

# Maßstäbe des sicheren Fahrens

Darmstädter Kolloquium „mensch + fahrzeug“

Technische Universität Darmstadt

6./7. März 2013

herausgegeben von Hermann Winner und

Ralph Bruder



**ergonomia** 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 UR G genannten Sonderfälle  
– reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet,  
vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN 978-3-935089-27-9

Copyright 2013

ergonomia GmbH & Co. KG, Julius-Hölder-Str. 29a,

D - 70597 Stuttgart, <http://www.ergonomia.de>

Printed in Germany

## VORWORT

Die heutzutage selbstverständlich gewordene hohe Sicherheit des modernen Straßenverkehrs ist eine der großen Errungenschaften der vergangenen Jahrzehnte. Sie wird getrieben durch die ständige Forschung und Weiterentwicklung in den unterschiedlichen an Fahrzeugentwicklungen beteiligten Disziplinen und hängt maßgeblich vom Zusammenwirken von Fahrer und Fahrzeug ab. Bei der Weiter- oder auch Neuentwicklung von sicherheitsfördernden Systemen und deren Freigabe stellt sich fast immer die Frage, wie der Sicherheitsbeitrag gerade auch in frühen Entwicklungsphasen nachgewiesen werden kann. Des Weiteren gilt es zu klären, wodurch sicheres Fahren definiert ist, wie es messbar gemacht werden kann und was manche Fahrten sicherer als andere macht.

Expertenteams mit unterschiedlichem Hintergrund beschäftigen sich mit der Suche nach Antworten auf diese Fragen. Ausgehend von den verschiedenen Sichtweisen wird je nach Anwendungsgebiet und Ausrichtung der Untersuchungen dabei mit unterschiedlichen Ansätzen und Methoden gearbeitet. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob diese Ansätze und Methoden auch auf die zukünftigen Erfordernisse übertragbar sind.

In der sechsten Veranstaltung des Darmstädter Kolloquiums „mensch + fahrzeug“ beschäftigen sich Spezialisten aus unterschiedlichen Bereichen von Industrie und Wissenschaft mit den Maßstäben von sicherem Fahren und stellen Fragen und Lösungsansätze vor.

Der Beitrag von Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder (Co-Autoren: Ingmar Langer, Ilka Zöller und Bettina Abendroth) befasst sich mit menschbezogenen Kennwerten und Maßstäben in den verschiedenen Phasen der Produktentwicklung. Die Grundlage zu den genannten Kennwerten und Maßstäben ist dabei in speziellen sicherheitsrelevanten Fragestellungen zu finden. Der Beitrag geht darauf ein, mit welchen Methoden und in welcher Phase die menschbezogenen Fragestellungen beantwortet werden können.

Im Beitrag von Dipl.-Ing. Lars Woyna (Co-Autoren: Stefan Gloger und Jochen Ruhl) wird eine objektive Bewertungsmethode für den Sicherheitsmaßstab der Fahrersicht entwickelt. Er befasst sich mit der Problematik, dass steigende Anforderungen bzgl. passiver Sicherheit, Komfort und Styling dazu führen können, dass die Fahrersicht immer weiter eingeschränkt wird. Dies steht im Konflikt mit der Tatsache, dass ein entscheidender Anteil der Informationen vom Fahrer über den visuellen Sinneskanal aufgenommen wird. Am Beispiel der B-Säule wird gezeigt, wie sich über eine Probandenversuchsreihe eine weitgehend fahrzeug- und körpergrößenunabhängige Akzeptanzgrenze für die Positionierung finden lässt, die auch auf zukünftige Fahrzeugprojekte übertragbar ist.

Über die aktuellen Aktivitäten zur Optimierung der praktischen Fahrerlaubnisprüfung schreibt Dipl.-Soz.wiss. Michael Bahr in seinem Beitrag (Co-Autor: Dietmar Sturzbecher). Er stellt hierzu das in der Entwicklung befindliche elektronische Prüfprotokoll vor, welches die Selektions- und Steuerungsfunktion während der Fahrerlaubnisprüfung unterstützt und mit dem erstmals Prüfungsleistungen in Zusammenhang mit Unfall- und Deliktbewährungsdaten von Fahranfängern betrach-

tet werden können. Er geht in seinem Beitrag auf Fahraufgaben, Beobachtungskategorien und Bewertungsstandards des Protokolls ein.

Das sogenannte Kölner Verarbeitungssystem zur Erfassung der Belastung im Straßenverkehr (K-VBIS) erläutert Prof. Dr. Egon Stephan in seinem Beitrag. Das System bietet wertvolle Informationen, wie sich die Interaktion zwischen Fahrerassistenzsystemen, Fahrzeug und Fahrer sowie zwischen der Verkehrsumgebung und dem Fahrer auswirken. Durch das System kann eine möglicherweise entlastende Wirkung oder auch eine negative Wirkung eines Fahrerassistenzsystems nachgewiesen werden.

Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner befasst sich in seinem Vortrag (Co-Autoren: Sebastian Geyer und Mohsen Sefati) über Maße für den Sicherheitsgewinn von Assistenzsystemen. Er schlägt den Bogen von Bewertungsmaßen der passiven Sicherheit über die Bewertung von Systemen, die kurz vor einer tatsächlichen oder potenziellen Kollision eingreifen bis hin zu Maßen für Sicherheit der „normalen“ Fahrt. Er diskutiert verschiedene Ansätze, wie der Bedarf an Reaktionsreserve in Kriterien der Fahrsicherheit berücksichtigt werden kann. Denn ohne die Beachtung des Bedarfs an Reaktionsreserve versagen aktuelle Kriterien in ‚Naturalistic Driving‘-Untersuchungen.

Aus dem Blickwinkel eines Automobilherstellers schreibt Dr.-Ing. Uwe Petersen (Co-Autoren: Philipp Glauner, Axel Blumenstock, Martin Haueis und Simon Tattersall) über Ansätze für eine effizientere Optimierung von Fahrerassistenzsystemen. Dabei wird auf technischer Ebene ein datenbankbasiertes Messdatenmanagementsystem und auf konzeptueller Ebene ein Vorgehen für eine ereignisorientierte Erprobungsplanung vorgestellt. Die initial eher grobe Erprobungsplanung wird dabei mit Hilfe von aktuellen Fahrdaten iterativ verfeinert. Die Erkenntnisse im Laufe der Optimierung erlauben es, sich beispielsweise auf eine breite Abdeckung eines Gebiets zu konzentrieren und/oder eine statistisch sinnvolle Fokussierung auf besondere Infrastrukturobjekte vorzusehen.

Dipl.-Ing Eberhard Hipp stellt in seinem Beitrag (Co-Autoren: Karlheinz Dörner, Maria Seitz und Daniel Heyes) zwei Systeme vor, die dem Fahrer Unterstützung für ein sicheres und effizientes Fahren bieten. Zum einen wird der "Workloadmanager" behandelt, der die zeitliche Abfolge von Fahrzeugmeldungen und damit die Beanspruchung des Fahrers optimiert. Zum anderen wird der "Virtuelle Fahrtrainer" vorgestellt, der den Fahrer im Fall einer Unterforderung (beispielsweise auf einer bekannten oder monotonen Strecke) mit situationsangepassten Tipps und Hinweisen zu einem optimalen Fahrstil vorsorgt, sodass die Fahrleistung gesteigert wird. Dies wirkt nicht nur kurzfristig, sondern schult langfristig das Sicherheitsbewusstsein und die Effizienz des Fahrers.

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. i.R. Heiner Bubb geht in seinem Beitrag auf den möglichen Widerspruch der menschlichen Zuverlässigkeit und der Thematik des sicheren Fahrens ein. Fahrerassistenzsysteme spielen bei der Betrachtung hinsichtlich ihres Wirkpotentials und in Verbindung mit der erwarteten Nutzungshäufigkeit ihrer Wirkerwartung eine Rolle. Wie eine Bewertung der vorhandenen Systeme aus Sicht der Gesamtzuverlässigkeit getätigt werden kann, wird diskutiert und mögliche Lücken werden genannt.

Ergänzt wird das Kolloquium durch den Vortrag von Dr.-Ing. Lars Hannawald ("Das Unfallgeschehen in Deutschland und Situationen unsicheren Fahrens") und durch den Vortrag von Dipl.-Psych. Alexandra Neukum ("Übernahmeszenarien beim assistierten und automatisierten Fahren: Inhaltliche und methodische Aspekte der Gestaltung empirischer Prüfsituationen").

Den einzelnen Referenten und Autoren sei an dieser Stelle für ihr Engagement für das Kolloquium "mensch + fahrzeug" gedankt. Ohne die wissenschaftlich fundierten Beiträge und die zugehörigen interessanten und lebhaften Vorträge wäre eine solche Veranstaltung nicht möglich.

Zudem könnte das Kolloquium ohne die Unterstützung der Mitarbeiter der beiden Fachgebiete Fahrzeugtechnik und Arbeitswissenschaft nicht stattfinden. Daher gilt ein besonderer Dank dem Organisationsteam bestehend aus Herrn Dipl.-Ing. Peter Korzenietz und Herrn Dipl.-Ing. Alexander Weitzel auf Seiten der Fahrzeugtechnik sowie Herrn M.Sc. Ingmar Langer und Frau Dr.-Ing. Bettina Abendroth auf Seiten der Arbeitswissenschaft.

Darmstadt, im März 2013

Prof. Dr. rer. nat. H. Winner

Prof. Dr.-Ing. R. Bruder



**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>MENSCHBEZOGENE MAßSTÄBE IM LAUFE DER ENTWICKLUNGSPHASEN.....</b>	<b>1</b>
<i>Ralph Bruder, Ingmar Langer, Ilka Zöllner, Bettina Abendroth</i>	
<b>SICHERHEITSMÄßSTAB SICHT – ENTWICKLUNG EINER BEWERTUNGSMETHODE.....</b>	<b>23</b>
<i>Lars Woyna, Stefan Gloger, Jochen Ruhl</i>	
<b>BEWERTUNGSGRUNDLAGEN ZUR BEURTEILUNG DER FAHRBEFÄHIGUNG BEI DER PRAKTISCHEN FAHRERLAUBNISPRÜFUNG.....</b>	<b>37</b>
<i>Michael Bahr, Dietmar Sturzbecher</i>	
<b>ZUR OBJEKTIVEN APPARATIVEN MESSUNG DER INTERAKTION ZWISCHEN INDIVIDUELLER PERSÖNLICHKEIT, FAHRZEUG UND FAHRERASSISTENTEN.....</b>	<b>51</b>
<i>Egon Stephan</i>	
<b>MAßE FÜR DEN SICHERHEITSGEWINN VON FAHRERASSISTENZSYSTEMEN.....</b>	<b>63</b>
<i>Hermann Winner, Sebastian Geyer, Mohsen Sefati</i>	
<b>ANSÄTZE ZUR EFFIZIENTEREN OPTIMIERUNG VON ASSISTENZSYSTEMEN.....</b>	<b>83</b>
<i>Philipp Glauner, Axel Blumenstock, Martin Haueis, Uwe Petersen, Simon Tattersall</i>	
<b>BEANSPRUCHUNGSADAPTIVE FAHRERUNTERSTÜTZUNG, DER WEG ZUM SICHEREN UND EFFIZIENTEN FAHREN.....</b>	<b>97</b>
<i>Eberhard Hipp, Karlheinz Dörner, Maria Seitz, Daniel Heyes</i>	
<b>MENSCHLICHE ZUVERLÄSSIGKEIT UND SICHERES FAHREN – EIN WIDERSPRUCH?.....</b>	<b>107</b>
<i>Heiner Bubb</i>	



# MENSCHBEZOGENE MAßSTÄBE IM LAUFE DER ENTWICKLUNGSPHASEN

*Ralph Bruder, Ingmar Langer, Ilka Zöller, Bettina Abendroth*

## ZUSAMMENFASSUNG

Obwohl in technischen Entwicklungen Evaluationsschritte und Nutzertests vorgesehen sind, bleibt eine gewisse Unsicherheit, wie der Mensch das Produkt bzw. das System längerfristig im Alltag verwendet. Bei sicherheitsrelevanten Aspekten ist diese Unsicherheit als besonders kritisch anzusehen. Das Alltags- oder Langzeitverhalten des Menschen sollte weiter in den Fokus der Entwicklung rücken, damit die Variabilität menschlichen Verhaltens besser berücksichtigt werden kann und die möglichen Auswirkungen menschlicher Fehlhandlungen gemindert werden können.

