeldsensor sollte auch Objekte mit geringer optischer Reflektanz noch zuverlässig innerhalb seiner möglichen Reichweite erkennen. Starke Reflektanzen dürfen nicht zu einer Blendung oder sonstigen Störung der Zielerfassung führen.

Für Sensoren, deren Arbeitsbereich das Nahfeld vor dem Fahrzeug ist, wurden die folgenden Eigenschaften überprüft:

- Reichweite in Abhängigkeit von der Reflektanz
- Genauigkeit der Entfernungsbestimmung,
- Genauigkeit der Objektposition im Raum,
- Objekttrennfähigkeit,
- Entfernungsauflösung,
- Reaktionszeit,
- Genauigkeit der Relativgeschwindigkeit.

Da Sensoren unterschiedlichster Technologie zu analysieren waren, sind die Tests technologieneutral durchgeführt worden. Dies hat zur Folge, dass im Rahmen der Tests als Zielobjekte neben technologiespezifischen Reflektoren im Wesentlichen reale Fahrzeuge eingesetzt wurden. Die Grundeigenschaften der Sensoren wie z.B. die Reichweite, das Ordnungsfeld oder Reaktionszeiten bei der Zielerfassung wurden im ersten Testpaket überprüft und mit den Spezifikationen der Hersteller abgeglichen. Allen weiteren Tests lagen anwendungsspezifische Fahr- und Verkehrsszenarien zu Grunde, die auf Ebene der Objektlistendaten ausgewertet wurden. Testkriterien waren hierbei beispielsweise die Reaktion des Erfassungssystems auf stehende Objekte (z.B. Abstand bei der Objektaufnahme) oder die Erfassungsleistung bei der Vorbeifahrt an Fahrzeugen auf der Nachbarspur bzw. bei Überholvorgängen. Sowohl bei den Sensor- als auch bei den Fahrtests wurden witterungsbedingte Einflüsse explizit nicht betrachtet: Geplant war, die Versuche bei trockenem Wetter











durchführen. Zusätzlich wurden spezifische Eigenschaften der Sensoren bei Straßennässe und Gischt ergänzend untersucht.

Testverlauf

Bei den Tests standen der Lascerscanner und das Stereo-Bildverarbeitungssystem im Vordergrund der Analysen. Zusätzlich wurden die Messdaten der Nahradar-Systeme links und rechts sowie des Fernradars nach vorne erfasst und in die Auswertung mit einbezogen.

Vom September bis Dezember 2004 ist der VW-Versuchsträger mit voller Funktionalität getestet worden. Die Tests sind auf der Teststrecke des fka sowie im öffentlichen Straßenverkehr durchgeführt werden. Der Schwerpunkt der Versuchsfahrten lag auf gut ausgebauten Straßen (Autobahnen, Landstraßen). Kreuzungen wurden explizit nicht betrachtet. Als Zielobjekte für die Testszenarien waren neben Realfahrzeugen die beim fka vorliegenden Referenzobjekte (Laser: Holzplatten und Folienreflektoren, Radar: Tripelreflektoren) vorgesehen. Hierbei ist zwischen schwachen bis sehr starken Reflektoren variiert worden.

Als Zielfahrzeuge sind die folgenden fka-Standardtypen genutzt werden:

- Fahrzeug "F1": Krad (BMW R100)
- Fahrzeug "F2": Pkw, klein (BMW 3er, Typ E36, rot-uni)
- Fahrzeug "F3": Pkw, groß (BMW 7er, Typ E38, schwarz-metallic)
- Fahrzeug "F4": Lkw, leicht (MB 1117, offene Pritsche)
- Fahrzeug "F5": Lkw, schwer (Sattelzug, 40t zul. Gesamtgewicht, Planenaufbau)

Ergänzend sind in einzelnen Tests der Einfluss ungünstiger Witterungsverhältnisse auf die Performance des Erfassungssystems überprüft werden: Mittels eines Fahrzeugs ("Sprayfahrzeug"), welches künstlich eine jederzeit reproduzierbare Gischtwolke erzeugen kann, konnten die Bedingungen bei nassen Straßen und Regen nachgebildet werden. Durch den Vergleich der Performance des Erfassungssystems bei trockenen Bedingungen mit der Performance unter Gischtbedingungen konnte so der Einfluss von Gischt und Regen auf die Detektionseigenschaften des Erfassungssystems ermittelt werden.

Die durchgeführten Tests unterteilen sich in die Sensortests (siehe Tabelle 4), bei denen die grundlegenden Eigenschaften der eingesetzten Sensoren überprüft wurden (Reichweite, Ortungsfeld, Genauigkeit der gelieferten Signale Abstand und Geschwindigkeit etc.) und die Fahrtests (siehe Tabelle 5) zur Überprüfung der Detektionseigenschaften des Umfeldmodells. Hier wurden Informationen, wie z.B. die Reichweite bei Objektaufnahme, die Abstände bei Objektverlusten, aber auch Drop Out Raten der Zielerfassung und Spurzuordnung ermittelt. Diese Tests wurden sowohl auf einer abgeschlossenen Teststrecke, als auch im realen Straßenverkehr durchgeführt, um Aussagen über das Systemverhalten unter realistischen Bedingungen ableiten zu können.











Tabelle 4: Sensortests

Nr.	Test	Prüfkriterium
S1	Reichweite	max./min. Reichweite
	Keicriweite	Fehler in der Reichweitenermittlung
S2	Ortungsfeld	X/Y-Genauigkeit der Objektposition
		Ortungsfeld lateral
S3	Eindeutigkeit bei Überreichweite	Objektfreier Abstandsverlauf
S4	Interferenzlöcher	Auflösung der Abstandsmessung
		Aussetzer im Abstandsverlauf
S5	Dynamik	Zielerkennung
		Reichweitenreduktion
		Drop-Out Rate
		Verzerrung der Winkelablage
S6	Geschwindigkeit a)	Fehler des Geschwindigkeitssignals
S7	Geschwindigkeit b)	Fehler des Geschwindigkeitssignals
		Geschwindigkeitsauflösung
S8	Reaktionszeit	Aufnahmezeit

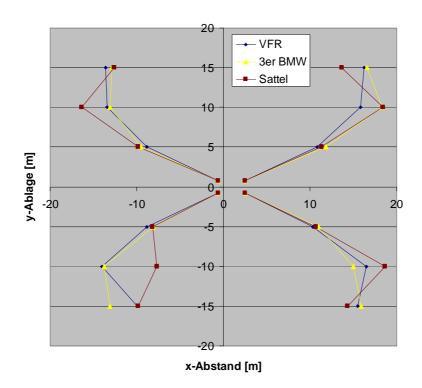


Abbildung 33: Beispiel für S2: Ortungsfeld der Seitenbereichsradare (Reflektoren) Tabelle 5: Fahrtests (Fusion)











Nr.	Test	Prüfkriterium
F01	stehende Objekte a)	Abstand bei Objektaufnahme/-verlust Zeit bis zur Spurzuordnung bei Objektaufnahme Drop-Out Spurzuordnung (Dauer/Rate) Drop-Out Zielverfolgung (Dauer/Rate)
F02	stehende Objekte b)	Drop-In in eigene Fahrspur (Dauer/Rate) falsches Objekt in Nachbarspur (Dauer/Rate)
F03	stehende Hindernisse S&G a)	Zielverfolgung bis zum Stillstand und beim Anfahren Drop-Out Spurzuordnung (Dauer/Rate) Drop-Out Zielverfolgung (Dauer/Rate)
F04	stehende Hindernisse S&G b)	Abstand bei Objektaufnahme/-verlust Zeit bis zur Spurzuordnung bei Objektaufnahme Drop-Out Spurzuordnung (Dauer/Rate) Drop-Out Zielverfolgung (Dauer/Rate)
F05	stehende Hindernisse c)	Drop-Out Spurzuordnung (Dauer/Rate) beide Ziele Drop-Out Zielverfolgung (Dauer/Rate) beide Ziele Aufnahmezeit des stehenden Hindernis, nachdem das bewegte Ziel die Spur verlassen hat eindeutige Trennung der Objekte
F06	Vorbeifahrt an Fahrzeugen auf der Nachbarspur	Abstand bei Objektaufnahme/-verlust Drop-Out Spurzuordnung (Dauer/Rate) Drop-Out Zielverfolgung (Dauer/Rate)
F07	Überholvorgänge	Abstand bei Objektaufnahme/-verlust Drop-Out Spurzuordnung (Dauer/Rate) Drop-Out Zielverfolgung (Dauer/Rate)
F08	richtige Objektauswahl	Abstand bei Objektaufnahme/-verlust Drop-Out Spurzuordnung (Dauer/Rate) Drop-Out Zielverfolgung (Dauer/Rate)
F09	Vorbeifahrt an entgegen kommenden Fzg.	Spurzuordnung
F10	Kombination von Objekten a)	Longitudinaler Abstand bei dem Zieltrennung zwischen Fahrzeugen von F5 und F1 möglich
F11	Kombination von Objekten b)	Lateraler Abstand bei dem Zieltrennung zwischen Fahrzeugen von F5 und F6 möglich Drop-Out Spurzuordnung (Dauer/Rate) beide Ziele Drop-Out Zielverfolgung (Dauer/Rate) beide Ziele
F12	Kombination von Objekten c)	Abstand bei Zielaufnahme der Fzg-Typen F2 und F4 Drop-Out Spurzuordnung (Dauer/Rate) F2 und F4 Abstand bei Zielverlust des Fahrzeugtyps F1
F13	Objektwechsel a) Cut-In/Out	Durchschnittl. Zeitraum bis zur richtigen Spurzuordnung
F14	Objektwechsel b) eigener SW	Durchschnittl. Zeitraum bis zur richtigen Spurzuordnung











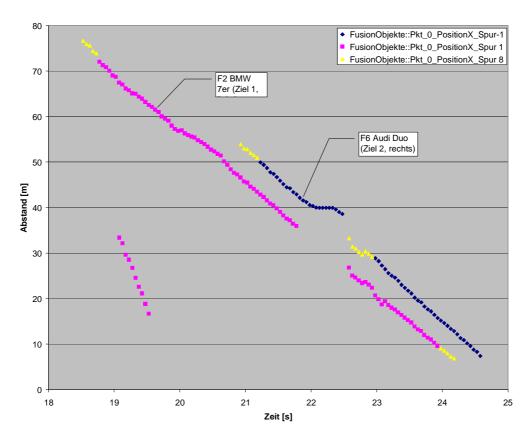


Abbildung 34: Beispiel für F08: Spurzuordnung für zwei Objekte jeweils in linker und rechter Nachbarfahrspur

Anhand der im Rahmen der Fahrtests gewonnenen Ergebnisse kann man feststellen, dass die Zielerfassung von Objekten durch das Umfeldmodell sehr zuverlässig arbeitete. Zielfahrzeuge wurden bei Entfernungen von etwa 100 m aufgenommen, was der Spezifikation entsprach. Der Zielverlust hinter dem Fahrzeug passierte teilweise bei Werten um ca. –30 m. Die gemittelten Drop-Out-Raten der Zielverfolgung (Signalausfallzeiten bezogen auf die Zielerfassungszeiten) lagen in den Szenarien mit Pkw und Lkw als Zielfahrzeugen zwischen 0 % und maximal etwa 25 %, wobei die Mehrzahl im deutlich einstelligen Bereich zu finden war. Eine Ausnahme stellte hier lediglich das Motorrad als Zielfahrzeug dar. Hier lagen die gemittelten Drop-Out-Raten deutlich über 50 %, in einigen Tests wurde das Motorrad gar nicht erfasst, so dass hier die Drop-Out-Rate 100 % betrug.

