

mensch+
fahrzeug

Zukunft der Fahrzeugführung kooperativ oder autonom?

5. Darmstädter Kolloquium
6./7. April 2011
TU Darmstadt

Herausgeber: R. Bruder und H. Winner



Zu diesem Buch

Nachdem die Funktionsbereiche von Fahrerassistenzsystemen bis hin zu komplexen Fahrsituation ausgeweitet werden, und gleichzeitig auch der Interaktionsaufwand für den Fahrer steigt, stellt sich die Frage, wie die Zukunft der Fahrzeugführung aussehen kann oder gar muss.

Zwei durchaus unterschiedliche Wege können in diese Zukunft führen: Zum einen die kooperative Fahrzeugführung, also die Kooperation zwischen Mensch und Maschine mit einem neuen Interaktionskonzept, so dass aber auch neben der Beförderung von A nach B weiterhin Fahrspaß geboten wird. Zum anderen ist aber auch die gänzlich maschinell autonome Fahrzeugführung denkbar, bei der das Fahrzeug sich über eine komplette Fahrt selbsttätig der jeweiligen Situation anpasst und geeignet handelt und somit völlig ohne den Menschen als Fahrer auskommt. Entscheidend mitbestimmt wird die Frage nach dem Weg in die Zukunft der Fahrzeugführung nicht zuletzt durch die Akzeptanz der neuen Fahrzeuge und Systeme durch Fahrerinnen und Fahrer.

In der fünften Veranstaltung des Darmstädter Kolloquiums „Mensch & Fahrzeug“ werden Experten aus Industrie und Wissenschaft sich mit der Zukunft der kooperativen oder autonomen Fahrzeugführung beschäftigen und dabei Beispiele aus unterschiedlichen Bereichen vorstellen. Die Beiträge sind vor allem Ausgangspunkt für ausgiebige Diskussionen, sei es im Plenum, in den Pausen oder bei der Abendveranstaltung. Wir laden Sie herzlich ein, an diesen Diskussionen und natürlich an den anderen Programmpunkten teilzunehmen.

VORWORT

Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldsensorik haben in den vergangenen zwei Dekaden große Fortschritte erfahren. Die Funktionsbereiche werden ständig ausgedehnt und erstrecken sich auf immer komplexere Fahrsituationen. Zukünftige vernetzte Systeme werden in der Lage sein, große Bereiche der Fahrzeugführung abzudecken. Dabei zeichnet sich ab, dass die Frage der Fahrereinbindung bei der Fahrzeugführung eine zentrale Rolle bei der Gestaltung von Funktionen einnimmt. Doch wie wird die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion zukünftig aussehen?

In der Forschung werden dazu zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt:

Zum einen die kooperative Fahrzeugführung, bei der Mensch und Fahrzeug basierend auf einem neuen Bedienkonzept komfortabel, sicher und mit Fahrspaß versehen die Aufgabe, von A nach B zu kommen, gemeinsam lösen. Die kooperativen Ansätze verfolgen das Ziel, den Fahrzeugführungsvorgang durch Assistenzfunktionalitäten in den Bereichen der Routenplanung, Bahnplanung und Stabilisierungsaufgabe einerseits stark zu unterstützen und dabei möglichst viele der lästigen Aufgaben abzunehmen, andererseits aber den Fahrer weiterhin als Entscheidungsinstanz und Rückfallebene in der Verantwortung zu halten.

Zum anderen die gänzlich autonome Fahrzeugführung, bei der das Fahrzeug sich über eine komplette Fahrt selbsttätig der jeweiligen Situation anpasst und geeignet handelt. Dabei wird kein „Fahrer“ im eigentlichen Sinne mehr benötigt, sondern nur die Eingabe eines Fahrtziels verlangt. Als Konsequenz des dadurch gewonnenen Komforts, die nicht mehr für die Fahrzeugführung gebundenen Ressourcen anderweitig einsetzen zu können, steht der Fahrer im Vergleich zu kooperativen Ansätzen nicht mehr als ergänzender Situationsinterpret und als Rückfallebene zur Verfügung. Dies stellt hohe Anforderungen an die Sicherheit und Robustheit des Systems und wirft zusätzlich die Frage auf, wie autonome Systeme mit vertretbarem Testaufwand für den Straßenverkehr freigegeben werden können.

Auf dem Weg zu einsatzfähigen Konzepten zur Darstellung der beiden Ansätze sind sowohl konzeptspezifische als auch allgemeine Fragestellungen zu beantworten. Insbesondere die Akzeptanz der neuen Fahrzeuge bei Fahrerinnen und Fahrern wird dabei eine entscheidende Rolle spielen und ist daher noch im Vorfeld der Produktentwicklung eingehend zu untersuchen.

Die im Titel des 5. Kolloquium Mensch und Fahrzeug übergreifend formulierte Frage nach der „Zukunft der Fahrzeugführung - kooperativ oder autonom?“ ist Ausgangspunkt für die Betrachtung bestehender Herausforderungen und Lösungsansätze. Wie in vergangenen Kolloquien der Mensch&Fahrzeug-Reihe wird auf die zentrale Frage fokussiert und diese von Experten unterschiedlicher Disziplinen und Institutionen von verschiedenen Seiten beleuchtet.

Der einführende Beitrag von Prof. Dr. R. Bruder (Co-Autoren: B. Franz, M. Kauer, M. Schreiber) befasst sich mit dem Begriff der Kooperation und stellt Ergebnisse einer Simulatorstudie zu einem Bedienkonzept für ein kooperatives System im Rahmen des Projektes Conduct-by-Wire vor.

Dr. M. Fach (Co-Autoren: F. Baumann, J. Breuer, A. May, S. Mücke) stellt die Absicherung der Beherrschbarkeit eines mit Assistenzfunktionen ausgestatteten Fahrzeugs dar. Dabei sind sowohl Anforderungen aus der Norm ISO 26262 als auch Fragestellungen der Kundenakzeptanz von Bedeutung. Es werden Methoden und Verfahren beschrieben, die diese Problematik adressieren.

Mit steigendem Automatisierungsgrad verschlechtert sich die Fähigkeit des Fahrers, manuelle Eingriffe zu bewältigen. Prof. Dr. M. Vollrath stellt Studien vor, die dies untersuchen und erläutert Möglichkeiten, der Problematik entgegenzuwirken.

Dr. P. Rieth stellt Möglichkeiten dar, die durch den Eingriff vernetzter und hochentwickelter Fahrerassistenzsysteme veränderte Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug auf allen drei Ebenen der Fahrzeugführung verträglich zu gestalten. Er skizziert, wie eine vom Fahrer akzeptierte, als intuitiv und plausibel empfundene Schnittstelle aussehen könnte.

Eine Betrachtung der benötigten Bedienschemata aus Sicht der Technikphilosophie beschreibt Prof. Dr. C. Hubig in seinem Beitrag. Dazu werden Strategien zur Ausbildung einer Parallelkommunikation im Mensch-Maschine-System erläutert und ihre Konsequenzen für die Gestaltung der Assistenzsysteme dargestellt.

Auf dem Weg zum automatisierten Fahren sind Fragen der Freigabestrategien für die Fahrzeuge der Zukunft zu beantworten. Prof. Dr. H. Winner (Co-Autor: A. Weitzel) legt die zentralen Probleme bei der Freigabe autonomer Fahrzeuge dar und skizziert mögliche Lösungsansätze.

Am Beispiel des Projektes H-Mode behandelt der Beitrag von Prof. Dr. K. Bengler (Co-Autor: F. Flemisch) Ergonomische Fragestellungen bei der Gestaltung der Bedienschnittstelle von Systemen der kooperativen Fahrzeugführung.

T. Ruchatz (Co-Autoren: A. Bartels, S. Brosig, J. Effertz) beschäftigt sich mit den Anforderungen an die Entwicklung zukünftiger Fahrerassistenzsysteme vor dem Hintergrund, dass für die erfolgreiche Bewältigung von Fahrsituationen mehr als die Übernahme von Mess- und Regelungsaufgaben notwendig ist. Dazu wird eine Form von Intelligenz im Fahrzeug benötigt.

Der abschließende Beitrag von Prof. Dr. M. Maurer (Co-Autor: B. Lichte) befasst sich näher mit dem autonomen Fahren. Sowohl das Nutzenpotential als auch Anforderungen an solche Systeme werden beleuchtet. Dies führt zu der Frage, wer in Zukunft das Fahrzeug steuern wird.

Diese vielseitigen, hochinteressanten Beiträgen zur Fragestellung der „Zukunft der Fahrzeugführung - kooperativ oder autonom?“, sind eine Anregung zur Diskussion im Kolloquium und dokumentieren die dynamische Entwicklung dieses hochaktuellen Themas. Die Herausgeber bedanken sich bei den Autoren ausdrücklich für ihre Beiträge zum Tagungsband und den Vorträgen.

Dieses Kolloquium könnte nicht stattfinden ohne die Unterstützung der Mitarbeiter der beiden Fachgebiete Fahrzeugtechnik und Arbeitswissenschaft. Ein besonderer Dank geht an das Organisationsteam bestehend aus Herrn Dipl.-Ing. Benedikt Lattke und Herrn Dipl.-Ing. Alexander Weitzel auf Seiten der Fahrzeugtechnik sowie Frau Dr.-Ing. Bettina Abendroth und Herrn Dipl.-Ing. Lars Woyna auf Seiten der Arbeitswissenschaft.

Darmstadt, im April 2011

Prof. Dr. rer. nat. H. Winner

Prof. Dr.-Ing. R. Bruder

INHALTSVERZEICHNIS

FAHRERVERHALTEN BEI EINER KOOPERATIVEN FAHRER-FAHRZEUG INTERAKTION.....1 <i>Ralph Bruder, Benjamin Franz, Michaela Kauer, Michael Schreiber</i>	
BEHERRSCHBARKEITSUNTERSUCHUNGEN BEI DER ABSICHERUNG VON FAHRERASSISTENZSYSTEMEN13 <i>Markus Fach, Frank Baumann, Jörg Breuer, Alexander May, Stephan Mücke</i>	
„WAS MACHE ICH NUR MIT MEINEM FAHRER?“ – PROBLEME UND MÖGLICHKEITEN KOOPERATIVER SYSTEME23 <i>Mark Vollrath</i>	
ANSÄTZE FÜR EINE VERTRÄGLICHE INTERAKTION ZWISCHEN FAHRER UND SEINEM ELEKTRONISCHEN ASSISTENTEN35 <i>Peter E. Rieth</i>	
TECHNISCHE HANDLUNGSSCHEMATA IN DER MENSCH-FAHRZEUG- INTERAKTION UND DAS ERFORDERNIS EINER PARALLELKOMMUNIKATION39 <i>Christoph Hubig</i>	
DIE FREIGABEFÄLLE DES AUTONOMEN FAHRENS47 <i>Hermann Winner, Alexander Weitzel</i>	
WER STEUERT DAS FAHRZEUG DER ZUKUNFT?57 <i>Markus Maurer, Bernd Lichte</i>	
VON H-MODE ZUR KOOPERATIVEN FAHRZEUGFÜHRUNG – GRUNDLEGENDE ERGONOMISCHE FRAGESTELLUNGEN69 <i>Klaus Bengler, Frank Flemisch</i>	
DIE ZUKUNFT DER FAHRERASSISTENZ.....77 <i>Thomas Ruchatz, Arne Bartels, Stefan Brosig, Jan Effertz</i>	

FAHRERVERHALTEN BEI EINER KOOPERATIVEN FAHRER-FAHRZEUG-INTERAKTION

Ralph Bruder, Benjamin Franz, Michaela Kauer, Michael Schreiber

ZUSAMMENFASSUNG

Das moderne Kraftfahrzeug ist mit einer Vielzahl an Fahrerassistenzsystemen ausgestattet, die den Fahrer in den verschiedenen Stufen der Informationsverarbeitung sowie auf allen Ebenen der Fahrzeugführung unterstützen. Obwohl der Fahrer durch die Systeme im jeweiligen Nutzungsumfang des Fahrerassistenzsystems entlastet wird, entstehen durch die parallele Bedienung und Überwachung der Einzelsysteme neue Belastungen, die die Fahrleistung beeinträchtigen können. Ein möglicher Lösungsansatz der Problemstellung ist die Integration aller Einzelsysteme in eine neuartige Fahrer-Fahrzeug-Interaktion. Im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts „Conduct-by-Wire“ wird daher ein Fahrzeugführungsmodell für hochautomatisierte Fahrzeuge entwickelt, bei dem Fahrer und Fahrzeug die Fahraufgabe kooperativ bewältigen. In diesem Beitrag wird der Kooperationsbegriff mit seiner Bedeutung in den verschiedenen Bereichen von Gesellschaft und Technik beleuchtet und für den Bereich der kooperativen Fahrzeugführung definiert. Zusätzlich werden Ergebnisse aus Fahrstudien am Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt vorgestellt, bei der eine erste Umsetzung der manöverbasierten kooperativen Fahrzeugführung untersucht wurde. Es zeigt sich, dass die Probanden die Aufgabenteilung zwischen System und Fahrzeug eher zugunsten des Fahrzeugs wahrnehmen, die Zusammenarbeit mit dem Fahrzeug aber dennoch als kooperativ bewerten. Bei den objektiven Interaktionsdaten zeigt sich eine deutliche Abnahme an ausgeführten Fahrmanövern im Vergleich zur manuellen Fahrzeugführung. Dennoch bleibt die Interaktionshäufigkeit zwischen Fahrer und Fahrzeug auf hohem Niveau bestehen.

1 EINLEITUNG

In den letzten Jahrzehnten wurden Kraftfahrzeuge zunehmend mit Fahrerassistenzsystemen ausgestattet, die den Komfort und die Sicherheit erhöhen und den Fahrer durch die Übernahme von Teilaufgaben entlasten sollen. Neben der erwünschten Entlastung des Fahrers kommt es durch Fahrerassistenzsysteme aber auch zu neuen Belastungen da die zusätzlichen Systeme bedient und überwacht werden müssen (Landau 2002). Mit zunehmendem Bedienaufwand und dem damit verbundenen Anstieg der Bedienzeit verschlechtern sich die Aufmerksamkeit bezüglich äußerer Reize sowie die eigentlichen Fahrleistungen (Lissy et al. 2000). Als Lösung des Problems bietet sich die Integration aller Einzelsysteme in ein umfassendes Anzeige- und Bedienkonzept (Bergmeier 2008) oder der weiterführende Ansatz eines neuartigen Fahrzeugführungskonzepts an (vgl. Winner et al. 2006 und Flemisch et al. 2003).

Gegenwärtige Fahrerassistenzsysteme unterstützen den Fahrer, nach dem Dreiebenenmodell der Fahrzeugführung (Donges 1982, vgl. Bild 1), bei der Navigation (z.B. Navigationssystem), der Bahnführung (z.B. Adaptive Cruise Control [ACC]) sowie der Fahrzeugstabilisierung (z.B. Elektronisches Stabilitätsprogramm [ESP]). Auch der menschliche Informationsverarbeitungsprozess (Wickens et al. 2000)

2 FAHRERVERHALTEN BEI EINER KOOPERATIVEN FAHRER-FAHRZEUG-INTERAKTION
 wird durch heutige Fahrerassistenzsysteme umfassend unterstützt (Schreiber et al. 2009, vgl. Bild 2).

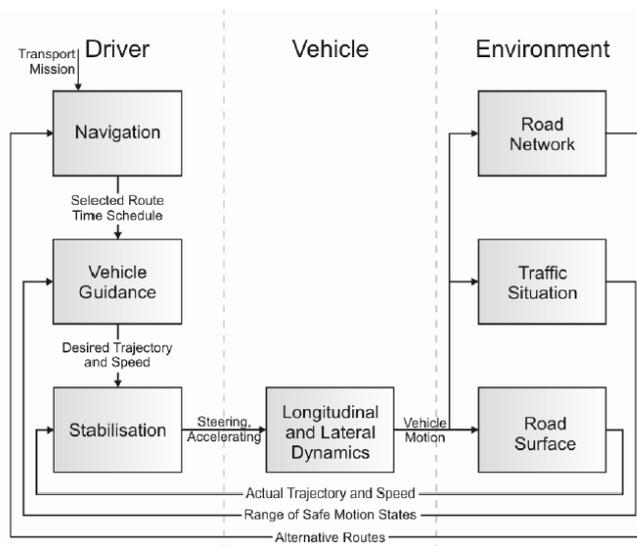


Bild 1: Drei Ebenenmodell der Fahrzeugführung nach Donges (1982). Darstellung aus Winner et al. (2006).

Die Betrachtung verdeutlicht, dass sich der Umfang der Fahrerassistenzfunktionen im modernen Kraftfahrzeug immer mehr zu einer lückenlosen Unterstützungskette entwickelt, die den Fahrer in allen Teilaufgaben und -prozessen unterstützen sowie partiell ersetzen kann. Durch die Vielzahl an Systemen kann zukünftig das Fahrzeug dem Fahrer als Partner zur Verfügung stehen, der ähnliche Fähigkeiten wie der Fahrer aufweist und mit dem die Fahraufgabe kooperativ erfüllt werden kann. Das Konzept der kooperativen Fahrzeugführung (Hakuli et al. 2009) ist Gegenstand derzeitiger Forschungsvorhaben wie beispielsweise dem H-Mode (Flemisch et al. 2003) sowie dem an der Technischen Universität Darmstadt verfolgtem Conduct-by-Wire-Konzept (Winner et al. 2005).

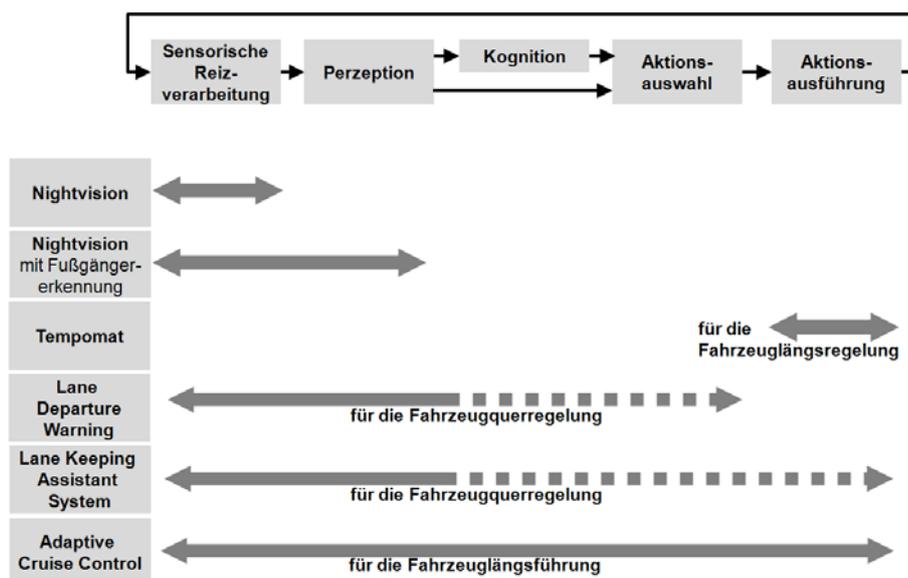


Bild 2: Informationsverarbeitungsprozess nach Wickens (2000) ergänzt um die Unterstützungsbereiche gegenwärtiger Fahrerassistenzsysteme. Darstellung in Anlehnung an Schreiber et al. (2009).

In dem vorliegenden Beitrag soll der Kooperationsbegriff mit seiner Bedeutung in den verschiedenen Bereichen der Gesellschaft und Technik beleuchtet und für den Bereich der kooperativen Fahrzeugführung definiert werden. Anschließend wird die Umsetzung des Conduct-by-Wire-Konzepts am Fahrsimulator des Instituts für Arbeitswissenschaft beschrieben und Ergebnisse aus Studien zum manöverbasierten kooperativen Fahrzeugführung vorgestellt.

2 KOOPERATION

Für den Begriff der „Kooperation“ hat in der Fachliteratur keine allgemeingültige fachübergreifende Definition Geltung und auch innerhalb einer Fachrichtung findet sich meist kein einheitliches Kooperationsverständnis. Dies ist durch die Divergenz des Bedeutungsinhalts einzelner Kooperationsaspekte für die jeweilige Fachrichtung zu begründen (Etter 2003). In diesem Kapitel soll der Kooperationsbegriff nun aus der Sicht verschiedener Fachrichtungen beleuchtet und anschließend im Kontext der kooperativen Fahrzeugführung definiert werden.

2.1 Der Kooperationsbegriff

Der Begriff Kooperation leitet sich aus dem lateinischen Wort „cooperatio“ [Zusammenwirken, Mitwirken] ab und beschreibt die Zusammenarbeit verschiedener (Wirtschafts-)Partner von denen jeder einen bestimmten Aufgabenbereich übernimmt (Duden 1991).

In der Betriebswirtschaftslehre wird unter Kooperation meist eine koordinierte Zusammenarbeit zwischen mindestens zwei Partnern (Unternehmen und/oder Individuen) verstanden, die zur besseren Erreichung von angestrebten Unternehmenszielen durchgeführt wird (u.a. Bott 1967 und Gerth 1971). Ergänzend wird häufig die Freiwilligkeit der Zusammenarbeit (u.a. Knoblich 1969, Staud et al. 1992 und Sell 1994) sowie die wirtschaftliche und rechtliche Unabhängigkeit der Partner (u.a. Knoblich 1969 und Nieschlag et al. 1997) in der Begriffsdefinition angeführt. Nach Etter (2003) wird die wirtschaftliche Unabhängigkeit allerdings zugunsten des koordinierten Handelns zumindest partiell aufgegeben.

In dem klassisch-psychoanalytischen Ansatz von Deutsch (1949) wird Kooperation als eine soziale Beziehung zwischen den Zielen der Akteure in einer bestimmten Situation beschrieben. Unterschieden werden hierbei kooperative und wettbewerbsorientierte Situationen in denen die einzelnen Ziele zueinander in positivem bzw. negativem Zusammenhang stehen.

Aus sozialpsychologischer Sicht wird Kooperation als die Tendenz verstanden, das Ergebnis einer Interaktion für sich selbst und andere zu maximieren (Kazdin 2000). Ein kooperatives Verhalten entwickelt sich demnach dann, wenn das Erreichen eines Zieles durch ein Individuum die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass andere ebenfalls ein Ziel erreichen (vgl. Feger 1972).

In der Telerobotik beschreibt Sheridan (1992) die kooperative Kontrolle zwischen Mensch und Maschine als einen Prozess, bei dem ein Teilnehmer (Mensch oder Maschine) eine spezifische Aktion oder einen spezifischen Prozess auslöst und der andere Teilnehmer diesen korrigiert oder verfeinert.

Die Kooperation zwischen Mensch und Fahrzeug wird von Biester (2008) definiert als ein kontinuierlicher Austauschprozess zwischen Fahrer und Fahrzeug, der eine

gemeinsame Wissensbasis und gemeinsame Ziele erzeugt sowie die Übertragbarkeit der Erfahrungen sicherstellt.

Zusammenfassend ergibt sich, dass der Kooperationsbegriff zwar oft untersucht und formuliert wurde, die Definitionen aber für die Beschreibung der Beziehung zwischen Mensch und Fahrzeug bei der kooperativen Fahrzeugführung nicht ausreichen. So ist zum Beispiel die Freiwilligkeit bei der Kooperation zwischen Mensch und Maschine nur bedingt gegeben und auch die Unabhängigkeit der Partner findet hier keine Anwendung. Für die kooperative Fahrzeugführung wird daher folgende Definition festgelegt:

Die Kooperation im Kontext einer kooperativen Fahrzeugführung ist eine freiwillig vom Fahrer eingegangene, durch ein gegenseitiges Informations-, Vorschlags- und Annahmewesen charakterisierte Beziehung zwischen Mensch und Fahrzeug, mit dem gemeinsamen Ziel, die Erreichung der Fahrerziele effektiver zu gestalten, als dies bei der alleinigen Aufgabenerfüllung durch einen der beiden Kooperationspartner möglich wäre.

Das erste zentrale Element der kooperativen Fahrzeugführung ist das gegenseitige Informations-, Vorschlags- und Annahmewesen. Während der Fahrer das Fahrzeug beispielsweise aktiv über seine Kooperationsbereitschaft (durch Systemaktivierung) oder passiv über eine Fahrerzustandserkennung informiert, bekommt er über Bedienelemente und/oder Anzeigen Rückmeldung über den momentanen Fahrzeugzustand. Der vom Fahrer verbal oder über ein Bedienelement in diskreter oder kontinuierlicher Form geäußerte Handlungswunsch wird vom Fahrzeug auf Ausführbarkeit überprüft. Ist ein Manöver aufgrund der Umgebungsbedingungen nicht ausführbar (z.B. Wechsel auf einen Straßenabschnitt mit Fremdverkehr) erfolgt vom Fahrzeug ein Gegenvorschlag der vom Fahrer akzeptiert, verworfen oder durch einen eigenen Vorschlag abgeändert werden kann. Die kooperativ verhandelte Fahrzeugtrajektorie wird anschließend vom Fahrer oder dem Fahrzeug bzw. in einer beliebigen Kombination durchfahren.

Das zweite zentrale Element der kooperativen Fahrzeugführung ist die als Grundvoraussetzung zu verstehende effektivere Erfüllung der Fahrerziele durch die Kooperation zwischen Fahrer und Fahrzeug. Kann einer der beiden Kooperationspartner die Fahrerziele eigenständig besser erreichen als kooperativ, so ist, aktuelle rechtliche Randbedingungen vernachlässigt, die Kooperation nicht zweckmäßig. Besonders wichtig ist es daher, die einzelnen Teile der Fahraufgabe den gegebenen technischen und menschlichen Ressourcen sinnvoll zuzuordnen. Erste Anhaltspunkte einer Funktionsallokation können beispielsweise MABA-MABA (men are better at – machines are better at) Listen liefern (Schlick, Bruder & Luczak, 2010).

Ein kooperatives Verhalten zwischen mehreren Fahrzeugen wird im Rahmen dieses Beitrags nicht behandelt, da in der vorgestellten Definition der Fokus auf der Kooperation von Mensch und Maschine liegt.

2.2 Fahrer-Fahrzeug Kooperation am Beispiel von Conduct-by-Wire

Das am IAD-Fahrsimulator implementierte Konzept sieht vor, dass der Fahrer das Fahrzeug wahlweise herkömmlich über ein Lenkrad und Pedale steuert, oder alternativ, mit aktiviertem Conduct-by-Wire-System, über ein haptisches Touchdisp-

lay. Die kooperative Bewältigung der Fahraufgabe durch das Conduct-by-Wire-System und dem Fahrer kann jederzeit durch einen gezielten Eingriff am Lenkrad oder dem Bremspedal beendet werden.

Über das haptische Touchdisplay, die sogenannte Manöverschnittstelle, übergibt der Fahrer dem Fahrzeug explizite (abgeschlossene Handlungseinheiten, z.B. Fahrstreifenwechsel rechts) und implizite (potentiell endlose Handlungsabschnitte, z.B. dem Straßenverlauf folgen) Fahrmanöver (Schreiber et al. 2010), die anschließend vom Conduct-by-Wire-System auf Ausführbarkeit geprüft werden. Ist ein Manöver aufgrund der Umgebungsbedingung bzw. der Verkehrssituation (z.B. Fremdverkehr auf dem Zielfahrstreifen) nicht ausführbar, erfolgt eine Rückmeldung an den Fahrer und gegebenenfalls ein Gegenvorschlag. Diesen kann der Fahrer durch Betätigen der entsprechenden Schaltfläche auf der Manöverschnittstelle zustimmen, oder durch Wahl eines anderen Manövers einen neuen Manöverwunsch äußern. Zusätzlich werden über die Manöverschnittstelle die Fahrparameter (die Fahrzeuggeschwindigkeit, die laterale Exzentrizität auf dem Fahrstreifen und die Zeitlücke zu einem vorausfahrenden Fahrzeug) angezeigt und bei Bedarf verändert.

Neben den kontinuierlich auf der Manöverschnittstelle angezeigten Informationen bezüglich des aktuellen Fahrmanövers und der eingestellten Fahrparameter, erhält der Fahrer zusätzlich im primären Sichtfeld eine optische Rückmeldung. Je nach Detaillierungsgrad der Mensch-Maschine-Schnittstelle kann die Darstellung der Informationen in einem statischen (die Informationen werden immer am gleichen Ort angezeigt) oder einem kontaktanalogen (die Darstellung der Informationen erfolgt im Sinne eine „Augmented Reality“ ortskorrekt; vgl. Schneid 2009) Head-up-Display erfolgen. Während die statische Variante Informationen zu dem aktuell gefahrenen Manöver sowie dem Parameter „Fahrzeuggeschwindigkeit“ anzeigt, erhält der Fahrer mit der kontaktanalogen Anzeige zusätzlich u.a. Rückmeldung über die aktuelle und zukünftige Fahrzeugtrajektorie. Weitergehende Informationen bezüglich den angezeigten Inhalten des kontaktanalogen Head-up-Displays finden sich in Franz et al. (i.V.).

3 METHODE

Die Daten zur Überprüfung der Kooperation zwischen dem Fahrer und Conduct-by-Wire stammen aus zwei getrennten Fahrsimulatorstudien die am Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt durchgeführt wurden. Beide Studien verwendeten den gleichen Satz an Fahrstrecken, verfolgten jedoch unterschiedliche Ziele bei ihrer Durchführung. Die erste Studie diente der Überprüfung der generellen Machbarkeit einer manöverbasierten Fahrzeugführung (vgl. Schreiber i.V.), wohingegen die zweite Studie das Ziel hatte, die ideale Informationsdarstellung für den Fahrer durch unterschiedliche Head-up-Displays zu ermitteln (vgl. Franz et al. i.V.).

An der ersten Studie nahmen insgesamt 44 Personen teil (25% weiblich, Durchschnittsalter = 28,7 Jahre, SD = 10,4). Drei Personen konnten die Strecke aufgrund von Übelkeit nicht zu Ende fahren und sind deswegen nur teilweise in der Auswertung enthalten. Jeder Proband bekam eine Einführung in das Conduct-by-Wire-Konzept und fuhr anschließend eine 60 km lange Strecke, um sich mit der manöverbasierten Interaktion vertraut zu machen. Nach der Einführungsstrecke wurde ein weiteres 60 km langes Stück zuerst im Conduct-by-Wire-Modus und anschließend im manuellen Modus durchfahren, wobei die Probanden nicht über

die Dopplung der Versuchsstrecke aufgeklärt wurden. Eine Permutation der Versuchsreihenfolge war auf Grund von technischen Gegebenheiten nicht möglich. Die verwendeten Strecken waren bezüglich der Kurvenführung Nachbauten der Autobahn A3 zwischen Darmstadt und Würzburg und beinhalteten Abschnitte mit zwei, drei und vier Fahrstreifen. Die Aufgabe der Probanden bestand in der Durchführung der Versuchsstrecke analog zu ihren normalen Fahrgewohnheiten. Es wurden keine Instruktionen hinsichtlich Dringlichkeit der Fahrmission gegeben.

Beim zweiten Versuch wurden dieselben Fahrstrecken verwendet wie in Versuch eins. Es nahmen insgesamt 29 Personen an dem Versuch teil (52% weiblich, Durchschnittsalter = 23,03 Jahre, SD = 2,94). Der erste Streckenabschnitt diente hier der Eingewöhnung in den Fahrsimulator und in das Fahren mit Conduct-by-Wire, wobei die Probanden selbstständig zwischen manueller und manöverbasierter Fahrt wechseln konnten. Dieser Streckenabschnitt war im Rahmen dieses Versuches auf 15km begrenzt. Sobald die Probanden sich an den Fahrsimulator gewöhnt hatten, wurde mit dem zweiten Streckenabschnitt begonnen, der der Datenerhebung diente. Jeder Proband durchfuhr die zweite 60 km lange Teilstrecke zweimal komplett, wobei ein Durchlauf mit der kontaktanalogen Head-up-Display-Darstellung durchfahren wurde und ein Durchlauf mit der statischen Head-up-Display-Darstellung. Die Reihenfolge der Darbietung wurde permutiert.

In beiden Versuchen wurden die Probanden gebeten Fragebogen zu demographischen Daten, zur Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen, der Akzeptanz des Systems, der Gebrauchstauglichkeit und der subjektiv empfundenen Kooperation zu beantworten. Zusätzlich wurden Daten aus der Blickbewegungsanalyse, der Fahrsimulation sowie aus den objektiven Daten zur Fahrer-Fahrzeug-Interaktion erfasst. Die Auswertung der Daten beschränkt sich für diesen Artikel auf die subjektiven Daten zu der Kooperation sowie auf einige Interaktionsdaten, die als Hinweis auf die Kooperation herangezogen werden können. Zu näheren Informationen bezüglich der anderen Bereiche siehe Schreiber (i.V.) und Kauer et al. (i.V.). Insgesamt dauerte die erste Studie pro Proband ca. drei Stunden und die zweite Studie pro Proband ca. 1,5 Stunden.

Für die Bewertung der Versuchsergebnisse sind zwei Fragen entscheidend: 1) Haben die Teilnehmer die Fahrzeugführung als kooperativ wahrgenommen? und 2) Wie verhält sich ein Fahrer während einer kooperativen Fahrzeugführung? – in diesem Fall bei der Benutzung von Conduct-by-Wire. Im Folgenden wird daher erst beschrieben, wie die Kooperation erfasst wurde und anschließend, welche Messgrößen für das Fahrerverhalten herangezogen wurden.

Erfassung der Kooperation:

Da mit der Erfassung der Kooperation zu Beginn des Versuchs noch keine Erfahrungen vorlagen, wurden mehrere Ansätze verwendet. In einem ersten Schritt wurden 5 Items zur Kooperation im Rahmen eines Fragebogens zur Systemakzeptanz verwendet. Die Items waren als Aussagen formuliert und anhand einer 7-stufigen Likert-Skala von 1 (= stimme vollkommen zu) bis 7 (= stimme gar nicht zu) gemessen. Die resultierende Skala „Kooperation“ hat ein Cronbach's Alpha von ,685. Cronbach's Alpha gibt an, wie einheitlich die Antworten auf verschiedene Items einer Gruppe ausfallen und kann zwischen 0 und 1 liegen, wobei ein Wert von 1 das Optimum darstellt. Bei Ausschluss des Items „Ich sehe das System nicht als gleichwertigen Partner in der Interaktion“ steigt das Alpha auf ,697. Tabelle 1 zeigt alle Items der Skala mit den zugehörigen Mittelwerten und Stan-

dardabweichungen. Zusätzlich ist der Cronbach's Alpha Wert für den Fall des Ausschluss dieses Items angegeben.

