Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion – FVM

Projektpartner

BMW Group
DaimlerChrysler AG
Robert Bosch GmbH
Volkswagen AG

Zusammenfassung

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.

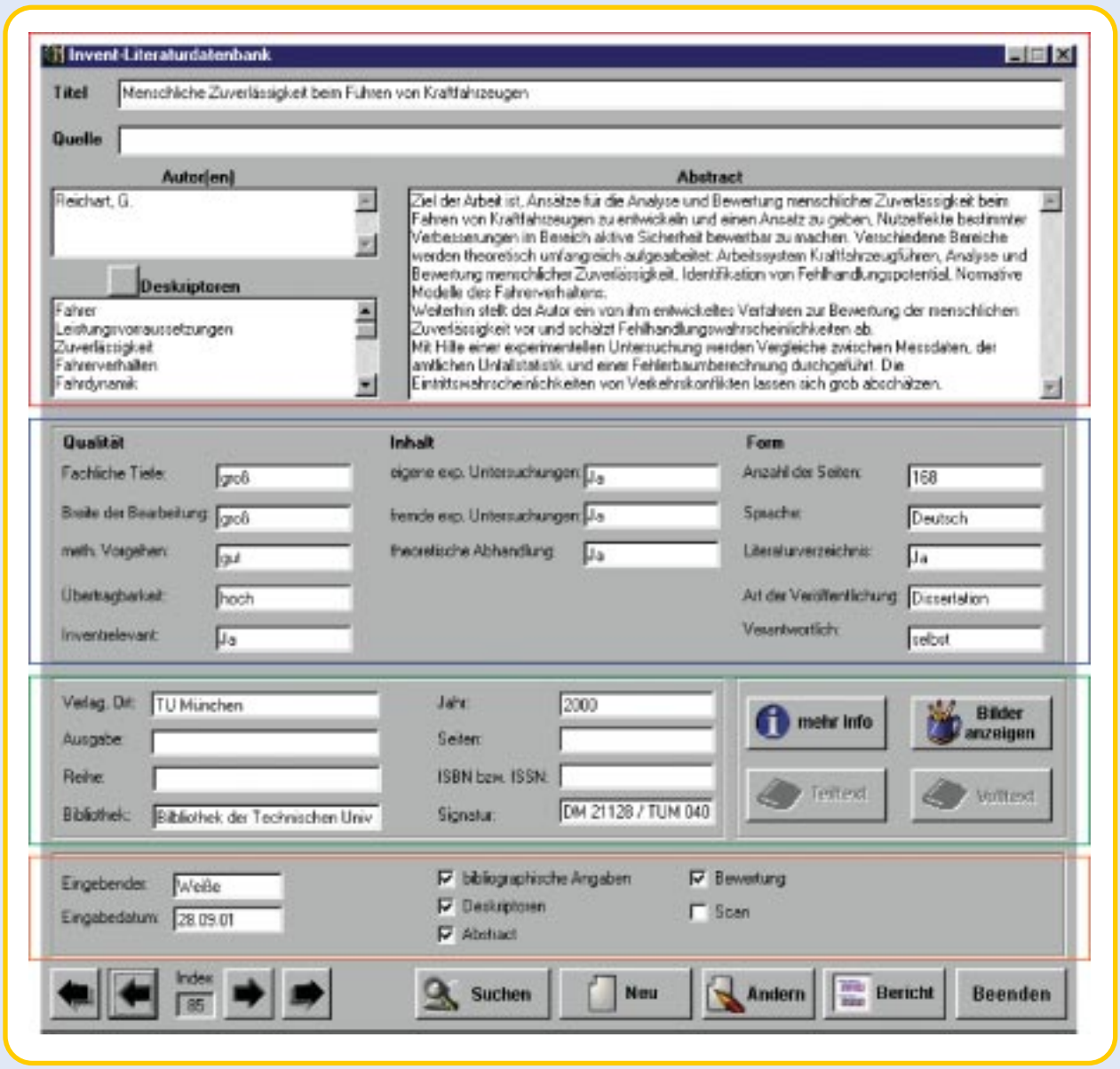
Darüber hinaus erarbeiteten die Projektpartner eigene Gestaltungsbeispiele für selbsterklärende und verkehrssichere Mensch-Maschine-Schnittstellen. Dies schloss auch Ansätze zur Verbesserung heutiger Fahrer-System-Schnittstellen mit ein.