Der vorliegende Beitrag befasst sich in diesem Zusammenhang mit bisherigen Ansätzen der menschenzentrierten Produktentwicklung. Nach einer Systematisierung von relevanten menschbezogenen Kenngrößen werden beispielhafte sicherheitsrelevante Fragestellungen aus verschiedenen Produktentwicklungs- bzw. Produktlebensphasen aufgestellt und mit Hilfe von verschiedenen Methoden Ansätze gezeigt, wie und mit welchen Kennwerten oder Maßstäben die jeweiligen Fragen beantwortet werden können.

## 1 EINLEITUNG

Die Unfallstatistik des statistischen Bundesamtes spricht davon, dass 84% der Unfälle mit Personenschaden im Jahr 2010 ein Fehlverhalten des Fahrzeugführers zur Ursache hatten (Destatis 2011). Bei lediglich 0,9% der Unfälle waren technische Mängel oder Wartungsmängel ursächlich. Im Verkehrssicherheitsreport der Dekra heißt es zudem: "der Mensch ist und bleibt einer der ganz großen Risikofaktoren" (Dekra 2012). Eine genauere Betrachtung des Risikofaktors Mensch findet sich in Vollrath et al. (2006). Hier werden insgesamt sechs Arten von menschlichen Fehlhandlungen und ihre jeweiligen Ursachen identifiziert. Dabei sticht heraus, dass neben Fehlinterpretationen und Ausführungsfehlern auch ein bewusstes Eingehen von Risiken durch den Fahrer genannt wird.

Trotz aller Bemühungen um eine sichere Systemgestaltung und eine reibungsfreie Systemfunktionalität verbleibt demnach ein gewisser Restanteil an Unsicherheit bestehen, da der Mensch als eigentlicher Nutzer auf das System großen Einfluss nimmt. Vielen Unfallursachen wurde auf dem Weg der "Vision Zero" (vgl. Tingvall & Haworth 1999) bereits begegnet. Dem Menschen und seinem Verhalten als mitentscheidender Faktor im Zusammenwirken mit der Maschine wird in den bisherigen Ansätzen jedoch nicht immer ausreichend Beachtung geschenkt.

Für die Verwirklichung einer "Vision Zero" muss die Frage, welches (unvorhergesehene) Fahrerverhalten auftreten kann in den Vordergrund rücken, auch wenn extremer Missbrauchsfall bei der Nutzung eines Systems nur sehr schwer berücksichtigt werden kann. Das technische Gestalten muss demnach stärker auf das menschliche Verhalten angepasst werden. Um dies adäquat tun zu können, ist ein

fundiertes Wissen der Gestalter über den späteren Nutzer und dessen Verhalten nötig.

Bisherige Studien untersuchen das Fahrerverhalten meist in einer idealisierten Untersuchungsumgebung. Diese Evaluationen (zumeist Funktions- und Akzeptanzanalysen nach der eigentlichen Systementwicklung) beschränken sich zudem häufig auf Kurzzeitversuche. Der Nutzer wird dabei zum ersten Mal mit dem System konfrontiert und soll dieses beispielsweise auf Funktionalität und Bedienintuitivität prüfen. Im Rahmen derartiger Untersuchungen zeigt ein Nutzer jedoch kaum sein alltägliches Verhalten. Bruder et al. (2007) gingen darauf ein, dass die Beobachtung und Messung von Alltagsfahrten den höchsten Echtheitsgrad in den Testbedingungen hat. Hier ist demnach die Chance am größten, das reale Fahrerverhalten ermitteln und untersuchen zu können. Diesen Ansatz verfolgte auch die "100-Car Naturalistic Driving Study" (Dingus et al. 2006), bei der 100 private Fahrzeuge von freiwilligen Teilnehmern mit Messequipment ausgestattet wurden und über einen Zeitraum von rund einem Jahr das Verhalten der Fahrer aufgezeichnet wurde. Die Studie zeigte, dass über den langen Zeitraum außergewöhnlich sicherheitskritische, wenig vorhersehbare Situationen auftraten. So wurden neben den eher zu vermutenden Unfallursachen wie Handynutzung oder Ablenkung durch den Beifahrer beispielsweise 10 Beinahe-Unfälle durch Lesen einer Zeitschrift, eines Buches, eines Magazins oder einer Karte ausgelöst (Dingus et al. 2006). Auch dem Essen am Steuer konnten 17 Beinahe-Unfälle zugeordnet werden. Weitere eher untypische Tätigkeiten die während der Studie auftraten waren das Schminken, das Rasieren und sogar das Zähneputzen während der Fahrt. Dingus et al. (2006) sprechen davon, dass dieses Verhalten in einer Studie mit Versuchsleiter oder in einer Versuchsumgebung sehr wahrscheinlich nicht gezeigt worden wäre.

Bei den Versuchen konnte zudem ermittelt werden, dass die Durchschnittswerte von Vorfällen (Unfälle, Beinahe-Unfälle und kritische Ereignisse) pro gefahrener Meile über den Zeitraum von 50 Wochen leicht ansteigt. Dies bekräftigt das Vorhaben, Langzeitversuche in der Entwicklung vorzusehen. Außerdem wurde nachgewiesen, dass Probanden in der ersten Stunde mit dem neu mit Sensorik ausgestattetem Fahrzeug zunächst etwas vorsichtiger fahren.

Die Ausführungen zeigen, dass eine gezielte Betrachtung des Menschen und seines Verhaltens wertvolle Hinweise für die Entwicklung geben können. Die Untersuchung menschlichen Verhaltens bei der Nutzung des fertigen Produktes ist allerdings nur ein korrektiver Ansatz. Mit Hilfe welcher Methoden der Mensch schon in die Entwicklung eines technischen Produktes einbezogen werden sollte und an welchen Stellen dazu welche Fragestellungen beachtet werden müssen, wird in den folgenden Kapiteln behandelt. Ziel ist es letztlich, bei der Entwicklung und Auslegung von Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen wichtige Kennwerte bzw. Maßstäbe herauszuarbeiten und diese in den Bezug der Produktentwicklungs- und Produktlebensphasen zu setzen.

## 2 MENSCHBEZOGENE PRODUKTENTWICKLUNG

Vorherige Ausführungen verdeutlichen die Notwendigkeit, den Menschen in seiner Rolle als späterer Nutzer bei der Entwicklung von neuen Produkten einzubeziehen. Zwei unterschiedliche Ansätze, die den Menschen bzw. Nutzer explizit in der Produktentwicklung berücksichtigen, werden im Folgenden kurz beschrieben.

### 2.1 DIN EN ISO 9241-210

Der Ansatz, den Menschen in die Entwicklung technischer Objekte einzubeziehen, ist nicht grundlegend neu. Bereits in der DIN EN ISO 13407 ("Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme") aus dem Jahr 2000, die mittlerweile zur DIN EN ISO 9241-210 ("Ergonomie der Mensch-System-Interaktion" - Teil 210: "Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme") weiterentwickelt wurde, steht der Produktnutzer im Mittelpunkt.

Die Norm beschreibt das Vorgehen zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Hard- und Softwarekomponenten und hat sich gemäß Schlick et al. (2010) auch für die Entwicklung von anderen Produkten, bei denen der Mensch als Benutzer berücksichtigt werden soll, als gut geeignet herausgestellt. Bild 1 zeigt die einzelnen Gestaltungsaktivitäten und betont die wechselseitige Abhängigkeit der Aktivitäten durch die vorgesehenen Iterationspfeile.

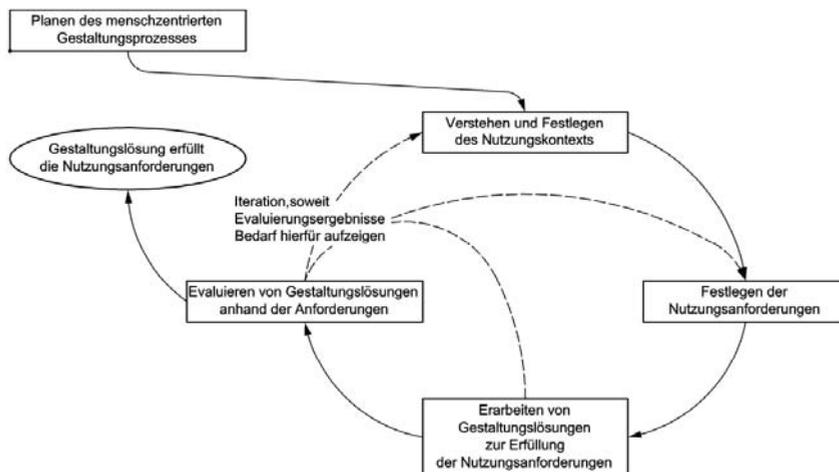


Bild 1: Wechselseitige Abhängigkeit menschzentrierter Gestaltungsaktivitäten (aus DIN EN ISO 9241-210).

Das in der Norm beschriebene Vorgehen entspricht einem strukturellem Modell, aus dem nicht unmittelbar Methoden für die Gestaltung abgeleitet werden können. Auch können die Gestaltungsaktivitäten nicht immer einer passenden Phase der Produktentwicklung zugeordnet werden. Da die Nutzungsphase des Produktes in diesem Vorgehen nicht explizit vorgesehen ist, könnten wichtige Hinweise zu Verbesserungspotentialen (beispielsweise für eine neue Produktgeneration) unberücksichtigt bleiben.

Der im Folgenden vorgestellte EQUID-Prozess ergänzt die Vorgehensweise nach DIN EN ISO 9241-210, indem er unter anderem die einzelnen Produktlebensphasen berücksichtigt und diesen menschbezogene Fragestellungen zuordnet.

## 2.2 EQUID-Prozess

Zur Sicherstellung "der Integration ergonomischer Erkenntnisse und Methoden im gesamten Prozess der Produktentwicklung" (Bruder 2011) wurde im Rahmen einer Initiative der International Ergonomics Association (IEA) der sogenannte EQUID-Prozess ("Ergonomic Quality in Design") entwickelt. Eines der Ziele des Ansatzes ist eine verbesserte Kooperation zwischen Produktgestaltern und Experten der Arbeitswissenschaft und Ergonomie (Bruder 2011).

Der EQUID-Prozess beinhaltet gemäß Bruder & Lange-Morales (2013) insgesamt sieben Entwicklungs- bzw. Produktlebensphasen (siehe Bild 2).

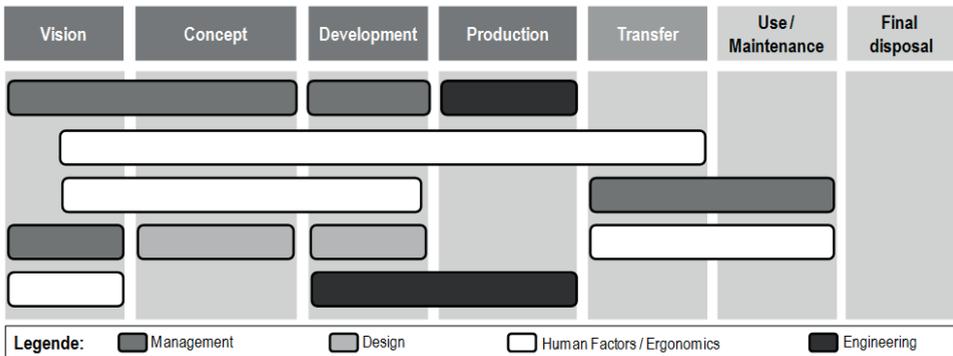


Bild 2: Schematische Darstellung von Phasen und beispielhaften Ansatzpunkten für Fragen unterschiedlicher Disziplinen des EQUID-Prozesses - angelehnt an Bruder & Lange-Morales (2013).

