

Wie realitätsnah lässt sich Fahrerverhalten messen?

Neue Methoden und Werkzeuge

Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug
Technische Universität Darmstadt
18./19. März 2009

herausgegeben von Hermann Winner
und Ralph Bruder

Unter Mitarbeit von Andree Hohm, Benedikt Lattke, Lars Woyna
und Bettina Abendroth



ergonomia
Verlag

Stuttgart, Germany

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN 978-3-935089-14-7

Copyright 2009 Ergonomia Verlag, Julius-Hölder-Straße 29a, D-70597 Stuttgart
<http://www.ergonomia.de>

DTP und Druck: fotosatz griesheim GmbH, Griesheim

Printed in Germany

VORWORT

Für die Beurteilung bestehender Fahrzeugkonzepte, aber auch für die Gestaltung neuer Konzepte ist das Verhalten von Fahrern beim Umgang mit diesen Konzepten von hohem Interesse. Allerdings ist das Messen von Verhalten nicht ohne weiteres möglich, denn es gibt nicht die eine, allesumfassende Verhaltensmessgröße. Vielmehr ist das Verhalten des Fahrers nur in einzelnen Aspekten dem Beobachter zugänglich, beispielsweise über die Handlungen, die nach außen hin „sichtbar“ sind, oder messbare körperliche Reaktionen. Weiterhin besteht natürlich auch die Möglichkeit, den Fahrer oder die Fahrerin zu befragen und somit eine subjektive Einschätzung von Verhaltensweisen zu erhalten. Wie die Verwendung von Verben wie „beobachten“ und „einschätzen“ schon vermuten lässt, handelt es sich oftmals um Messungen, bei denen Daten auf Ordinalskalenniveau erhoben werden. Das Fahrerverhalten wird in diesen Fällen weniger quantitativ gemessen, sondern qualitativ geschätzt. Aber reicht eine Schätzung tatsächlich aus, wenn die Messung des Fahrerverhaltens, beispielsweise für die Auslegung von Fahrerassistenz- und Informationssystemen, genutzt werden soll?

In der Praxis zeigt es sich, dass es schwierig ist, solche Methoden zu finden, die relevante Aussagen zum Fahrerverhalten mit quantitativen Daten zulassen. Insbesondere lässt das Spannungsfeld Realitätsnähe versus Kontrolle des Versuches nur Kompromisse zwischen der Aussagenrelevanz und der Ergebnisgüte zu. Weiterhin gilt es auch die Rückwirkungsfreiheit der eingesetzten Methoden auf das Fahrerverhalten zu beachten und sicherzustellen.

Experten aus Industrie und Wissenschaft haben in der nun vierten Veranstaltung des Darmstädter Kolloquiums „Mensch & Fahrzeug“ das Thema **„Wie realitätsnah lässt sich Fahrerverhalten messen?“** unter dem Aspekt „neue Methoden und Werkzeuge“ beleuchtet und Beispiele aus unterschiedlichen Bereichen vorgestellt.

In dem einführenden Beitrag von Prof. Dr. R. Bruder (Co-Autoren K. Fuchs, Dr. B. Abendroth, T. Schramm) werden Messgrößen zur Beschreibung des Fahrerverhaltens systematisiert, anhand ausgewählter Beispiele im Hinblick auf ihre Aussagekraft beschrieben und bewertet.

F. Sommer und Dr. A. Engeln stellen einen Untersuchungsansatz zur Erkennung der Fahrerabsicht bei Einleitung autonomer Notbremsungen vor. Es wird gezeigt, dass durch Kombination mehrerer Merkmale der Fahrerreaktion verschiedene Fahrerabsichten unterschieden werden können.

In dem Beitrag von Dr. R. Kaiser wird die Eignung einer dynamischen Fahrsimulation zur Ergonomie-Absicherung des Fahrerarbeitsplatzes anhand von subjektiven Beurteilungen der Fahrer untersucht. Dazu wurden die Ergebnisse von Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr mit Fahrten im dynamischen Fahrsimulator verglichen.

Die Nutzungsmöglichkeiten eines am DLR entwickelten Viewcars und des dynamischen Fahrsimulators zur Entwicklung verkehrsadaptiver Fahrerassistenz, die den aktuellen Verkehrszustand um das eigene Fahrzeug herum berücksichtigt, werden von S. Knake-Langhorst anhand aktueller Studienergebnisse beschrieben.

II

Dr. T. Bock stellt einen *Vehicle in the Loop* Prüfaufbau für den Test von Fahrerassistenzfunktionen, die in kritischen Verkehrssituationen unterstützen sollen, vor. Mit diesem Prüfaufbau werden die Vorteile von Fahrsimulatoren und realen Versuchsfahrzeugen durch die Einbindung des realen Fahrzeuges in eine Verkehrssimulation vereinigt.

Mit Fahrversuchen zur Bewertung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen beschäftigt sich Prof. Dr. H. Winner (Co-Autoren Dr. N. Fecher, F. Regh, Dr. J. Hoffmann). Hier wird nach einem Überblick über bekannte Prüfverfahren das Darmstädter Verfahren (EVITA) vorgestellt, mit dem im Probandenversuch reale Systeme in realistischen Szenarien getestet und bewertet werden können.

„The 100-Car Naturalistic Driving Study“ und die eingesetzte Datenerhebungsmethode werden von Dr. V.L. Neale (Co-Autoren Dr. T.A. Dingus, S.G. Klauer) vorgestellt. Es wird gezeigt, welche detaillierten Erkenntnisse aus den erhobenen Daten der Pre-Crash Phase realer Unfälle gezogen werden können.

Dr. J. Breuer berichtet zum Thema Sicherheitsprognosen für neue Assistenzsysteme über Realversuche, die zur Analyse von Nebenwirkungen neuer Assistenzsysteme, wie der Falschalarm-Rate sowie zur Analyse des Nutzungsverhaltens und der Akzeptanz dieser Systeme durchgeführt werden.

Mit Methoden, die in der usability- und sicherheitsorientierten Systemevaluation eingesetzt werden, beschäftigt sich Prof. Dr. J.F. Krems. Anhand einer Fahrstudie zur Fahrerabsichtserkennung wird das allgemeine Prinzip „realitätsnaher“ Verhaltensbeobachtung erläutert und unter methodologischen Aspekten mit Simulator- bzw. Laborverfahren verglichen.

Die Herausgeber bedanken sich bei den Autoren für die vielseitigen, wissenschaftlich anspruchsvollen Beiträgen, mit denen sie sehr gute Antworten zur Frage geben: „Wie realitätsnah lässt sich Fahrerverhalten messen?“

Auch unser viertes Kolloquium hätte nicht stattfinden können ohne die tatkräftige Unterstützung der Mitarbeiter der Fachgebiete Fahrzeugtechnik und Arbeitswissenschaft. Ein besonderer Dank gilt den Mitgliedern des Organisationsteams, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Lars Woyna und Frau Dr. Abendroth vom Fachgebiet Arbeitswissenschaft sowie Herrn Dipl.-Ing. Andree Hohm und Herrn Dipl.-Ing. Benedikt Lattke vom Fachgebiet Fahrzeugtechnik.

Darmstadt, im März 2009

Prof. Dr. rer. nat. H. Winner

Prof. Dr.-Ing. R. Bruder

INHALTSVERZEICHNIS

ZUR AUSSAGEKRAFT MENSCHBEZOGENER MESSGRÖSSEN IN FAHRVERSUCHEN	1
<i>Ralph Bruder, Klaus Fuchs, Bettina Abendroth, Thomas Schramm</i>	
FAHRERABSICHTSERKENNUNG FÜR AUTONOME NOTBREMSSYSTEME – EIN UNTERSUCHUNGSANSATZ.....	17
<i>Fanny Sommer, Arnd Engeln</i>	
ERGONOMIE-ABSICHERUNG DES FAHRERARBEITSPLATZES – EXEMPLARISCHER EINSATZ UND EIGNUNG EINER DYNAMISCHEN FAHRSIMULATION	29
<i>Ralf Kaiser</i>	
NUTZUNG DES DLR VIEWCARS UND DES DYNAMISCHEN FAHRSIMULATORS ALS BAUSTEINE ZUR ENTWICKLUNG VERKEHRSDAPTIVER FAHRERASSISTENZ.....	43
<i>Sascha Knake-Langhorst</i>	
EIGENSCHAFTSENTWICKLUNG FÜR FAHRERASSISTENZSYSTEME MITHILFE VON VEHICLE IN THE LOOP (VIL).....	55
<i>Thomas Bock</i>	
FAHRVERSUCHE ZUR UNTERSUCHUNG VON FRONTALKOLLISIONS- GEGENMASSNAHMEN	67
<i>Hermann Winner, Norbert Fecher, Fabian Regh, Jens Hoffmann</i>	
NATURALISTIC DATA COLLECTION: THE TOOL TO FULFILL A MULTI-LINEAR EVENTS SEQUENCE SAFETY APPROACH	81
<i>Vicki L. Neale, Thomas A. Dingus, Sheila G. Klauer</i>	
SICHERHEITSPROGNOSEN FÜR NEUE ASSISTENZSYSTEME – STAND UND HERAUSFORDERUNGEN.....	95
<i>Jörg Breuer</i>	
METHODEN ZUR MESSUNG VON FAHRERVERHALTEN: VOM LABOR BIS ZUR FELDSTUDIE	103
<i>Josef F. Krems, Matthias Henning, Tibor Petzoldt</i>	

ZUR AUSSAGEKRAFT MENSCHBEZOGENER MESSGRÖSSEN IN FAHRVERSUCHEN

Ralph Bruder, Klaus Fuchs, Bettina Abendrot, Thomas Schramm

ZUSAMMENFASSUNG

Die Neu- und Weiterentwicklung von Teilsystemen im Fahrzeug stellt die Entwickler vor viele Herausforderungen. Das Nutzungsverhalten, die Auswirkungen des Fahrerverhaltens auf die Verkehrssicherheit, die Benutzerfreundlichkeit und das Komfortempfinden sind Fragen, deren Antwort häufig mit Hilfe von Fahrversuchen gefunden wird. Die Auswahl der geeigneten Messmethoden in Fahrversuchen ist von wesentlicher Bedeutung für die korrekte Beurteilung der untersuchten Systeme.

In diesem Beitrag wird eine Systematisierung der menschbezogenen Messgrößen im Zusammenhang von Ursachen – Bewältigung – Wirkung vorgenommen. Exemplarische Ergebnisse für ausgewählte, aussagefähige Messgrößen werden anhand von Auswertungsbeispielen, welche bei Versuchsfahrten erhoben wurden, beschrieben. Bei den ausgewählten Messgrößen handelt es sich um die Blickbewegungsanalyse, die Analyse der Fahrzeuglängs- und –querführung, elektrophysiologische Messungen, sowie Subjektivbeurteilungen. Abschließend wird die Aussagekraft der behandelten Messgrößen in Abhängigkeit des Untersuchungsziels bewertet.

1 PROBLEMSTELLUNG

Eine hohe Aussagekraft der erhobenen Daten sollte bei der Durchführung von Fahrversuchen als eines der wichtigsten Ziele verfolgt werden. Hinter der Frage nach der Aussagekraft steht neben vielen anderen das Kriterium der Objektivität der Daten an erster Stelle. Jedoch wird die Objektivität der Daten dadurch eingeschränkt, dass sich jeder Fahrer anders verhält und Dinge aus seiner individuellen Sicht beurteilt. Und gerade diese Verhaltensweisen sowie die individuelle Sicht der Fahrer, die das Fahrzeug im Alltag nutzen, ist für die Entwicklung von Fahrzeugen unverzichtbar und spricht dafür, dass Fahrversuche mit „normalen“ Autofahrern durchgeführt werden, um das reale Fahrerverhalten so gut wie möglich zu erfassen und zu beurteilen.

Bei der Neu- bzw. Weiterentwicklung von Teilsystemen¹ im Fahrzeug ergeben sich viele Fragen, die durch Fahrversuche beantwortet werden sollen. Typische Fragen sind: In welchen Situationen benutzt der Fahrer das jeweilige Teilsystem? Wie verändert sich das Fahrerverhalten durch das jeweilige Teilsystem? Welche Auswirkungen hat das Teilsystem auf die Sicherheit? Ist die Funktionalität des Teilsystems an den Fahrer angepasst? Ist das Teilsystem benutzerfreundlich gestaltet? Ist das Teilsystem für den Fahrer komfortabel? Wird das Teilsystem vom Fahrer als Unterstützung akzeptiert?

¹ Der Begriff Teilsystem wird hier stellvertretend für Fahrerassistenz- und –informationssysteme, die fahrdynamische Auslegung des Fahrzeuges sowie Elemente des Innenraums, wie Anzeigen und Bedienelemente verwendet.

Eine Auswahl menschbezogener Messgrößen und –faktoren, die zur Beantwortung dieser und ähnlicher Fragestellungen beitragen, werden in diesem Beitrag diskutiert. Aufgrund des unterschiedlichen Skalenniveaus der dargestellten Größen, sind Messgrößen von Messfaktoren eigentlich abzugrenzen (zu den Begriffen Belastungsfaktor und Belastungsgröße siehe Bokranz & Landau 1991). Aufgrund der Verständlichkeit wird in diesem Beitrag der Begriff der Messgröße auch für Messfaktoren verwendet.

2 SYSTEMATISIERUNG VON MESSGRÖSSEN

Zur Beantwortung der oben aufgeführten Fragen hinsichtlich der Gestaltungsgüte von Teilsystemen in Fahrzeugen sind bei der Planung von Fahrversuchen in Abhängigkeit der Fragestellung die geeigneten Messgrößen auszuwählen. Für eine systematische Betrachtung bietet es sich an, die Messgrößen in einen Ursachen-Wirkungs-Zusammenhang zu bringen. In der arbeitswissenschaftlichen Terminologie kennzeichnen Belastungen die durch eine Tätigkeitsausführung entstehenden objektiven Ursachen, die in der Folge als Wirkung zu Beanspruchungen des Menschen führen (siehe Bild 1). Jedoch ist dabei zu berücksichtigen, dass Menschen unterschiedliches Verhalten im Sinne einer Handlungskompetenz (d.h. Aktivität bzw. Nichtaktivität) zeigen und damit bestehende Handlungsspielräume unterschiedlich nutzen. Aus der Art und Weise, wie die Belastung zur Verarbeitung angenommen wird und mit welchem Anspruchsniveau der Mensch sich den Belastungszwängen aussetzt (psycho-physiologische Resistenz) resultiert schließlich die individuelle Beanspruchung unter Berücksichtigung weiterer typologischer Faktoren, wie den leistungsbezogenen organismischen und psycho-physikalischen Reaktionen (Rohmert 1984).

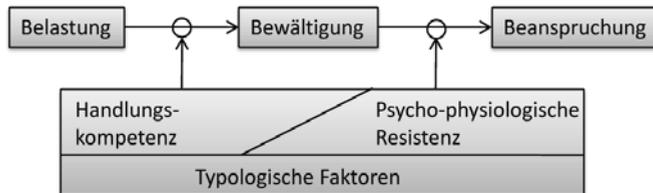


Bild 1: Funktioneller Ursachen-Wirkungs-Zusammenhang von Belastungen und Beanspruchungen (nach Luczak 1993)

Werden diesem Ursachen-Wirkungs-Zusammenhang die Untersuchungsobjekte im Fahrversuch sowie die möglichen Messgrößen zugeordnet, ergibt sich die in Bild 2 dargestellte Systematik. Um eine hohe Aussagekraft der durch Fahrversuche erzielten Ergebnisse zu erreichen, ist es wichtig, die drei Bereiche Ursachen, Bewältigung und Wirkungen durch die erhobenen Messgrößen hinreichend abzudecken.

Das mit den Fahrversuchen verfolgte Untersuchungsziel sollte im Bereich der Ursachen genau definiert werden. Die Formulierung von Hypothesen, die durch die Versuche überprüft werden sollen, unterstützt die genaue Abgrenzung des Untersuchungsziels und dient dazu, die Messmethoden sinnvoll auszuwählen. Ebenso eng an das Untersuchungsziel geknüpft ist die Frage nach der für die jeweilige Fragestellung geeigneten Untersuchungsumgebung, d.h. sollen die Versuche im Labor, auf einem Testgelände oder im öffentlichen Straßenverkehr stattfinden (siehe hierzu Bruder et al. 2007), sowie der Zusammenstellung der Versuchsstrecke bzw. der Fahrmanöver. Eine standardisierte Anweisung an den Fahrer, (der

Fahrauftrag) führt dazu, dass alle Fahrer über dieselben Informationen zu den durchzuführenden Versuch verfügen und eine genaue Anleitung bekommen, wie sie zu fahren haben oder worauf sie speziell achten sollen. Ebenfalls Einfluss auf die Bewältigung der Aufgabe sowie die Beanspruchungen des Fahrers hat die Gestaltung des untersuchten Fahrzeuges bzw. des untersuchten Teilsystems. Im Bereich der Ursachen werden in der Regel Protokolle und Messschriebe, unter Umständen auch in Form von Videoaufnahmen der Umgebung als Messmethoden eingesetzt. Diese dienen dazu, Besonderheiten während der Fahrt bzw. den Status des untersuchten Teilsystems zu dokumentieren.

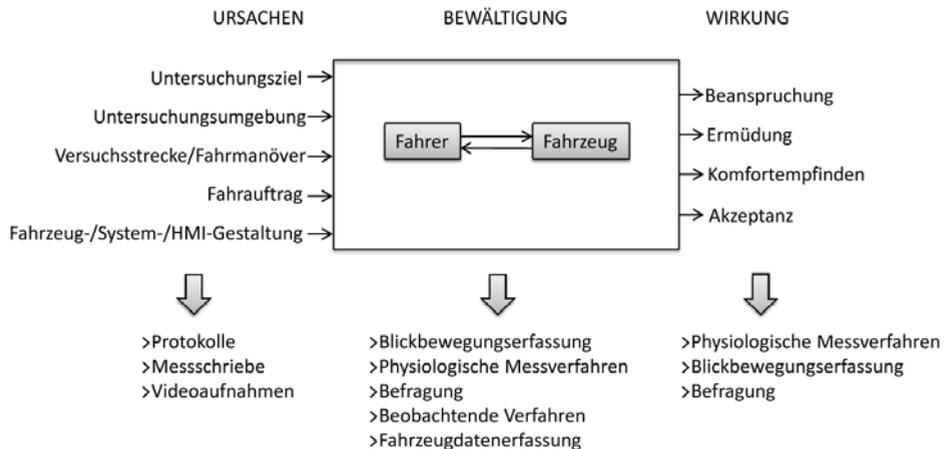


Bild 2: Ursache-Bewältigung-Wirkung: Zuordnung von Untersuchungsobjekten und Messmethoden

Dem Bereich der Handlungen werden Messgrößen und –faktoren zugeschrieben, die die Art und Weise der Bewältigung der Ursachen durch den Fahrer beschreiben. Hier wird das Zusammenwirken von Fahrer und Fahrzeug analysiert. Steht die Untersuchung des Fahrers im Vordergrund, so hat sich die Blickbewegungsanalyse in den letzten Jahren als eine wichtige Methode herausgebildet, um zu erfahren, wann der Fahrer wohin schaut und somit gemäß der methodologischen Grundannahmen von Just & Carpenter (1980) darauf zu schließen, welche Informationen er aufnimmt und verarbeitet. Ebenso können mit physiologischen Methoden (z.B. Elektromyographie der Bein- oder Armmuskulatur) über die Muskelanspannungen Kraftaufbringung und damit verbundene Bewegungen der Fahrer erfasst werden. Auch Befragungen sind eine geeignete Methode, um vom Fahrer direkt zu erfahren, wie er die Bewältigung der Fahraufgabe einschätzt. Die Frage wie der Fahrer mit dem Fahrzeug zusammenwirkt, wie er dieses „bedient“ kann bei Betrachtung der Mensch-Maschine-Schnittstellen geklärt werden. Aus den Fahrzeugdaten kann entnommen werden, welche Bedienelemente der Fahrer wann bzw. in welcher Situation nutzt. Aber auch beobachtende Verfahren wie Expertenratings zur Einstufung von Fahrermerkmalen z.B. anhand von Videoaufnahmen geben Auskunft über Zeitpunkt sowie Art und Weise der Nutzung von Systemen im Fahrzeug. Wie das Fahrzeug auf die Eingaben vom Fahrer reagiert, wird über fahrdynamische Messgrößen (z.B. Geschwindigkeit, Beschleunigungen) erfasst.

Die Wirkung der Ursachen und die Bewältigung dieser durch Fahrer zeigen sich in seiner Beanspruchung, infolgedessen auch in seiner Ermüdung sowie in seinem

Komfortempfinden und seiner Akzeptanz der untersuchten Teilsysteme. Für die messtechnische Erfassung der Wirkungen kommen physiologische Messverfahren in Frage, um z.B. Aussagen zur emotionalen und/oder mentalen Beanspruchung der Fahrer oder der Ermüdung einzelner Muskelgruppen zu erhalten. Ebenso kann aus dem Blickbewegungsverhalten der Fahrer auf eine Beanspruchung geschlossen werden. Ergänzend wird fast immer die weit verbreitete Methode der Befragung von Fahrern zu ihrem subjektiven Beanspruchungsempfinden eingesetzt.

3 MENSCHBEZOGENE MESSGRÖSSEN

3.1 Blickbewegung

Die Blickbewegungsanalyse wird bei Fahrversuchen primär zur objektiven Messung der Bewältigung und der Wirkung eines Fahrauftrages bzw. einer Nebentätigkeit eingesetzt. Da das Auge aktiv zur Exploration der visuellen Umgebung eingesetzt wird (Rötting 2001), besteht die Möglichkeit von den Augenbewegungen auf die Aufmerksamkeitsverteilung des Fahrers rückzuschließen. Dies ist von gesteigertem Interesse im Fahrzeugbereich, da nach Bartl (2006) 36% aller Unfälle durch Unaufmerksamkeit verursacht werden. Die Analyse der Aufmerksamkeitsverteilung bei Probandenversuchen mit neuen Fahrerassistenz- und -informationssystemen ist daher ein Werkzeug zur Absicherung gegenüber potentieller Unfallrisiken.

Das menschliche Auge kann sich auf vielfache Weise für die Informationsaufnahme adaptieren. Zwei dieser Möglichkeiten sind Fixationen und Sakkaden. Sie machen den größten Teil der bewussten Augenbewegungen aus. Während einer Fixation nimmt das Auge über die Netzhaut Informationen aus der Umgebung auf und leitet diese nach einer Vorverarbeitung an das Gehirn weiter. Während einer Sakkade hingegen nimmt das Auge keine visuellen Informationen auf. Die Bewegungen des menschlichen Auges, welche aus Sakkadensprüngen und Fixationen bestehen, werden in Verbindung mit dem Wahrnehmungsprozess als Blickbewegung bezeichnet. Rötting (2001) deklinierte drei aufgabenanalytische Ebenen der Informationsaufnahme. Sie zeigen, welche Informationen aus Blickbewegungsdaten abgeleitet werden können. Die 1. Ebene dient der Typisierung und Beschreibung der physiologischen Kosten bei der Bearbeitung von Aufgabenelementen, Aufgabenkomponenten und gesamten Aufgaben. Sie beschreibt die Informatrischen und energetische Kosten. Ebene 2 dient der Erklärung, Bemessung und Prognose des Zeitverbrauchs für die Bearbeitung von Aufgabenbestandteilen und kombinierten Aufgaben. Sie beschreibt die Zeitverbräuche. Zur Ebene 3 zählt die analytische Beschreibung und der Vergleich unterschiedlicher Bedingungen der Mensch-Maschine-Interaktion in mehreren Dimensionen. Drei Hypothesen, die auf Just & Carpenter (1980) zurückgehen, sind die methodologischen Grundannahmen für die Auswertungen von Blickbewegungen:

1. Die Eye-Mind Assumption postuliert, dass fixierte Objekte Gegenstand kognitiver Verarbeitung sind. Somit können Fixationen Aufschlüsse über den momentanen Gegenstand der Informationsverarbeitung der Versuchspersonen geben.
2. Die Immediacy Assumption postuliert, dass fixierte Informationen sofort verarbeitet werden. Die Fixationsdauer kann somit einen Aufschluss über die Dauer der Informationsverarbeitung der Versuchspersonen geben.
3. Die Sequence Assumption besagt, dass die Reihenfolge der Fixationen Rückschlüsse auf die Abfolge der Informationsverarbeitungsschritte zulässt.

Aus diesen Annahmen wurden Kennwerte, die aus den Blickzuwendungszeiten errechnet werden, abgeleitet. Beispiele sind Fixationsdauern, welche Rückschlüsse auf die Schwierigkeit der visuellen Aufgabe erlauben und Fixationshäufigkeiten, die Rückschlüsse auf das visuelle Prüfverhalten der Fahrer zulassen (Fairclough et al. 1993). Auch maximale Einzelfixationsdauern, die im Fahrzeugbereich Informationen darüber geben, wie unterbrechbar eine visuelle Tätigkeit ist, beziehungsweise wie lange ein Fahrzeugführer für diese Tätigkeit seinen Blick ununterbrochen von der Fahrbahn abwenden muss, führen zu relevanten Erkenntnissen.

Betrachtet man die Aufgaben des Fahrers, lassen sich diese anhand der Schadenseintritts- und -ausmaßswahrscheinlichkeit in unbedingt notwendige Primäraufgaben, wie Fahrzeugführung und Stabilisierung, wichtige Sekundäraufgaben, wie Blinken und Beachten von Verkehrsregeln, sowie tertiäre Aufgaben, wie die Nutzung von Komfort-, Informations- und Kommunikationssystemen, unterteilen (Bubb 2003).

Lassen sich Aufgaben und Objekte einander zuordnen, welche für eine Studie von besonderem Interesse sind, sogenannte „Areas of Interest“ (AOI), ermöglicht dies eine methodische Auswertung der Blickbewegungen. Eine Blickbewegungsanalyse, welche Fixationsdauern und Fixationshäufigkeiten nach diesen AOIs getrennt auswertet, ist geeignet zur Bewertung der Verteilung der Aufmerksamkeit und daraus abgeleitet, der visuellen Ablenkung eines Fahrers. Fixationsdauern und maximale Fixationsdauern können objektive Informationen über die Ablenkungsdauer und die Unterbrechbarkeit einer Nebentätigkeit geben. Abgeleitet aus der Eye-Mind Assumption wird davon ausgegangen, dass man bei einer hohen Blickdauer auf ein AOI einer sekundären oder tertiären Aufgabe auf eine Ablenkung des Fahrers von der primären Fahraufgabe schließen kann. Zur Ableitung von Aussagen über die visuelle Beanspruchung der Fahrer wird die Anzahl der Blickwechsel pro Zeiteinheit betrachtet. Die Blickbewegungsanalyse ermöglicht auch Rückschlüsse über das Situationsbewusstsein (Situational Awareness) des Fahrers. Eine wichtige Orientierungshilfe für die Begriffe und Kenngrößen bei der Messung des Blickverhaltens von Fahrern bei Fahrzeugen bietet die EN ISO 15007-1 (2003).

Die Blickbewegungsanalyse im Fahrzeug erhebt nicht den Anspruch der vollständigen Rekonstruktion der mentalen Aktivitäten des Menschen, bietet jedoch eine tragfähige Methode im Sinne einer anwendungsbezogenen Forschung. Sie ermöglicht es, den Verlauf der Informationsaufnahme- und -verarbeitung zu charakterisieren.

Aussagen, die durch den Einsatz der Blickbewegungsanalyse getroffen werden können, werden im Folgenden an dem Beispiel von Fahrversuchen mit einem Nachtsichtsystem mit Fußgängerwarnung gezeigt (Fuchs et al. 2008b, Fuchs et al. i.V.).

Zur Überprüfung der unterschiedlichen Gestaltungsvarianten eines Night Vision Systems mit Fußgängermarkierung wurde eine Methodik zur Durchführung von Versuchen im Feld und im kontrollierten Feld entwickelt. Ziel der Untersuchung war die Abwägung von Nutzervorteilen und möglichen Gefahrenquellen. Hierfür wurden drei Systemausführungen mit hinsichtlich der Darstellungsdauer und des Abstraktionsgrades variierender HMI-Gestaltung der Fußgängermarkierung mit zwei Baselines (Fahrt ohne Nachtsichtsystem, Fahrt mit konventionellem Nachtsichtsystem) verglichen. Ein Schwerpunkt war die Analyse der Aufmerksamkeits-

verteilung der Fahrer. Als AOIs wurden Straße, Fußgänger, Head up Display, Kombiinstrument, Innenraum und Sonstiges definiert. Als Ergebnis wurde unter anderem die maximale Fixationsdauer auf das HUD (Bild 3, links) betrachtet. Bei System C waren die maximalen Fixationsdauern auf das HUD im Mittel über alle Fahrer am geringsten (signifikant niedriger als bei Baseline 2). Der Vergleich der Kennwerte maximale Fixationsdauern, Gesamtfixationsdauern und Gesamtfixationshäufigkeiten zeigt, dass die Blickabwendungen der Fahrer bei System C kürzer sind als bei den anderen Testbedingungen. Dies lässt den Rückschluss zu, dass die visuelle Tätigkeit mit System C leichter unterbrechbar ist.

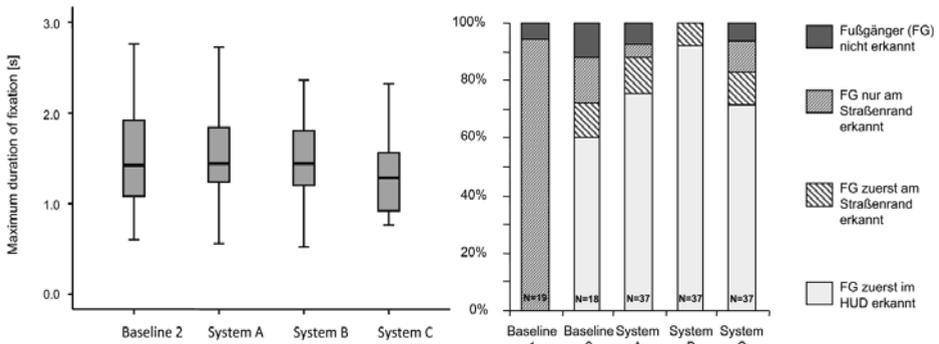


Bild 3: Links: Maximale Fixationsdauern des HUD (in s) rechts: Anzahl der erkannten Fußgänger bei verschiedenen Night Vision Systemen

Die Blickbewegungsanalyse ermöglicht es, auch Verbesserungen der Informationsaufnahme von Probanden objektiv zu messen. Bild 3 (rechts) zeigt die Anzahl der Fußgänger, die von den Versuchspersonen bei den verschiedenen HMI Auslegungen entdeckt wurden, nur mit System B wurden alle Fußgänger erkannt. Es zeigt sich, dass nicht jede Darstellungsvariante die Warnmeldung dem Fahrer auf eine effiziente Art präsentiert.

3.2 Fahrzeuglängs- und -querführung

Weitere Messgrößen, die das Fahrerverhalten und somit die Bewältigung der Fahraufgabe durch den Fahrer beschreiben, sind fahrdynamische Größen, die die Fahrzeuglängs- und -querführung quantifizieren. Fahrdynamische Größen geben die Fahrzeugreaktionen wieder, die sich als Wirkungen infolge von Eingaben des Fahrers einstellen. Eingaben des Fahrers, wie die Betätigung von Steuer- oder Bedienelementen, sind abhängig von der Fahraufgabe, seiner Fahrleistung sowie des Fahrerzustandes. Anhand seiner Eingaben lassen sich Rückschlüsse auf seinen Zustand und seine Absichten ziehen.

Einige dieser Informationen sind in heutigen Fahrzeugen verfügbar. Die verschiedenen Steuergeräte neuerer Fahrzeuge kommunizieren über den sogenannten CAN-Bus beziehungsweise Flexray, der sie untereinander vernetzt. Jedes Steuergerät sendet diejenigen Botschaften, die es anhand der Informationen entsprechender Sensorik generiert, auf den Bus. Andere Steuergeräte hören ihn ab und filtern diejenigen Botschaften und Signale heraus, die für sie von Interesse sind. Dies erlaubt eine effiziente Verbreitung der Informationen. Vom CAN-Bus können unter anderem folgende Signale abgegriffen werden: Motordrehzahl, Motormoment, Fahrzeuggeschwindigkeit, Fahrzeugquer- und -längsbeschleunigung, Gierate, Lenkradwinkel, Fahrpedalstellung und Bremsdruck sowie Informationen über

die Bedientätigkeiten des Fahrers. Der Abstand zum Vorausfahrenden bzw. der Abstand zur linken und rechten Begrenzungslinie des Fahrstreifens. ist bei einigen Fahrzeugen ebenfalls messbar.

Um Informationen über Fahrerzustand und –charakteristik zu erhalten, stellt sich die Frage, wie eine sinnvolle Interpretation von Fahrzeugsignalen aussehen kann. Je nach interessierender Messgröße müssen dazu verschiedene Fahrzeugsignale betrachtet werden. Eine wichtige Information des Fahrerzustandes ist sein Workload, d.h. seine Beanspruchung infolge aller Aufgaben, die an ihn gestellt werden, die hier in den Bereich der Wirkungen auf den Fahrer eingeordnet werden. Der Workload ist stark abhängig von der jeweiligen Fahrsituation.

Ein Indikator für Fahrsituationen mit höherem Workload ist beispielsweise die Betätigung des Blinkers. Diese Information wird in bereits entwickelten Workload-Managern genutzt. Wenn der Fahrer durch die Aktivierung des Blinkers einen Fahrstreifenwechsel ankündigt, reagiert das Fahrzeug mit einer Verzögerung von Warnmeldungen niederer Priorität. Erst wenn der Blinker deaktiviert wird, kommt es zur Ausgabe der Warnungen. So wird eine unnötige Erhöhung des Workloads in anspruchsvolleren Fahrsituationen vermieden.

Eine Fahrstilerkennung anhand von Fahrzeugsignalen ist gleichermaßen möglich. Sportliche Fahrer können durch das Betätigungsverhalten des Fahrpedals von komfortorientierten unterschieden werden. Speziell im Anfahrvorgang gibt es deutliche Unterschiede. Färber (2005) konnte zeigen, dass die Gaspedalstellung beim ersten Plateau nach einem Anfahrvorgang bei sportlichen Fahrern signifikant höher ist als bei den anderen Fahrern.

Eine weitere Größe des Fahrerzustandes ist sein Müdigkeitsgrad. Da ein großer Anteil der Unfälle durch Müdigkeit bedingt ist, kommt dieser Information eine besonders wichtige Rolle zu. Ein weit verbreiteter Kennwert zur Erfassung von Fahrermüdigkeit anhand des Lenkradwinkelsignals ist die Steering Wheel Reversal Rate (SWRR), die auf McLean & Hoffmann (1975) zurückgeht. Sie beschreibt die Anzahl der Lenkradumkehrungen innerhalb eines bestimmten Zeitraumes, die eine gewisse Winkeldifferenz (Gap Size) überschreitet. Thiffault & Bergeron (2003) konnten weiterhin zeigen, dass große Lenkbewegungen bei müden Fahrern zunehmen. Wird folglich eine große Gap Size gewählt, ergibt sich für einen müden Fahrer eine höhere Häufigkeit an Lenkradumkehrungen.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsprojektes AKTIV wird innerhalb des Teilprojektes FSA (Fahrsicherheit und Aufmerksamkeit) das Ziel verfolgt, fahrzeugseitige Kennwerte zur Detektion von Müdigkeit zu ermitteln. Hierzu wurden Fahrversuche vom Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt zusammen mit der Adam Opel GmbH durchgeführt.

Dazu wurden Versuche mit 46 Probanden auf dem Testgelände der TU Darmstadt mit dem Ziel durchgeführt, bei den Fahrern eine monotoniebedingte Müdigkeit zu erzeugen. Der Parcours bestand aus einem ca. 1,9 km langen Rundkurs, der von den Fahrern im Verlauf der Versuche ca. 70 Mal befahren wurde. Der monotone Charakter der Fahrt wurde durch den Fahrauftrag weiter verstärkt. Danach sollten die Probanden für eine Fahrtdauer von 3 Stunden den Parcours mit einer Geschwindigkeit von 50km/h befahren. Unterhaltungen mit dem Versuchsbegleiter sowie Nebenaufgaben jeglicher Art waren untersagt. Während der Versuchsfahr-

ten wurden fahrzeugseitige Messgrößen vom CAN-Bus, wie z.B. Lenkwinkel, Fahrgeschwindigkeit und Pedalbetätigung abgegriffen. Um den Müdigkeitszustand der Fahrer zu dokumentieren, wurden diese in regelmäßigen Abständen gebeten, ihre Müdigkeit anhand der Karolinska Sleepiness Scale (KSS, nach Åkerstedt 1990) zu bewerten. Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Zunahme der Müdigkeit über der Fahrtdauer.

Ein aus den Daten bereits berechneter Kennwert ist die SWRR. Hierbei stand vor allem die Bestimmung einer geeigneten Gap Size im Vordergrund. Die SWRR wird hier ausschließlich auf geraden Streckenstücken betrachtet. Bild 4 zeigt die Mittelwerte des Kennwertes SWRR über alle Probanden. Ab den KSS-Stufen 4 bis 9 ergibt sich ein monoton steigender Verlauf der Mittelwerte. Auffällig ist der starke Anstieg des Kennwertes bei den KSS-Stufen 8 und 9. Eine Detektion ermüdeten Fahrer anhand dieses Kennwertes ist folglich möglich.

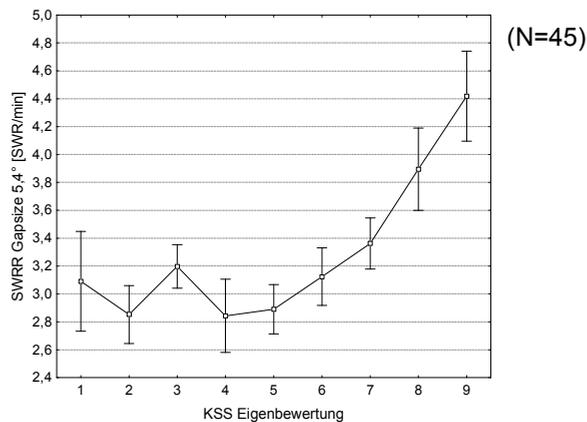


Bild 4: SWRR mit Gap Size 5,4° über der KSS – Mittelwert und Standardfehler

3.3 Elektrophysiologie

Die Wirkungen der Fahraufgabe im untersuchten Kontext auf den Fahrer zeigen sich in seinen individuellen Beanspruchungen. Hohe Beanspruchungen des Fahrers während der Fahrt weisen auf vom Fahrer als kritisch erlebte Situationen hin. In solchen Situationen besteht die Gefahr, dass Fahrer z.B. aufgrund fehlender Erfahrungen mit diesen Situationen nicht angemessen reagieren. Anhand physiologischer Messgrößen können diese Beanspruchungen quantifiziert werden, sie werden in Abhängigkeit der Fragestellung mit unterschiedlichen Zielen eingesetzt. Während bei Komfortuntersuchungen z.B. elektrische Aktivitäten relevanter Muskeln gemessen werden, um Aussagen über diskomfortable Sitzhaltungen zu erhalten, stehen bei Untersuchungen des Fahrerhaltens (mit und ohne Nutzung von Fahrerassistenzsystemen) die psychischen Beanspruchungen der Fahrer im Vordergrund. Hier wird mit physiologischen Messgrößen überprüft, wie sich die emotionale und möglicherweise auch die mentale Beanspruchung der Fahrer bei Unterstützung durch Fahrerassistenzsysteme verändert. Im Umkehrschluss ist es aber auch möglich, durch physiologische Messungen Situationen zu identifizieren, die zu hohen Beanspruchungen der Fahrer führen und somit Potenzial für die Unterstützung durch neuartige Fahrerassistenzsysteme bieten.

Aus dem Bereich der elektrophysiologischen Messgrößen können Herzschlagfrequenz, Herzschlagarrhythmie, Hautleitwert sowie elektrische Aktivitäten von Muskeln als relevant zur Untersuchung des Fahrerverhaltens während Fahrten im realen Fahrzeug bezeichnet werden.

Zur Analyse der muskulären Beanspruchung bieten sich als peripherphysiologische Kenngrößen die elektrischen Aktivitäten (EA) der zur Stellteilbetätigung an Lenkrad sowie Fahr- und Bremspedal (Fuchs et al. 2008a) oder der zur Aufrechterhaltung der Körperposition benötigten Muskeln an. Nach der Aktivierungstheorie können aber auch die elektrischen Aktivitäten von nicht in den Arbeitsvollzug eingebundenen Muskelgruppen als Indikatoren der Tonuslage eingesetzt werden, die Aussagen über das Aktivierungsniveau des gesamten Nervennetzes erlauben. Dazu wurden während Fahrversuchen von Breuer (1996) die EA eines Bauchmuskels (m. rectus abdominis), die auf Beanspruchung durch Haltungsarbeit und emotionale Beanspruchungen reagiert, sowie der Stirn (m. epicranii pars frontalis) eingesetzt. Ebenfalls zur Beurteilung vorwiegend emotionaler Beanspruchungskomponenten dienen die Herzschlagfrequenz sowie der Hautleitwert des Fahrers als Indikatoren. Die mit Hilfe des Elektrokardiogramms (EKG) ermittelte Herzschlagfrequenz wird als eine integrierende Messgröße zur Ermittlung der Beanspruchung angesehen, die nicht nur auf die Belastungen des Herzkreislaufsystems, sondern auch auf mentale und emotionale Belastungen reagiert. Sie steigt unter informatorischer Belastung signifikant an, falls dieser Effekt nicht durch energetische Komponenten verdeckt wird (Philipp 1979). Unter dem Hautleitwert wird die elektrische Admittanz der menschlichen Haut verstanden. Aus Höhe und Dauer der Reizantwort lassen sich Rückschlüsse auf Zeitpunkt und Intensität einer erlebten Emotion ziehen. Es ist zwischen phasischen und tonischen Anteilen zu unterscheiden. Die phasischen Anteile werden durch die Hautleitfähigkeitsreaktion (Skin Conductance Response = SCR) und der tonische Anteil durch basale Leitfähigkeit (Skin Conductance Level = SCL) repräsentiert (Faber 1980, Boucsein 1988).

Welche Aussagen durch den Einsatz elektrophysiologischer Messungen während Fahrversuchen gewonnen werden können, wird im Folgenden an einem Beispiel gezeigt.

Wie sich Pkw- und Lkw-Fahrer bei Unterstützung durch ein Fahrerassistenzsystem, das in kritischen Situationen eine aktive Notbremsung ohne Beteiligung des Fahrers vornimmt, verhalten, wurde vom Institut für Arbeitswissenschaft und dem Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt im Auftrag von sechs Fahrzeugherstellern und Zulieferern (Audi, Bosch, BMW, MAN, Opel, Siemens) im Rahmen der Forschungsinitiative AKTIV (Adaptive und kooperative Technologien für den intelligenten Verkehr), die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert wird, untersucht.