Die subjektiv empfundene Aufgabenteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug bei der manöverbasierten Fahrzeugführung wurde anhand einer visuellen Analogskala erfasst. Die Skala hatte die Pole „Erfüllung der Fahraufgabe lag ganz bei mir, dem Fahrer“ und „Erfüllung der Fahraufgabe lag ganz beim Fahrzeug“. Zwei weitere Items (5-stufige Likert-Skala von 1 = stimme vollkommen zu bis 5 = stimme gar nicht zu) sollten die wahrgenommene Kooperation („Ich hatte das Gefühl eine Kooperation mit dem Fahrzeug eingegangen zu sein, so dass die Fahraufgabe gemeinsam (mit dem Fahrzeug) erledigt wurde“) und die wahrgenommene Kontrolle („Ich hatte während der Versuche das Gefühl, die Kontrolle über das Fahrzeug vollkommen aus der Hand zu geben“) an anderer Stelle des Versuchs erfassen.

Tabelle 1: Items Skala „Kooperation“, zu beantworten auf einer 7-stufigen Likert-Skala von 1 = „stimme vollkommen zu“ bis 7 = „stimme gar nicht zu“

Item	MW	SD	Alpha ohne Item
Es war immer klar, ob das System oder ich eine Entscheidung treffen mussten.	3,75	1,91	,614
Ich fühle mich durch das System bevormundet.	4,80	1,67	,599
Das System und ich haben nicht gut zusammengearbeitet.	5,45	1,73	,631
Ich sehe das System nicht als gleichwertigen Partner in der Interaktion.	3,45	1,68	,697
Die Aufgabenteilung zwischen dem System und mir ist partnerschaftlich.	4,41	1,69	,623

Erfassung des Fahrerverhaltens bei der kooperativen Fahrzeugführung:

Für die Untersuchung des Fahrerverhaltens wurden objektive Messgrößen herangezogen. Hierzu zählt unter anderem die Anzahl der beauftragten Manöver und Parameter durch den Fahrer. Des Weiteren kann untersucht werden, ob sich die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit von der manuellen Fahrt unterscheidet. Für weitere Aussagen (z.B. Fahrerverhalten in Risikosituationen) wird auf die Arbeit von Schreiber (i.V.) verwiesen.

4 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse teilen sich in drei Unterabschnitte: zuerst wird untersucht, ob die Daten aus beiden Versuchen homogen sind und gemeinsam ausgewertet werden dürfen. Danach werden die subjektiven Daten zur Kooperation betrachtet und anschließend untersucht, wie sich der Fahrer bei kooperativer Fahrzeugführung verhält.

4.1 Homogenität der subjektiven Versuchsdaten

In einem ersten Schritt wurden die Daten aus den zwei Versuchen hinsichtlich ihrer Homogenität untersucht. Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit der unabhängigen Variable „Versuch“ gegliedert in die vier Stufen „Studie eins“, „Studie zwei ohne Head-up-Display“, „Studie zwei mit statischem Head-up-Display“ und „Studie zwei mit kontaktanalogem Head-up-Display“ zeigt für die Analogskala zur Aufgabenteilung keine Unterschiede zwischen den einzelnen Stufen ($F = 2,19$; $df = 3$; $p > ,05$). Auch für das Item zur Erfassung der Kontrolle („Ich hatte während der Versuche das Gefühl, die Kontrolle über das Fahrzeug vollkommen aus der Hand zu geben“) zeigt eine ANOVA keine Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsgruppen ($F = 1,358$; $df = 3$; $p > ,05$) (vgl. Schreiber i.V.). Betrachtet man das Item zur Erfassung der Kooperation („Ich hatte das Gefühl eine Kooperation mit dem Fahrzeug eingegangen zu sein, so dass die Fahraufgabe gemeinsam (mit dem Fahrzeug) erledigt wurde“), so zeigt sich, dass die Antworten zwischen den verschiedenen Stufen höchstsignifikant variieren ($F = 7,114$; $df = 3$; $p < ,001$). Post-Hoc-Vergleiche zeigen Unterschiede zwischen den Stufen „Studie eins“ und „Studie zwei ohne Head-up-Display“ ($I-J = -,726$; $p = ,025$) und „Studie eins“ und „Studie zwei mit statischem Head-up-Display“ ($I-J = -1,106$; $p < ,001$). Zwischen den übrigen Stufen zeigen sich keine Unterschiede. Das Item „Kooperation“ wird dem entsprechend für die Stufen „Studie eins“ und „Studie zwei mit kontaktanalogem Head-up-Display“ sowie für die Stufen „Studie zwei ohne Head-up-Display“ und „Studie zwei mit statischem Head-up-Display“ getrennt betrachtet.

4.2 Betrachtung der subjektiv empfundenen Kooperation

Über alle Versuchsgruppen hinweg liegt der Mittelwert des Items „Kontrolle“ bei 2,76 ($SD = 1,05$). Dies spricht für ein mittleres Maß an empfundener Kontrolle, wobei ein T-Test bei einer Stichprobe gegen den Skalenmittelwert 3 einen hochsignifikanten Unterschied zur Skalenmitte anzeigt ($T = -2,655$, $df = 130$; $p = ,009$). Es muss also davon ausgegangen werden, dass die Teilnehmer die Kontrolle tendenziell eher beim Fahrzeug als bei sich gesehen haben. Dies wird durch die visuelle Analogskala zur Erfassung der Aufgabenteilung zwischen Mensch und Fahrzeug bestätigt. Hier liegt der Mittelwert über alle Skalen bei ca. 65%, was einer Verschiebung der Aufgabenteilung in Richtung Fahrzeug entspricht (0 = alle Aufgaben beim Fahrer, 100 = alle Aufgaben beim Fahrzeug). Der Unterschied zur Skalenmitte wird bei einem T-Test für eine Stichprobe höchstsignifikant ($T = -512,451$; $df = 130$; $p < ,001$).

Das Item für „Kooperation“ aus der Gruppe „Studie eins“ und „Studie zwei mit kontaktanalogem Head-up-Display“ hat einen Mittelwert von 2,44 ($SD = 1,03$). Ein T-Test bei einer Stichprobe zeigt einen höchstsignifikanten Unterschied zur Skalenmitte ($T = -4,672$; $df = 72$; $p < ,001$). Dies entspricht einer tendenziellen Zustimmung zur Frage, ob eine Kooperation mit dem Fahrzeug eingegangen wurde. Für die zweite Teilgruppe, bestehend aus „Studie zwei ohne Head-up-Display“ und „Studie zwei mit statischem Head-up-Display“ liegt der Mittelwert des Items „Kooperation“ bei 3,12 ($SD = 1,11$). Ein T-Test bei einer Stichprobe zeigt keinen Unterschied zur Skalenmitte ($T = ,828$; $df = 57$; $p > ,05$). Die Teilnehmer stimmen in den zwei Bedingungen mit statischen und ohne Head-up-Display der Aussage eine Kooperation mit dem Fahrzeug eingegangen zu sein weder zu, noch lehnen sie sie ab.

Die Skala „Kooperation“ aus Studie eins hat einen Mittelwert von 3,69 (SD = 1,15), wobei ein T-Test bei einer Stichprobe keinen signifikanten Unterschied zur Skalenmitte zeigt ($T = -1,776$; $df = 43$; $p > ,05$). Die Teilnehmer aus Studie eins stimmen der Aussage weder zu, noch lehnen sie die Aussage ab eine Kooperation mit dem Fahrzeug eingegangen zu sein.

4.3 Betrachtung des Fahrerverhaltens bei kooperativer Fahrzeugführung

Alle objektiven Daten zum Fahrerverhalten stammen aus Studie eins und sind in Schreiber (i.V.) dargestellt. Da die subjektiven Daten beider Versuche homogen sind, ist auch von einer Homogenität der objektiven Daten auszugehen und eine Verallgemeinerung auf beide Studien kann vorgenommen werden.

Bei der Betrachtung des Fahrerverhaltens ist ein Indikator für die Interaktionsqualität die Häufigkeit der Interaktion mit dem Fahrzeug. Dazu zählen Manöverkommandos und Parameteränderungen. Durchschnittlich wurde über die ganze Fahrstrecke 2361-mal das Manöver Fahrstreifenwechsel beauftragt. Dies entspricht 44,92 Manövern pro Kilometer über alle 41 Probanden oder einer Rate von ca. 1,1 Manöver pro Person und Kilometer. Die Anzahl der tatsächlich ausgeführten Manöver liegt darüber (2636 Fahrstreifenwechsel), da auch im Szenario der manöverbasierten Fahrzeugführung kurze Streckenabschnitte manuell absolviert wurden. Im Vergleich zur konventionellen Fahrzeugführung mit 3068 Fahrstreifenwechseln auf der gleichen Strecke, liegt die Anzahl der gefahrenen Manöver höchstsignifikant niedriger ($T = -5,8065$; $df=40$; $p<0,001$).

Bei den Parametern wurde 1081-mal die Wunschgeschwindigkeit geändert, 28-mal eine Exzentrizität beauftragt und 116 Anpassungen der Zeitlücke vorgenommen. Dies bedeutet, dass über die komplette Versuchsstrecke gesehen jeder Proband durchschnittlich alle 20,73 Sekunden eine Manöver- oder Parameterbeauftragung vorgenommen hat.

Bei der Betrachtung der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit zeigt sich erneut eine höchstsignifikante Differenz zwischen manöverbasierter (30,43 m/s) und manueller Fahrzeugführung (32,32 m/s; $T = -8,8550$; $df=40$; $p<0,001$).

5 DISKUSSION

Tendenziell sehen die Versuchsteilnehmer die Kontrolle stärker auf der Seite des Conduct-by-Wire-Systems und auch die Aufgabenaufteilung wird zugunsten des Fahrzeugs wahrgenommen. Trotzdem wird die Zusammenarbeit zwischen Fahrer und Fahrzeug (gemessen mit dem Item „Kooperation“) als solche durch die Teilnehmer wahrgenommen und auch das Gesamturteil über Conduct-by-Wire fällt eher positiv als negativ aus („Insgesamt würde ich das System akzeptieren“ MW = 2,68, SD = 1,43; „Ich finde das System insgesamt gut“ MW = 2,55, SD = 1,36; 1 = „stimme vollkommen zu“ bis 7 = „stimme gar nicht zu“).

Bezüglich des Fahrerverhaltens zeigt sich sowohl in der Anzahl der beauftragten Manöver als auch in der gefahrenen Geschwindigkeit eine deutliche Veränderung im Vergleich zur manuellen Fahrzeugführung. Die Veränderung der Geschwindigkeit ist auf eine Beschränkung des Conduct-by-Wire-Systems zurückzuführen, die verhindert, dass die zulässige Geschwindigkeit um mehr als 7km/h überschritten wird und selbst diese Überschreitung muss vom Fahrer aktiv durch ein Durchdrücken des Gaspedals erzwungen werden. Die Reduktion der Anzahl an gefahrenen

Manövern jedoch lässt sich technisch nicht erklären. Dies spricht für eine Reduktion der aktiven Interaktion mit der Verkehrsumgebung. Trotzdem zeigen sich durchschnittlich noch ca. drei Interaktionen pro Person und pro Minute, die zudem über die Strecke gleichverteilt vorliegen, was noch immer für eine regelmäßige Auseinandersetzung mit der Verkehrsumgebung spricht. Ob diese Interaktionshäufigkeit ausreicht, um den Fahrer langfristig in die Fahraufgabe involviert zu halten und ob eine Akzeptanz seitens der Nutzer für dieses Interaktionskonzept besteht muss in zukünftigen Versuchen gezeigt werden.

LITERATUR

Bergmeier, U.: Methode zur kontaktanalogen Visualisierung von Fahrerassistenzinformationen unter automotive-tauglichen Gesichtspunkten. München: 2008.

Biester, L.: Cooperative Automation in Automobiles. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin. 2008.

Bott, H.: Zwischenbetriebliche Kooperation und Wettbewerb. Köln: 1967.

Deutsch, M.: A theory of cooperation and competition. In: Human Relations. 1949. 129-151.

Donges, E.: Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. In: Automobilindustrie. 1982. 183-190.

Duden – Die deutsche Rechtschreibung (Band 1, 20te Auflage). Dudenverlag Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: 1991.

Etter, C.: Nachgründungsdynamik neugegründeter Unternehmen in Berlin im interregionalen Vergleich. Dissertation. FU Berlin. 2003.

Feger, H.: Gruppensolidarität und Konflikt. In: Handbuch der Psychologie (Band 7, 2. Halbband). Hrsg.: Graumann, F.. Göttingen: 1972.

Flemisch, F.; Adams, C.; Conway, S.; Goodrich, K.; Palmer, M.; Schutte, C.: The H-Metaphor as a guideline for vehicle automation and interaction. Nasa Langley Research Center. Hampton: 2003.

Franz, B.; Schreiber, M.; Kauer, M.; Geyer, S.; Bruder, R.: Konzeption eines kontaktanalogen Head-Up-Displays für Fahrerassistenzsysteme am Beispiel von Conduct-by-Wire. Frühjahrskonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft 2011 (in Vorbereitung).

Gerth, E.: Zwischenbetriebliche Kooperation. Stuttgart: 1971.

Hakuli, S.; Schreiber, M.; Winner, H.: Entwicklung eines Methodenkatalogs für manöverbasiertes Fahren nach dem Conduct-by-Wire-Prinzip. Darmstadt: 2009.

Kauer, M.; Schreiber, M.; Franz, B.; Hakuli, S.; Geyer, S.; Bruder, R.: Evaluation of a Touchscreen Interface for a maneuverbased advanced driver assistance system. IEEE Intelligent Vehicle Symposium. (in Vorbereitung).

Kazdin, A. (Ed.): Encyclopedia of Psychology (Vol. 2). Oxford University Press. Oxford: 2000.

Knoblich, H.: Zwischenbetriebliche Kooperation, Wesen, Formen und Ziele. In: ZfB, 39. Jg., 8/1969. 497-514.

Landau, K.: The Development of Driver Assistance Systems Following Usability Criteria. In: Interfaces & Devices: Proceedings of the Conference WWDU 2002. Hopkinton: 2002.

Lissy, K.; Cohen, J.; Park, M.; Graham, J.: Cellular Phone Use while Driving: Risks and Benefits. Boston: 2000.

Nieschlag, R.; Dichtl, E.; Hörschgen, H.: Marketing (18. Auflage). Berlin: 1997.

Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft (3. Auflage). Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 2010. 1021ff.

Schreiber, M.; Kauer, M.; Bruder, R.: Conduct by Wire - Maneuver Catalog for Semi-Autonomous Vehicle Guidance. In: Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium. 2009. 1279-1285.

Schreiber, M.; Kauer, M.; Hakuli, S.; Bruder, R.: Conduct-by-Wire: Evaluation von teilautonomer Fahrzeugführung mit Hilfe der Wizard of Oz-Technik. In: Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten, 56. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Darmstadt: 2010. 161-164.

Schreiber, M.: Konzeptionierung und Evaluierung eines Ansatzes zu einer manöverbasierten Fahrzeugführung im Nutzungskontext Autobahnfahrten. Eingereichte Dissertation. Technische Universität Darmstadt. In Vorbereitung.

Sell, A.: Internationale Unternehmenskooperationen. München, Wien: 1994.

Sheridan, T.: Telerobotics, automation, and human supervisory control. MIT Press. Cambridge: 1992.

Schneid, M.: Entwicklung und Erprobung eines kontaktanalogen Head-up-Displays im Fahrzeug. Dissertation. Technische Universität München: 2009.

Staudt, E.; Toberg, M.; Linne, H.: Kooperationshandbuch, ein Leitfaden für die Unternehmenspraxis. Stuttgart: 1992.

Wickens, C.; Hollands, J.: Engineering Psychology and Human Performance (3rd Edition). New Jersey: 2000.

Winner, H.; Heuss, O.: X-By-Wire Betätigungselemente - Überblick und Ausblick. In: Darmstädter Kolloquium Mensch und Fahrzeug - Cockpits für Straßenfahrzeuge der Zukunft. Ergonomia Verlag. Darmstadt: 2005. 79-115.

Winner, H.; Hakuli, S.: Conduct-by-Wire - Following a new paradigm for driving into the future. In: Proceedings of FISITA World Automotive Congress. Yokohama, Japan: 2006.

BEHERRSCHBARKEITSUNTERSUCHUNGEN BEI DER ABSICHERUNG VON FAHRERASSISTENZSYSTEMEN

Markus Fach, Frank Baumann, Jörg Breuer, Alexander May, Stephan Mücke

ZUSAMMENFASSUNG

Moderne aktive Sicherheitssysteme bieten großes Potential zur Vermeidung von Unfällen und damit zur Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr. Zur sicheren Auslegung solcher Funktionen ist es jedoch unabdingbar, sowohl mögliche fehlerhafte Systemzustände wie auch funktionale Unzulänglichkeiten abzusichern. Dazu können die hier vorgestellten Methoden und Verfahren beitragen.

Von zentraler Bedeutung ist die Beherrschbarkeit aller denkbaren Systemzustände. Sie definiert und begrenzt im Falle der regulären Eingriffe die möglichen Systemausprägungen. Zum anderen bestimmt sie für die theoretischen Fehlerfälle die Anforderungen nach ISO 26262 zur Vermeidung dieser Fehler. Diese Anforderungen beziehen sich sowohl auf die Entwicklung, Produktion als auch auf Betrieb, Wartung bis hin zur Entsorgung.

Je nach Fragestellung können für die Beherrschbarkeit unterschiedliche Kriterien und Anforderungen gelten. Von der allgemeinen Beherrschbarkeit eines Fahrzeugs und aller seiner Systeme zu jeder Zeit, wie sie generell gefordert ist, bis hin zu der Beherrschbarkeit von schweren Ausnahmeständen und Fehlern reicht der Untersuchungsumfang. Je nach Betrachtungsumfang ergeben sich unterschiedliche Bewertungsmethoden und -maßstäbe.

Darüber hinaus ist es für eine erfolgreiche Einführung eines Assistenzsystems zudem erforderlich, ein hohes Maß an Kundenakzeptanz zu erreichen. Die Akzeptanz kann dabei durchaus auch von der Beherrschbarkeit beeinflusst werden, da schwierig beherrschbare Systeme in der Regel vom Kunden nicht geschätzt werden. Somit ist die Beherrschbarkeit auch ein beeinflussender Parameter für den Kauf und Betrieb eines Fahrerassistenzsystems durch den Kunden.

1 EINLEITUNG

Bei der Entwicklung von Aktiven Sicherheits- und Fahrerassistenzsystemen muss bereits in der frühen Phase der Entwicklung die Beherrschbarkeit von regulären Systemzuständen und -eingriffen sowie insbesondere von Fehlerzuständen für den Fahrer betrachtet werden. Häufig ist die Frage der Beherrschbarkeit maßgebend für die Auslegung der Systemeingriffe. Immer ist sie entscheidend für Anforderungen an die Systemauslegung aus Sicht der Funktionssicherheit nach ISO 26262.

2 BEHERRSCHBARKEIT

Im hier vorliegenden Beitrag wird der Begriff der Beherrschbarkeit vor dem Hintergrund der Absicherung bzw. der Sicherheit eines Systems diskutiert. Dabei werden zweckmäßigerweise zwei prinzipielle Systemzustände unterschieden:

- a) *System arbeitet fehlerfrei im Rahmen seiner technischen Realisierung*
- b) *System hat einen Fehler, d.h. reagiert fehlerhaft bzw. reagiert fehlerhaft nicht*

Je nach Systemzustand ergibt sich dabei eine unterschiedliche Ausprägung des Begriffs Beherrschbarkeit.

- a) Arbeitet ein System fehlerfrei, ist zunächst prinzipiell gefordert, dass der Fahrer sein Fahrzeug und damit auch das System jederzeit beherrschen kann. Diese allgemeine Beherrschbarkeit ergibt sich bereits aus den Anforderungen des Wiener Weltabkommens zum Straßenverkehr [1] bzw. für Fahrerassistenzsysteme auch aus dem europäischen Projekt RESPONSE [2]. Diese Beherrschbarkeit muss sichergestellt und abgesichert werden.

Zudem können bei vielen Systemen auch bei regulären Eingriffen funktionale Unzulänglichkeiten auftreten, die ebenfalls abgesichert werden müssen. Hierunter fallen Eingriffe, die zwar korrekt im Sinne der technischen Umsetzung der Funktion sind, auf Grund von Systemgrenzen wie z.B. der nicht vollständigen Umfelderkennung bzw. der unvollständigen Entscheidungskompetenz eines technischen Systems in der jeweiligen Verkehrssituation jedoch nicht angebracht sind. Bei der Bewertung dieser funktionalen Unzulänglichkeiten muss darauf geachtet werden, dass der Fahrer beim Auftreten solcher Situationen jederzeit die Kontrolle übernehmen kann, um das Systemverhalten zu übersteuern bzw. zu korrigieren. Dazu ist die Funktion so auszulegen, dass die Funktion selbst und der Übergang zur 100%igen Kontrolle durch den Fahrer jederzeit beherrschbar ist.

- b) Das Auftreten von Systemfehlern, die zu kritischen Systemreaktionen führen können, ist zu vermeiden. Zur Absicherung von fehlerhaften Systemeingriffen wird zukünftig die Norm zur Funktionalen Sicherheit ISO 26262 [3] angewendet. Die Anforderungen an die Vermeidung eines Fehlers ergeben sich dabei aus dem Risiko, das mit dem Fehler einhergeht. Bild 1 zeigt die Ermittlung der Risikoklassen nach ISO 26262.

Auftretenswahrscheinlichkeit einer Gefahrensituation



Klasse	E1 (0,001)	E2 (0,01)	E3 (0,1)	E4 (1)
Bezeichnung	Seltene Ereignisse	Manchmal	Öfter	Häufig

Kontrollierbarkeit durch den Fahrer



Klasse	C1 (0,01)	C2 (0,1)	C3 (1)
Bezeichnung	Einfach beherrschbar	in der Regel beherrschbar	Schwer oder nicht beherrschbar

Zuordnungstabelle für Sicherheitsintegritätsstufen

		E * C					
		1	0,1	0,01	E-3	E-4	E-5
Schadensausmaß	S0 - keine Verletzungen	QM	QM	QM	QM	QM	QM
	S1- leichte und mäßige Verletzungen	ASIL B	ASIL A	QM	QM	QM	QM
	S2- Ernsthafte Verletzungen, u. U. lebensgefährlich, Überleben wahrscheinlich	ASIL C	ASIL B	ASIL A	QM	QM	QM
	S3- Lebensbedrohliche Verletzungen (Überleben ungewiss) oder tödliche Verletzungen	ASIL D	ASIL C	ASIL B	ASIL A	QM	QM

Bild 1: Risikobewertung nach ISO 26262

Die Beherrschbarkeit eines Fehlers hat in dieser Systematik einen großen Einfluss auf die Höhe des Risikos, das mit dem Fehler verbunden ist. Sie wird in der ISO 26262 in verschiedene Klassen eingeteilt (C1 bis C3). Die Beherrschbarkeitsklassen werden im Rahmen der Gefahren- und Risikoanalyse festgelegt. Dies erfolgt mit Hilfe von Expertenschätzungen, auf Basis von Erfahrung mit vorangegangenen Systemen oder auch mit Hilfe der im Folgenden beschriebenen Methoden.

Wird ein bestimmter Fehlerzustand z.B. durch ein geeignetes Sicherheitskonzept erfolgreich vermieden, dann wird häufig das System in der Folge in einen sogenannten „Sicheren Zustand“ überführt. Dieser Zustand ist dann auch ein Fehlerzustand des Systems, im Idealfall aber auch wieder von „Allgemeiner Beherrschbarkeit“. Falls sich allgemeine Beherrschbarkeit in dieser Rückfallebene nicht erreichen lässt, wird ein technisches Akzeptanzkriterium definiert, das geeignet ist, die Sicherheit des Systemzustandes zu belegen.

- 1 Beherrschbarkeit nach „Wiener Konvention“
 - Alle Systemzustände müssen vom Fahrer jederzeit kontrolliert werden können
- 2 Beherrschbarkeit bei „Funktionalen Unzulänglichkeiten“
 - Auf Grund unzulänglicher Sensorik und unvollständiger Entscheidungskompetenz kann es zu funktional korrekten, aber situativ nicht angebrachten Systemeingriffen kommen
- 3 Beherrschbarkeit von Systemfehlern nach ISO 26262
 - Die Beherrschbarkeit eines E/ E Fehlers bestimmt sein potentiell Risiko (ASIL Level)
 - In der Folge kann es zum Übergang in eine Rückfallebene (sicherer Zustand) kommen, deren Beherrschbarkeit ebenfalls bewertet wird

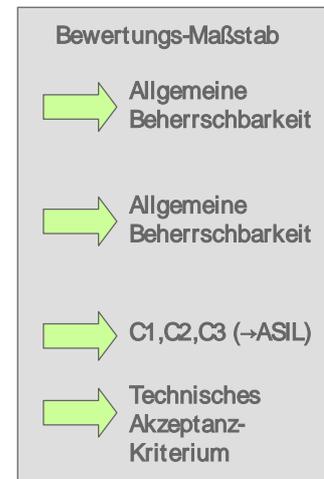


Bild 2: Beherrschbarkeitsbegriff, Definitionen

Zusammenfassend erläutert **Bild 2** den Beherrschbarkeitsbegriff, wie er in diesem Beitrag verwendet wird.

3 METHODEN DER BEHERRSCHBARKEITSUNTERSUCHUNG

3.1 Probandenversuche

Zur Untersuchung der Beherrschbarkeit von Systemzuständen eignen sich Probandenversuche mit Normalfahrern sehr gut. Normalfahrer können kritische oder fehlerhafte Systemzustände erleben und die Beherrschbarkeit kann sehr realitätsnah ermittelt werden. Zum Teil werden die Beherrschbarkeitskategorien nach ISO 26262 direkt statistisch abgeleitet. Dies kann jedoch nur für die Kategorien C2 bzw. C3 gelingen, der statistische Nachweis für C1 ist auf Grund der dazu notwendigen hohen Probandenanzahl nur theoretisch möglich [2].

Bei Mercedes-Benz werden Probandenstudien zur Beherrschbarkeit von System-Fehlfunktionen in der Regel in speziellen Simulatoren (z.B. dem Mercedes-Benz Fahrsimulator) durchgeführt oder auch auf Teststrecken im Realfahrzeug.



Bild 3: Mercedes-Benz Fahrsimulator in Berlin

Bild 3 zeigt den Mercedes-Benz Fahrsimulator in Berlin. Besonders Untersuchungen in komplexen bzw. kritischen Verkehrssituationen können hier reproduzierbar und gefahrlos durchgeführt werden.

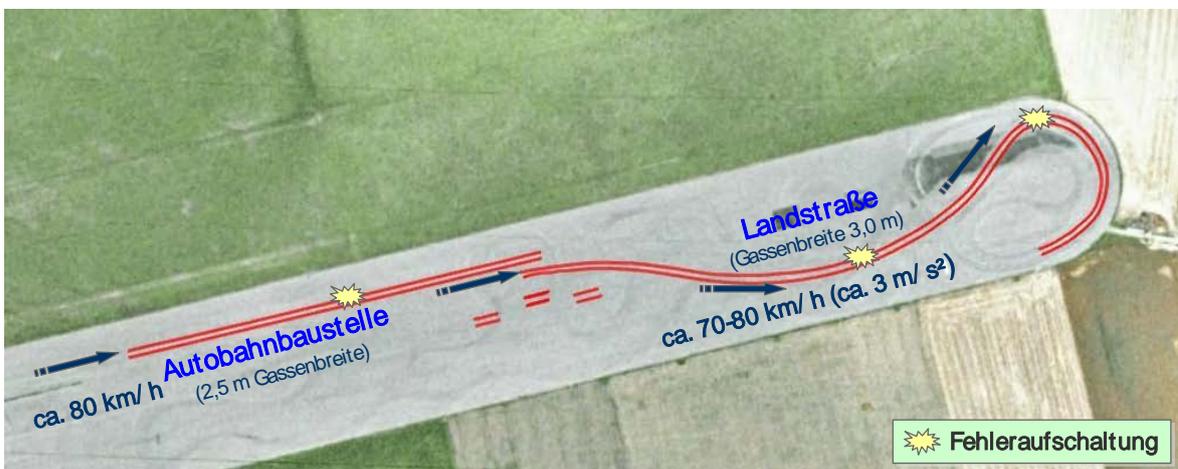


Bild 4: Beispiel für ein Versuchs-Setup für Probandenuntersuchung auf Teststrecke

Bild 4 zeigt ein Beispiel-Setup für Beherrschbarkeitsuntersuchungen auf einer Teststrecke. Diese sind besonders geeignet, wenn realistische Fahrzeugreaktionen im Vordergrund stehen und die Verkehrssituationen wenig komplex und nicht gefährlich sind.

Bei diesen Probandenuntersuchungen mit Normalfahrern werden während der Fahrt Fehler bzw. Ereignisse aufgeschaltet und die resultierende Fahrer- und Fahrzeugreaktion aufgezeichnet. Hauptkriterium bei der Auswertung ist die objektive Bewältigung der Fahraufgabe bzw. das Vermeiden von kritischen Situationen im Allgemeinen und damit die Beherrschung der konkreten Hazards, die in der Risikoanalyse nach ISO 26262 gefunden wurden. Daneben wird auch der subjektive Eindruck des Fahrers erfasst und analysiert. Auch dieser kann herangezogen werden, um die Kritikalität einer Situation einzustufen. Beispiele für ein Verfahren dieser Art finden sich in der Literatur [u.a.: 4].

3.2 Expertenversuche

In Fällen, in denen der zu untersuchende Systemzustand einer Bewertung auf Basis von Normalfahreruntersuchungen nicht zugänglich ist, werden Expertenversuche eingesetzt. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn die zu untersuchenden Zustände ein hohes Maß an Fahrzeugbeherrschung voraussetzen und zudem im Fahr-Simulator nicht durchgeführt werden können. Expertenversuche können jedoch auch ergänzend eingesetzt werden, um die Beherrschbarkeitskategorien C1 und C2 zu differenzieren, die sich mit statistischen Methoden schwer abgrenzen lassen. Darüber hinaus ist auch der Bereich der allgemeinen Beherrschbarkeit in der Regel nur durch Expertenbeurteilung zu definieren. In jedem Fall ist der beurteilende Experte gehalten, die Beherrschbarkeit aus der Perspektive des Normalfahrers zu bewerten.

3.3 Feldstudien im realen Verkehr

Neben Probandenuntersuchungen im kontrollierten Feld können zu einem späteren Zeitpunkt im Entwicklungsprozess auch Feldstudien im realen Verkehr sehr gut genutzt werden, um die Beherrschbarkeit von Fahrerassistenzsystemen abzusichern.



Bild 5: Kundennahe Fahrerprobung bei Mercedes-Benz

Bei Mercedes-Benz finden im Vorfeld der Markteinführung von Fahrerassistenzsystemen umfangreiche kundennahe Fahrerprobungen statt (KNFE), bei denen Normalfahrer Systeme im öffentlichen Straßenverkehr bewegen, während in den Fahrzeugen Messdaten- und Videoaufzeichnungen zur späteren Auswertung gespeichert werden (**Bild 5**). Zu diesem Zeitpunkt sind die zu untersuchenden Systeme schon weitgehend serienreif entwickelt und haben eine Straßenfreigabe. Die Ergebnisse der KNFE können benutzt werden, die allgemeine Beherrschbarkeit eines Systems zu überprüfen und abzusichern. Darüber hinaus lassen sich wichtige Erkenntnisse für die Auslegung zukünftiger Systeme gewinnen. Die gefundene Datenbasis erlaubt es auch, optimierte Softwarestände im Hardware-in-the-Loop Verfahren nochmals in den gefährten Situationen zu überprüfen.

4 BEISPIELE FÜR BEHERRSCHBARKEITSUNTERSUCHUNGEN

4.1 Probandenuntersuchungen im Fahrsimulator zur PRE-SAFE Bremse

Bei der Entwicklung der Mercedes-Benz PRE-SAFE® Bremse wurden bereits in der Konzeptphase Beherrschbarkeits-Untersuchungen durchgeführt. Zentral war die Frage, wie hoch der ASIL Level nach ISO 26262 für verschiedene Szenarien von Falschauslösungen des Systems ist. Das System PRE-SAFE® Bremse ist in der Lage, autonome Bremsungen bis hin zur Vollverzögerung auszuführen, wenn eine Kollisionsgefahr erkannt bzw. eine Kollision unvermeidlich ist. Bei einer theoretischen fälschlichen Aktivierung ist für das bremsende Fahrzeug und dessen Fahrer zunächst kein besonderes unmittelbares Risiko gegeben, wohl aber mittelbar durch den nachfolgenden Verkehr, der möglicherweise die entstehende Situation nicht beherrschen kann und auffährt. Um herauszufinden, wo die Grenzen für die Beherrschbarkeit nach ISO 26262 in einem solchen Fall liegen, wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt.

Für die Ermittlung zulässiger Verzögerungen und Verzögerungszeiten war es erforderlich, exakt die in der Risikoanalyse gefunden kritischen Situationen nachzustellen und mit einer geeignet großen Anzahl von Probanden die Beherrschbarkeit der jeweiligen Situationen zu untersuchen. Die Untersuchungen wurden im Mercedes-Benz Fahrsimulator durchgeführt. **Bild 6** zeigt eine typische Fahrsituation im Fahrsimulator. Mit Hilfe von eingeblendeten farbigen Balken wurden die Probanden angeleitet, einem vorausfahrenden Fahrzeug in angemessenem und reproduzierbarem Abstand zu folgen. Im Verlauf der Versuchsfahrt wurde beim vorausfahrenden Fahrzeug eine PRE-SAFE®-Bremse Falschauslösung simuliert. Die in der Folge auftretenden Reaktionen der Versuchsteilnehmer wurden analysiert. Für die objektive Ermittlung der Beherrschbarkeit bzw. der Beherrschbarkeitsgrenzen wurde statistisch ausgewertet, ob das kritische Ereignis aus der Risikoanalyse eintritt (Auffahrunfall) oder durch den Fahrer des Folgefahrzeugs vermieden werden konnte. Aus dem Versuchsergebnis leitete sich die Beherrschbarkeitseinstufung (C) nach ISO 26262 ab, die in die Risikoanalyse zur Bestimmung des ASIL Level einfließt.