Zu den einzelnen Phasen wurden im Laufe der Entwicklung des Ansatzes diverse Fragestellungen aus unterschiedlichen Disziplinen (beispielsweise aus dem Management, dem Design, der Arbeitswissenschaft/Ergonomie oder der Entwicklung) zugeordnet. Bild 2 zeigt dazu in einer schematischen Darstellung eine typische Auswahl. Über die Fragen kann herausgearbeitet werden, an welchen Stellen und in welchem Umfang der Mensch in der Entwicklung Beachtung finden sollte. Die Abbildung verdeutlicht zudem, dass sich die menschbezogenen Fragestellungen teilweise über mehrere Phasen erstrecken.

Um die Fragen in den unterschiedlichen Phasen adäquat beantworten zu können, bedarf es der Betrachtung von Kennwerten oder Maßstäben, die zur Berücksichtigung der jeweiligen Fragestellungen geeignet sind. Das folgende Kapitel soll in diesem Zusammenhang mögliche Kennwerte für die Entwicklung von Fahrerassistenz- und -informationssystemen mit dem Fokus auf Sicherheitsaspekte vorstellen.

### 3 KENNWERTE UND MAßSTÄBE ZUR BERÜCKSICHTIGUNG DER SICHERHEITSFRAGESTELLUNGEN

Zur Beantwortung von sicherheitsrelevanten Fragestellungen in einer Entwicklung bieten sich verschiedene sicherheitsspezifische Maßstäbe/Kennwerte an. Im Folgenden wird ein Ansatz zur Systematisierung von Kennwerten oder Maßstäben vorgestellt, bevor auf die einzelnen Kennwerte bzw. Maßstäbe eingegangen wird.

#### 3.1 Systematisierungsansatz

Der Mensch ist während dem Führen eines Fahrzeuges unterschiedlichen Belastungszuständen ausgesetzt. Diesen auf ihn einwirkenden Ursachen begegnet er aktiv durch entsprechende Handlungen. Droht beispielsweise eine Kollision mit einem plötzlich bremsenden vorausfahrenden Verkehrsteilnehmer, reagiert der Fahrzeugführer durch Betätigung des Bremspedals und ruft somit eine Verzögerung des eigenen Fahrzeugs hervor. Die Ausführung derartiger Handlungen bzw. Leistungen beansprucht zum Beispiel die Beinmuskulatur, aber auch das kognitive System des Menschen. Im Zeitverlauf kommt es dann zu Anpassungen, so dass mittel- bis langfristig die menschliche Charakteristik beeinflusst wird. Diese Anpassung wirkt in einem zeitlichen Effekt entweder in positiver Form als Training oder in negativer Form als Ermüdung (Bild 3). Darüber hinaus ist als relevanter Faktor bei der Gestaltung von Systemen die Akzeptanz des Nutzers zu berücksichtigen. Diese wird durch das Zusammenwirken der unterschiedlichen im Belastungs-Beanspruchungs-Konzept beschriebenen Komponenten mit beeinflusst. Die Akzeptanz eines Systems hat insoweit Einfluss auf die Sicherheit, als dass der Fahrer das System nur verwendet, wenn er es ausreichend stark akzeptiert und das System nur bei einer entsprechenden Verwendung seine optimale (Sicherheits-) Wirkung entfalten kann.

Kauer et al. (2012) definieren Technologieakzeptanz als positive Einstellung gegenüber einer bestimmten Technologie sowie die Intention diese Technologie zu nutzen. Im Versuchskontext kann anstatt der Intention der Techniknutzung das tatsächliche Nutzungsverhalten betrachtet werden. Dementsprechend kann die Akzeptanz eines Systems durch Befragung sowie Analyse des Nutzungsverhaltens analysiert werden.

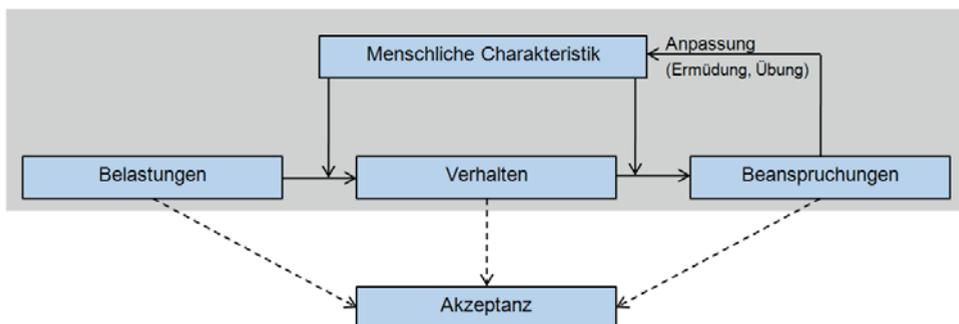


Bild 3: Erweitertes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept nach Rohmert (1984), Darstellung in Anlehnung an Abendroth (2001).

Mögliche sicherheitsrelevante Kennwerte bzw. Maßstäbe können unter Beachtung des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts in Verhaltensgrößen und in Beanspruchungsgrößen eingeteilt werden.

Der Einteilung in Verhaltensgrößen kann dabei zusätzlich der theoretische Ansatz der menschlichen Informationsverarbeitung zugrunde gelegt werden. Das einfache Stufenmodell der Informationsverarbeitung geht dabei von der sequentiellen Abfolge der Schritte Entdecken, Erkennen, Entscheiden und Handeln aus (siehe Schlick et al. 2010).

Die menschliche Informationsverarbeitung bietet in jedem Teilschritt mögliche Fehlerquellen. So können Informationen beispielsweise nicht entdeckt werden, so dass es erst gar nicht zu einer weiteren Verarbeitung kommen kann. Doch auch in den Schritten der Entscheidung zu einer Handlung oder der Handlungsausführung können menschliche Fehlhandlungen zu einer sicherheitskritischen Situation führen, wodurch diesen Prozessen aus Sicherheitssicht besondere Beachtung geschenkt werden muss.

Um zeitliche Effekte berücksichtigen zu können, werden Beanspruchungsgrößen herangezogen. Anhand dieser werden mögliche Zeiteffekte zuerst sichtbar, bevor sie sich über die Anpassungsprozesse auf das Fahrerverhalten auswirken.

Zusätzlich muss beachtet werden, dass Faktoren wie die Gewöhnung und das Training die Leistungen eines Nutzers positiv beeinflussen können. Individuelle Unterschiede der Nutzer sorgen dafür, dass ein breites Spektrum von Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten vorliegt, das die Handlung/Leistung beeinflussen kann und somit bei der Auslegung - gerade bei Sicherheitsaspekten - beachtet werden muss.

Bezieht man das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept auf die Aufgaben eines Fahrzeugführers und verknüpft man das Konzept mit dem menschlichen Informationsverarbeitungsprozess, so zeigen sich die in Bild 4 dargestellten relevanten Komponenten.

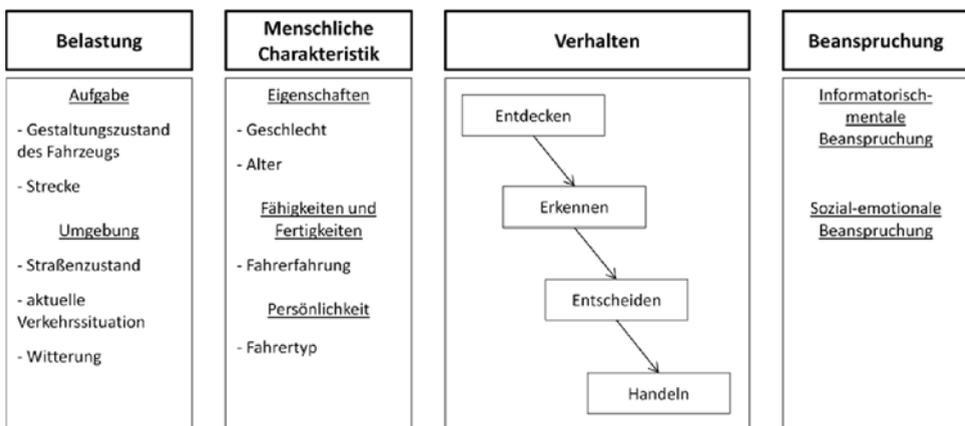


Bild 4: Schaubild zu den Belastungen und Beanspruchungen eines Fahrzeugführers (angelehnt an Rohmert et al. (1994), erweitert um den menschlichen Informationsverarbeitungsprozess).

Die Wirkungen eines Systems sollte aufgrund der Zeiteffekte in mehreren Schleifen betrachtet werden, damit sicherheitskritische Fragestellungen korrekt beantwortet werden können.

Nachfolgend werden Beanspruchungs- und Verhaltensgrößen detailliert und mit Kennwerten bzw. Maßstäben näher erläutert.

### 3.2 Verhaltensgrößen und deren Erhebungsmethoden

Das Verhalten eines Fahrzeugführers spiegelt sich durch seine Handlungen und Leistungen wieder. Im Folgenden werden verschiedene Kenngrößen zu Handlungen und Leistungen und deren Erhebungsmethoden vorgestellt.

Da beim Autofahren die meisten Informationen visuell aufgenommen werden (Rockwell 1972), nimmt das Blickverhalten des Fahrers eine wichtige Rolle ein. Aufgrund der sequentiellen Interpretation des einfachen Modells der Informationsverarbeitung wird deutlich, dass Schwierigkeiten in den vier Einzelstufen eine direkte Verlängerung der Informationsverarbeitungszeit zur Folge haben. Eine erschwerte Erkennung durch ein beispielsweise nicht intuitives oder zu klein dimensioniertes Symbol im Kombidisplay eines Automobils hat eine verzögerte Reaktion auf die Anzeige zur Folge, da die Blicke des Fahrers länger auf dem Symbol bleiben. Dies zeigt, dass das Blickverhalten in Sicherheitsfragen als Kennwert oder Maßstab dienen kann. Um Kenngrößen der Blickbewegung analysieren zu können, bedarf es einer speziellen Messtechnik. Diese ist häufig in Form eines Brillensystems zu finden. Es gibt jedoch auch - gerade im Anwendungsfall von Desktoparbeit - Varianten, die über ein sogenanntes Remotesystem das Blickverhalten der Probanden aufnehmen (Rötting 2001). Nach einer meist manuellen Nachbereitung der Daten, kann ein Analyseprogramm hinzugezogen werden. Typische Daten, die aus der Analyse entstehen sind Blickdauern auf sogenannte Areas of Interest (AOI), Blickhäufigkeiten, Blicksakkaden bzw. Reihenfolgen der Fixationen. Bereits in frühen Entwicklungsphasen kann mit Hilfe von speziellen Versuchsaufbauten das Blickverhalten untersucht werden und bietet damit eine relevante Eingangsgröße in spätere Schleifen der Entwicklung.

Die Informationsaufnahme des Fahrers wird auch durch dessen Situationsbewusstsein beeinflusst, das eine Aussage darüber trifft, in wieweit der Fahrer für die aktuelle Situation relevante Informationen entdeckt und erkannt hat. Mit einer speziellen Befragungsmethode, der "Situation Awareness Global Assessment Technique" (SAGAT; siehe Endsley 1988) ist es möglich, das Situationsbewusstsein, also beispielsweise das Wissen der Versuchsperson über Details aus der zuvor aktiven Situationsumgebung, zu bewerten.

Gerade im Hinblick auf die Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen im Automobil gilt es, das sogenannte Warndilemma zu beachten. Gemäß Hoffmann & Gayko (2010) ist eine Fahrerwarnung demnach umso wirksamer, je früher sie aktiv ist. Dem gegenüber steht die Tatsache, dass je früher die Warnung ausgegeben wird, die Wahrscheinlichkeit steigt, dass der Fahrer noch adäquat reagieren würde. Damit einhergehend steigt die Gefahr einer Fehlauflösung, was zu einer Senkung der Akzeptanz für das System führen kann. In diesem Kontext sei auf das Projekt "UR:BAN" verwiesen (weiterführende Informationen unter [www.urban-online.org](http://www.urban-online.org)), in dem das Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) gemeinsam mit der Adam Opel

AG im Unterprojekt MV-VIE (Mensch im Verkehr - Verhaltensprädiktion und Intentionserkennung) an einer Erkennung der Fahrerintention arbeitet, mit dem die Gefahr einer möglichen Akzeptanzsenkung durch Fehlauflösungen gemindert werden kann.