Hierzu wurden Fahrversuche mit 90 Probanden auf dem Testgelände der TU Darmstadt durchgeführt. Zur Erzeugung realistischer Notbremssituationen wurde das vom Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt entwickelte „dummy vehicle“ EVITA verwendet (Winner et al. 2009). Bei der Versuchsdurchführung wurden zwei Szenarien realisiert. Szenario 1 untersuchte das Fahrerverhalten bei einer tatsächlichen Gefahrensituation. In Szenario 2 wurde eine Fehlauflösung betrachtet. Beide Szenarien wurden in unterschiedlichen Reihenfolgen mit unterschiedlichen Auslegungsvarianten der AGB untersucht (Fecher et al. 2008, 2009).

Mit Hilfe physiologischer Kennwerte wurden Aussagen zur emotionalen Beanspruchung des Fahrers sowie zur muskulären Beanspruchung des rechten Fuß-Bein-Systems während bzw. nach den Bremssituationen getroffen. Ziel war es, Veränderungen der Fahrer-Beanspruchung durch den Einsatz von Aktiven Gefahrenbremsungen sowie Beanspruchungsunterschiede bei unterschiedlichen Unterstützungsvarianten zu untersuchen. Außerdem wurden Fahrzeugdaten wie Bremsdruck, Geschwindigkeit und Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug erhoben sowie Videoaufzeichnungen (z.B. Fahrerhandlungen und Umgebung), Blickbewegungsdaten und subjektive Beurteilungen.

Zur Analyse der emotionalen Beanspruchungen der Fahrer werden die Maximalwerte von Herzschlagfrequenz (HSF) und Hautleitwertes (SCL) betrachtet. Der Maximalwert der Herzschlagfrequenz bzw. des Hautleitwertes ist definiert als das Maximum der HSF bzw. des SCL innerhalb des Betrachtungszeitraums von einer Minute ab dem Beginn einer AGB Auslösung. Die Ruheherzschlagfrequenz und der Ruhehautleitwert wurden vor Beginn der Versuchsfahrt im Fahrzeug gemessen. In Bild 5 werden die Mittelwerte und Standardabweichungen der Kennwerte maximale Herzschlagfrequenz und maximaler Hautleitwert aller PKW-Fahrer in unterschiedlichen Situationen dargestellt. Betrachtet werden bei den kritischen Bremssituationen (ausbleibende AGB (AAGB) und berechnete AGB (AGB)) jeweils der erste Versuch eines Probanden, um Gewöhnungseffekte auszuschließen. Die Fehlauflösungen (FA) des Systems erfolgten, nachdem die Fahrer bereits Aktive Gefahrenbremsungen kennengelernt hatten.

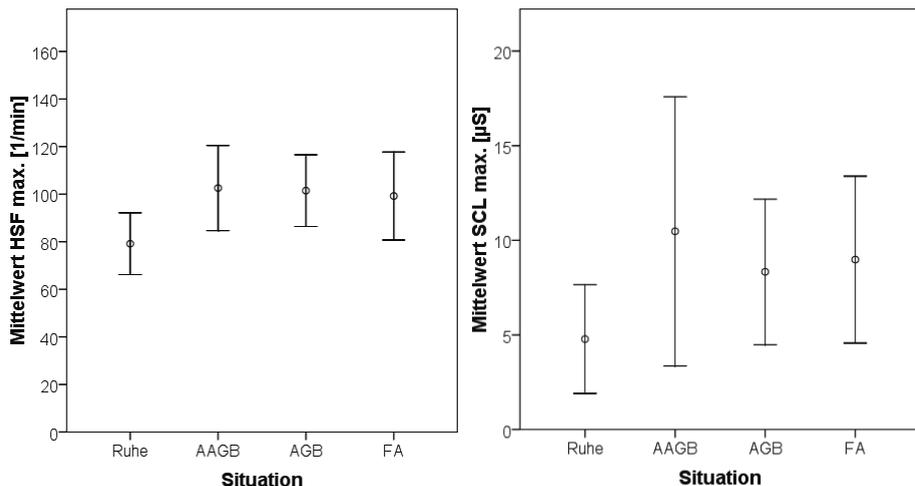


Bild 5: Verteilung der Maximalwerte der Herzschlagfrequenzen (HSF) sowie der Hautleitwerte (SCL) der Pkw-Probanden (Mittelwerte und Standardabweichungen), dargestellt sind jeweils Ruhezustand, ausbleibende AGB (AAGB), AGB und Fehlauflösungen (FA) (N=55)

Die Kennwerte maximale Herzschlagfrequenz und maximaler Hautleitwert sind für die PKW-Probanden in kritischen Situationen signifikant höher als die Ruhewerte der Fahrer (bei den LKW-Probanden wurden vergleichbare signifikante Unterschiede zwischen diesen Situationen festgestellt). Dies zeigt, dass die Unterstützung des Fahrers in kritischen Auffahrsituationen durch Aktive Gefahrenbremsun-

gen zwar die Wirksamkeit der Bremsung verbessert (z.B. Fecher et al. 2009), aber keine Auswirkungen auf die emotionale Beanspruchung des Fahrers hat, da die Erhöhung der Beanspruchung primär durch die Gefahrensituation ausgelöst wird. Jedoch führen Fehlauflösungen des Systems in unkritischen Situationen zu vergleichbar hohen Beanspruchungen des Fahrers wie kritische Bremsituationen. Daraus ergibt sich, dass bei der Auslegung eines solchen Systems darauf zu achten ist, die Fehlauflösungen, die von der überwiegenden Anzahl der Fahrer auch als störend beurteilt wurden, zu minimieren – wohlwissend, dass bei der Systemauslegung ein Zielkonflikt zwischen den Fehlauflösungen aufgrund von fälschlicherweise erkannten potenziellen Konfliktfahrzeugen (false positives) und nicht erkannten Konfliktfahrzeugen (false negatives) besteht.

3.4 Subjektivbeurteilungen

Interviews und Fragebögen ermöglichen eine für Subjektivurteile möglichst quantitative Aussage (Warren 1934) und werden häufig zur Beurteilung der Bewältigung von Primär-, Sekundär und Tertiärtätigkeiten sowie zu deren Wirkung, wie Akzeptanz oder Komfortempfinden, sowie zum Erheben von demographischen Daten zur Klassifizierung objektiver Messwerte verwendet. Anhand der erhobenen Daten können auch objektive Messgrößen klassifiziert und validiert werden. Für viele Fragestellungen existieren schon validierte Tests.

Für an die jeweiligen Untersuchungsziele angepasste Fragestellungen müssen aus den Hypothesen speziell abgeleitete Fragebögen entwickelt werden. Neben Absolut- und Relativbeurteilungen bieten sich hierfür auch Prätest / -Posttest Vergleiche an. Festgelegte Antwortkategorien mit Ratingskalen ermöglichen eine standardisierte, differenzierte und strukturierte Datenerhebung, geben jedoch keinen Freiraum für Probandeneigene Anregungen. Abhängig vom Untersuchungsziel der Fahrversuche muss festgelegt werden, ob eine Augenscheinvalidität erwünscht ist oder nicht, um gewisse Antworttendenzen zu vermeiden (Kubinger 2006). Es hat sich gezeigt, dass negativ formulierte Items einen Einfluss auf das Antwortverhalten haben (Amelang & Borkenau 1981). Negative Formulierungen können bewusst eingesetzt werden, um der Akquieszenz entgegenzuwirken. Ein subjektives Beurteilungsverfahren sollte objektiv, reliabel, valide und darüberhinaus auch normierbar, vergleichbar, ökonomisch und natürlich nützlich sein. Die Bewertung ausgewählter Methoden zur Erfassung der individuellen Charakteristik kann nur in Abhängigkeit des Nutzungskontextes geschehen. Und auch die Auswahl der geeigneten subjektiven Methoden kann nur in Abhängigkeit des Untersuchungszieles festgelegt werden. Interviews und Fragebögen liefern einen wichtigen Beitrag zur Bewertung von Fahrzeugen und Fahrerassistenzsystemen und ergänzen objektive Messgrößen bei Fahrversuchen, um eine breite Beurteilung des Systems Mensch-Fahrzeug zu ermöglichen.

Bei den zur Überprüfung unterschiedlicher Gestaltungsvarianten eines Night Vision Systems durchgeführten Versuchen (siehe Kapitel 3.1) wurden auch subjektive Beurteilungen der unterschiedlichen Systeme erhoben.

In Bild 6 wird die Komfortbewertung der Nachtfahrt mit den jeweils eingesetzten Systemvarianten des Nachtsichtsystems mit Fußgängermarkierung den Fahrten mit den Baselines gegenübergestellt. Auffällig ist die signifikant unterschiedliche Bewertung der Systeme hinsichtlich des Komforts. Die Night Vision Varianten mit Fußgängermarkierung wurden signifikant komfortabler bewertet im Vergleich zu

den beiden Baselines. Am besten wurde von den Fahrern im Hinblick auf den Komfort System B, ein System mit einer temporären Darstellung, bewertet.

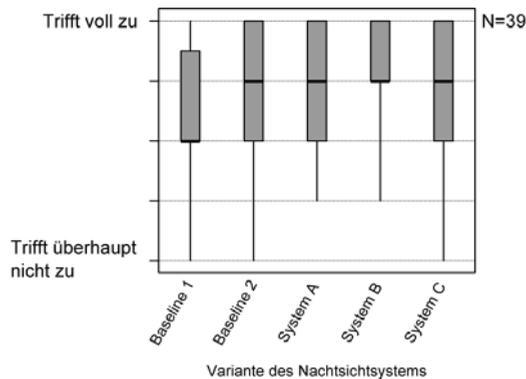


Bild 6: Bewertung der Aussage „das Fahren mit der jeweiligen Systemvariante war komfortabel“

4 BEWERTUNG DER AUSSAGEKRAFT MENSCHBEZOGENER MESSGRÖSSEN

Die Aussagekraft von Messgrößen wird maßgeblich dadurch bestimmt, ob sie dazu geeignet sind, das angestrebte Untersuchungsziel zu erreichen, d.h. die am Anfang einer Untersuchung formulierten Hypothesen eindeutig zu bewerten. Dies hängt in der Regel nicht alleine von der Messgröße ab, sondern zusätzlich vom Versuchsdesign und der Auswertungsmethodik.

Weitere Kriterien, die auch als Voraussetzung für aussagekräftige Ergebnisse bezeichnet werden können, sind die statistischen Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität. Wobei das Kriterium der Objektivität, wie eingangs bereits beschrieben, im Fall von Subjektivbeurteilungen durch die Probanden, wenn es um den Bereich der Wirkungen geht, nicht maßgeblich ist, jedoch für die Beschreibung des Ursachenbereiches höchste Priorität haben muss. Da die erzielten Ergebnisse im Bereich Bewältigung und Wirkungen immer auf die Ursachen bezogen werden müssen, kann es sinnvoll sein, unterschiedliche Belastungsabschnitte zu differenzieren. Die Reliabilität verlangt, dass Messungen unter gleichbleibenden Bedingungen reproduzierbar sein müssen. Dies wird jedoch dadurch eingeschränkt, dass dieselben Bedingungen bei Fahrversuchen selten wiederhergestellt werden können, selbst bei Versuchen im Labor bleibt die Leistungsbereitschaft des Probanden als variierende Größe. Hinter der Validität steht die Forderung, dass durch die Messgröße das Merkmal erfasst wird, über das eine Aussage gewünscht wird. Dies zielt, wie oben bereits beschrieben, darauf ab, dass die Messgröße dazu geeignet sein muss, die einer Untersuchung mit Fahrversuchen zugrundeliegenden Fragen zu beantworten. Hier muss auch berücksichtigt werden, dass die eingesetzten Messmethoden keine Auswirkungen auf das Verhalten des Probanden haben dürfen. Schlussendlich wird die Aussagekraft der erhobenen Messgrößen aber davon bestimmt, wie gut es gelingt, die erzielten Ergebnisse auf die ursprüngliche Fragestellung zu übertragen und allgemeingültige Aussagen abzuleiten.

Auch die Einsatzmöglichkeiten der Messmethode unter realen Fahrbedingungen tragen zur Aussagekraft und Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse bei. Ebenso

wird eine Methode, die im Hinblick auf den Nutzen für die Gestaltung des Systems direkt umsetzbare Ergebnisse liefert, eine höhere Aussagekraft zugeschrieben werden.

Die Aussagekraft der in diesem Beitrag näher beschriebenen Methoden wird anhand der oben aufgeführten Kriterien für unterschiedliche Untersuchungsziele summarisch bewertet (Tabelle 1): Analyse des Fahrerverhaltens (Verhalten), Beurteilung von Fahrerassistenzsystemen (FAS) und Fahrerinformationssystemen (FIS) hinsichtlich ihrer Funktionalität, Beurteilung und Gestaltung des Fahrzeuginnenraums (Bedienelemente & Anzeigen, Sitze), Analyse und Beurteilung von Ermüdungswirkungen (Ermüdung), Analyse und Beurteilung des Umgangs mit neuen Systemen (Lernen).

Tabelle 1: Summarische Bewertung der Aussagekraft ausgewählter menschenbezogener Messgrößen (+: hoch, o: bedingt, -:gering) zur Analyse von Bewältigungen und Wirkungen (bei zwei Bewertungsangaben in einem Feld steht die erste für den Bereich Bewältigung und die zweite für den Bereich der Wirkungen)

BEWÄLTIGUNG/WIRKUNG	Verhalten	FAS	FIS	Bedienelemente & Anzeigen	Sitze	Ermüdung	Lernen
Blickbewegungserfassung	+	o/+	+	+	-	+	+
Physiologische Messverfahren	-	-/+	-	-	o/+	+	o
Befragung	+	+	+	+	+	+	o
Fahrzeugdatenerfassung	+	+	o	o	-	+	o

Um aussagekräftige Ergebnisse in Fahrversuchen zu ermitteln, ist es notwendig, Messgrößen, die die drei Bereiche Ursachen, Bewältigung und Wirkungen beschreiben, auszuwählen. In Abhängigkeit des Untersuchungszieles sind dabei die unterschiedlichen Erhebungsmethoden mehr oder weniger gut geeignet, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen (siehe Tabelle 1).

LITERATUR

Åkerstedt, T., Gillberg, M.: Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual. *International Journal of Neuroscience*, 52 (1990), S. 29 – 37

Amelang, M. & Borkenau, P.: Untersuchungen zur Validität von Kontroll-Skalen für soziale Erwünschtheit und Aquieszenz. *Diagnostica*, 1981

Bartl, G.: Der potenzielle Unfallenker steckt in jedem von uns: Unaufmerksamkeit. *Presse-Information: Unfallursachenanalyse 4.5.2006* Wien, 2006

Bokranz, R.; Landau, K.: Einführung in die Arbeitswissenschaft: Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen. Stuttgart: Ulmer. 1991

Boucsein, W.: Elektrodermale Aktivität. Grundlagen, Methoden und Anwendungen. Berlin, Heidelberg: Springer. 1988

Bubb, H.: Fahrerassistenz primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit? VDI-Bericht Nr. 1768. VDI, Düsseldorf. 2003, S. 257-268

Breuer, J.: Ergonomische Beurteilung und Gestaltung der Sicherheit des Arbeitssystems Kraftfahrzeugführen. Fortsch.-Ber. VDI Reihe 12 Nr. 271. Düsseldorf: VDI. 1996

Bruder, R.; Abendroth, B.; Landau, K.: Zum Nutzen von Fahrversuchen für die Gestaltung. In: Bruder, R.; Winner, H. (Hg.): Wie objektiv sind Fahrversuche. Stuttgart: Ergonomia. 2007, S. 79-96

EN ISO 15007-1: Straßenfahrzeuge - Messung des Blickverhaltens von Fahrern bei Fahrzeugen mit Fahrerinformations- und -assistenzsystemen Teil 1: Begriffe und Parameter, Berlin: Deutsches Institut für Normung. 2003

Fairclough, S.H., Ashby, M.C. & Parkes, A.M.: In-vehicle displays, visual workload and usability evaluation. In: A.G. Gale, I.D. Brown, C.M. Haslegrave, H.W. Krusysse & S.P. Taylor (Hg.): Vision in Vehicles - IV. Amsterdam: Elsevier. 1993, 245-254

Faber, S.: Hautleitfähigkeitsuntersuchungen als Methode in der Arbeitswissenschaft. VDI-Fortschritt-Berichte Reihe 17 Nr. 9, Düsseldorf: VDI. 1980

Färber, B.: Erhöhter Fahrernutzen durch Integration von Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen. In: Maurer, M., Stiller, C. (Hg.): Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung. Berlin: Springer. 2005, 148-151

Fecher, N.; Hoffmann, J.; Winner, H.; Fuchs, K.; Abendroth, B.; Bruder, R.: Analysis of Driver Behaviour in Autonomous Emergency Hazard Braking Situations. Fisita World Automotive Congress. 14.-19. September 2008, Munich. F2008-02-030. 2008

Fecher, N.; Hoffmann, J.; Winner, H.; Fuchs, K.; Abendroth, B.; Bruder, R.: Aktive Gefahrenbremsungen – wie reagiert das Fahrer-Fahrzeug-System? ATZ (2009) 2, 140-146

Fuchs, K.; Abendroth, B.; Bruder, R.: Aktive Gefahrenbremsungen – Wie reagiert der Fahrer? 24. VDI/VW-Gemeinschaftstagung. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme. 29 und 30. Oktober 2008, Wolfsburg. Düsseldorf: VDI, 2008a, 241-251

Fuchs, K.; Abendroth, B.; Bruder, R.: Ergonomische Bewertung eines Night Vision Systems mit Fußgängermarkierung im Head-up-Display, 54. Frühjahrskonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. 2008, 09. bis 11. April 2008, München. Dortmund: GfA-Press. 2008b, 121-124

Fuchs, K.; Abendroth, B.; Bruder, R.: Night Vision - reduced drivers distraction, improved safety and satisfaction, 13th International Conference on Human-Computer Interaction 2009, 19. bis 24. Juli 2009, San Diego, USA. i.V.

Just, M.A., & Carpenter, P.A.: A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87(1980), 329-354

Kubinger, K.D.: Psychologische Diagnostik – Theorie und Praxis psychologischen Diagnostizierens. Göttingen: Hogrefe. 2006

Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 1. Auflage. Berlin usw.: Springer. 1993

McLeon, J.R. & Hoffmann, E.R.: Steering reversals as a measure of driver performance and steering task difficulty. *Human Factors*, 17 (1975), S. 248 – 256

Philipp, U.: Zur Beurteilung der Herzschlagfrequenz bei psycho-physisch hoch belastenden Tätigkeiten. Dissertation am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt. Darmstadt. 1979

Rötting, M.: Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Dissertation, Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung, Bd. 32. Aachen: Shaker. 2001

Rohmert, W.: Das Belastungs-Beanspruchung-Konzept. *Z. Arb. Wiss.* 38 (1984) 4, 193-200

Thiffault, P., Bergeron, J.: Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 35 (2003), 381 – 391

Winner, H.; Fecher, N.; Regh F.; Hoffmann, J.: Fahrversuche zur Untersuchung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen. In: Winner, H.; Bruder, R.; (Hg.): *Wie realitätsnah lässt sich Fahrerverhalten messen? Neue Methoden und Werkzeuge.* Stuttgart: Ergonomia, 2009, S. 67-79

FAHRERABSICHTSERKENNUNG FÜR AUTONOME NOTBREMSSYSTEME – EIN UNTERSUCHUNGSANSATZ

Fanny Sommer, Arnd Engeln

ZUSAMMENFASSUNG

Der Wirkungsbereich, die Kontrollierbarkeit sowie die zu erwartende Nutzerakzeptanz aktiv eingreifender Notbremssysteme können durch Einbindung des Fahrers in das Systemverhalten zukünftig verbessert werden. Bisherige Versuche zeigen die Tendenz des Fahrers, beim Beginn autonomer Notbremseingriffe in das Gaspedal zu fallen, wodurch eine Erkennung von Überstimmungsabsichten allein aus einer reinen Betätigung des Gaspedals erschwert wird. Auch die korrekte Erkennung von Vollbremsabsichten während autonomer Teilbremseingriffe ist bislang ungeklärt.

Der Beitrag stellt eine Studie zur Erkennbarkeit von Fahrerabsichten während autonomer Notbremsungen vor. Die Ergebnisse zeigen, dass sich verschiedene Fahrerabsichten durch Kombination mehrerer Merkmale der Fahrerreaktion signifikant unterscheiden lassen. Eine Überstimmungsabsicht des Fahrers kann hierbei zu ca. 88% richtig erkannt werden, im Mittel 760 ms nach Beginn eines Notbremseingriffes. Vollbremsabsichten werden mit einer Vorhersagegenauigkeit von ca. 74% im Mittel 1 000 ms nach Eingriffsbeginn detektiert.

1 EINFÜHRUNG

1.1 Problemstellung

Eine Reihe von aktuell in der Entwicklung befindlichen Fahrerassistenzsystemen zielt auf die Vermeidung von Straßenverkehrsunfällen mit Pkw ab. Dabei ist ein Trend zur Entwicklung autonom eingreifender Systeme erkennbar. Ein Beispiel stellt die autonome Notbremse dar, d. h. eine fahrzeuginitiierte Verzögerung im Falle einer erkannten Kollisionsgefahr. Diese Systeme werden dahingehend weiterentwickelt, dass sie ein immer größeres Potenzial zur Unfallschwereminderung realisieren (Häring et al. 2008) bzw. auch unfallvermeidend eingreifen (Vollrath et al. 2006). Diese Weiterentwicklung erfordert eine immer frühzeitigere Erkennung einer potenziell kritischen Verkehrssituation. Damit steigt die Anzahl möglicher Bewegungsrichtungen des Ego-Fahrzeuges während des vorherzusagenden Zeitraumes, die zukünftige Fahrzeugbewegung wird mit abnehmender Sicherheit vorhersagbar (Häring et al. 2008). Kommt es zu einer fehlerhaften Interpretation (z. B. der Fahrer plant ein Spurwechselmanöver, welches fahrzeugeitig nicht erkannt wird) und zu einem aus Fahrersicht fehlerhaften Notbremseingriff, könnte der Fahrer ggf. für einen Zeitabschnitt von bis zu mehreren Sekunden ungewollt heruntergebremst werden.

Eine Lösung dieses Konflikts liegt in der Erkennung und Beachtung der Fahrerabsicht während autonomer Notbremsungen: Erkennt das Fahrzeug den fahrerseitigen Wunsch entweder zur Verstärkung oder zum Abbruch (d. h. Überstimmung) des Eingriffs, kann das autonome Notbremssystem entsprechend der festgestellten Fahrerabsicht reagieren. Positive Einflüsse auf Kontrollierbarkeit und Kundenakzeptanz sind zu erwarten.

1.2 Fahrerreaktionen auf autonome Notbremsungen

Arbeiten zum Fahrerverhalten in unerwarteten kritischen Situationen fokussieren in der Regel auf Reaktionszeiten und Reaktionsintensitäten der Versuchsteilnehmer. Aufbauend auf den Ergebnissen wurden mehrere Reaktionsmodelle zur Beschreibung des Fahrerverhaltens in kritischen Situationen vorgeschlagen (z. B. Burckhardt 1985; Färber 1986; Zomotor 1987; Weiße 2003). Sie gliedern das Fahrerverhalten anhand beobachtbarer Verhaltensweisen (z. B. Blickzuwendung, Loslassen des Gaspedals, Umsetzung des Fußes, Bremsung) in einzelne Teilabschnitte. Als Beispiel wird in Bild 1 das Bremsreaktionsmodell nach Weiße (2003) vorgestellt, welches auf den Arbeiten von Burckhardt (1985) basiert.

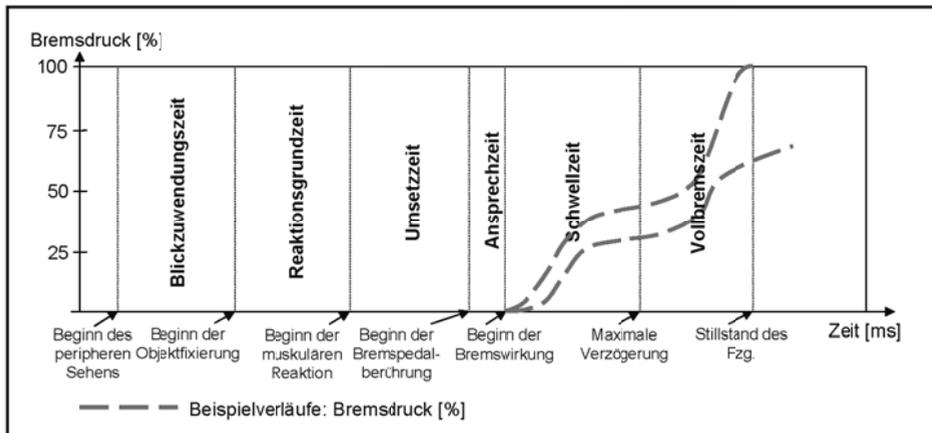


Bild 1: Bremsreaktionsmodell nach Weiße (2003), basierend auf Burckhardt (1985)

Das Bremsreaktionsmodell nach Weiße (2003) zeigt erstens, dass eine Reihe vorbereitender Aktivitäten erforderlich sind, bis eine Bremsreaktion Wirkung zeigt. Zweitens wird gezeigt, dass der Fahrer die maximale Bremsverzögerung des Fahrzeugs oft nicht oder erst sehr spät erreicht, d. h. zu schwach oder zögerlich reagiert (siehe auch Breuer & Gleissner 2006). Der auf Grundlage dieser zweiten Erkenntnis entwickelte Bremsassistent unterstützt den Fahrer in der Verkürzung des Bremsweges. Durch autonom eingeleitete Bremsmanöver könnte zusätzlich die Reaktionszeit bis zum Bremsbeginn verkürzt werden. Demnach beinhalten autonom eingreifende Bremssysteme durch Reaktionszeitverkürzung ein enormes Sicherheitspotenzial. Offen bleibt bislang die Frage, wie ein Fahrer im Falle eines autonomen Fehleingriffs diese Funktion geeignet abschalten und die Kontrolle über das Fahrzeug zurückgewinnen kann.

Verschiedene Arbeiten zu den Reaktionen des Fahrers auf unerwartete kritische Situationen, in denen das Fahrzeug eine autonome Notbremsung durchführt (Färber & Maurer 2005; Bender 2008; Fecher & Abendroth 2008), führen zu der Erkenntnis, dass der Fahrer zu Beginn eines solchen Eingriffs passiv auf das Gaspedal fallen oder sich reflexiv am Gaspedal abstützen kann, wenn die von außen einwirkende Verzögerung ansetzt. Dies tritt vor allem dann auf, wenn der Fahrer zu Beginn der autonomen Bremsung das Gaspedal betätigt (Bender 2008; Fecher & Abendroth 2008). Bild 2 zeigt die in Bender & Landau (2006) bzw. Färber & Maurer (2005) veröffentlichten Fahrerreaktionen.

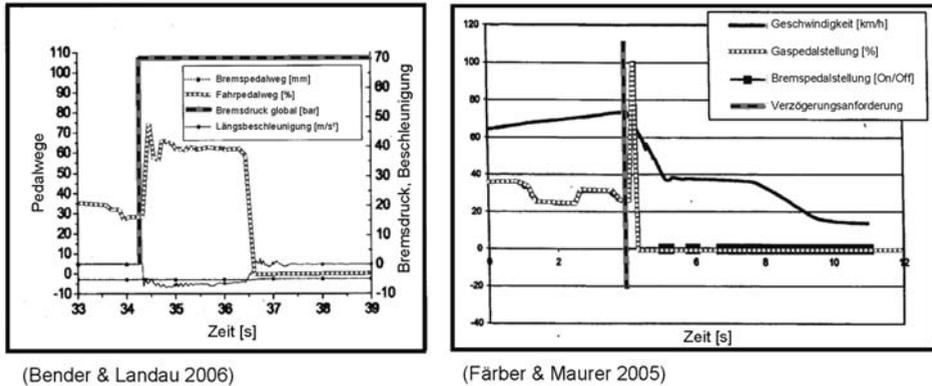


Bild 2: Fahrerreaktionen auf unerwartete autonome Notbremseingriffe

Die Fahrerreaktionen zeigen, dass sowohl intensive (bis 100% Gaspedalweg), als auch lang anhaltende unbeabsichtigte Gaspedalbetätigungen durch unerwartete autonome Notbremseingriffe ausgelöst werden können. Diese Reaktion macht deutlich, dass eine zuverlässige Erkennung einer Überstimmungsabsicht allein aufgrund der Gaspedalbetätigung (wie bei ACC) hier nicht möglich ist. Von einer Überstimmungsmöglichkeit durch Gaspedalbetätigung wird deshalb abgeraten (siehe auch Dingus et al. 1997).

Um eine Überstimbarkeit zuverlässig und intuitiv bedienbar gestalten zu können, untersucht die vorliegende Arbeit Fahrerreaktionen während autonomer Notbremseingriffe bei Bremsabsicht bzw. Überstimmungsabsicht im kontrollierten Feld. Dabei erleben die Probanden Notbremseingriffe in systematisch variierten Situationen, die entweder eine Bestätigung oder eine Überstimmung des Bremsingriffes nahelegen. Ein Vergleich der Fahrerreaktionen soll Hinweise darüber liefern, ob und wie zuverlässig eine Überstimmungsabsicht erkannt werden kann. Ebenfalls untersucht werden soll, wie eine Vollbremsabsicht während dieser Eingriffe zu erkennen ist. Dadurch wird es möglich, bei teilbremsenden Systemen eine Fahrerbestätigung anzufordern, die zu einem verstärkten Notbremseingriff führen kann.

Bild 3 skizziert Annahmen zu den Fahrerreaktionen bei autonomen Notbremseingriffen, bei denen der Fahrer den Bremsingriff bestätigt (links) oder bewusst überstimmen möchte (rechts).

Es wird angenommen, dass in beiden Fällen passive und reflexive Reaktionen des Fahrers auftreten, die durch die von außen einwirkende Fahrzeugverzögerung verursacht werden (vgl. Morris 2003). Auf der Ebene des absichtlichen Verhaltens (intentionale Reaktion) wird jedoch von unterschiedlichen Fahrerreaktionen ausgegangen, welche die reflexiven und passiven Bewegungen nach einer gewissen Verzögerung überlagern, so dass die Fahrerreaktion in Hinblick auf die Fahrerabsicht interpretiert werden kann.

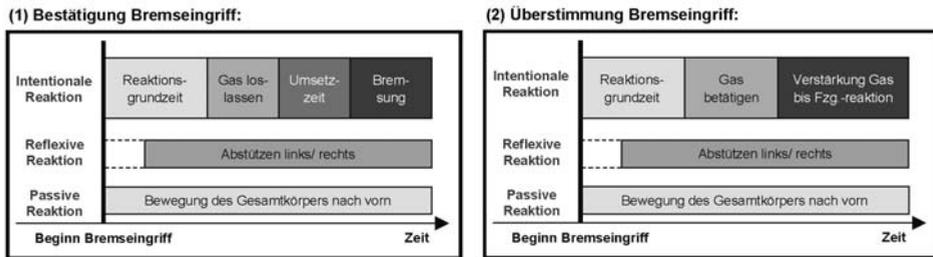


Bild 3: Annahmen zu Fahrerreaktionen bei autonomen Notbremsengriffen mit Bremsabsicht bzw. Überstimmungsabsicht

2 METHODIK

2.1 Probandenfahrzeug und autonome Notbremsengriffe

Als Probandenfahrzeug wurde ein BMW 530i genutzt, welcher u. a. mit einem Automatikgetriebe, ESP[®] premium sowie einem Bremsassistenten ausgestattet ist. Die Ansteuerung des ESP-Steuergerätes war derart möglich, dass autonome Notbremsengriffe via CAN-Schnittstelle PC-gesteuert ausgelöst werden konnten.

Die autonomen Notbremsengriffe erfolgten zweistufig. In einer ersten Stufe wurde eine Verzögerung angefordert, die zwischen Komfort- und Vollbremsungen liegt. Anschließend wurde in der 2. Stufe eine autonome Vollbremsung durchgeführt. Eine Verstärkung des Bremsdruckes durch Bremspedalbetätigung war möglich, eine Überstimmungsmöglichkeit wurde nicht umgesetzt².

2.2 Versuchsdesign

Für die Probandenstudie wurde auf einer Teststrecke ein Parcours gestellt, der von den Probanden in mehreren Runden zu durchfahren war. Die Teilnehmer wurden nicht darüber aufgeklärt, dass sie autonome Notbremsengriffe erleben werden.

Jeder Proband erlebte in variierender Reihenfolge zwei unerwartete Situationen, in denen es jeweils zu einem autonomen Notbremsengriff kam: Ein berechtigter und ein zu überstimmender. Diese beiden Eingriffe fanden bei einer Fahrtgeschwindigkeit von 50 km/h statt. Sie werden im Folgenden genauer erläutert, Bild 4 stellt die Fahrscenarien schematisch dar.

² Bei einer sehr intensiven Betätigung des Gaspedals wurde das Fahrzeug nicht bis zum Stillstand abgebremst. In diesen Fällen hielt der autonome Notbremsengriff max. 6,5 Sekunden an, bis das Gas wieder losgelassen wurde.

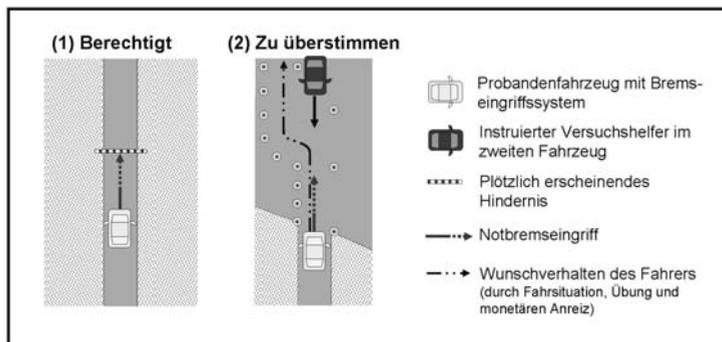


Bild 4: Verdeutlichung der Eingriffsbedingungen mit autonomem Notbremseingriff: (1) Berechtigter Eingriff, (2) Zu überstimmender Eingriff

Der *berechtigte* autonome Notbremseingriff ist zur Erzeugung einer Vollbremsabsicht ausgelegt. Er wurde durch ein plötzlich erscheinendes Hindernis dargestellt. Die Bestandteile des Hindernisses waren zuvor komplett in den die Fahrbahn begrenzenden Wiesenabschnitten verborgen, so dass das Hindernis vor Auslösung für den Probanden nicht zu erkennen war. Nach Auslösung versperrte das Hindernis die Fahrspur vollständig, damit tatsächlich Bremsabsichten (und nicht z. B. Ausweichabsichten) erzeugt wurden. Das Hindernis wurde ferngesteuert aufgelöst, als sich das Fahrzeug in ca. 15 Meter Abstand befand, d. h. bei einer ttc von ca. 1.1 Sekunden (vgl. die sehr ähnliche Auslegung bei Bender 2008). Durch den Notbremseingriff kam das Fahrzeug in einem Abstand von ca. 1-4 Metern vor dem Hindernis zum Stehen.

Der *zu überstimmende* autonome Notbremseingriff wurde durchgeführt, kurz bevor der Fahrer das Fahrzeug zu beschleunigen hatte. Der Fahrer bekam dazu die Aufgabe, durch Beschleunigung und anschließenden Spurwechsel seine Fahrbahn schnellstmöglich zu verlassen, damit ein zweites entgegenkommendes Fahrzeug in die Fahrbahn hereinfahren konnte. Diese Situation wurde in mehreren Runden ohne Bremsingriff geübt, wobei das zweite Fahrzeug noch nicht entgegenkam. Der autonome Notbremseingriff wurde in der ersten Runde mit entgegenkommendem Fahrzeug durchgeführt. Zusätzlich wurde den Probanden vorher in Aussicht gestellt, dass sie eine weitere finanzielle Aufwandsentschädigung bekommen, wenn sie zu den 50% der Fahrer gehören, die ihre Fahrspur am schnellsten für das zweite Fahrzeug freigeben (angelehnt an Muir et al. 1996). Die Summe dieser Maßnahmen führte dazu, dass die Probanden tatsächlich überwiegend die Absicht bildeten, den autonomen Notbremseingriff an dieser Stelle bewusst zu überstimmen (diese Absicht wurde retrospektiv in der anschließenden Befragung geprüft).

Anschließend erfolgten nach Probandenaufklärung *zwei erwartete autonome Notbremseingriffe* zu Vergleichszwecken, vor denen die Fahrer dazu instruiert wurden, sich in eine Situation mit Brems- bzw. Überstimmungsabsicht zu versetzen.

Tabelle 1 zeigt den umgesetzten Versuchsplan. Die unabhängigen Variablen (jeweils zweistufig) werden je in Wiederholungsmessung mit randomisierter Reihenfolge realisiert – mit der Einschränkung, dass die unerwarteten autonomen Notbremseingriffe jeweils zu Beginn stattfinden mussten.

Tabelle 1: Versuchsplan

Brems- eingriff #:	1	2	3	4
	Unerwartete autonome Notbremseingriffe: Absicht erzeugt durch Fahrsituation		Erwartete autonome Notbremseingriffe: Absicht erzeugt durch Instruktion	
Gruppe 1	berechtigt	zu überstimmen	Instruktion Bremsen	Instruktion Weiterfahren
Gruppe 2	berechtigt	zu überstimmen	Instruktion Weiterfahren	Instruktion Bremsen
Gruppe 3	zu überstimmen	berechtigt	Instruktion Bremsen	Instruktion Weiterfahren
Gruppe 4	zu überstimmen	berechtigt	Instruktion Weiterfahren	Instruktion Bremsen

R

Erzeugung einer Bremsabsicht
 Erzeugung einer Überstimmungsabsicht

2.3 Messvariablen

Es wurden verschiedene Signale und Daten zu den Fahrerreaktionen und zum subjektiven Erleben aufgezeichnet. Dazu zählt u. a. die Aufzeichnung von CAN-Bus-Daten (vgl. Tabelle 2) sowie die Beobachtung des Fahrers mittels Videoaufzeichnungen (Fahrergesicht; beide Füße des Fahrers). Fahrerbefragungen fanden vor der Testfahrt, nach jedem unerwarteten autonomen Notbremseingriff sowie nach der Testfahrt statt. Zusätzlich durchgeführte physiologische Messungen (EMG an der Beinmuskulatur, Herzschlagfrequenz, elektrodermale Aktivität, rechter Sprunggelenkwinkel) werden hier nicht ausgewertet.

Tabelle 2: Am CAN-Bus gemessene Daten

Signal am CAN-Bus	Aufnahme- frequenz [Hz]
Verzögerungsanforderung	50
Fahrzeuggeschwindigkeit [km/h]	50
Fahrzeugbeschleunigung [m/s ²]	50
Bremsdruck am Hauptzylinder [bar]	50
Gaspedalstellung [%]	100
Kickdown-Betätigung	100
Lenkwinkel [°]	100

2.4 Ablauf

Nach Ankunft der Probanden, Abschluss der Vorbefragung, Vorbereitung der physiologischen Messungen sowie Instruktion für die Testfahrt wurden die Teilnehmer auf die Teststrecke gebracht. Zunächst wurden physiologische Referenzmessungen im stehenden Fahrzeug aufgezeichnet. Der Testparcours war zu diesem Zeitpunkt noch nicht für den Probanden einsehbar. Nach der Einstellung der jeweils für das Fahren angemessenen Sitzposition fuhr der Proband zum Parcours und erhielt eine Erklärung der einzelnen Parcoursabschnitte. Das durchzuführende Spurwechselmanöver wurde detailliert erläutert und ein Hinweis auf das Bonussystem (siehe 2.2) gegeben. In mehreren Übungsrunden wurde der Fahrer mit

dem Fahrzeug und der Spurwechselsituation vertraut. Die unerwarteten autonomen Notbremseingriffe (vgl. 2.2) fanden in variierender Reihenfolge in der vierten und sechsten Durchfahrt des Parcours statt. Nach jedem unerwarteten Eingriff wurden die Probanden befragt, welche Absichten sie in den jeweiligen Situationen gebildet hatten. Der Versuch endete mit der Durchführung der erwarteten autonomen Notbremseingriffe und der Nachbefragung.

2.5 Stichprobe

An den Versuchen nahmen insgesamt 46 Personen teil, bei 6 Personen kam es zu Störungen des Versuchsablaufes oder der Speicherung der Daten aufgrund eines Laptopausfalls. Von den verbleibenden Durchgängen wurden jeweils die in die Analyse der CAN-Bus-Daten aufgenommen, bei denen die in den Zwischenbefragungen retrospektiv erinnerten Fahrerabsichten mit den hier zu trennenden Absichten konform sind. Zum Beispiel wurden nur die Personen bei der Entwicklung eines Algorithmus zur Erkennung von Überstimmungsabsichten berücksichtigt, die nach dem zu überstimmenden Notbremseingriff eine Überstimmungsabsicht und nach dem berechtigten Szenario keine Überstimmungsabsicht angegeben haben. Die hier dargestellten Ergebnisse basieren auf diesen zur Erkennung von Überstimmungsabsichten ausgewerteten Fällen (n=32).

Die ausgewertete Stichprobe enthält 17 Männer und 15 Frauen, das mittlere Alter beträgt 41.9 Jahre (Std.: 11.5 Jahre). Die drei Altersgruppen 18-35 Jahre, 36-50 Jahre und 51-65 Jahre sind annähernd gleich verteilt. Die Probanden berichteten Gesamtkilometerleistungen von 300 bis 2 000 000 km seit Führerscheinerwerb (Mw: ca. 387 000 km, Std.: ca. 377 000 km).

3 ERGEBNISSE

3.1 Fahrerverhalten zu Beginn der autonomen Notbremseingriffe

Anhand der Videoaufzeichnungen wurde das Fahrerverhalten zu Beginn der autonomen Notbremseingriffe bestimmt. In beiden Versuchsbedingungen schauten über 80% der Probanden zu Beginn der Eingriffe auf die Fahrbahn. Ebenfalls betätigten über 90% der Fahrer zu diesem Zeitpunkt das Gaspedal. Dieses Fahrerverhalten entspricht einem aufmerksamen Fahrer, der (noch) nicht auf eine Gefahr reagiert hat.

3.2 Fahrerreaktionen am Gaspedal

Für die nachfolgende Auswertung wurden die Probanden ausgewählt, die nach beiden unerwarteten autonomen Notbremseingriffen berichteten, eine mit der Erkennung von Überstimmungsabsichten konforme Fahrerabsicht erlebt zu haben (vgl. 2.5). Die Reaktionen dieser Personen am Gaspedal werden in Bild 5 anhand ausgewählter Merkmale vorgestellt. Es erfolgt dabei eine Beschränkung auf Reaktionen, die sich signifikant zwischen den Eingriffsbedingungen unterscheiden.