Bild 6: Fahrsimulatorversuch zur Beherrschbarkeit von PRE-SAFE-Bremse Falscheingriffen mit Vollverzögerung

4.2 Expertenversuche zu Giermomentenschnittstelle

Für eine Darstellung der Beherrschbarkeitsgrenzen für Gierimpulse, wie in **Bild 2** gezeigt, können statistische Probandenuntersuchungen alleine nicht herangezogen werden. Bewertungen der Kategorie C1 sind auf Grund der dazu nötigen Probandenanzahl nur sehr schwer und die Frage der allgemeinen Beherrschbarkeit statistisch nicht durchzuführen. Hier sind Expertenversuche eine gute Methode. Die Experten müssen in der Lage sein, aus Sicht eines Normalfahrers zu urteilen und ein hohes Maß an Erfahrung über vergleichbare Fahrzeugzustände und Fahrerreaktionen verfügen.

Bild 7 zeigt zusammenfassend das Ergebnis einer Studie zur Beherrschbarkeit von Gierimpulsen, hervorgerufen durch einseitige Bremseneingriffe. Erkennbar ist der Zusammenhang zwischen Schwere des Eingriffs, Höhe der Gierreaktion des Fahrzeugs und damit einhergehend der subjektiven Bewertung durch die jeweiligen Experten. Eingriffe mit blockierten Rädern werden bei ansonsten ähnlicher Gierreaktion des Fahrzeugs kritischer bewertet.

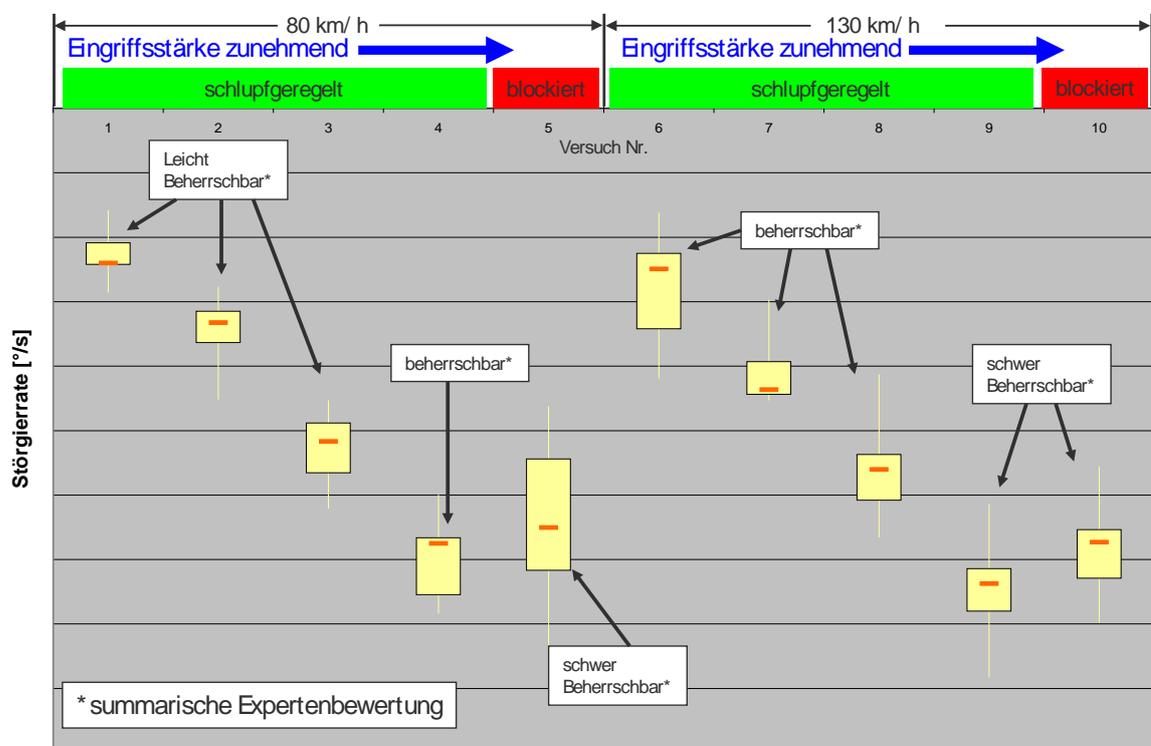


Bild 7: Expertenbewertung zur Beherrschbarkeit von Gierimpulsen unter unterschiedlicher Stärke (n=6)

4.3 Kundennahe Fahrerprobung zum Aktiven Spurhalte-Assistent

Sind im Vorfeld einer Systemeinführung alle Untersuchungen und Bewertungen erfolgreich verlaufen, werden die Systeme bei Mercedes-Benz einer umfangreichen Felderprobung im kundennahen Fahrbetrieb unterzogen. Aufgetretene Systemeingriffe werden erfasst und nachträglich objektiv ausgewertet, sowie ggf. durch den jeweiligen Fahrer bewertet. Die Beherrschbarkeit der jeweiligen Systemreaktion kann auf diese Weise ebenfalls qualifiziert werden.

Beispielhaft zeigt **Tabelle 1** einen Zwischenstand der Kundennahen-Fahrerprobung (KNFE) für eine Auswahl von Systemen. Man erkennt, dass in Abhängigkeit der Systemausprägung über eine längere Laufstrecke zum Teil sehr viele Systemeingriffe erfolgen. Insbesondere für das System Aktiver Spurhalte-Assistent, das mit einseitigen Bremseneingriffen beim Überfahren von durchgezogenen Linien reagiert und die Spurhaltung unterstützt, kann eine hohe Zahl von Systemaktivierungen registriert werden. Jede dieser Systemaktivierungen wird im Nachgang auf ihre Berechtigung überprüft und im Hinblick auf die aufgetretenen Fahrzeug- und Fahrer-Reaktionen bewertet. Die Beherrschbarkeit der durch die Systemeingriffe verursachten Gierimpulse wird dabei ebenso betrachtet wie mögliche Kompensationshandlungen des Fahrers. Beide dürfen nicht zu einer kritischeren Fahrsituation führen.

Datenbasis ca. 300.000 Messungen auf ca. 2.000.000 km (ca. 20% in USA) >1000 Fahrer (Ø eine Messung je ca. 6 km Fahrt)

Messungen mit Systemauslösungen	Häufigkeit pro 10.000 km	km bis Auslösung
Aktiver Totwinkel-Assistent	0,4-0,7	15.000-25.000
Spurhalte-Assistent	500-800	12-20
Aktiver Spurhalte-Assistent	70-80	125-150
Abstands-Warnung	40-60	170-250
PRE-SAFE Bremse Stufe 1	0,1-0,2	50.000-100.000
PRE-SAFE Bremse Stufe 2	0	-
BAS Plus	0,5-1	10.000-20.000

Tabelle 1: Statistische Auswertung zu Systemeingriffen durch Fahrerassistenzsystem, Kundennahe Fahrerprobung bei Mercedes-Benz

Führt man die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen zu Gierstörungen auf Basis von Bremseneingriffen, die bei Daimler durchgeführt wurden, zusammen, so kann eine sogenannte „Beherrschbarkeitslandkarte erstellt werden:

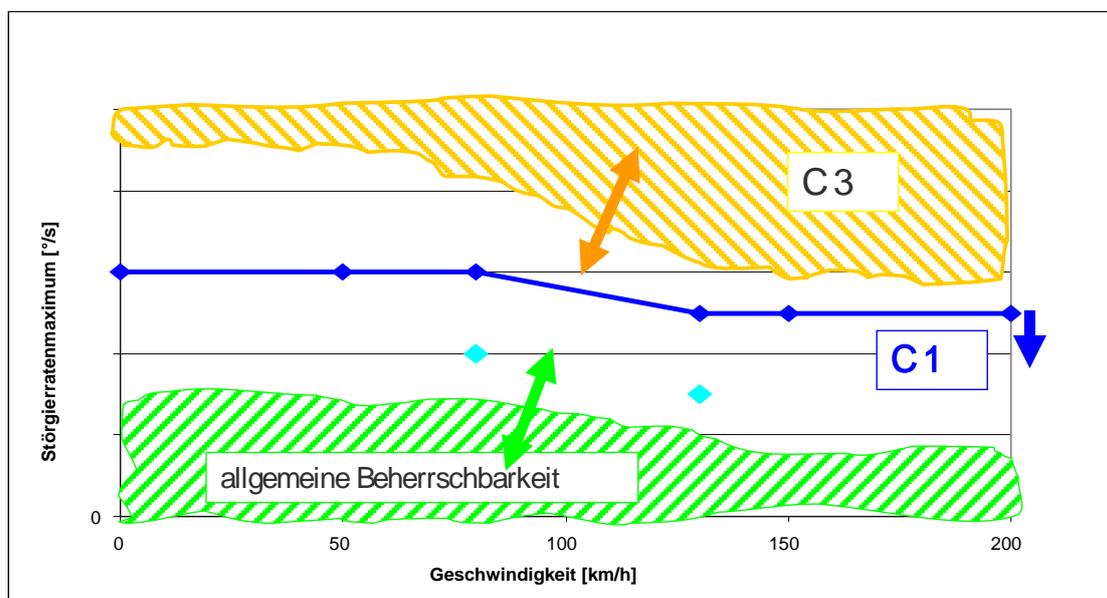


Bild 8: Beherrschbarkeitsgrenzen für Störgieraten, schematisch

Bild 8 zeigt beispielhaft eine solche Beherrschbarkeitslandkarte. Eingetragen sind die Beherrschbarkeitsgrenzen nach ISO 26262 für die Kategorien C1 und C3 sowie die allgemeine Beherrschbarkeit am Beispiel von Störgiergeraten hervorgerufen durch einseitige Bremsungen.

Das Störgieratenmaximum, ausgelöst durch einen Systemeingriff und die dabei anliegende Fahrgeschwindigkeit bestimmen maßgeblich die Beherrschbarkeit des sich einstellenden System-Zustands. Die Darstellung hat Gültigkeit für ein bestimmtes Fahrzeug bzw. eine Fahrzeugklasse und für Hydrauliken mit konventioneller Druckdynamik.

LITERATUR

- [1] **United Nations Economic and Social Council:** Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee, Convention on Road Traffic, Article 8, 1968
- [2] **RESPONSE Consortium:** Code of Practice for the design and evaluation of ADAS, 2006
- [3] **ISO 26262:** Draft International Standard
- [4] **Neukum, A. & Krüger H.-P.:** Fahrerreaktion bei Lenksystemstörungen – Untersuchungsmethodik und Bewertungskriterien. VDI Berichte, 1791, S. 297-318, 2003

„WAS MACHE ICH NUR MIT MEINEM FAHRER?“ – PROBLEME UND MÖGLICHKEITEN KOOPERATIVER SYSTEME

Mark Vollrath

ZUSAMMENFASSUNG

Menschliche Fehler spielen eine wesentliche Rolle bei der Entstehung von Unfällen. Viele dieser Fehler könnten bereits heute durch technische Systeme vermieden werden, die zusätzliche Informationen liefern, wenn nötig warnen oder sogar autonom eingreifen. Wie unterschiedliche Studien im Labor und Feld zeigen, verbessern Systeme der intelligenten Geschwindigkeitsanpassung (ISA) die Einhaltung von sicheren Geschwindigkeiten, Spurverlassenswarner (LDW) die Spurhaltung und die automatische Gefahrenbremse verhindert Auffahrunfälle. Bei diesen Studien zeigt sich aber regelhaft, dass die Akzeptanz durch den Fahrer umso geringer wird, je wirkungsvoller die Systeme sind und je mehr sie das Fahrverhalten verändern. Bei hochautomatisierten Systemen, die Teile der Fahraufgabe vollständig übernehmen, zeigt sich in Studien weiter, dass Fahrer notwendige manuelle Eingriffe umso schlechter bewältigen können, je zuverlässiger und kompetenter das System ist. „Was mache ich nur mit meinem Fahrer?“ Zwei Möglichkeiten werden diskutiert: Einerseits könnte man Informationen, Warnungen und Eingriffe mit Hilfe von Fahrermodellen auf das absolut notwendige reduzieren und diese nur dann einsetzen, wenn der Fahrer mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die aktuelle Situation nicht bewältigen wird. Andererseits könnte vollständige Automation zumindest in bestimmten Szenarien mit einer Zuverlässigkeit entwickelt werden, die höher ist als die menschliche Leistungsfähigkeit. Oder gibt es weitere Möglichkeiten?

1 MENSCHLICHE FEHLER BEI UNFÄLLEN – POTENZIAL KOOPERATIVER SYSTEME

Ein Fehlverhalten des Fahrzeugführers ist nach Auswertungen des Statistischen Bundesamts bei 86% der erfassten Unfälle in Deutschland wesentlich bei der Entstehung des Unfalls beteiligt (Statistisches Bundesamt 2010). Dies betrifft insbesondere Geschwindigkeits- und Abstandshaltung (15.1% bzw. 11.8%), Vorfahrt (14.6%) und das Rangieren (Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren; 15.7%). Unklar bleibt in dieser Unfallstatistik allerdings, welche Fehler dort genau geschahen und warum die Fahrer diese Fehler begangen hatten. Um derartige Informationen zu erhalten, sind In-Depth-Analysen von Unfällen notwendig, bei denen verschiedene Stadien der Unfallentstehung und die Beteiligung des Fahrers dabei analysiert werden.

Eine solche Studie wurde für 992 schwere Unfälle aus dem Gebiet Braunschweig im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführt (Vollrath et al. 2006). Für die Analyse wurden die ausführlichen Protokolle der unfallaufnehmenden Beamten durch geschulte Experten im Hinblick auf die Entstehung des Unfalls bewertet. In Anlehnung an eine Unterscheidung von Hacker (Hacker 2005) wurde dabei zwischen den Fehlhandlungen unterschieden, die zu dem Unfall führten (z.B. Einfahren in die Kreuzung, obwohl der Fahrer Vorfahrt gewähren müsste) und den Ursachen dieser Fehlhandlungen (z.B. abgelenkt zu sein, so dass der vorfahrtsberechtigten Verkehrsteilnehmer nicht gesehen wurde). Die Untersuchung

der Fehlhandlung ist notwendig, um Anforderungen an die Funktionalität von Fahrerassistenzsystemen oder kooperativen Systemen (FAS) zu beschreiben, mit der dieser Fehler verhindert werden könnte (z.B. im Kreuzungsbereich andere vorfahrtsberechtigter Verkehrsteilnehmer zu erkennen). Die Analyse der Ursachen gibt Hinweise darauf, wie die Systeme mit dem Fahrer interagieren müssten. Wenn der Fahrer zum Beispiel abgelenkt ist, erscheint eine visuelle Information über den anderen Verkehrsteilnehmer als wenig sinnvoll, da der Fahrer diese Information mit hoher Wahrscheinlichkeit genauso übersehen wird wie den Verkehrsteilnehmer selbst. Hier wäre ein Bremsruck eine Möglichkeit, um den Fahrer effektiv zu warnen.

Die Analyse zeigte drei Funktionsgruppen, die gemeinsam etwa 74% der schweren Unfälle abdecken (Briest & Vollrath 2006):

- Kollisionen mit Bevorrechtigten beim Durchfahren von Kreuzungen und Abbiegen (36.4% der schweren Unfälle). FAS müssten hier die vorfahrtsberechtigten Verkehrsteilnehmer besser entdecken können als die Fahrer.
- Auffahrunfälle, auch im städtischen Bereich (18.8%). FAS müssten hier einerseits in der Folgefahrt auf einen sicheren Abstand achten, so dass noch gebremst werden kann, und andererseits stehende Hindernisse rechtzeitig erkennen.
- Fahrnfälle, bei denen die Fahrer ohne Beteiligung anderer von der Straße abkommen (18.6%). FAS müssten hier den Straßenverlauf erkennen und die Geschwindigkeit entsprechend anpassen, so dass insbesondere Kurven sicher befahren werden können. Zusätzlich wäre eine Überwachung der Spurhaltung sinnvoll.

Für die Analyse der Ursachen wurde ein aufgabenorientiertes Unfallmodell entwickelt (Vollrath 2010), in dem die für das Fahren relevanten Teilaufgaben bei verschiedenen Stadien des Handelns (Informationsaufnahme, Handlungsplanung, Ausführung) enthalten sind. Dort zeigte sich, dass bei der ersten Gruppe von Unfällen (Kollisionen mit Bevorrechtigten) das Problem beim Erkennen, d.h. der Wahrnehmung liegt. Unaufmerksamkeit, Ablenkung und falsche Ausrichtung der Aufmerksamkeit sind wesentliche Ursachen dafür. Bei den Auffahrunfällen liegt der Fehler bei der Handlungsplanung, wo ein unzureichender Abstand gewählt wird. Die Fahrer realisieren nicht, dass in der jeweiligen Situation ein größerer Abstand sinnvoll wäre. Hier spielen Unaufmerksamkeit, aber auch fehlerhafte Erwartungen des Fahrers eine große Rolle (s. auch Muhrer & Vollrath 2010). Bei den Fahrnfällen findet sich der Fehler ebenfalls bei der Handlungsplanung, wobei es hier um die Vorgabe der sicheren Geschwindigkeit geht. Auch hier ist zu vermuten, dass eine fehlerhafte Situationsbewertung eine wesentliche Rolle spielt. Weiter fanden sich Hinweise, dass ein eingeschränkter Fahrerzustand zu diesen Fehlern beitragen kann.

Diese Analysen zeigen, dass bereits mit dem aktuellen Stand der Technik zumindest für die letzten beiden Gruppen von Unfällen (Auffahrunfälle und Fahrnfälle) die notwendigen Funktionalitäten sowohl von der Sensorik als auch der Aktuatorik verfügbar wären. Schwieriger erscheint dagegen die Frage, wie die Interaktion mit dem Fahrer so zu gestalten wäre, dass dieser möglichst gut darin unterstützt wird, die entsprechenden Fehler zu vermeiden. Genügen Informationen über eine sichere Geschwindigkeit und einen sicheren Abstand, um den Fahrer dazu zu veranlassen, diese auch zu realisieren? Sind Warnungen hier hilfreich? Oder muss das System autonom eingreifen, um die gewünschte Wirkung zu erzielen? Im nächsten Abschnitt werden eine Reihe von Studien vorgestellt, die erste Antwort-

ten auf diese Fragen geben. Diese sind nach den hier dargestellten drei wesentlichen Gruppen von Unfällen geordnet.

2 WIRKUNG VON ASSISTENZSYSTEMEN

2.1 Auffahrunfälle

In einer Studie, die das DLR für VW durchführte, wurde die Wirkung eines Intelligenten Bremsassistenten untersucht (Lienkamp et al. 2008). In dem bewegten Fahrsimulator des DLR wurde auf einer Autobahn ein Szenario realisiert, bei dem während einer längeren Fahrt mehrfach ein Stau mit Stillstand auftrat. Dieser baute sich so plötzlich auf, dass ein Unfall nur bei sehr vorsichtiger Fahrweise und sehr schneller Bremsreaktion zu vermeiden war. In diesem Szenario wurde ein Bremsassistent mit drei unterschiedlichen Rückmeldungen im Vergleich zu einer Fahrt ohne Assistenz verglichen. In der ersten Version gab der Assistent bei Unterschreiten eines ersten Grenzwerts (Time to Collision, TTC) eine akustische Warnung. Wenn der Fahrer dann zu bremsen begann, unterstützte ihn das System dabei, die notwendige Bremsverzögerung herzustellen. In einer zweiten Variante gab es in den beiden A-Säulen eine optische Warnung in Form einer LED-Leiste, die ebenfalls an die TTC gekoppelt war. Eine weitere Unterstützung des Fahrers erfolgte nicht. In einer dritten Variante wurden beide Systeme gekoppelt.

Es zeigte sich, die optische Warnung sehr gut geeignet war, die Unfälle zu vermeiden. Auch der Bremsassistent allein und in Kombination mit der optischen Warnung verringerte die Unfallwahrscheinlichkeit, allerdings nicht ganz so stark wie die optische Warnung allein. Die Analyse der Fahrdaten zeigte, dass die Fahrer mit der optischen Warnung allein größere Abstände hielten, so dass sie dann bei Beginn des Staus längere Zeit zum Reagieren hatten und diese effektiv nutzen konnten. Die den anderen beiden Systemvarianten hatten diesen Effekt nicht und die akustische Warnung reichte dann bei dem engeren Abstand nicht mehr aus, um eine rechtzeitige Bremsung des Fahrers zu ermöglichen. Möglicherweise verließen sich die Fahrer dennoch bis zu einem gewissen Grad auf dieses System, so dass sie bei der Kombination beider Systeme die optische Warnung vernachlässigten und keinen größeren Abstand hielten.

Insgesamt erwies sich in dieser Situation damit ein System als wirkungsvoll, dass das Verhalten des Fahrers veränderte in Richtung auf größere Abstände. Entsprechend den oben dargestellten Unfallanalysen lag offensichtlich der Fehler des Fahrers in dieser Situation in der Wahl eines zu kleinen Abstands, was durch die Assistenz korrigiert wurde. Allerdings zeigte die subjektive Beurteilung des Systems durch die Fahrer, dass dies trotz des erlebten Sicherheitsgewinns (ein Unfall konnte vermieden werden) als störend empfunden wurde.

In einer Studie des Lehrstuhls für Ingenieur- und Verkehrspsychologie wurde ein lichtbasiertes Warnsystem bei einem nächtlichen Fußgängerszenario in einem statischen Fahrsimulator untersucht (Reinprecht et al. 2011). Nach einer längeren abendlichen Fahrt auf Autobahn und Landstraße bei Dunkelheit gab es eine Fahrt durch eine ruhige städtische Umgebung. Dort betrat plötzlich ein Fußgänger von links die Straße, wobei das Fahrzeug zu diesem Zeitpunkt bei der Geschwindigkeit von 50 km/h etwa 2.2 Sekunden brauchen würde, um diese Stelle zu erreichen. Verglichen wurde eine Fahrt ohne System mit drei unterschiedlichen Varianten einer lichtbasierten Warnung, bei der der Fußgänger von einem weißen oder roten Scheinwerfer angestrahlt wurde, der mit einer bestimmten Frequenz blinkte. Zu-

sätzlich blinkte eine dritte Variante nur kurz weiß und beleuchtete dann den Fußgänger kontinuierlich. Gemessen wurde, wie schnell der Fahrer reagierte und zu bremsen begann. Bild 1 zeigt die Reaktionszeiten. Alle Varianten der Warnung führten zu einer signifikanten Verkürzung der Reaktionszeiten um ca. eine halbe Sekunde. Dies führte dazu, dass statt 83% Unfällen ohne Warnsystem nur 36% Unfälle mit System geschahen.

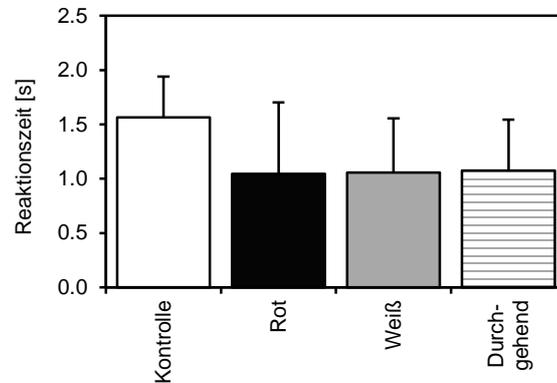


Bild 1: Reaktionszeit auf das Erscheinen des Fußgängers in der Kontrollsituation ohne System (weißer Balken) und mit den verschiedenen Varianten der lichtbasierten Assistenz (Reinprecht et al. 2011).

Im Gegensatz zu der ersten Studie lag die Ursache des Fehlers in dieser Situation nicht in einer zu hohen Geschwindigkeit oder einem zu dichten Abstand. Schwierig war hier vielmehr, den Fußgänger möglichst schnell bei schlechten Sichtbedingungen zu erkennen. Dies wurde durch das lichtbasierte Warnsystem unterstützt, das von den Fahrern auch durchweg positiv beurteilt wurde.

In einer aktuellen Studie im Rahmen des EU-Projektes ISI-PADAS (Muhler & Vollrath 2011) wurden Auffahrunfälle in einem städtischen Kontext im statischen Fahr-simulator untersucht. Die dreißig Fahrer folgten dabei immer wieder unterschiedlichen Fahrzeugen, die mit konstanter Geschwindigkeit von 50 km/h zunächst eine Kreuzung mit Vorfahrtsberechtigung überquerten, dann vor einer zweiten Kreuzung blinkten, abbremsten und abbogen. Nach acht dieser Kreuzungen bremste das Vorderfahrzeug bereits an der ersten Kreuzung stark ab, ohne zu blinken und bog ab. Nach weiteren 8 Kreuzungen mit Führungsfahrzeugen, die sich wie zu Beginn verhielten, bremste dann ein neuntes Fahrzeug plötzlich mitten auf der geraden Strecke ab. Dieses Szenario wurde von einer Gruppe von Testfahrern ohne System gefahren. Eine zweite Gruppe wurde durch einen Bremsassistenten unterstützt, der wie bei dem oben beschriebenen System zunächst bei Unterschreiten eines ersten TTC-Kriteriums akustisch und optisch warnte. Zusätzlich griff dieses System aber autonom ein und bremste, wenn der Fahrer nicht reagierte. Bild 2 zeigt die Ergebnisse. Während ohne System drei der Testfahrer bei der plötzlichen Bremsung an der Kreuzung und 8 der Testfahrer bei der plötzlichen Bremsung auf der Geraden einen Unfall hatten, trat mit System kein einziger Unfall auf.

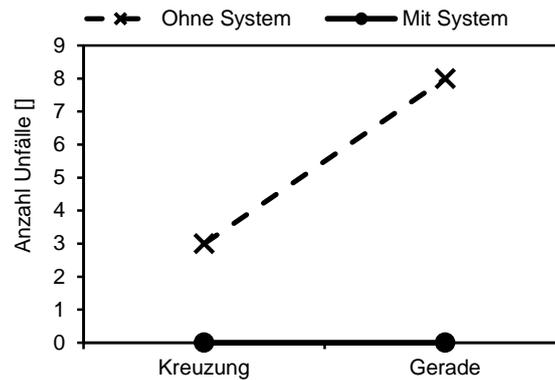


Bild 2: Anzahl von Unfällen mit und ohne System an der Kreuzung und auf der Geraden (Muhrer & Vollrath 2011).

Die Analyse der Fahrerreaktionen zeigt, dass auch hier die akustische und visuelle Warnung keinen Effekt hatte. Die Fahrer reagieren mit und ohne System mit vergleichbaren Reaktionszeiten, d.h. die Warnung beschleunigt die Bremsreaktionszeit nicht, ganz vergleichbar wie in der oben dargestellten Studie beim Stau auf der Autobahn. Der positive Effekt des Systems kommt durch den autonomen Eingriff zustande. Das System beginnt bereits zu bremsen, bevor der Fahrer dies tut und sorgt außerdem dafür, dass die Verzögerung hinreichend stark ist, so dass das Fahrzeug zum Stehen kommt. Die Analysen zeigen weiter, dass der Fehler des Fahrers einerseits darin liegt, dass er in dieser Situation nicht erwartet, dass das Vorderfahrzeug bremst. Dadurch ist seine Reaktion sehr langsam. Das Warnsignal verändert dies nicht. Andererseits fährt er in einem so engen Abstand, dass dieser bei der langsamen Reaktionszeit nicht ausreicht, um noch selbst zu reagieren und zu bremsen. Vermutlich hätte ein System wie die oben dargestellte optische Gefahrenwarnung, das den Fahrer dazu bringt, größere Abstände zu halten, hier auch positiv gewirkt.

Fasst man diese Befunde zu der Wirkung unterschiedlicher Assistenzarten bei Auffahrunfällen zusammen, so zeigt sich:

- Auffahrunfälle sind durch Assistenzsysteme zu vermeiden.
- In bestimmten Situationen liegt das Problem bei der Erkennbarkeit (Nachtfahrten). Hier können Warnsysteme hilfreich sein.
- Bei den meisten Auffahrunfällen erscheint eine Warnung nicht ausreichend, da der Fahrer nicht schnell genug reagieren kann, was auch dadurch bedingt ist, dass der Abstand vorher nicht ausreichend ist.
- Wirksam sind daher einerseits Systeme, die den Fahrer dazu bringen, große Abstände zu halten, andererseits autonom eingreifende Systeme, die selbständig eine Bremsung einleiten.

Systeme, die den Fahrer dazu bringen, einen bestimmten Abstand einzuhalten, erscheinen von der Akzeptanz her schwierig, da die Fahrer dies als störend empfinden. Dies wird auch im nächsten Abschnitt noch deutlich. Autonom eingreifende Systeme könnten vor dem Hintergrund der Wiener Konvention schwierig sein, da hier der Fahrer nicht mehr die vollständige Kontrolle über das Fahrzeug hat. Ob dies nicht angesichts der positiven Wirkung dennoch gerechtfertigt sein könnte, ist eine juristisch-politische Frage.

2.2 Fahrurfälle

Bei diesen Unfällen geht es vor allem darum, dass die Geschwindigkeit nicht an die Verkehrsregeln oder die Anforderungen der Umgebung (z.B. scharfe Kurve) angepasst wurde. Vermutlich spielt dabei Unaufmerksamkeit oder ein eingeschränkter Fahrerzustand eine Rolle, so dass auch eine Unterstützung der Spurlage sinnvoll sein könnte. Die Anpassung der Geschwindigkeit ist mit Hilfe der Intelligent Speed Adaptation (ISA) möglich, wobei hier verschiedene Varianten diskutiert werden, die mehr oder weniger gut vom Fahrer übersteuert werden können. Die Wirkung von ISA wurde in einer ganzen Reihe von Field Operational Tests (FOT) untersucht (z.B. Jamson 2006). Die wesentlichen Befunde lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit ISA werden Geschwindigkeitsbegrenzungen deutlich besser eingehalten.
- Die positive Wirkung lässt mit der Zeit nach, zumindest wenn das System abschaltbar ist.
- Insbesondere die Fahrer, die häufig zu schnell fahren, schalten ISA häufig ab.

Auch für andere Systeme, die die Geschwindigkeitsregulation für den Fahrer übernehmen, lassen sich ähnliche Effekte zeigen. In einer Studie am dynamischen Fahrsimulator des DLR wurde die Wirkung von Tempomat und ACC in verschiedenen Szenarien auf der Landstraße und der Autobahn untersucht (Vollrath et al. 2010). Auf der Autobahn gab es mehrfach Stellen, an denen die Geschwindigkeit auf 100 oder 120 km/h begrenzt war. Untersucht wurde, wie lange die Fahrer an diesen Stellen oberhalb der Geschwindigkeitsbegrenzung fuhren. Bild 3 zeigt das Ergebnis. Sowohl mit Tempomat als auch mit ACC wird die Geschwindigkeitsbegrenzung deutlich besser eingehalten. Dies ist vermutlich dadurch bedingt, dass man hier bewusst die Geschwindigkeit anpassen muss und dann das System dafür sorgt, dass diese Geschwindigkeit auch entsprechend eingehalten wird, während man bei manueller Anpassung immer wieder über die Grenze gerät.

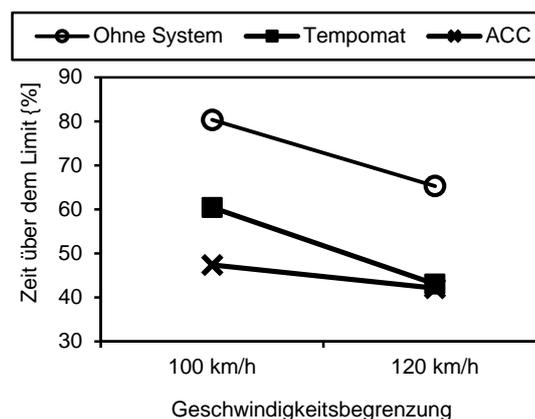


Bild 3: Prozentualer Anteil der Fahrtzeit, die oberhalb der Geschwindigkeitsbegrenzung verbracht wurde, in Abhängigkeit der Höhe der Geschwindigkeitsbegrenzung für die drei Fahrten ohne System, mit Tempomat und mit ACC (Vollrath et al. 2010).

Auf der anderen Seite zeigt sich aber auch, dass ein manueller Eingriff bei diesen Systemen zusätzliche Zeit benötigt (s. Bild 4). Auf der Landstraße musste die Geschwindigkeit bei Kurven auf 70 bzw. 80 km/h reduziert werden, um diese Kurven sicher zu passieren. Außerdem erschien eine Nebelbank, bei der ebenfalls lang-

samer gefahren werden musste. Im Vergleich zur manuellen Fahrt reduzierten die Fahrer in diesen drei Situationen ihre Geschwindigkeit mit ACC und Tempomat etwa 5 Sekunden später als bei manueller Fahrt. Offensichtlich fällt es den Fahrern schwer, die Notwendigkeit für einen eigenen Eingriff zu erkennen, wenn ein System vorher die Geschwindigkeitsregulation übernommen hatte.

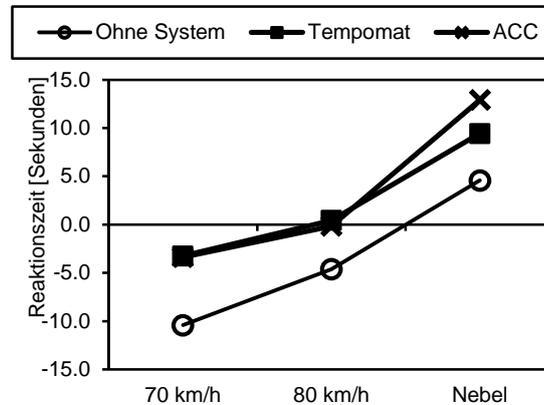


Bild 4: Reaktionszeit vom Erscheinen der Schilder (Kurve mit Begrenzung auf 70 bzw. 80 km/h) und des Nebels bis zum Beginn der Verzögerung für die drei Fahrten ohne System, mit Tempomat und mit ACC (Vollrath et al. 2010).