Während die Stufen der Entscheidung aus dem Informationsverarbeitungsprozess des Menschen der Messung nicht direkt zugänglich ist, können seine Handlungen durch Handlungs- und Leistungsgrößen, die aus Fahrzeugdaten ermittelt werden können, beschrieben werden. Die vorliegenden Daten resultieren dabei sehr häufig aus den Fahrereingaben beispielsweise über Lenkrad und Pedale. Die Daten können aus dem CAN-(Controller Area Network)-Bus erhoben werden. Über diese Kommunikationsschnittstelle im Fahrzeug werden Daten wie das Lenk- und Pedalverhalten (und damit auch die Reaktionszeiten des Fahrers), die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen oder über zusätzlich verbaute Sensorik auch der Abstand zum Vorderfahrzeug (mittels ACC-Radar) oder die Spurabweichung (per Frontkamera) ermittelt und über einen Messrechner aufgezeichnet. Zusätzlich können mit Hilfe von Handlungsgrößen Nutzungsprofile von Systemen erstellt werden, die einen Rückschluss auf deren Akzeptanz ermöglichen. Fahrerverhaltensdaten bieten eine wertvolle Grundlage gerade im Hinblick auf eine Fahrerassistenzsystemauslegung. Die Daten liegen dabei jedoch erst in einer Phase, zu der bereits ein funktionierender Prototyp vorhanden ist, vor.

Weitere Kennwerte können über die Beobachtung von Fahrerhandlungen gewonnen werden. Während (Fahr-)Versuchen werden dazu sehr häufig auch Videodaten parallel zu anderen Messdaten aufgenommen. Diese Daten bieten nach der Synchronisation mit den weiteren erhobenen Daten die Möglichkeit, gezielte Rückschlüsse auf das Verhalten des Fahrers zu ziehen. So werden häufig Kameras auf den Fußraum gerichtet, um das Pedalverhalten genauer untersuchen zu können. Eine weitere Möglichkeit ist die Beobachtung der Versuchspersonen durch einen Versuchsleiter. Die geschulten Personen achten dabei während den Versuchen auf Auffälligkeiten oder ungewöhnliche Reaktionen der Probanden und notieren diese meist in einem Versuchsbegleitbogen. Über diese Informationen können zum Beispiel auch Ausreißer in den Messwerten identifiziert werden oder möglicherweise bisher nicht beachtete Fahrerreaktionen ermittelt werden. Über Befragungen der Fahrer (durch Interviews oder Fragebögen) kann zudem erhoben werden, ob das gezeigte Verhalten auch dem intendierten Verhalten der Probanden entsprochen hat.

Um die Akzeptanz, also die Einstellungen einer Person bezüglich eines Objektes, ermitteln zu können, werden sehr häufig Befragungen eingesetzt. Akzeptanz ergibt sich aus den Erwartungen bezüglich eines Systems und den tatsächlich empfundenen Ausprägungen dieses Systems. Die Ermittlung kann entweder in Form von Interviews oder mit Fragebögen geschehen. Für das jeweils zu beurteilende Objekt ist dann ein Interviewleitfaden zu erstellen oder ein spezieller Fragebogen zu entwickeln. Ebenso können die Kommentare der Fahrer während der Nutzung Anhaltspunkte zur Akzeptanz bieten.

Ein Ansatz, um die durch das Verhalten bzw. die Handlungen bestimmte Komponente der Akzeptanz zu ermitteln, ist die Erstellung eines Nutzungsprofils für die einzelnen Fahrer. Das Nutzungsverhalten wird bestimmt durch die Situation, in der ein System genutzt bzw. aktiviert/deaktiviert wird oder Eingriffe durch den Fahrer in das System stattfinden.

### 3.3 Beanspruchung des Fahrzeugführers

Im folgenden Unterkapitel werden Beanspruchungsgrößen und die zur Erhebung verwendbaren Methoden beschrieben, bevor auf die Relevanz von Langzeitstudien innerhalb der Produktentwicklung eingegangen wird.

#### 3.3.1 Beanspruchungsgrößen und deren Erhebungsmethoden

Wirken Belastungen von außen auf einen Menschen ein, wie dies bei der Fahrzeugführung der Fall ist, führt dies zu einer physischen und psychischen Reaktion. Es kommt unmittelbar zur körperlichen und geistigen Beanspruchung.

Eine langfristig hohe Beanspruchung führt zu Ermüdungserscheinungen, die in Form von Anpassungsprozessen die Fahrercharakteristik und damit auch das Fahrerverhalten beeinflussen (siehe Bild 3). Man kann in diesem Zusammenhang von einem Abgleich zwischen Ermüdung und Leistung sprechen (vgl. dazu Schlick et al. 2010, siehe Bild 5). Es gibt menschbezogene sowie systembezogene, d.h. technische Faktoren, die einen positiven und somit abmildernden Einfluss auf die Beanspruchung haben und Faktoren, die diese negativ beeinflussen. Ein technisches System kann beispielsweise positiv auf das Beanspruchungsniveau des Menschen einwirken, indem es dem Fahrzeugführer Informationen rückmeldet. Zudem wirkt die Systemzuverlässigkeit entlastend auf den Fahrer. Auf der anderen Seite führt eine hohe Aufgabenanforderung zum Anstieg der Beanspruchung. Neben diesen systembezogenen Einflüssen sind jedoch vor allem auch menschliche Einflüsse auf das resultierende Beanspruchungsniveau zu betrachten. Menschliche Charakteristika wie Fähigkeiten oder Fertigkeiten können die Beanspruchung reduzieren, während Müdigkeit die Beanspruchung weiter ansteigen lässt. Ist das resultierende Beanspruchungsniveau zu hoch oder zu niedrig, kann dies zu Fehlern führen. Der Mensch ist somit zu einem gewissen Grad in der Lage, eine hohe auf ihn einwirkende Belastung bei hohem Leistungsniveau kurzfristig durch eine erhöhte Beanspruchung auszugleichen. Langfristig führt erhöhte Beanspruchung jedoch zu Ermüdung, die sich dann wiederum negativ auf die Leistung, z.B. in Form von Fehlern auswirkt.

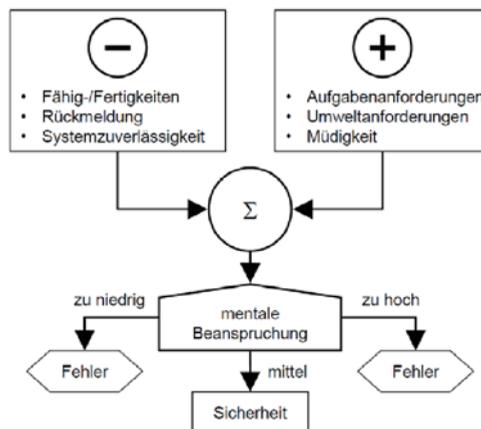


Bild 5: Einflussfaktoren der mentalen Beanspruchung nach Kantowitz & Campbell (1996) aus Schlick et al. (2010).

Neben diesen Ermüdungserscheinungen sind auch die Trainings- und Übungsaspekte, die sich letztlich positiv auf die Fähigkeiten und Fertigkeiten eines Menschen auswirken und somit zunächst das Beanspruchungsniveau senken, hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Fahrerverhalten genau zu beobachten. Neben zweifelsfrei positiven Trainingseffekten kann es im Zeitverlauf auch zur Wandlung des Verhaltens insoweit kommen, als dass beispielsweise im Fahrzeugkontext die Grenzbereiche stärker ausgenutzt werden. Diese Tatsache (auch Risikokompensation genannt, vgl. Näätänen & Sumalla (1976) und Wilde (1982)) sollte bei der Sicherheitsbetrachtung nicht vernachlässigt werden. Ohne die Ermittlung des längerfristigen Fahrerverhaltens ist eine entsprechende Betrachtung jedoch nicht möglich.

Beanspruchungen können auf zwei unterschiedliche Arten erhoben werden. Die objektive Messung physiologischer Daten macht es möglich, physische und psychische Beanspruchungen der Probanden zu ermitteln. Dabei werden beispielsweise über die Kennwerte des Hautleitwertes oder der Herzschlagfrequenz Rückschlüsse zur mentalen oder emotionalen Beanspruchung der Versuchspersonen möglich. Über den sogenannten Arrhythmiequotient (ARQ), der Schwankungen in der Herzschlagfrequenz beinhaltet, kann auf die mentale Beanspruchung geschlossen werden (Philipp 1978). Die Analyse des Blickverhaltens gibt auch Hinweise auf den Beanspruchungszustand des Probanden. Indizien für eine hohe mentale Beanspruchung sind häufige Blickwechsel und extrem kurze Fixationszeiten (Schweigert 2003, Fuchs et al. 2008).

Neben den genannten objektiven Messungen kann eine Beanspruchung auch subjektiv ermittelt werden. Ein konkretes Beispiel ist dabei die sog. "Karolinska Sleepiness Scale" (KSS; siehe Akerstedt & Gillberg 1990), bei der die Probanden zu festgelegten Zeitpunkten ihre eigene Müdigkeit bewerten sollen, die beispielsweise durch eine anhaltende Beanspruchung resultieren und variieren kann. Es gibt zudem spezielle Fragebögen, die zur subjektiven Ermittlung der Beanspruchung verwendet werden können. Beim NASA - Task Load Index (NASA-TLX; siehe Hart & Staveland 1988) werden dazu Items wie die Arbeitsbelastung, die Aufgabenschwierigkeit oder das Stresslevel erhoben.

Da durch eine längerfristige Beanspruchung Ermüdung hervorgerufen wird, gibt es über die Anpassungsprozesse auch wieder Rückwirkungen auf das Fahrerverhalten und somit auf die Leistung. Entsprechend der sukzessiven Destabilisierungstheorie von Luczak (1983) kommt es zu Leistungsstreuungen und Fehlern sowie zu abfallenden Leistungen. Diese Tatsache verdeutlicht auch, dass Zeiteffekte bei der menschenbezogenen Entwicklung eines Produktes/Systems wichtig sind. Daher befasst sich das kommende Kapitel mit Langzeitstudien und deren Relevanz.

### 3.3.2 Beanspruchungsmessung: Relevanz von Langzeitstudien

Die zur Beachtung eines möglichen Langzeiteffekts neuer Produkte und Systeme nötigen Langzeitstudien sind in den aktuellen Entwicklungsschritten nur selten vorgesehen. So werden in der Nutzungsphase meist nur kurzzeitige Funktions- und Akzeptanztests mit den eigentlichen Nutzern durchgeführt. Aufgrund der Tatsache, dass das menschliche Verhalten zeitlichen Veränderungen ausgesetzt ist (Training oder Ermüdung), kann eine Prognose des Langzeitverhaltens aus diesen ersten Versuchen jedoch nicht abgeleitet werden. Ebenfalls kann mit den häufig

vertretenen Studien zur unmittelbaren Fahrerreaktion selten geklärt werden, warum es zur gezeigten Reaktion gekommen ist.

Zur Durchführung von Langzeitversuchen zu Beanspruchungs- und Ermüdungserscheinungen bieten sich Fahrversuche in verschiedenen Untersuchungsumgebungen an. Diese lassen sich in Abhängigkeit des Echtheitsgrads der Testbedingungen, der Möglichkeiten der Variablenmanipulation und des Vorhandenseins eines Prototypen in zwei Klassen einteilen: Labor- und Feldstudien (Bruder et al. 2007). Während in der Entwicklungsphase oftmals eher auf Simulationsumgebungen aufgrund des Nichtvorhandenseins von funktionalen Prototypen zurückgegriffen wird, bietet sich die Nutzungsphase für Untersuchungen im Feld an, beispielsweise durch die Analyse von Alltagsfahrten. Je nach konkretem Untersuchungsziel weisen die einzelnen Versuchsumgebungen spezifische Vor- und Nachteile auf.

Der Ermüdungsgrad kann zunächst einmal in den verschiedensten Untersuchungsumgebungen erforscht werden (Philip et al. 2005). Simulierte Untersuchungsumgebungen ermöglichen eine effiziente, kostengünstige und einfache Datensammlung mit der Möglichkeit der gezielten Variation und Konstanthaltung von Versuchsbedingungen (u.a. Blana 1996; Knappe 2009).