Die Ergebnisse der Spurzuordnung des Umfeldmodells waren weniger stark von den eingesetzten Zielfahrzeugen abhängig, als die vorab beschriebene Erfassungsleistung. Hier zeigten sich jedoch deutliche Unterschiede innerhalb der einzelnen Szenarien. So lagen die gemittelten Drop-Out-Raten der Spurzuordnung mit Werten zwischen 0 % und bis zu 45 % deutlich höher, teilweise traten sogar kontinuierlich Sprünge im Signalverlauf auf. Bei den Spurwechseln des Sensorfahrzeugs kam es zu reproduzierbaren Instabilitäten des Umfeldmodells.

Bei den das Prüfverfahren bestimmenden Tests wurde wegen der fehlenden Reproduzierbarkeit die Untersuchung des Klimaeinflusses auf das Wahrnehmungssystem











ausgeschlossen. Um aber einen Eindruck über die Sensibilität der Bildverarbeitung gegen andere Klimabedingungen zu gewinnen, wurden einige Fahrtests auch unter Gischteinfluss durchgeführt. Tests des Umfeldmodells konnten nicht durchgeführt werden, da der Laserscanner durch die Gischt möglicherweise beschädigt worden wäre. Bei den Gischttests wurden die Zielfahrzeuge durch ein Fahrzeug ersetzt, welches in der Lage ist, eine reproduzierbare Gischtwolke zu erzeugen. Hierbei zeigte sich, dass die Bildverarbeitung unter diesem Einfluss zwar das vorausfahrende Ziel erfasste, die ausgegebenen Abstände streuten hier jedoch sehr stark, mit Werten um +/- 20 m.

Insgesamt konnte das Umfeldmodell das hohe Potential einer Sensorfusion für zukünftige Applikationen unter Beweis stellen. Die Tests zeigten die guten Zielerfassungseigenschaften des Umfeldmodells. Als wesentliche Herausforderung für beispielsweise erweiterte ACC-Systeme, Lane-Departure-Warning oder Spurwechselassistenten gilt es nun, die in einzelnen Szenarien bereits erzielte Zuverlässigkeit der Spurzuordnung auf alle Testszenarien zu übertragen.

Zusammenfassung der Validierungsergebnisse

Am Ende des Projektes wurde das gesamte System auf seine Funktionstüchtigkeit gemäß der Spezifikation vom AP1400 vom fka getestet ("Spezifikation von Szenarien für Test und Validierung von ausgewählten Fahrerassistenzsystemen"). Die Ergebnisse der 4-monatigen Testphase sind in einem gesonderten Bericht dokumentiert. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Fahrzeugumfeldsensorik und dieses Umfeldmodell objektiv überprüft. In einem ersten Schritt - den so genannten Sensortests - wurden daher auf einer abgeschlossenen Strecke die einzelnen, im Versuchsfahrzeug vorhandenen Sensoren getestet. Weiterführende Fahrtests, die im fließenden Verkehr gefahren wurden, lieferten Informationen über das Verhalten des Umfeldmodells im realen Verkehrsgeschehen. Die Sensortests dienten unter anderem dem besseren Verständnis der für das Wahrnehmungssystem verwendeten Sensoren, da hier grundlegende Eigenschaften ermittelt wurden. Mit dem Wissen über bestimmte Sensorcharakteristika konnten dann die Ergebnisse der Fahrtests besser beurteilt werden. Die in beiden Testgruppen als Zielobjekte eingesetzten Fahrzeuge stellten einen repräsentativen Querschnitt, der im Straßenverkehr auftretenden Fahrzeugklassen dar (Motorrad, Mittelklasse-Limousine und -Kombi, Oberklasse-Limousine, Klein-Lkw mit Pritsche und Sattelzug).

Innerhalb der ersten Testgruppe, den Sensortests wurden die Basiseigenschaften der Frontsensoren (Bildverarbeitung und Laserscanner) und der Nahbereichsseitenradare (Nahradar rechts und links) in 1252 Messungen überprüft. Diese Basistests erfassten neben der Reichweite und dem Ortungsfeld auch Eigenschaften, wie beispielsweise die Dynamik oder die Auflösung von Abstands- und Geschwindigkeitssignalen. Als Ziele wurden bei diesen Sensortests neben Dummyzielen (Tripple-Reflektoren und Holzplattenzielen) vorrangig Realfahrzeuge eingesetzt, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu den im Anschluss geplanten Fahrtests zu gewährleisten. Anhand der hier ermittelten Ergebnisse ist festzustellen, dass die maximale Reichweite des Laserscanners auf das Motorrad etwa 110 m, bei den übrigen











Fahrzeugen etwa 130 m betrug. Die Bildverarbeitung erzielte hier Werte zwischen 93 m und 116 m. Beim Pitschenfahrzeug betrug die Reichweite der Bildverarbeitung lediglich ca. 85 m. Beide Nahbereichsseitenradare erzielten im Rahmen der Sensortests Reichweiten bis zu 20 m. Bei den Tests der Nahbereichsseitenradare zeigte sich jedoch, dass hier insbesondere im mittleren Bereich des Ortungsfeldes bei allen eingesetzten Zielfahrzeugen Umbruchziele auftraten. Parallel zur Sensorfahrzeuglängsachse bewegte Zielfahrzeuge wurden dann zumeist als an der Koordinatenmittelachse gespiegelte "Zwillingsziele" ausgegeben.

Für das Ortungsfeld der Bildverarbeitung ergab sich bei den statischen Tests ein Öffnungswinkel von etwa 22°, dass heißt, dass Ziele in einem Abstand von 50 m mit einer Querablage von 10 m noch erkannt wurden. Für den Laserscanner wurde überprüft, ob Zielfahrzeuge bei lateralen Ablagen von 2 m, 5 m, 10 m und 15 m bis zur maximalen Entfernung von etwa 130 m sicher erkannt werde. In jeder Messung wurden die Zielfahrzeuge vom Laserscanner ohne Zielverlust bis zum Ende des Erfasungsbereichs bei etwa 130 m sicher detektiert. Auffällig war bei diesen Tests, dass die Bildverarbeitung die Zielfahrzeuge nur bis zu lateralen Ablagen von 10 m sicher erfasste, jedoch bei Ablagen von 15 m in keiner Messung ein Zielfahrzeug erkannte. Es ist daher davon auszugehen, dass es hier eine Beschränkung des lateralen Erfassungsbereiches gibt, der zwischen 10 m und 15 m liegt. Für das Ortungsfeld der Nahradare ergab sich bei den statischen Tests ein Öffnungswinkel von etwa 110° für jede Seite.

Für die anschließenden Fahrtests wurde in einem Vorgängerprojekt aus der Betrachtung des zu erwartenden Verkehrsumfeldes eine Vielzahl relevanter Situationen für mögliche Anwendungen des Wahrnehmungssystems identifiziert, unter denen das System jederzeit zuverlässig funktionieren muss. Wichtige Elemente der Fahrumgebung sind hierbei die Streckengeometrie, die Randbebauung und der Verkehrsablauf. Aus den herausgestellten relevanten Verkehrssituationen wurden Tests abgeleitet, in denen charakteristische Problemsituationen für die Funktion des Wahrnehmungssystems nachgestellt und die Reaktionen darauf mit definierten Prüfkriterien beurteilt wurden. Bei Tests in realistischer Fahrumgebung tritt immer die Problematik der Reproduzierbarkeit auf. Hier konnte durch die Beteiligung mehrerer Testfahrzeuge, die den Szenenablauf koordiniert durchführten, eine gute Reproduzierbarkeit erreicht werden.

Anhand der im Rahmen der Fahrtests gewonnenen Ergebnisse ist festzustellen, dass die Zielerfassung von Objekten durch das Umfeldmodell sehr zuverlässig arbeitete. Zielfahrzeuge wurden bei Entfernungen von etwa 100 m aufgenommen. Der Zielverlust hinter dem Fahrzeug passierte teilweise bei Werten um ca. –30 m. Die gemittelten Drop-Out-Raten der Zielverfolgung lagen in den Szenarien mit Pkw und Lkw als Zielfahrzeugen zwischen 0 % und maximal etwa 25 %, wobei die Mehrzahl im deutlich einstelligen Bereich zu finden war. Eine Ausnahme stellte hier lediglich das Motorrad als Zielfahrzeug dar. Hier lagen die gemittelten Drop-Out-Raten deutlich über 50 %, in einigen Tests wurde das Motorrad gar nicht erfasst, so dass hier die Drop-Out-Rate 100 % betrug.

Die Ergebnisse der Spurzuordnung des Umfeldmodells waren weniger stark von den eingesetzten Zielfahrzeugen abhängig, als die vorab beschriebene Erfassungsleistung. Hier zeigten sich jedoch deutliche Unterschiede innerhalb der einzelnen Szena-











rien. So lagen die gemittelten Drop-Out-Raten der Spurzuordnung mit Werten zwischen 0 % und bis zu 45 % deutlich höher, teilweise traten sogar kontinuierlich Sprünge im Signalverlauf auf.

Bei den das Prüfverfahren bestimmenden Tests wurde wegen der fehlenden Reproduzierbarkeit die Untersuchung des Klimaeinflusses auf das Wahrnehmungssystem ausgeschlossen. Um aber einen Eindruck über die Sensibilität der Bildverarbeitung gegen andere Klimabedingungen zu gewinnen, wurden einige Fahrtests auch unter Gischteinfluss durchgeführt. Dazu wurden die Zielfahrzeuge durch ein Fahrzeug ersetzt, welches in der Lage ist, eine reproduzierbare Gischtwolke zu erzeugen. Hierbei zeigte sich, dass die Bildverarbeitung unter diesem Einfluss zwar das vorausfahrende Ziel erfasste, die ausgegebenen Abstände streuten hier jedoch sehr stark, mit Werten um +/- 20 m.

3.2.1.6 AP6000

Aktivitäten

Die Aufgaben dieses Arbeitspaketes sind in 2 Unterpakete unterteilt worden

- UAP6100 Projektkoordination und -management
- UAP6200 Dokumentation und Präsentation

Die Projektkoordination und -management (Inhalte des Paketes UAP6100) hat der Projektpartner DC übernommen und erfolgreich realisiert.