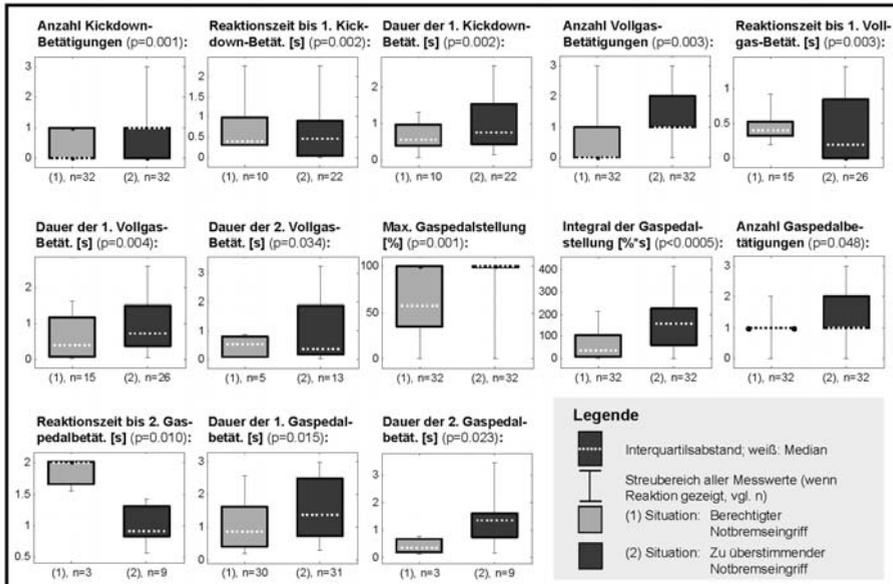


Bild 5: Signifikant verschiedene Fahrerreaktionen am Gaspedal

Bild 5 ist zu entnehmen, dass der Großteil der Probanden in beiden unerwarteten Eingriffsbedingungen, d. h. beabsichtigt *und* unbeabsichtigt, das Gaspedal während des Eingriffs betätigte. Es zeigen sich dennoch deutliche Unterschiede der Gaspedalbetätigung zwischen den beiden Eingriffsbedingungen. Eine Überstimmungsabsicht geht z. B. mit folgenden Merkmalen einher:

- Häufigere, frühere und längere Kickdown- sowie Vollgas-Betätigungen,
- größere maximale Gaspedalstellungen,
- häufigere und längere Gaspedalbetätigungen.

Ebenfalls erkennbar ist, dass die einzelnen Merkmale der Gaspedalbetätigung allein nicht mit ausreichender Sicherheit zwischen den beiden Bedingungen differenzieren können: Die Streubreiten in den beiden Eingriffsbedingungen weisen bei vielen Reaktionen weitgehende Überschneidungen auf oder ermöglichen erst nach einer langen Zeit eine Differenzierung.

3.3 Fahrerreaktionen am Bremspedal

Die Betätigung des Bremspedals wurde anhand von sechs Merkmalen auf Unterschiede zwischen den Eingriffsbedingungen untersucht. Bild 6 stellt die Verteilungen dieser Merkmale der Bremspedalbetätigung dar. Alle unterscheiden sich signifikant zwischen den Eingriffsbedingungen.

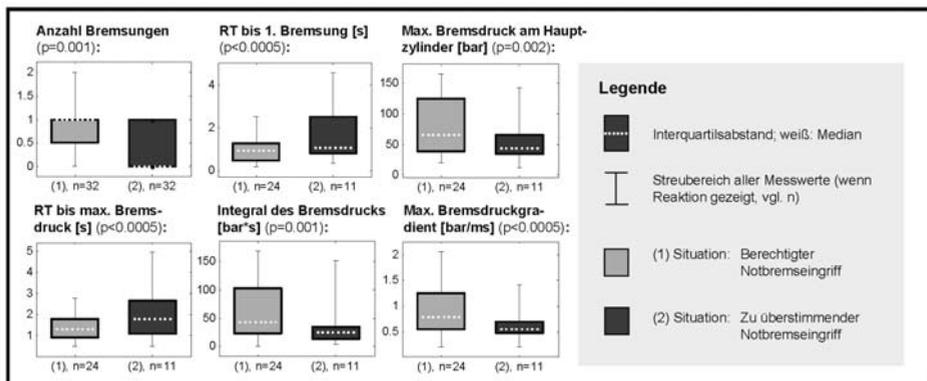


Bild 6: Signifikant verschiedene Fahrerreaktionen am Bremspedal

Bremspedalbetätigungen kamen ebenfalls in beiden Eingriffszenarien vor. Eine Bremsabsicht geht u. a. mit folgenden Merkmalen der Betätigung des Bremspedals einher:

- häufigere Bremsungen,
- größere maximale Bremsdrücke,
- schnellere Bremsreaktionszeiten,
- ein größerer über die Zeit integrierter Bremsdruck.

3.4 Fahrerreaktionen am Lenkrad

Die Fahrerreaktionen am Lenkrad unterscheiden sich hinsichtlich zweier Merkmale signifikant zwischen den Eingriffsbedingungen: der maximale im Eingriffszeitraum erreichte Lenkausschlag sowie die Streuung des Lenkwinkelsignals seit Beginn der autonomen Bremsung. Die Streubreiten dieser Verteilungen sind Bild 7 zu entnehmen.

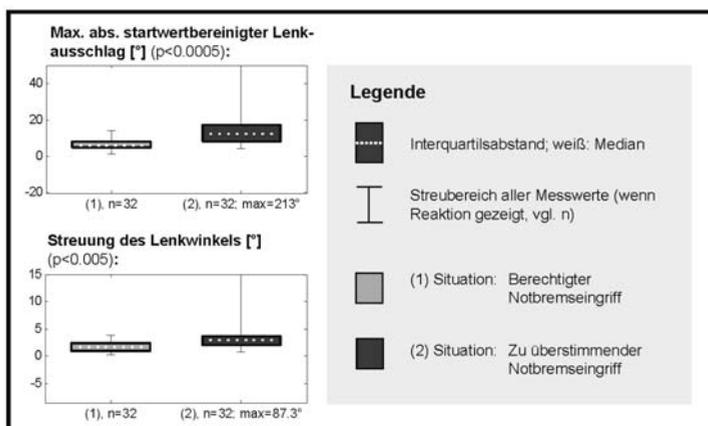


Bild 7: Signifikant verschiedene Fahrerreaktionen am Lenkrad

In Bild 7 ist weiterhin erkennbar, dass einzelne Probanden bei den zu überstimmenden autonomen Notbremseingriffen sehr deutlich gelenkt haben. Dies wurde

bei den berechtigten Eingriffen nicht beobachtet. Da der zu überstimmende autonome Notbremseingriff vollständig vor der ersten Lenkgelegenheit des Fahrers stattfand und die Fahrbahnbreite in beiden Eingriffsbedingungen identisch war, ist dieses Verhalten nicht mit der Spurwechsellaufgabe an sich zu erklären. Der Unterschied kann jedoch mit der Vorbereitung auf die Spurwechsellaufgabe zusammenhängen.

3.5 Erkennbarkeit von Fahrerabsichten aus den Fahrerreaktionen während autonomer Notbremseingriffe

Wie die Streudiagramme der Bilder 5 bis 7 verdeutlichen, kann kein einzelner Indikator eine Überstimmungsabsicht schnell und mit einer hohen Zuverlässigkeit anzeigen. Eine Kombination der Informationen aus verschiedenen Fahrerreaktionen führt zu einer Vorhersagegenauigkeit von ca. 88% für Überstimmungsabsichten (sowohl 88% richtige Erkennung *einer* Überstimmungsabsicht bei den zu überstimmenden Eingriffen [Treffer] als auch 88% richtige Erkennung *keiner* Überstimmungsabsicht bei den berechtigten Eingriffen [korrekte Zurückweisung]). Zusätzliche Analysen zur Erkennung von Vollbremsabsichten führen zu ca. 74% richtigen Klassifizierungen (78% Treffer, 70% korrekte Zurückweisungen). Überstimmungsabsichten werden dabei im Mittel 760 ms nach Eingriffsbeginn richtig erkannt, Vollbremsabsichten nach ca. 1 000 ms. Eine Absichtserkennung setzt ergänzend voraus, dass das jeweilige Pedal (Überstimmungsabsicht: Gaspedal; Vollbremsabsicht: Bremspedal) zum Erkennungszeitpunkt betätigt wird, um das Systemverhalten für den Fahrer plausibel zu gestalten. Detaillierte Ergebnisse zur Fahrerabsichtserkennung wurden in Sommer & Engeln (2008) berichtet.

4 DISKUSSION

Die vorgestellte Methodik erlaubt eine Erfassung unterschiedlicher Fahrerreaktionen auf autonome Notbremseingriffe. Wie die Ergebnisse zeigen konnten, unterscheiden sich diese deutlich in Abhängigkeit von der jeweiligen Fahrerabsicht. Eine Erkennung dieser Absichten kann dazu beitragen, autonome Notbremssysteme für den Fahrer kontrollierbarer zu gestalten, wodurch ein Zuwachs an Kundenakzeptanz zu erwarten ist (wie Ergebnisse der Nachbefragung deutlich machen).

Das Szenario mit *zu überstimmendem* autonomen Notbremseingriff induziert effektiv eine Überstimmungsabsicht des Fahrers unter Nutzung mehrerer Maßnahmen (vgl. 2.2). Es ist davon auszugehen, dass die Probanden bewusst erlebte Überstimmungsabsichten und somit einen deutlichen Konflikt zwischen ihrer beabsichtigten Handlung und dem Systemverhalten erlebt haben. Durch die Methodik können bewusst beabsichtigte Fahrerreaktionen von unbeabsichtigten getrennt werden. Inwiefern die induzierte Überstimmungsabsicht der in Fehleingriffssituationen im Realverkehr entspricht, konnte hier nicht geprüft werden.

Das Szenario mit *berechtigtem* autonomen Notbremseingriff ist so ausgelegt, dass fehlerhafte Fahrerreaktionen möglichst provoziert werden. Da das Hindernis vor Auslösung nicht erkennbar war und der Fahrer zu Beginn der autonomen Notbremseingriffe noch nicht reagieren konnte, wurde die Wahrscheinlichkeit einer unbeabsichtigten Gaspedalbetätigung erhöht (vgl. 1.2). Dadurch können Algorithmen zur Fahrerabsichtserkennung gegenüber unbeabsichtigten Reaktionen am Gaspedal robust ausgelegt werden. Ein Kritikpunkt besteht in der Künstlichkeit des Hindernisses, welches nur eine geringe subjektiv empfundene Gefahr für das Fahrzeug oder die Insassen darstellte – nur so war es auf der genutzten Teststrecke vollständig zu verbergen. Es ist damit zu rechnen, dass die Bremsreaktionen

der Probanden nicht so heftig erfolgen wie auf natürlichere Gefahrenobjekte (z. B. Kiefer et al. 2005; Hoffmann & Winner 2008a, 2008b).

Zahlreiche Fragestellungen zu den Fahrerreaktionen auf autonome Notbremsengriffe sind bislang offen, z. B.:

- Wie werden die Fahrerreaktionen durch eine vorausgehende oder gleichzeitige Fahrerwarnung modifiziert? Behält die Erkennung der Fahrerabsichten bei kombinierten Warn-/Eingriffssystemen ihre Gültigkeit?
- Wie reagieren Fahrer, wenn sie einen autonomen Notbremsengriff erfolgreich überstimmen? Sind Fahrer nach einer Überstimmung noch in der Lage, das Fahrzeugverhalten zu kontrollieren?
- Inwiefern sind die gemessenen Fahrerreaktionen bei autonomen Notbremsengriffen und die Fahrerabsichtserkennung gültig für andere Fahrzeuge, Geschwindigkeiten, Verläufe von Bremsengriffen und andere Verkehrssituationen?

Abschließend stellt sich die Frage der Angemessenheit der Versuchsumgebung für die zu untersuchende Fragestellung. Zwar dürfte die Gültigkeit der Versuchsergebnisse gegenüber Fahrsimulationen weitaus höher sein, weil dort die Dynamik der Fahrzeugbeschleunigung als wesentlicher Einflussfaktor fehlt oder nur eingeschränkt vorhanden ist, dennoch handelt es sich um eine künstliche Fahrsituation. Versuche im öffentlichen Verkehr sind jedoch aus zulassungsrechtlichen Gründen und einer möglichen Gefährdung des Straßenverkehrs erschwert. Ebenfalls ist eine exakt replizierbare Szenariengestaltung im öffentlichen Straßenverkehr nicht ohne Weiteres zu gewährleisten (Schmitt et al. 2006). Deshalb sind für die vorliegende Fragestellung Versuche im kontrollierten Feld zu Beginn der Systementwicklung zu präferieren.

LITERATUR

Bender Eva Handlungen und Subjektivurteile von Kraftfahrzeugführern bei automatischen Brems- und Lenkeingriffen eines Unterstützungssystems zur Kollisionsvermeidung. Stuttgart: Ergonomia Verlag, 2008.

Bender Eva & Landau Kurt Fahrerverhalten bei automatischen Brems- und Lenkeingriffen eines Fahrerassistenzsystems zur Unfallvermeidung. In VDI-Berichte Nr. 1931, Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 219-228, 2006.

Breuer Jörg & Gleissner Stefan Neue Systeme zur Vermeidung bzw. Folgenminderung von Auffahrunfällen. In VDI-Berichte Nr. 1931, Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 393-402, 2006.

Burckhardt Manfred Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1985.

Dingus Thomas A., Jahns, Steven K., Horowitz Avraham D. & Knipling Ronald Human Factors Design Issues for Crash Avoidance Systems. In W. Barfield & Thomas A. Dingus (Eds.), Human Factors in Intelligent Transportation Systems, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, S. 55-93, 1997.

Färber Berthold Abstandswahrnehmung und Bremsverhalten von Kraftfahrern im fließenden Verkehr. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 32(1), S. 9-13, 1986.

Färber Berthold & Maurer Markus Nutzer- und Nutzen-Parameter von Collision Warning und Collision Mitigation Systemen. 3. Workshop Fahrerassistenzsysteme FAS2003, Walting im Altmühltal, 6.-8. April 2005, S. 47-55, 2005.

Fecher Norbert & Abendroth Bettina Fahrerverhalten bei Aktiver Gefahrenbremsung. Technische Universität Darmstadt, FZD-Bericht Nr. 322/08, IAD-Bericht Nr. F287, 2008.

Häring Jürgen, Wilhelm Ulf & Branz Wolfgang Situationsinterpretation in Multiobjektszenarien zur Realisierung von sicherheitsorientierten Fahrerassistenzfunktionen mit hohem Nutzen bei geringen Absicherungskosten. In VDI-Berichte Nr. 2048, Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 35-43, 2008.

Hoffmann Jens & Winner Hermann EVITA - The Testing Method for Collision Warning and Collision Avoiding Systems. F2008-12-019, FISITA2008, München, 2008a.

Hoffmann Jens & Winner Hermann Bewertung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen durch das Darmstädter Test- und Bewertungsverfahren mit EVITA. In VDI-Berichte Nr. 2048, Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 425-438, 2008b.

Kiefer Raymond J., LeBlanc David J. & Flannagan Carol A. Developing an inverse time-to-collision crash alert timing approach based on drivers' last-second braking and steering judgments. Accident Analysis and Prevention, 37, S. 295-303, 2005.

Morris Richard Occupant Behaviour During Pre-Impact Braking - Car Passengers. MIRA Report. MIRA Ltd. Warwickshire, England. 2003.

Muir Helen C., Bottomley David M. & Marrison Claire Effects of Motivation and Cabin Configuration on Emergency Aircraft Evacuation Behavior and Rates of Egress. The International Journal of Aviation Psychology, 6 (1), S. 57-77, 1996.

Schmitt Josef, Färber Berthold, Maurer Markus & Breu Alexander Menschliches und technisches Verhalten an den Systemgrenzen eines FAS. In VDI-Berichte Nr. 1931, Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 563-579, 2006.

Sommer Fanny & Engeln Arnd Driver reactions to correct and false autonomous emergency braking. Präsentation auf dem International Congress of Psychology, Berlin, 20.-25. Juli 2008.

Vollrath Mark, Briest Susanne & Drewes Jörn Ableitungen von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F60. Bergisch Gladbach: Wirtschaftsverlag NW, 2006.

Weiß Jochen Beitrag zur Entwicklung eines optimierten Bremsassistenten. Stuttgart: Ergonomia Verlag, 2003.

Zomotor Adam Fahrwerktechnik: Fahrverhalten. Würzburg: Vogel Verlag, 1987.

ERGONOMIE-ABSICHERUNG DES FAHRERARBEITSPLATZES – EXEMPLARISCHER EINSATZ UND EIGNUNG EINER DYNAMISCHEN FAHRSIMULATION

Ralf Kaiser

ZUSAMMENFASSUNG

In zwei Versuchsreihen mit insgesamt 47 Probanden wurde überprüft, ob die subjektive Beurteilung der ergonomischen Gestaltung von Fahrzeug-Innenräumen im Realversuch (Fahrzeug auf öffentlichen Straßen) mit der im realtypischen Versuch (Fahrzeugmodell im dynamischen Fahrsimulator) übereinstimmt. Die Versuchspersonen absolvierten dazu jeweils eine knapp einstündige Fahrt auf der Straße und im Fahrsimulator mit unterschiedlichen Streckenabschnitten (Stadt, Landstraße, Autobahn). Während der Versuche wurden die Fahrstrecke und die Haltung der Probanden aufgezeichnet, danach schloss sich eine Befragung zu ausgewählten Aspekten der ergonomischen Gestaltung, zur Fahrsimulation sowie zum Versuchsdesign an.

Bei beiden Versuchsreihen zeigt der Vergleich der Bewertungen aus der Fahrt im realen Straßenverkehr und der Simulatorfahrt nur geringfügige Unterschiede, sowohl Mittelwerte als auch Streuungen liegen auf einem ähnlichen Niveau. Insbesondere für die untersuchten Ergonomie-Aspekte „Sicht nach vorne“ und „Körperunterstützung“ wird eine gute Übereinstimmung nachgewiesen. Die bei einzelnen Aspekten beobachteten Abweichungen sind nachvollziehbar und lassen sich auf z. B. Ausstattungsunterschiede zurückführen. Der dynamische Fahrsimulator eignet sich somit prinzipiell als Werkzeug zur ergonomischen Überprüfung von Fahrzeug-Innenräumen und ergänzt das bereits vorhandene Methodeninventar.

1 EINLEITUNG

Auch für den Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie wird ständig nach Optimierungsmöglichkeiten gesucht. Wesentliche Bestandteile sind dabei die Abstimmung und Absicherung des jeweiligen Entwicklungsstandes bezüglich der Projektziele und Anforderungen an das Produkt. Dies betrifft damit auch die Sicherstellung der menschen- bzw. kundengerechten Gestaltung von Fahrzeugen. Je früher diese Überprüfung erfolgen kann, desto einfacher, schneller und kostengünstiger können entdeckte Schwachstellen beseitigt werden.

Im Laufe des Entwicklungsprozesses von Automobilen finden somit zahlreiche Überprüfungen von Exterieur und Interieur sowie den Komponenten statt, die sowohl virtuell in der CAD-Umgebung, z. B. mit Hilfe von digitalen 3D-Menschmodellen, als auch real an Fahrzeugmodellen und fahrfähigen Prototypen durchgeführt werden. Für möglichst frühzeitige Absicherungen und zur Steigerung der Aussagequalität werden neue Methoden und Werkzeuge wie z. B. die Visualisierung mittels Virtual Reality oder der Einsatz von Simulatoren geprüft und zunehmend eingesetzt.

Dabei verschiebt sich die Auslegung und Überprüfung bei der Entwicklung von Fahrzeugen und deren Komponenten von realen, hardwarebasierten Verfahren in Richtung zur virtuellen Absicherung, so dass Simulationswerkzeugen eine zunehmend wichtige Rolle im Fahrzeugentwicklungsprozess zufällt. Hintergrund dieser Veränderungen ist vor allem der Wunsch nach verkürzten Entwicklungszeiten bei Sicherstellung gleichbleibender hoher Qualität und die frühzeitige Erkennung von Fehlerquellen mit daraus resultierenden Kosteneinsparungen.

Ein solches, für frühzeitige Absicherungen geeignetes Werkzeug stellen Fahrsimulatoren dar. Der wesentliche Nutzen liegt in der Senkung von Entwicklungskosten durch

- Reduzierung von Entwicklungsschleifen,
- Erhöhung der Entwicklungsqualität,
- Reduzierung von Änderungskosten,
- Reduzierung der Anzahl von Erprobungsfahrzeugen und damit
- Reduzierung der Versuchskosten.

Es überrascht daher nicht, dass sich Fahrsimulatoren mittlerweile als Standardwerkzeug in der gesamten Automobilindustrie etabliert haben. Dabei wird ein zunehmend breites Anwendungsspektrum von der Bauteilauslegung bis hin zur Verkehrssicherheit untersucht. In der BMW Group werden zum Beispiel bereits seit einiger Zeit erfolgreich Anzeige- und Bedienkonzepte oder Fahrer-Assistenz-Systeme in Fahrsimulatoren getestet. Zur Absicherung ergonomischer Aspekte mit Bezug auf das Maßkonzept des Fahrzeug-Innenraums liegen allerdings noch keine Erfahrungen vor.

Ausgangspunkt und Motivation dieser Untersuchung ist daher die Frage, ob ein dynamischer Fahrsimulator, d. h. ein Fahrsimulator, der dem Fahrer über ein Bewegungssystem zusätzlich einen Bewegungseindruck vermittelt, als Werkzeug auch für die Überprüfung der ergonomischen Gestaltung von Fahrzeug-Innenräumen sinnvoll eingesetzt werden kann. Die Simulation einer Umgebung bzw. Verkehrssituation und von Fahrzeugbewegungen sollte zuverlässige Aussagen z. B. in Bezug auf die Sicht nach außen oder auf die Körperunterstützung im Fahrzeug wie Armauflage- und Beinanlageflächen ermöglichen. Diese Vorgehensweise verspricht insbesondere einen Zeitvorteil, indem Komponenten bereits auf einem dynamischen Fahrsimulator getestet werden können, bevor fahrfähige Prototypen existieren. Gleichzeitig ergibt sich eine Ersparnis bei der Anzahl benötigter Prototypen und Fahrversuche.

2 ERGONOMISCHE ABSICHERUNG

Die Ergonomie hat die Aufgabe, durch eine wissenschaftliche Betrachtung der Beziehungen zwischen dem Menschen und seiner Arbeit die wechselseitige Anpassung dieser Arbeit und der Arbeitsumgebung an den Menschen und seine Eigenschaften zu untersuchen und zu optimieren (Bubb und Schmidtke, 1993). Dies betrifft sowohl die menschengerechte Gestaltung von Produkten und Arbeitsplätzen als auch den wirtschaftlichen und effektiven sowie – gleichzeitig und gleichberechtigt – den menschengerechten bzw. humanen Einsatz der menschlichen Arbeitskraft (Luczak, 1993).

Seit geraumer Zeit spielen ergonomische Aspekte auch in der Werbung und bei der Differenzierung von gleichartigen Produkten, z. B. im Rahmen von Vergleichs-

tests, eine nicht mehr wegzudenkende Rolle. Bezogen auf die Automobilindustrie und das Produkt Fahrzeug liegt der Schwerpunkt der Betrachtungen auf den geometrischen Verhältnissen der Karosserie und des Innenraums sowie der Mensch-Maschine-Schnittstelle bzw. dem Anzeige- und Bedienkonzept, wobei nicht nur der Fahrer mit seinem „Arbeitsplatz“, sondern auch die Passagiere einbezogen werden müssen. Umgebungseinflüsse wie Klima, Akustik und Schwingungen werden in der Regel getrennt in eigenen Fachabteilungen untersucht und gestaltet.

Die ergonomische Gestaltung soll nach Luczak (1993) sicherstellen, dass ein definierter Anteil der potentiellen Kunden in das Fahrzeug hineinpasst und dieses sicher sowie komfortabel fahren bzw. bedienen und nutzen kann. Häufig erfolgt die ergonomische Auslegung auf Basis der Körperhöhe oder – bei sitzenden Tätigkeiten wie im Fahrzeug – der Stammlänge. (Die Stammlänge entspricht dem vertikalen Abstand von der Sitzfläche bis zum Scheitelpunkt des Kopfes bei aufrechter Körperhaltung.) Die Ergonomie berücksichtigt üblicherweise die Spannweite vom 5. Perzentil Frau bis zum 95. Perzentil Mann, d. h. Produkte werden für 95% der erwachsenen Bevölkerung ausgelegt (Jürgens, 1993). International aufgestellte Unternehmen wie die BMW AG mit einem globalen Vertrieb und Kundenkollektiv müssen daher mit einer erheblichen Streuung der Körperabmessungen sowie der individuellen Eigenschaften und Vorlieben rechnen. Als Passagiere müssen darüber hinaus auch Kinder aller Altersgruppen und damit auch die gesetzlich vorgeschriebenen Kindersitze bei der geometrischen Auslegung berücksichtigt werden.

Zu Beginn des Entwicklungsprozesses erfolgt daher auch bereits die Festlegung ergonomierelevanter Ziele und Anforderungen, die dann z. B. als Lastenhefte oder geometrische Vorgaben in Form von CAD-Modellen für die Designer und Konstrukteure bereitgestellt werden. Zu bestimmten Zeitpunkten im Laufe des weiteren Entwicklungsprozesses müssen diese Ziele und Anforderungen dann auf ihre Einhaltung überprüft werden; diese Aufgabe wird als ergonomische Absicherung bezeichnet. Die dabei eingesetzten Methoden teilen sich in zwei Bereiche auf:

- Virtuelle Ergonomie-Absicherungen in der CAD-Umgebung, z. B.:
 - Abgleich des Komponenten-Entwicklungsstandes mit CAD-Vorgabe-Modellen.
 - Simulation des Fahrers und der Passagiere mit dem 3D-Menschmodell RAMSIS (Van der Meulen und Pruett, 2001), siehe Bild 1.
- Reale Ergonomie-Absicherungen, z. B.:
 - Reihenuntersuchungen mit Probanden an realen Fahrzeugen oder Fahrzeugmodellen bzw. Mock-Ups, siehe Bild 2.



Bild 1: Menschmodell RAMSIS in der CAD-Umgebung.



Bild 2: Standbeurteilung am realen Fahrzeug zur Ergonomie-Absicherung.

Fahrfähige Prototypen stehen im Laufe der Fahrzeugentwicklung erst relativ spät im Prozess zur Verfügung, so dass reale Ergonomie-Absicherungen zunächst auf Standbeurteilungen von Mock-Ups (Sitzkisten und Fahrzeugmodelle) beschränkt sind. Auf diese Weise können keine fahrdynamischen Einflüsse untersucht werden. Abhilfe verspricht der Einsatz der dynamischen Fahrsimulation für die ergonomische Überprüfung, d. h. Versuche, bei denen ein Fahrzeugmodell im Simulator montiert wird. Entscheidend ist der sich ergebende Zeitvorteil, da spezielle ergonomische Aspekte bereits getestet werden können, bevor fahrfähige Prototypen existieren. Relevante Aspekte, die von der Fahrsituation oder Fahrdynamik wesentlich beeinflusst werden, sind zum Beispiel die Sicht aus dem Fahrzeug nach außen, Auf- und Anlageflächen (Körperunterstützungsflächen) sowie Freiräume bei der Bedienung.

3 METHODIK

Gemeinsam von der Fachabteilung Ergonomie und der Forschungsabteilung Fahrsimulatoren wurden zwei Reihenuntersuchungen am dynamischen Fahrsimulator durchgeführt, um die erwarteten Vorteile für die reale Absicherung zu bestätigen sowie die Aussagekraft derartiger Tests zu klären. Das Versuchsdesign orientierte sich bewusst an den Standbeurteilungen, um die zusätzlich notwendigen Aufwände, die spezifischen Probleme und die notwendigen Anpassungen zu bestimmen.

Basis der beiden Reihenuntersuchungen waren jeweils zwei Vergleichsfahrten von knapp einer Stunde Dauer, die in zufälliger Reihenfolge durchgeführt wurden: Die eine Fahrt erfolgte in einem Serienfahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr, die andere in einem realen Modell (Mock-Up) dieses Fahrzeugs im dynamischen Fahrsimulator mit einer ähnlichen Streckencharakteristik. Die zweite Reihenuntersuchung war als Wiederholungsversuchsreihe konzipiert, wobei einige Optimierungen auf Basis der in der ersten Testreihe gewonnenen Erfahrungen einfließen. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Versuchsreihen waren wie folgt:

- Ausbaustufe des Fahrsimulators.
- Verwendetes Fahrzeug.
- Details im Versuchsdesign bei der Fahrt im dynamischen Fahrsimulator (Vorschalten einer zehninütigen Übungsphase, kein Beifahrer mehr).

3.1 Fahrsimulator

Die BMW Group Forschung und Technik betreibt derzeit vier Fahrsimulatoren, wovon drei statische Simulatoren sind, d. h. über kein Bewegungssystem verfügen. Diese Simulatoren werden vorwiegend zur Untersuchung von Mensch-Maschine-Schnittstellen (Anzeige- und Bedienkonzepte), der Fahrerablenkung sowie für Fragestellungen der Informations- und Warnstrategien von Assistenzsystemen genutzt.

Sämtliche Simulatoren, ob mit oder ohne Bewegung, werden mit der Fahrsimulationssoftware SPIDER (Strobl, 2003) betrieben, die einen hohen Grad an Flexibilität und Skalierbarkeit sowie ein Framework für Anwendungsentwickler zur Integration von Funktionalitäten bietet. Die Bedienelemente im Mock-Up sind standardisiert und über CAN-Bus an die Fahrsimulation angebunden (Strobl und Huesmann, 2004), wobei soweit wie möglich auf Lösungen aus der Serienentwicklung zurückgegriffen wird.

Die beiden Versuchsreihen wurden als Pilotprojekte am dynamischen Fahrsimulator durchgeführt. Dieser befand sich zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung noch im Probetrieb, d. h. die Funktionalität war teilweise deutlich eingeschränkt. Der Aufbau des dynamischen Simulators bestand aus einem Hexapod-Bewegungssystem, auf dem eine Plattform angebracht war, die sowohl das Mock-Up trug als auch den Probanden über eine Leiter als Zutritt diente (Huesmann et al., 2003; siehe Bild 3a und b). Zur Darstellung der Sicht in Fahrtrichtung wurden drei Plasmabildschirme verwendet, die in der Höhe oberhalb der Frontklappe positioniert waren und ein frontales Sichtfeld von ca. 120° erlaubten. Eine Rückspiegelsicht war nicht realisiert. Mock-Up und Bildschirme wurden blickdicht gegenüber dem Gebäude abgeschirmt, damit der Fahrer keine Relativbewegung zum Gebäude

wahrnehmen konnte. Bild 3b zeigt einen Zwischenstand des Aufbaus. Es ist lediglich ein Bildschirm angebracht und der Sichtschutz ist demontiert.

Mit diesem Aufbau hatte der Fahrer nur ein deutlich eingeschränktes Sichtfeld. Auch die dargestellten Inhalte waren aufgrund der im Probebetrieb zur Verfügung stehenden geringeren Rechnerkapazität begrenzt. Der Proband registrierte beim Zugang zum Mock-Up den gesamten mechanischen Aufbau des Fahrersimulators, woraus Einflüsse auf die Bewertung der zu untersuchenden Aufgabe durchaus möglich sind.

Zum Zeitpunkt der zweiten Reihenuntersuchung befand sich der dynamische Fahrersimulator bereits im Regelbetrieb. Nach dem Umzug in ein anderes Gebäude wurde auf dem Hexapod-Bewegungssystem eine neue Plattform montiert, die neben dem Fahrzeugmodell eine geschlossene Kuppel trägt (Bild 3d). Der Zugang erfolgt „ebenerdig“ über eine absenkbare Brücke. In der Kuppel wird mit drei Projektoren ein Sichtfeld von 180° dargestellt (Bild 3c). Ein „Schulterblick“ war zum Zeitpunkt der Versuche noch nicht möglich. Drei unterschiedliche, der jeweiligen Spiegelperspektive angepasste Bilder an der Domwand (bzw. für den Innenspiegel alternativ auch ein Plasmaschirm auf der Rückbank) geben die rückseitige Fahrumgebung wider. Aufgrund der gesteigerten Rechnerkapazität sind detailliertere Umgebungsgrafiken und stärkerer Fremdverkehr darstellbar.

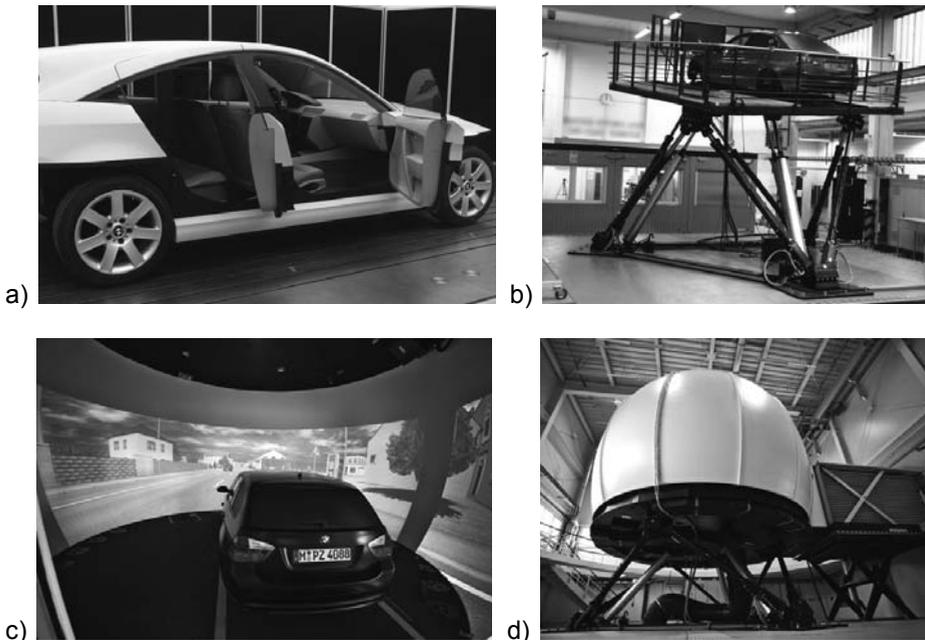


Bild 3: a) Beispiel für ein Ergonomiemodell (Mock-Up), b) Außenansicht des dynamischen Fahrersimulators im Probebetrieb (Versuchsreihe 1), c) aktuelle Innen- und d) Außenansicht des dynamischen Fahrersimulators im Regelbetrieb (Versuchsreihe 2).

3.2 Versuchsdesign

In der ersten Versuchsreihe absolvierten 23 Probanden eine jeweils knapp einstündige Fahrt mit unterschiedlichen Streckenabschnitten (Stadt, Landstraße, Autobahn) sowohl auf öffentlichen Straßen als auch im dynamischen Fahrsimulator. Die Auswahl der Probanden erfolgte anhand der internen Versuchspersonen-Datenbank. Auswahlkriterium war die Körperhöhe, wobei Personen rund um das 50. Perzentil jeweils für Frauen und Männer ausgesucht wurden (siehe Bild 4). Das Durchschnittsalter betrug 36 Jahre bei einer Spannweite von 23 bis 53 Jahren. Alle Probanden waren gesund, BMW-Mitarbeiter, hatten bis auf zwei Ausnahmen keine Erfahrung mit dem Fahrsimulator und wenig Erfahrung mit dem Versuchsfahrzeug. Die mittlere Fahrleistung lag bei 20.000 km/Jahr.

Die zweite Versuchsreihe mit 24 Probanden war als Wiederholungsversuch konzipiert. Es wurde ebenfalls ein gemischtes Streckenprofil auf öffentlichen Straßen mit Stadtverkehr, Landstraße und Autobahn ausgewählt und im dynamischen Fahrsimulator eine ähnlich charakterisierte Strecke zusammengestellt. Die Auswahl der Probanden erfolgte wieder anhand der Körperhöhe, aber mit einer größeren Spannweite vom 5. Perzentil Frau bis zum 95. Perzentil Mann (siehe Bild 4). Das Durchschnittsalter lag bei 37 Jahren (Spannweite 24 bis 59 Jahre) und die mittlere Fahrleistung bei 16.500 km/Jahr, drei Personen hatten viel Erfahrung mit statischen Fahrsimulatoren und eine mit dem dynamischen Fahrsimulator.

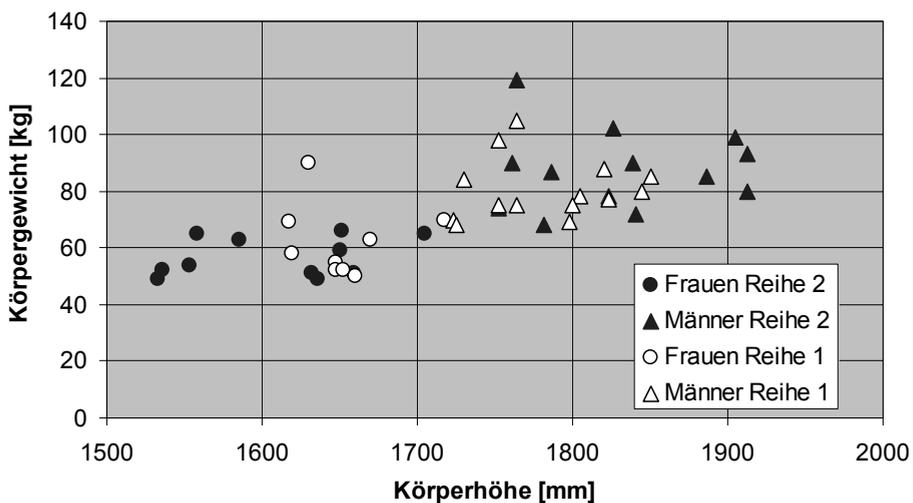


Bild 4: Körperhöhe und -gewicht der Probanden für Versuchsreihe 1 und 2.

Die im Fahrsimulator eingesetzten Ergonomiemodelle (Mock-Ups) entsprachen bezüglich der Innenraum-Abmessungen weitgehend den real eingesetzten Fahrzeugen. Für die erste Untersuchung wurde eine BMW Oberklasse-Limousine gewählt, für die zweite ein MINI Kompaktklasse-Fahrzeug. Die Ergonomiemodelle selbst sind aus einem Stahl-Holz-Rahmen mit aufgesetzten, gefrästen Schaumteilen aufgebaut. Daher mussten vor dem Einsatz im Fahrsimulator einige Umbauten und Anpassungen durchgeführt werden, um einerseits die Sicherheitsanforderungen zu erfüllen und andererseits die Fahrsimulation zu ermöglichen:

- Starre Anbindung an die Plattform.
- Ergänzung von Türverriegelung und funktionsfähigen Gurten (realisiert durch sitzintegrierte Gurte).
- Integration einer Gegensprechanlage zum Leitstand und Einbau von Not-Aus-Schaltern.
- Einbau eines Instrumenten-Kombis und dessen Integration in die Fahrsimulation zur Fahrerinformation.
- Einbau von Lenkrad / Lenksäule mit elektrischem Rückstellmoment sowie Pedalerie als Bedienelemente und zur Krafrückkopplung.
- Integration von Lautsprechern für Fahrgeräusche und Anschluss eines Klimagerätes zur Temperierung und Belüftung.

Zu Versuchsbeginn wurden die persönlichen Daten der Probanden aufgenommen. Während der Versuche wurden die Strecke (Sicht auf die Straße) und die Haltung der Probanden mit Video-Kameras aufgezeichnet, bei den Simulatorfahrten zusätzlich Daten zur Fahrleistung. Darüber hinaus wurde die Sitz- und Lenkradeinstellung protokolliert und fotografiert. Abschließend erfolgte nach jeder Fahrt eine Befragung der Probanden. Anhand eines Fragebogens wurden dabei Bewertungen, Eindrücke sowie gegebenenfalls Kommentare mit Bezug auf ausgewählte Aspekte der ergonomischen Gestaltung, der Fahrsimulation sowie des Versuchsdesigns erhoben. Auf Basis der in der ersten Untersuchung gewonnenen Erfahrungen wurde im Fahrsimulator in der zweiten Versuchsreihe eine etwa zehninütige Übungsphase vorgeschaltet und auf einen Beifahrer verzichtet. Die Versuchsdauer betrug insgesamt maximal drei Stunden.

Die Auswertung basiert im Wesentlichen auf dem Fragebogen; in Abhängigkeit vom Fragentyp wurden deskriptive statistische Kenngrößen berechnet (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima und Maxima sowie Häufigkeitsverteilungen).

4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die Ergebnisse sind nach den Abschnitten des Fragebogens gegliedert. Den Schwerpunkt bildet der Vergleich der Ergonomie-Bewertungen im Serienfahrzeug und im Ergonomiemodell. Danach werden einige subjektive Eindrücke zur Fahrsimulation und zum Versuchsdesign vorgestellt.

4.1 Ergonomie-Bewertung

Bild 5 zeigt eine Übersicht der von den Probanden in beiden Versuchsreihen vergebenen Bewertungen zu insgesamt zehn verschiedenen ausgewählten Aspekten der ergonomischen Gestaltung sowohl für das Mock-Up als auch für das Realfahrzeug. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Probanden der Versuchsreihe mit den zugehörigen Standardabweichungen. Insgesamt ergibt sich ein positives Gesamturteil, das im Mittel bei etwa Stufe 2 („gut“) liegt, aber eine recht große Streuung aufweist.

Bei beiden Versuchsreihen zeigt der Vergleich der Bewertungen von Simulatorfahrt und Fahrt im realen Straßenverkehr nur geringfügige Unterschiede; sowohl Mittelwerte als auch Streuungen liegen auf einem ähnlichen Niveau. In Versuchsreihe 1 werden die Armauflage- und Beinlageflächen (Beurteilungsaspekte 6 bis 9, siehe Bild 5) nahezu identisch bewertet, der größte Bewertungsunterschied ergibt sich bei der Fußstütze (Aspekt 10). Bei der darauf folgenden Überprüfung

zeigte sich, dass im Modell während der Untersuchung keine Serienfußstütze, sondern eine Testvariante mit verändertem Neigungswinkel verbaut war.