Ergebnisse

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. In einer Datenbank stehen die Ergebnisse der Literaturanalyse und die darauf aufbauende Bewertung jetzt zur Verfügung. Das gegenwärtige Wissen zu Fahrerleistungsdaten ist auch in einem Handbuch zusammengestellt. Für den Unterauftrag verantwortlich war Prof. Landau am Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) der TU Darmstadt.

Abb. 1: Suchmaske der Literaturdatenbank



Die in FVM erstellte Literaturdatenbank basiert auf Microsoft Access und umfasst über 1000 Literaturstellen mit einem Schwerpunkt auf der Zeit nach 1990. Aufbauend auf einem Deskriptorenbaum zur Strukturierung wurde die Literatur hinsichtlich verschiedener Kriterien – etwa fachliche Tiefe, Breite der Bearbeitung oder Übertragbarkeit – bewertet. Die Datenbank beinhaltet außerdem jeweils eine kurze Zusammenfassung der Literaturstelle. Suchfunktionen über Autoren, Deskriptoren und andere Kriterien ermöglichen das Erstellen von Literaturverzeichnissen zu ausgewählten Themengebieten.

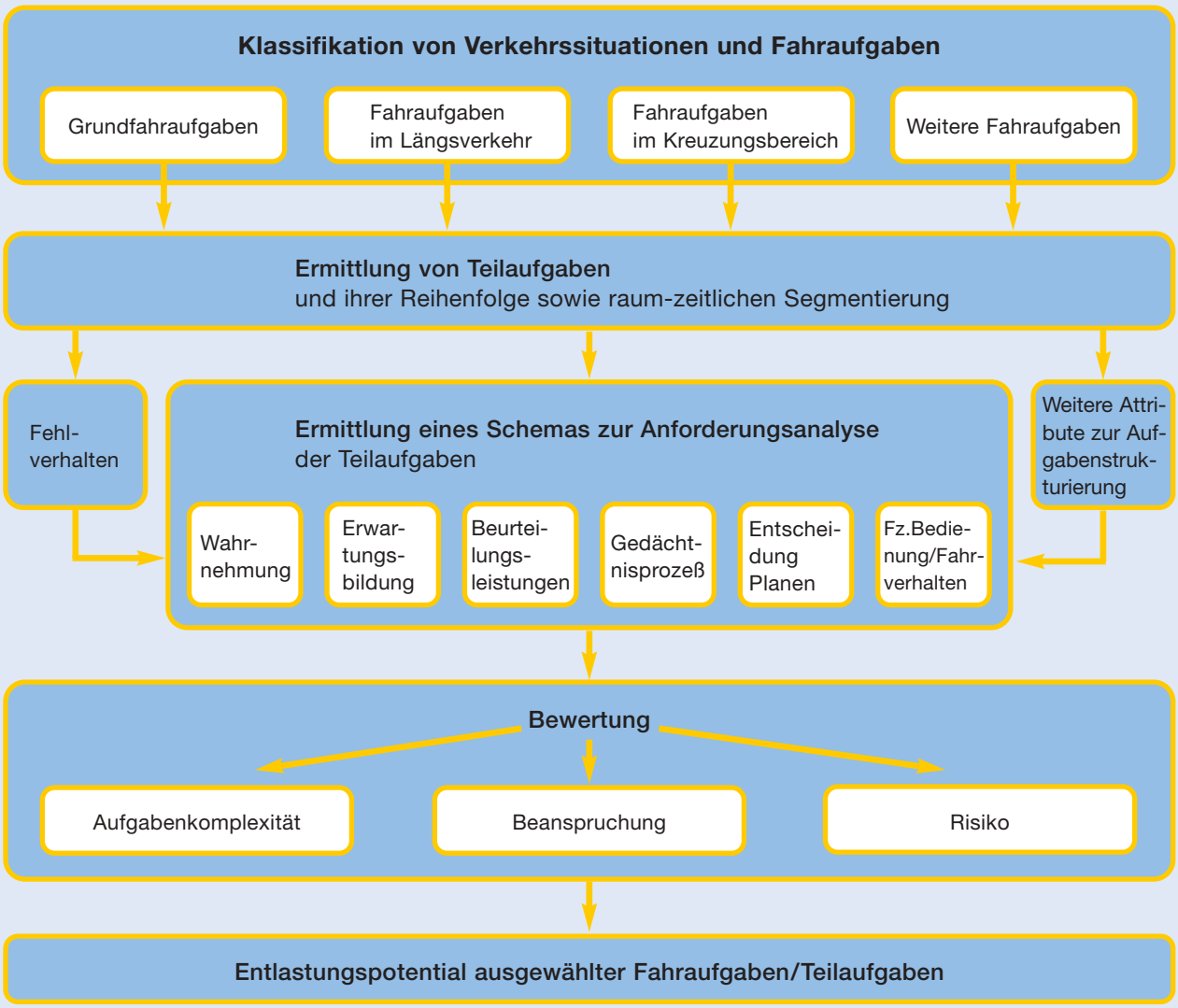
Fahraufgabenklassifikation

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 (siehe Abb. 2).

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

Abb. 2: Struktur der Fahraufgabenklassifikation



Experimentalstudien zum Fahrerverhalten an Kreuzungen

Ein Forschungsgebiet, das die FVM-Partner vertieft untersuchten, war das Fahrerverhalten an Kreuzungen. 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.

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 Überqueren von Kreuzungen über ein Blickregistriergerät untersucht – per Videodetektion des Corneareflexes 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.

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.

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.

Abb. 3: Individuelle Nutzung bei mehreren Bedienmöglichkeiten (Tasten oder Sprache)

Proband	Sitzung 1	Sitzung 2	Gesamt	Bedientyp
02	0.00	0.00	0.00	Tasten
03	0.04	0.00	0.02	Tasten
04	0.04	0.08	0.06	Tasten
05	0.12	0.62	0.37	gemischt
06	0.04	0.03	0.03	Tasten
07	0.57	0.52	0.55	gemischt
08	0.00	0.00	0.00	Tasten
09	0.91	0.91	0.91	Sprache
10	0.65	0.84	0.74	Sprache
11	0.00	0.00	0.00	Tasten
Mittelwert	**0.24**	**0.30**	**0.27**	

Zeitanteile mit Sprachbedienung

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.