Im Rahmen von UAP6200 hat die Volkswagen AG als eine der Hauptaufgaben das fortlaufende Dokumentieren der Arbeitsfortschritte in Ampel- bzw. Halbjahresberichten durchgeführt. Nach der halben Projektlaufzeit ist ein Zwischenbericht und am Ende der Projektlaufzeit ein ausführlicher Abschlussbericht erstellt worden. Die erstellten periodischen Berichte dokumentieren in aufbereiteter Form die erarbeiteten Ergebnisse des Teilprojektes FUE. Projektergebnisse wurden zur Darstellung bei Öffentlichkeitsveranstaltungen in Form von Flyern und Prospekten aufbereitet. Dazu gehörten auch vorbereitende Maßnahmen zur Durchführung von Demonstrationen sowie die Darstellung der Projektergebnisse nach außen als Konferenzvorträge und Publikationen.

Es fanden im ersten Halbjahr 2002 zwei Projekttreffen statt: zweitägig am 19. und 20. Februar 2002 bei der Volkswagen AG in Wolfsburg und eintägig am 6. Mai 2002 bei der Opel AG in Rüsselsheim. Der Schwerpunkt in Wolfsburg lag auf der Ausgestaltung des AP 4000 (Architektur und Integration) und des AP 2000 (Sensorik). Das AP 5000 (Validierung und Bewertung) wurde in Rüsselsheim ausführlich diskutiert. Die kompletten Inhalte der Treffen wurden protokolliert und sind auf dem INVENT-Server hinterlegt.

Im zweiten Halbjahr 2002 fanden zwei Projekttreffen statt: eintägig am 30. Juli 2002 bei der DaimlerChrysler AG in Ulm und zweitägig am 7. Und 8. Oktober 2002 bei der Hella KG in Lippstadt. Der Schwerpunkt in Lippstadt lag auf der Expertenrunde zum











Thema Radar- und Lidar-Sensorik. Die detaillierten Inhalte der Treffen wurden protokolliert und sind auf dem INVENT-Server hinterlegt.

Die inhaltliche Ausrichtung von FUE und die im ersten Projektjahr erzielten Ergebnisse wurden auf der Plenumssitzung am 18. September 2002 bei SiemensVDO Automotive in Regensburg vorgestellt. Weiterhin wurde eine Broschüre, die das Teilprojekt FUE beschreibt, gemeinsam entworfen.

Im ersten Halbjahr 2003 fanden zwei Projekttreffen statt: am 27. Februar 2003 bei der MAN in München sowie am 8. April 2003 bei Robert Bosch in Schwieberdingen. Der Schwerpunkt lag auf der Vorbereitung der Meilensteinpräsentation am 25. und 26.6.03 beim BMBF in Bonn, der Erstellung der FUE Broschüre sowie der Fortsetzung der inhaltlichen Arbeiten in den APs 2000-5000.

Während der Meilensteinpräsentation am 25. und 26.6.03 beim BMBF in Bonn wurde an den Projekttreffen teilgenommen und zur Halbzeitpräsentation in Bonn Arbeitsergebnisse am VW Versuchsträger für das FUE Projekt präsentiert.





Abbildung 35: VW FUE Versuchsträger (links) und Visualisierung der Sensordatenfusion und des Umfeldmodell (rechts)

Im zweiten Halbjahr 2003 fanden zwei Projekttreffen statt: zweitägig am 8. Und 9. Oktober 2003 bei der Volkswagen AG in Wolfsburg und eintägig am 11.12.2003 bei der Opel AG in Rüsselsheim. Der Schwerpunkt in Wolfsburg lag auf einer Expertenrunde zum Thema Bildverarbeitung und objektvermessende Sensoren.

Währen der Projekttreffen 2004 wurden Vorbereitungen zum Projektabschluss getroffen. Eine detaillierte Planung der Abschlussveranstaltung (Präsentationen, Demonstrationen, Filmaufnahmen) wurde unter den Projektpartnern festgelegt. Die Abschlussveranstaltung wurde geplant, es wurden Präsentationen, Informationsmappen, Flugblätter erstellt und Filmaufnahmen gemacht. Diskussionen bezüglich möglicher Nachfolgeprogramme wurden geführt und in eine konkrete Planung umgesetzt. Ein Höhepunkt des AP6000 war die Abschlusspräsentation 17.-28. April 2005 auf dem MAN-Testgelände in München. Im Teilprojekt FUE hat Volkswagen dabei zwei Fahrzeuge präsentiert:











- ein im normalen Verkehr um München herum fahrendes Fahrzeug, wo die Erfassung der Fahrumgebung während der Fahrt online demonstriert werden konnte
- ein stehendes Fahrzeug mit einer offline Präsentation, in der die Funktion der Sensorfusion für relevante, aufgenommene Verkehrsszenarien gezeigt werden konnte. Darüber hinaus konnte die applizierte Sensorik und die Funktion der HMI in dem Demonstrator gezeigt werden.

3.2.2 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Im Laufe des FUE Projekts entstanden zahlreiche Patente und Veröffentlichungen. Weiterhin konnte eine Promotion durchgeführt werden und eine weitere Promotion steht kurz vor dem Abschluss.

- Thomas Engel et al: "Zeitgesteuerte Netzwerkarchitektur zur Umfelderkennung", 13. Aachener Kolloquium, Oktober 2004
- Dirk Stüker und Rolf Schmidt: "Potenzial optischer Sensoren zur Fahrumgebungserfassung", VDI-Berichte 1731, 2003
- Dirk Stüker: "Heterogene Sensordatenfusion zur robusten Objektverfolgung im automobilen Straßenverkehr", Dissertation Universität Oldenburg, September 2004
- K. Weiß, H. Philipps, M. Mauthner: "Gütekriterien und Testprozeduren für die Sensordatenfusionvon Fahrerassistenzsystemen", VDI Konferenz Elektronik im Kraftfahrzeug, Oktober 2005
- K. Weiß: "Sensordatenfusion und adaptive Filterung für die Fahrumgebungserfassung zukünftiger Fahrerassistenzsysteme", 6. Magdeburger Maschinenbau-Tage: Intelligente technische Systeme und Prozesse, 24.- 26. September 2003
- K. Weiß et al: "Sensordatenfusion und dynamische Klassifizierung zur Fahrszeneninterpretation", Automatisierungs- und Assistenzsysteme für Transportmittel, Gesamtzentrum für Verkehr Braunschweig (GZVB), Februar 2004











4 Vorausschauende Aktive Sicherheit VAS

4.1 Kurzfassung

4.1.1 Aufgabenstellung

Zielsetzung der Arbeiten innerhalb des Teilprojekts VAS war die Spezifikation von Assistenzfunktionen mit einer Bewertung des zu erwartenden Sicherheitsgewinns auf der Basis einer detaillierten Unfallanalyse. Neben der funktionellen Beschreibung der Assistenzfunktionen sollen auch zeitliche Entwicklungspläne in einer Roadmap erstellt werden.

4.1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Da Volkswagen im Teilprojekt VAS keine eigenen Assistenzsysteme entwickelt und somit auch keinen eigenen Demonstrator aufgebaut hat, ist der Beitrag VWs hier als Dienstleistung an die anderen Teilprojektpartner zu verstehen. Insofern muss auch zu Fragen der Verwertung der Ergebnisse auf die Berichte der Partner verwiesen werden.

4.1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Bereits in einer frühen Phase der Projektvorbereitung waren – basierend auf einer Durchsicht der amtlichen Unfallstatistik – verschiedene Assistenzsysteme festgelegt worden:

- Kreuzungsassistenz: Schutz vor Vorfahrtmissachtung, Ein- und Abbiegeassistenz, Fußgänger- und Radfahrererkennung.
- Querführungsassistenz: Schutz vor Seitenkollisionen und Abkommen von der Fahrbahn, Ausweichassistenz
- Prädiktive Fahrdynamikregelung: Spurhaltung während eines Stabilisierungseingriffs (ESP, DCS-Bremseingriff) durch zusätzlichen Lenkeingriff, Spurerkennung über Videosensorik
- Fußgänger und Radfahrerschutz: Schutz ungeschützter Verkehrsteilnehmer (Radfahrer- und Fußgänger).

Diese Festlegung wurde im Verlauf der Projektbearbeitung nie in Frage gestellt, die spätere detaillierte Analyse zeigte jedoch, dass die angesprochenen Systeme tat-











sächlich eine hohe Relevanz im Unfallgeschehen haben. Insofern waren die Voraussetzungen gegeben, mittels vertiefter Unfallanalyse Funktionen und Spezifikationen dieser Systeme zu beschreiben.

Die im Teilprojekt VAS vorbereiteten Unfallanalysen gliedern sich auf in Arbeiten, die von Volkswagen selbst durchgeführt wurden und solche, bei denen die Analyse von den VAS-Teilnehmern als Unterauftrag vergeben und durch Volkswagen betreut wurde.

Die eigene Unfallanalyse umfasste sowohl eine Fortschreibung der Erkenntnisse aus der amtlichen Unfallstatistik des StatBA (um ggf. auf sich abzeichnende unvorhersehbare Trends noch während der Projektlaufzeit reagieren zu können) als auch eine detaillierte Analyse der Unfalldatenbank des GIDAS¹-Projekts bzw. seiner Vorgänger.

In Form von Unteraufträgen wurden zwei weitere Analysen angefertigt:

Der erste dieser Unteraufträge wurde ausgeschrieben, um die bestehenden statistischen Informationen in der GIDAS-Datenbank in Richtung aktiver Sicherheit durch eine weitere Datenquelle zu erweitern und eine größere Auswahl repräsentativ zusammengestellter und hinsichtlich der Unfallentstehung ausführlich dokumentier Unfallereignisse zur Verfügung zu stellen. Infolge von Kapazitätsengpässen und unvereinbarer Vorstellungen hinsichtlich der Abwicklung des Unterauftrags konnte der erste dieser Aufträge nicht an eines der ursprünglich favorisierten Institute vergeben werden. Durch die Suche nach einem neuen Anbieter hat sich der Beginn somit um etwa 9 Monate verzögert, weiterhin konnte ein Teil der Arbeiten zur Unfallanalyse auch durch den dann gefundenen Auftragnehmer (DEKRA) nicht geleistet werden². Um die Bearbeitung dennoch sicherzustellen hat Volkswagen diese Arbeiten übernommen und die Ergebnisse den Partnern zur Verfügung gestellt. Hierzu wurde eine Umwidmung der entsprechenden Mittel von "Fremdvergabe" in "Eigenleistung" beantragt.

Bezüglich des zweiten Unterauftrags hat VW die Ergebnisse einer Studie des Instituts für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen (IAGB) gesichtet, die von DaimlerChrysler beauftragt und freundlicherweise dem INVENT-Konsortium zur Verfügung gestellt wurde. Diese Arbeit erschien fortsetzungswürdig, insbesondere, wenn Daten der GIDAS-Unfalldatenbank einfließen und neben Stuttgart die GIDAS-Standorte Hannover und Dresden zusätzlich in der Studie berücksichtigt würden. Ein entspre-

¹ GIDAS – German In-Depth Accident Study. Dabei handelt es sich um ein Gemeinschaftsprojekt der BASt und der Automobilindustrie mit der TU Dresden und der Med. Hochschule Hannover als Auftragnehmern.