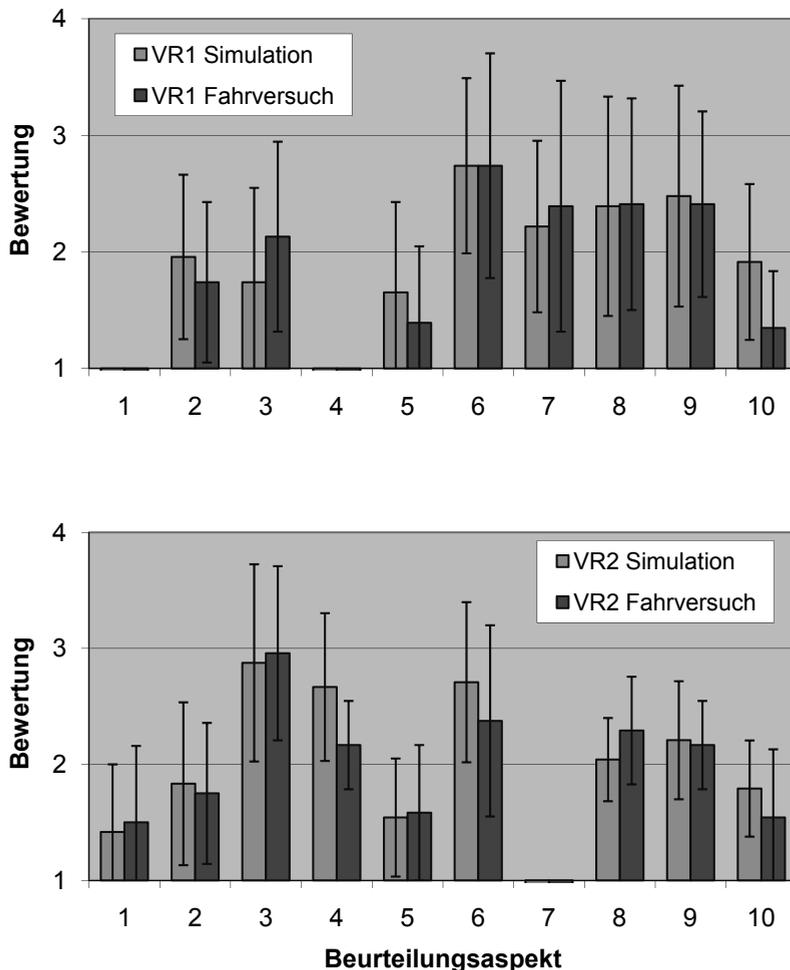


Bild 5: Übersicht der Bewertungen zu den abgefragten Beurteilungsaspekten (VR Versuchsreihe; Legende Beurteilungsaspekt: 1 Kopfstütze, 2 Sicht auf Fahrbahn, 3 Ampelsicht, 4 Sicht auf Mittelkonsole, 5 Freiraum beim Lenken, 6 Armauflage Tür, 7 Armauflage Mittelkonsole, 8 Beianlage Tür, 9 Beianlage Mittelkonsole, 10 Fußstütze; Legende Bewertung: 1 sehr gut, 2 gut, 3 nicht so gut, 4 schlecht).

Die zweitgrößte Differenz ergibt sich in Versuchsreihe 2, in der die Sicht auf die Mittelkonsole (Aspekt 4) im Simulator besser bewertet wird als bei der realen Versuchsfahrt. Ursache ist vermutlich, dass die Anzeige- und Bedienelemente in der Mittelkonsole bei der Simulation im Gegensatz zur Realität nicht benötigt und daher nicht benutzt wurden, so dass die Einstufung weniger kritisch ausfiel. Auffallend, aber aufgrund der Fahrzeuggeometrie (Sitzposition relativ zum Windlauf

oben) nachvollziehbar, ist die deutlich schlechtere Bewertung für die Ampelsicht (Aspekt 3) bei dem kleinen Fahrzeug im Vergleich zu der Oberklasse-Limousine.

Die weitergehende Analyse der Bewertungen anhand der Häufigkeitsverteilungen der Antworten ist beispielhaft für die beiden Sichtaspekte (Nr. 2 und 3) und jeweils für Versuchsreihe 1 und 2 in Bild 6 dargestellt. Aufgrund der verschiedenen Sitze ist von einer leicht unterschiedlichen Sitzposition zwischen Modell und Fahrzeug auszugehen, wovon in erster Linie die Sichtbedingungen betroffen sind. Ferner ist die Sicht auf die Fahrbahn in Versuchsreihe 1 durch die Verwendung von Plasma-Bildschirmen (geringer vertikaler Bildwinkel) eingeschränkt.

Der Vergleich der Häufigkeitsverteilungen bei den Einstufungen zur Sicht auf die Fahrbahn zeigt dennoch eine gute Übereinstimmung. Dagegen unterscheidet sich die Verteilungsform der Antworten bei der Ampelsicht klar. Die bessere Einstufung im Simulator wird auf die Umgebungsgrafik zurückgeführt, die nur einen Ampeltyp mit früher und guter Erkennbarkeit enthalten hat. Auf der realen Fahrstrecke kommen hingegen verschiedene Ampeltypen vor, die sich in der Aufstellung und in der Sichtbarkeit voneinander unterscheiden, so dass die Bewertung sensibler und entsprechend kritischer ausfällt. In der bei Versuchsreihe 2 verwendeten Ausbaustufe der Umgebungsgrafik sind daraufhin verschiedene Ampeltypen implementiert worden. Erwartungsgemäß gleichen sich die resultierenden Verteilungsformen der Einstufungen für die Ampelsicht aus Versuchsreihe 2 an (siehe Bild 6).

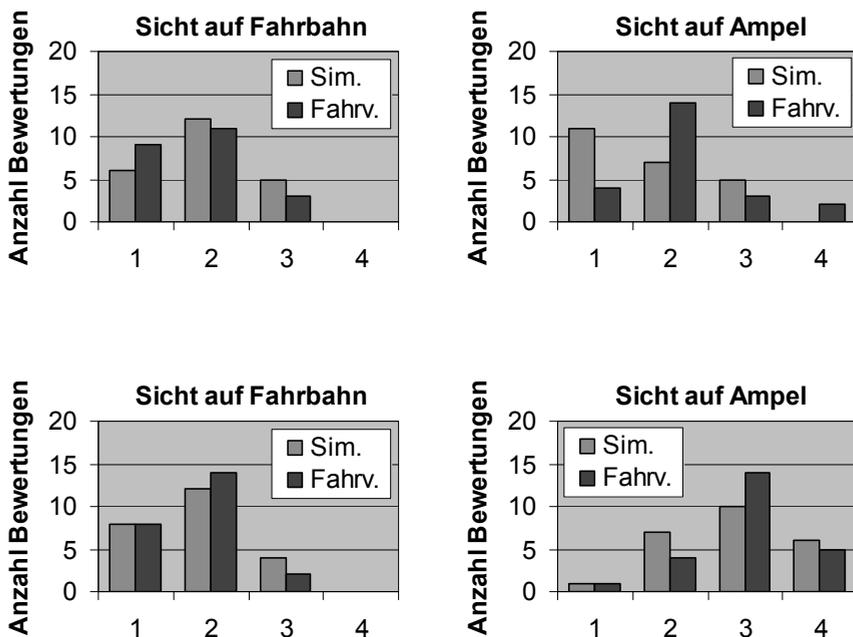


Bild 6: Häufigkeitsverteilung der Bewertungen „Sicht auf Fahrbahn“ (links) und „Sicht auf Ampel“ (rechts), obere Reihe für Versuch 1 und untere Reihe für Versuch 2 (Sim. Simulation, Fahrv. Fahrversuch; Legende Bewertung: 1 sehr gut, 2 gut, 3 nicht so gut, 4 schlecht).

Die Einstufungen für die Beinanlage außen an der Türverkleidung und innen an der Mittelkonsole zeigen sehr gute Übereinstimmungen sowohl in der Verteilung als auch im Mittelwert. Geringfügige Unterschiede sind türseitig beim häufigsten Wert zu beobachten, aber nicht signifikant. Körperunterstützungsflächen sind insbesondere bei dynamischer Fahrt von hoher Bedeutung; das Ergebnis bestätigt damit den erwarteten Vorteil bei der Bewertung mit Hilfe des dynamischen Fahr-simulators gegenüber der Standbeurteilung.

4.2 Fahrsimulation

Die Beurteilungen der Probanden zu den verschiedenen Aspekten der Fahrsimulation aus Versuchsreihe 1 sind aufgrund des Probetriebes nur eingeschränkt aussagefähig und müssen vor dem Hintergrund der bekannten Einschränkungen analysiert werden. Trendaussagen sind jedoch möglich. Insbesondere konnten die Ergebnisse für den weiteren Ausbau der Fahrsimulation genutzt und anhand der Bewertungen aus Versuchsreihe 2 auf Wirksamkeit überprüft werden.

Der Gesamteindruck fällt überwiegend positiv aus; wobei der Anteil der Probanden mit einem „sehr guten“ oder „guten“ Eindruck von etwa 60% bei Versuchsreihe 1 auf 75% bei Versuchsreihe 2 steigt. Die Verbesserung spiegelt den Wegfall der Beschränkungen des Probetriebes wider; zum Beispiel legen die Probanden großen Wert auf eine realistische Einschränkung der „Fahrfreiheit“ durch umgebenden Fremdverkehr, was beim Übergang vom Probe- zum Regelbetrieb deutlich verbessert werden konnte. Gleichzeitig wird dadurch eine optimale Nutzung der Simulatorbewegung möglich bzw. das Fahren im optimalen Betriebsbereich sichergestellt.

Auch mit Bezug auf die Qualität der Simulation sind Trends erkennbar. In Versuchsreihe 1 wurde das Gefühl bei der Simulation von Längs- und Querdynamik von den Probanden unterschiedlich bewertet, das Verzögern z. B. wurde als weniger wirklichkeitsnah als das Beschleunigen eingestuft. Die vorhandenen Fahrbahnanregungen unterstützten dagegen den Realitätsgrad der Fahrsimulation positiv und wurden als realistisch bewertet. Das Einhalten eines Sicherheitsabstands zum vorausfahrenden Fahrzeug fiel den Versuchspersonen leicht, wohingegen die Spurhaltung als etwas schwieriger bewertet wurde. Dies war auch aufgrund der deutlich eingeschränkten Sicht auf die Fahrbahn nicht anders zu erwarten. Insgesamt ergab sich ein guter Gesamteindruck.

Verbesserungen aufgrund der neuen Ausbaustufe des dynamischen Fahr-simulators bei Versuchsreihe 2 werden z. B. bei der Frage nach der Computergrafik deutlich. 71% der Probanden beurteilen diese als sehr oder ziemlich realistisch, gleichzeitig wird die Strecke im Vergleich zu Versuchsreihe 1 als weniger langweilig empfunden. Die Sicht nach hinten über die Spiegel wird sogar von 96% als sehr oder ziemlich realistisch bewertet. Ebenso wird das Fahren im Fahrsimulator in Versuchsreihe 2 als einfacher eingestuft bei gleichzeitig schnellerer Einübung, wobei eine Übungsphase aber als notwendig angesehen wird. Die Probanden bestätigen auch, dass ein Beifahrer nicht notwendig ist und der Kontakt über die Gegensprechanlage zum Leitstand ausreicht. Weitere Verbesserungen bezüglich der Simulation ergeben sich bei den Bewertungen für die Fahrbahnanregung, das Spurhalten sowie die Einschätzung von Entfernung und Geschwindigkeit.

4.3 Versuchsdesign

Das gewählte Versuchsdesign basiert auf den Standbeurteilungen, die zur Ergonomie-Absicherung an Modellen oder realen Fahrzeugen durchgeführt werden. Damit geht dieser Ansatz nicht auf die Besonderheiten von Simulatoruntersuchungen ein; das Ziel liegt vielmehr genau in der Identifizierung von Besonderheiten und den damit verbundenen Problembereichen, um Erfahrungen zu sammeln und notwendige Abhilfemaßnahmen oder Anpassungen für zukünftige Versuche abschätzen zu können.

Bild 7 stellt die Bewertungen der Probanden zur Eignung des gewählten Streckenprofils und der Fahrtdauer dar. Die Unterschiede zwischen den Versuchsreihen fallen gering aus, wobei die zweite etwas besser beurteilt wird. Sowohl das gewählte Streckenprofil als auch die Fahrtdauer werden von einer großen Mehrheit als geeignet bzw. ausreichend für die Ergonomie-Absicherung eingestuft.

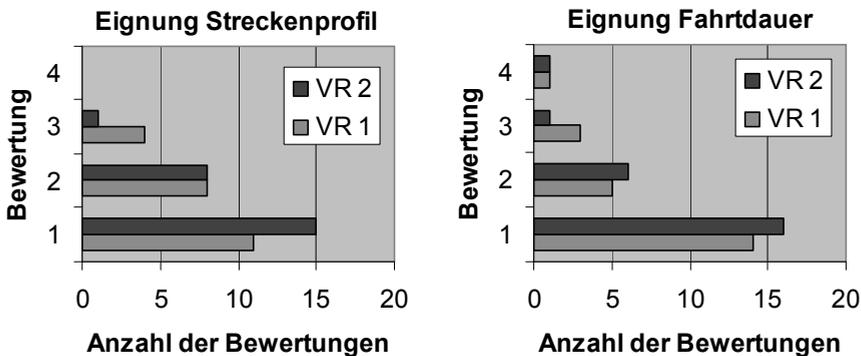


Bild 7: Bewertung des Streckenprofils (links) und der Fahrtdauer (rechts) durch die Probanden unter dem Aspekt der Eignung für die Ergonomie-Absicherung (Legende Bewertung: 1 ja, 2 eher ja, 3 eher nein, 4 nein).

Die tatsächliche Fahrtdauer lag sowohl im Simulator als auch auf der Straße bei einer knappen Stunde (durchschnittlich 50 (VR 1) bzw. 45 (VR 2) Minuten im Simulator und 57 bzw. 58 Minuten im realen Straßenverkehr). Dabei wurde von einigen Probanden bemängelt, dass in Versuchsreihe 1 keine Übungs- oder Eingewöhnungsphase vorgesehen war. Dies ist gut nachvollziehbar, da bis auf zwei Ausnahmen keine Erfahrungen mit Fahrsimulatoren vorlagen. In Versuchsreihe 2 erfolgte daher eine entsprechende Anpassung.

Die Ergebnisse zeigen eine gute Vergleichbarkeit der ergonomischen Beurteilung im realen Fahrzeug und in der Fahrsimulation. Dieses positive Resümee wird größtenteils auch von den Probanden geteilt. Bild 8 zeigt die subjektive Einstufung der Versuchspersonen zur Eignung des dynamischen Fahrsimulators als Ergonomie-Werkzeug. Dabei ist klar zu erkennen, dass aus den Anpassungen im Versuchsdesign für Reihe 2 eine bessere Bewertung resultiert. Diese fällt noch positiver aus, wenn die Probanden herausgefiltert werden, die im dynamischen Fahrsimulator unter einer Kinetose (Bewegungsschwindel, Reisekrankheit) litten. Aus

diesem Grund brachen in Reihe 1 fünf und in Reihe 2 zwei Personen die Simulorfahrt vorzeitig ab.

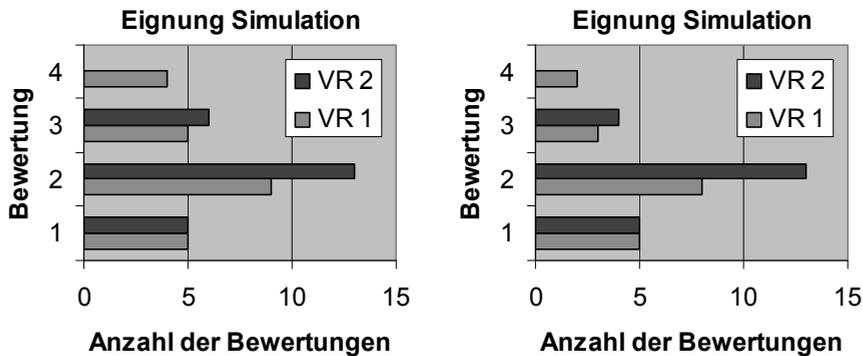


Bild 8: Eignung der Fahrsimulation zur Ergonomie-Absicherung, alle Probanden (links) und Probanden ohne vorzeitigen Versuchsabbruch (rechts) (Legende Bewertung: 1 ja, 2 eher ja, 3 eher nein, 4 nein).

Die Kinetose ist ein bekanntes Problem beim Einsatz der Fahrsimulation (vgl. Mollenhauer, 2004). Die Ursachen sind komplex; neben der Bewegungsdarstellung spielt insbesondere das Zusammenspiel zwischen optischer und kinästhetischer Wahrnehmung eine wesentliche Rolle. Betroffene Personen reagieren mit Unwohlsein, das zum Versuchsabbruch führen kann.

Dieser Effekt ist auch bei der hier beschriebenen Untersuchung aufgetreten. Bisher ist kein Kriterium bekannt, mit dem betroffene Personen zuverlässig bereits im Vorfeld, d. h. vor dem Versuch identifiziert und ausgeschlossen werden können. Aus dem Fragebogen ergab sich jedoch eine hohe Korrelation zwischen Personen mit Kinetose-Erscheinungen im Fahrsimulator und solchen, die auch in Realfahrzeugen oder bei Flug- oder Schiffsreisen Probleme haben. Auch deswegen wurde im Versuchsdesign zu Reihe 2 eine gesonderte Übungs- und Gewöhnungsphase vorgesehen. Das Auftreten der Kinetose konnte auf diese Weise zwar nicht komplett vermieden, aber spürbar reduziert werden.

5 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Beurteilungen ausgewählter ergonomischer Aspekte des Fahrzeug-Innenraums bei einer realen (auf öffentlichen Straßen) und einer virtuellen Versuchsfahrt (realtypisch im dynamischen Fahrsimulator mit einem Modell des Realfahrzeugs) stimmen sehr gut überein. Die bei einzelnen Bewertungen beobachteten Abweichungen sind nachvollziehbar und lassen sich z. B. auf unterschiedliche Ausstattungen zurückführen. Somit können Untersuchungen mit Hilfe des dynamischen Fahrsimulators prinzipiell als ergänzendes Werkzeug in den Ergonomie-Absicherungsprozess übernommen werden. Vor einem Einsatz als Standardprozess sind weitere Optimierungen sinnvoll, um das Nutzen-Aufwands-Verhältnis weiter zu verbessern

LITERATUR

Bubb, H., Schmidtke, H.: Systemergonomie. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. Hanser, München 1993.

Huesmann, A.: Dynamic Driving Simulation at BMW Group Research and Technology. DSC 2003 Europe Associate Event, Motion Queing Workshop, Guyancourt, France, Sept. 12th 2003.

Huesmann, A., Wisselmann, D. u. Freymann, R.: Der neue dynamische Fahr-simulator der BMW Fahrzeugforschung. VDI Berichte 1745, Düsseldorf 2003.

Jürgens, H. W.: Anthropometrische Grundlagen der Arbeitsgestaltung. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. Hanser, München 1993.

Kaiser, R., Huesmann, A., Keil, S., Bilgin, E.: Fahrsimulation – Ein Werkzeug zur Überprüfung der ergonomischen Gestaltung? Motion Simulator Conference. Beiträge zum 1. Braunschweiger Symposium vom 21. September 2005. DLR Braunschweig, Gesamtzentrum für Verkehr.

Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Springer, Berlin 1993.

Mollenhauer, M. A.: Simulator Adaptation Syndrome Literature Review. Realtime technologies, inc.; Technical Report 2004.

Strobl, M.: Spider – Das innovative Software-Framework der BMW Fahrsimulation. VDI Berichte 1745, Düsseldorf 2003.

Strobl, M., Huesmann, A.: High Flexibility – An Important Issue for User Studies in Driving Simulation. Proceedings of DSC 2004 Europe, Paris, September 2004.

Van der Meulen, P. A., Pruett, C. J.: 3D Digital Human Models: What is Available and Which One to Choose? Human Factors and Ergonomics Society, Paper No. 416-GS1, 2001.

NUTZUNG DES DLR VIEWCARS UND DES DYNAMISCHEN FAHRSIMULATORS ALS BAUSTEINE ZUR ENTWICKLUNG VERKEHRSDAPTIVER FAHRERASSISTENZ

Sascha Knake-Langhorst

ZUSAMMENFASSUNG

Fahrerassistenzsysteme finden immer mehr Anwendung in modernen Serienfahrzeugen. Das Ziel dieser Systeme ist die Unterstützung und Entlastung des Fahrers, um den Fahrkomfort und die Sicherheit zu erhöhen. Um dabei eine möglichst optimale Funktionalität zu gewährleisten, müssen bei der Entwicklung der Assistenz der Fahrer und sein Verhalten in das Systemdesign mit einbezogen werden. Dies gilt insbesondere für Systeme mit aktiven Eingriffen in die Fahrdynamik.

Es sind verschiedene innere und äußere Einflussgrößen bekannt, die das Fahrerverhalten beeinflussen. Eine der Haupteinflussgrößen bildet der aktuelle Verkehrszustand um das eigene Fahrzeug herum. In aktuellen Seriensystemen wird dieser Aspekt jedoch kaum berücksichtigt. Dies bildet die Motivation für die Entwicklung von verkehrsdaptiver Assistenz. Es gilt, relevante Aspekte des Fahrverhaltens zu identifizieren und in das Design des Assistenzsystems zu integrieren. Das Ziel ist es, Nutzen und Verwendbarkeit der Systeme, sowie deren Akzeptanz zu maximieren. Für diese Aufgabe werden im Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR Daten aus empirischen Studien verwendet. Im Vordergrund stehen hier das DLR ViewCar als messtechnische Plattform für Fahrversuche im Realverkehr, sowie der dynamische Fahrsimulator, der Studien in simulierter Umgebung ermöglicht.

Der Beitrag beleuchtet die Nutzung der genannten Versuchsträger in Bezug auf die spezifischen Fragestellungen, die sich im Verlauf der Entwicklung verkehrsdaptiver Assistenz ergeben. Die Kombination der beiden Versuchsumgebungen ermöglicht es, die Vorteile der jeweiligen Methode zu nutzen und die Ergebnisse in nachfolgende Arbeitsschritte zu integrieren. In diesem Kontext werden aktuelle Studienergebnisse beschrieben und diskutiert.

1 EINFÜHRUNG

Moderne Kraftfahrzeuge sind geprägt von einer steigenden Zahl an Fahrerassistenzsystemen (FAS). Deren Aufgabe ist die Entlastung und Unterstützung des Fahrers, um so Komfort und Sicherheit zu erhöhen. Der technische Fortschritt im Bereich der Informationsverarbeitung und Sensortechnik ermöglicht die Entwicklung immer komplexerer Assistenzfunktionen. Neben rein informierenden Systemen finden sich immer mehr FAS, die aktiv in die Fahrdynamik eingreifen, wie beispielsweise Adaptive Cruise Control (ACC) oder Lane Keeping Assistent System (LKAS). Diese Entwicklungen zeigen den Trend einer fortschreitenden Teilautomation der Fahrzeugführung sowohl in Längs- als auch in Querrichtung auf. Bei der Entwicklung solcher Systeme muss der Fahrer mit seiner Erwartung bezüglich der Funktionalität und seinem Verhalten mit einbezogen werden. Nur bei einer hohen Übereinstimmung zwischen den Fahrerbedürfnissen auf der eine Seite und der Systemfunktionalität auf der anderen, kann eine optimale Form der Unterstützung und eine hohe Nutzerakzeptanz gewährleistet werden. Es müssen die für den Fahrer relevanten Einflussgrößen identifiziert und mit technischen Mitteln er-

fasst werden. Die so zur Verfügung stehenden Informationen können dann als Eingangsgröße für die Systemcharakteristik verwendet werden. Eine der Haupteinflussgrößen, die von außen auf den Fahrer einwirken, bildet der aktuelle Verkehrszustand um das eigene Fahrzeug herum. Dies gilt insbesondere für mehrspurige Straßen, auf die sich die aktuellen Arbeiten beziehen. Kassner nennt in (Kassner et al. 2005) die Verkehrsdichte als einen wesentlichen Faktor für das Auftreten potentiell kritischer Situationen. In (Vollrath et al. 2006) und (Schießl & Knake-Langhorst 2007) wird gezeigt, dass die lokale Verkehrsdichte mit der Fahrerbeanspruchung korreliert. Dies verdeutlicht, dass sich die Bedürfnisse eines Fahrers an ein Assistenzsystem mit der Verkehrssituation verändern. Neben den bereits genannten Aspekten zeigt der Verkehrszustand auch Einflüsse auf das Fahrverhalten. Dies wird zum Beispiel in (Brackstone & McDonald 2007; Hoogendoorn et al. 2006; Nakamura et al. 2000) und (Schlag 1994) dargestellt. Trotz dieser bekannten Zusammenhänge wird der Verkehrszustand in aktuellen Seriensystemen kaum oder gar nicht mit einbezogen. Dies kann zu Limitierungen in der Verwendbarkeit eines Systems in bestimmten Situationen führen.

Die gezeigten Zusammenhänge bilden die Motivation für die Entwicklung einer Form von verkehrsadaptivem FAS. Der Grundgedanke ist, den vom Fahrer wahrgenommenen Verkehrszustand mit technischen Verfahren abzuschätzen und als Grundlage für die Anpassung der Systemcharakteristik zu nutzen. Hierbei stellen sich zwei grundsätzliche Aufgabenstellungen. Zum einen gilt es Algorithmen zu entwickeln, die die menschliche Wahrnehmung von verkehrlicher Dichte möglichst optimal abbilden. Zum zweiten gilt es zu analysieren, auf welche Weise der Verkehrszustand das Fahrverhalten beeinflusst. Sind diese beiden Aspekte bekannt, so kann ein Konzept gestaltet werden, welches eine geeignete Adaptionstrategie beinhaltet, wie in Bild 1: Konzept zur Gestaltung eines verkehrsadaptiven FAS

dargestellt.

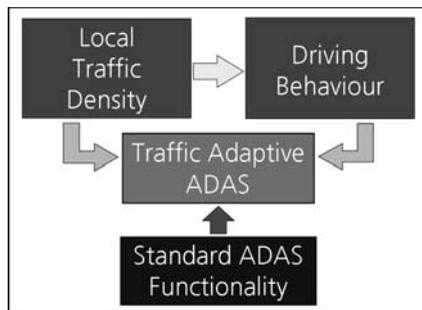


Bild 1: Konzept zur Gestaltung eines verkehrsadaptiven FAS

Als ein mögliches Anwendungsbeispiel für ein verkehrsadaptives FAS bietet sich das ACC an. Das System ist im Markt etabliert und hat einen gewissen Verbreitungsgrad erreicht, insbesondere in Fahrzeugen der Oberklasse. Spezifische Problemstellungen sind bereits bekannt und wissenschaftlich belegt. So zeigen Studien wie in (Filzek 2003) beispielsweise auf, dass die fehlende Adaption der Systemcharakteristik eines klassischen ACC auf den Verkehrszustand zu einem manuellen Übersteuern oder gar Abschalten des Systems durch den Benutzer führen kann. Filzek merkt an, dass ein verkehrsadaptives System zu einer Ver-

besserung der Verwendbarkeit und der Akzeptanz führen kann. Darüber hinaus bietet die Funktion eine Vielzahl an möglichen Freiheitsgraden für eine Adaptionsstrategie. All die genannten Punkte zeigen die Sinnhaftigkeit einer Betrachtung im aktuellen Kontext.

Die in der Entwicklung auftretenden Fragestellungen werden anhand empirischer Daten aus Probandenstudien analysiert. Für die Erhebung der verwendeten Daten steht im Institut für Verkehrssystemtechnik (TS) eine umfangreiche Versuchsinfrastruktur zur Verfügung. Der folgende Abschnitt stellt die entsprechenden Versuchsträger vor und erläutert dabei das Konzept zur menschenzentrierten Entwicklung von Assistenz, wie es im Institut TS verfolgt wird. Zentrale Bausteine für die bisherigen Entwicklungsschritte des verkehrsadaptiven ACC bilden das Versuchsfahrzeug ViewCar und der dynamische Fahrsimulator (Vollrath & Rataj 2005). Daher werden diese beiden Versuchsträger mit ihrem technischen Aufbau genauer dargestellt. Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die bisherigen Studienergebnisse und stellen dabei die Vorteile einer Kombination der beiden Studientypen heraus. Das Paper schließt mit einer Diskussion und einem Ausblick auf kommende Arbeiten.

2 MENSCHENZENTRIERTE ENTWICKLUNG VON ASSISTENZ

Das Institut TS verfolgt bei der Erforschung und Entwicklung von FAS den Ansatz einer menschenzentrierten Entwicklung. Das Grundkonzept wird in Bild 2 verdeutlicht, welches die einzelnen Teilschritte schematisch wiedergibt.

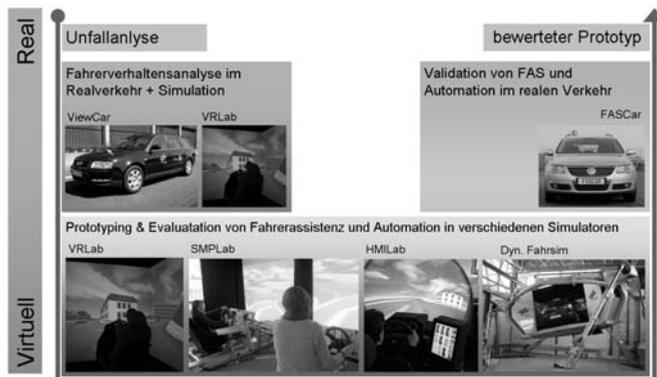


Bild 2: Konzept zur menschenzentrierten Entwicklung von Assistenz.

Der Prozess beginnt mit der Identifikation des Bedarfs für Assistenz durch die Analyse von Unfällen und dem Fahrerverhalten in spezifischen Situationen auf Basis von Realdaten. Das Konzept für die Assistenz wird daraus abgeleitet und in der virtuellen Welt implementiert. Hier erfolgen auch eine erste Erprobung und die Analyse aller maßgeblichen Aspekte. Die gewonnenen Erkenntnisse münden in einer Implementierung als prototypische Anwendung im realen Versuchsträger, welche dort evaluiert werden kann.

2.1 Das DLR ViewCar

Bei dem DLR ViewCar handelt es sich um ein Messfahrzeug zur Analyse der Wahrnehmungsprozesse und des Verhaltens des Fahrers im Realverkehr. Das

Fahrzeug ist mit einer Vielzahl von Sensoren zur zeitsynchronen Messung und Aufzeichnung der Verkehrsumgebung, der Bedienung des Fahrzeugs durch den Fahrer und des resultierenden Fahrzeugverhaltens ausgestattet (siehe Bild).

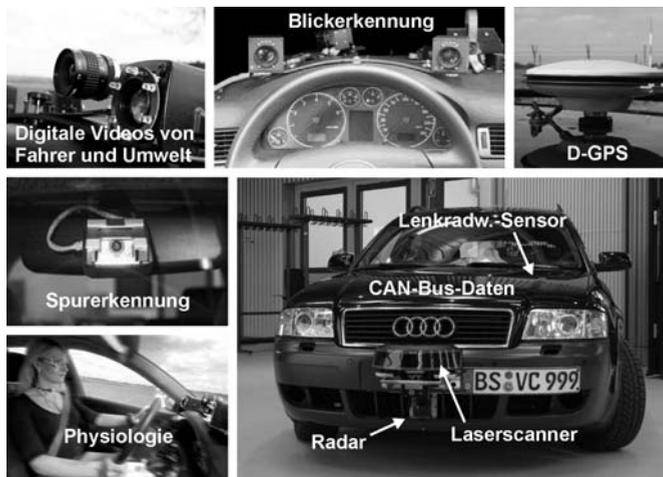


Bild 3: Übersicht über die technische Ausstattung des DLR ViewCars.

Damit ermöglicht das Fahrzeug Untersuchungen zum Verstehen und zur Modellierung des Fahrerhaltens in der Verkehrsumwelt. Die Daten dienen als Grundlage für Untersuchungen in den Forschungsbereichen Fahrermodellierung, Mensch-Maschine-Schnittstelle, kognitives Fahrverhalten und Fahrzeugführung.

Digitale Videokameras erfassen sowohl den Fahrer, als auch die Verkehrsszene mit unterschiedlichen Blickrichtungen. Ein Eyetracking-System ermöglicht die Verfolgung der Blickrichtung des Fahrers. Für eine Georeferenzierung verfügt das Fahrzeug über eine hochgenaue Ortungsplattform, welche Daten aus einer Trägheitsplattform, D-GPS und Odometerdaten miteinander fusioniert. Ein System zur Fahrspurerkennung ermöglicht die Lage des Fahrzeugs auf der Fahrbahn, sowie der Fahrspurgeometrie zu detektieren. Für eine Objektdetektion sind im Frontbereich des Fahrzeugs sowohl ein Laserscanner, als auch ein Long-Range Radar verbaut. Die Informationen des Antriebs-CAN-Bus können abgegriffen werden und ermöglichen Aussagen über den Fahrzeugzustand. Diese Daten werden durch zusätzliche Messsysteme wie beispielsweise einen hochauflösenden Lenkradwinkelsensor ergänzt. Für die Abschätzung der Fahrerbelastung werden physiologische Daten wie beispielsweise Pulsrate oder Hautleitfähigkeit erhoben.

Über die beschriebene Sensorik hinaus können weitere Systeme, wie beispielsweise Nachtsichtsysteme oder erweiterte Navigationssysteme in das Fahrzeug eingerüstet werden, was den Betrieb und die Bewertung solcher Systeme in der realen Anwendung ermöglicht.

2.2 Der dynamische Fahrsimulator

Bei dem dynamischen Fahrsimulator handelt es sich um eine Bewegungsplattform (Steward-Plattform) mit sechs Freiheitsgraden (Bild). Das System wird eingesetzt für die Erprobung von Assistenzfunktionen in einem fortgeschrittenen Entwick-

lungsstadium, sowie für Studien, in denen ein möglichst hoher Grad an Immersion gewünscht ist.



Bild 4: Der dynamische Fahrsimulator.

Der Simulator verfügt über ein leistungsstarkes Bewegungssystem, welches in der Lage ist, den Aufbau mit einer maximalen Geschwindigkeit von $\pm 2\text{m}$ in Längsrichtung zu verfahren. Der Arbeitsraum für lineare Bewegungen beträgt $\pm 1,5\text{m}$, wobei Nick-, Roll-, und Gierbewegungen von bis zu 20° durchgeführt werden können. Dies erlaubt während der Fahrt realistische Bewegungseindrücke zu erzielen. Das Projektionssystem besteht aus 8 Projektoren, die einen Sichtwinkel von 240° ergeben. In die Kabine ist ein komplettes Fahrzeug integriert. Dies ermöglicht die im Fahrzeug gewohnten Anzeigen und Bedienelemente zu nutzen, wobei über Datenanbindung alle relevanten Werte abgreifbar beziehungsweise manipulierbar sind. TFT-Bildschirme generieren die Umgebungssicht in den Außenspiegeln, das Innenspiegelbild wird durch ein großes Display auf der Rückbank sichergestellt. Das Mock-Up verfügt über ein aktives Lenkrad und Pedale, in die gewünschte Kräfte eingepreßt werden können. Die Simulationssoftware besteht aus einer Kombination aus Fremd- und Eigenmodulen, wodurch ein hoher Grad an Flexibilität erreicht wird. Die Software ist beliebig skalierbar und wird in allen Simulationseinrichtungen des Instituts TS verwendet. Hierdurch ergibt sich eine optimale Durchgängigkeit, das heißt, dass Versuchsdesigns in den anderen Simulatoren entwickelt oder auch verwendet werden können.

3 DIE ABSCHÄTZUNG DER SUBJEKTIV WAHrgENOMMENEN VERKEHRSDICHTE

Eingangs wurde bereits angesprochen, dass einer der Bausteine bei der Entwicklung des verkehrsadaptiven ACC in der Abschätzung des vom Fahrer wahrgenommenen Verkehrszustandes liegt. Dieser muss so detektiert werden, dass die subjektive Wahrnehmung des Fahrers durch den technisch ermittelten Wert möglichst optimal wiedergegeben wird. Klassische Parameter zur Beschreibung verkehrlicher Phänomene sind die Verkehrsdichte, -stärke und -geschwindigkeit (Schnabel & Lohse 1997), üblicherweise durch infrastrukturelle Einrichtungen wie Zählschleifen erhoben. Mit Hilfe dieser Größen kann eine Modellierung des Verkehrs analog zu kompressiblen Gasen durchgeführt werden. Ein weiteres Maß, welches in den Verkehrswissenschaften weite Verbreitung findet, ist das so ge-

nannte Level-of-Service (LOS) (National Research Council 1985). Die Motivation ist hier, ein Maß für die Qualität des Verkehrsflusses zu ermöglichen. Beide Modellvorstellungen sind in der Lage makroskopische Zusammenhänge wiederzugeben. Die gewonnenen Aussagen können beispielsweise im Bereich der Bemessung von Verkehrswegen verwendet werden. Allerdings sind die Modelle nicht geeignet, den individuellen Eindruck eines einzelnen Fahrers in der benötigten Genauigkeit und Dynamik zu reflektieren. Arbeiten wie (Hall et al. 2001) und (Ko et al. 2006) bestätigen dies.

Daher wird im Rahmen dieser Arbeiten mit dem so genannten Überdeckungsgrad (Vollrath et al. 2007) ein neuer Messansatz entwickelt, welcher auf einem fahrzeuggestützten Messverfahren basiert. Es werden folglich keine infrastrukturellen Daten benötigt. Bild zeigt das grundlegende Konzept anhand einer typischen Fahrscene.

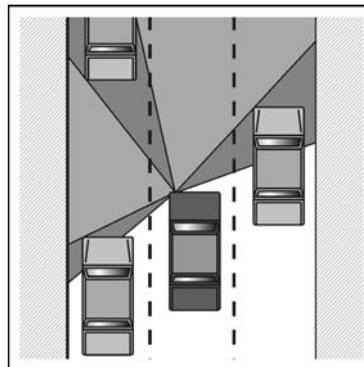


Bild 5: Das Konzept der Ermittlung einer lokalen Verkehrsdichte.

Das Ego-Fahrzeug (dunkelgrau) fährt auf der mittleren Spur einer dreispurigen Autobahn. Das Fahrzeug ist mit einem Sensor zur Detektion umliegender Fahrzeuge ausgerüstet, wie beispielsweise einem Laserscanner. Die grau markierten Bereiche der Straße markieren den Erkennungsbereich des Sensors. Die Konturen der drei umliegenden Fahrzeuge bilden Winkelsegmente, in denen die Sicht des Sensors auf dahinterliegende Elemente verdeckt wird. Diese Segmente werden zu jedem Messzeitpunkt aufsummiert und durch den Erfassungswinkel geteilt. Fährt das Ego-Fahrzeug auf einer der äußeren Spuren, so wird der Divisor entsprechend verkleinert. Damit ergibt sich ein einheitenloses Maß zwischen 0 (keine Fahrzeuge) und 1 (vollständige Überdeckung), das eine Aussage über den Belegungsgrad der Straße innerhalb der Detektionsgrenzen des Sensors ermöglicht. Im obigen Beispiel liegt der Wert bei 0,3. Die ermittelten Werte zeigen eine hohe Dynamik. Diese muss durch geeignete Filterung an die subjektiven Daten angepasst werden.

Eine erste Form der Konzepterprobung erfolgte anhand von Realfahrtdaten des DLR ViewCars. Diese waren im Rahmen einer Drittmittelstudie erhoben worden. Dabei nahmen $N=13$ Probanden an den Fahrten teil, wobei jeweils eine Strecke von jeweils ca. 50 km auf zwei- und dreispurigen Autobahnen zu befahren waren. Als Referenzwert zu den berechneten Werten wurden die Probanden instruiert, während der Fahrt an diskreten Punkten der Strecke die aktuelle Verkehrsdichte auf Basis eines Skalenwertes abzugeben. Außerdem erfolgte ein Videoring zur Einschätzung der erreichten Güte der technisch ermittelten Verkehrsdichtewerte.

Die Studie erbrachte mehrere grundlegende Erkenntnisse. Das Konzept zur Verkehrsdichteermittlung erwies sich als prinzipiell geeignet. Allerdings zeigte sich, dass die Daten eine tiefere Betrachtung im Sinne einer optimalen Anpassung der Dynamik nicht erlaubten. Verantwortlich hierfür war, dass auf Seiten der Subjektivdaten keine kontinuierlichen Werteverläufe vorlagen. Zusätzlich stellte sich als erschwerend heraus, dass die Bandbreite der verkehrlichen Bedingungen innerhalb einer Realfahrtstudie nicht beeinflusst werden kann. So konnten die hohen Verkehrszustände (LOS-Level E und F) nicht für alle Fahrten sichergestellt werden, was statistisch abgesicherte Aussagen erschwerte.

Als Reaktion auf die dargestellten Probleme wurde eine Simulatorstudie im dynamischen Fahrsimulator durchgeführt. Wiederum nahmen N=13 Probanden an dem Versuch teil. Dabei hatte jeder Proband eine Strecke von ca. 25km zweimal zu befahren. Bei einem der Läufe stieg die Verkehrsdichte von freier Strecke bis zum Stop-and-Go an. Der zweite Lauf wurde umgekehrt – also mit absteigender Verkehrsdichte – durchfahren. Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden wurde die Reihenfolge der Läufe über die Probanden variiert. Die Versuchs-Bedingungen waren damit weitaus kontrollierter als im Realversuch. Die in der Realfahrtstudie aufgetretenen Probleme konnte vermieden werden. Zusätzlich war es im Rahmen der Studie möglich ein kontinuierliches Probandenrating durchzuführen. Dies erfolgte parallel zur eigentlichen Fahraufgabe, wobei die Bewertung mit Hilfe einer 15-stufigen Skala durchgeführt wurde. Da die Fahrten im Simulator stattfanden, gab es – anders als bei einer Realfahrtstudie – keine Bedenken, dass die damit verbundene kognitive Beanspruchung sicherheitskritische Situationen auslösen würde. Das geschilderte Vorgehen ermöglichte eine anschließende tiefgehende Analyse der Daten mit einer numerischen Optimierung der Filterparameter. Hierbei zeigt sich ein weiterer Vorteil bei der Verwendung eines Simulators. So konnte die Berechnung losgelöst von messtechnischen Problemen erfolgen, wie sie im Realen unweigerlich auftreten. Es zeigte sich, dass auf Basis nichtlinearer Filter die Qualität der Abschätzung soweit optimiert werden kann, dass sie den Anforderungen genügt. Weitergehende Angaben zur Studie und der erreichten Performanz finden sich in (Knake-Langhorst & Schießl 2009).

4 DIE AUSWIRKUNG DES VERKEHRZUSTANDES AUF DAS FAHRERVERHALTEN

Die in Abschnitt 3 beschriebene Simulatorstudie bot eine gute Datengrundlage, um neben der Verkehrsdichteabschätzung eine Analyse zum Fahrerverhalten durchzuführen. Die Untersuchung sollte zeigen ob und wie sich das menschliche Fahrerverhalten in Bezug auf die gefühlte Verkehrsdichte verändert. Für das angestrebte Ziel eines verkehrsadaptiven ACC wurden die Fahrmanöver

- a) „Fahrzeug folgen“,
- b) „Annähern an Fahrzeug“

betrachtet.