Modell des Lernverhaltens

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

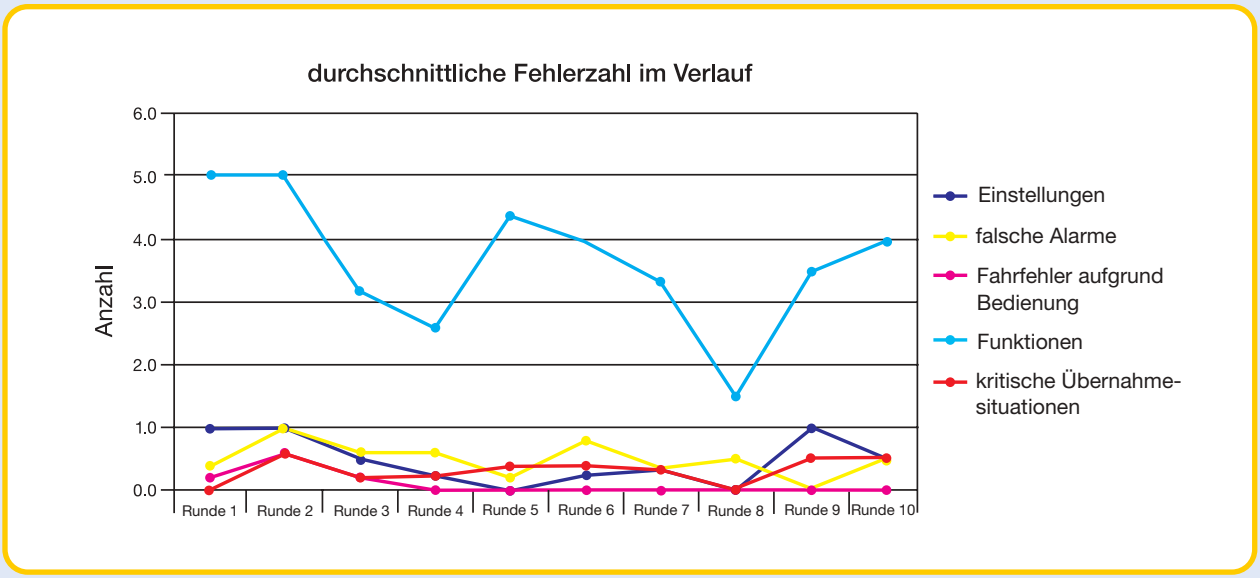
- Definition von Lernstufen
- Charakteristika des beobachtbaren Verhaltens in jeder Lernstufe
- Abfragbare oder anderweitig ermittelbare innere Vorgänge beim Nutzer
- Definition von Systemverständnis vor dem Hintergrund des Lernmodells
- Experimentelle Validierbarkeit

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.

Abb. 4: Fahrsimulator des WIVW zur Durchführung der Experimente und Bedienelemente des Stauassistenten

Beide Systeme wurden im Simulator des WIVW implementiert und experimentell mit Testfahrern untersucht. Während der Versuche auftretende Fehler wurden klassifiziert nach Bedienfehlern, Fehlern durch Systemverständnis, Fahrfehlern und anderen Fehlern und hinsichtlich des Lernfortschritts bei mehrfacher Versuchswiederholung analysiert. Die Ergebnisse bildeten unter anderem eine wichtige Grundlage für die Gestaltung der Schnittstellen im Projekt STA.

Abb. 5: Beispiel zur Entwicklung der Fehler beim Umgang mit einer STA-Variante



Minimierung des Lernaufwands

Das Erlernen von Fahrerassistenzsystemen findet in drei Phasen statt:

– 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 geht 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 ein neues Verfahren erarbeitet, welches Lernhindernisse durch eine formale Überprüfung technischer Zustandsdiagramme schon während der technischen Systementwicklung aufspüren kann.

Gestaltungsbeispiele für lernfördernde Maßnahmen

Die Ergebnisse und Erkenntnisse aller Arbeiten zum Themenschwerpunkt „selbsterklärendes Fahrerassistenzsystem“ werden derzeit zusammengeführt und in Form der angestrebten übergreifenden Gestaltungsrichtlinie strukturiert.