² Der Grund hierfür liegt im Wesentlichen an der Zusammensetzung der Datenbank. Während GIDAS eine Zufallsstichprobe ist, enthält die DEKRA-Datenbank Fälle, in denen DEKRA einen Gutachtenauftrag hatte. Infolgedessen sind schwere Unfälle, solche mit unklarer Ursache und mit Verdacht auf technische Mängel statistisch überrepräsentiert.











chender Unterauftrag "Analyse der Verkehrsabläufe im Kreuzungsbereich" wurde in Kooperation mit den Partnern BMW, Bosch und DaimlerChrysler formuliert und an das IAGB vergeben.

VW hat nach Absprache mit dem IAGB die benötigten Daten aus Hannover und Dresden aus der vorliegenden GIDAS-Datenbank extrahiert, aufbereitet und übermittelt und weiterhin als Ansprechpartner für Rückfragen zur Interpretation der vorliegenden Daten fungiert. Das IAGB hat in vorausgegangenen Studien eine automatische Klassifizierung der Unfallsituationen erarbeitet und diese Methodik auf vorliegende Unfalldaten aus Hannover und Dresden gewandt.

4.1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn

Bei der Bearbeitung der Aufgaben in INVENT VAS konnte Volkswagen an die Erfahrungen aus seiner eigenen regelmäßigen Arbeit mit der GIDAS-Datenbank anknüpfen. Diese hat sich – im eigenen wie auch in anderen Häusern – vielfach als Grundlage wissenschaftlicher Unfalldatenanalyse und auch zur Prädiktion und Optimierung des Nutzens von Sicherheitssystemen vielfach bewährt. Ihr Datenstruktur und Dokumentationsmethodik lieferte weiterhin die Grundlage für die VW-eigene Unfalldatenbank, aus der Einzelfallstudien zur Ergänzung der GIDAS-Fälle aufbereitet und auf dem Unfallanalyse-Workshop präsentiert wurden.

Weiterhin wurden die Daten des Statistischen Bundesamtes zur amtlichen Verkehrsunfallstatistik (veröffentlicht als Fachserie, Reihe 7) ausgewertet.

4.2 Eingehende Darstellung

4.2.1 Ergebnisse

Die Volkswagen Unfallforschung hat Zugriff auf die Unfalldatenbank der Medizinischen Hochschule Hannover und auf die Daten des daraus entstandenen GIDAS-Projektes (mit der TU Dresden als zweitem Erhebungsstandort). Zunächst wurden diese Daten auf ihre Repräsentativität geprüft. Es zeigte sich dabei, dass eine sehr gute Deckung zu den Unfällen mit Personenschaden der Bundesstatistik besteht. Eine Hochrechnung der Ergebnisse der GIDAS-Auswertung auf die gesamte Unfallstatistik der Bundesrepublik ist daher zulässig.

Als ein Kriterium zur Analyse von Unfällen aus Sicht der aktiven Sicherheit wurde der HUK-Unfalltypen-Katalog identifiziert. Der Unfalltyp beschreibt die Konfliktsituation, die zu dem Unfall geführt hat. Da er ca. 350 verschiedene Unfalltypen beinhaltet, wurden 8 Cluster gebildet: Fahrunfall auf einer Geraden; Fahrunfall in einer Kurve; Alleinunfall (kein Fahrunfall); Unfall im Längsverkehr; Unfall durch einen Spurwechsel; Unfall mit einem Fußgänger oder Tier; Unfall bei Kreuzen, Ein- oder Abbiegen (Unfallbeteiligte haben gleiche Annäherungsrichtung); Unfall bei Kreuzen, Ein- oder Abbiegen (Unfallbeteiligte haben kreuzende Annäherungsrichtung).











Bei von Pkw verursachten Unfällen zeigt sich, dass die beiden Gruppen von Kreuzen-, Ein- oder Abbiege-Unfällen dominieren (zusammen knapp 45%). Es folgen Unfälle im Längsverkehr und Unfälle mit Fußgängern/ Tieren mit je knapp 15%. Fahrunfälle summieren sich zu einem Anteil von 18%, davon ereignen sich 10% bei Kurvendurchfahrt, 8% auf einer Geraden. Spurwechselunfälle ereignen sich mit einem recht geringen Anteil von 5%.

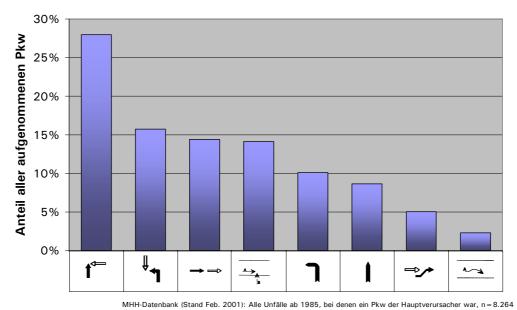
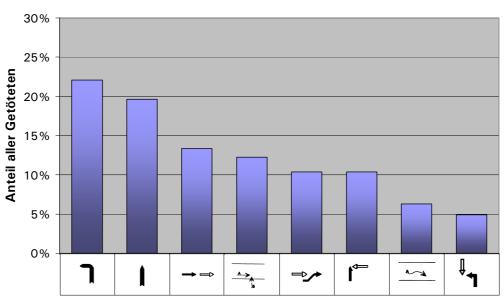


Abbildung 36: Unfalltypen insgesamt und ihre Häufigkeit



MHH-Datenbank (Stand Feb. 2001): Alle Getöteten ab 1985, bei denen ein Pkw der Hauptverursacher war, n=367

Abbildung 37: Unfalltypen mit Getöteten und ihre Häufigkeit











Betrachtet man allerdings die bei den entsprechenden Unfällen getöteten Personen verschiebt sich das Bild. Bei Fahrunfällen kommen demnach die meisten Personen ums Leben (Kurve 22%, Gerade 19%). Verteilung der weiteren Unfalltypen: Längsverkehr 13%, Fußgänger, Tier 12%, Spurwechsel 10%.

Bei Unfällen, die Lkw verursachen, zeigt sich ein anderes Bild. An erster Stelle rangieren deutlich Unfälle im Längsverkehr (30%). Weitere Anteile: Kreuzungsunfälle (20% + 18%), Fußgängerunfälle (10%), Spurwechselunfälle (6%), Fahrunfälle (5% + 4%).

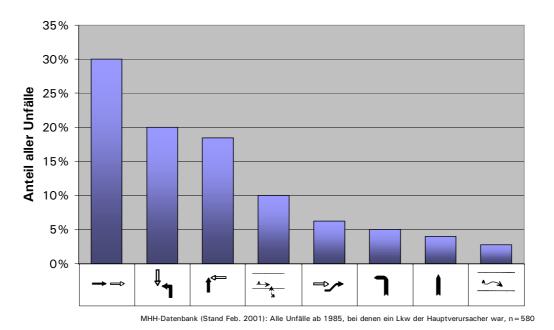


Abbildung 38: Unfalltypen, von LKW verursacht, insgesamt und ihre Häufigkeit

Die Verteilung der getöteten Personen bei von Lkw verursachten Unfällen: Unfälle im Längsverkehr an erster Stelle mit 48%. Kreuzungsunfälle schieben sich nach vorne mit 20%, bzw. 18%.

Die in VAS geplanten Applikationen finden demnach ihre Berechtigung. Im Besonderen gilt dies für die Applikationen

- Kreuzungsassistenz für Pkw (Kreuzungsunfälle sind klarer Spitzenreiter bei Unfällen mit Personenschaden),
- ESP+Spurhaltung, bzw. Prädiktives ESP (Fahrunfälle sind Spitzenreiter bei den getöteten Personen),











 Ausweichassistent für Lkw (Längsverkehr ist bei diesen Fahrzeugen klarer Spitzenreiter bei Unfällen mit Personenschaden und bei der Anzahl der Getöteten).

Die Bedeutung der vierten Applikation, dem Schutz von Fußgängern und Radfahrern, ergibt sich dagegen nicht aus der Unfallstatistik – diese beiden Gruppen von Verkehrsteilnehmern zeigen die stärkste *Verminderung* der Getötetenzahl seit 1980. Dennoch ist der Schutz gerade dieser schwächsten Verkehrsteilnehmer eine besondere Aufgabe und insofern diese Applikation im Rahmen von INVENT ebenfalls begründet.

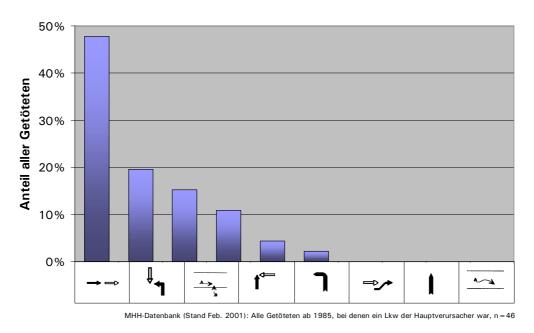


Abbildung 39: Unfalltypen, von LKW verursacht, mit Getöteten und ihre Häufigkeit

In einem zweite Schritt hat VW die Auswertungen der im Hause vorliegende Datenbank detailliert und die Analysen für die Fragestellungen "Ampel- und Vorfahrtszeichenassistent", "Gegenverkehrsassistent", "prädiktive Fahrdynamikregelung", "Fußgängerschutz" und "schwere Nutzfahrzeuge" vorgelegt. Ein Workshop zur Unfallanalyse mit Vorstellung der Ergebnisse wurde am 17. und 18. März 2003 in Wolfsburg abgehalten. Hierbei wurden allgemein-orientierende Statistiken gezeigt, die applikationsspezifischen Fragen der Partner beantwortet sowie ausgewählte (statistisch repräsentative) Einzelfälle zu den jeweiligen Applikationen präsentiert. Sowohl die allgemein-orientierenden als auch die applikationsspezifischen Auswertungen waren dabei außerordentlichen vielschichtig, so dass im Rahmen dieses Berichts nur wenige Beispiele aufgegriffener Fragestellungen wiedergegeben werden können.











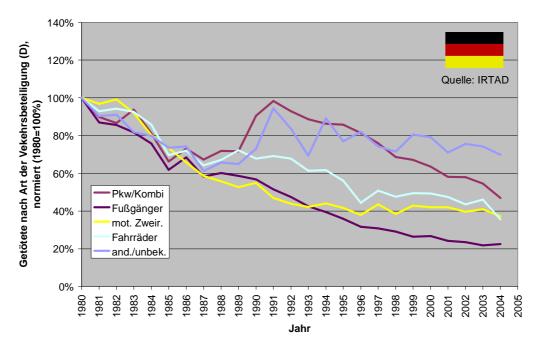


Abbildung 40: Getötete nach Art der Verkehrsbeteiligung

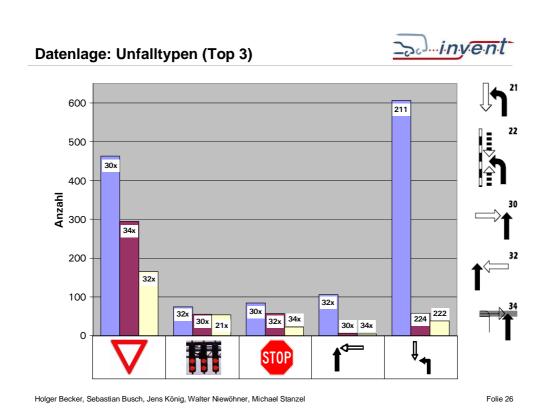


Abbildung 41: Unfalltypen und ihre Anzahl











Im Hinblick auf die Applikationen "Kreuzungsassistenz" wurde z.B. die Verteilung der Unfalltypen(-klassen) und der jeweils herrschenden Vorfahrtregelung bestimmt.