4.1 Das Fahrmanöver „Fahrzeug folgen“

Die Fahraufgabe „Fahrzeug folgen“ ist charakterisiert durch kurzzeitige Beschleunigungsmanöver, die durchgeführt werden um eine gewünschte Zeitlücke (THW) zwischen dem eigenen und dem vorausfahrenden Fahrzeug zu halten. Für die

Analyse wurden alle Verläufe einbezogen, bei denen die Zeitlücke unter 3s und die Relativgeschwindigkeit unter 2m/s lagen. Es wurden dabei Polynome der Form

$$a(t) = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \quad (1)$$

als Ansatzfunktionen in die jeweiligen Zeitverläufe der Beschleunigungs- und der Verzögerungsmanöver eingepasst. Bild zeigt einen exemplarischen Zeitverlauf für die Betrachtung von Beschleunigungsprozessen. Die gestrichelte Kurve zeigt den Beschleunigungsverlauf. Die eingepassten Ansatzfunktionen sind durch die starken und mit Kreisen versehenen Kurven markiert.

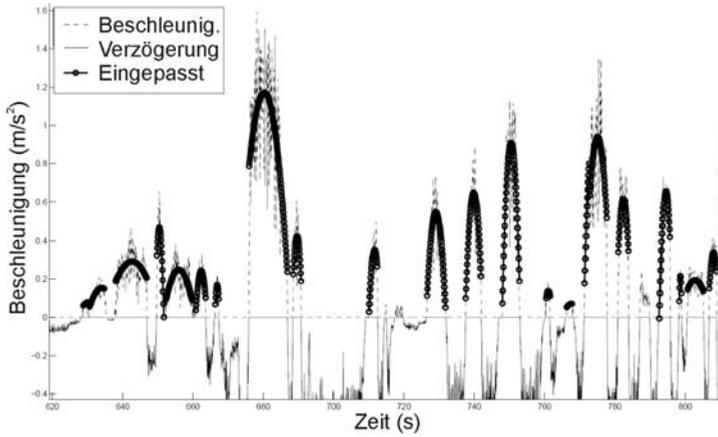


Bild 6: Polynom-Einpassungen in die Beschleunigungsverläufe.

Der Vorteil des geschilderten Verfahrens ist, dass eine Analyse der Kurvenformen auf Basis ihrer analytischen Beschreibung möglich ist. Die Aussagen können in Bezug zur jeweils vorliegenden Verkehrsdichte gesetzt und entsprechend aggregiert werden, wobei im vorliegenden Fall die subjektive Verkehrsdichte in fünf Stufen kategorisiert wurde. Eine Übersicht über die Ergebnisse dieser Analyse ist Tabelle 1 zu entnehmen. Sie ist unterteilt in die zwei Prozessarten des Beschleunigens und der Verzögerung. Für die fünf Stufen der subjektiven Verkehrsdichte finden sich hier jeweils die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (STD) der Koeffizienten a_2 und a_1 , der Scheitelwerte und der Prozessdauer.

Auf Basis dieser Tabelle lassen sich grundlegende Aussagen über das Fahrverhalten der Probanden machen. Es zeigt sich, dass abhängig von der lokalen Verkehrsdichte unterschiedlich hohe Dynamiken gewählt wurden. So steigen sowohl für Beschleunigungs- als auch für Bremsprozesse die Beträge der Mittelwerte von a_2 für steigende Verkehrsdichten an. Parallel dazu erhöhen sich im Mittel die entsprechenden Scheitelwerte, während sich die Dauer verkürzt. Dies zeigt einen Anstieg in der Dynamik.

Tabelle 1: Parametervariation über die subjektiven Verkehrsdichten

Prozess	Beschleunigung					Verzögerung				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Anzahl Fälle	139	278	349	299	145	238	264	326	294	140
Koeff. a_2 MW	-0,081	-0,391	-0,263	-0,437	-0,440	0,065	0,178	0,444	0,511	0,325
Koeff. a_2 STD	0,201	0,302	0,302	0,846	0,625	0,381	0,455	1,340	1,026	1,013
Koeff. a_1 MW	0,130	0,261	0,456	0,736	0,938	-0,128	-0,277	-0,970	-1,172	-0,621
Koeff. a_1 STD	0,265	0,421	0,552	1,006	1,150	0,923	0,952	2,504	2,407	2,074
Scheitelwert MW	0,315	0,435	0,653	0,826	0,842	0,172	0,441	0,658	1,037	0,618
Scheitelwert STD	0,249	0,362	0,488	0,687	0,747	0,573	0,785	1,523	1,808	1,448
Dauer MW	6,035	5,553	4,672	4,437	3,667	6,518	5,945	5,095	4,534	7,141
Dauer STD	4,998	4,858	3,714	3,642	2,147	10,947	5,742	4,492	3,682	5,098

Deutlich wird ebenso, dass sich die Mittelwerte des Parameters a_1 analog zur Dynamikänderung verhalten. Dieser Wert gibt eine Schiefelage des Polynoms wieder. Für Beschleunigungsprozesse bedeutet dies, dass für hohe Verkehrsdichten der Gradient der Beschleunigung beim Pedaltreten höher war, als beim Loslassen des Pedals. Für die Bremsprozesse gilt der umgekehrte Zusammenhang. Interessant ist, dass für die höchste Verkehrsdichte (Zusammenbruch des Verkehrs bis zum Stop-and-Go) ein unsymmetrisches Verhalten zu beobachten ist. Während für die Beschleunigungswerte die Dynamik weiter steigt, fällt sie für Verzögerungen wieder ab. Eine mögliche Interpretation hierfür ist, dass die Probanden im Versuch dazu neigten, auftretende Lücken durch kurze Beschleunigungsphasen „zuzufahren“, während sie durch die geringen Freiheitsgrade auf der Straße weniger scharf bremsen mussten.

4.2 Das Fahrmanöver „Annähern an Fahrzeug“

Im Laufe der Analyse wurde neben dem Folgefahren auch das Annähern an ein Führungsfahrzeug untersucht. Insbesondere für dieses Manöver ist ein direkter Einfluss der subjektiven Verkehrsdichte zu vermuten. Wiederum war die grundlegende Idee anhand von Ansatzfunktionen Aussagen über die Formparameter von Verlaufsdaten zu gewinnen. Allerdings war dieses Vorgehen auf Basis der vorliegenden Daten nicht möglich. Die Gründe liegen unter anderem darin, dass der Verkehr in der aufgebauten Simulation zwar eine gute Abbildung verschiedener Verkehrszustände ermöglichte. Die Fahrzeugmodelle boten allerdings nicht den erforderlichen Detaillierungsgrad, wie er für eine Analyse vorausgesetzt werden muss, die so stark in den Bereich der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern hereinreicht. Dies führte dazu, dass sich innerhalb des Verkehrs Dynamiken entwickelten, wie sie im Realen so kaum zu finden sind. Hierin zeigt sich eine der generellen Limitierungen der Simulation im Hinblick auf die Abbildbarkeit der wirklichen Welt. Die beschriebenen Probleme führten dazu, dass viele Daten aus der Analyse ausgeschlossen werden mussten. Dies hätte die Fallzahlen soweit gesenkt, dass die statistische Verwertbarkeit gefährdet wäre. Daher wurde eine alternative Form der Untersuchung durchgeführt. Betrachtet wurde jeweils der Zeitpunkt des Annäherns, bei dem die Verzögerung des Ego-Fahrzeugs einsetzte. Es sollte die Frage beantwortet werden, ob die Verkehrsdichte in den Daten einen Einfluss auf die jeweilige Zeittücke zum Vorderfahrzeug zeigt. Das Ergebnis der Analysen ist in Bild dargestellt. Die jeweiligen Werte des THW wurden analog zum Vorgehen in Abschnitt 4.1 über die fünf bekannten Verkehrsdichtekategorien aggregiert.

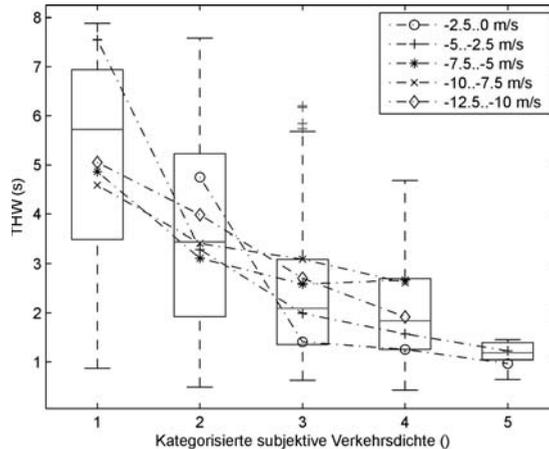


Bild 7: Verteilung der Zeitlücken (THW) über die kategorisierte subjektive Verkehrsdichte

Es ist ein deutlicher Trend im Graphen sichtbar. Die Mediane der THW-Werte sinken für steigende Verkehrsdichten an. Gleichzeitig zeigt sich eine Verringerung der Streuung. Es scheint, dass Fahrer in niedrigen Verkehrsdichten bei höheren Zeitlücken den Bremsvorgang beginnen als in hohen Verkehrsdichten. Dieses Verhalten ermöglicht eine niedrige Dynamik beim Fahren. Um auszuschließen, dass nicht das Fahrerverhalten, sondern ein Zusammenhang zwischen dem Verkehrszustand und den auftretenden Relativgeschwindigkeiten vorliegt, wurde das Diagramm um zusätzliche Informationen angereichert. So zeigen die strichpunktieren Linien die Mittelwerte der jeweils auftretenden Relativgeschwindigkeiten, die entsprechend der Legende ebenfalls in Kategorien unterteilt wurden. Im Falle eines Zusammenhangs müsste sich dieser in den Verläufen widerspiegeln. Dies ist nicht der Fall. Es zeigt sich der gleiche Trend wie er für die Verteilungen bereits beschrieben wurde. Die Ergebnisse legen nahe, dass es einen verkehrsdichteabhängigen Abtausch zwischen dem Fahrkomfort mit niedriger Dynamik auf der einen Seite und dem Drang des Vorankommens mit entsprechend härterer Fahrdynamik auf der anderen Seite gibt. Dies bestätigt Ergebnisse anderer Studien wie beispielsweise in (Schlag 1994) dargestellt.

5 DISKUSSION UND AUSBLICK

Die vorangegangenen Abschnitte beschreiben erste Schritte eines menschenzentrierten Entwicklungsprozess hin zu einem verkehrsadaptiven FAS. Hierfür sind zwei grundlegende Aspekte zu betrachten, die sich mit der Erkennung der vom Fahrer subjektiv wahrgenommenen Verkehrsdichte und der Auswirkung dieser Größe auf das Fahrerverhalten beschäftigen, wobei die Arbeiten auf empirischen Daten basieren. Mit dem DLR ViewCar und dem dynamischen Fahrsimulator werden die beiden Versuchsträger beleuchtet, welche dabei die zentralen Bausteine in der Entwicklung des Systems darstellen. Wie beschrieben stößt man bei Realfahrtstudien an Grenzen in der Kontrolle des Versuches, während Simulatorstudien (zumindest aktuell) nicht alle Aspekte der Realität abbilden können. Es muss stets kritisch geprüft werden, welche der beiden Alternativen jeweils sinnvoll erscheint. Die Beantwortung muss dabei anhand der spezifischen Fragestellungen geklärt werden, wobei Aspekte zu Aufwand und Weiterverwendbarkeit ebenfalls mit einbezogen werden sollten.

So genügten die erhobenen Fahrdaten aus dem Realverkehr für eine generelle Abschätzung der Möglichkeiten, die sich im Zusammenhang mit der in Abschnitt 3 dargestellten Methode zur Verkehrszustandsschätzung ergeben. Für die Optimierung der Algorithmen war es allerdings notwendig den Verkehr systematisch zu variieren, was nur durch den Einsatz eines Simulators möglich ist. Darüber hinaus müssen in einer Simulatorstudie praktisch keine messtechnischen Probleme gelöst werden, da prinzipbedingt alle notwendigen Daten in optimaler Form vorliegen. Dies ermöglichte im vorliegenden Fall die Beurteilung der Algorithmen-Güte isoliert von allen messtechnischen Einflüssen. Ähnliche Zusammenhänge zeigten sich in der bisherigen Analyse zum Fahrverhalten. Während allerdings in der Untersuchung des Fahrmanövers „Fahrzeug folgen“ eine Analyse auf Basis von Ansatzfunktionen möglich war, konnte das Verfahren für das Manöver „Annähern an Fahrzeug“ nicht durchgeführt werden. Die Gründe hierfür liegen in der generellen Limitierung einer Simulation in Hinblick auf ihren Realitätsgrad. Dies gilt insbesondere für den Aspekt der Interaktion mit dem umliegenden Verkehr.

Es wird damit deutlich, dass nur eine sinnvolle Kombination beider Versuchsumgebungen die Untersuchung aller relevanten Aspekte in der notwendigen Tiefe sicherstellt. Dabei können bereits gewonnene Erkenntnisse eingebracht werden, um so ein möglichst umfangreiches Bild über die Anforderungen an die darauf folgende Studie zu gewinnen. Dies wird sich auch im weiteren Verlauf der Systementwicklung fortsetzen. Zukünftige Arbeiten werden sich mit weiteren Aspekten der Fahrverhaltensanalyse beschäftigen. Die Form der Fahrzeugannäherung wird als eines der zentralen Elemente in der späteren Systemgestaltung angesehen und damit weiterhin im Fokus der Studien liegen. Es wird in weiteren Arbeitsschritten notwendig werden zu prüfen, ob dabei die Verwendung von Realfahrtdaten Verbesserungen der beschriebenen Probleme erwirken kann oder ob es sich eher anbietet, ein speziell angelegtes Versuchsdesign im Simulator auszuarbeiten. Das letzte Ziel des beschriebenen Entwicklungsprozesses ist die Implementierung und Evaluation der Gesamtfunktion als Prototyp mit aktiven Eingriffen. Diese soll gemäß Abschnitt 2 schrittweise im Simulator und letztlich im realen Versuchsträger durchgeführt werden.

LITERATUR

Brackstone, Mark; McDonald, Mike: Driver headway: How close is too close on a motorway. *Ergonomics*, Jg. 50, H. 8, S. 1183–1195, 2007.

Filzek, Björn: Abstandsverhalten auf Autobahnen - Fahrer und ACC im Vergleich. Als Ms. gedr. Düsseldorf: VDI-Verl. (Berichte aus dem Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt, 536), 2003.

Hall, Fred; Wakefield, Sarah; Al-Kaisy, Ahmed: Freeway Quality of Service: What Really Matters to Drivers and Passengers. *Transportation Research Record*, Jg. 1776, H. -1, S. 17–23, 2001.

Hoogendoorn, Serge; Ossen, Saskia; Schreuder, Marco: Empirics of Multianticipative Car-Following Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Jg. 1965, H. -1, S. 112–120, 2006

Kassner, Astrid; Vollrath, Mark; Rataj, Jürgen; Schäfer, Helge: Merging onto the Freeway: Comparison of Target and Actual Performance to Develop Advanced driver Assistance Systems. *The 5th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, 01. - 03.06.2005. Hannover, 2005

Knake-Langhorst, Sascha; Schießl, Caroline: Local traffic condition: improvement of a vehicle-based measurement approach. IET Intell. Transp. Syst., Jg. 3, H. 1, S. 32–41, 2009

Ko, Joonho; Guensler, Randall; Hunter, Michael: Variability in Traffic Flow Quality Experienced by Drivers: Evidence from Instrumented Vehicles. Transportation Research Record, Jg. 1988, H. -1, S. 1–9, 2006.

Nakamura, Hideki; Suzuki, Koji; Ryu, Syunsei: Analysis of the Interrelationship Among Traffic Flow Conditions, Driving Behavior, and Degree of Driver's Satisfaction on Rural Motorways. Brilon, Werner (Hg.): Transportation Research Circular E-C018, Fourth International Symposium on Highway Capacity, Proceedings, June 27 – July 1, 2000. Maui, HI: Transportation Research Board National Research Council, S. 42–52, 2000.

National Research Council: Highway capacity manual. Washington, D.C: Transportation Research Board National Research Council (Special report, 209), 1985.

Schießl, Caroline; Knake-Langhorst, Sascha: Situational Adaptive Assistance - A Step Towards Human-Centred Automation. 6th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services, 18.-20.06.2007. Aalborg, 2007.

Schlag, Bernhard: Geschwindigkeitswahl und Verkehrsstärke auf Bundesautobahnen. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Jg. 40, H. 1, S. 27–29, 1994.

Schnabel, Werner; Lohse, Dieter: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Straßenplanung. Verkehrstechnik. 2., neu bearbeitete Auflage. 2 Bände. Unter Mitarbeit von Lothar Lätzsch und Joachim Windolph. Berlin: Verlag für Bauwesen (1), 1997.

Vollrath, Mark; Rataj, Jürgen: Virtual and Real Driving - Tools for the Design and Assessment of Driver Assistance. The 5th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services, 01. - 03.06.2005. Hannover, 2005.

Vollrath, Mark; Schießl, Caroline; Knake-Langhorst, Sascha; Benmimoun, Ahmed; Totzke, Ingo; Buld, Susanne: Anpassung von Fahrerassistenz an Verkehrszustände – Was braucht der Fahrer wann. AAET 2006 - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel. 22. und 23. Februar 2006, Braunschweig: GZVB (Net@work), S. 88–101, 2006.

Vollrath, Mark; Schießl, Caroline; Knake-Langhorst, Sascha; Totzke, Ingo; Buld, Susanne; Benmimoun, Ahmed: Adapting ADAS to Traffic States. An Approach of Human-Centered Automation. 6th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services, 18.-20.06.2007. Aalborg, 2007.

EIGENSCHAFTSENTWICKLUNG FÜR FAHRERASSISTENZSYSTEME MITHILFE VON VEHICLE IN THE LOOP (VIL)

Thomas Bock

ZUSAMMENFASSUNG

Für den sicheren, reproduzierbaren und ressourcenschonenden Test von Fahrerassistenzfunktionen, die in kritischen Verkehrssituationen unterstützen sollen, wurde der Vehicle in the Loop Prüfaufbau entwickelt. Dieser vereinigt die Vorteile von Fahrsimulatoren und einem realen Versuchsfahrzeug, indem dieses in eine Verkehrssimulation eingebunden wird. Der virtuelle Fremdverkehr wird dem Fahrer durch ein optical see through Head Mounted Display während der Fahrt realitätsnah eingeblendet. Durch den Vehicle in the Loop Prüfaufbau wird die Simulatorkrankheit, auch Motion Sickness genannt, vermieden.

Mit Hilfe von Sensormodellen ist es möglich, dass Fahrerassistenzfunktionen in einem frühen Entwicklungsstadium auf den virtuellen Fremdverkehr reagieren und somit die Funktion realistisch und ungefährlich für Mensch und Maschine erprobt werden kann.

1 EINLEITUNG

Systeme zur Verbesserung der Fahrsicherheit stellen ein wesentliches Entscheidungskriterium beim Neuwagenkauf dar und werden zu einem immer wichtigeren Umsatz- und Ertragsträger für den Automobilsektor [1]. Während im klassischen Bereich der passiven Fahrsicherheit nur noch kleine Fortschritte mit verhältnismäßig hohem Aufwand erzielt werden können, lassen sich mit Systemen zur aktiven Sicherheit noch deutlich mehr Potentiale ausschöpfen [2].

Ein aktuelles Forschungs- und Entwicklungsthema stellen autonom intervenierende Assistenzsysteme dar, welche die Unfallfolgen mindern (Collision Mitigation) oder Unfälle vermeiden (Collision Avoidance) sollen. Da derartige Systeme teilweise auch ohne explizite Handlung des Fahrers in die Fahrdynamik eines Fahrzeugs eingreifen, sind die Anforderungen an die Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit der Einzelsysteme sowie deren Interaktion mit bereits bestehenden Fahrzeugsystemen besonders hoch.

Mit der gestiegenen Komplexität dieser Systeme ändert sich auch die Anforderung an die bis zur Entwicklung der Serienreife benötigten Test- und Simulationswerkzeuge. Aktuelle und künftige Assistenzsysteme können mit etablierten Methoden oft nur eingeschränkt oder gar nicht erprobt werden. Der derzeit vertretbare Auslösezeitpunkt einer automatischen Notbremsung liegt beispielsweise in einem sehr kurzen Zeitfenster unmittelbar vor einer Kollision [3]. Deshalb erweist sich der reproduzierbare und vor allem sichere Test für den Versuchsfahrer derartiger Sicherheitssysteme bisher als sehr schwierig.

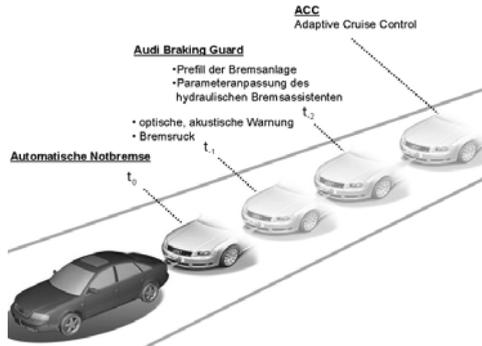


Bild 1: Entwicklungstrend ACC – Audi Braking Guard – Automatische Notbremse

2 STAND DER TECHNIK

Fahrerassistenzsysteme, die in kritischen Verkehrssituationen unterstützen, erfordern eine Erprobung und Absicherung unter (realer oder synthetischer) verkehrlicher Beteiligung. Der derzeitige Stand der Technik sind Fahrsimulatoren, Verkehrsflusssimulationen und Erprobungsfahrzeuge, die mit Ersatzobjekten wie z.B. Schaumstoffwürfeln kollidieren. Die derzeit verfügbaren Testwerkzeuge erfüllen die Anforderungen nach einer realistischen, reproduzierbaren, sicheren und zugleich ressourcenschonenden Testumgebung nur eingeschränkt. Eine ausführliche Beschreibung der derzeitigen Testmöglichkeiten kann in [4] nachgelesen werden.

3 VEHICLE IN THE LOOP

Anhand der bekannten Testmethoden zur Absicherung von Collision Mitigation und Avoidance Systemen wird die Notwendigkeit einer alternativen Testmöglichkeit sichtbar. Diese muss analog zu Fahrsimulatoren eine sichere, reproduzierbare und ressourcenschonende Testumgebung darstellen. Aber selbst komplexe Bewegungssysteme können die reale Dynamik eines Fahrzeugs nur sehr begrenzt abbilden. Der Ansatz des Vehicle in the Loop Prüfaufbaus liegt daher in der Kopplung des Testfahrzeugs mit einer virtuellen Verkehrsumgebung, um die Vorteile beider Verfahren zu vereinen.

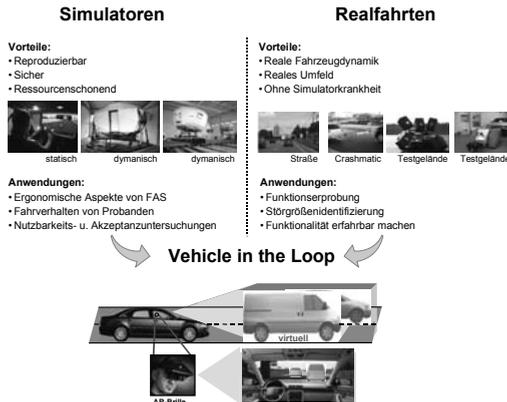


Bild 2: Vehicle in the Loop – Kopplung von Simulator und Realfahrzeug

Der Vehicle in the Loop Prüfaufbau ermöglicht eine Funktionserprobung von Fahrerassistenzsystemen direkt in einem Fahrzeug, welches sich allerdings nicht im realen Verkehr bewegt, sondern auf Freiflächen oder abgesperrten Straßen, wie z.B. auf dem Prüfgelände der AUDI AG. Besondere Vorteile ergeben sich bei der Absicherung von Assistenzsystemen, wie etwa einer Notbremsfunktionalität, da auch fehlende Auslösungen des Systems auf Grund eines virtuell vorausfahrenden Fahrzeugs, sicher und reproduzierbar untersucht werden können.

3.1 Funktionale Architektur des Vehicle in the Loop

In Bild 3 wird die funktionale Architektur des Vehicle in the Loop Prüfaufbaus vorgestellt. Die Positions- und Lagedaten des Ego-Fahrzeugs und des Fahrerkopfes werden während des Betriebs an eine Verkehrssimulationssoftware übergeben. Zusätzlich muss im Vorfeld der exakte Streckenverlauf der zu befahrenden Straße (hier Audi Prüfgelände) in einer Streckenbibliothek hinterlegt und ebenfalls an die Verkehrssimulationssoftware übergeben werden. Die Verkehrssimulation berechnet aus den Eingangsdaten die Position und Ausrichtung des Ego-Fahrzeugs auf der befahrenen Straße und die Positionsdaten des virtuellen Fremdverkehrs. Die Verkehrssituation wird mit Hilfe eines optical see through Head Mounted Displays in Abhängigkeit der Kopfposition und -orientierung für den Fahrer visualisiert. Mit Hilfe von Sensormodellen, welche als Eingangsdaten die Positions- und Lagedaten des Fremdverkehrs und des Ego-Fahrzeugs von der Verkehrssimulation bekommen, werden Eingangsdaten für das Fahrerassistenzsystem geschaffen. Wird beispielsweise eine Automatische Notbremse auf ein simuliertes Fahrzeug ausgelöst, hat dies einen Eingriff in den Fahrer-Fahrzeug-Umwelt Regelkreis zur Folge. Durch das Einlesen neuer Ego-Fahrzeug- und Fahrerkopfpositions- und Lagedaten wird der Vehicle in the Loop Regelkreis geschlossen.

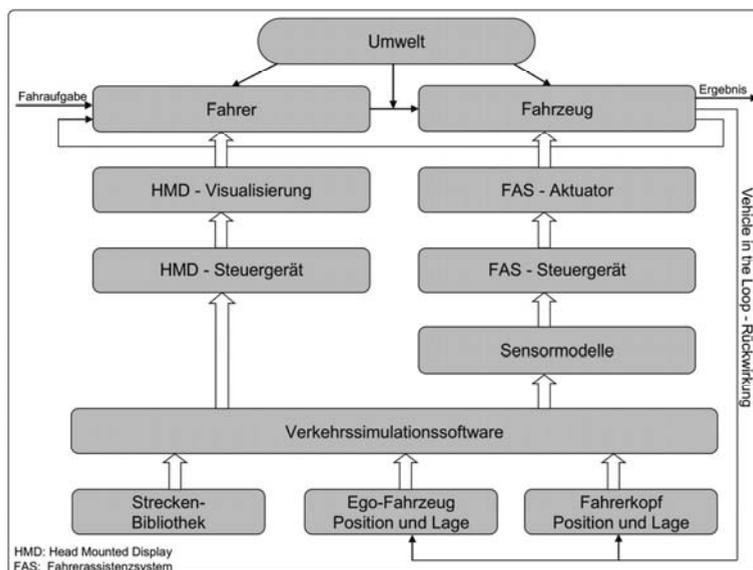


Bild 3: Funktionale Architektur des Vehicle in the Loop Prüfaufbaus

3.2 Systemaufbau des Vehicle in the Loop

Im folgenden Bild ist der Systemaufbau des Vehicle in the Loop Prüfaufbaus gezeigt. Auf die wesentlichen Bestandteile wird in den folgenden Kapiteln näher eingegangen.

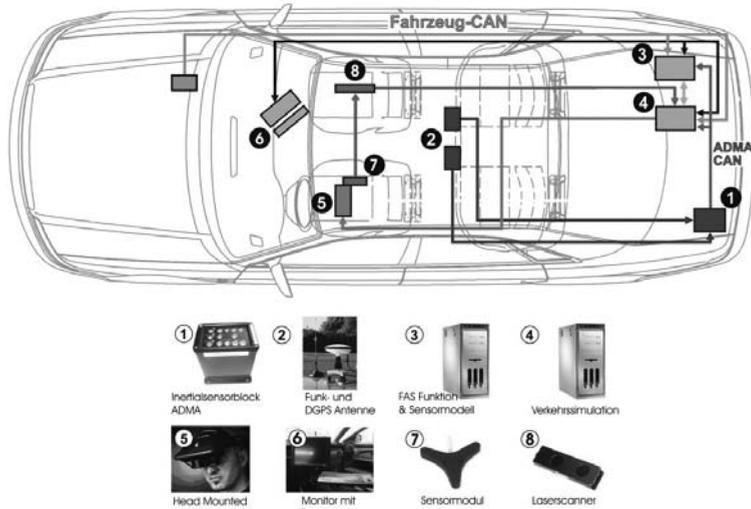


Bild 4: Systemarchitektur des Vehicle in the Loop

3.2.1 Verkehrssimulation und Visualisierung

Die Verkehrssimulation und Visualisierung der Firma Vires Simulationstechnologie GmbH ist auf einem Intel® Pentium® D 3,2 GHz Prozessor PC mit 12V Anschluss im Kofferraum des Versuchsträger integriert (siehe Bild 4, Punkt 4). Im Vorfeld wurde der genaue Straßenverlauf des AUDI Prüfgeländes durch eine Aufzeichnung der Ortskoordinaten mittels DPGS (siehe Bild 4, Punkte 1 und 2) in einer Datenbasis hinterlegt. Hierfür wurde das Straßenbeschreibungsformat OpenDRIVE® verwendet. OpenDRIVE® ist ein Datenformat zur Beschreibung der physikalischen Eigenschaften von Straßenverläufen und Straßennetzen für die Anwendung in Fahrsimulatoren [5].

Die Verkehrssimulation ist so konzipiert, dass es mit Hilfe unterschiedlicher Trigger möglich ist, reproduzierbare Spurwechsel-, Brems- und Beschleunigungsmanöver des simulierten Fremdverkehrs hervorzurufen. Die Auslösetrigger für diese Manöver können entweder relativ zu anderen Verkehrsteilnehmern (somit auch zum EGO-Fahrzeug) oder durch überfahren einer absoluten Ortposition ausgelöst werden. Der Fremdverkehr kann sich auch autonom fortbewegen, wobei hier die Längs- und Querdynamik eines Normalfahrers nachempfunden wird.

3.2.2 Positionierung des Versuchsträgers in der Verkehrssimulation

Zur Darstellung des richtigen Streckenausschnittes in der Verkehrssimulation, muss die Position des EGO-Fahrzeuges auf dem Prüfgelände der AUDI AG genau bestimmt werden. Dies erfolgt mit Hilfe einer Inertialsensorplattform mit DGPS Anbindung, bestehend aus einer GPS- und einer Funkantenne auf dem Fahrzeug zum Abgleich mit einer Referenzbodenstation (siehe Bild 4, Punkte 1 und 2). Durch den zusätzlichen DGPS Abgleich wird die Genauigkeit der Positionsbe-

stimmung des Autos von ca. $\pm 1\text{m}$ auf ca. $\pm 1\text{cm}$ erhöht. Falls entweder die Anzahl der sichtbaren Satelliten oder das Funksignal zum EGO-Fahrzeug für die DGPS Korrekturdaten abreißt, wird die Position des EGO-Fahrzeugs durch die Inertialsensorplattform weitergeführt. Alle Signale zur Fahrzeugposition und den Fahrzuständen werden auf einen eigenen CAN Bus geschrieben und stehen somit der Simulation zur Verfügung.

3.2.3 Einbindung des Fahrers mit Hilfe von Augmented Reality

Die Visualisierung des simulierten Verkehrs erfolgt über das AddVisor™ 150 optical see through Head Mounted Display (HMD) der Firma SAAB (vgl. Bild 5). Dieses ist über eine S-Video Schnittstelle ebenfalls mit dem Simulationsrechner verbunden.

Der Fahrer kann nicht gleichzeitig das ganze Fahrzeugumfeld wahrnehmen, so wie es in der Simulation vorhanden ist, sondern ist auf sein persönliches Sichtfeld beschränkt. Dementsprechend muss die Visualisierung sich auf dieses natürliche Sichtfeld beschränken. Das Sichtfeld ändert sich laufend mit der Kopfposition des Fahrers. Nur der jeweils der Kopfposition des Fahrers entsprechende Ausschnitt aus der Umgebungssimulation darf im HMD gezeigt werden.

Die Qualität des Vehicle in the Loop Prüfaufbaus hängt entscheidend von der exakten Übereinstimmung dieses realen Sichtfeldes mit dem entsprechenden, eingeblendeten, simulierten Verkehr ab. Die hierfür notwendige Positions- und Richtungsbestimmung des Fahrerkopfes erfolgt über das Headtracker System Laser-BIRD der Firma Ascension Technology Corporation (vgl. Bild 5). Das System besteht aus einem Laser Scanner und einem Sensormodul (siehe Bild 4, Punkte 7 und 8). Das Sensormodul ist fest an der HMD- Halterung auf dem sich bewegenden Kopf des Fahrers angebracht.

Die Simulation errechnet aus den eingehenden Daten für die Kopf- und Fahrzeugposition bzw. -lage (aus Headtracker und Inertialsensorblock) einen Augpunkt. Von diesem Augpunkt ausgehend wird die Verkehrsszene im HMD visualisiert.

Damit der Fahrer des EGO-Fahrzeugs die visualisierte Verkehrsszene räumlich interpretieren kann, wurde die Bildebene/-abstand (Virtual Image Distance) des HMDs auf 10m festgelegt, da ab diesem Abstand überwiegend die monokularen Tiefenhinweise (z.B. relative Höhe im Bild, lineare Perspektivendarstellung der Bildgröße, Verdeckungen) dominieren [6]. Durch diese Tiefenhinweise können auch größere Distanzen zum Fremdverkehr glaubwürdig vermittelt werden.

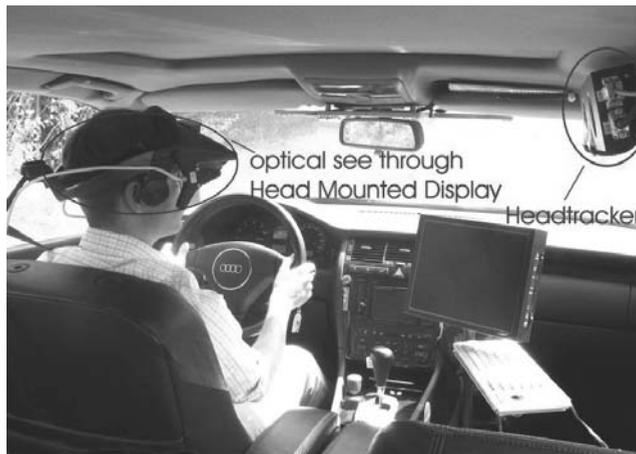


Bild 5: HMD und Headtracker im Vehicle in the Loop

In Bild 6 ist eine Augmented Reality Darstellung zu sehen, in der das Versuchsfahrzeug des Vehicle in the Loop Prüfaufbaus einem virtuellen Fahrzeug auf dem Handlingkurs des AUDI Prüfgeländes folgt. Um dieses Bild zu erhalten, wird eine Kamera ins HMD integriert, welche die Szene während der Fahrt mitfilmt.

Neben dem virtuellen Fremdverkehr sind zusätzlich die virtuellen Fahrspuren des Handlingkurses zu sehen. Die Darstellung der Fahrspuren ist derzeit hilfreich, um die Korrektheit der Positionierung und Orientierung von Versuchsfahrzeug und Fahrerkopf beurteilen zu können. Wenn die virtuellen Fahrspuren mit den realen Fahrspuren überlagern, ist eine richtige Darstellung der gesamten virtuellen Szene gewährleistet. Auf die Darstellung der virtuellen Fahrspuren wird im weiteren Entwicklungsstadium verzichtet, da sich der Fahrer an den realen Fahrspuren orientieren kann.

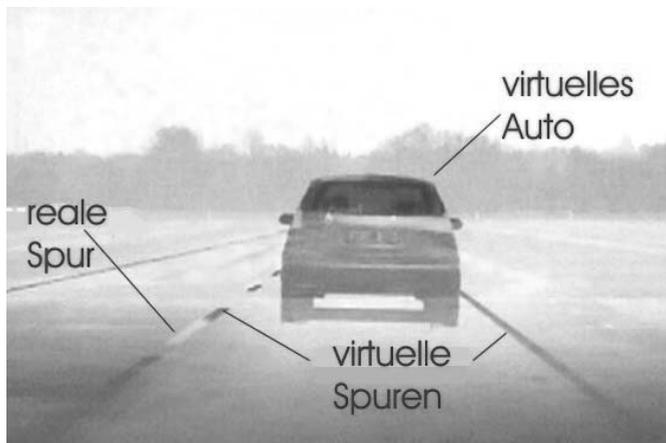


Bild 6: Augmented Reality Darstellung des Vehicle in the Loop Prüfaufbaus

3.2.4 Radarsensormodell

Der Vehicle in the Loop Prüfaufbau wird für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen eingesetzt, welche auf Umfeldsensorik aufbauen. Naturgemäß können

reale Umfeldsensoren keine Objekte eines virtuellen Verkehrsumfeldes erfassen. Daher werden entsprechende Sensormodelle zur Bild der Sensorfunktionalität erforderlich. In einem ersten Schritt wurde hierzu ein Radarsensormodell entwickelt. Dazu wird das Verhalten einer realen Radarsensorik unter Nachbildung der physikalischen Zusammenhänge in ein C/C++ Softwaremodell abgebildet. Um die Entwicklung der Sensormodelle unabhängig vom Vehicle in the Loop Prüfaufbau gestalten zu können, laufen die Sensormodelle und die eigentlichen Fahrerassistenzfunktionen auf einem weiteren PC, welcher ebenfalls im Kofferraum des EGO-Fahrzeugs integriert ist (siehe Bild 4, Punkt 3). Beide Rechner sind permanent über eine UDP-Verbindung miteinander verbunden. Die Kommunikation erfolgt nach einem definierten Protokoll, in welchem u.a. Positions- und Zustandsdaten des simulierten Fremdverkehrs vom Simulationsrechner übertragen werden. Da das Sensormodell auf Basis idealer Fremdverkehrpositionsdaten aus der Verkehrssimulation arbeitet, mussten zusätzlich die typischen Störgrößen und Messunsicherheiten realer Sensoren statistisch ausgewertet und entsprechend in das Sensormodell eingebunden werden. Insbesondere wurde der Erfassungsbereich, die x/y Abweichung und das Trennfähigkeitsvermögen jeweils für unterschiedliche Radarziele (PKW, LKW und Motorrad) erfasst und durch mathematische Fehlergleichungen modelliert. Als „ground truth“ Referenz zu den Radarsignalen wurden Maßbänder und ein Laser-Entfernungsmessgerät (Messgenauigkeit $\pm 3\text{mm}$) verwendet. Eine ausführliche Herleitung der Fehlerfunktionen für PKW, LKW und Motorrad ist in [7] zu finden.

4 VALIDIERUNG DES VEHICLE IN THE LOOP

Die Verkehrssimulation im Vehicle in the Loop Prüfaufbau umfasst Fremdverkehr (LKW, PKW, Motorrad) und Fahrbahnmarkierungen (durchgezogene und gestrichelte Linien). Die restlichen Wahrnehmungsobjekte des Fahrers sind im Vehicle in the Loop Prüfaufbau real, z.B. Straße, Häuser, Horizont etc. Aus diesem Grund ist ausschließlich die Wahrnehmung des simulierten Verkehrs, Personen, der Fahrbahnmarkierungen und das Zusammenspiel der Simulation mit der realen Fahrzeugdynamik zu validieren. Hierbei ist ein Vergleich mit dem Fahrverhalten in realem Verkehr durchzuführen und mögliche Unterschiede aufzuzeigen.

Das Ziel der Validierung ist es zu überprüfen, inwieweit der Vehicle in the Loop Aufbau als Tool für Entwicklungsingenieure dienen kann. Viele Systeme, welche die Längs- und Querführung unterstützen (Adaptive Cruise Control, Automatische Notbremse, Spurverlassenswarner, Spurwechselassistent, etc.) beruhen auf der Interaktion mit dem Straßenverkehr. Eine entscheidende Rolle spielt hierbei, neben technischen Messdaten, die subjektive Wahrnehmung des Fremdverkehrs durch den Fahrer.

Hieraus leitet sich die Anforderung an den Vehicle in the Loop Prüfaufbau ab, dass der Fahrer den Verkehr möglichst realistisch wahrnehmen muss. Der erforderliche Realitätsgrad wird u.a. durch die Einschätzung des Abstandes zum simulierten Verkehr und die Wahrnehmung von Relativ-Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bestimmt. Die Überprüfung dieser Anforderungen erfolgt auf der Basis zweier Datenquellen. Zum einen kann ein Fragebogen Aufschluss über die subjektive Wahrnehmung des simulierten Verkehrs und das Zusammenspiel der Simulation mit den dynamischen Fahreigenschaften geben. Zum anderen lassen sich bei definierten Fahrmanövern (Verkehrssituationen) Erkenntnisse aus dem Vergleich der Fahrerreaktionen auf simulierten und realen Verkehr gewinnen.

Hierzu werden objektive Daten der beiden Fahrten (realer/ simulierter Verkehr) aufgezeichnet und einander gegenüber gestellt.

4.1 Versuchsaufbau

Um Unterschiede im Fahrverhalten der Probanden über die gesamte Untersuchung hinweg auszugleichen, wurde die Studie in Fahrten mit realem und virtuellem Vorderfahrzeug unterteilt, und die Differenzen der objektiven Messdaten eines Probanden aus realer und virtueller Fahrt betrachtet.

Der Versuchsaufbau zur Ermittlung der geforderten virtuellen objektiven Daten bestand aus dem Vehicle in the Loop Fahrzeug (vgl. Kapitel 3). Alle objektiven Versuchsparameter des Egofahrzeuges und der virtuellen Fahrzeuge werden von der Verkehrssimulationssoftware aufgezeichnet.

Zur Durchführung der Versuche mit realem Vorderfahrzeug war es notwendig, dessen genaue Position und dessen objektive Fahrzustandsdaten zu ermitteln. Aus diesem Grund wurde das reale Vorderfahrzeug mit einem zum Vehicle in the Loop Fahrzeug identischem DGPS System zur genauen Positionsbestimmung ausgestattet. Ein WLAN System diente zur Übermittlung der Fahrzeugdaten des Vehicle in the Loop Fahrzeuges an das Vorderfahrzeug.