Um diese Probleme zu vermeiden, könnte es sinnvoll sein, den Funktionsumfang zu erweitern, also ACC mit den oben beschriebenen ISA zu kombinieren, so dass dieses kombinierte System selbständig die Geschwindigkeit bei entsprechenden Begrenzungen reduzieren würde. Damit müssten die Ursachen für die Fahrnfälle deutlich reduziert werden, insofern wie eine der Situation angemessene Geschwindigkeit gewählt wird. Allerdings könnten hier neue Probleme entstehen, wenn diese Systeme nicht vollständig zuverlässig sind. In einer Simulatorstudie der TU Braunschweig fuhren Testfahrer eine kurvige Landstraße mit einem entsprechenden System, das die Geschwindigkeit in Kurven selbständig reduzierte (Niederée & Vollrath 2009). Dieses System fiel dann bei 3 von insgesamt 60 Kurven aus (95% Zuverlässigkeit). Bei einer zweiten Gruppe von Fahrern fiel das System bei 18 von 60 Kurven aus, hatte also nur eine Zuverlässigkeit von 70%. Untersucht wurde dann, wie schnell dies die Fahrer bemerkten und es ihnen gelang, einzugreifen und die Geschwindigkeit selbst zu reduzieren. Bild 5 zeigt als Indikator dafür die mittlere Geschwindigkeit in den Kurven, wobei der jeweils letzte Systemausfall gezeigt ist. Man erkennt, dass bei beiden Systemzuverlässigkeiten die Geschwindigkeit in der Kurve deutlich erhöht ist. Bei hoher Systemzuverlässigkeit wird fast 15 km/h schneller gefahren als bei manueller Fahrt. Wie weitere Untersuchungen zeigten, ist es den Fahrern vor allem beim ersten Systemausfall kaum möglich, die Geschwindigkeit soweit zu reduzieren, dass sie sicher die Kurve bewältigen können.

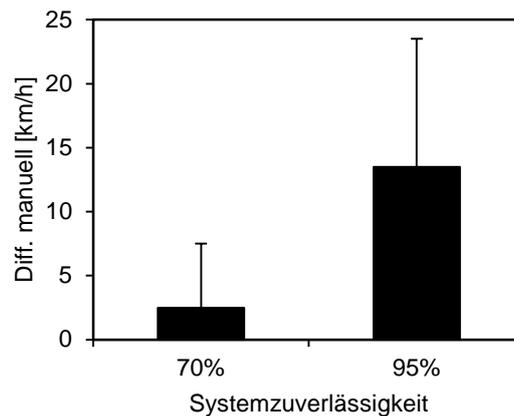


Bild 5: Mittlere Geschwindigkeit in den Kurven als Differenz zur Geschwindigkeit bei der Fahrt ohne System bei den zwei unterschiedlichen Zuverlässigkeiten (Niederée & Vollrath 2009).

Damit lässt sich für Fahrurfälle zusammenfassen:

- Assistenzsysteme, die den Fahrer bei der Geschwindigkeitsregulation unterstützen, können sehr wirksam sein, um in verschiedenen Situationen eine sichere Geschwindigkeit einzuhalten.
- Diese Systeme werden allerdings vermutlich nur dann eine breite Wirkung in der Fahrerbevölkerung erzielen, wenn sie nicht abgeschaltet werden können. Dies wird für viele Fahrer kaum akzeptabel sein.
- Je mehr diese Systeme die Geschwindigkeitsregulation für den Fahrer übernehmen, desto schwerer fällt es diesem, bei Systemausfällen oder Situationen, die das System nicht beherrscht, selbst einzugreifen.

Ähnlich wie bei der ersten Gruppe von Unfällen steht man hier vor einem gewissen Dilemma. Wirkungsvolle Systeme wären beim heutigen Stand der Technik einsetzbar, aber für den Fahrer nur wenig akzeptabel. Hinzu kommt: Je stärker die Systeme die Geschwindigkeitsregulation übernehmen und damit je wirkungsvoller sie sind, desto höher werden die Anforderungen an deren Zuverlässigkeit, aber auch die Situationen, die von dem System beherrscht werden müssen, da die Fahrer immer mehr Schwierigkeiten haben werden, die wenigen Situationen selbst zu beherrschen, die vom System nicht abgedeckt werden. Umgekehrt werden Systeme, die den Fahrer lediglich durch Zusatzinformationen unterstützen, wenig wirkungsvoll bleiben.

2.3 Unfälle mit Bevorrechtigten

Der insgesamt größte Anteil der schweren Unfälle sind Kollisionen mit bevorrechtigten Verkehrsteilnehmern, die häufig im Bereich von Knotenpunkten stattfinden. Die Fahrer berichten, dass sie die anderen Verkehrsteilnehmer nicht gesehen hätten, so dass sie nicht entsprechend reagieren konnten. Eine weitere Simulatorstudie verdeutlicht die Ursachen, die zu diesen Wahrnehmungsfehlern führen können (Werneke & Vollrath 2010). In dieser Studie mussten Fahrer in einer simulierten Stadt an einer T-Kreuzung rechts abbiegen, wobei sie sich vom unteren Ast der Kreuzung näherten und damit wartepflichtig waren. Variiert wurde die Verkehrsdichte (wenig bzw. viel Verkehr von links) und die Gestaltung der Kreuzung (ohne bzw. mit Zebrastreifen und Fußgänger auf der rechten Seite der Kreuzung, also dort, wohin abgebogen werden sollte). Nachdem die Fahrer diese verschie-

denen Kreuzungen insgesamt je 5 Mal gefahren waren, scherte kurz nach dem Abbiegen plötzlich ein parkendes Fahrzeug kurz vor dem eigenen Fahrzeug ein oder es rollte ein Ball plötzlich über die Straße. Gemessen wurde, ob die Fahrer die Kollision vermeiden konnten oder nicht.

Wie Bild 6 zeigt, war in dieser Situation die Unfallhäufigkeit mit einer Ausnahme sehr hoch bei etwa 70-80% Unfällen. Die Fahrer sind in dieser Situation stark damit beschäftigt, auf den anderen Verkehr von links zu achten und eine Lücke zu finden, in die sie sicher einfahren können. Eine Gefahr, die dann nach dem Losfahren rechts auftaucht, wird kaum mehr rechtzeitig erkannt. Die Ausnahme ist dann, wenn die Verkehrsdichte niedrig ist und rechts in der Kreuzung ein Zebrastrreifen ist. In dieser Situation geschehen nur knapp 20% Unfälle. Einerseits ist die Aufmerksamkeit der Fahrer nicht so stark nach links gebunden, da nur wenige andere Fahrzeuge dort auftauchen (niedrige Verkehrsdichte). Andererseits ist die Aufmerksamkeit durch den Zebrastrreifen schon nach rechts gerichtet, da man damit rechnen muss, dass dort vielleicht etwas Relevantes geschieht.

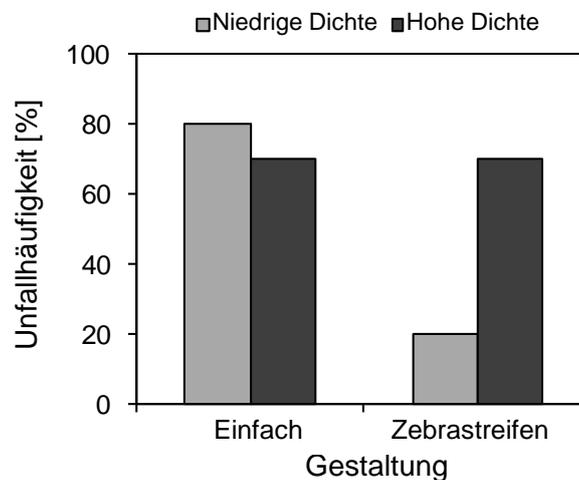


Bild 6: Unfallhäufigkeit in Abhängigkeit von der Komplexität der Kreuzung und der Verkehrsdichte (Werneke & Vollrath 2010).

Damit spielt die Aufmerksamkeitsausrichtung (man konzentriert sich auf relevante Bereiche der Kreuzung) und die Begrenzungen der Kapazität (man kann nur begrenzt viele Informationen verarbeiten) bei dieser Art von Unfällen eine zentrale Rolle. Die Unfallanalysen und die hier beschriebene Simulatorstudie zeigen, dass bei richtiger Aufmerksamkeitsausrichtung die Fahrer diese Unfälle vermeiden könnten. Damit wäre ein großes unfallvermeidendes Potenzial für Informations- und Warnsysteme anzunehmen. Allerdings entsteht der Informationsmangel der Fahrer zumindest zum Teil durch Überforderung und die Begrenzungen der menschlichen Wahrnehmung. Von da her erscheint es fraglich, ob es durch zusätzliche Informationen gelingen kann, in diesen Situationen den Fahrer tatsächlich wirkungsvoll zu unterstützen. Diese Frage ist momentan schwer zu beantworten, da entsprechende Untersuchungen noch sehr selten sind. Schließlich stellt diese Art von Situationen auch Herausforderungen an die Technik (Sensorik und Informationsverarbeitung), so dass hier entsprechende Lösungen noch in der Zukunft liegen.

3 „WAS MACHE ICH NUR MIT DEM FAHRER“ – DISKUSSION UND AUSBLICK

Fehler des Fahrzeugführers sind eine wesentliche Unfallursache und eine Vielzahl von Studien verbessert das Verständnis dieser Fehler. Fahrerassistenzsysteme können gezielt daraufhin optimiert werden, bestimmten Fehlern entgegenzuwirken. Damit können sie zu kooperativen Systemen werden, die die Schwächen des Fahrers ausgleichen und seine Stärken unterstützen. Diese Art von Kooperation erscheint vor allem bei Unfällen mit Bevorrechtigten vielversprechend, da hier Begrenzungen der menschlichen Informationsverarbeitung eine wesentliche Rolle spielen. Allerdings wird hier von der Technik noch zu zeigen sein, dass entsprechende Systeme tatsächlich eine höhere Leistungsfähigkeit in diesen komplexen, dynamischen Situationen erbringen können als dies menschliche Fahrer leisten.

Die Schwierigkeiten menschlicher Fahrer, auch in langweiligen Fahrsituationen dauerhaft aufmerksam und reaktionsbereit zu bleiben (Vigilanz), ist eine wesentliche Ursache der Auffahrunfälle. Hier erscheint eine Kooperation mit technischen Systemen, die ohne Leistungseinbußen über lange Zeit mit gleichmäßig hoher Qualität Hindernisse oder ein plötzliches Bremsen des Vorderfahrzeugs erkennen können, als vielversprechend. Allerdings gerät man hier an die Grenzen der Kooperation, wenn die Systeme aus Sicherheitsgründen einen größeren Abstand erfordern. Dies verstärkt sich bei den Fahrunfällen, wo Systeme vermutlich nur dann die Sicherheit substanziell erhöhen, wenn sie das Einhalten einer sicheren Geschwindigkeit erzwingen. Ein kooperatives System wird hier schnell zu einem „Erzieher“ oder „Lehrer“, der die Wünsche des Fahrers auch ignorieren kann, wenn es die Sicherheit erfordert. Wie dies so umgesetzt werden kann, dass es für den Fahrer akzeptabel, ja sogar wünschenswert erscheint, ist eine der großen Herausforderungen für kooperative Systeme.

Ein möglicher Weg ist der Einsatz von Fahrermodellen. Wenn es gelingt, Eingriffe von Systemen auf die Situationen zu beschränken, in denen der Fahrer mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht in der Lage sein wird, diese Situation zu beherrschen, könnte auch ein autonomer Eingriff akzeptabel sein. Ein derartiges Fahrermodell müsste in Echtzeit im Fahrzeug die Verkehrssituation und den Fahrer beobachten, um einerseits angemessene Handlungen zur Bewältigung dieser Situationen zu entwickeln, andererseits eine Prognose über die vom Fahrer geplanten Handlungen. Wird der Fahrer mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Handlung wählen, die in der Situation zu einem kritischen Ereignis führen könnte, müsste das System eingreifen. Es wird interessant sein, die weiteren entsprechenden Entwicklungen zu beobachten.

Ein weiterer Ausweg ist das automatische Fahren zumindest in bestimmten Szenarien. Fehler des Fahrers werden damit vollständig vermieden, wobei dann das System die Verantwortung vollständig übernehmen müsste. Eine Überwachung durch den Fahrer erscheint aus vielen Gründen als wenig sinnvoll – der Mensch ist kein guter Überwacher und der Mensch wird mit hoher Wahrscheinlichkeit bei Systemausfällen nicht richtig reagieren können. Und schließlich liegt der Nutzen eines automatischen Systems für den Fahrer genau darin, sich nicht auf das Fahren (oder Überwachen) konzentrieren zu müssen. Auch von dieser Seite her ergeben sich für eine Automation interessante Herausforderungen.

„Was mache ich nur mit dem Fahrer?“ Ohne Fahrer wird man vermutlich noch in den nächsten Jahrzehnten nicht auskommen. „Was macht der Fahrer nur mit den ganzen Systemen?“ ist vielleicht die richtigere Frage, die bei der Entwicklung kooperativer Systeme immer wichtiger wird.

LITERATUR

Briest, S. & Vollrath, M.: In welchen Situationen machen Fahrer welche Fehler? Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme durch In-Depth-Unfallanalysen, VDI (Hrsg.), Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme (S. 449 - 463), Wolfsburg, VDI, 2006

Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit, Bern, Huber, 2005

Jamson, S., Would those who need ISA, use it? Transportation Research Part F, 9, 195-206, 2006

Lienkamp, M.; Lemmer, K.; Vollrath, M.; Kiss, M.: Regeln, informieren, warnen, eingreifen - Herausforderungen für zukünftige Fahrerassistenzsysteme. Vortrag beim 10. Technischen Kongress des VDA, Ludwigsburg, VDA, 2008

Muhrer, E. & Vollrath, M.: Expectations while car following - the consequences for driving behaviour in a simulated driving task, Accident Analysis and Prevention, 42, 2158-2164, 2010.

Muhrer, E. & Vollrath, M.: Driving with a partially autonomous forward collision warning system – How do we react? Paper submitted to Accident Analysis and Prevention, 2011

Niederée, U. & Vollrath, M.: Fahrerassistenzsysteme der Zukunft - Fährt da der Mensch noch mit? In VDI (Hrsg.), Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit (S. 193-205), Düsseldorf, VDI, 2009.

Reinprecht, K.; Muhrer, E.; Vollrath, M.: Lichtassistenz wirkt – auch bei müden Fahrern. In ITS Niedersachsen (Hrsg.), AAET 2011, Braunschweig, ITS Niedersachsen, 2011

Statistisches Bundesamt: Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2009, Wiesbaden, Statistisches Bundesamt, 2010.

Vollrath, M.: Welche Fehler führen zu Unfällen? Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 56(1), 31-36, 2010.

Vollrath, M.; Briest, S.; Drewes, J.: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 60), Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW, 2006.

Vollrath, M.; Briest, S.; Oeltze, K.: Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrerverhalten, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, F 74, Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW, 2010.

Werneke, J. & Vollrath, M.: Where did the car come from? - Attention allocation at intersections, In J. Krems, T. Petzoldt, & M. Henning (Eds.), Proceedings of European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems (pp. 197-206), Lyon, Humanist publications, 2010.

ANSÄTZE FÜR EINE VERTRÄGLICHE INTERAKTION ZWISCHEN FAHRER UND SEINEM ELEKTRONISCHEN ASSISTENTEN

Peter E. Rieth

ZUSAMMENFASSUNG

Neben der CO₂ Diskussion, die die Fahrzeuglastenhefte aktuell dominiert, ist die Verbesserung der Fahr- und Verkehrssicherheit der zweite globale Megatrend neben der Erschließung individueller Mobilität in den „emerging economies“ und dem Trend zur umfassenden Informationsvernetzung, der den Weg in die „always on“ Informationsgesellschaft vorgibt.

Trotz spürbar vergrößerten Verkehrsaufkommens über die letzten 15 Jahre konnte die Anzahl der Schwerverletzten und Getöteten in Deutschland in etwa halbiert werden. Dazu beigetragen haben neben verkehrspolitischen und verkehrserzieherischen im Wesentlichen sicherheitstechnologische Maßnahmen, wie die kontinuierliche Verbesserung der aktiven und passiven Fahrzeugsicherheit. Diese Sicherheitsbereiche haben mittlerweile beide für sich einen hohen Stand erreicht, wobei der Bereich der aktiven Sicherheit und dessen Vernetzung mit der passiven Sicherheit zur sogenannten integralen Sicherheit erhebliche Verbesserungspotenziale bietet.

Die klassischen Interaktionsschnittstellen der Fahrbefehlseingaben des Fahrers sind Gaspedal, Lenkrad und Bremspedal. Diese Bedienelemente wirken auch heute noch primär „vertikal“ auf die zugehörigen Stellglieder Motor, Lenkung und Bremse, im Falle der beiden letzteren mit energetischer Rückwirkung. Diese Rückwirkung – war sie ursprünglich durchaus willkommen, da sie den Kontakt zur Straße vermittelt – wird zunehmend durch Regeleingriffe elektronischer Fahrerassistenz (z.B. ABS, Spurhalteassistentz,...) komplexer, mit der Gefahr vom Fahrer als irritierend empfunden zu werden.

Neben diesem haptischen HMI Kanal wird zunehmend der optische und akustische Sinneskanal zur Kommunikation mit den fahrzeugintegrierten Assistenzsystemen genutzt.

Die Fahrzeugführungsaufgabe lässt sich in drei Aktionsebenen darstellen (Bild 1).

Der Vortrag beschreibt anhand von ausgewählten Beispielen der Fahrerassistenz in allen 3 Ebenen der Fahrzeugführung die Interaktion zwischen Fahrer und seinem elektronischen Assistenten und zeigt Möglichkeiten für eine verträgliche, vom Fahrer akzeptierte, weil als intuitiv und plausibel empfundene Schnittstelle auf.

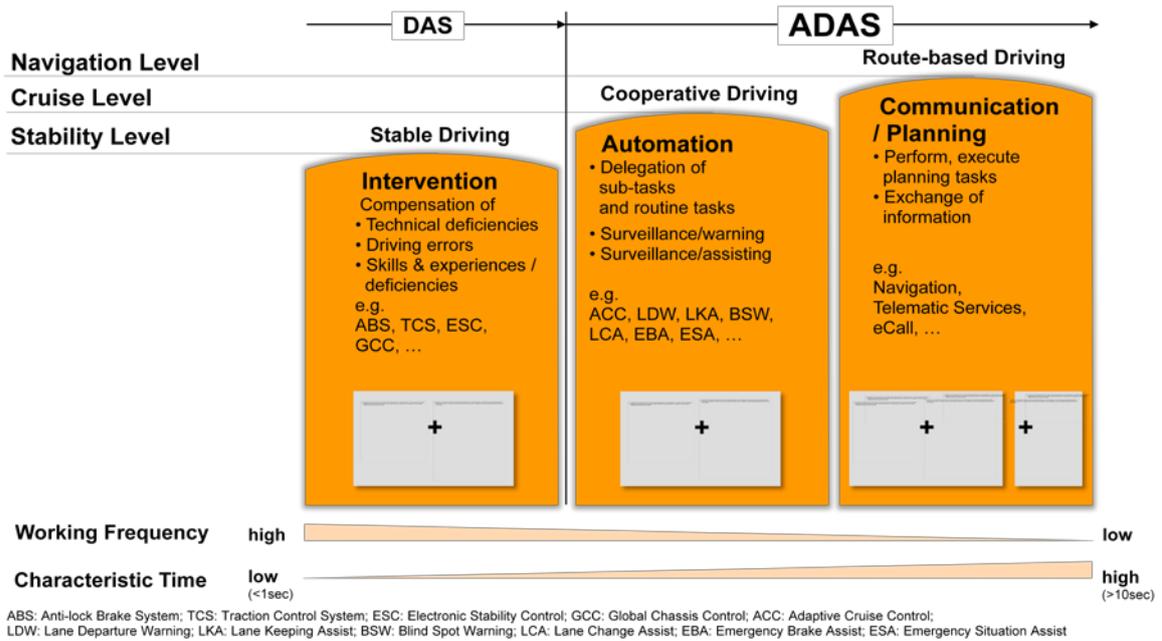


Bild 1: The 3 Levels of the Driving Task... and its Driver Assistance Systems

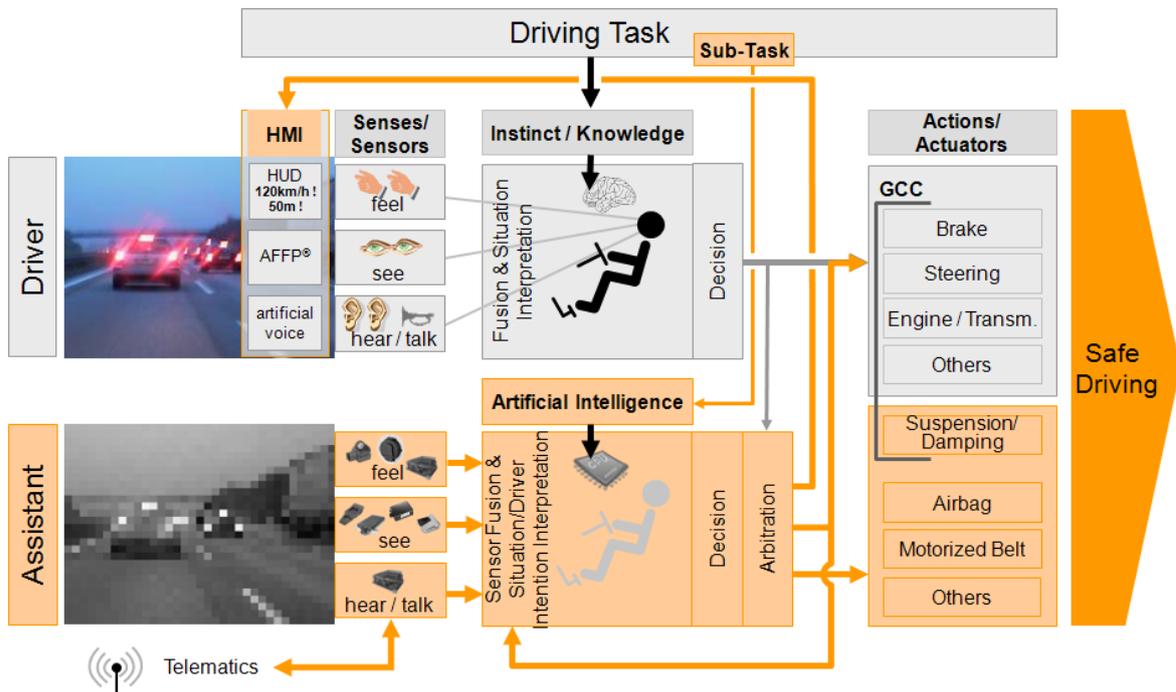
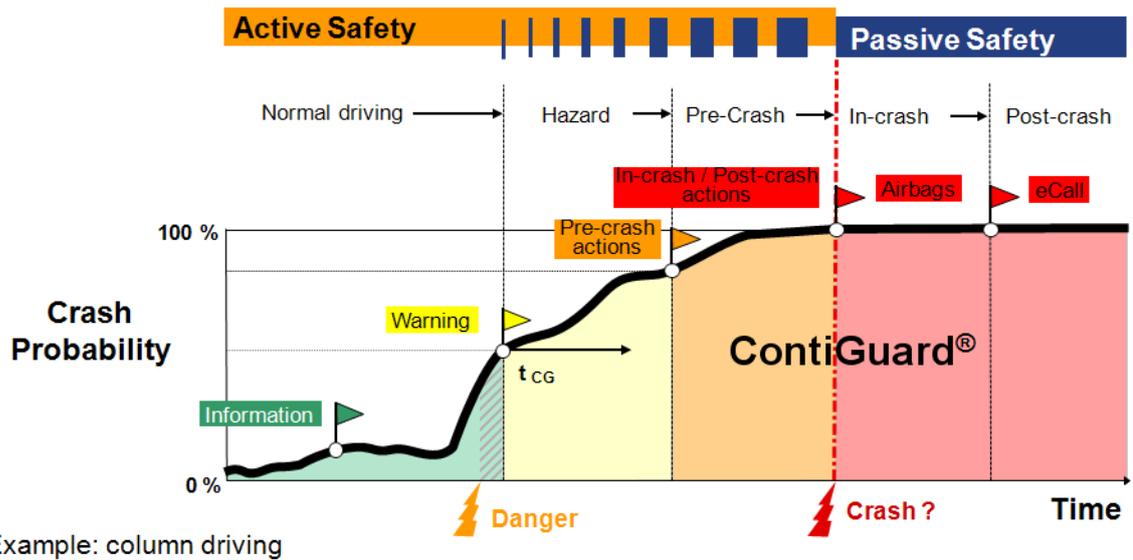


Bild 2: Advanced Driver Assistance Systems ADAS – Functional Logics Example Safety ADAS



Example: column driving

Bild 3: ContiGuard® – Driving Phases

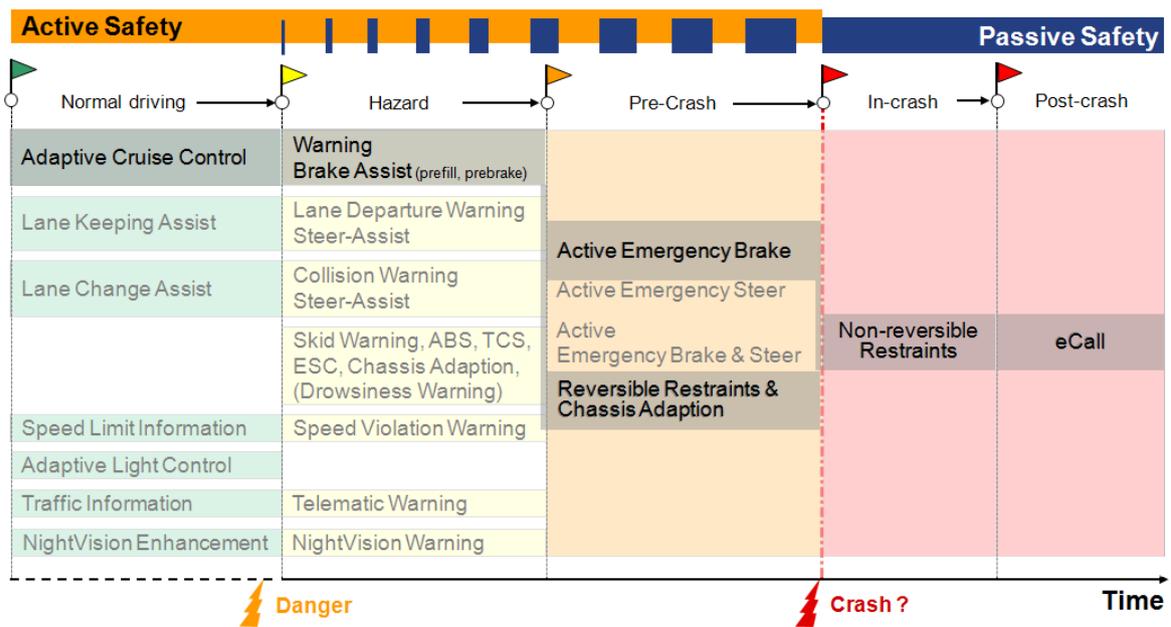


Bild 4: Driver Assistance and ContiGuard® Functions

TECHNISCHE HANDLUNGSSCHEMATA IN DER MENSCH-FAHRZEUG-INTERAKTION UND DAS ERFORDERNIS EINER PARALLELKOMMUNIKATION

Christoph Hubig

1 PROBLEMSTELLUNG

Philosophische Überlegungen zu „Kooperation“ und „Autonomie“ als Leitbilder für eine Zukunft der Fahrzeugführung widmen sich – wie es einer philosophischen Aufgabenstellung entspricht – der Diskussion und Analyse von Grundbegriffen. Die jeweilige Orientierung an Grundbegriffen hat Konsequenzen für die Gestaltung der Suchräume technischer- und sozialwissenschaftlicher Forschung. Ferner sind mit einer solchen Orientierung oftmals normative Ansprüche für die Technikgestaltung sowie Kriterien ihrer Beurteilung verbunden, deren Rechtfertigbarkeit zu untersuchen ist. Grundbegriffe werden dadurch zu Leitbildern als Verbindungen von „Wunschvisionen“ mit spezifischen „Machbarkeitsprojektionen“ (Dierkes & Marz 1994, 35-71). Keineswegs obliegt es der Philosophie, quasi als Schiedsrichter konkrete Entwicklungslinien zu bewerten. Solcherlei ist gemeinsame Aufgabe aller Beteiligten und Betroffenen und wird in Prozessen institutionalisierter Technikbewertung von Verbänden, beauftragten Instituten, dem Management, der technischen Überwachung, ferner durch Gestaltung von Richtlinien und Industrienormen sowie durch Rechtsetzung und Rechtsprechung einerseits und das Marktgeschehen andererseits einschließlich seiner Prägung durch einschlägige Initiativen und Verbände vorgenommen.

2 GRUNDBEGRIFFE

2.1 Kooperation und Autonomie

Jegliche Kooperation (oder Interaktion) unterscheidet sich von einer bloßen Operation (oder Aktion) dadurch, dass nicht bloß, wie bei letzterer, Erwartungen an die Realisierung eines konkreten Aktionszwecks oder eines allgemeinen Aktionsziels zugrunde liegen, sondern Erwartungen an die Erwartungen, die der Kooperations-/Interaktionspartner in dieser Hinsicht hat, gestellt werden. Solche wechselseitigen *Erwartungserwartungen* lassen sich beliebig potenzieren, wenn dieser Prozess nicht über explizite Konventionen zu einem Abschluss gebracht wird. Für die Fahrzeugführung als Interaktion zwischen Mensch und technischem System basieren im einfachen Falle die im System implementierten Erwartungen des Systems an die Erwartungen der Nutzer/innen auf Erwartungen, die die Entwickler/innen über das Nutzerverhalten einschließlich der damit verbundenen Erwartungen haben. Umgekehrt haben Nutzer/innen (ggf. implizit) Erwartungen darüber, was das „System“ (bzw. dessen Entwickler/in) von ihnen erwartet. Auf beiden Seiten können irrtümliche Erwartungen sowie Erwartungen über „irrtümliche“ Erwartungen vorliegen. Dann kann eine Seite versuchen, die andere „auszutricksen“, also, zu welchem Ziel auch immer, ihren Erwartungen nicht entsprechen (z.B. zur Gewährleistung von Sicherheit angesichts riskanter oder unerfahrener Fahrweise oder zur Kompensation angeblicher Systemdefizite durch Fahrer/innen). Um entsprechenden Irritationen vorzubeugen, können – im einfachen Fall – die die Interaktion leitenden Erwartungserwartungen schematisiert und die entsprechenden Schemata über Konventionen abgesichert werden. Davon hängen dann auch die

Festlegung der *Eingriffstiefe* (Mensch ins System oder System ins menschliche Disponieren) sowie die Gestaltung des *Interface* (Kommunikationskanäle, Signaltypen, Codes) ab.

Autonome Prozesse (wörtl. „selbstgesetzgebende“ Prozesse) in der Interaktion liegen dann vor, wenn die Erwartungserwartungen nicht über gemeinsame explizite Konventionen gebildet werden, sondern jeweils auf einer Seite selbstorganisiert, z.B. über adaptives Lernen. Hier kann zunächst eine relative Autonomie gegeben sein, die unter höherstufigen expliziten oder unterstellten Konventionen zwischen Entwickler/innen (System) und Nutzer/innen steht: Dies wären dann explizite Konventionen über eine Teilautonomie der System- oder Nutzerseite. Solche Konventionen sind auch maßgeblich für (Rest-)Verantwortungszuweisung und Haftung. Absolute Autonomie auf System- oder Menschseite führt – strenggenommen – zu einem Abbruch der Interaktion. Der Mensch unterläge dann den Direktiven des Systems ohne Interventionsmöglichkeit, oder er wäre, wie im Falle eines genialen Werkzeuggebrauchs, alleinbestimmend über alle Effekte des entsprechenden technischen Artefakts. Fahrassistenzsysteme in ihrer Entwicklung hin zu einer immer höheren Entlastung und Absicherung der Fahrzeugführer/innen liegen mithin in einem graduellen Aufstieg zunehmender Autonomisierung auf Systemseite, auf deren Aktualisierung in konkreten Situationen die Entwickler/innen, die die Strategien vorgeben und implementieren, ebenso nur mittelbar Einfluss nehmen wie die Fahrer/innen. Freilich sollte man im Auge behalten, dass „Autonomie“ von Systemen im Bereich der Aktion sich auf etwas anderes bezieht als in der Interaktion selbst: Selbsttätiges „Entscheiden“ aufgrund von sensordatenfusionsbasierter Situationserkennung (s.u.) unter gegebenen Regeln (z.B. Nutzerstereotypen, s. dazu u.) ist (graduelle) Autonomie im *Aktionsbereich*, wenn das System seine Erwartungen an den Erfolg der Aktion selbstorganisiert korrigiert. Findet eine solche Korrektur selbstorganisiert bezüglich der Nutzerstereotype statt, haben wir Autonomie in der *Interaktion* (z.B. bei der Berücksichtigung von Vigilanzphänomenen und schwellen, die zu einer Veränderung des Fahrmodus führen oder ggf. zu einer Rückdelegation von Assistenzleistungen an die Fahrzeugführer/innen, um sie „wach zu halten“ oder ggf. zu einer Korrektur falscher Erwartungen der Fahrzeugführer/innen an autonome Systemleistungen im Zuge eines Echtzeitdialogs).

2.2 Technische Handlungsschemata

In der Mensch-Fahrzeug-Interaktion spielen idealtypische Vorstellungen, die die Nutzer/innen über technische Vollzüge haben, eine zentrale Rolle (Hubig 1995, Kap. 3.3). Sie leiten ihre Erwartungen und ihre Erwartungserwartungen an die Systeme. Diese „subjektive“ Komponente wird zum objektiven Element der Interaktion. Deren Erfolg steht und fällt nicht bloß mit intelligenten Identifikations-, Entscheidungs- und Lernstrategien der Systeme bezüglich der Verkehrssituation und Verhaltensprofilen auf Nutzerseite, sondern auch und gerade mit der Einschätzung der Nutzer/innen bezüglich der Systemleistungen.