Auch die Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeiten konnte aufgrund der vorliegenden Rekonstruktionsergebnisse bestimmt werden. Sie ist z.B. für die Festlegung der Sensoreigenschaften und der Erkennungsalgorithmik von Bedeutung. Für Situationen, bei denen eine Kreuzungsassistenz relevant wäre, ergibt sich die Verteilung wie folgt:

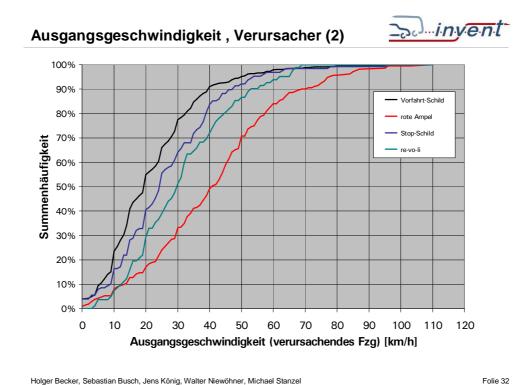


Abbildung 42: Verteilungen der Ausgangsgeschwindigkeiten bei Unfallverursacher

Für Unfälle im Wirkungsfeld der prädiktiven Fahrdynamikregelung waren naturgemäß andere Charakteristika auszuwerten. Beispielhaft wird im folgenden Bild die Verteilung der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn als Funktion des Straßenverlaufs und eines evtl. aufgetretenen Schleudervorgangs dargestellt. Auch die Straßenverhältnisse wurden entsprechend aufgeschlüsselt.





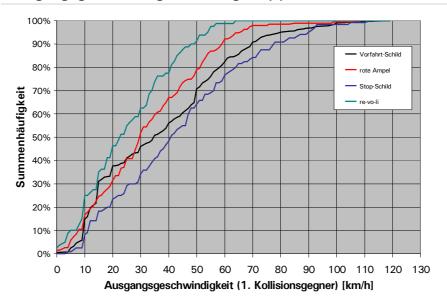












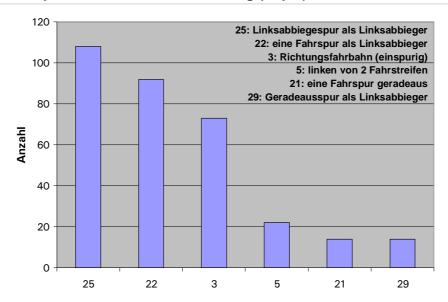
Holger Becker, Sebastian Busch, Jens König, Walter Niewöhner, Michael Stanzel

Folie 34

Abbildung 43: Verteilungen der Ausgangsgeschwindigkeiten bei Unfallgegner

Fahrspur, verursachendes Fahrzeug (Top 6)





Holger Becker, Sebastian Busch, Jens König, Walter Niewöhner, Michael Stanzel

Abbildung 44: Fahrspur des Unfallverursachers





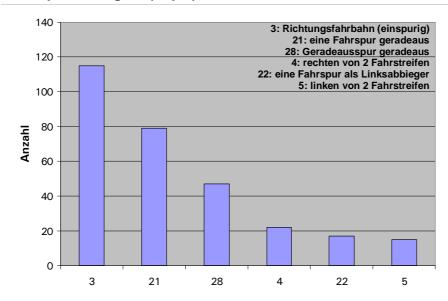






Fahrspur, 1. Gegner (Top 6)





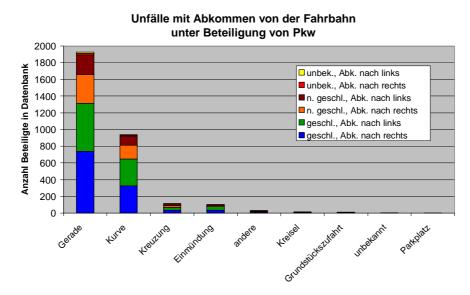
Holger Becker, Sebastian Busch, Jens König, Walter Niewöhner, Michael Stanzel

Folie 47

Abbildung 45: Fahrspur des Unfallgegners

Abkommen-Unfälle nach Örtlichkeit





Holger Becker, Sebastian Busch, Jens König, Walter Niewöhner, Michael Stanzel

Abbildung 46: Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn nach Örtlichkeit









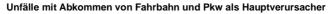


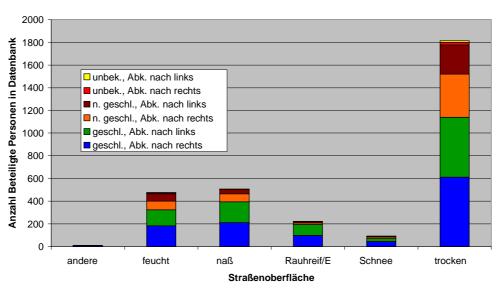
Für die Applikation "Ausweichassistent Lkw" waren wiederum andere Unfälle von Interesse. Welche Unfalltypen dies primär sind und in wiefern sich das Bild in Abhängigkeit von der betrachteten Unfallschwere verschiebt, zeigen die beiden folgenden Bilder.

Auch für die vierte Applikation, Fußgänger- und Radfahrerschutz wurde eine detailliere Unfallanalyse vorgelegt. Diese betraf sowohl Aspekte der Unfallentstehung wie auch der Verletzungsursachen und berührte damit (im Gegensatz zu den anderen drei Applikationen) auch den Bereich der passiven Sicherheit. Wiederum kann wegen der Vielzahl der behandelten Fragen nur eine kleine Anzahl hier wiedergegeben werden. Aus dem bereich der aktiven Sicherheit seien dies die Verteilung der Unfallgegner und –typen bei Fußgängerunfällen, aus der passiven Sicherheit die Verletzungsschwereverteilung und die Verteilung der jeweils verletzungsverursachenden Fahrzeugteile:

Beteilige an Abkommen-Unfällen n. Straßenoberfl.







Holger Becker, Sebastian Busch, Jens König, Walter Niewöhner, Michael Stanzel

Abbildung 47: Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn nach Straßenoberfläche





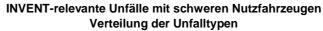


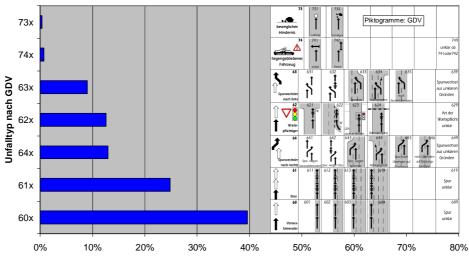




Unfalltypen bei Beteiligung schwerer Nfz







Holger Becker, Sebastian Busch, Jens König, Walter Niewöhner, Michael Stanzel

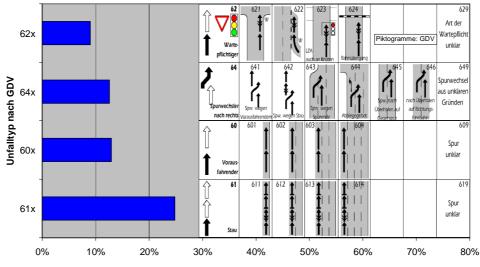
Folie 185

Abbildung 48: Unfalltypen bei Beteiligung schwerer Nutzfahrzeuge

Unfalltypen bei Bet. schwerer Nfz und Getöteten



Tödliche INVENT-relevante Unfälle mit schweren Nutzfahrzeugen Verteilung der Unfalltypen



Holger Becker, Sebastian Busch, Jens König, Walter Niewöhner, Michael Stanzel

Abbildung 49: Unfalltypen bei Beteiligung schwerer Nutzfahrzeuge mit Getöteten







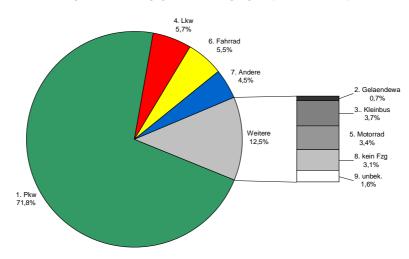




Kollisionsgegner FG



Verteilung der Kollisionsgegner von Fussgängern (Unfälle ab 1991)



Ouelle: VW-GIDAS-I Infalldstenbank (02/2003 mit 17729 I Infällen)

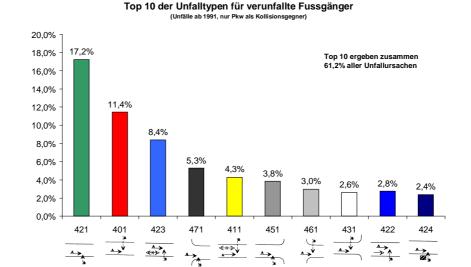
Holger Becker, Sebastian Busch, Jens König, Walter Niewöhner, Michael Stanzel

Folie 130

Abbildung 50: Kollisionsgegner von Fußgängern

FG: Top 10 Unfalltypen





Quelle: VW-GIDAS-Unfalldatenbank (02/2003 mit 17729 Unfällen)

Holger Becker, Sebastian Busch, Jens König, Walter Niewöhner, Michael Stanzel

Abbildung 51: Top10 der Unfalltypen für verunfallte Fußgänger





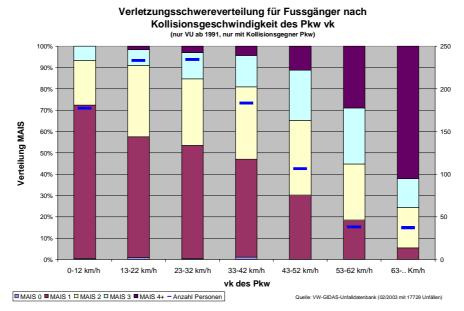












Holger Becker, Sebastian Busch, Jens König, Walter Niewöhner, Michael Stanzel

Folie 147

Abbildung 52: Verletzungsschwere nach Kollisionsgeschwindigkeit

FG: verletzungsverursachende Teile



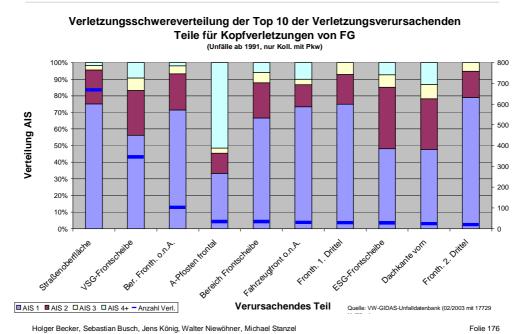


Abbildung 53: Verletzungsverursachende Teile











Im Rahmen des Unterauftrags zur Analyse der Verkehrsabläufe an Kreuzungen konnte das IAGB sowohl für die Klassifikation der Unfallsituation als auch des Fehlverhaltens ein automatisches Zuordnungsverfahren ableiten, d. h. die Klassifikation gelang allein auf Basis vorliegender Daten ohne manuelle Nacharbeit.