Als weiterer Vorteil im Zusammenhang mit Simulatorstudien ist der geringe Gefährdungsgrad der Probanden zu nennen (Philip et al. 2005). So können im Fahr-Simulator Fahraufgaben und Szenarien abgeprüft werden, die in der Realität beispielsweise aufgrund eines zu hohen Gefährdungsrisikos der Probanden nicht durchgeführt werden können (siehe Bédard et al. 2010; Bella 2008). Derart kritische Situationen kommen insbesondere bei der Erprobung von Fahrerassistenzsystemen zum Einsatz, die die aktive Sicherheit des Fahrers erhöhen sollen. Entsprechend erweist sich ein Fahr-Simulator als ein ideales Untersuchungswerkzeug zur Evaluation der Fahrerakzeptanz und Nützlichkeit von Fahrerassistenzsystemen sowie einer potenziell vermehrt auftretenden Ermüdungserscheinung (siehe unter anderem Lee et al. 2007).

Neben den genannten positiven Aspekten einer simulierten Umgebung sind jedoch auch gewisse damit verbundene Nachteile zu berücksichtigen. Neben einer Abschwächung des Gefährdungsbewusstseins aufgrund der Künstlichkeit der Situation, kann es zu Einschränkungen in der Wahrnehmungsphysiologie kommen, da Bild- und Bewegungssimulationen gewissen Grenzen unterlegen sind (Knappe 2009; Breuer 2012). Vor diesem Hintergrund drängt sich eine Frage auf, die als Grundvoraussetzung für den Einsatz von Fahr-Simulatoren gesehen werden kann: Inwieweit ist eine Übertragbarkeit von in simulierter Umgebung gewonnenen Daten auf reale Versuchsbedingungen gewährleistet? Weiterführende Informationen können Zöller et al. (2013) entnommen werden.

Sobald ein funktionstüchtiges System vorhanden ist, können Fahrerverhalten und Beanspruchung unter realen Bedingungen (Versuchsfahrt auf abgesperrtem Testgelände oder im öffentlichen Straßenverkehr, Beobachtung und Messung von Alltagsfahrten, Bruder et al. 2007) getestet werden.

## 4 SICHERHEITSRELEVANTE FRAGESTELLUNGEN

Angelehnt an das Vorgehen aus dem EQUID-Prozess können im Fahrzeugkontext sicherheitskritische Fragestellungen aus ergonomischer Sicht in den Entwicklungsphasen identifiziert werden, um den Nutzer stärker in den Fokus zu rücken. Zur Beantwortung der Fragen kann u.a. auf die zuvor ermittelten Kennwerte und Maßstäbe zurückgegriffen werden.

Es bleibt zuvor festzuhalten, dass gewisse Fragen aus frühen Phasen wie beispielsweise der Visionsphase meist eher qualitativ beantwortet werden können und erst in späteren Phasen eine quantitative Aussage möglich ist. Daher findet man tendenziell eher in den späten Phasen konkrete Kennwerte oder Maßstäbe. Nichtsdestotrotz können einige Fragen, die früh gestellt werden, mit dem Wissen aus späteren Phasen (beispielsweise aus der Nutzungsphase) oder durch Vorwissen, beispielsweise aus der vorausgegangenen Fahrzeuggeneration, gezielt beantwortet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Nutzungsphase können für eine nachfolgende Generation des Produkts verwendet werden.

Die Fragen beziehen sich nicht auf alle Phasen des EQUID-Prozesses. Auch wenn aus ergonomischer Sicht sicherheitsrelevante Fragen in der „Produktionsphase“ auftreten können, wird diese Phase im Folgenden nicht mehr berücksichtigt, da die Aspekte nicht für Nutzer des späteren Produkts, sondern für den Mitarbeiter in der Produktion relevant sind. Des Weiteren wird die Phase des „Transfers“ ausgeklammert, da in dieser Phase eher Marketingaspekte beachtet werden müssen. Die Phase des „Final Disposal“ wird ebenfalls nicht behandelt, da diese keine unmittelbare Sicherheitsrelevanz für den Produktnutzer beinhaltet.

Die vier Schritte des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses aus DIN EN ISO 9241-210 passen in die hier betrachteten Phasen des EQUID-Prozesses. Die Schritte der Ermittlung des Nutzungskontexts und der Nutzungsanforderungen können der Konzeptphase zugeordnet werden, während die Entwicklung der Gestaltungslösungen und die Evaluation dieser Lösungen in der Entwicklungsphase stattfinden. Neben der Evaluation der entwickelten Gestaltungslösungen gibt es durch die Rückmeldungen der Nutzer aus der Nutzungsphase wichtige Hinweise auf Schwachstellen und Verbesserungsmöglichkeiten des Produkts. Daher wird in der Nutzungsphase ein zusätzlicher zweiter Evaluationsschritt gesehen.

Die beispielhaften Fragestellungen zu den vier übernommenen Phasen des EQUID-Prozesses werden im Folgenden erläutert und es werden die jeweilig passenden Kennwerte oder Maßstäbe genannt. Zu den Kennwerten bzw. Maßstäben wird zudem eine Aussage getätigt, mit welcher Methode eine Erhebung denkbar ist.

### 4.1 Sicherheitsrelevante Fragestellungen in der Visionsphase

Die Fragestellungen aus der Visionsphase sind sehr häufig allgemein gefasst. Hinter der Vision verbirgt sich dabei zu Beginn auch noch kein angedachtes System. Zu diesem frühen Entwicklungszeitpunkt existiert lediglich eine grobe Tendenz, in welche Richtung der Prozess laufen soll. Diese Tendenz wird in den nachfolgenden Phasen immer weiter detailliert und auf einen konkreten Anwendungsfall bezogen.

Eine erste Fragestellung befasst sich mit dem übergeordneten Maßstab der Unfallzahlen. Trotz der stetigen Zunahme von Verkehrsaktivitäten, sinken die Zahlen von Verletzten und Toten im Straßenverkehr (Destatis 2011). Dennoch bleibt festzuhalten, dass zur "Vision Zero" weitere Anstrengungen nötig sind. Neben der quantitativen Abnahme von Unfallzahlen kann dabei die Vision von komplett unfallfreiem Fahren formuliert werden:

*V1) Wie können Unfälle (mit Personenschäden) vermieden werden?*

Zu dieser Vision kann kein direkter Kennwert ermittelt werden. Es kann jedoch zu einem späteren Zeitpunkt versucht werden, den entwickelten Systemen einen direkten "Wirkungsgrad" zuzuordnen, indem das Potential der Unfallzahlensenkung ermittelt wird.

Eine weitere übergeordnete Fragestellung betrifft die empfundene Sicherheit. Selbst wenn die Fahrzeuge mit Fahrerassistenzsystemen ausgestattet sind, kann es dazu kommen, dass der Fahrer in gewissen kritischen Situationen eine Unsicherheit empfindet und diese unter Umständen zu Fehlhandlungen und folglich auch zu Unfällen führen kann.

*V2) Wie kann ein sicheres Gefühl beim Autofahren vermittelt werden?*

Über Befragungen von möglichen Nutzern kann die potentielle Wirkung eines Systems zur Erhöhung der empfundenen Sicherheit ermittelt werden. Nachdem prototypische Systeme entwickelt und in einer Simulationsumgebung dargestellt wurden, kann eine genauere Betrachtung der empfundenen Sicherheit durchgeführt werden. Dies ist jedoch zum Zeitpunkt der Visionsphase, in der noch keine Prototypen vorhanden sind nicht möglich. Mittels Studien in den späteren Phasen kann über eine Blickbewegungsanalyse oder durch physiologische Messungen (beispielsweise durch die Ermittlung des Hautleitwertes) die Wirkung überprüft werden. In der Visionsphase können jedoch maximal positive oder negative Trends aus psychologischer Sicht durch Experten abgeschätzt werden.

Auf einem ähnlichen Niveau ist die Überprüfung der Frage

*V3) Wie kann der Mensch in komplexen Situationen unterstützt werden?*

Auch hier können trendartige Abschätzungen über die Analyse von Reaktionszeiten, der Blickbewegung und dem Bedienverhalten getätigt werden. Konkrete Zahlenwerte zu den Kenngrößen sind jedoch in dieser frühen Phase nicht verfügbar.

## **4.2 Sicherheitsrelevante Fragestellungen in der Konzeptphase**

Nach den allgemeinen Fragestellungen aus der Visionsphase können in der Konzeptphase konkretere Aspekte beleuchtet werden. Hier ist es auch besser möglich, den Fragen Kennwerte und Maßstäbe zuzuordnen.

*C1) Wie kann die Ablenkung des Fahrers reduziert werden?*

Auf den heutigen Fahrer wirken eine Vielzahl von Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen. Die häufig verschiedene Modalitäten nutzenden Systeme und auch das dynamische Umfeld, welches gerade bei Stadtfahrten eine übergeordnete

te Rolle spielt, sorgen dafür, dass der Fahrer abgelenkt werden kann. Unterstützende Systeme sollten jedoch eher dazu führen, dass der Fahrer auf die momentan kritische Situation fixiert wird. Dafür vorgesehene Ansätze können in der Konzeptphase mittels Prototypen im Hinblick auf Reaktionszeiten überprüft werden. Dabei wird häufig ein Vergleich von verschiedenen Systemen oder von dem neuen System und einer Baseline getätigt. Zusätzlich helfen Kennwerte der Blickbewegungsanalyse, um die visuelle Ablenkungswirkung eines Systems zu überprüfen. Blickhäufigkeiten und gerade auch Blickdauern in zuvor definierte Areas of Interest (AOI), die dann auch das Systemdisplay o.ä. beinhalten, machen eine Aussage zur Ablenkung durch das System möglich. Über die Untersuchung der Blickmuster bzw. der Blickfolgen können erste Schritte zur weiteren Optimierung abgeleitet werden.

Da neben einer Ablenkung auch eine hohe Beanspruchung des Fahrers kritische Zustände hervorrufen kann, gilt es in der Konzeptphase zudem die Beanspruchung des Fahrers zu erheben und zu bewerten:

*C2) Wie kann die Beanspruchung für den Fahrer reduziert werden?*

Durch den bereits oben angesprochenen Zuwachs an Informationen durch diverse Assistenzfunktionen wird der Fahrer stärker beansprucht. Zur Identifizierung besonders beanspruchender Situationen, können typische Beanspruchungskenngrößen, wie z.B. der Hautleitwert, die Herzschlagfrequenz oder den Arrhythmiequotient, herangezogen werden. Verschiedene Systemansätze können dabei vergleichend getestet werden. Über Befragungen kann zudem ermittelt werden, wann und wodurch der Fahrer sich beansprucht fühlt.

Ebenfalls in der Konzeptphase ist es wichtig, dass Vorschriften wie Gesetze oder Normen eingehalten werden.

Nach der Grobformulierung aus der Visionsphase beginnt in der Konzeptphase zudem die genauere Betrachtung der Nutzergruppe des zu entwickelnden Produktes/Systems. Für eine passende Auslegung ist es von enormer Wichtigkeit, dass der Nutzer mit seinen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten (vgl. Rohmert 1984) beachtet wird:

*C3) Durch welche Charakteristika zeichnet sich die Nutzergruppe des Systems aus?*

Neben den Fahrerfahrungen der Fahrer sowie möglicher Erfahrungen mit Unterstützungssystemen ist es wichtig auch mögliche Einschränkungen auf Seiten der Nutzer, wie vermindertes Seh- oder Hörvermögen, zu kennen. Ebenso ist es notwendig, die anthropometrischen Maße von mindestens 90% der potenziellen Nutzer bei der Positionierung von Systemelementen im Fahrzeug zu berücksichtigen. Hierzu wird beispielsweise das Menschmodell RAMSIS (Rechnergestütztes Anthropologisch-Mathematisches System zur Insassen Simulation, siehe dazu Seidl (1995)) verwendet. Werden die Systeme in dieser Phase in Form von Versuchen evaluiert, sollten möglichst unterschiedliche Nutzer dabei eingesetzt werden, um Aussagen von unterschiedlichen Fahrercharakteristika zu erhalten.