2.2.1 *Idealtypisches Schema des Gebrauchs von Werkzeugen*

Unter der Vorstellung klassischen Werkzeuggebrauchs (z.B. Hobel) wird die Souveränität des steuernden Subjekts bezüglich des Modus des Mitteleinsatzes bei der Verwirklichung des Zwecks unterstellt: *Direktes Feedback* über Zustand und Leistung des Mittels führt zu kontinuierlicher und variabler Intervention zum Zwecke der Optimierung des gewünschten Effekts. Eine Gestaltung der Schnittstelle, die sich an diesem Ideal orientiert, gewährleistet höchste Transparenz über Funk-

tionen und Funktionserfüllung der Aggregate (exemplarisch die zahlreichen Rundinstrumente der Sportwagen der 60er und 70er Jahre), größtmögliche Variabilität und Flexibilität der Interventionsmöglichkeiten und Erhalt der Eigenverantwortlichkeit des steuernden Subjekts. Elemente dieses Schemas finden sich heutzutage in der Gestaltung des Lenkprozesses oder im (simulierten) Druckwiderstand von Bremse und Gas. Grenzen einer solchen Modellierung der Interaktion liegen in der physischen und kognitiven Belastbarkeit der Fahrzeugführer/innen, der fahrerischen Qualität und den technischen Kenntnissen des Steuerungssubjekts. Irritationen und Fehlleistungen können entstehen, wenn unter der Illusion eines Werkzeuggebrauchs fixe Prozesse ausgelöst bzw. systemische Funktionen aktiviert werden (z.B. kontrolliert zu schleudern bei ESP).

2.2.2 *Idealtypisches Schema der Bedienung von Maschinen*

Maschinenbedienung ist charakterisiert durch die zweckmäßige Auslösung fester physiko-chemischer und/oder informationstechnisch algorithmisierter Prozesse. Die Wahl des Zwecks ist autonom, Effizienz und Effektivität des Prozesses oder von Teilprozessen wird unterstellt bzw. die Verantwortung hierfür an die Entwicklung und Fertigung delegiert (z.B. bei der Wahl von Wasch- und Fahrprogrammen). Rückmeldung wird lediglich über das Gelingen oder Misslingen der Zielrealisierung und das Funktionieren des Prozesses (ja/nein) erwartet. Unter diesem Ideal konzentriert sich das Mensch-System-Interface auf das einfache und übersichtliche Angebot von Wahlfunktionen und Steuerungsprogrammen. (Wohlgemerkt: Hier handelt es sich um eine Idealtypisierung; in der Realität sind die Übergänge zum Werkzeuggebrauch wie auch zur Nutzung teilautonomer Systeme – s.u. – fließend.) Grenzen einer solchen Modellierung unter der Vorstellung der Bedienung von Maschinen im Rahmen eines derartigen „Mensch-Maschine-Tandems“ (Müller-Merbach 1987, 6-8) liegen auf Nutzerseite in einer kognitiven Überforderung des Bedienersubjekts hinsichtlich der von Entwicklerseite antizipierten und unterstellten Mittel-Zweck-Schemata der Prozesse („Eignung“). Ferner wirken sich Erfahrungsverluste bezüglich der äußeren Bedingungen eines erfolgreichen Funktionierens der maschinell-geregelten Prozesse (z.B. des Straßenzustandes bei Tempomatnutzung, optimierter Federung, Geräuschdämmung) durch Wegfall von Informationskanälen für direktes Feedback negativ aus. *Bedienungsroutrinen* können dann leicht verwechselt werden mit notwendigen *Verfahrensroutrinen*, die die Bedingungen des Auslösens maschineller Prozesse bzw. der Delegation von Leistungen an die Maschine zu berücksichtigen haben. („Pudel in der Mikrowelle“, „Airbus-Landung auf vereister Landebahn in Warschau“.)

2.2.3 *Agieren in technischen Systemen*

Im Rahmen einer Nutzung automatisierter Systeme wird die Effektivität der Zielorientierung in Anpassung an die Systembedingungen überhaupt unterstellt, also die Gewährleistung zielführender Verfahrensroutrinen. Dazu muss die Systemarchitektur nicht bloß bezüglich der Berücksichtigung der äußeren variablen Randbedingungen (z.B. durch wissensbasierte Störgrößenaufschaltung) adäquat sein, sondern auch bezüglich des Erhalts der Systemfunktionalität (angesichts der Komplexität der Regelungsprozesse) sowie auch und gerade bezüglich variabler Nutzerprofile bzw. -stereotype. Nutzer/innen sehen sich selber als Variablen des Systems, die die Prozesse nur noch dahingehend zu prägen haben, dass sie sich den Systemerfordernissen optimal unterwerfen, um die Gratifikationen der Systemnutzung zu erhalten. Die Überprüfung der Bedingungen, unter denen das System seine Leistung erbringen kann, wird subjektiv ausgeblendet und dem System

selbst überantwortet. Das intelligente, vernetzte Fahrzeug wird als eines erachtet, das insofern kontextsensitiv ist, als es zu „Interpretationen“ fähig ist: Kontextrepräsentationen als *Situationen* erkennen. Dazu ist ein Know-how über pragmatische Hintergründe erforderlich, auf dessen Basis aus einem Spektrum möglicher Handlungszwecke der richtige zu identifizieren ist („aware context“ – „Tue das Offensichtliche“). Grenzen einer solchen Modellierung erscheinen im Blick auf Extremsituationen: Inwieweit kann dann – on demand – so weit Transparenz (wieder) hergestellt werden, dass übersichtlich durch Bedienungsroutrinen geführt wird (Maschinen-Schema) oder, z.B. beim Accident-Management, sogar wieder zum Werkzeuggebrauchsschema (mit dem Menschen als einzigem autonomen Subjekt) zurückgekehrt werden *kann*? Oder umgekehrt: In welchen Situationen müssen zwecks Risikominderung diese Optionen gerade ausgeschlossen werden? Kurz: Wie lassen sich Werkzeug-, Maschinen- und Systemschema optimal kombinieren, um eine jeweils situationsadäquate Interaktion zu gewährleisten?

3 ERWARTUNGSERWARTUNGEN AUF DER SEITE DER ENTWICKLER – NUTZERPROFIL ALS STEREOTYP

Der bisher skizzierten allgemeinen Problematik kann u.a. dadurch entsprochen werden, dass Nutzerprofile für die jeweilige Systemnutzung modelliert werden. Die Auffassung der Nutzer über das Funktionieren der Mensch-System-Interaktion wird dann Bestandteil des Nutzerprofils. Das Problem hierbei ist, dass den wenigsten Techniknutzern die sie leitenden Vorstellungen über ihre Techniknutzung vollständig bewusst sind. Das erschwert ihre Erhebung in expliziten, objektiv-hermeneutischen, dialogzentrierten Verfahren. Gleichwohl ist eine Typologisierung unumgänglich, wenn Sicherheit als 100 % - x in die Festlegung von Grenzkrisiken münden soll, deren Überschreitung dann folgendermaßen charakterisiert werden kann: als derjenige Risikobereich, in dem nach menschlichem Ermessen keine weiteren Abweichungen als die bekannten Abweichungen von typologisiertem Verhalten resp. einschlägigen Umständen vorhersehbar sind, nicht aber objektiv ausgeschlossen werden können (BVerfG, 8.8.1978, BVerfG 49, S. 89ff.; vgl. DIN 31004). Solche Abweichungen können dann als extrem irreguläres Nutzerverhalten oder als durch extrem selten eintretende Randbedingungen induziert („höhere Gewalt“) gefasst werden.

Problematisch erscheint auf den ersten Blick die Fassung des Nutzerprofils als „Stereotyp“. Dieses wird oftmals entweder zu vage (z.B. „collection of user properties that often co-occur“/Kobsa & Wahlster 1989, 2) oder geradezu – und ehrlich – zirkulär definiert („a body which contains information that is typically true of users to whom the stereotype applies“/Rich 1989, 36). Während im Rahmen der Erfassung von „user properties“ in der Regel statistische Verfahren eingesetzt werden, insbesondere im Rahmen der Unfalldaten-Erhebung, wobei diese statistische Methode durch die zwangsläufige Unsicherheit jeder Faktorenanalyse geprägt ist, wird in der zweiten – „ehrlich zirkulären“ – Fassung von „Stereotyp“ implizit zugestanden, dass die Typologisierung des entsprechenden Nutzerprofils durch eine Entscheidung („applies“) zustande kommt, wobei offen bleibt, wie im einzelnen diese Entscheidung zwischen Nutzern und Entwicklern abgestimmt ist. Im Rahmen der Diskussion um die Architektur von wissensbasierten Systemen, insbesondere Expertensystemen, hat sich in der Frühphase gezeigt, dass erhebliche Probleme dadurch entstanden sind, dass die Nutzerprofile seitens der Entwickler schlicht antizipiert wurden und an bestimmten Modellen rationalen Nutzerverhaltens orientiert waren, die oftmals nicht in der Realität ihre entsprechende Verankerung fanden. Dass solche Standards („psychological man“/ Jüttemann 1990) nicht

am grünen Tisch zu modellieren sind, ist inzwischen Common Sense. Dies gilt wohl auch für RAMSIS (rechnergestütztes anthropologisch-mathematisches Modell zur Insassensimulation bei Mercedes Benz).

Stattdessen ist gefordert, dass explizite Dialoge mit den potentiellen Nutzern vom Prototyping an bis zum Feldversuch – „Kundenerprobung“ mit entsprechender Gratifikation – erfolgen. Im Rahmen einer solchen dialogischen Erstellung von Nutzerprofilen findet eine „Parallelkommunikation“ über die Mensch-Maschine-„Kommunikation“ statt: Die wechselseitige Beeinflussung und Beeinflussbarkeit von Fahrer und System wird ihrerseits zum Thema und Gegenstand einer höherstufig bestimmten Beeinflussung, was ihre Gestaltungsstrategie betrifft. Hierbei steht das gesamte Spektrum der Methoden qualitativer Psychologie zur Verfügung, welches sich heuristisch an den Elementen der allgemeinen Handlungstheorie orientieren kann: Vorstellungen über Handlungsmittel und Handlungszwecke, leitende Werte, Zusammenfassung von Werten und Handlungsmodellen in Leitbildern, deren Derivate wie Wunschvisionen, Präferenzkonstellationen, Erwartungen über die Entwicklung von Interessenlagen (selbst vorgenommene „Akzeptanzprognosen“) u.v.a. mehr. Qualitativen Methoden wie der Repertory-Grid-Technik (Scheer & Catina 1993) kommt hierbei eine zentrale Rolle zu, weil sie den Aufbau von Positionierungen aus der Sicht der Beteiligten (Forscher, Entwickler, Techniknutzer) in ihrer jeweils eigenen Sprache erlaubt. Allerdings setzt diese Methodik voraus, dass die wesentlichen Determinanten des Handelns den Beteiligten selbst mehr oder weniger bewusst sind. Insofern greift diese Methode nur, wenn ein entsprechender Bewusstmachungsprozess mit psychologischer Unterstützung vorgeschaltet ist.

Eine dialogische Erstellung von Nutzerprofilen kann ferner durch entsprechende Systeme dahingehend unterstützt werden, dass der „Dialog“ implizit geführt wird, m.a.W. die Systemkomponenten lernfähig sind und sich in ihren Reaktionen an die Fahrermentalität und -fähigkeiten anpassen. Entsprechende „bedieneradaptive Systeme“ müssen nicht nur im Prozess selbst adaptiv sein, sondern haben sich – höherstufig – an die unterschiedlichen Fahrertypologien anzupassen. Das bedeutet, dass sich die Fahrer entweder selbst kenntlich machen müssen (durch die Wahl eines „Profils“) oder in ihrer unterschiedlichen Typik sofort vom System identifizierbar sind. Schwieriger gestaltet sich wohl diese höherstufige Adaption im Blick auf einen plötzlichen Wechsel der Verfasstheiten der Fahrer/innen. Daher ist jener implizite „Dialog“ im Rahmen der Mensch-System-Interaktion zu ergänzen durch einen „echten“, expliziten Dialog zwischen System und Nutzer/in während der Mensch-System-Interaktion, etwa in dem Sinne, dass das System befragt werden kann über Strategien des Systemverhaltens und ihre Aktualisierung in einer Situation, und umgekehrt das System Auskunft zu erhalten vermag über Nutzerzustände und -intentionen. Hierfür können mannigfache Informationskanäle (optisch, haptisch, akustisch) und unterschiedlichste Zeichentypen genutzt werden, im Idealfall die natürliche Sprache. Zur Perfektionierung einer solchen Parallelkommunikation während der Nutzung liegt jedoch noch ein weiter Weg vor uns.

4 EINBETTUNG DER PARALLELKOMMUNIKATION IN EINER RISIKO-, SICHERHEITS- UND FEHLERKULTUR

Zum Abgleich der Erwartungserwartungen in der Mensch-Fahrzeug-Kooperation wurden bisher zwei Ebenen einer Parallelkommunikation über diese Kooperation herausgestellt:

- Eine vorgelagerte wissenschaftlich unterstützte Kommunikation zwischen Entwicklern und Nutzern über Nutzungsmuster, Präferenzen, Fähigkeiten, Schwachstellen, Lernkurven und -erfolge, optimale Adaptionstrategien sowie Erwartungen an die Intelligenz von Systemen und Nutzer/innen.
- Eine Kommunikation während der Nutzung (on demand) zum Abbau von Irritationen und zum Aufweis von Grenzen der Systemleistung und Nutzerleistung, entweder implizit sensorbasiert oder explizit zeichen- bzw. sprachvermittelt. Auf diese Weise kann vermieden werden, dass autonome Systemleistungen angesichts von Veränderungen der Systemumwelt von den Nutzer/innen falsch eingeschätzt, über- oder unterschätzt werden oder dass das System überraschend Systemleistungen an die Fahrzeugführer zurückdelegiert oder gar havariert. Ferner kann hierdurch falschen Interpretationen von Situationen durch das System oder seine telematische Vernetzung vorgebeugt oder es können diese korrigiert werden.

Adaptive, intelligente Systeme zeitigen jedoch im Zuge ihrer Leistungserbringung noch weitere Effekte, die eine *dritte Ebene* (oder Strategie) der Parallelkommunikation erforderlich machen: Bei adaptiv-optimierter, individuell zugeschnittener Systemleistung, also einer Konstellation weg von Standards, Systemzwängen und schematisierten Prozessen findet eine (willkommene) „Deinstitutionalisierung“ statt. Die Systemleistungen einschließlich der Leistungen ihrer automatisierten Koordination (über Telematik) sind punktuell und situativ differenziert, nicht schematisch wiederkehrend, sondern jeweils angepasst. Das erschwert, sich bei Irritationen zu diesen Leistungen „in ein Verhältnis zu setzen“, sie zu beurteilen und zu bewerten: Ist der Effekt Ergebnis einer „anonymen Vergemeinschaftung“ durch telematische Koordination, unter welchen Kriterien, aufgrund welcher Interpretationsstrategie von Sensordaten? Ist er Reaktion auf fahrerisches Unvermögen oder Fehlverhalten? Ist er bedingt durch eine spezifische Auslegung des Systems, die es für mich herausgebildet hat, oder durch einen plötzlichen Wechsel von Umweltbedingungen? Es entsteht eine kognitive Unsicherheit bezüglich sogenannter „Abduktionen“ auf Gründe und Ursachen.

Ferner können Unsicherheiten bezüglich der Identität, dem Selbstbewusstsein der Fahrzeugführer/innen über ihre fahrerische Kompetenz entstehen. Kompetenzen entwickeln und erhalten sich bekanntlich nur im Abbau und in der Arbeit an Widerständigkeit. Vollkommene Entlastung und Delegation der Erbringung von Leistungen an Systeme führt zum Abbau von Kompetenzen. Daher wird – jenseits einer „Rationalität“ optimaler Zweckrationalisierung – Widerständigkeit oftmals als Gratifikation empfunden, um über entsprechende Leistungsanforderungen in abwechselnden Kontexten Sensibilität, Kreativität (Spieltrieb!), Reaktionsfähigkeit, ästhetische Anmutung und Entscheidungssouveränität zu trainieren (Korff 2000, T4; Tenbruck 1972, 144ff.). Die Rationalität dieser „Irrationalität“ ist das Anliegen einer Selbstvergewisserung und Weiterentwicklung von Kompetenzen.

Wird nun solcherlei erschwert, müssen kompensatorisch andere Ebenen der Bilanzierung, des Erfahrungsaustausches, der Bewertung eingerichtet werden, um eine Beurteilung/Bewertung und eine Selbstverortung in Ansehung von Entwick-

lungstendenzen und ihren Auswirkungen vorzunehmen. Zu diesem Zweck sind gesellschaftliche Foren eingerichtet oder wären einzurichten (z.B. im www), auf denen die Deinstitutionalisierung und Vereinzelnung der Nutzer/innen kompensiert werden kann, indem Bedienungs- und Verfahrensroutinen, Effekte anonymer Vergemeinschaftung, Fehlertypen und mögliche Kompetenzverluste bilanziert werden können. Auf diese Weise kann man aus Fehlern und Misserfolgserlebnissen anderer (Entwickler/innen und Nutzer/innen) lernen und unterliegt nicht mehr der Kontingenz bisherigen Gelingens; man kann sich im Vergleich zu anderen „verorten“, Systemleistungen und eigene Leistungen bilanzieren angesichts fehlender vorgegebener Maßstäbe, die in standardisierten Systemen und Produkten als Forderungen an die Nutzung implementiert oder als standardisiertes Fahrerprofil lern- und prüfbar waren (oder immer noch sind). Eine solche dritte Ebene der Parallelkommunikation ist die jener (wiederherzustellenden) allgemeinen Risiko-, Sicherheits- und Fehlerkultur. Hier sind subjektive Risikoeinschätzungen diskutierbar, Risikoinventare (Absicherungen) werden bewertet, Sicherheitsstandards erwogen („Wie sicher ist sicher genug? – oder zu viel?“), Leitbilder des Verkehrs und der Mobilität werden thematisiert und mit Blick auf die Erfahrungen der Vergangenheit werden Forderungen an den Verkehr der Zukunft artikulierbar. Bilden sich nicht mehr wie bisher Traditionen heraus durch ein bewusstes „Sich-ins-Verhältnis-Setzen“ zu institutionalisierten Regeln und Schemata, und würden sich alternativ Traditionen sonst unbewusst-selbstorganisiert als „Trends“ und „Moden“ etablieren, so würden sich auf solchen Foren einer „Ersatz-Institutionalisierung“ im intersubjektiven Abgleich wieder *bewusst* Traditionen bilden und fortschreiben, die bestimmte Strategien der Mensch-Fahrzeug-Kooperation unter Nutzung teilautonomer Systeme favorisieren und andere kritisch relativieren.

LITERATUR

Dierkes, Meinolf & Marz, Lutz: Leitbildprägung und Leitbildgestaltung, in: Bechmann, Gotthard/Pettermann, Thomas (Hg.), Interdisziplinäre Technikforschung, Frankfurt/M., Campus 1994, 5-71.

Hubig, Christoph: Technik und Wissenschaftsethik, Berlin/Heidelberg/New York, Springer, 2. Aufl. 1995.

Hubig, Christoph: Die Kunst des Möglichen II. Ethik der Technik als provisorische Moral, Bielefeld, Transkript 2007.

Hubig, Christoph & Koslowski, Peter (Hg.): Maschinen, die unsere Brüder werden, München, Fink 2008.

Jüttemann, Gerd (Hg.): Komparative Kasuistik, Heidelberg, Springer 1990.

Kobsa, Alfred & Wahlster, Wolfgang (Hg.): User Models in Dialog Systems, Berlin/Heidelberg/New York, Springer 1989.

Korff, Friedrich W.: Vom Vergnügen, ein Fahrzeug zu lenken und von der Gefahr es zu verlernen, in: FAZ, 4.2.2000, T4.

Müller-Merbach, Heiner: Künstliche Intelligenz – eine Sackgasse?, Plädoyer für ein Mensch-Maschine-Tandem, in: technologie & management 36/4, 1987, 6-8.

Rich, Elaine: Stereotypes and User Modelling, in: Kobsa, Alfred/Wahlster, Wolfgang (Hg.), User Models in Dialog Systems, Berlin/Heidelberg/New York, Springer 1989, 32-49.

Scheer, Jörn W. & Catina, Ana: Einführung in die Repertory Grid-Technik. Grundlagen und Methoden, Göttingen, Huber 1993.

Tenbruck, Friedrich H.: Zur Kritik der planenden Vernunft, Freiburg/München, Alber 1972.

DIE FREIGABEFALLE DES AUTONOMEN FAHRENS

Hermann Winner, Alexander Weitzel

ZUSAMMENFASSUNG

Die Forschung an vollautomatischen, so genannten autonomen Fahrzeugen ist in den letzten Jahren schnell vorangeschritten, so dass viele Experten eine Markteinführung schon in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren erwarten. Allerdings ist neben bestehenden technischen Herausforderungen im weiteren Verlauf der Entwicklung die unabdingbare Frage zu beantworten, wie die autonomen Fahrzeuge für den öffentlichen Straßenverkehr freigegeben und zugelassen werden können. Diese Frage könnte ein möglicher „Showstopper“ für die weitere Entwicklung werden. Es werden bestehende Freigabeansätze gezeigt und auf ihre Eignung für autonome Fahrzeuge geprüft. Außerdem werden mögliche Lösungen angedeutet, die über existierende Freigabestrategien hinausgehen¹.

1 EINLEITUNG

Erste Assistenzfunktionen entstanden bereits in der Frühzeit der Automobilentwicklung, doch in der aktuell zu beobachtenden Häufung und Qualität sind sie eine noch junge Erscheinung. Systeme, die heute üblicherweise mit dem Begriff Fahrerassistenzsysteme in Verbindung gebracht werden, gibt es seit etwa 20 Jahren, und neue Innovationen kommen in immer kürzeren Abständen auf den Markt. Der Markterfolg, insbesondere der Assistenzsysteme mit Umfelderkennung, ist bislang aber eher mäßig, und die Hersteller sehen sich der zweifachen Herausforderung einer kontinuierlichen Verbesserung und gleichzeitiger Kostensenkung gegenüber. Ein verbesserter Markterfolg ist jedoch nicht nur aus Sicht der Hersteller wünschenswert, sondern auch für die Verbesserung der aktiven Sicherheit von größter Bedeutung. Gesetzliche Initiativen, wie von der EU beabsichtigt (Europäische Charta; White Paper, 2001), können zu einem erheblichen Stückzahlwachstum und damit auch zur Kostensenkung der Systeme beitragen. Sie unterstützen darüber hinaus durch die mit der Gesetzgebung verbundene öffentliche Wirkung die Wahrnehmung und Bekanntheit dieser Systeme. Damit ist der Grundstein gelegt für den weiteren Ausbau der Systeme bis hin zum vollautomatischen Fahren mit der auf die Maschine übertragenen Entscheidungsautonomie.

2 AUTONOMES FAHREN

Unter autonomem Fahren wird die Übergabe der Fahrzeugführung an die Maschine, also an einen Fahrroboter verstanden. Die Übertragung der Führungsfunktion kann örtlich oder zeitlich begrenzt sein und eventuell durch den Fahrer unterbrochen werden. Grundsätzlich ist das autonome Fahrzeug in der Lage, ohne Mitwirken eines Menschen die Entscheidung über den Weg, die Bahn und die Fahrdynamikeingriffe zu fällen. An eine solche Funktion werden sowohl technisch als auch gesellschaftlich bestimmte Anforderungen gestellt. Nach den heute und voraussichtlich auch in Zukunft gültigen Rechtsgrundsätzen darf von einem autonomen Fahrzeug keine größere Gefahr ausgehen als von einem von Menschen ge-

¹ Der vorliegende Artikel basiert auf (Winner et. al.2009)

steuerten Fahrzeug. Dies gilt für alle am Straßenverkehr beteiligten Gruppen und für alle Einsatzbereiche des autonomen Fahrens.

Die Fortschritte bei der Umfelderkennung und den Fahrzeugführungsalgorithmen in den letzten 20 Jahren haben die Öffentlichkeit beeindruckt. Insbesondere die DARPA Urban Challenge im Jahre 2007 hat vielen Entwicklern autonomer Fahrzeuge großen Auftrieb beschert. 2010 absolvierte bereits ein autonomes Fahrzeug eine Fahrt von Belgrad nach Shanghai. In Braunschweig wird im Projekt Stadtpilot an der autonomen Fahrt auf dem Innenstadtring gearbeitet (Wille et. al. 2010) (s. Bild 1).



Bild 1: Forschungsfahrzeug „Leonie“ [Quelle: TU Braunschweig]

Ebenfalls 2010 wurde bekannt, dass Google im „Self-Driving Car“-Projekt bereits über 200.000 km auf vielbefahrenen Straßen aufgezeichnet und über 1.500 km ohne menschliche Kontrolle zurückgelegt hat. All dies zeigt, in welcher Geschwindigkeit die Entwicklung voranschreitet. Der Öffentlichkeit wurde damit der Eindruck vermittelt, dass die Markteinführung autonomer Fahrzeuge nicht mehr allzu lange auf sich warten lassen würde. Dies wird durch Ankündigungen einzelner Fahrzeughersteller, bis 2020 würden autonome Fahrzeuge serienreif sein, gestützt. Tatsächlich erscheint dies auch plausibel, wenn man die Entwicklungsgeschwindigkeit der letzten Jahre heranzieht.

3 PROBLEMFELD ZULASSUNG

Bei diesem Optimismus wird aber übersehen, dass der kritische Pfad der Markteinführung die Zulassung zum Straßenverkehr ist. Dabei ist nicht einmal die Einschränkung durch das Wiener Übereinkommen das Problem, zumal längst nicht alle Länder es unterzeichnet haben. Eine Novellierung als Anpassung an die heutigen technischen Möglichkeiten wird hier zur Vereinfachung der Betrachtung optimistischweise angenommen. Weiterhin wird angenommen, dass eine Begrenzung der Hersteller- und Betreiberhaftung analog zum Warschauer oder Montrealer Übereinkommen für die Luftfahrt geregelt werden kann, womit überhaupt erst die Basis für eine Vermarktung erreicht wird. Allerdings werden die potenziellen neuen Regelungen für die Zulassung nicht die heute gültigen Rechtsgrundsätze der westlichen Welt verletzen. Demnach darf gemäß (Homann 2005) das erwartete Risiko der betroffenen Verkehrsteilnehmer durch autonome Fahrzeuge nicht höher sein als das Vergleichsrisiko des jeweiligen Istzustands. Als betroffene Ver-

kehrsteilnehmer gelten nicht nur die Fahrzeuginsassen des autonomen Fahrzeugs, sondern auch alle sich in der Nähe des Fahrzeugs befindlichen Personen, also Insassen entgegenkommender, vorausfahrender, hinterherfahrender, überholter oder überholender Fahrzeuge. Hinzu kommen auf Landstraßen und in Städten Rad- und Mofafahrer oder Fußgänger und selten auftretende Verkehrsteilnehmer, wie z. B. landwirtschaftliche Fahrzeuge oder Viehtreiber mit ihren Kuh- oder Schafherden. Für keine der genannten Gruppen darf das Risiko durch den Einsatz der autonomen Fahrzeuge steigen, oder anders ausgedrückt: Vor einer Zulassung muss mit anerkannten Methoden abgesichert sein, dass das Risiko für keine der genannten Gruppen größer ist als das zum Zeitpunkt der Einführung bekannte Risikoniveau. Diese Tatsache stellt die wahre Herausforderung für einen Einsatz autonomer Fahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr dar. Dies mag zunächst überraschen, da dieser Grundsatz auch für die heutigen Fahrerassistenzsysteme in gleicher Weise gilt, denn für ein automatisch agierendes Assistenzsystem wie ACC (Adaptive Cruise Control) oder LKS (Lane Keeping Support) muss ebenfalls abgesichert werden, dass der Fahrer es jederzeit überstimmen kann. Ist dies der Fall, wird davon ausgegangen, dass sich die Fahrfertigkeit im Vergleich zum nichtassistierten Fahren nicht verschlechtert, sondern sich durch die Entlastungs- und Warneffekte deutlich verbessert. Heutige FAS-Systemansätze verlassen sich demnach auf den Fahrer als Entscheidungsinstanz und umgehen so die Diskussion, ob das System „besser“ fährt als ein menschlicher Fahrer. Allein bei Eingriffen von Collision Mitigation Systemen kann das „Sicherheitsnetz Fahrer“ nicht mehr herangezogen werden. Dieser Einsatzbereich ist allerdings auf das äußerst seltene und genau definierte Ausnahmeszenario der Vorkollisionsphase zugeschnitten. Eine robuste vollständige Umfelderkennung und -interpretation ist für das heutige Technikniveau ebenso eine Herausforderung, wie der Anspruch, in jeder Situation wenig riskante Entscheidungen zu treffen. Im Vergleich dazu ist die Erkennung der Vorkollisionsphase äußerst einfach, da nur der Bereich innerhalb von ca. einer Sekunde TTC relevant für die Entscheidung ist und der Nutzfall nur in der Größenordnung von einmal pro einer Million Fahrkilometer auftritt. Collision Mitigation Systeme sind damit komplementär zu den Fahrfähigkeiten entwickelt, greifen also erst ein, wenn der Fahrer in einer seltenen Situation nicht angemessen reagiert.

Beim autonomen Fahren kann der Fahrer als Rückfall- und Überwachungsebene als praktisch nicht realisierbar angesehen werden. Es ist ja gerade der angestrebte Funktionsnutzen des autonomen Fahrens, sich anderen Beschäftigungen widmen zu können und das System nicht mehr überwachen zu müssen. Der Sicherheitsnachweis für das autonome Fahren kann also nicht auf Basis der bisher üblichen Strategien erfolgen.

Auch das Dauerlaufftesten bietet keinen Ausweg. Der Einfachheit halber wird ein auf die Autobahnfahrt beschränktes autonomes Fahrzeug angenommen, wie es als erste marktfähige Variante des autonomen Fahrens vorstellbar ist, weil die Funktionsanforderungen im Gegensatz zu Stadt- und Landstraßenszenarien vergleichsweise einfach zu definieren sind. Für einen Sicherheitsnachweis ist mindestens zu belegen, dass mit dem autonomen Fahrzeug die Anzahl schwerer Unfälle geringer ist als in der besten relevanten Vergleichsgruppe. Ohne eine weitere Unterteilung in Fahrerrisikogruppen vorzunehmen ergibt sich, dass auf einer deutschen Autobahn nur etwa alle 8 Millionen Fahrkilometer ein schwerer Unfall geschieht. Geht man nun von einem System aus, das im Vergleich zu einem menschlichen Fahrer mit einem nur um die Hälfte reduzierten Unfallrisiko behaftet ist – erstrebenswert ist eine weit größere Risikoreduktion – so lässt sich unter Verwen-

dung der Poisson-Verteilung eine erforderliche Testlänge vom Zehnfachen dieser Strecke ableiten, wenn auf einem Signifikanzniveau von 5 % nachgewiesen werden soll, dass das System risikoärmer fährt. Die erforderliche Testlänge betrage damit circa 100 Millionen Fahrkilometer. Die Kosten für einen solchen Test würden mehrere 100 Millionen Euro belaufen.

Mag dieser Aufwand für ein erstes System unter Umständen noch vertretbar und bezahlbar sein, so ist doch zu bedenken, dass dieser Test nach jeder Systemmodifikation erneut durchlaufen werden müsste, was offensichtlich ökonomisch nicht vertretbar ist. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Referenzwerte für das Unfallrisiko durch die Fortschritte der aktiven Sicherheit, die in den nächsten Jahrzehnten wirksam werden, sich weiter verringern werden, wodurch sich die Testkosten wiederum weiter erhöhen.

Dieses Testdilemma könnte überwunden werden, indem eine drastische Kürzung der erforderlichen Strecke erreicht wird. Bei Komponentenhaltbarkeitstests ist es üblich, zum einen aus dem Betriebsbelastungskollektiv diejenigen Teile zu selektieren, die die Komponente relevant beanspruchen, und durch das Weglassen der irrelevanten Anteile eine erhebliche Verkürzung zu ermöglichen. Zum anderen wird auf Beschleunigungsmethoden zurückgegriffen, d. h. höhere Lasten oder stärker beanspruchende Umgebungsbedingungen zur Belastung des Bauteils angewendet. Eine Adaption dieser Strategien auf den Sicherheitsnachweis für das autonome Fahren scheint allerdings nicht möglich, da Beschleunigungsmechanismen nicht bekannt sind und zudem die Ausfallmechanismen nicht auf einem Ausfall der Funktion beruhen, sondern auf falschen Entscheidungen, die zu Unfällen führen. Auch eine Systemsimulation, sei es als Software-in-the-Loop (SIL) oder als Hardware-in-the-Loop (HIL) zur Absicherung der Funktion ist denkbar und für die Entwicklung unverzichtbar. Es wird jedoch nicht annähernd möglich sein, die Vielfalt der im Straßenverkehr möglichen Varianten darzustellen, die einer Fahrstrecke von mehreren Millionen Kilometern entspricht und für alle Nutzergruppen repräsentativ ist.

Diese Argumente lassen den Schluss zu, dass mit den bekannten Testverfahren zur Risikomessung keine ökonomisch vertretbare Entwicklung bzw. Zulassung von autonomen Fahrzeugen möglich ist. Dieser Aspekt, im Weiteren als Testdilemma bezeichnet, hat durchaus das Potenzial für einen „Showstopper“.