Für alle drei Untersuchungsgebiete, nämlich Hannover/Dresden aus den GIDAS-Daten und Stuttgart aus polizeilichen Unfalldaten traten die meisten Unfälle an ampelgeregelten Knotenpunkten auf. Der nächst kleinere Teil entfiel auf schildergeregelte Knotenpunkte, wobei sich der Anteil Vorfahrtsrecht und Wartepflicht die Waage halten. Unfälle an Rechts-vor- Links geregelten Knotenpunkten treten erheblich weniger häufig auf. Diese Unfallanalyse zeigte, dass besonderes Augenmerk auf Unfälle mit Einbiegen/Kreuzen und auch Abbiegen zu legen ist.

Bei der Betrachtung des Fehlverhaltens an ampelgeregelten Knotenpunkten wird deutlich, dass hier auch regionale Unterschiede auftreten können. In Hannover und Dresden wurde z.B. in 33 % bzw. 34 % der Unfälle der Vorrang missachtet, während in Stuttgart aufgrund der dort vorliegenden Ampelschaltungen keine Vorrangsmissachtungen beobachtet wurden.

Die Auftretenswahrscheinlichkeit einer Unfallsituation zeigte für Verkehrssituationen, bei denen der Knotenpunkt ohne Fahrtrichtungsänderung passiert wird, ein hohes Unfallrisiko an. Eine Ausnahme bildete dabei der schildergeregelte Knotenpunkt mit Vorfahrtsrecht, der allgemein ein geringes Unfallrisiko aufwies.

Für Fahrtrichtungsänderungen nach links zeigte sich ein mittleres Unfallrisiko. Ein großes Wirkungsfeld ist beim Einsatz eines Vorfahrts- und Ampelassistenten erkennbar und für die Untersuchungsgebiete Hannover/Dresden beim Schutz von Fußgängern und Radfahrern.

4.2.2 Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse

Entscheidende Teile der Ergebnisse der Unfallanalyse (durch VW und auch im DEKRA-Unterauftrag) in VAS lagen im Wesentlichen bereits zur Halbzeit des Projekts vor und konnten somit unmittelbar von den Projektpartnern aufgegriffen und – wie vorgesehen – bei der Auslegung der Applikationen berücksichtigt werden.

4.2.3 Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Auf dem Gebiet der Verkehrssicherheit, insbesondere der aktiven Sicherheit, gibt es derzeit zahlreiche öffentlich geförderte Forschungsvorhaben. Die größte Gruppe stellen hierbei die Projekte des EUCAR-Programms "Integrated Safety" (APROSYS³,

_

³ Advanced PROtection SYStems











PReVENT⁴, AIDE⁵, EASIS⁶, GST⁷ – alle EU-gefördert im 6. Rahmenprogramm). Weitere themenverwandte Vorhaben des 5. oder 6. Rahmenprogramms waren bzw. sind die Vorhaben SEiSS⁸, eImpact⁹ und TRACE¹⁰. Auch auf nationaler Ebene gab bzw. gibt es Unternehmungen, deren Zielrichtung mit INVENT vergleichbar ist, z.B. AR-COS¹¹ in Frankreich. Teilnehmerzahl und Volumen dieser Projekte sind zumeist jedoch in einer Größenordnung, die eine eingehende Beschreibung ihrer Ergebnisse im Rahmen dieses Berichts verbietet. Es muss daher auf die Darstellungen der jeweiligen Projekte selbst, z. B. im Internet, verwiesen werden.

4.2.4 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Wenn zur Wahrung berechtigter Interessen des ZE oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten bestimmte Einzelheiten aus dem Bericht vertraulich zu behandeln sind (z. B. Wahrung der Priorität bei Schutzrechtsanmeldungen), so hat der ZE den ZG ausdrücklich darauf hinzuweisen.

Alle Ergebnisse der VW-Arbeiten zur Unfallanalyse wurden den VAS-Partnern zur Verfügung gestellt und sind auf dem INVENT-Server im Ordner "VAS" hinterlegt. Im Einzelnen handelt es sich dabei um

- eine Einführung in Nomenklatur, Datengrundlagen und Systematik
- eine Auswertung zu Fußgänger und Radfahrerunfällen
- eine Auswertung zu Kreuzungsunfällen
- eine Auswertung zu Unfällen mit schweren Nutzfahrzeugen
- eine Auswertung zu Unfällen im Wirkungsfeld einer prädiktiven Fahrdynamikregelung

Die Ergebnisse des gemeinschaftlich von allen VAS-Partnern bei DEKRA platzierten Unterauftrags stehen ebenfalls allen VAS-Partnern zur Verfügung und sind am gleichen Ort auf dem INVENT-Server hinterlegt.

Die Ergebnisse des von Volkswagen gemeinsam mit BMW, Bosch und DaimlerChrysler beauftragten Unterauftrages an das Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen (IAGB) der Universität Stuttgart stehen in Form eines Abschlußberichts den Auftraggebern zur Verfügung.

⁴ Preventive and Active Safety Applications

⁵ Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface

⁶ Electronic Architecture Safety Systems

⁷ Global System for Telematics

⁸ Socio-Economic Impact of Intelligent Safety Systems

⁹ Socio-economic Impact Assessment of Stand-alone and Co-operative Intelligent Vehicle Safety Systems in Europe (Nachfolgeprojekt zu SEiSS)

¹⁰ Traffic Accident Causation in Europe

¹¹ Action de Recherche pour une COnduite Sécurisée











5 Verkehrliche Wirkung, Recht und Akzeptanz VRA

5.1 Kurzfassung

Das Teilprojekt "Verkehrliche Wirkung, Rechtsfragen und Akzeptanz" (VRA) sah sich im Rahmen von INVENT in erster Linie als Dienstleister für die Applikationsprojekte "Stauassistent" (STA) und "Vorausschauende aktive Sicherheit" (VAS). Ziel war die Bewertung der Fahrerassistenzsysteme, die in den beiden Applikationsprojekten entstanden.

Die Projektpartner untersuchten zum Beispiel die Auswirkungen, die Fahrerassistenzsysteme auf den Fahrer und den Verkehr haben, sowie die Kundenakzeptanz und Gebrauchssicherheit. Dabei hinterfragten sie auch die Sicherheitsaspekte im Zusammenhang mit den rechtlichen Rahmenbedingungen. Über Kosten/Nutzen-Analysen wurden die Systeme ökonomisch bewertet. Dazu mussten auch neue Methoden und Bewertungsverfahren entwickelt werden.

5.2 Eingehende Darstellung

5.2.1 Ergebnisse im Detail

Durch die Assistenzsysteme entsteht eine neue Dimension des Autofahrens. Wird diese Assistenz überhaupt gewünscht, und wie ändert sich durch sie möglicherweise die Fahrweise? Um kostspielige Fehlentwicklungen zu vermeiden, ist es erforderlich, bei der Entwicklung von neuen Fahrerassistenzsystemen möglichst früh deren verkehrliche Wirkung, ihre Akzeptanz beim Kunden und gegebenenfalls sogar ihre betriebs- und volkswirtschaftlichen Auswirkungen zu untersuchen. Auch potenzielle verkehrs-, zulassungs- und haftungsrechtliche Probleme müssen frühzeitig identifiziert werden, insbesondere dann, wenn es sich um Systeme handelt, die bestimmte Fahrfunktionen teilweise oder ganz vom Fahrer übernehmen.

5.2.1.1 Verkehrliche Wirkungen

Um die verkehrlichen Wirkungen von Fahrerassistenzsystemen untersuchen zu können, müssen die angedachten Assistenzsysteme als Modelle vorliegen. Diese werden in Simulationen mit Verkehrsszenarien gekoppelt. Bei den einzelnen Projekt-partnern waren bereits unterschiedliche Modelle im Einsatz, die im Rahmen von VRA











zu einer integrierten Analyse-Plattform weiterentwickelt wurden. Diese Analyse-Plattform, bestehend aus einem Szenariengenerator, einer Schnittstelle zu Assistenzsystemen und einem Verkehrsmonitor zur Beobachtung der verkehrlichen Wirkungen erlaubt eine umfassende Analyse der Wirkungen von Fahrerassistenzsystemen.

Für das Teilprojekt STA untersuchten die Projektpartner das Reglerverhalten des Stauassistenten beim Annähern an ein Stauende, während der Fahrt im Stau und bei der Stauausfahrt. In jeder dieser drei Situationen gibt es unterschiedliche Anforderungen:

- Beim Annähern an ein Stauende soll unüblich starkes Bremsen vermieden werden. Aus Akzeptanzgründen ist aber auch ein zu zögerliches "Heranschleichen" zu vermeiden. Der von STA vorgeschlagene Regler wurde nach ersten Simulationsläufen entsprechend adaptiert.
- Beim Fahren innerhalb eines Staus wurde ein für den Fahrer angenehmer Geschwindigkeitsverlauf gesucht, der unnötige Beschleunigungen und Verzögerungen, sowie unüblich große Abstände vermeidet. Darüber hinaus wurde eine geeignete obere Geschwindigkeitsgrenze des Systems bestimmt, um ein häufiges Aus- und Wiederanschalten zu vermeiden. II. Dazu wurde der Verkehrsablauf hinter einer gemessenen, realen Staufahrt simuliert.
- Bei der Ausfahrt aus einem Stau soll das Reglerverhalten zu einem zügigen Abfluss führen. Hier wurden verschiedene Parametervarianten hinsichtlich der Abflussrate überprüft.

Für das Teilprojekt VAS wurden Untersuchungen zum Querführungsassistenten durchgeführt. Hierbei lag der Fokus auf den Randbedingungen, unter denen das Assistenzsystem arbeiten muss. Hier führten die Projektpartner Untersuchungen zu den Sichtweiten auf Autobahnen sowie zu Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Fahrstreifen durch. Die Häufigkeitsverteilungen der Sichtweiten und Kurvenradien am Beispiel der A61 zwischen Gelsenkirchen und Ludwigshafen zeigten, dass Radien kleiner als 600 Meter nur auf einem Prozent der Strecke auftreten, meist in Autobahn-Übergängen. Die Sichtweiten gehen im Mittelgebirgsbereich (Hunsrück) bis auf ca. 200 Meter zurück. Für die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Fahrsteifen einer Autobahn ergab sich eine Häufung bei Werten von ca. 40 km/h; die Maximalwerte waren jedoch erheblich höher. Aus den beobachteten Sichtweiten und Geschwindigkeitsdifferenzen ließen sich die Anforderungen an die Sensorik einer Spurwechselabsicherung ableiten.

Zusätzlich wurden Simulationen zur Auswirkung von Einfädelvorgängen durchgeführt. Wegen der in der Regel unterschiedlichen Geschwindigkeiten kommt es zu verschiedenen Auswirkungen, je nach dem ob ein Pkw oder Lkw einfädelt.