4.2 Fahrmanöver und Untersuchungshypothesen

Im Folgenden werden alle Fahrmanöver der Studie mit einer kurzen Beschreibung aufgeführt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht Fahrmanöver

Fahrmanöver	Beschreibung	Ermittelte Größen
A1	komfortable Annäherung an ein stehendes Hindernis aus 80 km/h	Abstand bei Bremsbeginn und Stillstand, Verzögerungsverlauf bei einer komfortablen Annäherung
A2	Annäherung mit Vollbremsung an ein stehendes Hindernis aus 80 km/h	Abstand bei Bremsbeginn und Stillstand, Verzögerungsverlauf bei einer Annäherung mit Vollbremsung
B1	schnelle Annäherung an ein vorrausfahrendes Fahrzeug mit Folgefahrt, Differenzgeschwindigkeit 40 km/h	Abstand bei Bremsbeginn, Verzögerungsverlauf und Folgefahrtabstand bei hoher Differenzgeschwindigkeit
C1	plötzlicher Einscherer, Differenzgeschwindigkeit 30 km/h, Abstand 40m	Verzögerungsverlauf und Reaktionszeit bei einem plötzlich auftretenden Hindernis
C2	Auffahrunfall, Vollbremsung des Vorderfahrzeuges bei ca. 30m Abstand, Geschw. 80 km/h	Verzögerungsverlauf und Reaktionszeit bei einer plötzlichen Vollbremsung des Vorderfahrzeuges
D1	Folgefahrt mit Änderung der Geschwindigkeit des Vorderfahrzeuges von 40 km/h auf 70 km/h	Reaktionszeit und Beschleunigung bei einer Geschwindigkeitsänderung des Vorderfahrzeuges
D2	Folgefahrt mit Spurwechsel des Vorderfahrzeuges	Reaktionszeit auf einen Spurwechsel des Vorderfahrzeuges

Mit Hilfe dieser Fahrmanöver werden folgende Hypothesen überprüft:

Tabelle 2: Übersicht der Fahrmanöver mit den zu prüfenden Hypothesen (s= Standardabweichung; * = gefordertes Signifikanzniveau von $p = 0,2$ erreicht)

Fahrmanöver	Nullhypothese	Alternativhypothese	Mittelwerte der ermittelten Größen		Signifikanz aus gepaartem T-Test
			real	virtuell	
Komfortable Annäherung an ein stehendes Fahrzeug	Anhalteabstand ist identisch	Anhalteabstand ist unterschiedlich	5m ($\sigma=3m$)	8,62m ($\sigma=3m$)	$p = 0,25 *$
Annäherung mit Vollbremsung an ein stehendes Fahrzeug	Bremsbeginn ist identisch	Bremsbeginn ist unterschiedlich	41m ($\sigma=9m$)	42m ($\sigma=12m$)	$p=0,84 *$
	Anhalteabstand ist identisch	Anhalteabstand ist unterschiedlich	10m ($\sigma=7m$)	8m ($\sigma=10m$)	$p=0,32 *$
Annäherung an ein vorausfahrendes Fahrzeug	Bremsbeginn ist identisch	Bremsbeginn ist unterschiedlich	58m ($\sigma=15m$)	58m ($\sigma=25m$)	$p=0,94 *$
	Verzögerungsverlauf ist identisch	Verzögerungsverlauf ist unterschiedlich	58% linear; 42% Bremse lösen Bremse	52% linear; 48% Bremse lösen Bremse	$p=0,57 *$
	Folgeabstand ist identisch	Folgeabstand ist unterschiedlich	16m ($\sigma=4m$)	17m ($\sigma=6m$)	$p=0,44 *$
Notbremssituation (Auffahrunfall)	Vergleich der Reaktionszeiten auf Bremsbeginn mit Literaturwerten				
Plötzlicher Einscherer	Reaktionszeit ist identisch	Reaktionszeit ist unterschiedlich	0,9s ($\sigma=0,5s$)	1,7s ($\sigma=0,5s$)	$p = 0,0$
Beschleunigung des vorausfahrenden Fahrzeuges	Die Reaktionszeiten auf die Beschleunigung des Vorderfahrzeuges sind im Realen und Virtuellen identisch	Die Reaktionszeiten auf die Beschleunigung des Vorderfahrzeuges sind im Realen und Virtuellen unterschiedlich	1,7s ($\sigma=0,6s$)	2,5s ($\sigma=1,4s$)	$p=0,0$
Spurwechsel	Der Proband benötigt die gleiche Zeit, bis er den Fahrspurwechsel des vor ihm fahrenden Fahrzeuges registriert	Der Proband benötigt nicht die gleiche Zeit, bis er den Fahrspurwechsel des vor ihm fahrenden Fahrzeuges registriert	1,4s ($\sigma=0,5s$)	5,2s ($\sigma=2,1s$)	$p=0,0$

Die Signifikanz, die zu einer Bestätigung der Nullhypothese führen sind mit * gekennzeichnet. σ =Standardabweichung

4.3 Interferenzstatistik

Die Auswertung der Messdaten dieser Studie war auf die Bestätigung der Nullhypothese ausgerichtet. Es sollte untersucht werden, ob das Fahrverhalten der Probanden bei den Versuchen mit virtuellem Vorderfahrzeug dem Verhalten bei realem Vorderfahrzeug gleicht.

Da in dieser Studie die Alternativhypothese zugunsten der Nullhypothese verworfen werden soll (Test auf Gleichheit), ist für die Irrtumswahrscheinlichkeit α eine untere Grenze von 20% festgesetzt. α und β - Fehler sind von einander abhängig, daher wird bei einem α -Fehlerniveau von 20% davon ausgegangen, dass sich der β -Fehler unter der 5% Signifikanzgrenze befindet. Ist dies erfüllt, kann die Nullhypothese bestätigt und die Alternativhypothese verworfen werden [8].

Es ist von Interesse, ob die Probanden real / virtuell unterschiedlich fahren, daher wird eine ungerichtete Alternativhypothese gewählt. Zum Test der Hypothesen ist ein zweiseitiger Signifikanztest (gepaarter T-Test) durchzuführen. Der T-Test ist ein äußerst robustes Testverfahren zum Mittelwertsvergleich. Es reicht aus, wenn die Werte der Variablen annähernd normalverteilt sind. Stichprobenartig wurde eine Überprüfung auf Normalverteilung mittels des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests mit durchwegs positiven Ergebnissen durchgeführt. Im Folgenden wurde somit eine Normalverteilung der Variablen angenommen.

4.4 Versuchsauswertung

Im Folgenden ist eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der statistischen Auswertung der einzelnen Fahrversuche aufgeführt.

4.4.1 Annäherung an ein stehendes / bewegtes Fahrzeug:

Die Probanden konnten das virtuelle Standfahrzeug erkennen und sich bei einer Differenzgeschwindigkeit von 80 km/h komfortabel annähern, ebenso war eine Zielbremsung auf das virtuelle Objekt möglich. Die virtuelle Fahrspur, die bei diesen Versuchen mit virtuellem Vorderfahrzeug auf der Dynamikfläche eingeblendet wurde, ist von allen Probanden wahrgenommen worden.

Der unterschiedliche Abstand zum Standfahrzeug bei Bremsbeginn ist auf das komfortable Annäherungsverhalten zurückzuführen. Deshalb wurde bei diesem Fahrversuch (hier: $p=0,03$) das geforderte Signifikanzniveau von 20% nicht erreicht. Der Bremsbeginn bei der Notbremssituation war bei virtuellem und realem Versuch identisch, des Weiteren haben alle Probanden mit maximaler Verzögerung gebremst.

Bei der Annäherung an ein vorausfahrendes Fahrzeug nahmen die Probanden das virtuelle Hasenfahrzeug als fahrenden Verkehrsteilnehmer wahr. Sie konnten sich an das Fahrzeug annähern und darauf reagieren. Der Bremsabstand, bei dem die Versuchspersonen im Virtuellen und Realen auf das Vorderfahrzeug reagieren ist nahezu identisch. Der Verzögerungsverlauf sowie die Bremsstärke bei der Annäherung waren im realen und virtuellen Versuch vergleichbar. Die Folgefahrt auf das virtuelle Fahrzeug bereitete den Probanden keine Probleme. Einmal angenähert wurde ein mit der Realfahrt vergleichbarer konstanter Abstand zum Zielobjekt eingehalten. Der Vehicle in the Loop Testaufbau ist somit sehr gut für die Simulation von Annäherungsfahrten an ein stehendes oder bewegtes Fahrzeug geeignet.

4.4.2 Plötzlicher Einscherer und Auffahrunfall:

Das virtuelle Einscherer-Fahrzeug wurde von den Probanden später als das reale Einscherer-Fahrzeug wahrgenommen. Dennoch reagierte ein Großteil der Probanden auf den plötzlichen Einscherer durch Ausweichen oder Bremsen.

Die Probanden haben auf den virtuellen Einscherer aufgrund von Wahrnehmungsschwierigkeiten (springende Fahrzeuge und zu klein modellierte, leuchtschwache Blinker) später reagiert. Bei dieser kritischen, unerwarteten Verkehrssituationen liegt ein Wahrnehmungsunterschied zwischen der Vehicle in the Loop Fahrt und der Fahrt mit dem realen Hasenfahrzeug im Mittel von 0,84s (Δ Reaktionszeit) vor. Da die Probanden den virtuellen Einscherer später wahrge-

nommen haben und sich die time to collision somit verringert hat, mussten die Probanden stärker bremsen um die Kollision mit dem virtuellen Fahrzeug zu vermeiden. Die Tatsache, dass die Probanden trotz späterer Wahrnehmung die Kollision mit dem virtuellen Fahrzeug durch ein massives Bremsmanöver vermieden haben, spricht wiederum für eine realitätsnahe Wahrnehmung der Kritikalität der Verkehrssituation.

Eine Erklärung für die spätere Wahrnehmung des plötzlichen virtuellen Einscherers kann daran liegen, dass dieser Fahrversuch gegen die direkte Sonneneinstrahlung stattgefunden hat, was zu einem eingeschränkten Visualisierungs-contrast des virtuellen Fahrzeugs führt. Zusätzlich erfolgte dieses Fahrmanöver auf einer sehr unebenen Fahrbahn (Bodenwellen, Schlaglöcher) was zu einer Relativbewegung des HMDs zu den Augen des Probanden führt. Dies resultiert in einer springenden/vibrierenden Wahrnehmung des virtuellen Fremdverkehrs, so dass eine Spuruordnung des virtuellen Fremdverkehrs erschwert wird.

Bei dem Versuch „Auffahrunfall“ (nur virtuell) war die Reaktionszeit auf das plötzlich bremsende, virtuelle Vorderfahrzeug von 0,95s nahezu vergleichbar mit den bekannten Fahrerreaktionszeiten in solchen Fahrsituationen aus der Literatur. Daraus lässt sich erkennen, dass die Probanden bei einer Notbremsung aus 80 km/h den Abstand und das Vollbremsmanöver des Vorderfahrzeuges einschätzen konnten.

4.4.3 Beschleunigung des Vorderfahrzeuges:

Die Geschwindigkeitsveränderung des virtuellen Vorderfahrzeuges wurde von den Probanden mit größeren Schwierigkeiten als bei dem realen Fahrzeug wahrgenommen. Deutlich wird dies an der um 0,8 Sekunden größeren Reaktionszeit bei den virtuellen Versuchen.

Verantwortlich für die schlechteren Versuchsergebnisse bei virtuellem Vorderfahrzeug können zum einen Wahrnehmungsunterschiede sein, zum anderen kam es im virtuellen Versuch zu einem unnatürlich schnellen Wegfahren des Vorderfahrzeuges.

Die Probanden haben die Geschwindigkeitsänderung korrekt wahrgenommen, waren aber von der ungewöhnlich starken Beschleunigung des virtuellen Fahrzeuges überrascht, so dass sie verspätet reagierten. Darüber hinaus waren sie aufgrund des engen Kurvenverlaufes, an dem der Versuch stattfand nicht motiviert, derart stark zu beschleunigen.

4.4.4 Spurwechsel des Vorderfahrzeuges:

Die Probanden haben subjektiv wie objektiv größere Schwierigkeiten, einem virtuellen, vorausfahrenden Fahrzeug beim Spurwechsel zu folgen. Die Reaktionszeiten auf den Spurwechsel des virtuellen Fahrzeuges waren deutlich größer als die Reaktionszeiten des realen Versuches (Zeitdifferenz 3,8s). Entscheidend für eine ausreichende Reaktionszeit ist der Abstand zum Vorderfahrzeug, da bei weit entfernten virtuellen Fahrzeugen Schwierigkeiten bei der Spuruordnung bestehen. Bei einer Vielzahl der Probanden war durch den großen Folgeabstand die Wahrnehmung des Blinkerlichtes erschwert, da dieser zu klein und zu leuchtschwach modelliert wurde.

Zusätzlich sorgten bei diesem Fahrversuch erneut Bodenwellen für eine „springende“ Darstellung (siehe Fahrversuch „plötzlicher Einscherer) des virtuellen Fremdverkehrs, was eine Spurzuordnung erschwert.

4.4.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Vehicle in the Loop Prüfaufbau als zukünftiges Entwicklungstool geeignet ist.

Die Simulation des Fremdverkehrs durch den VIL und dementsprechend auch das Fahrgefühl bei den virtuellen Versuchen ist sehr realitätsnah. Die Versuchspersonen zeigten bei den Fahrten mit virtuellem Vorderfahrzeug vergleichbares Fahrverhalten wie im realen Versuch. Sie können sich vorstellen, mit dem VIL als Entwicklungswerkzeug zu arbeiten und sind von der Möglichkeit, kritische Fahrmanöver realitätsnah darstellen zu können, überzeugt.

Eine kurze Trainingsphase von ca. 15 Minuten war ausreichend, um mit dem System Vehicle in the Loop vertraut zu werden. Bei häufiger Benutzung dieses Systems gewöhnt sich der Benutzer schnell an die verbaute Messtechnik und an das Tragen des HMD.

Beim Versuchsdesign ist auf die Wahl eines geeigneten Ortes (keine direkte Sonneneinstrahlung, keine starken Bodenwellen) zu achten, damit Wahrnehmungsprobleme des virtuellen Fremdverkehrs minimiert werden.

LITERATUR

- [1] **Oertel, Klaus**, "Zukunftsmarkt Assistenzsysteme", Automotive Electronics + Systems, Carl Hanser Verlag, Vol.11/12 - 2004, Seite 22-24.
- [2] **Kompaß, Klaus**, "Integration Aktiver und Passiver Sicherheit - mehr Fahrerlebnis und besserer Insassenschutz", Baika Kooperationsforum Fahrerassistenzsysteme, 2005.
- [3] **Kopischke, Stephan**, "Entwicklung einer Notbremsfunktion mit Rapid Prototyping Methoden", Dissertation, Technische Universität Carolo - Wilhelmina zu Braunschweig, 2000.
- [4] **Bock, Thomas et. al.**, "Simulations- und Testumgebung für Fahrerassistenzsysteme - Vehicle in the Loop", Technischer Bericht, Erprobung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung - Mess- und Versuchstechnik, VDI-Berichte 1900, 2005.
- [5] **<http://www.opendrive.org>**, Stand Mai 2006.
- [6] **Oehme, Olaf**, "Ergonomische Untersuchung von kopfbasierten Displays für Anwendungen der erweiterten Realität in Produktion und Service", Dissertation, RWTH Aachen, 2004.
- [7] **Meyer, Marcel**, "Entwicklung und Implementierung eines Sensormodells für Radarsensorik", Diplomarbeit, Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme, TU München, 2006.

FAHRVERSUCHE ZUR UNTERSUCHUNG VON FRONTALKOLLISIONSGEGENMASSNAHMEN

Hermann Winner, Norbert Fecher, Fabian Regh, Jens Hoffmann

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des vorliegenden Artikels wird der Stand der Technik von Fahrversuchen zur Bewertung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen (FKGM) dokumentiert. Bei der Ableitung des bestehenden Prüfbedarfs von FKGM wird gezeigt, dass die Einbeziehung des Fahrers in den Versuch unumgänglich ist. Nach einem Überblick über bekannte Prüfverfahren wird das Darmstädter Verfahren (EVITA) vorgestellt, mit dem erstmals im Probandenversuch reale Systeme reproduzierbar in realistischen und für FKGM relevanten Szenarien getestet und bewertet werden können. In einer kritischen Diskussion werden die identifizierten Optimierungspotenziale vorgestellt und aufgezeigt, welche Arbeitspakete aktuell den Schwerpunkt bei der Weiterentwicklung des Verfahrens bilden.

1 EINLEITUNG

Die Entwicklung von Adaptive Cruise Control und die damit verbundene Ausstattung von Fahrzeugen mit Abstands- und Relativgeschwindigkeitsmesssensorik öffneten den Weg für Systeme, die Frontalkollisionen verhindern oder zumindest deren Schäden abschwächen sollen. Die dafür denkbaren Maßnahmen umfassen eine Vielzahl an Varianten, die je nach Auslegung und Kombination sehr unterschiedliche Wirkungen im Fahrer-Fahrzeug-System erzielen und entsprechend unterschiedlichen Nutzen bewirken können. Zur Untersuchung solcher Maßnahmen standen bislang insbesondere Fahrsimulatoren zur Verfügung, mit denen bekanntermaßen Einschränkungen hinsichtlich der Realitätsnähe verbunden sind. Die Bewertung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen (FKGM) im realen Fahrzeug und mit Fahrereinbindung stellt besondere Anforderungen an die Darstellung der Szenarien. So sollen typische Gefahrenszenarien zwar realitätsnah, aber ohne Gefahr dargestellt werden. Bisherige stehende oder in die Fahrtrajektorie gezogene „Weichziele“ waren die bislang bekannten Verfahren, bei denen sowohl die Realitätsnähe des Gefahreindrucks litt als auch die Relevanz des Szenarios in Frage gestellt wurde.

Mit dem Darmstädter Verfahren (EVITA) wurde erstmals ein Testverfahren vorgestellt, das reale Systeme reproduzierbar in realistischen und für FKGM relevanten Szenarien testen und bewerten kann.

In diesem Beitrag werden die bisherigen Erfahrungen mit dem Testverfahren für warnende und eingreifende FKGM, die Durchführung der Versuche und die Bewertungsmethodik vorgestellt. Bei letzterem steht das Kriterium des Geschwindigkeitsabbaus im Vordergrund.

2 BEGRIFFSDEFINITIONEN

Frontalkollisionsgegenmaßnahmen

Unter dem Begriff Frontalkollisionsgegenmaßnahmen werden alle Aktionen von Einrichtungen in einem Fahrzeug zusammengefasst, die im Fall einer drohenden Kollision mit der Front des Fahrzeugs auf andere stehende und/oder bewegte Objekte einer Vermeidung des Unfalls oder zumindest zu einer Minderung der Unfallfolgen führen. Dies kann sowohl durch eine Warnung des Fahrers durch Warn-elemente als auch durch intervenierende Systeme mit Brems- oder Lenkeingriff erfolgen [5].

Warnelemente

Ein Warnelement warnt den Fahrer auf einem Sinneskanal. Die Warnelemente erregen auf optischen, akustischen oder mechanischen Wegen und werden vom Menschen als visuelle, auditive, haptische oder kinästhetische Warnung empfangen.

Gegenmaßnahme

Eine Warnmaßnahme oder eine andere Gegenmaßnahme ist gekennzeichnet durch die Summe von (Warn-)Elementen, die im Verlauf einer Gefahrensituation ausgelöst werden.

Antikollisionsstrategie

Die zeitliche Abstufung mehrerer Gegenmaßnahmen wird Antikollisionsstrategie genannt.

Antikollisionssysteme

Ein Antikollisionssystem umfasst neben den Frontalkollisionsgegenmaßnahmen die benötigte Umfeldsensorik und die Verarbeitungseinheiten zur Interpretation der Situation und eine Vorrichtung zur zeitlichen Steuerung der Gegenmaßnahmen.

3 FRONTALKOLLISIONSGEGENMASSNAHMEN

Zu Beginn des Jahres 2009 findet sich auf dem europäischen Markt bereits eine größere Anzahl an verschiedenen Antikollisionssystemen. Alle Hersteller verwenden das Instrument der Warnung, um die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die sich kritisch entwickelnde Fahrsituation zu lenken, wobei jedoch unterschiedliche Warnelemente zum Einsatz kommen. Eine auditive Warnung in einer noch frühen Kollisionsphase verwenden alle bekannten Ansätze. Weitere, vereinzelt eingesetzte Warnelemente sind reversible Gurtstraffer, die einen deutlich fühlbaren Kraftpuls auf den Fahrerkörper ausüben, dabei aber auch eine Vorkonditionierung vornehmen, damit keine Lose im Gurt bei einem potentiellen Aufprall entsteht. Die optischen Warnelemente haben eher eine Informationsergänzung, der die Zuordnung zu der Art der Warnung erleichtern soll ([4], [10], [11], [12], [13], [16]).

In sehr vielen bekannten Systemen zur Frontalkollisionsverhinderung und -schadenlinderung wird in die Bremse eingegriffen. Zeitpunkt und Art des Eingriffs unterscheiden sich dabei von Hersteller zu Hersteller deutlich. In einer als mittlere Phase zu bezeichnenden Weise werden Aufforderungsbremseingriffe vorgenom-

men. Dabei erfolgt einerseits eine haptische Warnung, andererseits aber auch ein erster Geschwindigkeitsabbau. Dieser verlängert die Reaktionsphase für eine Vollbremsung und nützt einer ersten Collision Mitigation, der Unfallfolgenminderung, durch Abbau der kinetischen Aufprallenergie. Manche Konzepte nehmen die Bremskraft nach wenigen 100 Millisekunden wieder weg (Maßnahme Bremsruck), andere behalten das Verzögerungsniveau von ca. 30-40% der Vollbremsung bei. In der späten Kollisionsphase erfolgen bei einigen Systemen kollisionsenergieabbauende autonome Bremsungen mit etwa 60% der maximal möglichen Verzögerung.

Zwar haben alle bekannten Antikollisionssysteme eine Strategie, die eine Eskalationsabstufung vorsieht. Hauptgemeinsamkeit bleibt der Beginn mit reinen Warn-elementen und endet mit vor allem in die Bremse eingreifenden Maßnahmen, wobei die Stärke zunimmt, je später diese zum Einsatz kommen. Neben der Umfeldbeobachtung kommt im Einzelfall [12] eine Fahrerbeobachtung hinzu, um die Strategie auszulösen.

4 PRÜFUNG UND BEWERTUNG VON ANTIKOLLISIONSSYSTEMEN

Wie oben erwähnt sind schon vielfältige, sich zum Teil erheblich unterscheidende Systeme im Markt und noch viele weitere Varianten für die Zukunft denkbar. Daher stellt sich unmittelbar die Frage, wie solch unterschiedliche Systeme bewertet werden können. Dafür ist es einerseits erforderlich den Gesamtnutzen des Systems in den relevanten Kollisionsszenarien zu bewerten, um eine Aussage über den erzielten Unfallvermeidungs- bzw. Unfallfolgenminderungsgrad treffen zu können. Ein solches Ranking ist sowohl für den Hersteller als auch für den Kunden von Interesse, und der Gesetzgeber wird mittelfristig den Einsatz solcher Systeme in einschlägigen Crash-Vorschriften berücksichtigen. Andererseits ist es in der Entwicklung und Auslegung der Systeme unerlässlich, sowohl die Wirkung als auch die eventuelle Störungswirkung auf den Fahrer (bei Fehlauflösungen) der eingesetzten Gegenmaßnahmenstrategie vergleichend messen zu können. Da die Systemwirkung jedoch wesentlich vom Eingriff des Fahrers in Folge früher Warnmaßnahmen abhängt, ist es unvermeidbar den Fahrer auch im Versuch mit einzubinden.

4.1 Übersicht über bisher eingesetzte Prüfungs- und Bewertungsverfahren

4.1.1 Dynamische Fahrsimulatoren

Fahrsimulatoren eignen sich für den Probandenversuch, auch wenn die damit gewonnenen Aussagen nur mit Einschränkungen übertragbar sind. Eine Bewertung von Funktionalität und Robustheit von realen Systemen ist nicht möglich.

4.1.2 Augmented Reality

Mittels Augmented Reality werden dem Probanden im realen Fahrzeug bei einer Fahrt über festgelegte Prüfstrecken virtuelle Verkehrsteilnehmer durch eine Brille eingeblendet. Dadurch wird ein realistischerer Fahreindruck als im Fahrsimulator erreicht [1], ein Test realer Systeme ist aber damit nicht möglich.

4.1.3 *Erscheinende leichte Dummys*

Eine wichtige Voraussetzung für den Test von Antikollisionssystemen, bei denen auch die Fahrerreaktion von Relevanz ist, ist der Überraschungseffekt, da ansonsten keine relevante, kritisch wirkende Situation gegeben ist. Eine Umsetzungsmöglichkeit stellt das plötzliche Erscheinen eines Dummys aus einer Verdeckung dar. Dabei werden die Hindernisse „kollisionsfreundlich“ ausgelegt, werden also sowohl leicht als auch gepolstert gestaltet. Diese Methode findet in verschiedenen Varianten sowohl im Systemtest als auch im Probandenversuch Anwendung. Allerdings sind diese plötzlich erscheinenden Hindernisse nur repräsentativ für langsam bewegte Kollisionsobjekte.

4.1.4 *Wegklappbare Hindernisse*

Eine weitere Methode zur kollisionsfreien Prüfung der Systeme stellt das Ausweichen der Hindernisse durch Klapp- und Zugmechanismen dar. Diese Methode ist bei vielen Herstellern und Zulieferern ([17], [18]) etabliert, bietet aber wenig Potential für den Einsatz im Probandenversuch.

4.1.5 *Leichte Fahrzeuge*

Um während der Prüfung fahrdynamische Aspekte wie beispielsweise Aufbaubewegungen durch Beschleunigungen/Bremsen und Kurvenfahrten zu berücksichtigen, werden gepolsterte leichte Fahrzeuge verwendet, die gezogen oder ferngesteuert als Kollisionsobjekte dienen und bei Zusammenstößen mit niedriger Relativgeschwindigkeit keine oder nur geringe Schäden verursachen.

4.1.6 *Fahrende Hindernisse, stehendes Prüffahrzeug*

Durch die Simulation des eigenen Fahrzustandes, beispielsweise durch einen Rollenprüfstand und die Darstellung der Relativbewegung zum Kollisionsobjekt durch Überlagerung der Trajektorien mittels eines hochdynamischen Dummy Targets, werden Kollisionen vermieden und die Reproduzierbarkeit durch den Wegfall der Fahrereinbindung gesteigert. Dieses Verfahren findet bspw. als VEHIL bei TNO Anwendung [19] und kann insbesondere bei der Funktionsverifikation (Sensor-, Algorithmus- und Aktortest) hilfreich sein. Eine Gesamtsystemvalidierung im Probandentest ist jedoch nicht möglich.

4.1.7 *Bewegte halbe Fahrzeuge*

Die Darstellung von realistischen Kollisionsobjekten durch halbe Fahrzeuge im Probandenversuch ist ein weiterer Schritt zur dynamischen Darstellung möglichst realistischer Dummy Targets.

4.2 **Zwischenfazit**

Die bisherigen Prüfverfahren für FKGM verfolgen teilweise sehr unterschiedliche Prüfziele. Während sich einige speziell zur Untersuchung von Fahrerhandlungen eignen, stehen bei anderen die Verifikation der Systemfunktionalität oder die Prüfung der Systemrobustheit im Vordergrund.

Laborversuche bieten eine geeignete Umgebung zur Gewinnung grundlegender Erkenntnisse, die das Bedienverhalten des Fahrers betreffen. Geht es allerdings darum das Fahrerverhalten in dynamischen Fahrsituationen, insbesondere in Not-

situationen zu analysieren, so ist die Fahrsimulation aufgrund fehlender oder nur simulierter Fahrzeugbewegung sowie veränderter Gefahrenwahrnehmung mit folglich geänderten Risikoverhalten der Fahrer aufgrund fehlender Konsequenzen im Falle eines Unfalls nicht die zu bevorzugende Untersuchungsumgebung. Zur Sicherung der Übertragbarkeit auf spätere reale Situationen sind hier zwingend die im Folgenden so genannten „3R“-Anforderungen zu erfüllen:

- **Real:**

Die Bewertung muss reale Systeme testen können, also für Fahrversuche mit Probanden geeignet sein.

- **Realistisch:**

Die Präsentation des Szenarios muss aus Sicht des Probanden hinsichtlich seiner Wahrnehmung der Situation als auch des Gefährdungspotenzials realistisch wirken.

- **Relevant:**

Das dargebotene Szenario muss für den beabsichtigten Nutzen des Systems repräsentativ sein, also in einer für das System relevanten und validen Situation getestet werden.

5 DARMSTÄDTER TEST- UND BEWERTUNGSVERFAHREN MIT EVITA

Im folgenden Kapitel wird ein mittlerweile bewährtes Testverfahren zur Bewertung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen gezeigt, das erstmals die genannten „3R“-Anforderungen gleichzeitig erfüllt.



Bild 1: Das Darmstädter Test- und Bewertungsverfahren mit EVITA [2]

Das Darmstädter Test- und Bewertungsverfahren mit EVITA (Experimental Vehicle for Unexpected Target Approach) wurde im Zeitraum 2005-2008 im Rahmen des Promotionsverfahrens von Hoffmann [5] mit Förderung durch einen Fahrzeughersteller am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt entwickelt und realisiert.

Im Unterschied zu anderen Fahrversuchsuntersuchungen zu Antikollisionssystemen wird hier eine für Auffahrunfälle typische Ausgangssituation, nämlich ein unerwartetes Bremsmanöver nach vorheriger stationärer Folgefahrt als Benchmark verwendet. Das realisierte Konzept besteht aus der Kombination eines Zugfahrzeugs, einem Anhänger und dem auffahrenden, zu untersuchenden Fahrzeug (siehe Bild 1). Um die Probanden in die für Auffahrunfälle typische Situation zu versetzen, werden sie in den Versuchen zur Bestimmung der Wirksamkeit durch eine Nebenaufgabe abgelenkt. In dieser Zeit bremst der an einem Seil geführte Anhänger (Dummy Target) für den im Versuchsfahrzeug sitzenden Probanden überraschend ab. Unabhängig davon, ob der Proband hierauf rechtzeitig reagiert oder nicht, wird der Anhänger durch Arretierung der im Zugfahrzeug befindlichen Seilwinde zügig aus dem Kollisionsbereich gezogen.

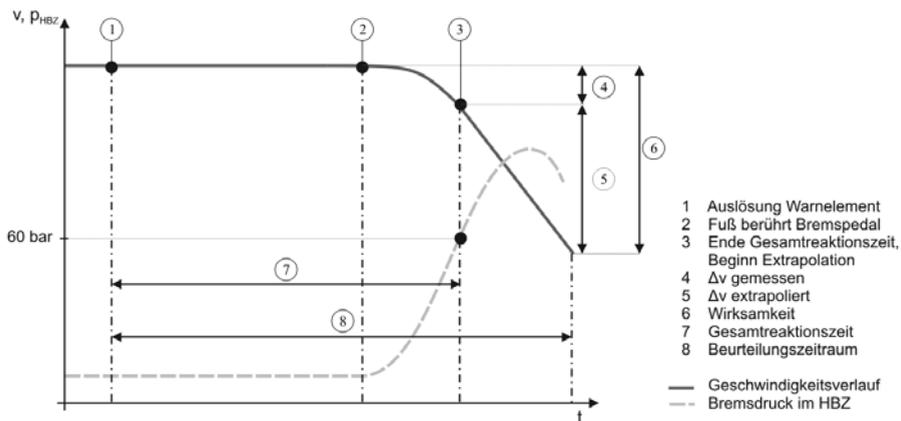


Bild 2: Kenngrößen im EVITA-Versuch [5]

Als Bewertungsgröße für die Wirksamkeit des Eingriffs wird der Geschwindigkeitsabbau Δv während der kritischen Situation herangezogen. Hierzu wird ein Beurteilungszeitraum t_B von 2,0 s Dauer definiert, der mit der Auslösung der FKGM ($t = 0$) beginnt (siehe Bild 2). Da durch EVITA eine Kollision automatisch vermieden wird, ist der Verlauf ab diesem Zeitpunkt bis zum gedachten Aufprall auf ein ununterbrochen weiter bremsendes Ziel fiktiv. Der Geschwindigkeitsverlauf des Probandenfahrzeuges wird nach dem Fahrereingriff ab Beginn der ABS-Regelung (t_{ABS} bei Überschreitung der 60 bar-Schwelle) durch eine Vollverzögerung D extrapoliert, da davon auszugehen ist, dass der Fahrer bei einem weiterhin bremsenden Dummy Target ebenfalls voll verzögert haben würde. Die sich in dieser Phase einstellende Geschwindigkeitsdifferenz ist dann nicht der FKGM zuzurechnen, sondern der aktuellen Bremsleistungsfähigkeit des Fahrzeugs, die insbeson-

dere durch Reibwertschwankungen des Reifen-Fahrbahnkontaktes nicht konstant ist. Zur Berechnung der Größen wird die Geschwindigkeitsdifferenz Δv zwischen der Messung zu Beginn und der Extrapolation am Ende des Beurteilungszeitraums gebildet.

$$\Delta v = v_0 - v(t_{ABS}) + D(t_B - t_{ABS})$$

Dieses Verfahren kommt sowohl für die Bewertung der Wirksamkeit als auch für die Beurteilung des Störungsmaßes bei einer Fehlauslösung zum Einsatz. In letzterem Fall jedoch ohne Ablenkung, da davon auszugehen ist, dass der Fahrer im realen Verkehr den überwiegenden Zeitanteil der Fahrt ebenfalls nicht abgelenkt sein würde.

Weitere zur Erklärung der gefundenen Varianzen heranziehbarere Bewertungsgrößen sind die Reaktionszeit des Probanden zwischen dem Beginn der FKGM und dem Blick zur Straße, die Zeitdauer der Umsetzung des Fußes zum Bremspedal, die Dauer bis zum Erreichen der ABS-Regelschwelle sowie die Gesamtreaktionszeit.

6 ERGEBNISSE UND ERFAHRUNGEN

6.1 Bisherige Versuchskampagnen

In bislang drei Versuchskampagnen wurde das Verfahren in über 1.000 Einzelversuchen mit rund 250 Probanden eingesetzt. Unmittelbar nach der Realisierung konnte die Erfüllung der „3R“-Anforderungen anhand einer Untersuchung verschiedener Warnelemente validiert werden [5]. In einem zweiten Schritt wurden im Rahmen der Forschungsinitiative „Aktiv“ (Adaptive und kooperative Technologien für den intelligenten Verkehr), die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert wurde, automatische Voll- und Teilverzögerungseingriffe sowohl im Pkw als auch im Lkw untersucht [2]. In einer dritten Industriekooperation wurde erstmals auch ein insgesamt dreistufiges Gesamtsystem bewertet.

In allen Studien wurde der Nutzen stets gegen sogenannte Baselineversuche ermittelt, in denen die Probanden trotz durch EVITA dargebotener Kollisionsgefahr keine Unterstützung durch die Warnelemente erhielten.

6.2 Untersuchte Frontalkollisionsgegenmaßnahmen

6.2.1 Sitzvibration & Symbol

Die Warnmaßnahme Sitzvibration & Symbol (Seat&Symbol) besteht aus einem haptischen und einem gleichzeitig optisch dargebotenen Warnelement. Die Sitzvibration ist als Fahrstreifenverlassenswarnung vom AFIL-Spurassistenten von Citroën bekannt. Für die Anwendung als FKGM wurde die Quelle der Vibration in die Mitte der Sitzfläche unterhalb des Übergangs von Oberschenkel auf das Gesäß gelegt. Die Dauer der Warnung beträgt eine Sekunde. Als visuelles Warnelement wurde für die Untersuchung ein rot blinkendes Symbol mit zwei verunfallten Fahrzeugen entwickelt, das auf einem Zusatzbildschirm über dem Kombiinstrument dreimal innerhalb von 2 s für 0,4 s blinkend angezeigt wird.

6.2.2 *Sound*

Als akustische Warnung wurde das Auditory Icon „Reifenquietschen“ eingesetzt. Die Soundausgabe erfolgt über einen nach oben gerichteten Lautsprecher in der Mitte der Armaturentafel. Mit dieser Einbausituation kommen die Schallwellen aus der Richtung der Gefahr.

6.2.3 *Bremsruck*

Das Warnelement Bremsruck (Jerk) wurde durch Zugriff auf die serienmäßige ESP-Einheit des vorliegenden Versuchsfahrzeuges realisiert. Die Hydraulikpumpe ist für die Anwendung des serienmäßig verbauten Antikollisionssystems mit Bremsengriff bis 6 m/s^2 dimensioniert und erzielt einen Beschleunigungsaufbau von etwa 10 m/s^3 . Innerhalb einer Zeitdauer von 0,5 s wird eine Verzögerung von max. 5 m/s^2 auf- und in etwa 0,15 s wieder abgebaut.

6.2.4 *Teilverzögerung*

Beim untersuchten Teilverzögerungsbremseingriff (Partial) wird nach einem Auframpvorgang von ca. 0,6 s eine Verzögerung von 6 m/s^2 erzielt, die bis 1,3 s nach Beginn gehalten und danach in etwa 0,2 s abgebaut wird.

6.2.5 *Vollverzögerung*

Analog zu den bereits beschriebenen Bremsengriffen wird beim Vollverzögerungseingriff (Full) mit einem Gradienten von 10 m/s^3 die Verzögerung aufgebaut. Das Maximum, das nach etwa 1,0 s erreicht wird, wird ebenfalls bis 1,3 s nach Auslösebeginn gehalten und anschließend innerhalb von ca. 0,2 s abgebaut.

6.3 Bewertung des Systemnutzens

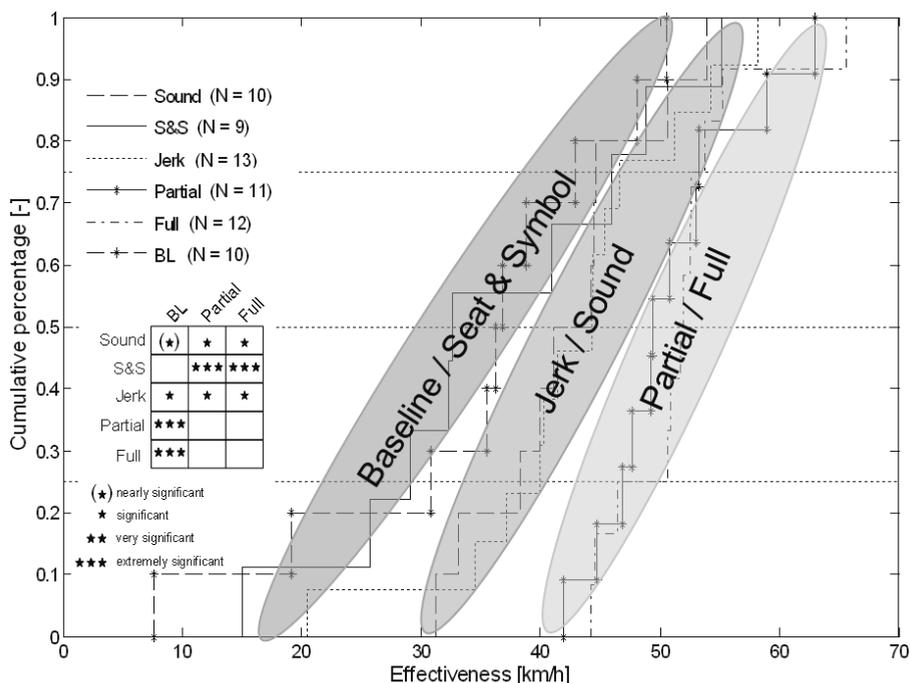


Bild 3: Wirksamkeit ausgewählter FKGM im jeweils ersten Versuch [km/h] [5]

Zur Bewertung des Systemnutzens ist in Bild 3 die kumulierte Häufigkeit der Wirksamkeit aufgetragen. Die Matrix im Graphen beschreibt die Signifikanzen zwischen den einzelnen Frontalkollisionsgegenmaßnahmen. Je weiter rechts eine Kurve liegt, desto wirksamer ist das System.

Ersichtlich sind die Unterschiede zwischen den drei Gruppen Sitzvibration & Symbol / Baseline gegenüber Bremsruck / Sound und gegenüber Teil- u. Vollverzögerung. Sitzvibration & Symbol weist aus statistischer Sicht keinen signifikanten Unterschied gegenüber einem Vergleichsversuch ohne Warnung (Baseline) auf. Die Verläufe von Bremsruck und Sound ähneln sich. Die Hypothese der Gleichheit beider Verteilungen kann mit statistischen Methoden nicht widerlegt werden. Teil- und Vollverzögerung erreichen die höchste Wirksamkeit mit der geringsten Streuung. Alle Probanden bremsen in den Versuchen mit den Bremseingriffsvarianten selbstständig mit. Die Teilverzögerung erzielt ohne Anteil des Fahrers eine Wirksamkeit von 24,7 km/h, die Vollverzögerung hingegen 29,6 km/h. Auffällig ist, dass in der Teilverzögerung das gleiche Wirksamkeitsniveau wie in der Vollverzögerung erreicht wird, was dem vergleichsweise langsamen Druckaufbau des zugrundeliegenden Versuchsträgers zugeordnet werden kann.

6.4 Wirksamkeit vs. Störungsmaß

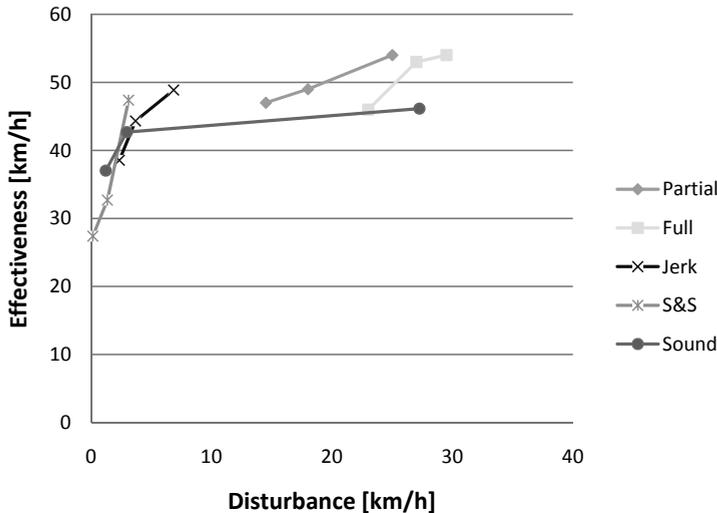


Bild 4: Wirksamkeit vs. Störungsmaß [km/h]

Die wesentlichen objektiven Größen, die zur Beurteilung der Fahrerwarnelemente herangezogen werden, sind die Wirksamkeit und das Störungsmaß, die gemäß des Darmstädter Verfahrens (EVITA) durch die reduzierte Geschwindigkeit innerhalb des Beurteilungszeitraums nach Auslösung des Warnelements definiert sind. Eine Gegenüberstellung ist in Bild 4 dargestellt. Darin sind für jedes Element die Übergänge an den Quartilen 25%, Median und 75% (von links nach rechts, bzw. unten nach oben) aufgetragen.

Das vorliegende Bewertungsverfahren erlaubt es die einzelnen Warnelemente in einer metrischen Skala unmittelbar zu vergleichen. Es zeigt sich, dass bei den hier getesteten Warnelementen mit der höchsten Wirksamkeit zugleich ein hohes Störungsmaß vorliegt. Im Rahmen der Aktiv-Studie (vgl. [2]) konnten mit Hilfe des Verfahrens erste Anhaltspunkte für eine mögliche Auflösung dieses Zielkonfliktes identifiziert werden.

6.5 Grenzen und Verbesserungspotenziale des Darmstädter Verfahrens (EVITA)

Während die mit dem Darmstädter Verfahren (EVITA) erarbeiteten Ergebnisse bereits jetzt von hohem Wert sind und die Erfüllung der „3R“-Anforderungen von Hoffmann [5] validiert ist, wird weiter an der Optimierung gearbeitet.