4 AUSWEG AUS DEM TESTDILEMMA

Die letzte Überlegung zum Testdilemma ist es aber, die einen Ausweg aufzeigt: Selbst wenn man alle relevanten Zustände für ein Testprogramm darstellen könnte, so wäre in manchen Situationen nicht mehr entscheidbar, welche Systemreaktion richtig oder falsch ist, da diese Frage nicht vom Ego-System allein beantwortet werden kann. Insbesondere wenn die Aktionen und Reaktionen anderer Verkehrsteilnehmer antizipiert werden sollen, kann eine hundertprozentig richtige Annahme nicht erwartet werden, da über die Reaktionsmodelle der einzelnen Verkehrspartner keine individuelle und momentane Korrektheit erreicht werden kann. Die Systemreaktionen nehmen somit probabilistischen Charakter an, und die Bewertung, in welchem Maße die aktuelle Entscheidung korrekt sein mag, ist zeitabhängig und wird vermutlich nur in einfachen Situationen bestimmbar sein. Alle anderen in dieser bestimmten Situation möglichen Aktionen und Reaktionen werden sich in dieser Weise nirgendwo und niemals wiederholen, und selbst die Schlussfolgerung, ob die Reaktion richtig war, lässt sich nicht aus dem Ergebnis der Situa-

tion ableiten. Selbst wenn im Anschluss an eine Reaktion ein Unfall passiert, so kann die Reaktion dennoch im Sinne einer Schadensminderung richtig gewesen sein. Genauso ist es möglich, dass eine falsche Entscheidung nicht negativ auffällt und nicht zum Unfall führt, da die Umgebungskonstellationen günstig sind. Damit stellt sich jedoch die Frage, was dem bisherigen Denken mit „richtig oder falsch“ entgegengesetzt werden kann. Die Antwort ist so einfach im Prinzip, wie sie schwierig in der Umsetzung ist: Der Fahrroboter muss die Fahraufgabe „richtiger“ ausführen als die menschliche Vergleichsgruppe, z.B. erfahrene und sich auf der Höhe ihrer Gesundheit befindliche Vielfahrer. Dazu muss die Perzeptions-, Kognitions- und Aktionsleistung des Fahrroboters mindestens so hoch sein wie die der Vergleichsgruppe. Kann man diese Leistungsfähigkeit messen, so lässt sich der Fahrroboter freigeben.

Eine allgemeine Metrik zum Ausdrücken der Perzeptions-, Kognitions- und Aktionsleistungsfähigkeit von Robotern und Menschen ist bisher nicht bekannt. Ein Beispiel findet man jedoch beim Schach- und Go-Spiel, einem Bereich, in dem der Computer die Leistungsfähigkeit des Menschen erreicht und zum Teil schon übertrifft. Zwar ist das Schachspiel grundsätzlich nicht probabilistisch, aber durch die schiere Zahl der möglichen Zugkombinationen nicht in endlicher Zeit berechenbar, wodurch der Schachcomputer nach heuristischen Algorithmen Entscheidungen treffen muss, die zum Zeitpunkt der Entscheidung nicht als richtig oder falsch bewertet werden können. Wenn er etwas „richtiger“ entscheidet, kann aber erwartet werden, dass er mehr Partien gewinnen wird als ein menschlicher Spieler. Diese erwartete Spielstärke eines Go- oder Schachspielers wird anhand seiner ELO-Zahl (offiziell: „FIDE rating“) ausgedrückt. Sie beschreibt die erwarteten Punktezahlen einer Partie und ist Teil eines von Arpad Elo entwickelten objektiven Wertungssystems. Einschränkend für dieses Beispiel ist zu nennen, dass zwar sowohl Computer als auch menschliche Spieler eine ELO Zahl erhalten, diese aber jeweils nur aus Partien zwischen gleichen Kategorien ermittelt werden (Mensch vs. Mensch bzw. Computer vs. Computer). Trotzdem lässt sich festhalten, dass für einen kleinen Bereich damit zwei der Voraussetzungen erfüllt sind, die an eine Metrik zur Freigabe von Roboterfunktionen gestellt werden: Zum einen ist mit der ELO-Skala ein (zumindest theoretischer) Vergleich der menschlichen Leistungsfähigkeit mit der des Roboters möglich, zum anderen erfolgt mit dieser Metrik eine absolute Klassifizierung anhand einer Vergleichsgruppe, da mit der ELO-Zahl beispielsweise zugeordnet werden kann, ob jemand Amateur oder Großmeister ist. Gäbe es eine solche Metrik auch für Fahrroboter, so könnte in Übereinstimmung mit der ISO 26262 für bestimmte Automatisierungsgrade eine definierte Fähigkeitsklasse festgelegt werden.

Allerdings kann dieser Ansatz nicht direkt auf den Fahrroboter übertragen werden, da der ELO-Wert über den direkten Vergleich, sprich über die Gewinn-/ Verlustbilanz von Gegnern einer gegebenen Stärke, ermittelt wird. Weiterhin wird nur die kognitive Leistung gemessen; dem Schachcomputer wird die Stellung der Schachfiguren korrekt und vollständig übermittelt, während im Straßenverkehr weder dem Fahrer noch dem Fahrroboter alle Informationen in dieser Weise zur Verfügung stehen. Für ein technisches System wie einen Fahrroboter wäre daher die Gesamtaufgabe in drei Domänen aufzuteilen und mit jeweils einer gesonderten Metrik zu belegen, vgl. Bild 2.

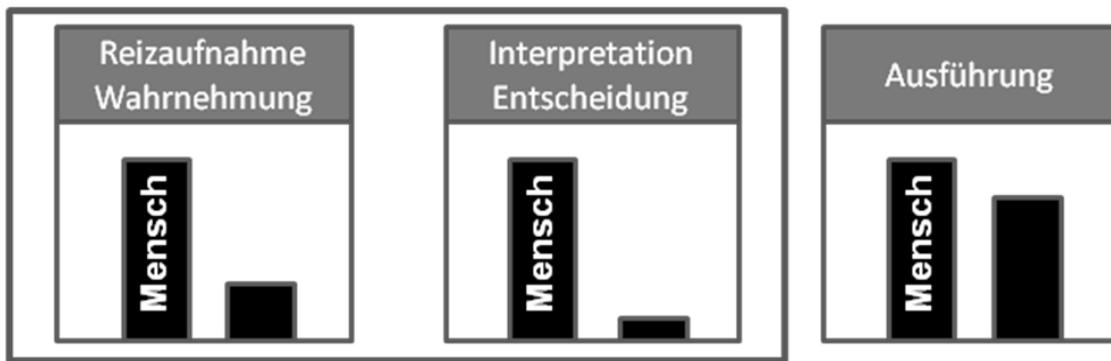


Bild 2: Verarbeitungsprozess in drei Domänen mit qualitativer Bewertung der heutigen maschinellen Fahrfertigkeiten

Wie aktuell in Fahrzeugen vorhandene Aktorsysteme zeigen, reichen die maschinell möglichen Ausführungsfähigkeiten schon sehr nahe an die menschlichen Fähigkeiten heran. In Teilbereichen gehen sie bereits darüber hinaus, wie z. B. bei Einzelradregelungen oder Hinterachsverstellung. Wie in Bild 2 illustriert, hat auch die maschinelle Perzeption schon eine bemerkenswerte Leistungsfähigkeit erreicht, wobei die Wahrnehmung sehr komplexer Situationen, z. B. dem Verkehr um den Triumphbogen in Paris, noch nicht gelingt. Fahrer, die nicht in Paris heimisch sind, fühlen sich allerdings in dieser Situation möglicherweise ebenfalls überfordert und an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit. Gleichwohl zeigt die verhältnismäßig geringe Anzahl an Unfällen, die geschehen – harmlose Blechschäden ausgenommen – dass der Mensch auch solchen Situationen gewachsen ist. Vergleichsweise gering ist momentan noch die maschinelle Kognitionsleistung, insbesondere was die Entscheidungsflexibilität angeht. Vor allem erscheint es noch sehr schwierig, den Lernprozess des Menschen nachzubilden. Diesen Lernprozess erlebt jeder Autofahrer nach seiner Fahrausbildung, und ohne diese Erweiterung der Fahrfertigkeiten wären wir sicherlich einem höheren Straßenverkehrsrisiko ausgesetzt. Die Aufteilung in die drei oben gezeigten Domänen hat den Vorteil einer Entkopplung der Bewertung: Eine Änderung im Sensorbereich kann allein auf der Perzeptionsmetrik zertifiziert werden, ohne dass es erforderlich wäre, die anderen zwingend mit zu zertifizieren. Aus gleichem Grunde kommt es zu einer entsprechenden Modularisierung bei der Entwicklung der autonomen Fahrzeuge in der Urban Challenge (Langer et. al. 2008; Darms et. al. 2008).

Zurückkehrend zu den obigen Überlegungen, dass nur dem Menschen im Betriebsbereich überlegene Fahrroboter eine Chance auf Zulassung besitzen, sind zwei Schlussfolgerungen zu ziehen: Die Fahrroboter haben noch ein großes Stück der Entwicklung vor sich, doch unter der Voraussetzung einer anerkannten Metrik für die Fahrleistungsfähigkeit können sie dem Menschen überlegen werden. Diese Metrik, die durchaus sehr spezifisch für bestimmte Einsatzbereiche sein kann, ist unabdingbare Voraussetzung für eine zielgerichtete Entwicklung der autonomen Funktionen, und ihre Entwicklung stellt aus Sicht der Autoren den kritischen Pfad der Entwicklung des autonomen Fahrzeugs dar:

Solange keine Metrik in allgemein akzeptierter Form existiert, wird kein autonomes Fahrzeug für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen.

5 MÖGLICHER WEG ZU EINER METRIK

Die Anforderungen an eine solche Metrik lauten:

Die Metrik ist valide für den jeweiligen Einsatzbereich

Diese Anforderung lässt sich im Grunde nicht erreichen, denn erst mit dem Einsatz der Metrik werden die benötigten Fähigkeiten vollständig klar. Allerdings trifft dies auf heutige Entwicklungen ebenso zu. Hier hilft man sich mit Übertragungen aus ähnlichen Bereichen, doch dieser Lösungsweg bedeutet gleichzeitig, dass viele Zwischenstufen auf dem Weg zum autonomen Fahren eingeführt werden müssen. Nur wenn genügend Erfahrungen mit ähnlichen Systemen vorliegen, lässt sich die Metrik eichen und mit vertretbarem Restrisiko auf die nächste Erweiterung übertragen. Die Validierungsstrategie bestimmt daher die Migrationsstrategie und nicht die Entwicklung der technisch möglichen Funktionen.

Die Metrik erlaubt einen Vergleich der Fahrfähigkeiten Mensch/ Roboter

Dies ist vielleicht die am schwierigsten umzusetzende Anforderung, denn sie setzt voraus, dass menschliche Fähigkeiten gemessen und in einer der Fahraufgabe angemessenen Weise gewichtet werden. Eine Aufteilung auf die drei Domänen wird zwar in arbeitswissenschaftlichen Modellen durchgeführt, allerdings lässt sich die Perzeptionsleistung nicht von der Kognitionsleistung trennen. Bei der Ausführungsleistung ist es dagegen möglich, auch wenn durch Rückwirkungen eine Überkopplung auftreten kann. Aus diesen Gründen bleibt zumindest bis zur Etablierung der Metriken nichts anderes übrig, als die kombinierte Leistung von Perzeption und Kognition von Mensch und Maschine zu vergleichen. Sind die relevanten Niveaus für eine Einstufung erst einmal etabliert, so lässt sich die Aufteilung von Perzeptions- und Kognitionsleistung bei Maschinen separat betrachten.

Die Metrik lässt eindeutige Klassenstufen zu

Diese Anforderung wird für eine Zertifizierung benötigt, damit analog zu Safety Integrity Levels (ISO26262) eine Einstufung erfolgen kann. Hierfür sind geeignete Grenzwerte und Gewichtungen einzelner Merkmale zu erarbeiten.

Die Metrik verwendet ökonomisch durchführbare Testverfahren zur Einstufung

Gerade die Unbezahlbarkeit war, wie oben geschildert, der Grund für die Abkehr von der etablierten Freigabemethodik. Das neue Verfahren muss daher deutlich kostengünstiger sein. Testparcours mit hohem Schwierigkeitsgrad mögen hier einen Ausweg bieten, wobei die Schwierigkeiten repräsentativ für den Einsatzbereich sein müssen.

Die Metrik darf selbst keine Handlungsmuster favorisieren, sondern gerade die Fähigkeit ermitteln, in unbekanntem Zuständen angemessen zu agieren

Hiermit ist gemeint, dass kein Training auf die Testmuster erfolgen darf, weil dies zu einer Minderung der Handlungsflexibilität führen würde. Dies ist auf jeden Fall zu verhindern, da gerade diese Flexibilität überhaupt die Extrapolation von einem Testparcours auf den gesamten Einsatzbereich erlaubt.

Alle genannten Anforderungen sind sehr anspruchsvoll. Da aus Sicht der Autoren aber nur mit einer solchen Metrik die Einführung von autonomen Fahrzeugen in den öffentlichen Straßenverkehr möglich ist, wird ihre Entwicklung Zeitpunkt und Strategie der Einführung bestimmen. Die noch zu leistenden Vorarbeiten haben durchaus die Größenordnung des Genom-Projekts und werden viele hundert Personenjahre an Forschung beanspruchen. Die Autoren halten eine Neuausrichtung der Computer-Intelligenz-Forschung für erforderlich, da die aktuellen Forschungsaktivitäten diese Thematik weitgehend ignorieren.

6 EVOLUTION DER FAHRERASSISTENZSYSTEME

Eine der Anforderungen an eine Metrik für Fahrfähigkeit ist die Validität. Nur durch eine Näherung lässt sich die Validitätsanforderung erfüllen, nämlich durch eine Evolution in kleinen Schritten, so kleine, dass die Validitätsextrapolation von einem zum nächsten Schritt mit einem gesellschaftlich akzeptablen Risiko erfolgen kann. Eine solche Evolutionsroadmap zeigt Bild 3. Auf der Ordinate ist eine Evolution wie auf einem Zeitstrahl aufgetragen, allerdings hat die Abszisse bestenfalls ordinalen Charakter und ist ungeeignet, Jahreszahlen für die Einführung der Systeme abzuschätzen.

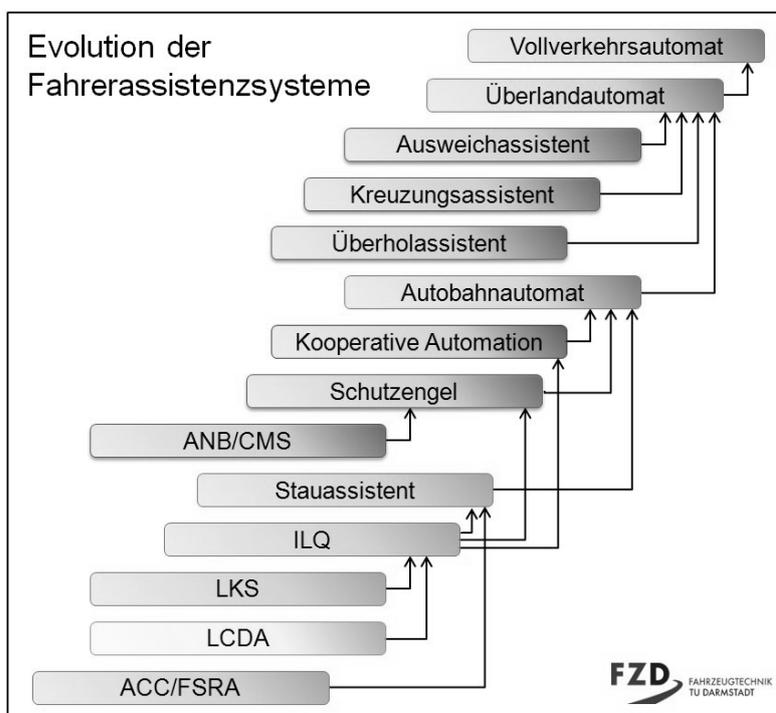


Bild 3: Evolution der Fahrerassistenzsysteme bis zum autonomen, vollautomatischen Fahren auf allen öffentlichen für Kraftfahrzeuge zugelassenen Verkehrswegen

Es handelt sich im Einzelnen um:

- ACC/FSRA (Adaptive Cruise Control/ Full Speed Range Adaptive Cruise Control), erlaubt die geregelte und vom Fahrer überwachte Fahrt im gebundenen Verkehr;
- LCDA (Lane Change Decision Aid), sichert den seitlichen und rückwärtigen Bereich ab und ermittelt damit einen Teil des Manöverraums;
- LKS (Lane Keeping Support), erlaubt die Übergabe der Querregelung für die Spurhaltung innerhalb des Fahrstreifens, Überwachung durch Hands-on-Zwang;
- ANB/CMS (Automatische Notbremsung, Collision Mitigation System), ermittelt die Kollisionsgefahr und verringert den Schaden, erste Robustheitsausagen hinsichtlich false positives;
- ILQ (Integrierte Längs- und Querführung), gibt eigenständige, aber übersteuerbare Vorgaben auf der Bahnführungsebene, die aber noch überwacht werden müssen und die Hands-on-Zwang unterliegen.
- Stauassistent, erste autonome Fahrfunktion mit Bremsen in den Stand als Fail-Safe- und Übergabekonzept.
- Kooperative Automation, d. h. Automatisierung durch serielle Fahrereinbindung,
- Schutzengel, bei überraschender Fahruntüchtigkeit, teilautonome Funktion zum Anhalten am Seitenrand (Kämpchen et. al., 2010), größeres Reaktionsspektrum als ANB, aber deutlich geringerer Anforderung an Reaktionsflexibilität als vollautonomes Fahren, entspricht dem Failsafe-State des autonomen Fahrzeugs.
- Autobahnautomat, erste für längere Phasen vollautonome Funktion, kann auf Sonderreaktionen mit geringer Flexibilität reagieren.
- Überholassistent, unterstützt den Fahrer bei der Vermeidung unsicherer Überholmanöver.
- Ausweichassistent, reagiert in kritischen Situationen mit Ausweichmanövern durch die Kenntnis des Manöverspielraums, wird aber erst bei akuter Gefahr aktiv.
- Kreuzungsassistent, warnt vor möglichen Kollisionen im Kreuzungsbereich
- Überlandautomat, verbindet die Fähigkeiten des Autobahnautomaten mit präventiven Unfallverhütungsfunktionen und reagiert auf alle im Weg befindlichen Hindernisse.
- Vollverkehrsautomat, d. h. autonomes Fahren ohne Einschränkung.

7 FAZIT

Vollautomatischer Individualverkehr, das so genannte autonome Fahren, steht auf fast jeder Roadmap zur Weiterentwicklung der Fahrerassistenzsysteme, gerade weil die technologische Entwicklung in den letzten Jahren so ermutigend verlief. Dabei wird aber das Test-Dilemma aus den Augen verloren. Einen wirtschaftlich vertretbaren Ausweg bietet eine auf wissenschaftlichem Fundament erstellte Metrik für Roboterintelligenz in der Anwendung Autofahren. Neben Forschung in erheblichem Maße für eine solche Metrik ist auch eine Evolution der Fahrerassistenzsysteme notwendig, mit der sich in kleinen Schritten die Validität einer Fahrroboter-Intelligenzmetrik entwickeln lässt.

LITERATUR

Europäische Charta für Verkehrssicherheit: <http://www.erscharter.eu/>

Darms, M.; Baker, C.; Rybksi, P.; Urmson, C.: Vehicle Detection and Tracking for the Urban Challenge, 5. Workshop Fahrerassistenzsysteme, Walting, 2008

Homann, K.: Wirtschaft und gesellschaftliche Akzeptanz: Fahrerassistenzsysteme auf dem Prüfstand. In: Maurer, M.; Stiller, C. (Hrsg.): Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung, Springer, 2005. S. 239 – 244

ISO DIS 26262: BL 15, ISO/TC 22/SC 3/WG 16

Kämpchen, N.; Waldmann, P.; Homm, F.; Ardelt, M.: Umfelderkennung für den Nothalteassistenten – ein System zum automatischen Anhalten bei plötzlich reduzierter Fahrfähigkeit des Fahrers, AAET, Braunschweig, 2010

Langer, D.; Switkes, J. P.; Stoschek, A.; Huhnke, B.: Environment Perception in The 2007 Urban Challenge: Utility for Future Driver Assistance Systems, 5. Workshop Fahrerassistenzsysteme, Walting, 2008

White Paper – European transport policy for 2010: time to decide; http://ec.europa.eu/transport/white_paper/documents/index_en.htm

Wille, J. M.; Saust, F.; Maurer, M.: Stadtpilot: Driving Autonomously on Braunschweig's Inner Ring Road, IEEE Proceedings Intelligent Vehicles Conference, San Diego 2010

Winner, H.; Wolf, G.: Quo Vadis, FAS? In: Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G. (Hrsg.) Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg + Teubner, 2009, S.644 – 673

WER STEUERT DAS FAHRZEUG DER ZUKUNFT?

Markus Maurer, Bernd Lichte

ZUSAMMENFASSUNG

Autonome Fahrfähigkeiten bieten signifikantes *Nutzenpotential*:

- für *militärische* Anwendungen
- für die Erhöhung der *Fahrsicherheit*
- als intelligentes, *flexibles Werkzeug* angepasst auf den (aktuellen) persönlichen Unterstützungsbedarf

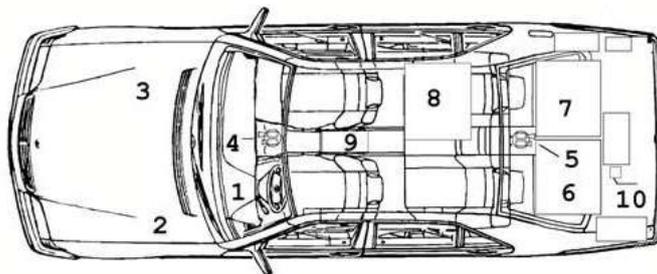
Autonomes Fahren erfordert:

- signifikante Leistungssteigerungen in der *maschinellen Wahrnehmung*
- neue Sicherheitskonzepte
- neue Konzepte für die *Absicherung*
- Augenmaß für die Gefahren der Überautomatisierung
- die Repräsentation der eigenen Fähigkeiten
- den offenen *gesellschaftlichen Dialog* über die Organisation des Risikos

1 PERSÖNLICHER RÜCKBLICK: LESSONS LEARNT

1.1 Bordautonomes Fahren seit 1994

Hardware: VaMP



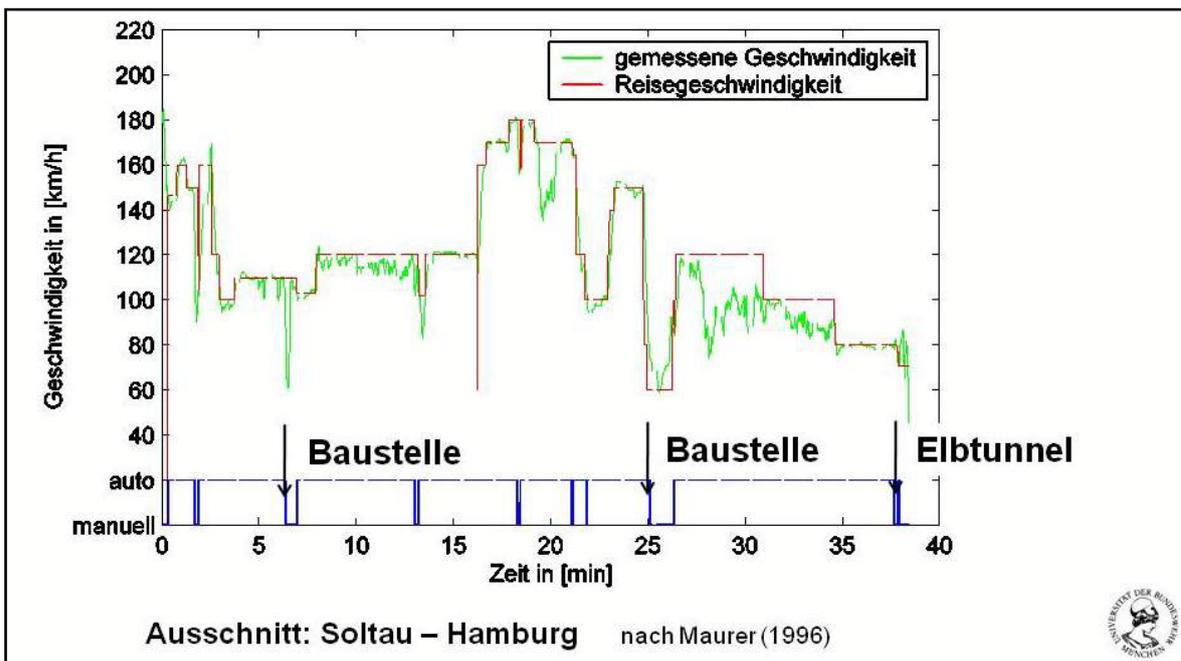
Experimentelle Ergebnisse

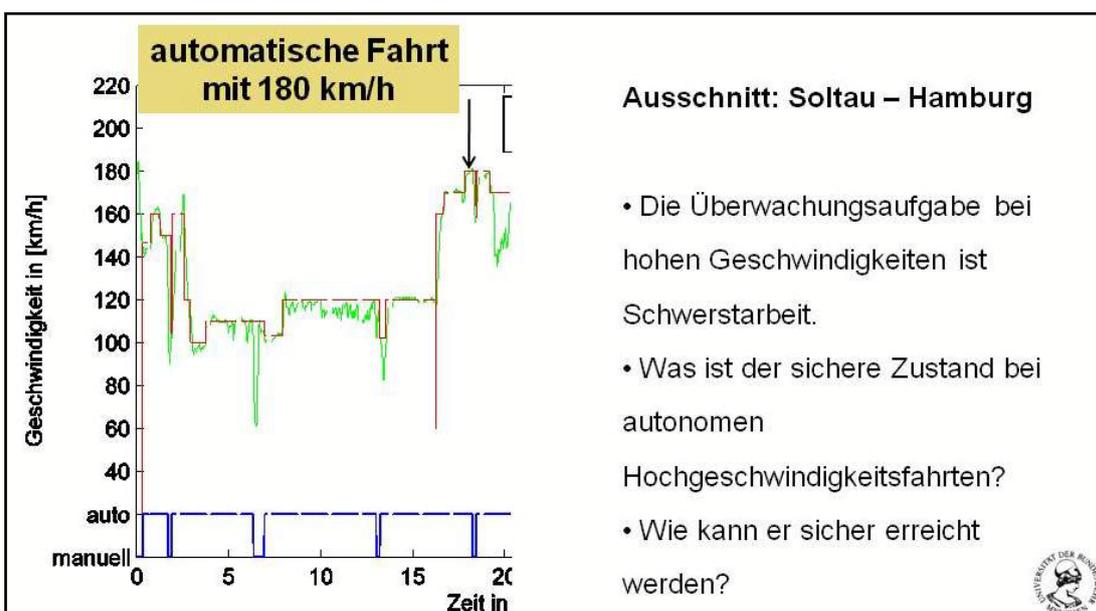
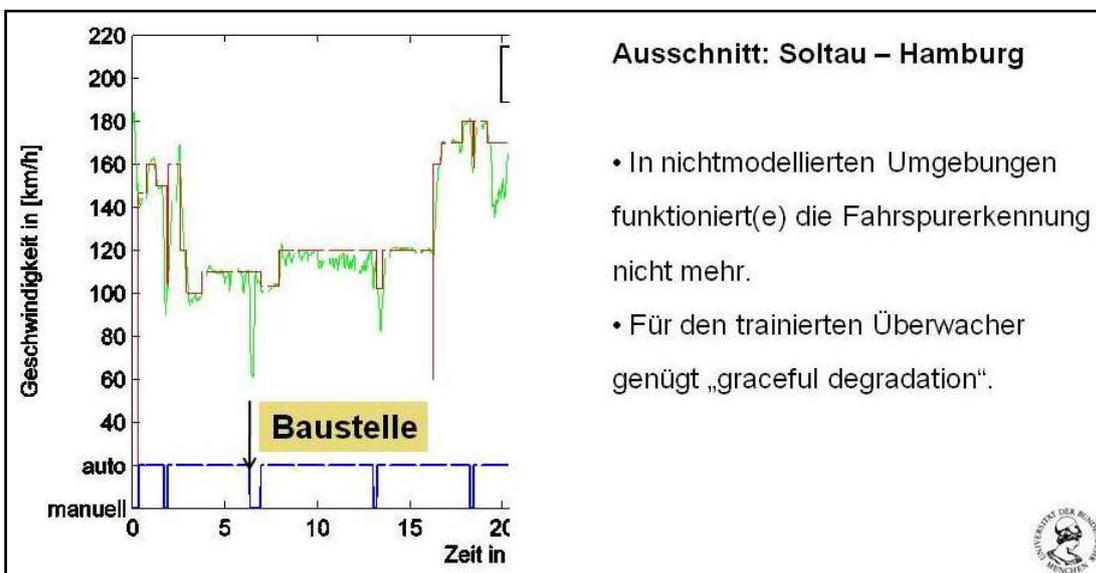
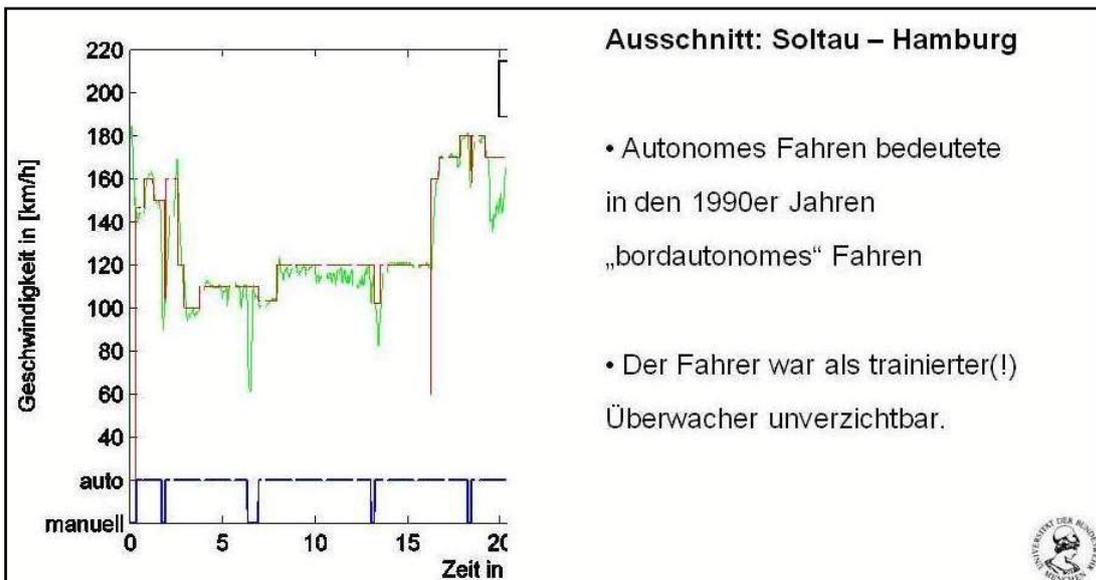
- Automatische Quer- und Längsführung auf einem französischen Autobahnteilstück (Senlis - Parc Asterix) bei der Abschlussdemonstration von *Prometheus* in Paris (Oktober 1994)
- **Langstreckenfahrt** von Neubiberg nach Odense (Dänemark, November 1995):
95 Prozent der experimentell zurückgelegten Strecke mit automatischer Quer- und Längsführung (1678 km von 1758 km)

nach Maurer (2000)

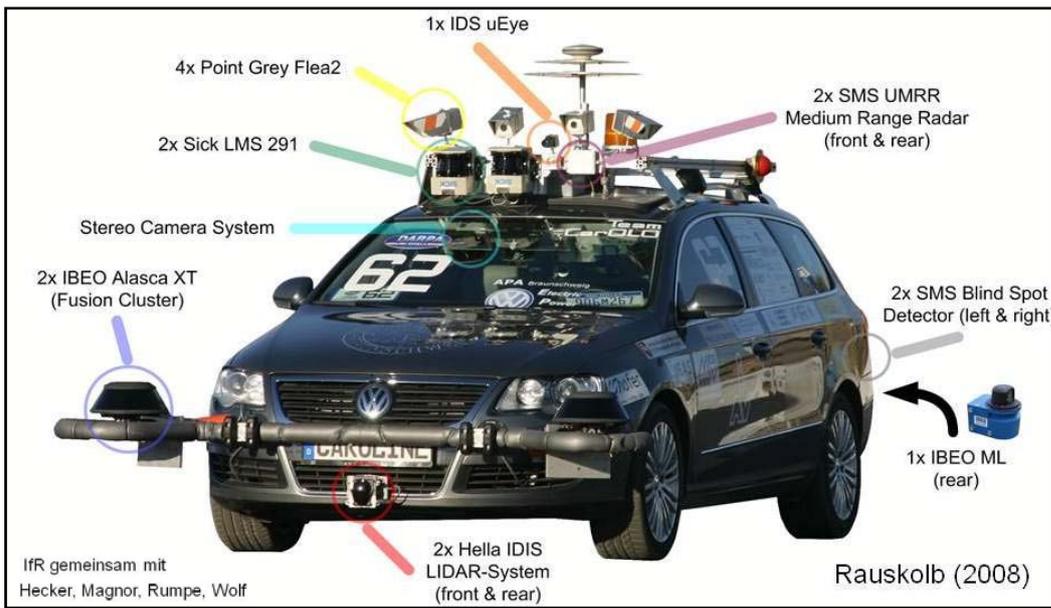


1.2 Automatisch von München nach Odense (1995)



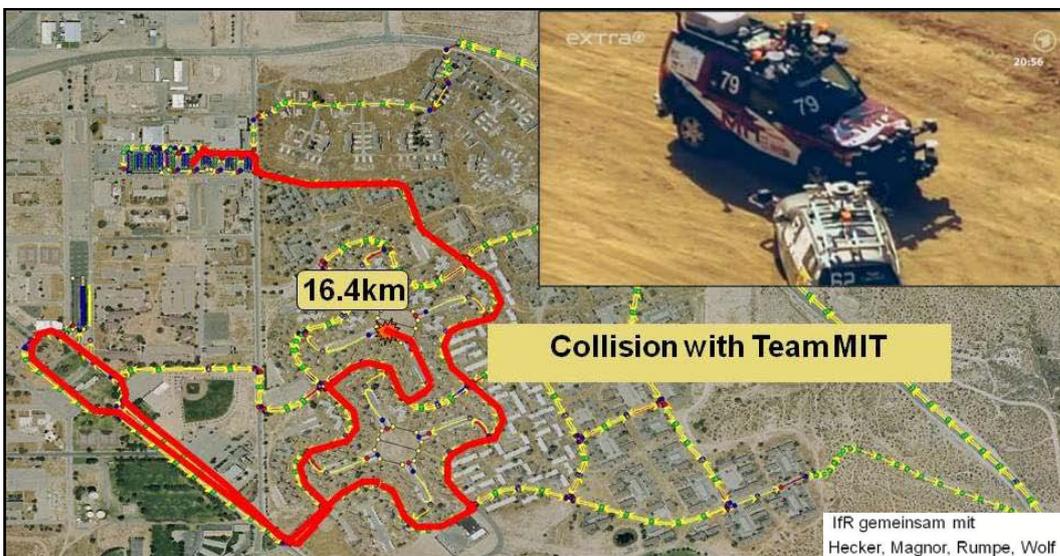


1.3 Unbemannt auf der Urban Challenge (2007)



- 3 Fahrzeuge fahren 96 km autonom und unbemannt in gut strukturierter suburbaner Umgebung in weniger als 5 Stunden.