### 4.3 Sicherheitsrelevante Fragestellungen in der Entwicklungsphase

Die Entwicklungsphase beinhaltet gemäß dem Vorgehen aus DIN EN ISO 9241-210 die Erarbeitung der Gestaltungslösungen. Dabei kann eine grobe Trennung in die Systemfunktionalität und in die Schnittstelle zwischen dem Nutzer und dem System durchgeführt werden. Demnach lautet die erste sicherheitsrelevante Fragestellung:

*D1) Wie gut passen die Systemfunktionalität und das menschliche Verhalten zusammen?*

Dabei spielt eine ganze Reihe von Teilaspekten eine Rolle. Beispielsweise müssen Festlegungen bzgl. des Automatisierungsgrades des Systems getätigt werden. Denn durch möglicherweise aufgrund neuer Systeme hinzukommende Nebenaufgaben, kann das Situationsbewusstsein des Fahrers beeinflusst werden (Rauch et al. 2006). Dementsprechend hat die Festlegung des Automatisierungsgrades Einfluss auf das Situationsbewusstsein des Fahrers, dieses kann z.B. mit der Methode SAGAT beurteilt werden. In der Detaillierung müssen zudem einzelne Systemfunktionalitäten definiert werden. Handelt es sich zum Beispiel um ein Fahrerassistenzsystem inkl. einer Fahrerwarnung müssen Auslöseschwellen und Warn-/Eingriffszeitpunkte beschrieben werden und die Warnkaskade muss gestaltet werden. Bei diesen Auslegungen sollten die Time-to-Collision (TTC) sowie Reaktionszeiten der Fahrer berücksichtigt werden. Für Versuche steht dabei meist ein Funktionsprototyp zur Verfügung. Die Analyse von Fahrfehlern hilft bei der weiteren Verbesserung der Systemfunktionalität im Entwicklungsprozess. Bei den Systemdetails spielen auch wieder Normen und Gesetze eine Rolle. Im Hinblick auf eine Assistenzfunktion gilt es beispielsweise die DIN EN ISO 9241-110 ("Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung") zu beachten. Die eigentliche Auslegung nach diesen Grundsätzen erfolgt bei der Schnittstelle, jedoch müssen die entsprechenden Funktionalitäten im System vorgesehen werden.

Neben der Systemfunktionalität muss die Schnittstelle zwischen dem System und dem Nutzer gestaltet werden:

*D2) Wie gut ist die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine gestaltet?*

Wie zuvor erwähnt, spielen dabei unter anderem die Grundsätze der Dialoggestaltung eine Rolle. Ein weiteres zentrales Element ist die Festlegung der verwendeten Modalität. Anhand der Analyse der Blickbewegung bei der Bedienung können Rückschlüsse zur Anordnung oder auch zur Dimensionierung der Anzeige oder der Stellteile gezogen werden. Hier spielen Blickabwendungszeiten eine übergeordnete Rolle. Eine schlecht gestaltete Schnittstelle führt in diesem Zusammenhang beispielsweise zu geringeren Abständen zum Vordermann und zu einer höheren Spurabweichung. Auch geben Reaktionszeiten auf eine Eingabeaufforderung oder die Zeit, bis ein Signal entdeckt bzw. erkannt wird sowie mögliche Bedienfehler wichtige Gestaltungshinweise.

Es lohnt sich die möglichen Fehler genauer zu betrachten. Die Fehler sind nicht nur beim entwickelten Produkt zu suchen und zu prognostizieren, sondern auch beim Nutzer selbst.

*D3) Welche menschbezogenen Fehler können bei der Systemanwendung auftreten?*

So sollten an dieser Stelle sowohl die Schnittstelle zwischen Mensch und Produkt sowie der Mensch selbst näher betrachtet werden. Wie kann sichergestellt werden, dass der Fahrer korrekt auf Fehlermeldungen des Systems reagiert? Welche menschbezogenen Fehler können beim Informationsverarbeitungsprozess auftreten? Maßstäbe zur Beantwortung dieser Fragen sind die Anzahl der Bedienfehler sowie die Anzahl der Fahrfehler. Als Methode bietet sich hier eine Videoanalyse oder Beobachtung des Nutzers während der ersten Evaluationsphase an.

#### **4.4 Sicherheitsrelevante Fragestellungen in der Nutzungsphase**

Nach der hier nicht näher betrachteten Phase „Transfer“ tritt als nächster Produktentwicklungsschritt die eigentliche Nutzung in den Vordergrund. In dieser Phase erfolgt eine zweite Evaluation des entwickelten Produktes, diesmal durch den Nutzer selbst oder durch die Analyse von Langzeitversuchen. Hieraus gewonnene Rückmeldungen und Akzeptanzbeobachtungen dienen als wichtiger Input für eine eventuelle Verbesserung/Anpassung des Produkts. Neben der grundlegenden Fragestellung, ob die in der Vision gesetzten Ziele umgesetzt werden konnten, ergeben sich weitere wichtige Betrachtungsschwerpunkte.

*U1) Welche (unvorhergesehenen) Fehler treten während der Nutzung auf?*

Zunächst einmal stellt sich die entscheidende Frage, ob es während der Nutzungsphase zu Systemausfällen oder -fehlern kam. Gerade, wenn der Fahrer sich an ein System gewöhnt hat und sich auf dessen Funktionalität verlässt, können Systemausfälle zu kritischen Situationen führen. Systemfehler während der Nutzung können zudem Auswirkungen auf die Produktakzeptanz beim Endkunden haben. Dies beeinflusst den Produkterfolg maßgeblich. Rechtzeitige, eindeutig einsehbare und klar verständliche System-Warnung können dieser Problematik entgegenwirken.

Eine ebenfalls wichtige Frage in der Nutzungsphase bezieht sich direkt auf den Nutzer:

*U2) Was braucht der Nutzer wirklich?*

Fraglich ist der Bedarf für neue Systeme vor allem dann, wenn sie die Sicherheit nicht mindestens auf gleichem Niveau halten. Unterstützungssysteme sollten vor allem für Situationen vorgesehen werden, die den Fahrer aufgrund ihrer Komplexität oftmals überfordern. Für Bedarfsanalysen bieten sich die Analyse von Unfallzahlen sowie des Fahrerverhaltens und Beanspruchungsniveaus in konkreten Situationen an. Dazu können z.B. Videoanalysen, Befragungen, Blickverhaltensanalysen sowie physiologische Indikatoren genutzt werden.

Wie bereits aus dem vorgestellten Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts vorgeht, kommt es im Laufe der Zeit beim Nutzer zu Anpassungsprozessen; dies wirft folgende Frage auf:

*U3) Verändert sich das Fahrerverhalten über die Nutzungsdauer?*

Der Anpassungsprozess kann in positivem oder in negativem Sinne verlaufen. Eine wichtige Frage ist in diesem Zusammenhang, inwieweit sich der Fahrer im Laufe der Systemnutzung an dessen Unterstützung gewöhnt und sich auf diese verlässt. Dies kann negative Auswirkungen auf das Situationsbewusstsein des Fahrers haben, so dass dieser in kritischen Situationen möglicherweise nicht situationsgerecht handelt. Ebenso sind Anpassungen des Nutzungsverhaltens möglich, die optimalerweise bei der Entwicklung des Systems Berücksichtigung finden.

## 5 RESUMEE

Nachdem beispielhafte sicherheitsrelevante Fragestellungen genannt und zur Fragestellung passende Kennwerte und Maßstäbe erläutert wurden, werden nachstehend die Erkenntnisse zusammengefasst. Dazu werden zwei Tabellen dargestellt, die zu den Kennwerten und Maßstäben der beiden Systematisierungsklassen Aussagen der Relevanz zur jeweiligen Entwicklungsphase beinhalten (Tabelle 1 und Tabelle 2). Die Relevanz der einzelnen Größen wurde dazu in einem Expertenworkshop bewertet.

Tabelle 1: Übersicht der Relevanz der Verhaltensgrößen in den verschiedenen Entwicklungsphasen (\* = relevant / \*\* = sehr relevant).

Kennwert / Maßstab	Phase			
	Visionsphase	Konzeptphase	Entwicklungsphase	Nutzungsphase
Unfallzahlen	**			*
Blickverhaltensanalysedaten – Blickabwendungszeit, Blickdauer, Blickhäufigkeit, Blickfolge		*	**	*
Reaktionszeiten		*	**	*
Time-to-Collision (TTC)		*	**	
Bedienverhalten – Bedienhäufigkeit, Bediendauer		*	**	*
Fahrzeugbezogene Kennwerte – Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Spurabweichung, Abstand zum Vorderfahrzeug – Lenkwinkel, Pedalstellung			*	*
Fahrfehler	*	*	**	**
Bedienfehler		*	**	*

Tabelle 2: Übersicht der Relevanz der Beanspruchungsgrößen in den verschiedenen Entwicklungsphasen (\* = relevant / \*\* = sehr relevant).

Kennwert / Maßstab	Phase			
	Visions- phase	Konzept- phase	Entwicklungs- phase	Nutzungs- phase
Blickverhaltensanalysedaten – Blicksakkaden			*	*
Empfundene Sicherheit	**	*		*
Physiologische Indikatoren – Hautleitwert, Herzschlagfrequenz, Arrhythmiequotient (ARQ)		*	*	**
Ermüdungserleben – z.B. KSS			*	*
Beanspruchungsempfinden – z.B. TLX			*	*

Die Tabellen verdeutlichen nochmals, dass die Kennwerte und Maßstäbe in mehreren Phasen eine Rolle spielen und dass es Größen gibt, die gerade in frühen oder aber in späten Phasen relevant sind.

Durch die Verwendung von identischen Messgrößen über diverse Entwicklungsphasen, lässt sich auch der Projektfortschritt hinsichtlich der menschenbezogenen Sicherheitsaspekte feststellen.

## LITERATUR

**Abendroth, Bettina (2011):** Gestaltungspotentiale für ein PKW-Abstandsregelsystem unter Berücksichtigung verschiedener Fahrertypen. Stuttgart: Ergonomia.

**Akerstedt, Torbjörn & Gillberg, Mats (1990):** Subjective and objective sleepiness in the active individual. In: International Journal of Neuroscience. Ausgabe 52.

**Bédard, Michel; Parkkari, Marie; Weaver, Bruce; Riendeau, Julie & Dahlquist, Mike (2010):** Assessment of driving performance using a simulator protocol: Validity and producibility. American Journal of Occupational.

**Bella, Francesco (2008):** Driving simulator for speed research on two-lane rural roads. Accident Analysis & Prevention, 40.

**Blana, Evi (1996):** Driving simulator validation studies: A literature review. University of Leeds, Institute for Transport Studies. IST Working Paper 480.

**Breuer, Jörg (2012):** Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen. In: Winner, Hermann; Hakuli, Stephan; Wolf, Gabriele (Hrsg.). Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Vieweg&Teuber.

**Bruder, Ralph & Lange-Morales, Karen (2013):** EQUID – Ergonomics Quality in Design: Guidelines for supporting ergonomics quality in product design and development (im Druck).

**Bruder, Ralph (2011):** Ergonomische Qualität im Design (EQUID) - ein prozessorientierter Gestaltungsansatz. In: Mensch, Technik, Organisation - Vernetzung im Produktentstehungs- und herstellungsprozess. 57. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. 23. - 25. März 2011, Chemnitz.

**Bruder, Ralph; Abendroth, Bettina & Landau, Kurt (2007):** Zum Nutzen von Fahrversuchen für die Gestaltung. In: Bruder, Ralph; Winner, Hermann (Hrsg.). Wie objektiv sind Fahrversuche. Stuttgart: Ergonomia.

**Dekra (2012):** Verkehrssicherheitsreport 2012 Mensch und Technik. Strategien zur Unfallvermeidung auf den Straßen Europas. Dekra Automobil GmbH (Hrsg.). Stuttgart: EuroTransportMedia Verlags- und Veranstaltungs-GmbH.

**Destatis (2000):** Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2010. Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 6. Juli 2011 in Berlin. Statistisches Bundesamt (Hrsg.). Wiesbaden.

**DIN EN ISO 13407 (2000):** Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme. Deutsches Institut für Normung. Berlin: Beuth Verlag.

**DIN EN ISO 9241-110 (2008):** Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung. Deutsches Institut für Normung. Berlin: Beuth Verlag.