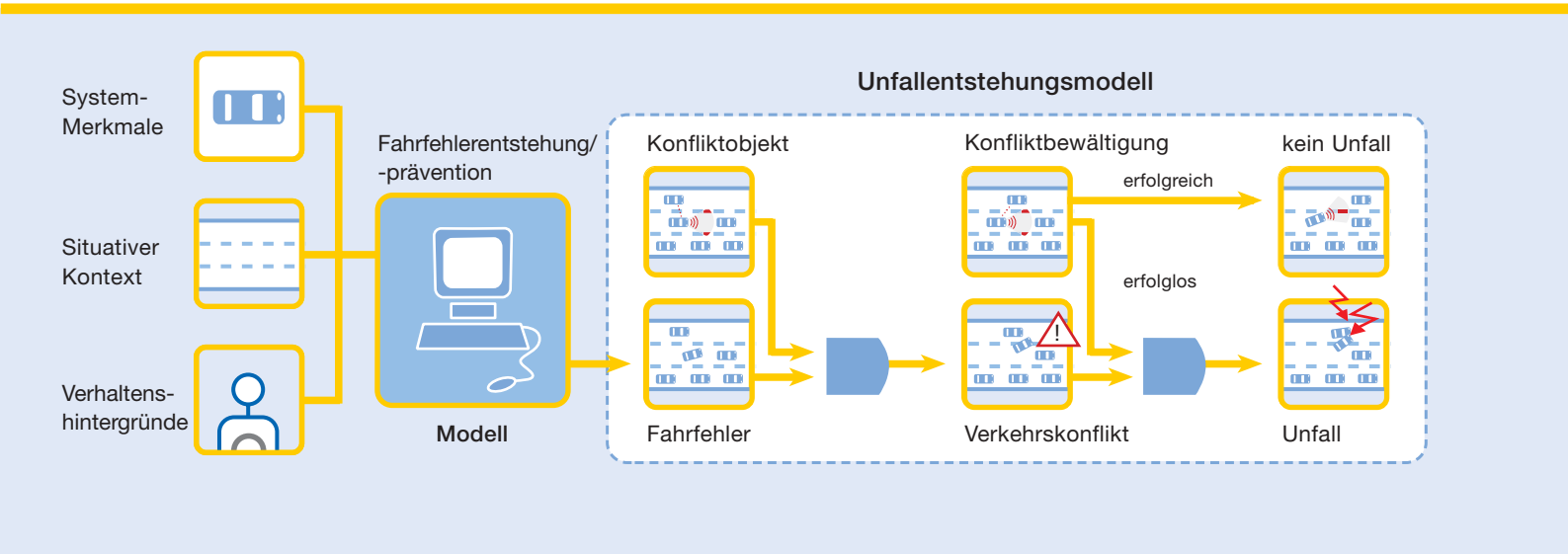
Die verkehrssichere Mensch-Maschine-Interaktion bewerten

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.

Das Bewertungsverfahren entstand 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 (siehe Abb.6).

Abb. 6: Allgemeines Unfallentstehungsmodell



FVM – Ergebnisse

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“ (siehe Abb.7).

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 (siehe Abb. 8).

Abb. 7: Beispiel eines „Fahrfehlerbaums“ für einen Spurhaltekonflikt in einer Kurve bedingt durch den Fahrfehler „zu hohe Geschwindigkeit“, welcher durch die nicht angepasste Einstellung eines (ACC-) Tempomaten verursacht sein kann.