Die folgenden Abbildungen zeigen die Geschwindigkeiten aus den Simulationen, dargestellt über Weg und Zeit. Die erste Abbildung für einen Pkw-Einfädelvorgang zeigt, dass dieser ohne verkehrliche Störungen abläuft. Die zweite Abbildung lässt die durch vermehrte Lkw-Einfädelvorgänge hervorgerufenen Verkehrsstörungen unschwer erkennen.

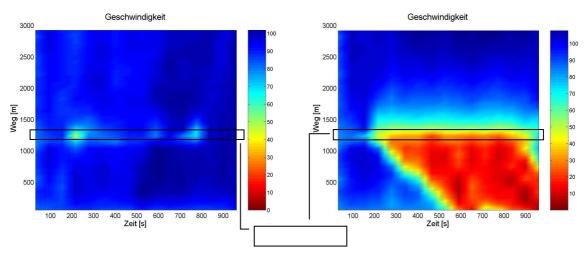


Abbildung 54: Geschwindigkeitsverlauf bei Pkw-Zufluss (links) und Lkw-Zufluss (rechts)

Weiterhin wurden wichtige Fragestellungen aus dem TP VAS beantwortet, beispielsweise die Störungsfortpflanzung bei Spurwechselvorgängen bei Variierung der zugemuteten Zeitlücken bzw. Verzögerungen.

5.2.1.2 Akzeptanz und Mensch-Maschine-Interaktion

Verkehrssimulationen werden dazu benutzt, Assistenzsysteme optimal auszulegen. Diese Auslegung darf aber andererseits nicht ohne die Rückkopplung entsprechender Akzeptanzuntersuchungen erfolgen. Denn was nach rein verkehrlichen Kriterien Sinn macht, ist nicht immer auch die bevorzugte Fahrweise des Autofahrers.

Die hohen Investitionskosten bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen amortisieren sich nur dann, wenn diese Systeme später auf eine breite Akzeptanz bei der Zielgruppe stoßen, also Kaufbereitschaft und Nachfrage für eine zügige Marktdurchdringung sorgen. Das heißt: Der Endverbraucher muss schon in einer frühen Entwicklungsphase berücksichtigt werden ("nutzerzentrierte Innovation"). Dies beginnt bei der Konzeptentwicklung und erstreckt sich bis hin zur Dokumentation von Verbrauchererfahrungen in der Vermarktungsphase. Schon während der Konzeptentwicklung können neue Methoden eingesetzt werden, um potenziellen Kunden den Systemnutzen darzustellen und die bevorzugte Systemgestaltung zu bestimmen.











Im Rahmen von VRA wurden verschiedene Methoden u. a. auf Basis qualitativer und quantitativer Marktforschung (weiter-)entwickelt und auf die entsprechenden Anforderungen von Fahrerassistenzsystemen abgestimmt und erprobt. Insgesamt war das Ziel, mit Hilfe dieser Methoden die Kundenbedürfnisse und Nutzerakzeptanz, Systemanforderungen aus Kundensicht, Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle sowie Bedienfreundlichkeit und Gebrauchssicherheit der Fahrerassistenzsysteme zu untersuchen Auf Basis der Ergebnisse konnten Handlungsempfehlungen gegeben werden, die zu einer kundennahen und damit marktfähigen Entwicklung dieser Systeme beitragen.

So wurden z.B. für die jeweiligen Systeme Multimedia-Befragungen entwickelt, um potenziellen Kunden die Funktionsweise und Systemgrenzen verbal und visuell (über Trickfilmanimationen und Videosequenzen) zu vermitteln. Mit Hilfe eines integrierten interaktiven Fragebogens haben die Probanden entsprechende Wertungen zu bestimmten Warnstrategien, Funktionen und Ausprägungen abgegeben. Darüber hinaus wurden über Präferenzurteile und Prioritäten bzgl. bestimmter Funktionen oder Warnungen Systemkombinationen ermittelt, die den Kundenwünschen am besten entsprechen. Darüber hinaus wurden Gruppendiskussionen, Fahrversuche und Online-Befragungen durchgeführt.

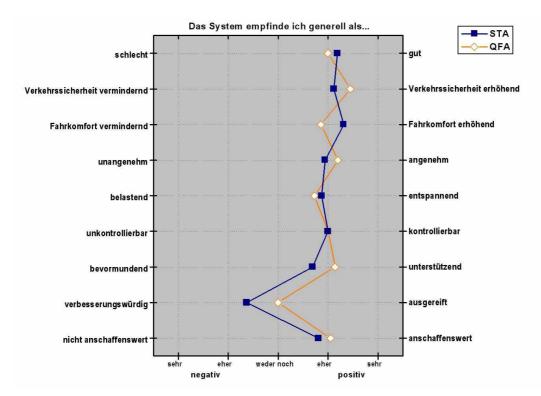


Abbildung 55: Systembewertung für Querführungsassistent und Stauassistent jeweils nach dem Fahrversuch











Generell bewerteten die potenziellen Kunden nach der Durchführung von Fahrversuchen beide Systeme aus den Teilprojekten STA und VAS positiv. Wie die nachfolgende Abbildung zeigt, erhöhen diese Systeme aus Sicht der potenziellen Kunden die Verkehrssicherheit und den Fahrkomfort. Das Fahren mit diesen Systemen wird als angenehm und entspannend empfunden. Unter Berücksichtigung des frühen Entwicklungsstadiums, in dem sich die Systeme zum Zeitpunkt der Durchführung der Fahrversuche befanden, kann die Einstufung zwischen "verbesserungswürdig" und "ausgereift" ebenfalls in positivem Sinne interpretiert werden.

Ein Vergleich der Ergebnisse auf Basis der Multimedia-Befragungen mit den Ergebnissen aus den Fahrversuchen zeigt: Die Multimediabefragung ist ein nützliches Werkzeug, die zukünftigen Nutzern bereits in einer frühen Phase der Produktentwicklung mit einzubeziehen. In vielen Aspekten stimmten die Ergebnisse beider Methoden überein. Unterschiede bestehen wie erwartet in der Kauf- und Preisbereitschaft, die bei den Fahrversuchen wesentlich höher ausfällt. Wenn ein System bei einer Probefahrt erlebt wird, d.h. potenzielle Kunden den Systemnutzen unmittelbar (er-)fahren können, ist ein entsprechend höherer Absatz zu erwarten.

Insgesamt wird deutlich: Wertvolle Hinweise zur Systemgestaltung und Akzeptanz lassen sich schon in der frühen Entwicklungsphase ermitteln, z.B. über Multimedia-Befragungen. Für eine weitere Überprüfung der Kundenakzeptanz und der Gebrauchssicherheit sind Car Clinics (Fahrversuche) mit Prototypen erforderlich.

5.2.1.3 Was die Kunden denken

Der Hauptkaufgrund sowohl für den Stausassistenten als auch für den Querführungsassistenten wäre die Verringerung der Unfallwahrscheinlichkeit, gefolgt von einem Gewinn an Fahrkomfort durch die Fahrerentlastung.

Eine wichtige Erkenntnis zur Auslegung des Stauassistenten war, dass die Fahrer vom Assistenzsystem ein frühzeitiges Abbremsen und ausreichenden Abstand zum Vorderfahrzeug erwarteten – damit wird das eigene Kontrollbedürfnis befriedigt und der Fahrer kann zur Not noch eingreifen. Außerdem bevorzugten die Testfahrer die Wiederanfahrt ohne vorherige Freigabe. Unterschiedliche Meinungen gab es zu der Frage, ob die Hände zwingend am Lenkrad bleiben sollten: War in der Multimediabefragung noch eine knappe Mehrheit dafür, gab es nach den Fahrversuchen eine deutliche Mehrheit dagegen.

Auch beim Querführungsassistenten stimmten die Ergebnisse der Multimediabefragung und der Fahrversuche in vielen Punkten überein. Das System sollte sich zum Beispiel automatisch aktivieren, aber jederzeit vom Fahrer deaktivierbar sein. Neben einer Warnung beim geplanten Spurwechsel wünschten die Testfahrer auch eine Information über belegte Nachbarfahrspuren – am besten per Anzeige im Außenspiegel. Als Warnung beim Spurverlassen bevorzugten die Teilnehmer der Multimediabefragung die Vibration im Fahrersitz. Im Fahrversuch gab es dagegen nur die Mög-











lichkeit einer Lenkradvibration sowie eines kurzen Gegenlenkens. Für beides fanden sich Fürsprecher, obwohl die Vibration als besser beurteilt wurde.

5.2.1.4 Gebrauchssicherheit

Für den Querführungsassistenten führten die Projektpartner sowohl nach der Multimediabefragung als auch nach dem Fahrversuch einen "Verständlichkeitscheck" im Multiple-Choice-Verfahren durch. Es stellte sich heraus, dass die Testpersonen die Funktionalität – was das System leisten kann – besser verstanden als die Systemgrenzen. Nach der Testfahrt war das Verständnis zwar besser als nach der Multimediabefragung. Aber auch hier erwarteten die Testfahrer vom System mehr, als es tatsächlich leisten konnte, etwa das Funktionieren auch bei fehlender oder doppelter Fahrbahnmarkierung, das Erkennen von Hindernissen auf der Fahrbahn, der Vorschlag, einen Spurwechsel vorzunehmen, oder Längsregelung. Dieses Testergebnis – die Schwierigkeit, die Systemgrenzen zu verstehen – deckte sich mit der Selbsteinschätzung nach den STA-Fahrversuchen: die Probanden waren sich sicherer, die Systemfunktionalität besser verstanden zu haben als die Systemgrenzen..

5.2.1.5 Rechtsfragen und die Antworten

Fahrerassistenzsysteme sollen dem Fahrer helfen, seine Fahraufgabe so zu erfüllen, dass weder er noch "ein Anderer geschädigt, gefährdet oder mehr als nach den Umständen unvermeidbar behindert oder belästigt wird" (§ 1 Abs. 2 StVO). Im Mittelpunkt der technischen Systeme steht immer der Fahrer. Informationen, die das System erfasst und sammelt - aus dem Kfz, dem Verkehrsumfeld - können entweder einfach an den Fahrer weitergegeben werden: er entscheidet, was zu tun ist. Fahrerassistenzsysteme können dem Fahrer aber auch einzelne Handlungen abnehmen und in das Fahrverhalten eingreifen. Dieser Eingriff des Systems muss grundsätzlich aber vom Willen des Fahrers getragen sein: Er muss die Möglichkeit haben, es zu aktivieren, deaktivieren oder übersteuern. Das gilt nicht, wenn in kritischen Fahrsituationen das System technisch in der situationsbezogen erforderlichen Effizienz etwas leistet, was der Mensch nicht mehr leisten kann.

Unterschieden werden muss ein Fahrerassistenzsystem von einem telematischen System – einem System, das unter Zuhilfenahme bordinterner Systeme von außen in die Fahrdynamik eingreift, unabhängig vom Willen des Fahrers. Solche telematischen Systeme werfen andere Fragen zur rechtlichen Zulässigkeit und Haftung auf.