**DIN EN ISO 9241-210 (2011):** Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Deutsches Institut für Normung. Berlin: Beuth Verlag.

**Dingus, Thomas A.; Klauer, Sheila G.; Neale, Vicki L.; Petersen, Andy; Lee, Suzanne E.; Sudweeks, Jeremy; Perez, Miguel A.; Hankey, Jonathan; Ramsey, David; Gupta, Santosh; Bucher, Craig.; Doerzaph, Zachary R.; Jermeland, Julie & Knippling, Ronald R. (2005):** The 100-Car Naturalistic Driving Study: Phase II – Results of the 100-Car Field Experiment. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration.

**Endsley, Mica R. (1988):** Situation awareness global assessment technique (SAGAT). In: Proceedings of the IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON). Dayton, 23-27 Mai 1988.

**Fuchs, Klaus; Abendroth, Bettina & Bruder, Ralph (2008):** Aktive Gefahrenbremsungen - Wie reagiert der Fahrer? In: VDI-Berichte 2048 - Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme. Düsseldorf: VDI Verlag.

**Hart, Sandra G. & Staveland, Lowell E. (1988):** Development of NASA- TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Hancock, P. A. & Meshkati, N. (Hrsg.). Human Mental Workload. Amsterdam: North Holland Press.

**Hoffmann, Jens & Gayko, Jens (2010):** Fahrerwarnelemente. In: Winner, Hermann; Hakuli, Stephan & Wolf, Gabriele (Hrsg.). Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Vieweg&Teubner.

**Kantowitz B. H.; Campbell J. L. (1996):** Pilot Workload and Flightdeck Automation. In: Parasuraman, R. & Mouloua, M. (Hrsg.). Automation and Human Performance: Theory and Applications. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

**Kauer, Michaela; Theuerling, Heike & Bruder, Ralph (2012):** The importance of identification for the acceptance of consumer electronics on the example of the Wii. Behaviour & Information Technology. London: Taylor & Francis.

**Knappe, Gwendolin (2009):** Empirische Untersuchungen zur Querregelung in Fahrsimulatoren. Vergleichbarkeit von Untersuchungsergebnissen und Sensitivität von Messgrößen. Dissertation Erlangen-Nürnberg.

**Lee, W.S.; Sung, D.H.; Lee, J.Y.; Kim, Y.S. & Cho, J.H. (2007):** Driving simulation for evaluation of driver assistance systems and driving management systems. DSC 2007, Iowa City.

**Luczak, Holger (1983):** Ermüdung. In: Rohmert, Walter & Rutenfranz, Joseph (Hrsg.). Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart: Thieme Verlag.

**Näätänen, Risto & Sumalla, Heikki (1976):** Road-user behaviour and traffic accidents. Amsterdam, Oxford: North Holland Publishing.

**Philip, Pierre; Sagaspe, Patricia; Taillard, Jacques; Valtat, Cédric; Moore, Nicholas; Akerstedt, Torbjorn; Charles, André & Bioulac, Bernard (2005):** Fatigue, sleepiness, and performance in simulated versus real driving conditions. Sleep, 28.

**Phillip, Ulrich (1978):** Zur Beurteilung der Herzschlagfrequenz bei psychophysisch hoch belastenden Tätigkeiten. Dissertation. TU Darmstadt: Institut für Arbeitswissenschaft.

**Rauch, Nadja; Gradenegger, Barbara & Krüger, Hans-Peter (2006):** Die Erfassung von Situationsbewusstsein beim Fahren mit Nebenaufgabe. In: VDI Berichte Nr. 1960 - Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme. Düsseldorf: VDI-Verlag.

**Rockwell, Thomas (1972):** Skills, judgment and information acquisition in driving. In: Forbes, Theodore Watson (Hrsg.). Human factors in highway traffic safety research. New York: Wiley.

**Rohmert, Walter (1984):** Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (ZfA). Ausgabe 4/1984.

**Rohmert, Walter; Breuer, Jörg & Bruder, Ralph (1994):** Arbeitswissenschaftliche Analyse des Verhaltens von Fahrern beim Führen eines Automobils. In: Burkardt, Friedhelm & Winklmeier, Claudia (Hrsg.). Psychologie der Arbeitssicherheit - 7. Workshop 1993. Heidelberg: Asanger Verlag.

**Rötting, Matthias (2001):** Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Dissertation. Technische Hochschule Aachen: Fakultät für Maschinenwesen.

**Schlick, Christopher; Bruder, Ralph & Luczak, Holger (2010):** Arbeitswissenschaft. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag.

**Schweigert, Manfred (2003):** Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben. Dissertation. TU München: Fakultät für Maschinenwesen.

**Seidl, Andreas (1995):** Das Menschmodell RAMSIS - Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen. In: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (Hrsg.). FAT Schriftenreihe Nr. 123. RAMSIS - ein System zur Erhebung und Vermessung dreidimensionaler Körperhaltungen von Menschen zur ergonomischen Auslegung von Bedien- und Sitzplätzen im Auto. Frankfurt: Druckerei Heinrich.

**Tingvall, Claes & Haworth, Narelle (1999):** Vision Zero - An ethical approach to safety and mobility. 6th ITE International Conference Road Safety & Traffic Enforcement: Beyond 2000. Melbourne, 6-7 September 1999.

**Vollrath, Mark; Briest, Susanne; Schießl, Caroline; Drewes, Jörn & Becker, Uwe (2006):** Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit - Bericht zum Forschungsprojekt 82.214/2001. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag N.W. Verlag für neue Wissenschaft.

**Wilde, Gerald J. S (1982):** The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. In: Risk Analysis. Vol. 2, No. 4. 1982.

**Zöller, Ilka; Diederich, Carsten; Abendroth, Bettina & Bruder, Ralph (2013):** Fahrsimulatorvalidität – Systematisierung und quantitative Analyse bisheriger Forschungen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (ZfA) (eingereicht).



# SICHERHEITSMÄßTAB SICHT – ENTWICKLUNG EINER BEWERTUNGSMETHODE

Lars Woyna, Stefan Gloger, Jochen Ruhl

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Fokus dieses Beitrages steht die Sicht an der B-Säule. Während Untersuchungen in den USA bereits grundsätzlich statistische Zusammenhänge zwischen sichtrelevanten Gestaltungsparametern der B-Säule und Verkehrsunfallhäufigkeiten aufzeigen, werden hier anhand einer Probandenversuchsreihe im realen Straßenverkehr handhabbare, Sichtkriterien für die Fahrzeugentwicklung untersucht. Mithilfe eines speziellen Versuchsaufbaus wird in einer Parametervariation eine weitgehend fahrzeug- und körpergrößenunabhängige, subjektive Akzeptanzgrenze für den Positionswinkel der B-Säule evaluiert, die sich auf zukünftige Fahrzeugprojekte allgemeingültig übertragen lässt.

## 1 EINLEITUNG

Ungeachtet der Möglichkeiten moderner Fahrerassistenzsysteme spielt die visuelle Informationsaufnahme des Fahrers für eine sichere Fahrzeugführung weiterhin die entscheidende Rolle. So hat sich in der Literatur die Auffassung etabliert (Rockwell, 1972; Höfner & Hoskovec, 1973; Hills, 1980; Esteve et al., 1999 und Abendroth & Bruder, 2009), 90% der relevanten Informationen würden vom Fahrer über den visuellen Sinneskanal aufgenommen. Die Integration zahlreicher, steigender Anforderungen (Bild 1) in ein Fahrzeug kann den visuellen Informationsfluss aus dem Fahrzeugumfeld hin zum Fahrer jedoch mitunter einschränken (Pfleger et al., 1994; Esteve et al., 1999 und Hudelmaier, 2003) und förmlich als Informationsfilterung aufgefasst werden (Woyna et al. 2010). Die Karosserie- und Interieurgestaltung spielt bei der Kaufentscheidung aber eine maßgebliche Rolle, sodass ästhetische Anforderungen bei der Fahrzeugentwicklung immer wichtiger werden. Die Fokussierung der Hersteller auf dynamische und extravagante Formensprache, geht dabei oftmals mit hohen Gürtellinien, stark geneigten Säulen und kleinen Fensterflächen einher und kann den Gestaltungsspielraum der Sichtverhältnisse stark einschränken. Auch gestiegene Anforderungen an Sicherheit und Komfort können durch vergrößerte Strukturquerschnitte, zusätzliche Bauräume in den Säulen für Airbag- & Rückhaltesysteme oder benötigter Deformationswege (erhöhte Motorhauben aufgrund Fußgängerschutzanforderungen) zu einer Verschärfung der Rundumsichtproblematik beitragen.

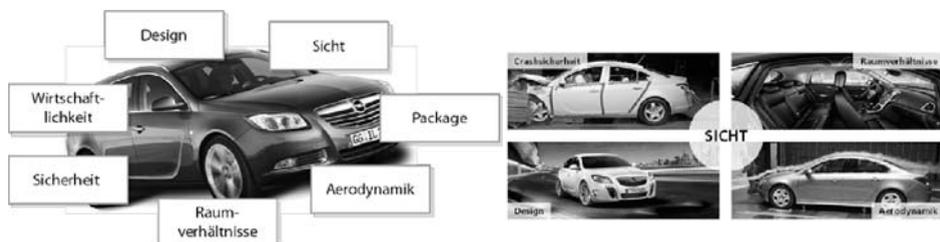


Bild 1: Anforderungen in der Fahrzeugentwicklung mit Konfliktpotential für die Fahrersichtgestaltung.

Um diese Zielkonflikte insbesondere den der aktiven und passiven Sicherheit zu entschärfen bedarf es Beurteilungskriterien und -methoden, die den Sichtbedarf erfassen, geometrisch darstellen und argumentativ in die Fahrzeugentwicklung integrierbar machen. Sichtbeurteilungsmethoden und Ansätze für die Ermittlung der benötigten Kriterien sind vielfältig und häufig sichtbereichsspezifisch.

## 1.1 Konstruktive Einflüsse und Abhängigkeiten der Sichtgestaltung an der B-Säule

Es stellt sich die Frage, warum werden B-Säulen nicht trivialerweise immer weit hinter dem Fahrer positioniert oder zumindest so stark geneigt, dass sie im Bereich der Augpunkthöhe relativ weit hinten sitzen. Die Gründe liegen in den zahlreichen konstruktiven Abhängigkeit und Wechselwirkungen, die mitunter sogar Einfluss auf die Sichtbedingungen in anderen Sichtbereichen haben. Das Feld der Verflechtungen ist mannigfaltig und kann hier nicht erschöpfend behandelt werden. Um zumindest das Bewusstsein für die Komplexität des konstruktiven Sichtgestaltungsprozesses und die Notwendigkeit aussagekräftiger, datenbasierter Kriterien für ein erfolgreiches Anforderungs-Balancing zu schärfen wird exemplarisch in Bild 2 die Wechselwirkung der Seitensicht mit der Frontsicht im Bereich der A-Säule angeführt.



Bild 2: Wechselwirkung des B-Säulenparameter „Neigungswinkel“, „Scheibenablauf“ und „Sicht a der A-Säule“ / „Sicht über die Beltline“.

## 1.2 Statistischer Einfluss der Seitensicht auf die aktive Fahrzeugsicherheit

Die Relevanz bzw. Dominanz der B-Säule für die Seitensicht auf der Fahrerseite konnte von (Sivak et al., 2006; Sivak et al., 2007) anhand statistischer Untersuchungen der relativen Unfallhäufigkeit nachgewiesen werden. In einer Analyse 3- und 5-türiger Fahrzeuge wird unter allen betrachteten, sichtrelevanten Fahrzeugparameter einzig dem B-Säulen-Sichtwinkel (zwischen y-Achse und horizontaler Tangente *Fahreraugpunkt - B-Säulen-Vorderkante*) ein signifikanter Zusammenhang zum Quotienten der relativen Häufigkeiten von Längs- zu Fahrstreifenwechselunfällen nachgewiesen. Dabei werden einzig Fahrzeuge betrachtet, die sowohl in 3- als auch in 5-türigen Karosserievarianten im Straßenverkehr vertreten sind und sich damit paarweise nur in der Lage der B-Säule unterscheiden. Dies wird als starkes Indiz für die aktive Fahrsicherheitsrelevanz der B-Säule gewertet.