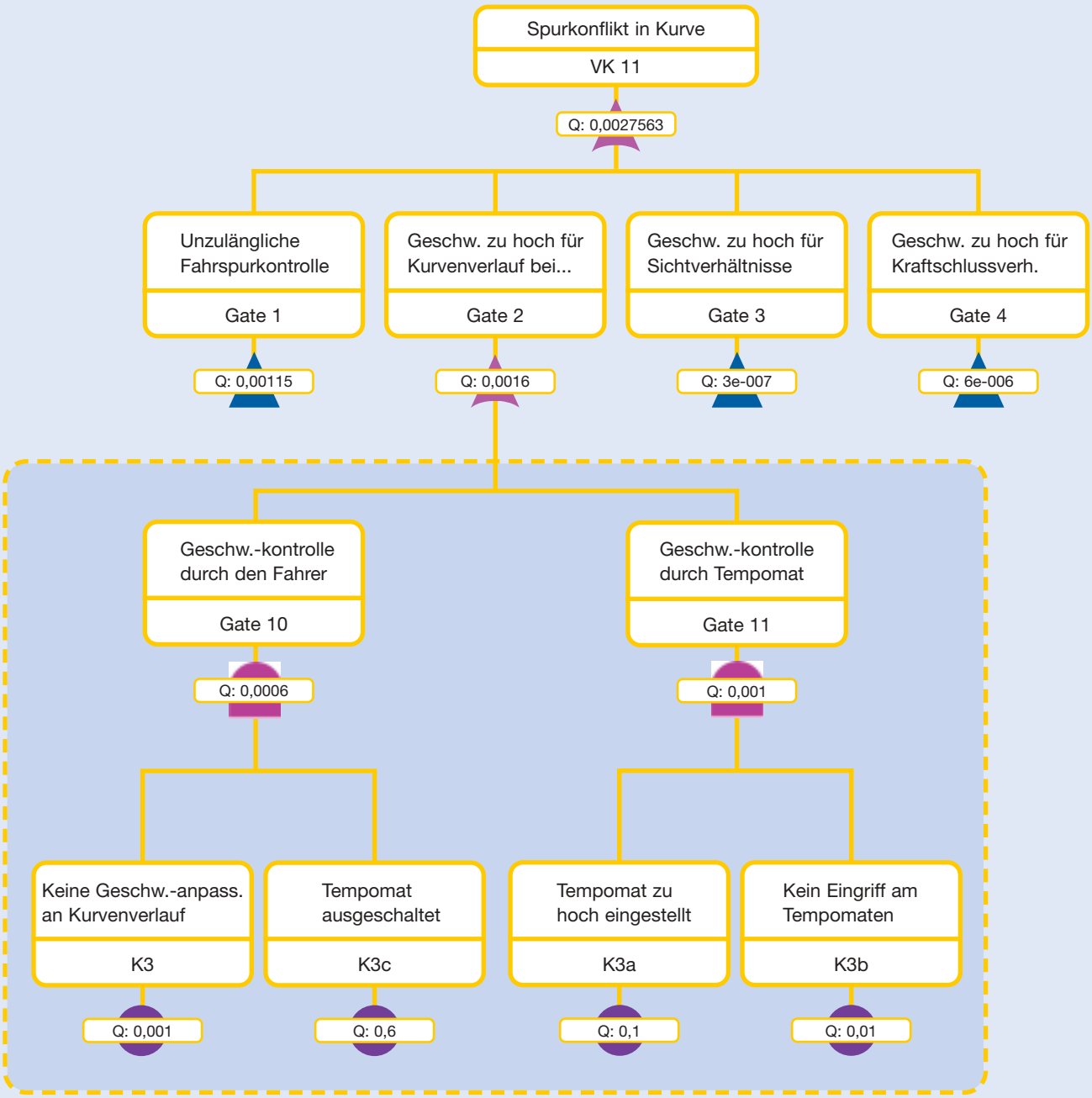