In der Anwendung der Test- und Bewertungsmethode zeigen sich verschiedene Optimierungspotenziale, die im Folgenden diskutiert werden sollen.

6.5.1 Ablenkungsaufgabe

Wie von Wiacek [14] in Hoffmann [5] beschrieben, stellt die Unaufmerksamkeit eines Fahrers in einer Folgefahrtsituation mit konstanter Geschwindigkeit die Hauptunfallursache für Frontalkollisionen dar. In mehr als 80 % dieser Situationen werden unfallvermeidende Aktionen von den Fahrern nicht oder nicht rechtzeitig eingeleitet. Um eine den realen Unfällen vergleichbare Situation auf dem Testge-

lände zu erzeugen, wird der Fahrer im Rahmen des EVITA-Verfahrens unmittelbar vor einer Abbremsung des vorausfahrenden Dummy Target abgelenkt.

Dabei wurde während der Entwicklung des Verfahrens aus fünf überprüften Nebenaufgaben die Aufgabe mit der am konstantesten und am längsten andauernden Blickabwendung gewählt. Als erfolgreichste Nebenaufgabe stellte sich das Vorlesen von Navigationsanweisungen vom Ausdruck eines Routenplaners heraus, der vom Versuchsleiter neben der Mittelkonsole auf der Seite des Beifahrers gehalten wird, so dass eine Kopfdrehung des Fahrers erforderlich ist. Während der Ablenkung wird das Bremsmanöver des Dummy Target durchgeführt.

Mit dieser Nebenaufgabe, die sich im Verlauf der bisherigen Versuche etabliert hat, wird eine Ablenkungsquote im ersten, entscheidenden Versuch zwischen 55 und 65 % erzielt. Diese ist maßgeblich von der Erfahrungheit des mit im Probandenfahrzeug sitzenden Bedieners abhängig, der den Fahrer beobachtet und nach seinem Ermessen das Kommando zur Auslösung an den Bediener im EVITA-Zugfahrzeug gibt. Je nach gewähltem Zeitpunkt und der Anzahl der Kontrollblicke des Probanden in Richtung der Fahrbahn, reicht die Ablenkungsdauer nicht aus, bis EVITA durch Bremsung den Abstand zum Probandenfahrzeug soweit verringert hat, dass das erste Warnelement auslöst.

Derzeit müssen alle Versuche verworfen werden, in denen der Fahrer früher als 300 ms vor Warnelementauslösung einen Kontrollblick durchführt. Bis zum diesem Zeitpunkt wird ein Warnelement nach dem Informationsverarbeitungsmodell nach Johanssen [9] als noch unterstützend angesehen.

Obleich unter diesem Ausschluss von Einzelversuchen die Qualität der Ergebnisse nicht reduziert wird, ist aus versuchsökonomischen Gründen gewünscht, die Ablenkungsquote zu erhöhen.

6.5.2 *Bewertung von Antikollisionsstrategien*

Im Rahmen einer Industriekooperation konnte im Jahr 2008 gezeigt werden, dass das Darmstädter Verfahren (EVITA) auch für die Bewertung von Strategien kaskadierter, mehrstufiger Antikollisionssysteme eingesetzt werden kann.

Dies wurde in einem ersten Schritt dadurch erreicht, dass in jedem einzelnen Versuch überprüft wurde, ob alle Fahrerreaktionen innerhalb des Beobachtungszeitraumes stattfanden und damit vom Verfahren erfasst werden.

Derzeit konzentrieren sich die Arbeiten darauf, weitere Bewertungsmaßstäbe für den Test von Gesamtsystemen und -strategien zu definieren.

6.5.3 *Trennschärfe im Baselineversuch*

Wie bereits erwähnt ergibt sich der Nutzen von FKGM durch den im Vergleich zum Baselineversuch höheren Geschwindigkeitsabbau. In den bisher durchgeführten Versuchen zeigt sich erwartungsgemäß, dass die Baselineversuche eine hohe Grundvarianz aufweisen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei fehlendem Initiator „Warnung“ die ermittelte Wirksamkeit im Wesentlichen von der Anzahl und den Zeitpunkten der Kontrollblicke der Fahrer abhängen. Deshalb muss angenommen werden, dass sich bei Warnstrategien, die nicht den Bereich höchster Wirksamkeiten erreichen, häufig kein statistisch belastbarer Gewinn an Nutzen

nachweisen lässt, obgleich dieser anhand der Verteilungen vermutet werden könnte (vgl. Bild 3). In Folge dessen lassen sich Warnstrategien dann auch nicht unmittelbar vergleichen. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, werden in allen Versuchsreihen auch weiterhin stets Baselineversuche durchgeführt, wodurch mit steigender Stichprobengröße in den angewendeten statistischen Verfahren die Irrtumswahrscheinlichkeiten gesenkt werden können.

7 FAZIT UND AUSBLICK

Im Rahmen des vorliegenden Artikels wurde der Stand der Technik von Fahrversuchen dokumentiert, deren Fokus auf der Bewertung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen liegt. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Einbeziehung des Fahrers in den Versuch unumgänglich ist, da ein wesentlicher Teil des Systemnutzens aus der alarmierenden Wirkung in der Notsituation ausgeht. Neben den bekannten Prüfverfahren liegt nun mit dem Darmstädter Verfahren (EVITA) eine bewährte und valide Bewertungsmethode vor, die erstmals alle „3R“-Anforderungen, nämlich „real“, „realistisch“ und „relevant“, im Probandenversuch gleichzeitig erfüllt.

In einer kritischen Diskussion wurden die identifizierten Optimierungspotenziale vorgestellt und aufgezeigt, welche Arbeitspakete aktuell den Schwerpunkt bei der Weiterentwicklung des Verfahrens bilden.

Das Darmstädter Test- und Bewertungsverfahren mit EVITA wurde zum Zwecke der vergleichenden Bewertung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen entwickelt. Allerdings haben sich seit der Vorstellung des Verfahrens viele weitere Einsatzmöglichkeiten gezeigt. Dies hat dazu geführt, dass sich ein breiter Anwenderkreis zusammengefunden hat, der die Anforderungen für Nachfolgenerationen zum aktuellen EVITA-Versuchssystem definiert. Diese Aktivität wird nicht nur in neuen technischen Realisierungen münden, sondern auch vielen anderen Anwendern die Möglichkeiten zum Testen und Bewerten nach dieser Methode geben. Ebenso wird dies weitere Verfahrensverbesserungen nach sich ziehen. Aber schon die jetzigen Erfahrungen werden als so ermutigend angesehen, dass eine möglichst schnelle Normierung empfohlen wird.

LITERATUR

- [1] **Bock, T.:** Verfahren zur Funktionsprüfung eines kraftfahrzeugseitig integrierter Fahrerassistenzsystems, Patent Nr. DE102004057947A1, 08.06.2006
- [2] **Fecher, N.; Fuchs, K.; Hoffmann, J.; Abendroth, B.; Bruder, R.; Winner, H.:** Aktive Gefahrenbremsungen – Wie reagiert das Fahrer-Fahrzeug-System? In: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 02/2009
- [3] **Fecher, N.; Fuchs, K.; Hoffmann, J.; Abendroth, B.; Bruder, R.; Winner, H.:** Analysis of the driver behavior in autonomous emergency hazard braking situations. FISITA World Automotive Congress. 14.-19.September 2008 in München, 2008
- [4] **Gat, I.; Benady, M.; Shashua, A.:** A Monocular Vision Advance Warning System for the Automotive Aftermarket; SAE-2005-01-1470, 2005

- [5] **Hoffmann, J.:** Das Darmstädter Verfahren (EVITA) zum Testen und Bewerten von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 693, Düsseldorf, ISBN 978-3-18-369312-2, 2008
- [6] **Hoffmann, J.; Winner, H.:** Bewertung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen durch das Darmstädter Test- und Bewertungsverfahren mit EVITA. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenz. 29.-31. Oktober in Wolfsburg, 2008
- [7] **Hoffmann, J.; Winner, H.:** EVITA. Die Prüfmethode für Antikollisionssysteme. 5. Workshop Fahrerassistenzsysteme. 2.-4. April 2008 in Walting, 2008
- [8] **Hoffmann, J.; Winner, H.:** EVITA. Das Untersuchungswerkzeug für Gefahrensituationen. Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz. 7.-8. April 2008 in Garching, 2008
- [9] **Johanssen, G.:** Mensch-Maschine-Systeme, Springer-Verlag, 1993
- [10] **Kodaka, K.; Otabe, M.; Urai, Y.; Koike, H.:** Rear-End Collision Velocity Reducing System, SAE 2003-01-0503, März 2003
- [11] **Steiner, M.; Baumann, M.; Regensburger, U.; Schmid, V.; Hämmerling, C.; Seekircher, J.; Reichmann, M.; Kiesewetter, W.:** Fahrdynamikregelsystem und Fahrerassistenzsysteme, ATZ / MTZ Sonderheft: Die neue S-Klasse von Mercedes-Benz, 2005
- [12] **Toyota Deutschland GmbH:** Pressemitteilung Lexus: Lexus Pre-Crash-Safety (PCS) im LS 460, November 2006
- [13] **Volvo-Presse:** Volvo mit aktivem Geschwindigkeits- und Abstandregelsystem inklusive Bremsassistent Pro, Volvo-Presse, 22.02.2007
- [14] **Wiacek, C. J.; Najm, W. G.:** Driver/Vehicle Characteristics in Rear-End Pre-crash Scenarios Based on the General Estimates System (GES); SAE-1999-01-0817, 1999
- [15] **Winner, H.; Regh, F.; Hoffmann, J.; Fecher, N.:** Bewertung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen – Status quo. Integrated Safety. 01.-02.07.08 in Hanau, 2008
- [16] **Wolkenstein, P.:** Der neue Audi Q7, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 11/2005
- [17] **www.conti-online.de**, 06.05.08
- [18] **www.mercedes-benz.de**, 06.05.08
- [19] **www.tno.nl**, 06.05.08

NATURALISTIC DATA COLLECTION: THE TOOL TO FULFILL A MULTI-LINEAR EVENTS SEQUENCE SAFETY APPROACH

Vicki L. Neale, Thomas A. Dingus, Sheila G. Klauer

ABSTRACT

With narrowing options for new mechanistic safety features, the mitigation of injuries and fatalities due to vehicle crashes is at a cross-road. The next significant decrease in roadway fatalities will require systems to assist drivers in preventing crashes, which requires an in-depth understanding of the driver, vehicle, and environment variables as each relates to the crash problem. The available tools to collect such data have traditionally fallen into two major categories: epidemiological and empirical. While these data collection tools are extremely valuable, they do not supply the detail of data necessary to fully understand the crash problem. Under the premise that researchers are in need of a new data collection tool to meet the data need for a major advance in death and injury prevention, this paper introduces and describes the “naturalistic” data collection method. The richness of driver, vehicle, and environment variables collected with a naturalistic approach supports a multi-linear events sequence crash analysis approach. This will provide a new tool for understanding crashes, which will, in turn, provide a new tool for mitigating crashes.

1 INTRODUCTION

The mitigation of injuries and fatalities due to vehicle crashes is at a cross-road. While the development of mechanistic safety features, such as seat belts, air bags, and collapsible steering wheels, have been extremely important in lowering the vehicle-related death rate; it is plausible that the next significant decrease in roadway fatalities will require systems to assist drivers in preventing crashes. Driving hazard sources that contribute to crashes include the driver (e.g., speeding, distraction, impairment), vehicle (e.g., poor tire tread, traction control disabled), and environment (e.g., icy pavement, hidden intersection, other drivers). To perform optimally, driver assistance systems require a precise understanding of the interaction of these variables.

Data collected to study the interaction of driver, vehicle, and environmental variables have historically relied on epidemiological, simulator, and test track studies. While these are valuable data collection tools that certainly have their place in the study of driver behavior, they are not well suited to explain the combination of factors leading to an adverse driving event. For example, a police crash report form might list the cause of a rear-end collision as “following too close.” However, contributing factors might be fatigue, distraction, traffic backed up from the intersection, an untimely eye-glance, and/or a blind corner leading up to the same intersection. For this hypothetical case, there are both driver and environment related causes of the event that are not likely to be captured by a police report. Likewise, simulator and test track studies cannot mimic the combination of complex driving environments and the simultaneous array of driver behaviors that lead to many events. This creates a “data divide” that prohibits a full understanding of why crashes occur.

This “data divide” may be depicted graphically, as shown in Figure 1. While epidemiological data provides important crash rate information and indicates some of the causal factors, it is a *reactive* approach to mitigating crashes that does not supply adequate pre-crash data, may be incomplete in an account of a crash, and is difficult to reliably maintain. Likewise, while empirical data collection (simulator and test track studies) creates a *proactive* approach to safety and provides important ordinal crash risk information, it relies on the use of safety surrogates (e.g., a lane drift means driver inattention), may modify driver behavior, and is not likely to fully mimic real-life scenarios. Adequate understanding of why crashes occur requires a breadth and depth of information that will allow for the analysis of multiple factors in a time-sequenced fashion.

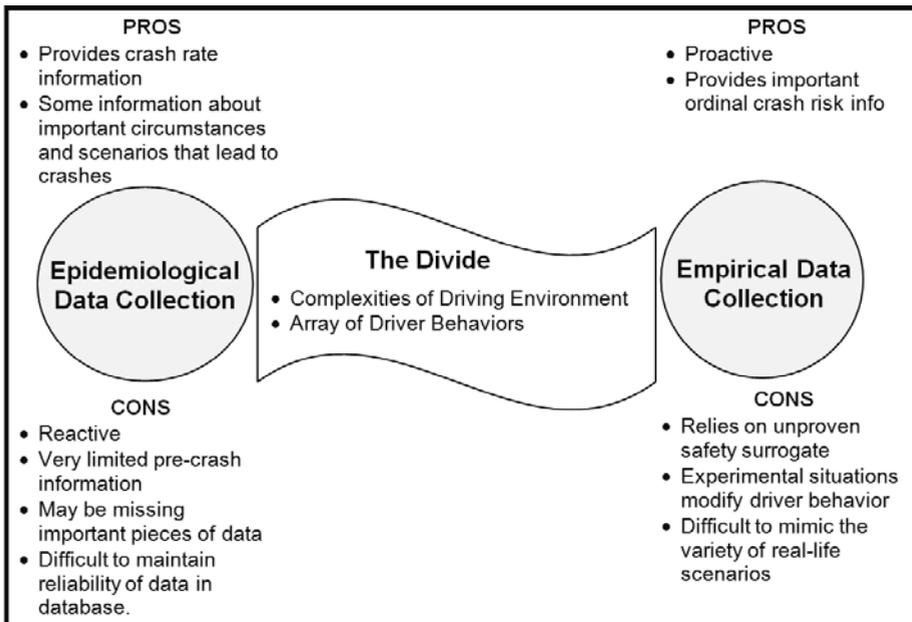


Figure 1: The pros and cons of epidemiological and empirical data collection techniques with the resulting “data divide.”

The concept of analyzing multiple factors in a time-sequenced fashion is illustrated by Benner (1980). In his ground-breaking paper explaining the need for a new approach to crash investigation, Benner explained that there are five approaches to the task: single event perception, chain of events perception, factorial perception, logic tree perception, and multi-linear events sequence perception. As shown in Table 1, each approach builds in complexity and ability to fully describe the crash phenomenon.

Table 1: The five approaches to crash investigation (adapted from Benner, 1980).

	Single Event Perception	Chain of Events Perception	Factorial Perception	Logic Tree Perception	Multi-Linear Events Sequence Perception
Basic Premise	The crash is a single event.	An unsafe act sets off a "domino" effect.	Some common "factors" are present in crashes, which can be discerned by statistical manipulation of data	Converging chains of events lead to an undesired event	Many events occur simultaneously before and during the crash. Specific factors act in a sequential order with discrete temporal and spatial logic relationships
Pros	Seeks simple resolution	Focus is on sequential data ordering	Seeks broad view and reconciliation between determinant and situation	Provides structure for organizing speculations which allows for discovery of accidental events sequence pathway	Simultaneous display of relative timing of actions. Allows for testing of hypotheses as data is revealed. Leads to generalized, orderly models of safety problems in accidents
Cons	Cause driven by conclusion with excessive simplification	Subjective reconstruction based on subjective criteria	Focuses on data gathering rather than analysis	Lack of criteria for identifying and selecting events to be charted	Potential for misrepresentation due to lack of connectivity between events
Example	Media	Traditional Crash Reconstruction	Database Analysis	Fault Tree Analytical Method	Naturalistic Data Collection

The authors propose that a *naturalistic* data collection method will allow for a multi-linear events sequence perception. Naturalistic data collection is data collection that occurs in a highly instrumented vehicle without the presence of an experimenter over an extended period of time; in other words, experimenters instrument a driver's own vehicle or supply an instrumented vehicle, after which the driver is told to go about their normal business. Drivers may commute to work, run errands, and enjoy their recreation without interference from an experimenter in everyday, real-life driving scenarios. Although it is not a requirement of naturalistic data collection, data may be continuously collected. Such a data collection tool fulfills the data need for a multi-linear events sequence perception, which provides utility beyond reconstructing a crash. When researchers are able to dissect pre-crash, near-crash, and crash events to a new level of detail, they can better understand a single event as well as similarities across events. This further creates new opportunities for crash mitigation. Data provided through naturalistic data collection may be used for several purposes, including to refine and enhance collision avoidance algorithms (e.g., reduce false alarm rates), help researchers to better understand the interaction between drivers, vehicles, and the environment

(e.g., work zone related crashes), and utilize data to support better training tools for drivers (Figure 2).

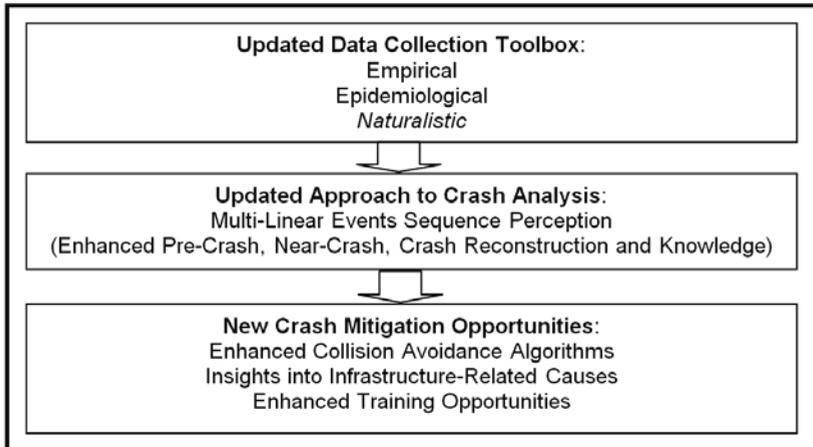


Figure 2: The progression of knowledge and information available with the addition of naturalistic data collection.

The 100-Car Naturalistic Driving Study is the first instrumented vehicle study undertaken with the primary purpose of collecting large-scale naturalistic driving data. One-hundred-nine primary drivers, and an additional 132 drivers secondary drivers, between the ages of 18 and 73 drove for a total of over 2.1 MVMT and 42,300 hours over an 18 month data collection period. Drivers were given no special instructions, no experimenter was present, and the data collection instrumentation was unobtrusive. In addition, the majority of the drivers drove their own vehicle (78 out of 100 vehicles). There was every indication that the drivers rapidly disregarded the presence of the instrumentation. Thus, the resulting data contains many extreme cases of driving behavior and performance, including but not limited to, severe fatigue, impairment, judgment error, risk taking, willingness to engage in secondary tasks, aggressive driving, and traffic violation. The 100-Car Study provides exposure and pre-crash data necessary for understanding the causes of crashes.

This paper presents an overview of the 100-Car Study and highlights of the data gleaned. As will be described, the richness of the data allows researchers to examine the pre-crash, near-crash, and crash events in a multi-linear events sequence manner (Benner, 1980), which has the potential to take driving safety to a new level of understanding. The authors demonstrate the utility of applying the multi-linear events sequence process.

2 METHOD

2.1 Subjects

One-hundred drivers who commuted in or out of the Northern Virginia/Washington, D.C. metropolitan area were initially recruited as primary drivers to have their vehicles instrumented or receive a leased vehicle for this study. Drivers were recruited by placing flyers on vehicles as well as by placing newspaper announcements in the classified section. Drivers who had their private vehicles instrumented (78) received \$125.00 per month and a bonus at the end of the study for completing paperwork. Drivers who received a leased vehicle (22) received free use of the vehicle, including standard maintenance, and the same bonus at the end of the study for completing paperwork. Drivers of leased vehicles were insured under the Commonwealth of Virginia policy. As some drivers had to be replaced for various reasons (for example, a move from the study area or repeated crashes in leased vehicles), 109 primary drivers were included in the study. Since other family members and friends would occasionally drive the instrumented vehicles, data were collected on 132 additional drivers.

A goal of this study was to maximize the potential to record crash and near-crash events through the selection of subjects with higher than average crash- or near-crash risk exposure. Exposure was manipulated through the selection of a larger sample of drivers below the age of 25, and by the selection of a sample that drove more than the average number of miles. The age by gender distribution of the primary drivers is shown in Table 2. The distribution of miles driven by the subjects during the study appears in Table 3. As presented, the data are somewhat biased compared to the national averages in each case (Energy Information Association (EIA), 2005). Nevertheless, the distribution was generally representative of national averages when viewed across the distribution of mileages in the EIA (2005) data.

Table 2: Age and gender distributions.

Age	N	Gender		Grand Total
		Female	Male	
18-20		9 8.3%	7 6.4%	16 14.7%
21-24		11 10.1%	10 9.2%	21 19.3%
25-34		7 6.4%	12 11.0%	19 17.4%
35-44		4 3.7%	16 14.7%	20 18.3%
45-54		7 6.4%	13 11.9%	20 18.3%
55+		5 4.6%	8 7.3%	13 11.9%
Total N		43	66	109
Total %		39.4%	60.6%	100.0%

Table 3: Actual miles driven during the study.

Miles Driven	# of Drivers	% of Drivers
0-9,000	29	26.6%
9,001-12,000	22	20.2%
12,001-15,000	26	23.9%
15,001-18,000	11	10.1%
18,001-21,000	8	7.3%
More than 21,000	13	11.9%

One demographic issue with the 100-Car data sample that needs to be understood is that the data were collected in only one area (i.e., Northern Virginia/Metro Washington, D.C.). This area represents primarily urban and suburban driving conditions, often in moderate to heavy traffic. Thus, rural driving, as well as differing demographics within the U.S., are not well represented. A goal of the recruitment process was to attempt to avoid extreme drivers in either direction (i.e., very safe or very unsafe). Self reported historical data indicate that a reasonably diverse distribution of drivers was obtained.

2.2 Instrumentation

The 100-Car instrumentation package was engineered to be rugged, durable, expandable, and unobtrusive. It constituted the seventh generation of hardware and software, developed over a 15-year period that has been deployed for a variety of research efforts. The system consisted of a Pentium-based computer that received and stored data from a network of sensors distributed around the vehicle. Data storage was achieved via the system's hard drive, which was large enough to store data for several weeks of driving before requiring data downloading.

Each of the sensing subsystems in the car was independent to constrain failures to a single sensor type. Sensors included a vehicle network interface, accelerometers, a headway detection system, side obstacle detection, an incident box to allow drivers to flag incidents, a video-based lane tracking system, and five video views to validate any sensor-based findings. The video subsystem was particularly important as it provided a continuous window into the happenings in and around the vehicle. This subsystem included five camera views monitoring the driver's face and driver side of the vehicle, the forward view, the rear view, the passenger side of the vehicle, and an over-the-shoulder view for the driver's hands and body position. The video system was digital with software-controllable video compression. This allowed synchronization, simultaneous display, and efficient archiving and retrieval of 100-Car data.

The modular aspect of the data collection system allowed for integration of instrumentation that was not essential for data collection, but which provided the research team with additional and important information. These subsystems included automatic collision notification; cellular communications that were used by the research team to communicate with vehicles on the road to determine system status and position; system initialization equipment that automatically controlled system status; and a GPS positioning subsystem for vehicle position information. The GPS and the cellular communications were often used in concert to locate vehicles.

Several major components were installed on each vehicle. These included the main Data Acquisition System (DAS) unit that was mounted under the package shelf of the truck for the sedans and behind the rear seat in the SUVs. Doppler radar antennas were mounted behind special plastic license plates on the front and rear of the vehicle. The location behind the plates allowed the vehicle instrumentation to remain inconspicuous to other drivers. The final major components in the 100-Car hardware installation were mounted above and in front of the center rear-view mirror. These components included an "incident" pushbutton box which housed a momentary pushbutton that the subject could press whenever an unusual event happened in the driving environment. Also contained in the housing was an unobtrusive miniature camera that provided the driver face view. The camera was invisible to the driver since it was mounted behind a "smoked" Plexiglas cover. Mounted behind the center mirror were the forward-view camera and the glare sensor. This location was selected to be as unobtrusive as possible and did not occlude any of the driver's normal field of view.

2.3 Vehicles

Since 100 vehicles had to be instrumented with a number of sensors and data collection hardware, and since the complexity of the hardware required a number of custom mounting brackets to be manufactured, the number of vehicle types had to be limited for this study. Six different vehicle models were selected based upon their prevalence in the Northern Virginia area. These included five sedan models and one SUV model. The model years were limited to those with common body types and accessible vehicle networks (generally 1995 to 2003). The distribution of these vehicle types was Toyota Camry (17%), Toyota Corolla (18%), Chevy Cavalier (17%) Chevy Malibu (21%), Ford Taurus (12%), and Ford Explorer (15%).

2.4 Reduction of Data and Classification of Events

The 100-Car Study collected continuous data for 12 to 13 months. This required that a method be developed to distinguish between normal driving and a driving "event" in the data. Variables in the data were filtered for levels that exceeded a threshold. For example, a trigger was created for a vehicle acceleration of greater than 0.5 g coupled with a forward time-to-collision of four seconds or less. Reduction of the data was a complex endeavor and is explained in detail in Dingus, et al (2006). The categories of data reduction, category definition, and examples of each are shown in Table 4.

Table 4: Category of data reduction, category definition, and examples of each.

Data Reduction	Definition	Examples
Vehicle Variables	Descriptive variables including the vehicle identification number, vehicle type, ownership, and variables collected specifically for that vehicle.	Vehicle ID, Vehicle type, Driver type (leased or private), and VMT.
Event Variables	Description of the sequence of actions involved in each event, list of contributing factors, and safety or legality of these actions.	Pre-event maneuver, precipitating factors, corrective/evasive action, contributing factors, inattention, impairment
Environmental Variables	General description of the immediate environment, roadway, and presence of other vehicles at the moment of the event, regardless of whether the variables contributed to the event.	Weather, ambient lighting, road type, traffic density, relation to junction, surface condition, traffic flow, et cetera
Driver's State	Description of the driver's physical state.	Hands on wheel, seat belt usage, fault assignment, eye glance, PERCLOS
Driver/Vehicle 2	Description of the vehicle(s) in the general vicinity of the instrumented vehicle and the vehicle's action.	Vehicle 2 body style, maneuver, corrective action attempted
Narrative	Written description of the entire event.	
Dynamic Reconstructions	An animated depiction of the event.	

Data reductionists participated in an extensive training process that resulted in high inter-rater and intra-rater reliability. Table 5 provides definitions of traffic "events" that served as a basis for the classifications that follow. The distinction between *near crash* and *incident* was based on the subjective assessment of reviewers in concert with kinematic and proximity data associated with adjacent vehicles or objects.

Table 5: Classification of events.

Event Category	Definition
Crash	Any contact between the subject vehicle and another vehicle, fixed object, pedestrian, bicyclist, animal
Near Crash	Defined as a conflict situation requiring a rapid, severe evasive maneuver to avoid a crash.
Incident	Conflict requiring an evasive maneuver, but of lesser magnitude than a near crash

3 RESULTS AND DISCUSSION

Table 4 shows the relative frequency of crashes, near-crashes, and incidents for each conflict type. Of the 82 crashes, 13 either occurred while the system was initializing after the vehicle ignition was started (approximately 90 seconds), or has incomplete data for other reasons (e.g., camera failure), leaving a total of 69 crashes for which data could be completely reduced. These data also included 761 near-crashes and 8,295 incidents. The first eight conflict types shown in Table 6 accounted for all of the crashes, 87 percent of the near-crashes and 93 percent of the incidents.

Table 6: Number of crashes, near-crashes, and incidents for each conflict type.

Conflict Type	Crash	Near-crash	Incident
Single vehicle	24	48	191
Lead-vehicle	15	380	5783
Following vehicle	12	70	766
Object/obstacle	9	6	394
Parked vehicle	4	5	83
Animal	2	10	56
Vehicle turning across subject vehicle path in opposite direction	2	27	79
Adjacent vehicle	1	115	342
Other	0	2	13
Oncoming traffic	0	27	184
Vehicle turning across subject vehicle path in same direction	0	3	10
Vehicle turning into subject vehicle path in same direction	0	28	90
Vehicle turning into subject vehicle path in opposite direction	0	0	1
Vehicle moving across subject vehicle path through intersection	0	27	158
Merging vehicle	0	6	18
Pedestrian	0	6	108
Pedalcyclist	0	0	16
Unknown	0	1	3

It is important to note that all of the crashes, including low speed collisions that were not police-reported, are shown in Table 7. A “crash” was operationally defined as “any measurable dissipation or transfer of energy due to the contact of the subject vehicle with another vehicle or object.” A benefit of the naturalistic approach is that it was possible to record all of these events; however the severity of the crashes must be delineated to better understand the data. Thus, the 69 crashes are parsed into the following four crash categories: a *Level I* event was a police-reported air bag deployment and/or injury crash; a *Level II* event was a police-reported, property damage only crash; a *Level III* event was a non-police-reported property damage only crash; and a *Level IV* event was a non-police-reported, low-g physical contact or tire strike (greater than 10 mph). Note that most of the single vehicle crashes were low-g force minor physical contact.

Table 7: Crash type by crash severity level.

Conflict Type	Total	Level I	Level II	Level III	Level IV
Single vehicle	24	1	0	5	18
Lead-vehicle	15	1	3	5	6
Following vehicle	12	2	2	5	3
Object/obstacle	9	0	1	3	5
Parked vehicle	4	0	0	2	2
Animal	2	0	0	0	2
Oncoming vehicle turning across subject vehicle path	2	1	1	0	0
Adjacent vehicle	1	0	0	1	0

Since it was possible to detect all crashes regardless of severity, it is interesting to note the large number of drivers who experienced one or more collisions during the 12 to 13 month data collection period. Of all drivers, 7.5 percent of drivers never experienced an event of any severity. In contrast, 7.4 percent of the drivers experienced many incidents and three or four crashes. Thus, a handful of subjects were either very risky drivers or very safe, with the majority of drivers demonstrating a relatively normal distribution of events across the data collection period.

3.1 Example of Multi-linear Events Sequence

As discussed previously, a value of naturalistic data is that it allows for a multi-linear events sequence perception of the crash event. An example of this crash analysis application is provided in Figure 3. As shown in the recorded video, the scenario for this crash is that a driver was traveling on a two-lane roadway from a suburban shopping area into a rural area. She was alert, and generally observant of her environment. While traveling, the lead vehicle was required to accelerate or decelerate based upon the leading traffic (3a), which varied the distance between the vehicles as time progressed (3b). As the subject vehicle was traveling, the vehicle would pass roadside objects (trees, telephone poles, and so forth; 3c). Occasionally, the driver would look away from the forward roadway (3d). Note that at approximately 2.5 seconds prior to impact, the lead vehicle braked and the driver looked away from the forward roadway. When the driver looked back to the forward roadway the lead vehicle had stopped, and the driver made an evasive steering maneuver (3e). The subject vehicle scraped the bumper of the lead vehicle; however, upon exiting the roadway, there was a roadside obstacle that she hit head-on (3c) causing her airbag to deploy.

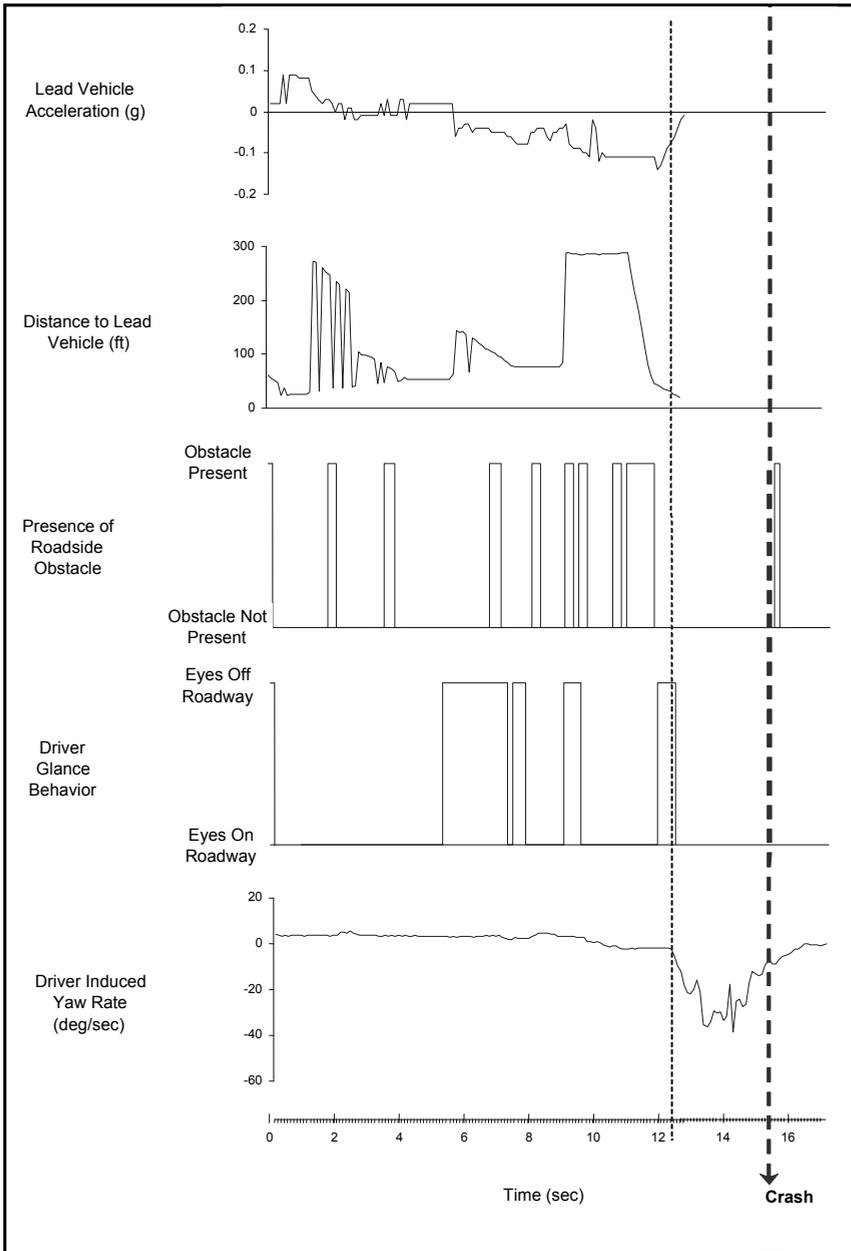


Figure 3: Example of a multi-linear events sequence perception from the 100-Car Naturalistic Driving Study.

This example of a multi-linear events sequence perception of the event differs dramatically from the police accident report. That report specified that the driver was “following too close,” which is a simple “single event perception” explanation of the crash. However, the data shows that the driver maintained an acceptable headway for the speed traveled (> 2 s) up until the last few tenths of a second. A close study of the sequence shows that after the brake lights on the lead vehicle activated, the driver made a very brief (0.7 s) glance away from the forward roadway. This was unfortunate timing since it was during this glance time that the lead vehicle came to a stop, obviously unexpected by the subject vehicle driver. The event would have ended in a negligible exchange of vehicle paint (without calling the police) had it not been for the presence of a telephone pole on the side of the road which caused the airbag to deploy.

The multi-linear events sequence perception indicates that “following too close” was not the primary culprit in this crash example. Using this type of information to determine what sequence of events cause crashes indicates where research dollars may be best invested. For example, based upon this and other 100-Car Study examples of the multi-linear events sequence approach, there are indications for augmentation of collision avoidance systems. Specifically, it is plausible that forward collision warning systems could be greatly optimized if the algorithm included information on whether or not the driver’s eyes are on the forward roadway.

This is only one crash example that was obtained from the 100-Car Study database. Note that it is possible to perform this same type of analysis with near-crash events. The value of near-crash events is that they occur much more frequently than crash events (for example, 15:1 for rear-end collisions), and therefore provide a more abundant data source. When conducting a multi-linear events sequence analysis, it is possible to analyze for the sequence of events that allowed the driver to *avoid* the crash, which provides another valuable insight into driving safety.

4 CONCLUSIONS

Naturalistic data collection has the potential to fill a void in our existing driving safety research. Specifically, it provides much more detailed and accurate information regarding near-crash, pre-crash, and crash events than is currently available, even after a detailed crash investigation. Police reports and crash investigations rely on eye-witness accounts. Such data have been shown to be limited in accuracy. For example, drivers often do not remember specific details that occur very rapidly as a crash or near-crash scenario unfolds. This is exacerbated by cases in which the drivers or passengers have been dazed in a crash event, or are trying to hide the details of what occurred due to reasons of embarrassment or fear of prosecution.

Furthermore, the data provide much greater external validity relative to the larger context of driving when compared to empirical methods such as test tracks or simulators. Unlike empirical methods, naturalistic studies allow the consideration of many factors simultaneously. For example, questions such as: How do drivers modify their risk to situations where they choose to engage in a potentially distracting task? Do drivers increase headway, reduce speed, or wait for a straight stretch of road thereby mitigating their crash risk? When they do exhibit such adaptation behavior, do drivers tend to over- or under-compensate for a given situation? These questions cannot be effectively addressed using conventional empirical methods. This has always limited our ability to fully understand the relationship be-

tween surrogate measures of safety, such as lane keeping performance or eye glance behavior, and crash risk. As demonstrated repeatedly in the 100-Car Study, the absence of an experimenter avoids potential modification of drivers' performance and behavior that may occur in contrived empirical circumstances.

For the first time, data may be collected to provide detailed information on large numbers of near-crash events. For this study, these events were operationally defined as having the presence of identical elements to a crash scenario, with the exception of the presence of a successful evasive maneuver. These types of events have two important features that crash data do not. First, they occur much more frequently (e.g., 15 to 1 for rear-end events) than crashes. Second, near-crash events are cases where a driver successfully performed an evasive maneuver. Understanding these cases may give additional insight into the factors that allow drivers to be effective defensive drivers, as well as potential countermeasures to aid these drivers.

An advantage of this approach over existing approaches is that the video allows direct viewing of all of the pre-event and during-event parameters, including the pre-event driver behaviors such as distraction, fatigue, error, and so forth. In addition, this technique allows the precise calculation of parameters such as vehicle speed, vehicle headway, time-to-collision, and driver reaction time for a multi-linear events sequence view of the data. Furthermore, a real strength of this approach is that the event database can exist potentially for years to come, to address a multitude of additional research questions beyond those originally conceptualized.

BIBLIOGRAPHY

Benner, L. (1980). 5 accident perceptions: Their implications for accident investigators. *Hazard Prevention, the Journal of the System Safety Society*, 16(11). System Safety Society: Sterling, VA.

Dingus, T. A., Klauer, S. G., Neale, V. L., Petersen, A., Lee, S. E., Sudweeks, J., Perez, M. A., Hankey, J., Ramsey, D., Gupta, S., Bucher, C., Doerzaph, Z. R., Jermeland, J., and Knipling, R.R. (2005). *The 100-Car Naturalistic Driving Study: Phase II – Results of the 100-Car Field Experiment* (DOT HS 810 593). Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration.

Energy Information Administration. (2005). *Household vehicles energy use: Latest data and trends*. Washington D.C.: Energy Information Administration.

ACKNOWLEDGEMENTS

The sponsors of the 100-Car Study were the National Highway Traffic Safety Administration, the Virginia Department of Transportation, and Virginia Tech.

SICHERHEITSPROGNOSEN FÜR NEUE ASSISTENZSYSTEME – STAND UND HERAUSFORDERUNGEN

Jörg Breuer

ZUSAMMENFASSUNG

Nur durch den Einsatz von technischen Systemen zur Unfallvermeidung bzw. Unfallschwereminderung sind die nach wie vor dringend erforderlichen Fortschritte in der Verkehrssicherheit zu erreichen. Anforderungen an Systeme, die in Summe positive Effekte auf Beanspruchung, Unfallwahrscheinlichkeit und Verletzungswahrscheinlichkeit herbeiführen können, beziehen sich auf die Hauptwirkung (z.B. hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit in relevanten Szenarien, wirksame Warnungen bzw. situationsgerechte Unterstützung) sowie auf mögliche Nebenwirkungen (z.B. geringer Nutzungsaufwand, minimale Falschalarm-Raten, beherrschbare Fehlerzustände).

Während die intendierten Hauptwirkungen von Sicherheitssystemen zunächst beispielsweise in Fahrsimulatorstudien und ggf. später anhand von realen Unfalldaten bewertet werden können, müssen Tests auf mögliche Nebenwirkungen unter möglichst praxishnahen Bedingungen im Feld stattfinden. So kann z.B. nur mit Daten aus geeigneten Feldversuchen die Minimierung der Falschalarm-Rate von eingreifenden Systemen erfolgen. Realversuche erlauben außerdem eine genaue Analyse des Nutzungsverhaltens sowie der Akzeptanz neuer Systeme. Voraussetzungen solcher Versuche sowie Ergebnisse zu ausgewählten Systemen werden vorgestellt und diskutiert.

1 ANFORDERUNGEN AN ASSISTENZSYSTEME FÜR MEHR SICHERHEIT

Assistenzsysteme können entscheidend zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen (Unsel et al. 2004; Breuer 2007). Ihre Sicherheitswirkung ergibt sich aus positiven Effekten der Technik auf die Beanspruchung des Fahrers, die Unfallwahrscheinlichkeit und/oder die Verletzungswahrscheinlichkeit im Falle eines nicht mehr vermeidbaren Unfalls. Man kann bei Assistenzsystemen wie bei Medikamenten zwischen erwünschten (Hauptwirkungen) und unerwünschten Wirkungen (Nebenwirkungen) unterscheiden. Zur Maximierung des Nutzens solcher Systeme ergeben sich diesbezüglich die folgenden generischen Anforderungen:

Maximale Hauptwirkung:

- Hohe Wirksamkeit, d.h. wirksame Warnungen bzw. situationsgerechte Unterstützung in den definierten relevanten Szenarien
- Große Akzeptanz (bei optional erhältlichen Systemen) und bestimmungsgemäße Nutzung (bei abschaltbaren Funktionen)
- Hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Systems in den definierten relevanten Szenarien (geringe Fehlauflösungs-Rate)

Minimale Nebenwirkungen:

- Geringe Falschauslösungs-Raten (falsch positiv/Fehler 1. Art)
- Beherrschbare Fehlerzustände

Während die intendierten Hauptwirkungen von Sicherheitssystemen systematisch zunächst in Fahrsimulatorstudien, später in Experimenten auf Testgeländen sowie in Expertenversuchen im Feld bewertet werden können, müssen Tests auf Falschauslösungs-raten unter möglichst praxisnahen Bedingungen im Feld stattfinden. Realversuche erlauben außerdem eine genaue Analyse des Nutzungsverhaltens sowie der Akzeptanz neuer Systeme.