- „Autonomie“ heißt hier „Selbstbestimmung im Rahmen eines übergeordneten (Sitten-)gesetzes“ (n. Kant)





... irgendwann passiert das Unerwartete...

„Autonomes Fahren“ wird heute technisch noch nicht beherrscht.

1.4 Automatische Notbremse (seit 1999)



Funktionsdefinition:

Ein Bremsengriff mit maximaler Verzögerung wird ausgelöst, wenn ein Unfall fahrphysikalisch nicht mehr zu verhindern ist.



- Die ANB ist ein **autonom intervenierendes** Fahrerassistenzsystem.
- **Signifikanter Kundennutzen** ist Grundvoraussetzung, dass der Aufwand und das damit verbundene Risiko verhältnismäßig erscheinen.

Maurer (2002)



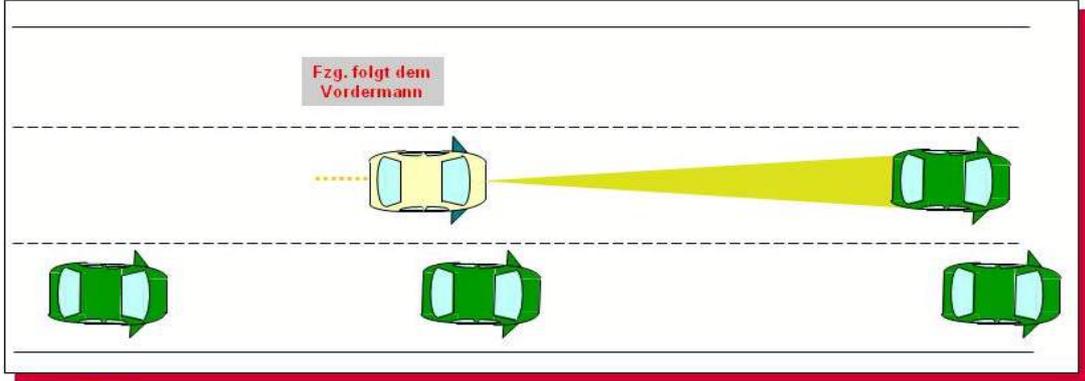


- Es gibt derzeit keinen gesellschaftlichen Konsens, wann eine ANB sicher genug ist.
- Die **Absicherung** einer ANB ist technisch und kommerziell **herausfordernd**.

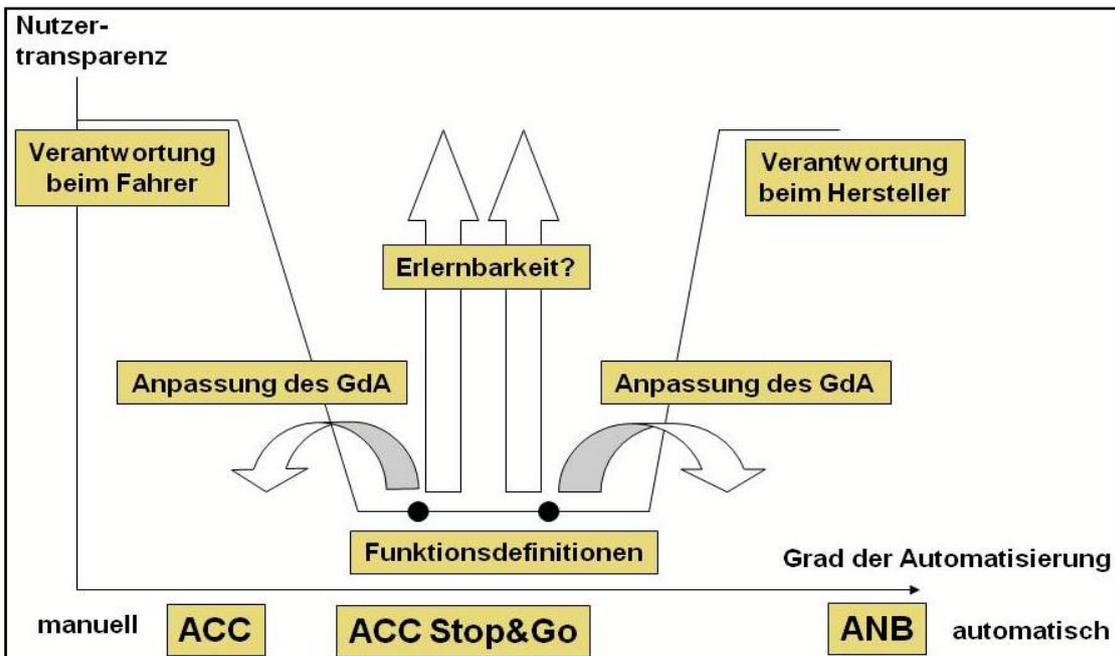


1.5 10 Jahre „Adaptive Cruise Control“ im Serieneinsatz

Systembeschreibung:
Erweiterung des Tempomaten um eine Abstandsregelung auf vorausfahrende Fahrzeuge.



Abstandssensor, Fernbereich



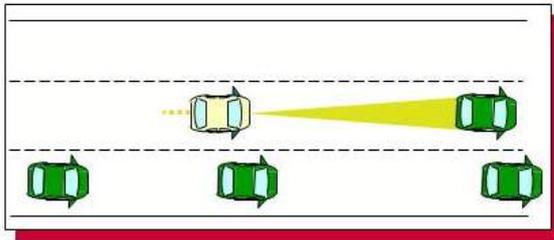
- Ob ACC Stop&Go **sicher erlernbar** ist hängt von einer sorgfältigen Funktionsauslegung ab. (Schmitt, 2006; Neukum, 2008)
- Wird die Fahraufgabe zu stark automatisiert, **zieht sich der Fahrer** aus der Fahraufgabe **zurück** (Bainbridge, 1983; Buld, 2005)

Mangelnde Kaufbereitschaft...



- Viele **Autofahrer schätzen** am Autofahren gerade ihre **eigenen Einflussmöglichkeiten** auf die „Erlebnismaschine“ Fahrzeug. „... durch die Art wie ich es fahre..., kann ich meine individuelle Freiheit, Mobilität und Autonomie genießen und mich narzisstisch an meiner Geschicklichkeit erfreuen (Karmasin, 2008).
- Der Mensch will **motorisch tätig** sein (Krüger, 2008).

Für welchen Kundennutzen steht ACC?



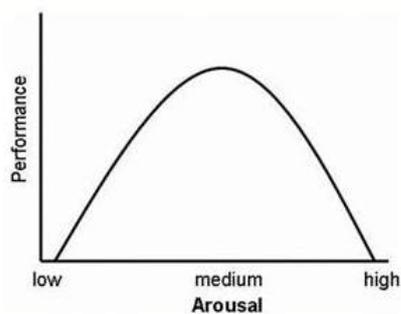
Hypothese:

„Entlastung auf Autobahnen“



Wohin stellen Sie den rechten Fuß?

Hypothese:
„Entlastung auf Autobahnen“



Yerkes-Dodson-Law (1908):
Leistungsfähigkeit über arousal

arousal – Aktivierung, Erregung

Theorie in der Psychologie:

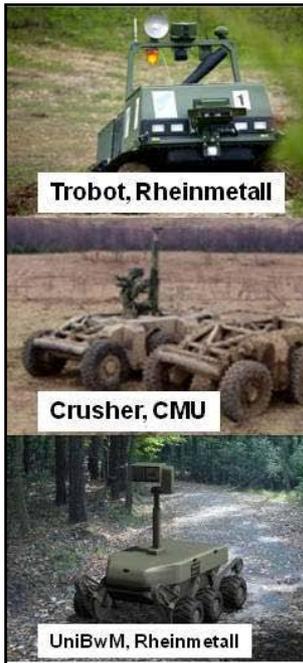
„unsere Motivation zielt darauf ab, ein optimales, vermutlich mittleres Aktivierungsniveau aufrechtzuerhalten.“

• „wenn man zu stark oder zu wenig aktiviert ist, wird man dazu motiviert, seine Situation zu verändern, bis das Aktivierungsniveau in den normalen Bereich zurückkehrt.“

nach Bourne, Ekstrand. Einführung in die Psychologie, 2001.

2 MOTIVATION FÜR DAS AUTONOME FAHREN

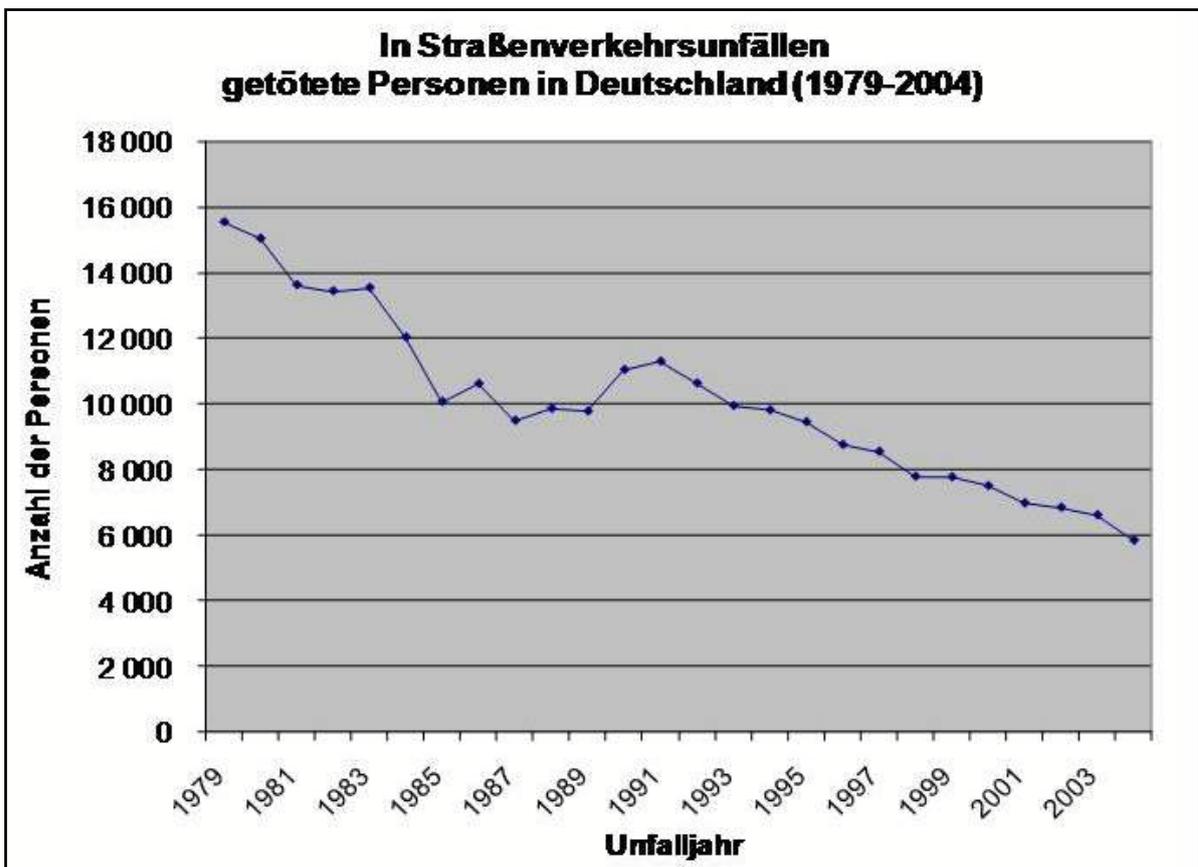
Kundennutzen:



Autonomes Fahren ist kein Selbstzweck, sondern muss **signifikanten Kundennutzen** erzeugen:

- The **National Defense Authorization Act** for Fiscal Year 2001, Public Law 106-398, Congress mandated in Section 220 that "It shall be a goal of the Armed Forces to achieve the fielding of unmanned, remotely controlled technology such that... **by 2015, one-third of the operational ground combat vehicles are unmanned.**"

Jährliche Verkehrstote in Deutschland:



Assistenzbedarf des Fahrers:**Hypothese:****„Assistenzbedarf des Fahrers“**temporär:

- Stau
- Alkohol
- Müdigkeit
- Unaufmerksamkeit

kontinuierlich:

- Nachlassen der Sinne
- Erkrankungen
d. Muskulatur
d. Skeletts

Hypothese:**„Assistenzbedarf des Fahrers“**

**Das Fahrzeug als
„intelligentes Werkzeug“**

Autonome Fahrfähigkeiten eröffnen neue Assistenzchancen für die individuelle Mobilität

Siegwart: Cyborg, Verschmelzung von Mensch und Roboter

Flemisch: Horse Metapher

Winner: Conduct-By-Wire

Entwicklung autonomer Fahrfähigkeiten: Stadtpilot

Wissenschaftliche Ziele

- Beherrschen von Missionen und Situationen von hoher Komplexität
- Entwickeln von Güte- und Bewertungsmaßen für
 - die maschinelle Wahrnehmung
 - die maschinell generierten Verhaltensfähigkeiten
- Konzeption von Test- und Entwicklungsmethoden



Partner:
IFR, IFF, DLR

Wille (2010)

LITERATUR

Bainbridge, L. (1983): „Ironies of Automation“, *Automatica* 19/6, 775-779.

Buld, S; Tietze, H.; Krüger, H.-P. (2005): „Auswirkung von Teilautomation auf das Fahren“, in Maurer, M.; Stiller, C., „Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung“, Springer.

Karmasin, H. (2008): „Motivation zum Kauf von Fahrerassistenzsystemen“, in 24. VDI/VW Gemeinschaftstagung „Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme“, Wolfsburg.

Krüger, H.-P. (2008): „Hedonomie – die emotionale Dimension der Fahrerassistenz“, in Tagung „Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz“, Garching.

Maurer, M.; Behringer, R. ; Fürst, S.; Thomanek, F.; Dickmanns, E. D. (1996): „A compact vision system for road vehicle guidance“ in 13th Int. Conference on Pattern Recognition, 313 - 317, Wien.

Maurer, M. (2000): „Flexible Automatisierung von Straßenfahrzeugen mit Rechnersehen“, in Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik Reihe 12. VDI-Verlag, Düsseldorf.

Maurer, M.; Wörsdörfer, K.F. (2002): „Unfallschwereminderung durch Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung - Potentiale und Risiken“ in K. Naab, Herausgeber, „Fahrerassistenzsysteme und Aktive Sicherheit“, Haus der Technik, Essen.

Neukum (2008): „ACC Stop&Go: Fahrerverhalten an funktionalen Systemgrenzen“, in M. Maurer, C. Stiller, 5. Workshop Fahrerassistenzsysteme FAS 2008 in Walting.

Rauskolb, F. W.; Berger, K.; Lipski, C.; Magnor, M.; Effertz, J.; Cornelsen, K.; Schumacher, W.; Form, T.; Wille, J.; Ohl, S.; Graefe, F.; Hecker, P.; Nothdurft,

T.; Doering, M.; Homeier, K.; Morgenroth, J.; Wolf, L.; Basarke, C.; Berger, C.; Gülke, T.; Klose, F. (2008): "Caroline: An autonomously driving vehicle for urban environments", Journal of Field Robotics, 674-724, 2008, Chichester, United Kingdom.

Schmitt, J.; Färber, B.; Maurer, M.; Breu, A. (2006): „Menschliches und technisches Verhalten an den Systemgrenzen eines FAS“, in 22. Internationale VDI/VW-Gemeinschaftstagung, Wolfsburg.

Yerkes, R.M; Dodson, J.D. (1908): "The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation" in Journal of Comparative Neurology and Psychology 18: 459–482.

Wille, J.; Saust, F.; Maurer, M. (2010): "Stadtpilot: Driving Autonomously on Braunschweig's Inner Ring Road" in IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, 2010, pp. 506-5011.

VON H-MODE ZUR KOOPERATIVEN FAHRZEUGFÜHRUNG – GRUNDLEGENDE ERGONOMISCHE FRAGESTELLUNGEN

Klaus Bengler, Frank Flemisch

ZUSAMMENFASSUNG

Wenn wir im Jahr 2011 das 125-jährige Jubiläum des Automobils feiern, dann sollten wir uns darüber im Klaren sein, dass diese neu gewonnene Mobilität darauf beruht, dass der Fahrer außerordentlich hohe Aktivität und menschliche Leistungsfähigkeit in das Mensch-Fahrzeug-System einbringt. Vor allem auf dieser Leistungsfähigkeit beruht neben den Effekten der verbesserten Fahrzeugtechnik die Vermeidung von Unfällen in kritischen Situationen. Allerdings lassen sich kritische Ereignisse und Unfälle auch häufig menschlicher Fehlleistung oder begrenzter Leistungsfähigkeit zuordnen. Diesen Effekten begegnet man seit den 90er Jahren erfolgreich mit vielfältigen Fahrerassistenzfunktionen. Sensorische Defizite des Fahrers und Fehleinschätzungen werden mittels technischer Sensorik ausgeglichen. Der Fahrer nutzt diese Assistenzsysteme abschnittsweise und wird dabei in der Ausführung von Teilaufgaben der Fahraufgabe unterstützt wobei er nach wie vor - der Wiener Konvention folgend - überwachend tätig ist.

Ein Großteil des automobilen Zeitraums ist also davon geprägt, dass der Fahrer die Fahraufgabe zum großen Teil alleine bearbeiten muss und erst seit kurzer Zeit Teilaufgaben auch delegieren kann. Bestand der große Vorteil des Automobils zunächst in einem deutlichen Zugewinn an Mobilität, so kommen durch vielfältige Assistenzen neben der passiven Sicherheit zusätzlich aktive Sicherheit und Komfort hinzu, da auch wenig erfreuliche Fahraufgaben und monotone Dauertätigkeiten unterstützt oder automatisiert werden können.

1 STATUS FAHRERASSISTENZ UND AUTOMATION

Zunächst zeichnet die Fahrerassistenz, also die abschnittsweise Unterstützung, von Teilaufgaben aus. Mit steigender Perfektion der Einzelfunktionen und der Zunahme der Funktionen im Bereich der Fahrzeuglängs- und querführung kann der Fahrer über zunehmend längere Strecken mit steigendem Automationsgrad unterstützt werden. Das Fahrzeug verfügt also über kombinierte und aufeinander abgestimmte Komfortsysteme, die in den Bereich der Information und Warnung bis hin zum Eingriff reichen. Beispiele hierfür sind ACC, Spurhalteassistent und Spurwechselassistent. Immer häufiger stellt sich die Frage in welcher Weise die zukünftige Integration erfolgen kann, sodass für den Fahrer ein Interaktionskonzept entsteht, mit dem er das Potential weiterer Funktionen und Funktionsverbesserungen problemlos nutzen kann. Projekte wie die DARPA Grand und Urban Challenge geben hier trotz außerordentlich hoher Automatisierungsgrade und hoher technischer Integration keine Antwort, da keine Fahrerinteraktion vorgesehen ist. Sie vermitteln aber einen sehr guten Eindruck von der Mächtigkeit zukünftiger Assistenz- und Automationssysteme und der Notwendigkeit eines Fahrereingriffs in komplexen Situationen. Weiterhin wird deutlich, dass die Entwicklung von Assistenz- und Automationssystemen in Fahrzeugen immer mehr zusammenhängen wird, bis hin zu der Frage, wie man dem Fahrer verschiedene Assistenz- und Automationsgrade bereitstellt und präsentiert. Ein sehr stark vereinfachtes mentales

Modell kann eine eindimensionale Assistenz- und Automationskala ermöglichen. Hierzu werden Assistenz- und Automationsfunktionalitäten in eine überschaubare Anzahl von Automationsgraden gruppiert, z.B. assistiert / niederautomatisiert als leichte Unterstützung, semi-automatisiert als Automatisierung z.B. nur einer Achse (z.B. ACC), hochautomatisiert als Bereich, in dem mehr die Automation fährt, aber der Mensch noch ausreichend im Loop bleibt. Die Skala wurde inspiriert durch z.B. (Parasuraman et al. 2000) im weiter unten beschriebenen Ansatz H-Mode in Ansätzen realisiert (z.B. Flemisch et al. 2003), und in anwendungsnahen Forschungsprojekten bereits verfeinert (z.B. Hoeger et al. 2008, Petermann & Schlag 2009).

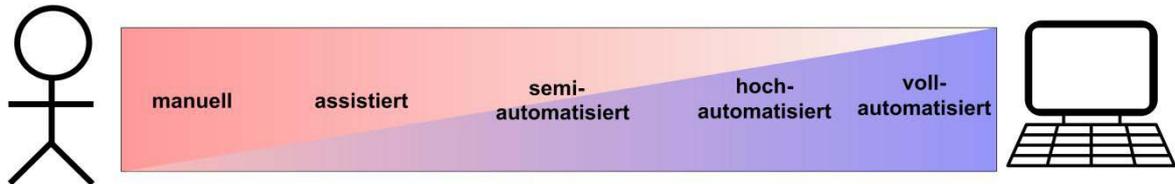


Bild 1: Assistenz- und Automationskala als vereinfachtes Modell diskreter Automationsgrade

Mit zunehmenden Automationsgraden und steigender Funktionsqualität verlässt die Mensch-Maschine Interaktion den Bereich der Assistenz und erhält zunehmend den Charakter einer Kooperation zwischen sehr leistungsfähigen Partnern, die mit wechselnden Rollen die Fahraufgabe in ihren unterschiedlichen Teilaufgaben bearbeiten. Diese kooperativen Aspekte können mit gängigen Konzepten für assistierende Systeme möglicherweise nur noch unzureichend abgedeckt werden.

2 VON DER H-(ORSE) METAPHER ZUM H-MODE

Eine der größten Herausforderungen für hochautomatisierte multifunktionale Systeme ist die Frage nach einem integrierten Interaktionskonzept. Eine ähnliche Entwicklung wurde bereits in der Luftfahrt vollzogen. Die Erkenntnisse sind in ihrer Effektstärke nur mit Vorsicht auf das Automobil übertragbar. Einerseits unterscheiden sich Trainiertheitsgrad, Systemdynamik und Situationskomplexität deutlich voneinander, andererseits können grundlegende Risiken wie „mode confusion“ oder „pilot out-of-the-loop“ selbst bei hochtrainierten Piloten auftreten und müssen erst recht bei weniger trainierten Fahrern kontrolliert werden. Dabei kann speziell die hinter einer „mode confusion“ steckende Systemkomplexität eine große Herausforderung darstellen.

In welcher Weise lässt sich eine hohe Systemkomplexität hochautomatisierter Systeme in eine für den Menschen beherrschbare Komplexität abbilden?

Eine mögliche Vorgehensweise für die Reduzierung von Systemkomplexität ist die Nutzung von Interaktionsmetaphern vergleichbar der Schreibtischmetapher für den Computer Desktop oder der Metapher „coverflow“ für das Blättern von mp3-Albumcovers. Dem Nutzer werden hier mittels bekannter Objekte intuitive und leicht erlernbare Interaktionskonzepte präsentiert. Im Fall der H-Metapher wird die Beziehung Reiter-Pferd bzw. Fahrer-Pferdekutsche als Vorbild für eine Fahrzeugautomation genommen und als haptisch-multimodale Interaktionsweise H-Mode implementiert (Flemisch et al. 2003). Die Automation verhält sich ähnlich einem Pferd, das auf Veränderungen in seiner Umgebung reagiert, den Reiter informiert/warnt, aber auch selbsttätig handelt.

Analog zum Reiten bzw. Kutschfahren, bei dem der Reiter oder Kutschfahrer die Zügel fester (Tight Rein) oder lockerer hält (Loose Rein) und damit unterschiedliche Autonomie für das Pferd signalisiert, sind in H-Mode unterschiedliche Automationsgrade möglich: die Fahraufgabe mit hohem oder niedrigem Automationsgrad bearbeiten.



Bild 2: Tight Rein/Niederautomatisiert und Loose Rein/Hochautomatisiert in H-Mode

In Explorationen und Experimenten wurde untersucht, bis zu welchem Grad die Griffkraft, mit welcher der Sidestick vom Fahrer gehalten wird, einen Beitrag zur Intentionserkennung liefern kann. Hierzu wurde ein Stick mit Griffkraftsensoren ausgestattet und die Probanden absolvierten unterschiedliche Fahraufgaben, in denen sie den Automationsgrad mittels Griffkraft oder Tastendruck (Kontrollbedingung) verändern konnten. Somit würde ein kräftiges Halten des Sticks als Hinweis für die Fahrerintention „tight rein“ interpretiert, ein loses Halten hingegen als „loose rein“. Allerdings zeigt sich, dass die alleinige Auswertung der Griffkraft nicht ausreicht, die Fahrerintention zuverlässig zu schätzen aber gegebenenfalls in Fusion mit weiteren Parametern einen wertvollen Schätzer für die Verfügbarkeit des Fahrers und seine Reaktionsgeschwindigkeit sein könnte.

Die Handlungsabsichten werden zwischen Fahrer und Fahrzeug durch die sogenannte Arbitrierung (Kelsch, J., F. Flemisch, et al. 2006) ausgetauscht und verhandelt. Im Fall des H-Mode Demonstrators, der vom Lehrstuhl für Ergonomie und der DLR entwickelt wurde, ist die Arbitrierung vorwiegend als haptische Kommunikation auf aktiven Stellteilen realisiert und wird durch Anzeigen im Kombiinstrument ergänzt (Damböck et al 2009). So kann der Fahrer z.B. haptisch fühlbare Richtungsempfehlungen des Co-Systems überdrücken oder im Fall der Fahrzeuglängsführung Geschwindigkeitsbegrenzungen als haptische Schwellen oder Gegendruck wahrnehmen. Im automatisierten Fall nimmt das Stellteil die jeweilige Position ein und gibt dem Fahrer Rückmeldung bzgl. Geschwindigkeit und Lenkwinkel. Weiterhin können durch das aktive Stellteil dem Fahrer relevante Größen der Fahrzeugführung, beispielsweise die Geschwindigkeit, rückgemeldet werden, wobei auch Zusatzinformationen der Automation im Sinn von Vorinformationen oder Warnhinweisen haptisch überlagert werden können (Kienle et al 2009).

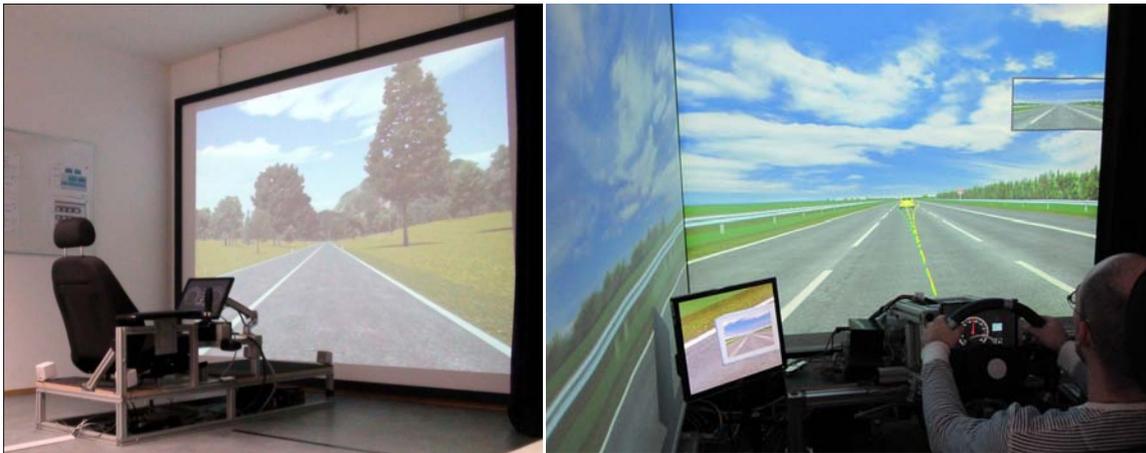


Bild 3: Usability Labor und H-Mode Demonstrator am Lehrstuhl für Ergonomie (links); H-Mode Demonstrator mit eingeblendeten Trajektorien am DLR-ITS Braunschweig (rechts)

H-Mode ist zunächst nicht abhängig von der Art des Stellteils. So wurden sowohl Varianten mit Lenkrad und aktivem Gaspedal als auch mit aktivem Sidestick getestet.

Im Fall der H-Mode Demonstratoren „Stick“ am Lehrstuhl für Ergonomie und der DLR wird für Quer- und Längsführung ein aktiver Sidestick der Firma Stirling Dynamics als zweidimensionales Stellteil mit haptischer Rückmeldung eingesetzt. In Versuchen ohne Automation hat sich die Variante der Positionsrückmeldung als vorteilhaft erwiesen, d.h. die Position des Sticks in Längsrichtung gibt dem Fahrer Rückmeldung über die aktuell gefahrene Geschwindigkeit.

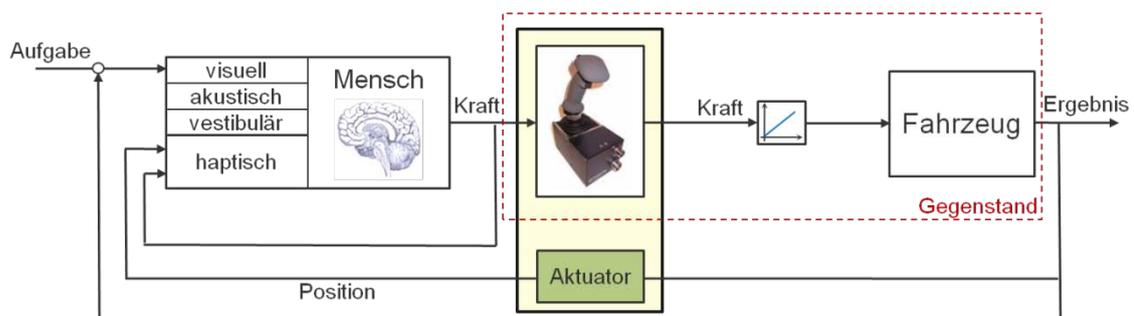


Bild 4: Prinzip des positionsreflektierenden Stellteils

Die bisher realisierten H-Mode Prototypen integrieren die Funktionalität eines Full Range ACC, eines starken LKAS, eines Spurverlassenswarn-/Mitigationsystems (LDWS + Virtuelles Kiesbett), einer automatischen Notbremse ANB sowie einer Ausweichautomation (Heesen et al. 2009), wobei alle Funktionen manöverbasiert integriert sind (Löper et al. 2008) sowie die Möglichkeit einer haptischen Entkoppelung des Fahrers in Notfallsituationen beinhalten (Heesen et al. 2010).

Somit ist mit H-Mode ein Interaktionskonzept realisiert, das die Grundelemente der H-Metapher implementiert und dem Fahrer erlaubt, unterschiedliche Automatisierungsgrade sowie komplexe Automationsfunktionalität in einem integrierten, intuitiv begreifbaren Interaktionskonzept zu nutzen.

3 KOOPERATIVE FAHRZEUGFÜHRUNG

Wenn bisher Assistenz und Automation als Ausprägungen angesprochen und durch H-Mode, aber auch durch Konzepte wie Conduct-By-wire (Hakuli et. al. 2009; Hakuli et. al. 2010) adressiert wurden, dann zeichnet sich bereits ab, dass ein allgemeinerer Ansatz erforderlich wird, um die erkennbaren nächsten Funktionserweiterungen abzudecken. Einerseits werden Assistenz- und Automations-systeme noch stärker eingreifen bis hin zu hochautomatisiertem Fahren (z.B. Hoeger et al. 2008). Weiterhin wird durch die Vernetzung mit anderen Fahrzeugen und der Infrastruktur Car2X der nächste Qualitäts- und Komplexitätssprung für den Nutzer stattfinden. Empfehlungen an den Fahrer basieren nun nicht mehr nur auf bordeigener Sensorik und Interpretation, sondern auf kommunikativen Prozessen, die mit kooperierenden Komponenten im Umfeld des Fahrzeugs erfolgen. Diese Kooperation zwischen Fahrzeugen und der Umwelt muss eng gekoppelt werden mit der Kooperation zwischen dem individuellen Fahrer und seinem Fahrzeug bzw. seiner Automation.

Das Konzept der kooperativen Fahrzeugführung adressiert diesen Entwicklungsschritt. Kooperative Fahrzeugführung wird dabei als Cluster-Konzept (Swartz 1997, Gottschalk-Mazouz 2007) verstanden, das sich weniger über eine harte Definition als vielmehr über eine Liste von Attributen bzw. Qualitäten bestimmt. Folgende Attribute tragen zu einer Kooperativität zwischen Fahrer und Automation bei:

- Maschinelle Fähigkeiten für höhere Automationsgrade
- Intuitive Interaktion mit ausreichender äußerer Kompatibilität zwischen Fahrer und Automation
- Innere Kompatibilität durch
 - Kompatible Ziele- und Wertesysteme
 - Kompatible Repräsentation der Bewegung durch den Raum z.B. mit einer kompatiblen Manöver- und Trajektorienpräsentation
- Nachvollziehbarkeit und Vorhersagbarkeit der Automationsfähigkeiten bzw. Einschränkungen
- Dynamische Verteilung der Kontrolle bzw. Wechsel der Rollen durch Transitionen des Automationsgrades, z.B. in Form von Delegation und Rückdelegation von Aufgaben oder Teilaufgaben
- Arbitrierung von Konflikten, wenn Fahrer und Automation z.B. unterschiedliche Absichten verfolgen
- Balance zwischen Adaptivität/Adaptierbarkeit und Stabilität von Fahrer und Automation

Kooperation im Rahmen der kooperativen Fahrzeugführung bedeutet weiterhin, dass die Fahrer-Fahrzeug Interaktion zwischen Kommunikationspartnern erfolgt, die gemeinsam mit wechselnder Rollenverteilung die Fahraufgabe auf allen Ebenen (Stabilisierung, Manöver, Navigation) bearbeiten, während im Fall der Assis-

tenz die Maschine bisher nur in Teilbereichen der Stabilisierung und ggf. bei Manövern aktiv wird.