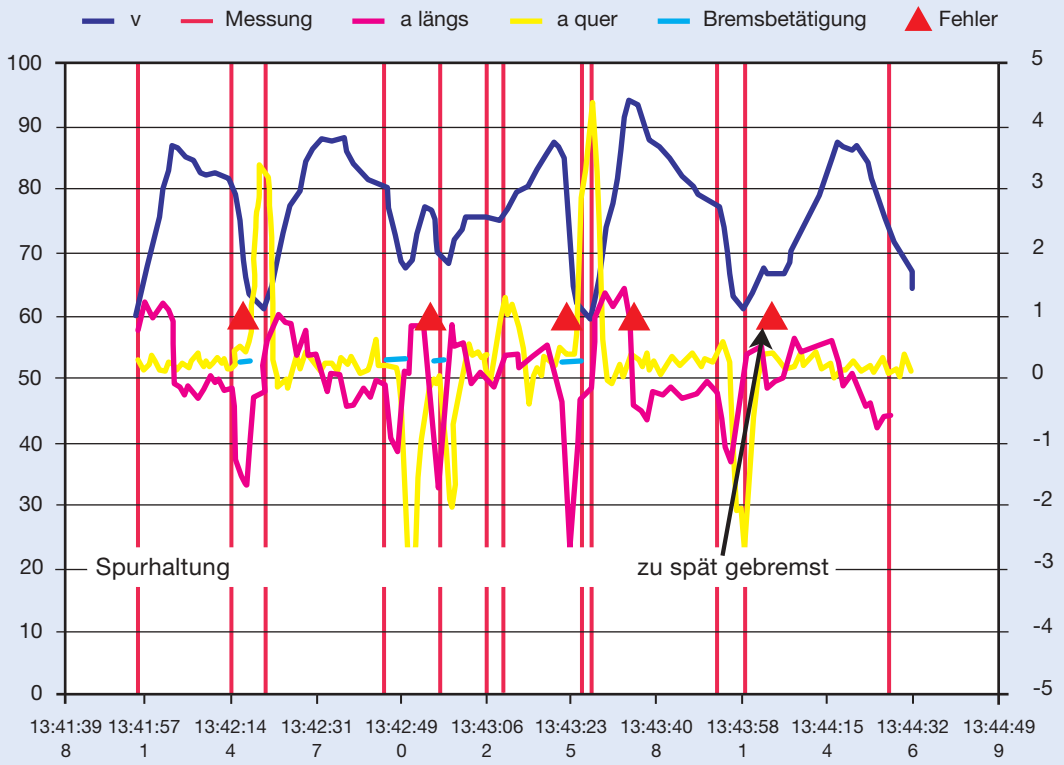