Im Gegensatz dazu wird die Beherrschbarkeit von Fehlerzuständen nicht in Feldversuchen überprüft, dazu sind vielmehr Experimente unter kontrollierten Bedingungen im Simulator oder auf Testgeländen geeignet.

Tabelle 1: Eignung von Versuchsumgebungen zur Bewertung von Assistenzsystemen (-: ungeeignet; o: eingeschränkt geeignet; +: gut geeignet)

Bewertungsaspekte	Versuchsumgebung		
	Fahrsimulation	Testgelände	Feld
Nutzungsverhalten und Akzeptanz	o	-	+
Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit	-	+	+
Wirksamkeit von Warnungen und Eingriffen	+	+	o*
Falschauslösungs-raten	-	o	+
Beherrschbarkeit von Fehlerzuständen	+	o	-

*) abhängig von der Häufigkeit, mit der Zielszenarien durchfahren werden

2 ANFORDERUNGEN AN FELDVERSUCHE

2.1 Technische Voraussetzungen

Fahrzeuge und zu untersuchende Systeme müssen einen ausreichenden Reifegrad haben und für die Nutzung im normalen Verkehr freigegeben sein. Häufig werden eingreifende Systeme zunächst passiv geschaltet, so dass dokumentiert wird, unter welchen Bedingungen sie eingegriffen hätten. Erst in einer zweiten Phase werden sie dann aktiviert und können tatsächlich zur Auslösung gebracht werden.

Die Messtechnik muss folgende Datenkategorien erfassen und speichern können:

- CAN-Daten
- subjektive Daten: situationsbezogene Bewertungen und Kommentare des Fahrers zum Systemverhalten
- Sensor-Rohdaten
- Steuergeräte-Daten
- Video-Aufzeichnungen der Verkehrssituation (zumindest vor, besser auch neben und hinter dem Fahrzeug)
- GPS-Daten
- ggf. Video-Aufzeichnung des Fahrerverhaltens über eine auf den Fahrer gerichtete Kamera

Um zügig große Strecken absolvieren zu können, erhalten die Teilnehmer i.d.R. Vorgaben bzgl. der Laufleistung, bei Langstreckenversuchen z. B. ca. 2.000 km für eine Woche oder 500 km für einen Tag. Die Messtechnik muss auch aus diesem Grund so im Fahrzeug integriert sein, dass dessen Nutzung möglichst wenig eingeschränkt wird. Dies bedingt z.B. die Unterbringung in der Ersatzradmulde, so dass das Kofferraumvolumen nicht reduziert wird (Bild 1). Die Erfassung der subjektiven Daten erfolgt über ein neben dem Lenkrad angebrachtes Touchpad-Display (Bild 2). Hierüber werden zu Beginn auch personenbezogene Daten eingegeben und als Profil gespeichert. Zusätzlich zu permanent aufgezeichneten Größen (wie CAN- und GPS-Daten) werden Messungen deutlich größeren Umfangs (Steuergerätedaten, Sensorrohdaten etc., typischerweise mehrere Tausend Meßgrößen) sowie Videodaten bei Erreichen von definierten Triggerbedingungen bzw. auf Fahrerwunsch über Tastendruck aufgezeichnet. Der Fahrer kann auch jederzeit die Aufzeichnung eines frei gesprochenen Kommentars veranlassen.

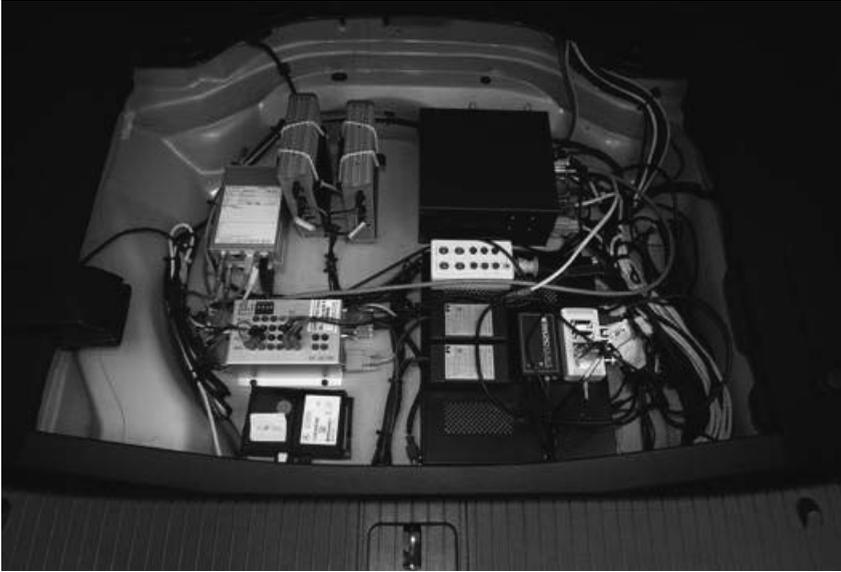


Bild 1: Kompakte Messtechnik in der Ersatzradmulde unter dem Kofferraum



Bild 2: Beispiel für eine Oberfläche zur Bewertung des Systemverhaltens über ein Touchpad-Display. Der Fahrer kann jederzeit (unabhängig von einer erfolgten Systemauslösung) eine Bewertung vornehmen und so auch fehlende Systemauslösungen dokumentieren

2.2 Probanden

Die Versuchsteilnehmer sollen das zu erwartende Fahrerkollektiv im Zielfahrzeug abbilden und dürfen deshalb keine Experten aus der Entwicklung sein. Kollektive umfassen bei Mercedes-Benz in der Regel mindestens 100 Probanden und werden soweit möglich unter Berücksichtigung von Vorgaben bzgl. Alter, Fahrerfahrung und Geschlecht zusammengestellt. Die Teilnahme ist freiwillig und setzt eine geeignete Instruktion voraus, die Informationen zu den Systemen und der Nutzung der Messtechnik enthält. Auf die Beachtung aller Vorschriften wird explizit hingewiesen, auf darüber hinaus gehende Vorgaben zur Fahrweise wird bewusst verzichtet. Versuchsreihen finden sowohl in Europa als auch in den USA und Japan statt, um marktspezifische Gegebenheiten berücksichtigen zu können.

2.3 Erforderliche Laufleistung

Die insgesamt mit Messdaten abzudeckende Fahrtstrecke orientiert sich an der Häufigkeit der Systemauslösungen. Tabelle 2 zeigt streckenbezogene Daten für zwei Warnsysteme: ein unterstützendes und ein eingreifendes System. Es wird deutlich, dass zur Beurteilung eines Spurverlassenswarnsystems vergleichsweise weniger Strecke benötigt wird: Schon bei 100.000 km liegen hier über 50.000 messtechnisch dokumentierte Systemauslösungen vor. Ein System, das dagegen im unfallfreien Fahrbetrieb gar nicht auslösen darf, muss hinreichend oft „in Versuchung“ geführt, d.h. auf Nichtauslösung getestet werden. Deshalb ist zur Absicherung eines autonom voll bremsenden Systems eine sehr große Fahrleistung erforderlich.

Fahrzeuge werden in der Regel für ein Wochenende oder eine ganze Woche vergeben, ausnahmsweise auch für einzelne Tage. Die Probanden erhalten dabei folgende Vorgaben für die mindestens zu fahrende Strecke: 2.000 km für eine Woche, 1.500 km für ein Wochenende und 500 km für einen Tag.

Tabelle 2: Mittlere (auf die Fahrstrecke bezogene) Häufigkeit der Auslösung ausgewählter Assistenzfunktionen, Bandbreiten aus Feldversuchen mit angegebener Datenbasis, getestete Funktionen z.T. noch im Vorserienstand

Funktion	Häufigkeit der Auslösungen	Strecke bis zur Auslösung	Datenbasis, Probandenzahl
Spurverlassenswarnung	50 – 80 pro 1.000 km	12 - 20 km	200.000 km n > 100
Abstandswarnung	4 – 6 pro 1.000 km	167 - 250 km	2.000.0000 km n > 1.000
Adaptiver Bremsassistent	5 - 10 pro 100.000 km	10.000 – 20.000 km	2.000.0000 km n > 1.000
Autonome Teilbremsung	1 - 2 pro 100.000 km	50.000 – 100.000 km	2.000.0000 km n > 1.000
Autonome Vollbremsung	0 (kein Unfall)	-	1.200.000 km n > 500

3 AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE VON FELDVERSUCHEN

3.1 Abstandswarnsystem

Seit 1999 wird in Verbindung mit dem ACC von Mercedes-Benz (DISTRONIC, seit 2005 DISTRONIC PLUS) ein Abstandswarnsystem angeboten, das unabhängig von der Nutzung des ACC aktiviert werden kann und bei zu schneller Annäherung an erkannte Objekte sowie beim Unterschreiten des Mindestabstands eine Warnung ausgibt. Ein Ziel der Weiterentwicklung dieser Funktion ist die Verringerung der Falschalarme. Ergebnisse der Feldversuche belegen, dass dies gelungen ist – durch Verbesserungen in der Sensorik und insbesondere durch Verbesserungen in der Situationsbewertung. Allerdings werden derzeit immer noch ca. 24 Prozent der ausgegebenen Warnungen subjektiv als unnötig eingestuft. Dies sind im Wesentlichen Warnungen auf dicht neben der Fahrbahn befindliche stehende Objekte (z.B. Baken in Kurven, Verkehrsschilder, parkende Fahrzeuge), die vom System korrekt erkannt und als möglicherweise relevant eingestuft werden. Die Auslegung folgt der Philosophie für Warnsysteme, in dem Zielkonflikt eher Falschwarnungen auszulösen als fehlende Warnungen zu akzeptieren. Den hohen Gesamtnutzen der Funktion schränkt das nicht ein, denn die Fahrer realisieren und akzeptieren schnell, dass das System einerseits nachvollziehbare Grenzen hat, andererseits aber insbesondere bei Unaufmerksamkeit den Blick schnell wieder auf die Verkehrssituation lenkt und so Auffahrunfälle verhindert.

3.2 Adaptive Bremsassistentz

Das 2005 bei Mercedes-Benz eingeführte System Bremsassistent Plus (BAS PLUS) nutzt Informationen von Nah- und Fernbereichsradar-Sensoren, um bei kritischen Annäherungen an ein erkanntes Hindernis und unzureichender Bremsung durch den Fahrer die Verzögerung automatisch so zu erhöhen, dass eine Kollision vermieden werden kann. Messdaten der Feldversuche werden auch dazu genutzt, Veränderungen der Software zu bewerten, welche die Situationsbewertung verbessern und somit besser eine gezielte Auslösung der Funktion gewährleisten sollen. So werden Szenarien, die radartechnisch fälschlich mit hoher Kollisionsgefahr verbunden werden können (z.B. Einfahrt in einen bestimmten Tunnel mit Metallstrukturen an der Decke), mit verbesserter Software erkannt und Auslösungen unterdrückt. Alle Unterstützungen durch das System waren danach wirksam, wobei von den aufgetretenen Auslösungen (je nach Fahrweise und Verkehrsbedingungen zwischen 5 bis 10 pro 100.000 km) mindestens eine Auslösung pro 100.000 km eindeutig zur Unfallvermeidung beitrug.

3.3 Autonome Bremsungen

Seit 2006 wird das ACC-System DISTRONIC PLUS um die Funktion PRE-SAFE Bremse ergänzt, die bei erkannter Kollisionsgefahr und ausbleibender Fahrerreaktion auf die Warnungen eine autonome Teilbremsung auslöst. Auch hier dienen Daten aus Feldversuchen zur Funktionsweiterentwicklung mit dem Ziel der Unterdrückung von Falschauslösungen.

Die auf Testgelände und im Crash-Versuch nachgewiesenen positiven Effekte von PRE-SAFE Bremse (ADAC 2006) werden sich erst nach gegebener Zeit auch im Unfallgeschehen nachweisen lassen. SCHITTENHELM (2008) kommt inzwischen bei der Analyse realer (GIDAS-)Unfalldaten von Fahrzeugen ohne Assistenzsysteme zu der Prognose, dass DISTRONIC PLUS und BAS PLUS Auffahrunfällen

um mindestens 20 Prozent verringern, bei weiteren 25 Prozent reduzieren sie die Unfallschwere. Betrachtet man nur Unfälle auf Autobahnen und Bundesstraßen, so erhöhen sich die Werte auf 36 bzw. 31 Prozent.

Das System PRE-SAFE Bremse wird ab 2009 um eine zweite Stufe erweitert, die bei nicht mehr vermeidbarer Auffahr-Kollision eine autonome Vollbremsung auslösen und somit die Unfallschwere mindern kann. Für diese Funktion wurden von Anfang an auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse aus Versuchen höchste Anforderungen an die Situationsbewertung umgesetzt, so dass in den Feldversuchen keine Falschauslösung verzeichnet wurde. Beide Funktionen liefen zunächst passiv in den Fahrzeugen, so dass Auslösungen aufgezeichnet aber nicht umgesetzt wurden. Eine Übersicht des Gesamtkonzepts der Assistenzsysteme zur Vermeidung bzw. Milderung der Schwere von Auffahrunfällen zeigt Bild 3.



Bild 3: Radarbasierte Assistenzfunktionen zur Vermeidung bzw. Milderung eines Auffahrunfalls

LITERATUR

Unsel, T.; Breuer, J.; Eckstein, L.; Frank, P.: Avoidance of „loss of control accidents“ through the benefit of ESP. In: FISITA 2004 World Automotive Congress. Barcelona: Sociedad de Técnicos de Automoción 2004

Breuer, J.: Fahrerassistenzsysteme: Vom Tempomat bis zum Notbremsassistenten. In: Technischer Kongress 2007 Verband der Deutschen Automobilindustrie VDA.

ADAC: Der Crashbeweis: Die denkende Bremse hilft. Motorwelt 12 2006, 42-43

Schittenhelm, H.: Design of Effective Collision Mitigation Systems and Prediction of Their Statistical Efficiency to Avoid or Mitigate Real World Accidents. FISITA World Congress 2008 (F2008-08-109) (2008).

METHODEN ZUR MESSUNG VON FAHRERVERHALTEN: VOM LABOR BIS ZUR FELDSTUDIE

Josef F. Krems, Matthias Henning, Tibor Petzoldt

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen von HUMANIST, einem im 6. Rahmenprogramm der EU geförderten „network of excellence“, wurde europaweit eine Erhebung zu den derzeit in der usability- und sicherheitsorientierten Systemevaluation (ITS) eingesetzten Methoden durchgeführt. In diesem Beitrag werden die ca. 120 Einzelverfahren klassifiziert und exemplarisch erörtert. Im Mittelpunkt sollen dabei simulatorbasierte Verfahren und FOTs (Field Operational Tests) bzw. NDS (Naturalistic Driving Studies) stehen. Anhand einer Fahrstudie zur Fahrerabsichtserkennung, die zusammen mit INRETS, Lyon, durchgeführt wurde, wird das allgemeine Prinzip „realitätsnaher“ Verhaltensbeobachtung erläutert und unter methodologischen Aspekten mit Simulator- bzw. Laborverfahren (Okklusion, PDT, LCT) verglichen.

1 EINLEITUNG

Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsysteme (FIS/FAS) werden die Fahraufgabe gründlich verändern: Einige Funktionen, die bislang ausschließlich dem Fahrer vorbehalten sind, werden zukünftig weitgehend selbständig vom Fahrzeug übernommen werden, beispielsweise die Abstandsregulierung zum vorausfahrenden Fahrzeug. Gleichzeitig werden zusätzliche Funktionen Einzug ins Fahrzeug halten: Das Senden von E-Mails, die Teilnahme an Videokonferenzen etc. Damit wird sich das Tätigkeitsprofil des Fahrers wandeln: Einerseits wird die manuelle Kontrolle zunehmend durch eine Überwachungsaufgabe ersetzt werden. Andererseits werden neue Aufgaben möglich und im Bereich der Systembedienung nötig. Systeme, die während der Fahrt bedient werden, müssen für diese besondere Anforderungssituation ausgelegt sein, um den Fahrer nicht in der sicheren Fahrzeugführung zu beeinträchtigen. Mittlerweile hat sich die Auffassung durchgesetzt, dass dies letztlich empirisch überprüft werden muss. Dafür sind Messverfahren und -protokolle erforderlich. In diesem Beitrag werden wir zunächst eine Übersicht zu den wichtigsten Verfahren geben und im zweiten Teil anhand einer ausgewählten Untersuchung allgemeine methodische Aspekte diskutieren.

2 FAHRERBEANSPRUCHUNG UND ABLENKUNG

Die Einführung neuer Informations- und Assistenzsysteme soll zur Verbesserung von Effektivität (höhere Funktionalität) und Effizienz (geringerer Aufwand) beitragen und den Fahrkomfort erhöhen. Diesen intendierten Vorteilen stehen mögliche Nachteile durch zusätzlichen Bedienungsaufwand, unerwünschten Systemgebrauch, ungünstige Verhaltensadaptation etc. gegenüber. Seit Beginn der Einführung neuer Systeme in den 90er Jahren stand der Abgleich positiver Effekte mit möglicherweise negativen Konsequenzen im Mittelpunkt verkehrspsychologischer Forschung. Als eines der ersten Beispiele kann die Studie von Aschenbrenner und Biel (1994) zur Verhaltensadaptation bei ABS genannt werden. Neben einer Vielzahl empirischer Ergebnisse wurden auch zahlreiche Methoden entwickelt.

3 METHODEN DER VERHALTENSMESSUNG – EINE ÜBERSICHT

3.1 Die Ausgangssituation

Die Systemevaluation hinsichtlich der gängigen Usability-Kriterien und der Einschätzung von Sicherheitsproblemen erfordert Messverfahren, die den üblichen messtheoretischen Gütekriterien genügen müssen. Während die *Objektivität* für die meisten Verfahren gegeben ist, sind *Reliabilität* (vgl. Gelau et al. 2009) und *Validität* aufgrund empirischer Untersuchungsergebnisse jeweils spezifisch zu schätzen.

Unter ökonomischen Gesichtspunkten ist es in der Regel sinnvoll, die Gebrauchstauglichkeit von Systemen und ihren Einfluss auf Beanspruchung bzw. Ablenkung möglichst frühzeitig im Design- und Entwicklungsprozess überprüfen zu können.

3.2 Die Matrix

Im Rahmen von HUMANIST (HUMAN centred design for Information Society Technologies), einem im 6. Rahmenprogramm der EU geförderten „network of excellence“, wurde europaweit eine Erhebung bei den wichtigsten Forschungsinstituten durchgeführt, deren Ziel es war, die vorhandenen und vorgeschlagenen Methoden für die Systemevaluierung zu sammeln und zu systematisieren.

Die ca. 120 Verfahren lassen sich in fünf größere Kategorien einteilen:

1. Objektive Verhaltensmaße (z.B. Geschwindigkeit, Lenkwinkel, Fixationsmuster, Blicklänge)
2. Physiologische Messungen (ERP, EDA, ECG, etc.)
3. Laborbasierte Evaluationsverfahren (z.B. Okklusion, PDT, Lange Change Task)
4. Subjektive Ratings (z.B. NASA TLX, SEA-Scale)
5. Dokumentenanalyse (z.B. Unfallberichte)

Viele dieser Verfahren können in unterschiedlichen Erhebungsszenarien zum Einsatz kommen. Diese reichen vom Labor über den Simulator bis hin zu Feldstudien. Beispielsweise kann die Querführung über den Lenkwinkel im Rahmen der Lange Change Task im Labor, im Simulator und auch in instrumentierten Fahrzeugen gemessen werden. Die einzelnen Szenarien, kombiniert mit Messverfahren, unterscheiden sich im Aufwand, in der Breite der Indikatoren, die gleichzeitig erfasst werden können und insbesondere in der externen Validität. Diese wird für Feldstudien in natürlichen Kontexten am höchsten eingeschätzt (weitere Details s. European Commission, HUMANIST project deliverable E.4, 2007).

4 REALITÄTSNAHE VERHALTENSBEOBSACHTUNG: FELDEXPERIMENTE, NATURALISTIC DRIVING STUDIES (NDS) UND FIELD OPERATION TESTS (FOT)

Fahrstudien im Realverkehr sind zweifellos eines der bedeutsamsten Werkzeuge zur Untersuchung von Fahrerverhalten. Die einfachste Form einer solchen Untersuchung ist das Feldexperiment. Im Beisein eines Versuchsleiters wird hier vom Probanden ein instrumentiertes Fahrzeug auf einer vorgegebenen Route pilotiert, teilweise auch mit zusätzlichen Vorgaben (z.B. Aufforderung zur Bedienung eines Informationssystems). Mit der Wahl der Strecke und der Instruktionen sind zumeist konkrete Fragestellungen verknüpft, die mit Hilfe der erfassten Daten so effizient wie möglich beantwortet werden sollen. Damit verbunden ist allerdings auch eine gewisse Verwässerung der Idee des natürlichen Fahrverhaltens, da Verhaltensweisen evoziert werden, die der Teilnehmer außerhalb der Untersuchungssituation so eventuell nicht zeigen würde. Hinzu kommt die Präsenz des Versuchsleiters, die zusätzliche Verzerrungen zur Folge haben kann.

Angeregt von der „100-car-Study“ (Dingus et al., 2006) wurden inzwischen auch in Europa Initiativen ergriffen, Fahrerverhalten in realitätsnahen Kontexten in sog. FOTs (Field Operational Tests) oder NDS (Naturalistic Driving Studies) zu untersuchen. Die Forschungsstrategie dieser Studien ist einfach: Es wird eine nennenswert umfangreiche Stichprobe von Fahrzeugen mit technischen Systemen ausgestattet, die es erlauben, relevante Parameter des Fahr- und Fahrzeugverhaltens im natürlichen Umfeld zu erfassen. Dies geschieht über einen längeren Zeitraum. Weitere Eingriffe durch Versuchsleiter finden nicht statt, um die „natürliche“, unbeeinflusste Nutzung des Fahrzeugs im Alltag nicht zu verkünsteln.

NDS haben sich bislang vor allem auf die Betrachtung von Unfällen und deren Ursachen konzentriert (Dingus et al. 2006). Ausgehend von der Tatsache, dass Unfälle relativ selten auftretende Ereignisse sind, sind entsprechend hohe Teilnehmerzahlen und lange Testzeiträume vonnöten, um aussagekräftige Datensätze zu generieren. Für die „100-car-Study“ etwa bedeutete dies die Beobachtung von insgesamt 109 Primärfahrern über einen Zeitraum von 12 Monaten. Die Folgestudie plant mit 2600 Fahrzeugen und insgesamt 4100 Fahrern über einen Zeitraum von 12-24 Monaten. Derartige Zahlen können nur erreicht werden, wenn für die Untersuchung die privaten Fahrzeuge der Teilnehmer genutzt werden. Dementsprechend ist die Installation der Hardware zur Aufzeichnung der Fahrdaten nicht unproblematisch. Während die Auswahl der Teilnehmer teilweise theoriegeleitet erfolgt (Subpopulationen mit erhöhter Unfallhäufigkeit), so ist die Auswertung oft eher theoriefrei. Um die anfallende, gigantische Datenmenge handhabbar zu machen werden in der Analyse meist nur kritische „events“ (Unfälle, Beinahe-Unfälle u. ä.) sowie die dabei vorherrschenden Bedingungen betrachtet. Eine statistische Analyse im Sinne einer klassischen Hypothesentestung erfolgt nicht.

FOTs können als eine besondere Form von NDS betrachtet werden. Die generelle methodische und technische Herangehensweise ist vergleichbar, allerdings liegt bei FOTs der Schwerpunkt auf der Einschätzung der Auswirkungen von Fahrerassistenzsystemen. Beispiele aus dem europäischen Raum sind Untersuchungen zu Intelligent Speed Adaptation (ISA, z.B. Besseling & van Boxtel 2001; Biding & Lind 2002; Ehrlich et al. 2003; Peltola et al. 2004) oder ganz aktuell das Großprojekt „EURO-FOT“, in dem eine Auswahl von acht verschiedenen Systemen in über 1500 Fahrzeugen von neun europäischen Herstellern getestet wird. In den Vereinigten Staaten finden sich neben Projekten zu Adaptive Cruise Control (ACC; Fancher et al., 1998), Automotive Collision Avoidance (ACAS, Ervin et al. 2005) oder Road Departure Crash Warning (RDCW; LeBlanc et al. 2006) auch verschie-

dene Untersuchungen zu Sicherheitssystemen in Lastkraftwagen (z.B. Winkler et al. 2002; Volvo Trucks North America 2005; Houser et al. 2006).

Die grundsätzliche Idee von FOTs ist es, Fahrverhalten ohne System mit dem Verhalten mit System zu vergleichen. Auch Nutzungsstrategien (z.B. bei ACC) sind von Interesse. Üblicherweise werden den Versuchsteilnehmern für die Untersuchung speziell ausgestattete Fahrzeuge zur Verfügung gestellt, da die Installation des jeweiligen Assistenzsystems in beliebige Fahrzeuge in der Regel nicht möglich ist (Ausnahme – ISA, siehe z.B. Biding & Lind 2002). Die Test sind, je nach System und Rahmenbedingungen, auf Zeiträume von mehreren Wochen (z.B. Ervin et al. 2005) bis zu über einem Jahr (z.B. Volvo Trucks North America 2005) angelegt. Teilnehmerzahlen variieren zwischen 19 (Alkim et al. 2007) und 10.000 (Biding & Lind 2002). Denkbar sind Versuchsdesigns mit „vorher-nachher“ Vergleich (within-design) sowie Untersuchungen mit Treatment- und Kontrollgruppe (between-design). Im ersten Fall wird die Untersuchung in verschiedene Phasen der Systemaktivierung (z.B. Fancher et al. 1998) unterteilt, im zweiten hingegen ist nur ein Teil der Fahrzeuge mit dem zu untersuchenden Assistenzsystem ausgestattet (z.B. Volvo Trucks North America 2005). Die Analyse ist ähnlich aufwendig wie bei NDS. Ausgehend vom erwarteten Nutzen des zu untersuchenden Systems werden hier jedoch sehr viel häufiger konkrete Hypothesen formuliert, zu deren Überprüfung die eingefahrenen Daten genutzt werden.

Mit dem methodischen Paradigma NDS/FOT sind erhebliche Probleme verbunden, die mittlerweile Gegenstand der akademischen Diskussion (vgl. AI-DE/HUMANIST-workshop, München, September 2006) bzw. von EU-Projekten (z. B. EURO-FOT, FOT-NET, FESTA) sind. Anhand einer Fahrstudie zur Fahrerabsichtserkennung, die zusammen mit INRETS, Lyon, durchgeführt wurde, wird das allgemeine Prinzip „realitätsnaher“ Verhaltensbeobachtung erläutert und unter methodologischen Aspekten mit Simulator- bzw. Laborverfahren (Okklusion, PDT, LCT) verglichen.

5 VERHALTENSINDIKATOREN ZUR ABSICHTSERKENNUNG: AM BEISPIEL SPURWECHSELASSISTENZ

Am Beispiel der Fahrerabsichtserkennung bei Spurwechselforgängen sollen allgemeine Probleme der Verhaltensmessung in realitätsnahen Kontexten diskutiert werden.

5.1 Die Ausgangssituation

Informationen über die zeitnahen Ziele und Absichten des Fahrers dienen mehreren Zwecken. Zur Erhöhung von Fahrkomfort und Verkehrssicherheit durch Fahrerassistenzsysteme, aber auch zur Steigerung der Akzeptanz solcher Systeme, können diese an die Absichten und Ziele des Fahrers gekoppelt werden. Beispielsweise sollte ein „Lane Departure Warning System“ den Fahrer nur dann vor einem unbeabsichtigten Verlassens der Fahrspur warnen, wenn dieser nicht die Intention zu einem Spurwechsel hat. Andererseits dienen diese Informationen Fahrerinformationssystemen dazu, die bei ressourcenintensiven Fahrmanövern anfallenden Systemmeldungen an den Fahrer zu unterdrücken. So könnte beispielsweise kurz vor einem geplanten Spurwechsel ein Telefonat oder Navigations-Hinweis unterbunden oder zeitversetzt an den Fahrer weitergegeben werden.

Die Erkennung der Absicht, einen Spurwechsel in naher Zukunft durchführen zu wollen, kann anhand verschiedener Indikatoren erfolgen. Diese können aus klas-

sischen Spurwechselmodellen abgeleitet werden. So definieren etwa McKnight und Adams (1970) den Spurwechsel als einen Prozess, der mit einem Motiv beginnt (z. B. ein langsames vorausfahrendes Fahrzeug in der eigenen Fahrspur), worauf eine Überwachung des Fremdverkehrs einsetzt und schließlich eine Entscheidung getroffen wird, einen Spurwechsel durchzuführen oder auch nicht. Smith und Zhang (2004) bildeten anhand solcher klassischen Modelle ihr „Intent Detection Framework“, bei dem sie messbare Indikatoren in verschiedenen Manöverphasen definieren. So gibt es im Bereich „Motive“ beispielsweise den Abstand oder die Differenzgeschwindigkeit zum vorausfahrenden Fahrzeug. Im Manöverbereich „Affordance“ (Aufforderungscharakter) können beispielsweise Sensordaten über das Vorhandensein einer Zielspur und die Existenz einer akzeptablen Lücke genutzt werden. Im Abschnitt „Pre-Maneuver-Behavior“ kann unter anderem auf Blicke in die Spiegel und im Bereich „Maneuver-Execution“ beispielsweise auf die Lenkwinkeländerung und den Beginn der lateralen Bewegung in Richtung der angestrebten Fahrspur zurückgegriffen werden. Alles beobachtbare Verhalten, das im Zusammenhang mit dem Spurwechsel auftritt und zeitlich vor dem Überschreiten des Spurrandes beobachtbar ist, könnte potentiell zur Vorhersage einer Spurwechselabsicht herangezogen werden.

Ziel der hier beschriebenen Studie war es, die durchschnittliche zeitliche Reihung der einzelnen Indikatoren zu ermitteln. Von besonderem Interesse war dabei die Zeitspanne zwischen dem Auftreten eines Indikators und dem Überschreiten der Fahrspur, d. h. wie früh mit Hilfe des Indikators auf den Spurwechsel geschlossen werden kann.

5.2 Methode

In einer Feldstudie mit Versuchsleiter wurde das Fahrverhalten von 22 Probanden (MEAN = 33,8 Jahre) während der Fahrt über mehrspurige Autobahnen in einem instrumentierten Versuchsfahrzeug aufgezeichnet. Das Fahrzeug war mit moderner Innenraum- und Umfeldsensorik, sowie mit Videokameras ausgestattet. Die Videoaufzeichnung enthielt Informationen über den Bereich vor, hinter und links neben dem Fahrzeug, sowie über das Blickverhalten des Fahrers (siehe Bild 1).



Bild 1: Videobild der Versuchsfahrt – Bild der Stereo-Head-Kameras mit lokalisiertem Ziel (oben links); Straßenabschnitt vor dem Fahrzeug (oben rechts); Straßenabschnitt hinter dem Versuchsfahrzeug (unten links – oberes Bild); Blick vom linken Außenspiegel nach unten auf die Fahrspur (unten links – unteres Bild); Gesicht des Probanden (unten rechts)

Es wurden weiterhin Fahrzeugdaten wie Lenkwinkel, Pedalstellungen, Blinker, Geschwindigkeit und Neigungswinkel des Fahrzeuges zeitlich synchron mit dem Video erfasst. Das Blickverhalten des Fahrers wurde mittels eines nicht-invasiven Eye-Trackers (faceLAB 4) aufgezeichnet. Mit Hilfe von Radar und Stereo-Head-Kameras wurde der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug berechnet. Die Erfassung der geografischen Position des Versuchsträgers erfolgte mit einem GPS-System.

Die Versuchspersonen wurden instruiert, ihr typisches Fahrverhalten zu zeigen. Die Versuchsfahrt fand auf einem 50 km langen, mehrspurigen Autobahnabschnitt mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten zwischen 90 und 130 km/h statt. Ein Versuchsleiter im Fond des Versuchsträgers war instruiert, ein mögliches Motiv für einen Spurwechsel durch ein langsames vorausfahrendes Fahrzeug mit Hilfe eines Knopfdrucks zeitlich festzuhalten. Im Anschluss an die Versuchsfahrt wurden die Probanden gebeten, mit Hilfe des Videos der Versuchsfahrt den Zeitpunkt zu bestimmen, an dem ihre mentale Beschäftigung mit dem Spurwechsel begann.

5.3 Ausgewählte Ergebnisse

Insgesamt flossen 197 Spurwechsel in die Analyse ein. Exemplarisch wird auf vier mögliche Indikatoren eingegangen, die in der Phase der Vorbereitung des Spurwechsels auftreten können (analog zu Henning et al. 2006): die Detektion des vorausfahrenden Fahrzeuges, der erste Blick in den linken Außenspiegel, der Schulterblick links und das Betätigen des Blinkers. Bei 61 % der Spurwechsel konnte das vorausfahrende Fahrzeug überhaupt detektiert werden, Blicke in den linken Außenspiegel wurden bei 99 % der Spurwechsel gezeigt, der Schulterblick nach links bei 53 % und der Blinker wurde bei fast allen Spurwechseln nach links

betätigt (99 %). Zur Messung der Vorhersagegüte der Indikatoren wurde die bedingte Wahrscheinlichkeit $p_{\text{ind}} = \text{Spurwechsel gegeben Indikator}$ berechnet. Diese beträgt für die Radardetektion $p_{\text{ind}} = .29$, für Blicke in den linken Außenspiegel $p_{\text{ind}} = .46$, für Schulterblicke nach links $p_{\text{ind}} = .63$ und für den Blinker $p_{\text{ind}} = .95$. Um die durchschnittliche zeitliche Abfolge der Indikatoren bestimmen zu können, wurde der Zeitpunkt des ersten Auftretens des Indikators in der Vorbereitungsphase des Spurwechsels bestimmt. Hier ergibt sich folgende Reihung: der Blick in den linken Außenspiegel tritt im Schnitt 7,9 s (Median = 4,9 s) vor dem überschreiten der Fahrspur auf, die Detektion eines vorausfahrenden Fahrzeugs 7,7 s (Median = 4,9 s), der Schulterblick nach links 2,8 s (Median = 1,6 s) und der Blinker 2,6 s (Median = 2,3 s).

Es konnte gezeigt werden, dass der Blick in den linken Außenspiegel bei der großen Mehrheit der Spurwechsel weit vor der Aktivierung des Blinkers liegt und damit ein höheres Vorhersagepotential besitzt. Allerdings treten Blicke in den linken Außenspiegel auch während der Fahrt ohne Spurwechselabsicht auf, so dass der Indikator nicht eindeutig auf einen Spurwechsel hindeutet. Eine Kopplung mit den Daten zur Radardetektion erscheint sinnvoll. Schulterblicke nach links scheinen ein valider Indikator für Spurwechsel zu sein, allerdings treten diese erst kurz vor dem Überschreiten der Fahrspur auf. Der zuverlässigste, aber ebenfalls späte Indikator für einen bevorstehenden Spurwechsel scheint in diesem Fall der Blinker zu sein, da er eine hohe Vorhersagegüte besitzt und auch bei fast allen Spurwechseln auftritt. Allerdings haben 'echte' Naturalistic Driving Studies hier Befunde geliefert, die auf eine weitaus seltenere Nutzung des Blinkers hindeuten (z.B. LeBlanc et. al, 2006).

Die Befunde deuten auch auf ein weiteres Problem von Feldversuchen hin: die Qualität der Sensorik. Besonders deutlich wird dieses anhand der Daten zur Radardetektion. Obwohl alle Spurwechsel durch ein langsames vorausfahrendes Fahrzeug motiviert wurden, konnte das System dieses nur in 61 % der Fälle detektieren. Bei den anderen Spurwechseln wurde entweder schon frühzeitig die Spur gewechselt (bei einem Abstand zum Vorderfahrzeug von mehr als rund 60 m) oder es gab Fehler in der Detektion.

6 DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Betrachtung von Fahrverhalten im Realverkehr ist ohne Frage ein wertvoller wissenschaftlicher Untersuchungsansatz. Die externe Validität ist offensichtlich, ebenso wie die Tatsache, dass bestimmte Fragestellungen schlicht auf keine andere Art und Weise untersucht werden können. Fragen zur Nutzungshäufigkeit von Informationssystemen oder auch zu entsprechenden Nutzungs- und Bedienungsstrategien sind innerhalb eines Laboraufbaus nicht zu beantworten. Gerade dieses Alleinstellungsmerkmal von Felduntersuchungen ist es, welches sie trotz aller Begleiterscheinungen zu einem unverzichtbaren Werkzeug macht. Denn die mit derartigen Untersuchungen verbundenen Probleme und Mängel sind gravierend. So sind die entstehenden Kosten in keiner Weise mit einer Laborstudie vergleichbar. Das Budget des aktuellen amerikanischen Forschungsprogramms (SHRP2 Safety) zu NDS etwa beträgt 43 Mio US\$. Gleichwohl ist trotz des generell hohen finanziellen Aufwandes eine technische Fehlerfreiheit nicht in jedem Fall sichergestellt. Probleme bei der Datenaufzeichnung bis hin zum Datenverlust sind keine Einzelfälle. Ein weiterer Faktor ist das hohe Datenaufkommen. Während es zunächst ein großes Plus des Paradigmas ist, dass große, umfassende Datensätze

eingefahren werden, erweist sich dieses gleichzeitig als großes Problem bei der Auswertung eben dieser Datensätze. Die Kodierung von Videosequenzen erfordert (neben dem finanziellen) einen hohen personellen und zeitlichen Aufwand. Zudem ist das Auffinden relevanter Datenabschnitte und –punkte alles andere als trivial. Der wichtigste methodische Schwachpunkt ist jedoch die mangelnde experimentelle Kontrolle. Streng genommen erlaubt erst eine solche experimentelle Kontrolle das Schließen auf kausale Ursachen verschiedener Verhaltensweisen. Im Feld jedoch ist diese Kontrolle nicht gegeben. Umgebungsbedingungen können nicht konstant gehalten werden, geschweige denn manipuliert. Dem gegenüber stehen Labormethoden und Simulatorstudien, die eine Variation beliebiger Einflussgrößen ermöglichen. Nur diese Manipulierbarkeit von Versuchsbedingungen erlaubt konkrete Schlüsse und Aussagen zu Kausalitäten. Gleichzeitig allerdings ist im jeweiligen Fall immer zu hinterfragen, inwieweit dann in Anbetracht der künstlichen Experimentalbedingungen eine Generalisierbarkeit auf verschiedene Verkehrssituationen und Umgebungen möglich ist. Wenn also belastbare (wenn gleich nicht kausale) Aussagen über tatsächliches Verhalten im Realverkehr gemacht werden sollen, so erscheint die Untersuchung im Feld doch letztlich unumgänglich, da sie, trotz aller Probleme, als einzige Methode die Gegebenheiten des alltäglichen Fahrens widerspiegelt.

LITERATUR

Alkim T, Bootsma G, Looman P. The Assisted Driver: Systems that Support Driving. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat; 2007.

Aschenbrenner KM, Biehl B. Improved Safety Through Improved Technical Measures? In: Trimpop, R. & Wilde, G.: Challenges To Accident Prevention: The issue of risk compensation behaviour. STYX-Publications, Groningen 1994.

Besseling H, Van Boxtel A. Intelligent Speed Adaptation. Results of the Dutch ISA Tilburg Trial. Ministry of Transport, Public Works and Watermanagement; 2001.

Biding T, Lind G. Intelligent Speed Adaptation (ISA), Results of Large-Scale Trials in Borlänge, Lidköping, Lund and Umea during the Period 1999-2002. Vägverket; 2002.

Dingus TA, Klauer SG, Neale VL, Petersen A, Lee SE, Sudweeks J, et al. The 100-Car Naturalistic Driving Study, Phase II - Results of the 100-Car Field Experiment. DOT HS 810 593, National Highway Traffic Safety Administration; 2006.

Ehrlich J, Marchi M, Jarri P, Salesse L, Guichon D, Dominois D, et al. LAVIA, the French ISA Project: Main Issues and First Results of Technical Tests. In: Proceedings of the 10th World Congress on ITS, Madrid; 2003.

Ervin R, Sayer J, LeBlanc D, Bogard S, Mefford M, Hagan M, et al. Automotive Collision Avoidance System Field Operational Test Report: Methodology and Results. DOT HS 809 900, National Highway Traffic Safety Administration; 2005.

European Commission. HUMANIST project Deliverable E.3. Report on the tools and methods for integrating methods into an assessment methodology ; 2007.

Fancher P, Ervin R, Sayer J, Hagan M, Bogard S, Bareket Z, et al. Intelligent Cruise Control Field Operational Test. DOT HS 808 849, National Highway Traffic Safety Administration; 1998.

Gelau C, Henning M, Krems JF. On the Reliability of the Occlusion Technique as a Tool for the Assessment of the HMI of In-Vehicle Information and Communication Systems. Applied Ergonomics, 40(2), 181-184; 2009.

Henning MJ, Schweigert M, Baumann M, Krems JF. Eye-glance patterns during lane change manoeuvres. Paper presented at the 11th conference on Vision in Vehicles, Dublin, Ireland.; 2006.

Houser A, Groeller CJ, Bishop R. Mack Intelligent Vehicle Initiative Field Operational Test. FMCSA-MCRR-06-007, Federal Motor Carrier Safety Administration; 2006.

LeBlanc D, Sayer J, Winkler C, Ervin R, Bogard S, Devonshire J, et al. Road Departure Crash Warning System Field Operational Test: Methodology and Results. National Highway Traffic Safety Administration; 2006.

McKnight AJ, Adams BB. Driver Education Task Analysis: Volume I: Task Descriptions. (Report No. DOT-HS-800-367). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration; 1970.

Peltola H, Tapio JR, Rajamäki R. Intelligent Speed Adaptation - Recording SA in Finland. Paper presented at the Via Nordica 2004 Conference on 7-10 June 2004 in Copenhagen, Denmark; 2004.

Smith M, Zhang H. SAVE-IT - SAfety VEhicles using adaptive Interface Technology (Task 9): Intent Inference. Washington D.C.: National Highway Traffic Safety Administration; 2004.

Volvo Trucks of North America Incorporated. Volvo Trucks Field Operational Test: Evaluation of Advanced Safety Systems for Heavy Truck Tractors. Federal Highway Administration; 2005.

Winkler C, Sullivan J, Bogard S, Goodsell R, Hagan M. Field Operational Test of the Freightliner/Meritor Wabco Roll Stability Advisor and Control at Praxair. DOT HS 043 496, Federal Highway Administration; 2002.