Ein wesentliches Merkmal von erfolgreicher Kooperation ist die Möglichkeit, Aufgaben- oder Rollenverteilung wechseln zu können. Je nach Autoritätsverteilung kann der Wechsel in der Aufgabenverteilung in gleicher Weise von beiden Partnern initiiert werden. Der Fahrer kann Aufgaben an das Fahrzeug delegieren, bis hin zur gesamten Fahraufgabe. Wiederum kann zu einem späteren Zeitpunkt aus verschiedenen Gründen eine Rückdelegation an den Fahrer erfolgen. Diese Prozesse können nur erfolgreich sein, wenn auf beiden Seiten Informationen bezüglich der Verfügbarkeit von Mensch bzw. Maschine vorliegen. Seitens des Fahrers können Ablenkung, Müdigkeit oder generelle Überforderung eine Übernahme behindern, seitens der Maschine kann die Beeinträchtigung in Systemgrenzen und Systemfehlern bezüglich des vorliegenden Verkehrsszenarios bestehen. Eine für beide Partner mögliche „Verfügbarkeitserfassung“ in Form von Fahrerzustandserkennung und Systemdiagnose kann die Kooperativität deutlich erhöhen. Somit ist zumindest in diesem Umfang, wie von mehreren Autoren angenommen, Nutzeraaptivität bezüglich des Fahrerzustandes eine wichtige Eigenschaft kooperativer Systeme.

Hinzu kommt, dass eine Arbitrierung zwischen kooperierenden Partnern nur sinnvoll und akzeptabel ist, wenn ein gewisses Maß an Intentionserkennung gegeben ist. Für die Realisierung kooperativer Systeme ist es daher notwendig, grundlegende Fahrerintentionen auf der Ebene der Fahrmanöver und gegebenenfalls der Navigationsebene zu erkennen, um die Kooperationsfähigkeit der Maschine zu steigern. Die Erkennung oder aktive Ermittlung von Intentionen stellt ebenso wie die Anzeige vorliegender Intentionen seitens des Fahrzeugs ein weiteres wichtiges Versatzstück dar. Während eine prospektive Anzeige auf dem haptischen Kanal nicht möglich ist, stellt in diesem Zusammenhang neben dem Kombiinstrument das Head up Display eine mögliche Technologie dar, da es ermöglicht, zukünftige Aktionen im wahrsten Sinne des Wortes zu „projizieren“.

4 KOOPERATIVE FAHRZEUGFÜHRUNG - FORSCHUNGSBEDARF

Sowohl H-Mode als auch der in Conduct-by-Wire verfolgte Ansatz stellen sehr vielversprechende Beispiele für die Interaktion mit hochautomatisierten Fahrzeugen im Sinn der kooperativen Fahrzeugführung dar.

Weiterhin ergeben sich im Zusammenhang mit der kooperativen Fahrzeugführung auch neue Fragestellungen:

Wenn Fahrer und Fahrzeug kooperieren, dann müssen Entscheidungsregeln und Metriken beschrieben werden, die es erlauben, die Arbitrierung hin zum Menschen zu operationalisieren und zu bewerten. Eine kritische Frage wird sein, bis zu welchem Grad ein kooperatives System unter Berücksichtigung von z. B. Müdigkeit, Situationsbewusstsein und Fahrfähigkeit des Fahrers entscheiden kann, wann und in welcher Weise es die Fahraufgabe zurückdelegieren muss, ohne den Fahrer zu überfordern.

Bisher würden Fahrer außerordentlich große Fahrerfahrung in die Kooperation mit einem Co-System einbringen. Eine spannende Frage ist, in welcher Weise der Erwerb von Fähigkeiten und Fertigkeiten mit kooperativen Systemen durch den Nutzer vollzogen wird und welche mentale Repräsentation der Fahraufgabe bei

den Nutzern kooperativer Systeme entsteht. Wie wird man „Autofahren“ in Kooperation mit einem mächtigen Co-System lernen?

Bisher wurde die Beherrschbarkeit von Fahrerassistenzsystemen im Sinn der „Controllability“ des RESPONSE Code of Practice für klassische Assistenzsysteme diskutiert. Auch für kooperative Systeme stellt die Beherrschbarkeit eine grundlegende Eigenschaft dar, da auch hier Systemgrenzen und Systemfehler zu beachten sind. Die neue Rollenverteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug könnte dazu führen, dass der Code of Practice und seine Methodik neu betrachtet werden müssen. Vor allem werden die erforderlichen Absicherungsszenarien komplexer werden.

Denkt man das Szenario der kooperativen Fahrzeugführung konsequent zu Ende, dann reicht es, wie bereits erwähnt, über die Fahrer Fahrzeug Kooperation hinaus. Car2X wird die Kooperation auf die umgebenden Fahrer Fahrzeug Systeme erweitern. Ein mögliches Beispiel wären kooperative Fahrzeugverbände. Auch dieses Szenario wirft weitere Fragen für die Mensch-Maschine Interaktion auf, da Intentionen umgebender Fahrzeuge Einfluss auf die lokale Fahrer Fahrzeug Interaktion nehmen werden.

Die kooperative Fahrzeugführung umfasst also als Rahmen deutlich den Anspruch der bisher von den Konzepten H-Mode und Conduct-by-Wire formuliert wurde. Sie weist aber wichtige Merkmale und Forschungsfragen für zukünftige Interaktionskonzepte aus, welche zum Beispiel auch die Forschung zur Mensch Roboter Kooperation mit der Forschung an Assistenz und Automation verbindet.

LITERATUR

Biester, L.: Cooperative automation in automobiles (Doctoral Dissertation). Humboldt-University Berlin zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Berlin, Germany, 2009

Damböck, D.; Kienle, M.; Flemisch, F. O.; Kelsch, J.; Heesen, M.; Schieben, A.; Bengler, K.: Vom Assistierte zum Hochautomatisiertem Fahren – Zwischenbericht aus den Projekten DFG-H-Mode und EU-HAVEit. Paper presented at the VDI-Congress „Fahrer im 21. Jahrhundert“. Braunschweig, Germany, 2009

Flemisch, F.O.; Adams, C. A.; Conway S. R.; Goodrich K. H.; Palmer M. T. ; Schutte P. C.: The H-Metaphor as a guideline for vehicle automation and interaction; NASA/TM—2003-212672; NASA Langley Research Center; Hampton, Va, USA; 2003

Flemisch, F.; Kelsch, J.; Löper, C.; Schieben, A.; Schindler, J.; & Heesen, M.: Cooperative control and active Interfaces for vehicle assistance and automation. Paper presented at the FISITA World Congress, Munich, Germany, 2008a

Heesen, M.; Kelsch, J.; Löper, C.; Flemisch, F.: Haptisch-multimodale Interaktion für hochautomatisierte, kooperative Fahrzeugführung bei Fahrstreifenwechsel-, Brems- und Ausweichmanövern; Gesamtzentrum für Verkehr Braunschweig (Hrsg.): Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel AAET, Braunschweig, 2010

Hoeger, R.; Amditis A.; Kunert, M.; Hoess, A.; Flemisch, F.; Krueger, H.-P.; Bartels, A.; Beutner, A.; Pagle, K.: Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport: HAVEit Approach, 2008

Hakuli, S.; R. Bruder; Flemisch, F.; Löper, C.; Rausch, H.; Schreiber, M.; Winner, H.: Kooperative Automation. In H. Winner, S. Hakuli and G. Wolf (Eds.) Handbuch Fahrerassistenzsysteme;. Wiesbaden, Vieweg + Teubner, 2009

Hakuli, S.; Kluin, M.; Geyer, S.; Winner, H.: Development and Validation of Manoeuvre-Based Driver Assistance Functions for Conduct-by-Wire with IPG Car-Maker. Paper presented at the FISITA 2010 World Automotive Congress, Budapest, 30.05-04.06.2010

Hoeger, R.; Amditis, A.; Kunert M.; Hoess, A.; Flemisch, F.; Krueger, H.-P.; Bartels, A.; Beutner, A.: HIGHLY AUTOMATED VEHICLES FOR INTELLIGENT TRANSPORT: HAVEit APPROACH; ITS World Congress, NY, USA, 2008

Kienle, M.; Damböck, D.; Kelsch, J.; Flemisch, F. O.; Bengler, K.: Towards an H-mode for highly automated vehicles driving with side sticks. Paper presented at the Automotive User Interfaces 2009. Essen, Germany, 2009

Loeper, C.; Kelsch, J.; Flemisch, F.: Kooperative, manöverbasierte Automation und Arbitrierung als Bausteine für hochautomatisiertes Fahren; In: Gesamtzentrum für Verkehr Braunschweig (Hrsg.): Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel. GZVB, Braunschweig. 2008, S. 215 - 237

Parasuraman, R.; Sheridan, T. B.; Wickens, C. D.: A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30(3), 2000, S.286 – 297

Petermann, I. & Schlag, B.: Auswirkungen der Synthese von Assistenz und Automation auf das Fahrer-Fahrzeug System. Präsentiert am 11. Braunschweiger Symposium Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET), Braunschweig, Germany, 2009

Swartz, David: Culture and power. The sociology of Pierre Bourdieu. Chicago: The University of Chicago Press, 1997

DIE ZUKUNFT DER FAHRERASSISTENZ

Thomas Ruchatz, Arne Bartels, Stefan Brosig, Jan Effertz

1 EINFÜHRUNG

In den vergangenen Jahren war am Automobilmarkt zu beobachten, dass immer mehr Neufahrzeuge von immer mehr Herstellern mit Fahrerassistenzsystemen bestellbar sind. Die meisten dieser Fahrerassistenzsysteme nehmen dem Fahrer einfache Mess- und Regelungsaufgaben ab. Intelligenz im Fahrzeug bedeutet jedoch mehr als Messen und Regeln.

2 DEFINITION „INTELLIGENZ“

Zunächst ist es hilfreich, sich kurz mit dem Begriff der Intelligenz auseinanderzusetzen, denn im intelligenten Handeln wird der Unterschied zwischen künftigen und heutigen Fahrerassistenzfunktionen bestehen:

Definition aus Sicht der Psychologie:

... eine Begabung, die die Bewältigung neuartiger Situationen ermöglicht. Sie äußert sich in der Erfassung, Anwendung, Deutung und Herstellung von Beziehungen und Sinnzusammenhängen ... (Bertelsmann Lexikon)

... ein Sammelbegriff für die kognitive Leistungsfähigkeit des Menschen, also die Fähigkeit, zu verstehen, zu abstrahieren, Probleme zu lösen, Wissen anzuwenden und Sprache zu verwenden. (wikipedia.de)

Definition aus Sicht der Informatik:

... Künstliche Intelligenz (KI) ... bezeichnet die Nachbildung menschlicher Intelligenz innerhalb der Informatik. Die KI findet zunehmend Einsatz in der ingenieurwissenschaftlichen oder medizinischen Technik. Mögliche Anwendungsszenarien sind: ... Umgang mit natürlichen Signalen (Bildverstehen und Mustererkennung). (wikipedia.de).

3 WAHRNEHMEN STATT MESSEN

Was bedeuten diese Definitionen für die Anwendung im Automobil der Zukunft? Zunächst weisen die Begriffe ‚Erfassung‘ und ‚Deutung‘ in der Definition auf das Thema ‚Wahrnehmung‘ hin.

3.1 Stand heutiger Fahrerassistenzsysteme

In den hier gezeigten Fahrzeugen sind einige der heute im Markt verfügbaren hochentwickelten Assistenzfunktionen umgesetzt. Allen Funktionen ist gemein, dass sie über Sensoren verfügen, die außerhalb des Fahrzeugs Messungen durchführen.

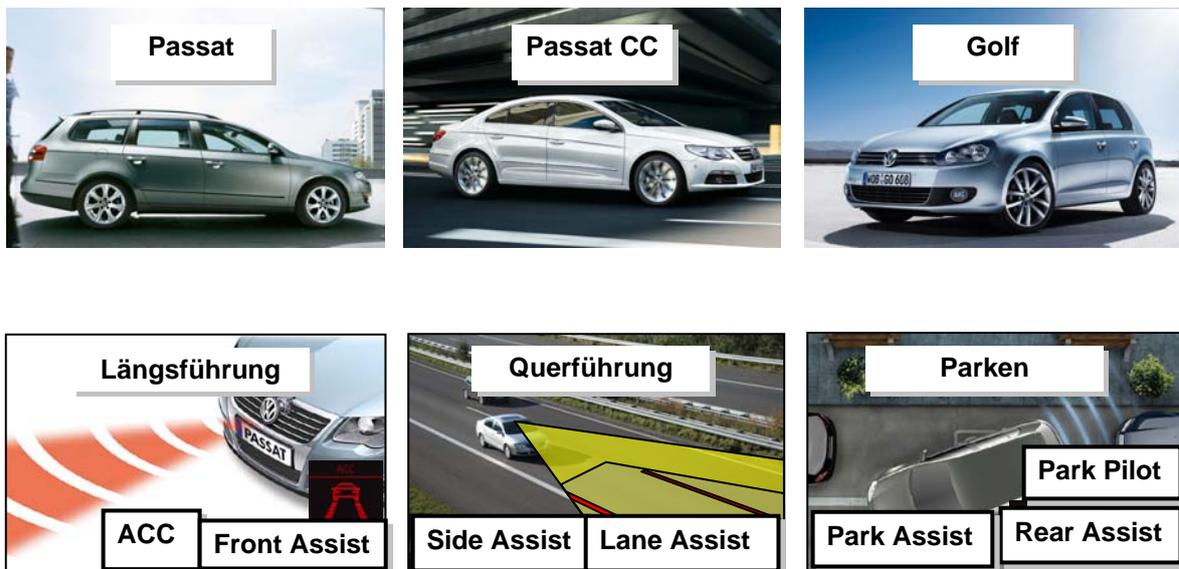


Bild 1: Stand heutiger Fahrerassistenzsysteme

3.2 Sensorik

In den meisten Fällen wird pro Funktion ein Sensor oder Sensortyp eingesetzt, der eine geringe Anzahl von Messungen liefert. Beispielsweise messen Radarsensoren Positionen (Abstand, Winkel) und Geschwindigkeiten von Objekten relativ zum eigenen Fahrzeug. Kameras messen die Ausdehnung von Objekten und die laterale Position von Begrenzungslinien relativ zum eigenen Fahrzeug. Ultraschallsensoren messen lediglich den Abstand zum jeweils nächsten Objekt. Die so generierten Messgrößen genügen zusammen mit Sollwertvorgaben aus den Funktionen, um beispielsweise einfache Abstandsregelungen oder Warnfunktionen zu realisieren.

Wir können also davon ausgehen, dass hier eher gemessen und geregelt als wahrgenommen und intelligent gehandelt wird.

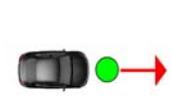
			
Sensortyp:	Radar	Kamera	Ultraschall
Messgrößen:	Abstand, Winkel, Relativgeschw.	Kontur, Fahrspur	Abstand
Typ. Umfeldmodell:			
Öffnungswinkel	20-70°	50-70°	30-50°
Reichweite	50-250 m	50-100 m	2-5 m

Bild 2: Umfeldsensorik heutiger Assistenzsysteme

3.3 Umfeldwahrnehmung

3.3.1 Sensorik und Sensordatenfusion

In naher Zukunft werden mehrere Sensoren im Fahrzeug vorhanden sein und ihre Messungen können zu einem komplexeren Umfeldwissen zusammengefügt werden. Insbesondere werden die unterschiedlichen Aspekte des Umfeldes in geeigneter Weise durch Messungen erfasst und in Umfeldmodellen dargestellt. Beispielsweise lässt sich eine Häuserfront oder eine Hecke am Straßenrand viel besser durch ein Belegungsgitter als durch Objekte darstellen. Als weitere Informationsquelle werden Karteninformationen herangezogen und mit Sensordaten verglichen. Das Umfeldmodell wird so durch Infrastrukturdaten ergänzt. Durch die Fusion unstrukturierter Merkmale (Belegungsgitter) mit Objekten (z.B. von Radarsensoren) und Infrastrukturdaten (z.B. Karte und Kamera) entsteht ein recht gutes Modell der Umgebung.

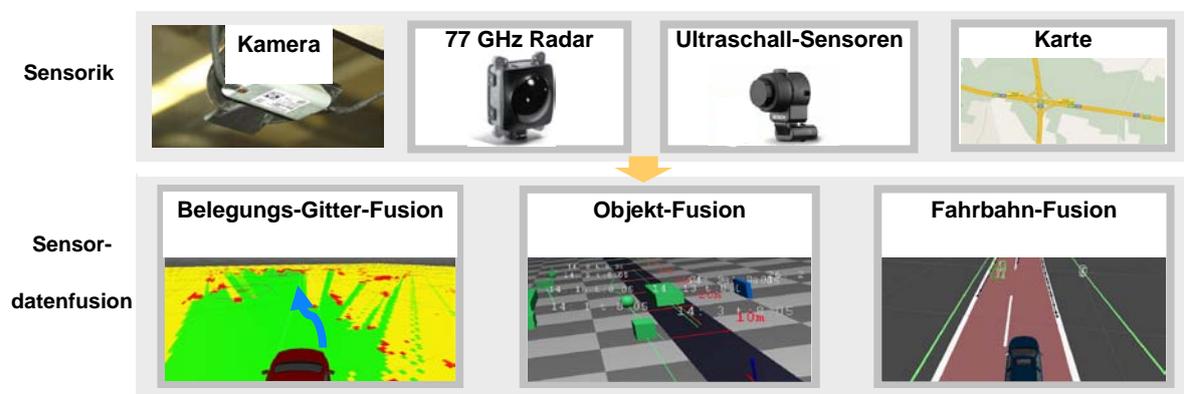


Bild 3: Sensordatenfusion

3.3.2 Situationsverständnis

Durch das Hinzufügen von Regelwissen (z.B. StVO) zu diesem Umfeldmodell wird es möglich, dem Fahrzeug situationsbezogene Handlungsoptionen bereit zu stellen. Dadurch entsteht eine Form von Situationsverständnis.

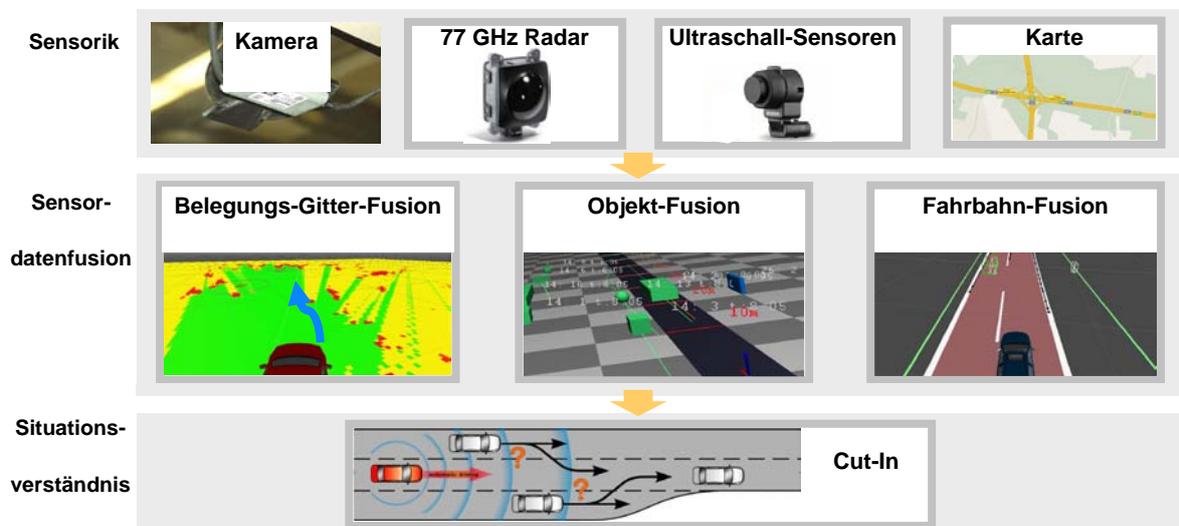


Bild 4: Situationsverständnis

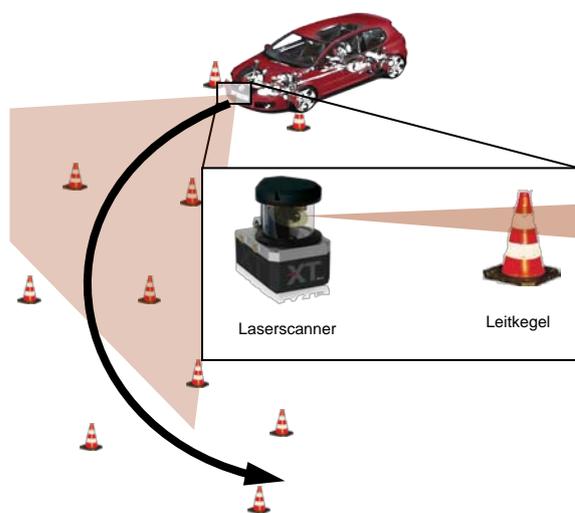
4 DAS INTELLIGENT HANDELNDE AUTOMOBIL

4.1. Trajektorienplanung und -verfolgung

Es genügt jedoch nicht, im Fahrzeug ein Situationsverständnis und Handlungsoptionen in geeigneter Weise zu repräsentieren. Damit eine Aktion automatisiert ausgeführt werden kann, muss zusätzlich eine Handlung geplant werden, z.B. in Form einer Trajektorienplanung.

4.1.1 Phase 1: Umfelderkennung

Das hier gezeigte Fahrzeug vermisst bei einer ersten - langsamen - Fahrt mit Hilfe eines Laserscanners einen durch Pylonen markierten Parcours.



Fahrzeug erkennt den Kurs

Ziel

Positionserkennung der Verkehrsleitkegel

Weg

Selbsttätige Fahrt durch Leitkegel. Synchrone Bahnplanung und Mittelung der Leitkegellage.

Motivation

Erkennung beliebiger Kurse. Rasche Modifikation abgesteckter Kurse möglich.

Bild 5: Umfelderkennung

4.1.2 Phase 2: Streckenplanung

Anschließend wird für den so erfassten Parcours unter Berücksichtigung der fahrphysikalischen Möglichkeiten des Fahrzeugs eine Idealtrajektorie errechnet (siehe Bild 6).

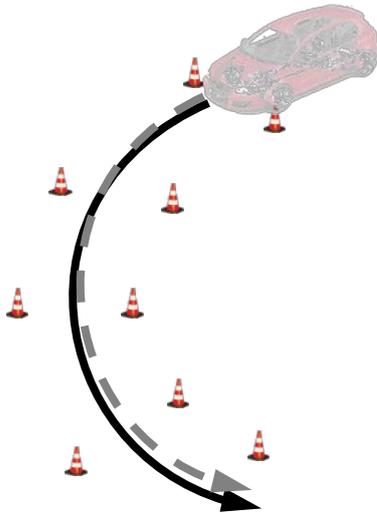


Bild 6: Streckenplanung

4.1.3. Phase 3: automatisches Fahren

Im letzten Schritt wird der Parcours im fahrdynamischen Grenzbereich durchfahren – die geplante Trajektorie wird dabei als Sollwertvorgabe einer Quer- und Längsregelung zur Verfügung gestellt.

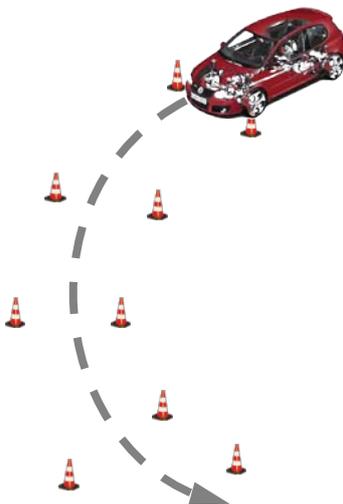


Bild 7: automatisches Fahren

Fahrzeug optimiert den Kurs**Ziel**

Quer- und Längsplanung im Sinne einer zeitoptimalen Runde

Weg

Querplanung berechnet Kursberandung und Ideallinie. Längsplanung ermittelt optimale Kurvengeschwindigkeiten und Bremspunkte

Motivation

Abbildung der gesamten Fahrzeugdynamik und damit mögliche Bestätigung der zuvor innerhalb einer Objektivierung gewonnen Einzelergebnisse.

Fahrzeug fährt den Kurs**Ziel**

Reproduzierbare Fahrt im Grenzbereich

Weg

Fahrermodell erhält das geplante Kursprofil und versucht bestmöglich die Sollvorgaben einzuhalten.

Motivation

Nachbildung eines Profifahrers, Validierung der Kursplanung aus Phase 2 und objektive querdynamische Fahrzeugbewertung auf Handlingkursen.

4.2. Manöverprädiktion

Das dargestellte Szenario funktioniert sehr gut, solange nichts Unvorhergesehenes passiert (z.B. das Einholen eines anderen Fahrzeugs auf der Strecke). Deshalb erfordert intelligentes Fahren auch eine Prädiktion des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer.

Dabei müssen einerseits die physikalischen Möglichkeiten anderer Verkehrsteilnehmer berücksichtigt werden. Andererseits müssen die Regeln (StVO), denen diese Verkehrsteilnehmer gehorchen, berücksichtigt werden. Schließlich wird in dem hier gezeigten Fall nach Anzeichen für einen bevorstehenden Fahrstreifenwechsel gesucht und eine eigene Handlung für das Eintreten dieses Wechsels bereitgehalten.

Vorhersage von Fahrstreifenwechselmanövern für andere Verkehrsteilnehmer

- unter Betrachtung von :
- Fahrzeugzustand und Fahrstreifenzuordnung
 - Verkehrsregeln und Geboten
 - Interaktion / Beziehung zu anderen Fahrzeugen

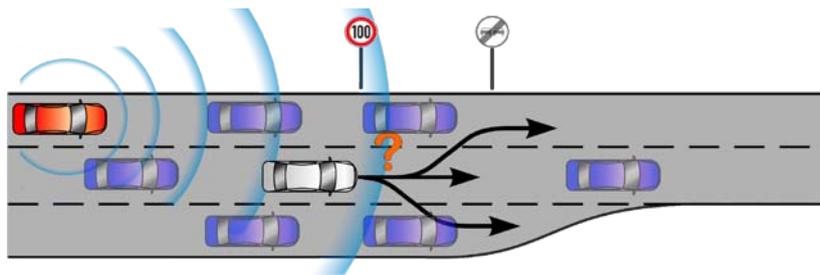


Bild 8: Manöverprädiktion

5 EINE INTELLIGENTE FAHRZEUGFUNKTION

Zum Abschluss möchte ich Ihnen eine mögliche intelligente Fahrzeugfunktion vorstellen: Das automatische Fahren in bestimmten Situationen.

5.1 Das automatische Fahren

Je nach Schwierigkeitsgrad der Fahraufgabe ist der Mensch heute mehr oder weniger gut in der Lage, ein Fahrzeug fehlerfrei zu führen. Wird die Fahraufgabe sehr komplex, kann jedoch Unterstützung hilfreich sein. Auch hier kann ein intelligentes Fahrzeug durch gezielte Information, Assistenz oder Schutzmechanismen helfen. Am anderen Ende der Skala – der Unterforderung des Fahrers über einen längeren Zeitraum, weil die Fahraufgabe zu einfach wird – kann jedoch aus Sicht der Forschung vollautomatisches Fahren sinnvoll sein.

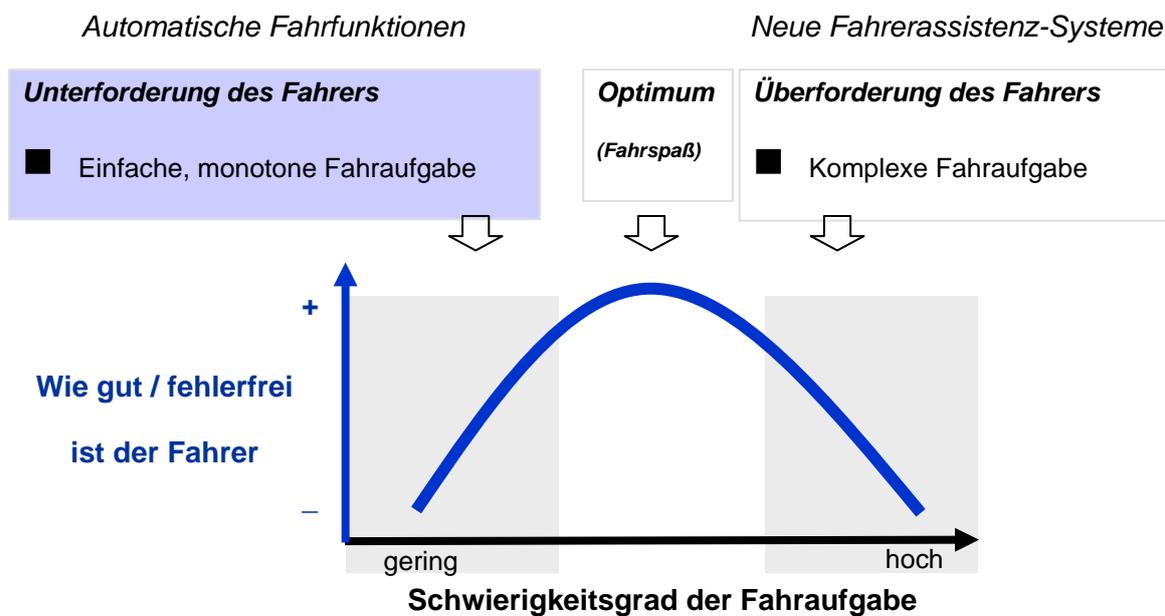


Bild 9: Anwendungsfälle für automatisches Fahren

5.2 Entwicklung des Straßenverkehrs in Deutschland

Ein Beispiel ist der typische Autobahnstau durch Überlastung des Verkehrsnetzes – eine Situation, die laut der hier gezeigten ACATECH-Studie in Zukunft dramatisch an Häufigkeit zunehmen wird.

- **Personenverkehr: + 20 %**
überproportional auf Autobahnen (+ 30%)
- **Güterverkehr: + 34 %**
überproportional auf Autobahnen (+ 45 %)
(Fahrleistung, d.h. Verkehrsmittelkilometer)

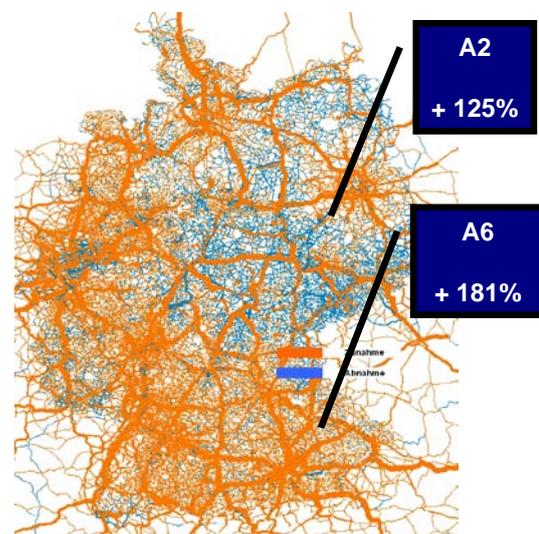


Bild 10: Entwicklung des Straßenverkehrs 2002 – 2020

5.3 Beispiele für automatisches Fahren

Es gibt einige Beispiele für automatisches Fahren. 2005 siegte dieser gemeinsam mit der Universität Stanford ausgerüstete fahrerlose Touareg bei einem Wettbewerb über mehr als 200 km auf unbefestigter Strecke.

- Mojave Wüste (Nevada, USA)
- ca. 213 km
- unbekannte Wegstrecke
- gegen andere Roboter-Fzge.



Bild 11: DARPA Grand Challenge „Stanley (2005)“

2007 folgte ein Wettbewerb in einem innerstädtischen Umfeld, bei dem die Fahrzeuge Verkehrsregeln zu beachten hatten und vorher unbekannte Wegpunkte passieren mussten.

- urbanes Testgelände
- unbekannte Wegstrecke
- gegen andere Roboter-Fzge.
- freie Fahrt, Folgefahrt, Fahrspur halten
- Einfädeln, Überholmanöver
- Ein- und Ausparken
- Kreuzungen passieren (Vorfahrtsregeln beachten)



Bild 12: DARPA Urban Challenge „Junior (2007)“

5.4 iCar (2007) Intelligent Car

Mit wesentlich geringerem sensorischen Aufwand und daher erheblich seriennäher haben wir zeitgleich ein Fahrzeug, das I-Car, aufgebaut, das automatisch auf bestimmten Autobahnstrecken im fließenden Verkehr fahren kann. Ich bin davon überzeugt, dass wir aus Sicht der Forschung unseren Kunden in naher Zukunft Fahrzeuge anbieten können, die auf ausgesuchten Autobahnstrecken automatisch fahren und so zur Sicherheit des Straßenverkehrs beitragen.

Ort: VW-Prüfgelände (3-spurige Autobahn, ‚normaler‘ Verkehr)

Funktionen:

- Freie Fahrt, Folgefahrt
- Fahrspur halten
- Fahrstreifenwechsel und Überholmanöver
- Fahren im Stau (Stop & Go)



Bild 13: iCar (2007)“

6 FAZIT

Intelligenz im Fahrzeug bedeutet mehr als Messen und Regeln.

Das Fahrzeug muss **erfassen, deuten, Sinnzusammenhänge herstellen**. Es benötigt **Situationswissen** und **Handlungsoptionen**. Unter Nutzung mehrerer Sensoren und **Infrastrukturwissen** sowie der Anwendung von **Regeln** wird hierfür eine Basis gelegt. Wird ein **Ziel** formuliert, kann eine **Planung** - zumeist einer Trajektorie – erfolgen. Im letzten Schritt, dem **Handeln**, werden **Sollgrößen** einem oder mehreren **Reglern** zur Verfügung gestellt. Dieser Prozess wird permanent durchlaufen und durch Aktualisierung des Umfeldmodells sowie **Prädiktion des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer** angepasst.

Alle geschilderten Elemente sind bereits in unterschiedlichen Ausprägungen eines teilautomatisierten Fahrens erfolgreich umgesetzt worden. Mit der Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit mehrerer Sensoren unterschiedlicher Ausprägung an zukünftigen Fahrzeugen könnte das automatische Fahren für den Endverbraucher zur Realität werden.