Abb. 8: Beispielhafter Ausschnitt aus einer Beobachtungsfahrt mit Fahrlehrern



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 (siehe Abb. 9). In einem zweiten Fahrversuch mit Fahrerinformationssystemen und Fahrerassistenzsystemen fuhren ebenfalls 60 Probanden in einem ausgerüsteten Testfahrzeug mit ACC System und Blickerfassungskamera (siehe Abb. 10).

Abb. 9: Beispielhafter Ausschnitt aus dem Simulatorversuch

Live-Beobachtung von Versuchsstrecke und Versuchsperson, deren Dateneingabe im FIS sowie der Tachometeranzeige

Abb. 10: Beispielhafter Ausschnitt aus einer Versuchsfahrt im Straßenversuch

Die beiden Versuche wurden ausgewertet und das Bewertungsverfahren anhand der dabei gewonnenen Erkenntnisse überarbeitet und weiterentwickelt.

Die Ergebnisse beider Aufträge (Fraunhofer IVI / TU Dresden und Universität Tübingen/ MTO) wurden von den Projektpartnern in Gestaltungsempfehlungen für verkehrssichere Fahrerinformationssysteme und Fahrerassistenzsysteme überführt. In diese Empfehlungen flossen außerdem die Ergebnisse des Teilprojekts VRA mit ein.

Gestaltungsunterstützung für die 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) mit speziellen Fahrversuchen, Fragelisten zur Mensch-Maschine-Interaktion und Gestaltungsempfehlungen.

Parallel erhielten alle INVENT-Partner Zugang zu einer recherchierbaren und ausbaufähigen Literaturdatenbank, ein Benutzerhandbuch (Anleitung zur Nutzung der Literaturdatenbank) und ein Handbuch zu Fahrerleistungsdaten. Diese Informationsquellen konnten nicht nur in den einzelnen INVENT-Teilprojekten genutzt werden, sondern stehen auch für zukünftige Projekte und anwendungsspezifische Recherchen zur Verfügung.

Ausblick

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. Zum anderen erfordert eine aussagekräftige Langzeitbewertung eine Kontrolle der Lernprozesse sowie der Verhaltensadaption im Mensch-Maschine-System. Die notwendigen Verfahren dazu entstanden jedoch erst im Projekt FVM. Und 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.

Schließlich hat sich in allen Untersuchungen dieses Teilprojekts gezeigt, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers eine herausragende Rolle für nutzergerechte Assistenzsysteme spielt. Aufmerksame Fahrer machen nur sehr wenig gravierende Fahrfehler. Die weitere Untersuchung, Kontrolle und Optimierung der Fahreraufmerksamkeit sollte deshalb ein wesentlicher Gegenstand künftiger Forschungsprojekte zum Thema Fahrerverhalten sein.