Ein mögliches Szenario, bei dem einem Fahrer strafrechtlich und haftungsrechtlich schuldhaftes Fehlverhalten vorgeworfen werden könnte, kann sich ergeben, wenn er erkennbar ein Assistenzsystem nicht aktiviert oder deaktiviert hat oder es zu unrecht übersteuert hat und es dadurch zur Tötung oder Verletzung von Personen oder zu Sachbeschädigungen kommt. Führt eine Fehlfunktion des Assistenzsystems zu einem Unfall, ist ein Schuldvorwurf höchstens dann begründbar, wenn dem Fahrer die Fehlfunktion bekannt war, er sie aber nicht beseitigen ließ und bei einwandfreiem











Funktionieren der Unfall vermieden worden wäre. Ohne solch möglichen Schuldvorwurf haftet der Fahrzeughalter gemäß § 7 StVG stets für die Folgen eines Unfalls, die sich aus einer Fehlfunktion ergeben. Das würde nach heutigem Sand heißen, dass der Fahrzeughalter bezahlt, wenn das Assistenzsystem einen Fehler macht.

Arbeitsrechtlich interessant ist: Ein Arbeitnehmer würde bei einer betrieblichen Fahrt nicht für den Schaden aus einem Unfall mit dem Fahrzeug des Arbeitgebers haften, wenn der Arbeitgeber das Fahrzeug nicht mit einem Assistenzsystem ausgestattet hat, das den Unfall vermieden hätte. Wichtig ist das zum Beispiel bei LKW oder Omnibussen, die das Risiko eines hohen Schadens – am Fahrzeug, der Ladung oder durch entgangenen Gewinn – mit sich bringen.

Im Bereich Produkthaftung oder Produzentenhaftung können sich Probleme aus der Art und Weise ergeben, wie der Fahrer über Wirkungsweise und vor allem Grenzen des Assistenzsystems informiert wird. Das beginnt schon bei der Anzeige im Fahrzeug, ob ein System aktiviert ist oder nicht. Besondere Bedeutung hätte dieses Thema zum Beispiel für Fahrzeuge in einem Fuhrpark, die von häufig wechselnden Personen gefahren werden, wie Mietwagenflotten.

5.2.1.6 Ökonomische Bewertung

Bei der ökonomischen Bewertung im Rahmen von VRA wurde untersucht, ob der erwartete Nutzen der in INVENT entwickelten Fahrerassistenzsysteme, wie zum Beispiel verringerte Unfallzahlen und Zeiteinsparungen, größer sein wird als der Aufwand für Herstellung und Betrieb. Dabei nahmen die Projektpartner verschiedene Perspektiven ein, eine gesamtwirtschaftliche Sichtweise und eine privatwirtschaftliche (Nutzersicht). Die gesamtwirtschaftliche Beurteilung wurde mit Hilfe einer Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) durchgeführt. Zur Quantifizierung des entstehenden Nutzens verwendeten die Partner Ergebnisse aus anderen Arbeitspaketen. So fanden beispielsweise Erkenntnisse aus Verkehrssimulationen für einen Stauassistenten Eingang in die Nutzenberechnungen. Nachstehende Abbildung verdeutlicht den Ablauf der NKA für einen Stauassistenten

Um abzuschätzen, welche Zeiteinsparungen Stauassistenten im Straßenverkehr bewirken können, betrachteten die Projektpartner die Zeitverluste durch Staus in Deutschland. Verschiedene Studien kommen dabei aufgrund unterschiedlicher Vorgehensweisen zu sehr unterschiedlichen Aussagen. Die veröffentlichten Zahlen variieren zwischen rund einer Milliarde (Wuppertal-Institut, 1995) und 4,7 Milliarden Stunden Zeitverlust pro Jahr (BMW-Studie, 1994). Die Kosten für die Gesellschaft werden mit bis zu 100 Milliarden Euro (BMW-Studie, 1994) beziffert. Darin enthalten sind aber auch Zeitverluste im Stadtverkehr, wo durch den Stauassistenten keine Verbesserungen im Verkehrsablauf zu erwarten sind. Andererseits muss eine weitere Erhöhung des Stauaufkommens in der Zukunft berücksichtigt werden.











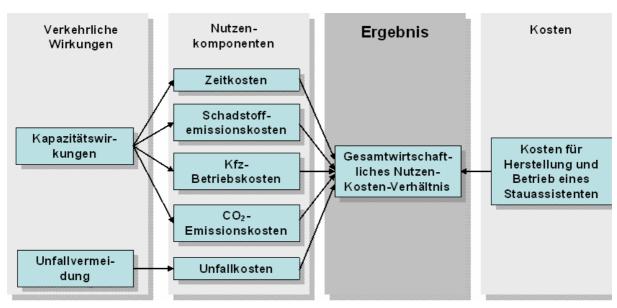


Abbildung 56: Analytischer Rahmen einer gesamtwirtschaftlichen NKA für einen Stauassistenten

Unter der Annahme, dass im Jahr 2010 fünf Prozent aller Fahrzeuge mit einem Stauassistenten ausgestattet sind, und daraus resultierenden Reisezeiteinsparungen von 10 Prozent im Stauverkehr berechneten die Projektpartner eine jährliche Zeiteinsparung von etwa 85 bis 130 Millionen Stunden mit einem Wert in Höhe von 1,1 bis 1,6 Milliarden Euro (Preisstand: 2005). Diese Zahlen beruhen auf Stauabschätzungen auf Basis makroskopischer Verkehrsmodelle und auf Auswertungen von Staumeldungen, die im Rahmen von VRA durchgeführt wurden.

Mit einer Verbesserung des Verkehrsflusses im Stau gehen außerdem Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch sowie bei Schadstoffemissionen und CO₂-Emissionen einher. Im Vergleich ist der monetäre Wert dieser möglichen Einsparungen aber gering mit nur etwa 15 Prozent der ermittelten Zeitkostenersparnisse.

Neben Verkehrsflussverbesserungen sollen Fahrerassistenzsysteme auch Unfälle vermeiden helfen. Wie gut sie dies können, hängt von ihrer genauen Funktionsweise ab. Im Fall des Stauassistenten sind prinzipiell nur Unfälle im niedrigen Geschwindigkeitsbereich oder im Stau vermeidbar. In der Praxis kann zudem keine vollständige Verhinderung aller theoretisch vermeidbaren Unfälle erwartet werden. Unfälle innerhalb von Staus machen jedoch nur einen geringen Anteil aller Autobahnunfälle aus und sind meist deutlich weniger schwer als im frei fließenden Verkehr oder am Stauende (siehe nachstehende Tabelle).

Das bedeutet für den Stauassistenten: Angesichts der relativ geringen Zahl vermeidbarer Unfälle und der geringen Unfallschwere ist der mögliche gesellschaftliche Nutzen durch Unfallvermeidung im Vergleich zu den möglichen Zeitkosteneinsparungen niedrig. Er beläuft sich bei einer Ausstattungsquote von fünf Prozent aller Fahrzeuge im Jahr 2010 auf rund 15 Millionen Euro (Preisstand: 2005). Die Nutzenanalyse zeigt also, dass ein Stauassistent vor allem durch Zeitgewinne für wesentliche Ressourceneinsparungen sorgen kann.











Tabelle 6: Unfälle differenziert nach Unfallfolgen und Verkehrszustand im Jahr 2002 auf Autobahnen im Ballungsraum Köln

	Unfälle im frei f ßenden Verkel		Unfälle am Stauende		Unfälle in Staus	
Unfälle mit Personenschäden	985 (13,0	%) 181	(17,9%)	93	(5,8 %)	
Dabei Getötete	35	1		0		
Dabei Schwerverletzte	285	35		2		
Dabei Leichtverletzte	1.176	327		135		
Schwerwiegende Unfälle mit Sachschäden	2.002 (26,5	%) 82	(8,1 %)	87	(5,5 %)	
Sonstige Sachschadensunfälle	4.582 (60,5	%) 749	(74,0 %)	1.418	(88,7 %)	
Unfälle insgesamt	7.569	1.012		1.598		

Quelle: Unfallstatistik der Autobahnpolizei Köln für den Ballungsraum Köln, 2002

Vergleicht man schließlich den monetären Wert aller Ressourceneinsparungen mit den Kosten der Ausstattung der Fahrzeuge (Systemkosten von 1.500 Euro bei fünf Prozent Ausstattungsquote im Jahr 2010, durchschnittliche Lebensdauer zwölf Jahre), dann sind die Nutzen ca. 3,2- bis 4,7-mal so hoch wie die Kosten. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ist der Einsatz von Stauassistenten demnach zu befürworten.

5.2.1.7 Gesamtwirtschaftliche und private Nutzen von Fahrerassistenzsystemen

Nutzen-Kosten-Analysen (NKA) werden vor allem eingesetzt, um die Zweckmäßigkeit staatlicher Vorhaben (z.B. im Bereich der Verkehrswege) aus gesamtwirtschaftlicher Sicht zu beurteilen. Eine gesamtwirtschaftliche NKA von Fahrerassistenzsystemen wurde im Rahmen von VRA deshalb durchgeführt, weil die vom privaten Sektor, also den beteiligten Unternehmen entwickelten Fahrerassistenzsysteme nicht nur für den Nutzer sondern auch für die Allgemeinheit nutzenstiftend sein können – z.B. durch Zeiteinsparungen, Reduzierung von Schadstoffemissionen oder Unfallhäufigkeit. Im Einzelnen kann der Einsatz von Fahrerassistenzsystemen folgende Vorteile bieten:

1. Nutzen für die Allgemeinheit bzw. andere Verkehrsteilnehmer durch verkehrliche Wirkungen (= Zeiteinsparungen, Einsparungen an Schadstoff- und C0₂-Emissionen sowie beim Kraftstoffverbrauch, Vermeidung von Unfällen)











- 2. Nutzen für den Käufer durch verkehrliche Wirkungen (Einsparungen beim eigenen Kraftstoffverbrauch, Vermeidung von Unfällen)
- 3. Nutzen für den Käufer durch nicht-verkehrliche Wirkungen (z.B. Komfort-, Prestigegewinn)

Daraus lassen sich verschiedene Aussagen ableiten:

- Eine NKA vergleicht die gesamten Systemkosten nur mit einem Teil der Nutzen, nämlich den verkehrlich relevanten (Nutzen 1 und 2). Deshalb lässt sich der Nutzen-Kosten-Koeffizient für ein Fahrerassistenzsystem nicht direkt mit den Nutzen-Kosten-Koeffizienten z.B. für Verkehrswegeinvestitionen vergleichen, bei denen ausschließlich verkehrliche Nutzen entstehen. Andererseits kommt dem Nutzen-Kosten-Koeffizienten für Fahrerassistenzsysteme eine andere Bedeutung zu als bei staatlichen Infrastrukturprojekten. Er dient nicht als Grundlage für die Entscheidung über die Umsetzung eines Projektes, sondern dient als Indikator für die Förderungswürdigkeit der Systeme.
- Der Käufer wird nur eine Zahlungsbereitschaft für die bei ihm anfallenden Nutzen (Nutzen 2 und 3) des Systems aufbringen. Aus ökonomischer Sicht ist eine Förderung der Systeme in Höhe der bei Dritten anfallenden Nutzen (Nutzen 1) zu rechtfertigen.