## 2 SICHTBEURTEILUNGSMETHODEN

Der Gesetzgeber, die Fahrzeughersteller selbst aber auch Prüf- und Verbraucher-schutzorganisation sowie die Medien haben ein Portfolio an Sichtbewertungsmethoden, das sich nach Sichtbereich, Beurteilungskategorie (objektiv-datenbasiert vs. subjektiv-probandbeurteilungsbasiert) und der Darstellungsart bzw. dem Realitätsgrad des Beurteilungsgegenstandes bzw. der Umgebung (virtuell/ physikalisch/ augmentierte & virtuelle Realität/ statisch-klinische Beurteilungs-umgebung/ naturalistic driving) systematisieren lässt (Bild 3). Die Anforderungen der Anwender differieren diesbezüglich und somit auch die entwickelten und angewendeten Methoden.

		Beurteilungskategorie	
		objektiv	subjektiv
<b>Sichtfeld:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SVZO §35b</li> <li>• Mindestsichtfeld vordere 180°</li> <li>• SAE J1050a</li> <li>• Beschreibung &amp; Messung des Fahrsichtfeldes</li> <li>• ECE R125</li> <li>• Mindestsichtfeld vorne, Verdeckungen</li> </ul>	<b>Scheibenwischer:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FMVSS 104</li> <li>• ISO 3469</li> <li>• EWG 78/318</li> <li>• ADR 16</li> <li>• JSRA 45</li> </ul>	<b>Rückspiegel:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SVZO § 56</li> <li>• ECE R46</li> <li>• 2003/97/EWG</li> <li>• FMVSS 111</li> <li>• ADR 14</li> <li>• JSRA 44</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>2D-Laser-Theodolit:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• in Horizontal-Ebene (THV, Dekra)</li> <li>• mit Projektion (SAG, CR, NHTSA)</li> </ul> </li> <li>• <b>3D-Schaltensurf auf Boden / Wand (ISO, ECE, TRL)</b></li> <li>• <b>Fluoreszenz Verfahren (ADAC)</b></li> </ul>
<b>Windschutzscheiben-Entfrosten/Beleuchtung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EWG 78/317</li> <li>• ISO 3468 &amp; 3470</li> <li>• FMVSS 103</li> </ul>	<b>Sicherheitsglas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ECE R 43</li> <li>• ISO 3538</li> <li>• FMVSS 205</li> <li>• ADR 29</li> </ul>	<b>Schattenbänder:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SAE J100</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Digital Mock Up (DMU):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2D-Schnitte für A/B-Vergleiche</li> <li>• SAE-Ausgüsse</li> <li>• <b>Menschenmodelle</b> (z. B. RAMSIS) <ul style="list-style-type: none"> <li>• JAMES – kognitiv / FNCAP-draft / „Diamant-Schädel“</li> </ul> </li> <li>• A/B-C-Vergleiche</li> </ul> </li> <li>• <b>DMU:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aktiv:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Virtual / Augmented Reality (VR / AR)</li> </ul> </li> <li>• <b>Passiv:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Skiz. aus Ausgüssen des Menschenmodells</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

Bild 3: Zusammenstellung der wichtigsten gesetzlichen Regelungen weltweit (aktualisiert nach Hudelmaier, 2003) Systematisierung existierender Sichtbeurteilungsmethoden (nach Woyna et al., 2010).

### 2.1 Systematisierung nach dem Sichtbereich

Sichtbeurteilung geschieht wie angedeutet oftmals in einzelnen Teilbereichen, was sich auch anhand der in Front- und Hecksicht und vereinzelt Seitensicht differenzierten, zulassungsrelevanten Regelungen zur Sicht im Fahrzeug zeigt. Der Frontsichtbereich stellt gemäß seiner hohen Relevanz für die Fahrzeugführung den am stärksten durch Regelungen, Bewertungsmethoden aber auch Forschungsansätzen abgedeckten Bereich dar. Die Hecksicht rückt in jüngster Zeit aufgrund der o.g. Styling-Wechselwirkungen generell sowie aufgrund der Häufung sog. *back over accidents* (NHTSA 2009) speziell in den USA stärker ins Interesse. So wird derzeit in den USA die Einführung einer Ausrüstungspflicht für Rückfahr-Kamera-Systeme diskutiert.

Einerseits fällt auf, dass der Gesetzgeber keine Regelungen für die Gestaltung der direkten Seitensicht trifft. Zwar tangieren ECE R46 bzw. FMVSS 111 als Regelungen der *indirekten* Spiegelsicht der Außenspiegel auch die Geometrie der Fahrzeugkarosserie, eine unmittelbare Auswirkung auf die *direkte* Sicht im Bereich der B-Säule als dominantes Element bzgl. Sichtbeeinflussung im Seitensichtbereich hat dies jedoch nicht.

Andererseits stehen insgesamt nur sehr wenige Methoden für die Seitensichtbeurteilung zur Verfügung. Im Falle des fotometrischen Verfahrens des ADAC z.B. wird zwar die Verdeckungswirkung der B-Säule in Form von charakteristischen Flächenverhältnissen objektiv ermittelt, Angaben über den Hintergrund, die genaue Ausprägung und den Einfluss des Kriteriums auf die Gesamtbewertung der Seitensicht werden nicht gemacht. Ähnlich verhält es sich mit der Gruppe der in der Horizontalebene des Augpunktes messenden Laser-Theodolit-Verfahren. Sie er-

fassen zwar die B-Säule (wie jede andere Säule auch) in Lage- und Verdeckungswinkel, nutzen diese Information in aktuellen Anwendungen aber nicht über die Ermittlung der ungewichteten 360°-Verdeckungssumme hinaus. (Details zu den Methoden siehe Wonya et al. 2010).

### 3 METHODIK

Anhand der aufgezeigten Lücke bzgl. der Seitensicht-Beurteilung insgesamt und speziell der B-Säule kann ein Forschungsbedarf für die Evaluierung diesbezüglicher Bewertungskriterien abgeleitet werden. Im Folgenden widmen wir uns daher der Entwicklung einer Beurteilungsmetrik für die Sicht an der B-Säule, die auf einer systematischen Parametervergleichsstudie in Probandenversuchen basiert. Dabei bleibt die Untersuchung auf die Sichtverhältnisse auf der Fahrerseite beschränkt. Die Gründe dafür sind:

- **der geringere Abstand** (und somit eine erwartet direkteren Störwirkung) der B-Säule zum Fahrerkopf auf der Fahrerseite,
- die **Wechselwirkung** der Sichtverdeckung **auf der Beifahrerseite** zwischen B-Säule mit der vom Hersteller schwer beeinflussbaren weil Nutzer-einstellungs- und Positionsabhängigen Verdeckung **der Beifahrerrücklehne und -kopfstütze**,
- die **höheren erwarteten Unfallschwere** für den Fahrer bei Übersehen eines späteren Unfallgegners auf der Fahrerseite.
- die **Fahrzeugmittensymmetrie**, die eine unabhängige Sichtgestaltung von Fahrer- und Beifahrerseite verhindert und somit eine Priorisierung der seitenspezifischen Sichtanforderungen sowie deren dementsprechende Berücksichtigung bei der (gespiegelten) Konstruktion erfordert. (Annahme: Der gestalterische Kompromiss gespiegelter B-Säulen wird insgesamt besser, wenn er sich nach den (Sicht-) Erfordernisse der kritischeren (Fahrer-)Seite richtet.

#### 3.1 Versuchskonzept

Um die Validität i.S.v. Übertragbarkeit der Ergebnisse im verwendeten Versuchsträger auf spätere, zu entwickelnde Fahrzeug zu erweitern, berücksichtigt das Versuchskonzept hinsichtlich der Variationsparameter die probandenspezifische Augpunktposition. Dies ermöglicht die spätere Übertragung der Beurteilungsergebnisse über die Augellipse bzw. den Definitionsangpunkt im Fahrzeug, welche zudem ganz zentrale und sehr früh verfügbare Auslegungsparameter darstellen.

##### 3.1.1 Auswahl & Variationsbereich der Variationsparameter

Systematische Parameterstudien in Probandenversuchen erfordern eine zielgerichtete, wohlüberlegte Auswahl der zu variierenden Parameter(kombinationen). Um den zahlreichen konstruktiven Wechselwirkungen und Einflüssen der drei-

dimensionalen B-Säule auf die Sicht handhabbar einzugrenzen und insbesondere die geforderte Referenzierbarkeit der Variationsparameter, und somit der Beurteilungsergebnisse auf den Augpunkt, zu gewährleisten, wird das Problem der Sichtverdeckung auf die augpunktbezogenen *Sichtparameter* „Sichtwinkel  $\alpha$ “ und „Verdeckungswinkel  $\beta$ “ abstrahiert (Bild 4).

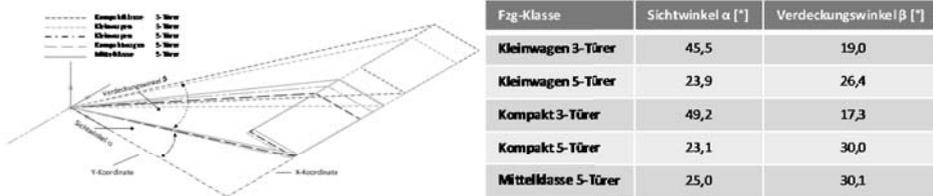


Bild 4: Definition & typ. Wertebereich für „Sichtwinkel  $\alpha$ “ und „Verdeckungswinkel  $\beta$ “. (Anm.:  $\alpha$  identisch „B-Säulen-Sichtwinkel“ Abschnitt 1.2).

Gemäß einem Screening realer Fahrzeuge bzgl. deren Sichtparameter wird die Auswahl des nötigen Variationsbereichs getroffen. Der „Verdeckungswinkel  $\beta$ “ wird nicht variiert, sondern auf einen Wert festgelegt, der eine realistische Geometrie repräsentiert. Insbesondere der erwartete, triviale Erkenntnisgewinn einer gegensinnigen Korrelation zwischen Verdeckungswinkel und Beurteilung rechtfertigt nicht den Aufwand für die Integration dieser Variable und der permutierten Variantenzahl. Zudem ist der Parameter in der Fahrzeugentwicklung erfahrungsgemäß schlechter veränderbar und wird ohnehin zu minimieren versucht. Daher wird der Parametervergleich auf den Sichtwinkel  $\alpha$  beschränkt, der in sieben äquidistanten Schritten zwischen  $8^\circ$  und  $26^\circ$  simuliert wird. Dieser Wertebereich ergibt sich erfahrungsgemäß als das, was sehr große Fahrer ( $8^\circ$ ) bzw. sehr kleine Fahrer ( $26^\circ$ ) in 5-türigen Fahrzeugen erleben.

### 3.1.2 Hypothesen

Die klassische Auffassung bei der Seitensichtgestaltung ist, dass die Sichtverhältnisse umso besser sind, je weiter hinten die B-Säule liegt. Nach (SIVAK et al. 2006) trifft dies auf den objektiven Sicherheitsaspekt offenbar zu, für die Subjektiveurteilung wird hieraus zunächst die erste Hypothese formuliert:

**H1:** „Je größer der Sichtwinkel  $\alpha$  der B-Säule wird, desto besser ist im Mittel die Beurteilung der Sicht zur Seite.“

Dieser Vorstellung entsprechend kann eine zweite Hypothese für den Fall der Nicht-Falsifizierung der H1 aufgestellt werden, die die Vermutung trägt, dass die Verringerung des Sichtwinkels unter einen zu bestimmenden Grenzwert hinaus zur Unterschreitung einer Akzeptanzgrenze der Sichtbedingungen führt.

Die entsprechende Hypothese lautet:

**H2:** „Es existiert ein unterer Grenzwert des Sichtwinkels an der B-Säule bei dessen Unterschreitung die Sichtbedingungen im Mittel als nicht mehr akzeptabel bewertet werden.“

Eine dritte Hypothese stellt einen Sonderfall dar. Sehr große Fahrer bzw. solche mit sehr weit hinten liegenden Augpunkten in Fahrzeugen mit rel. weit vorne liegender B-Säule (4-/5-Türer) können beim Schulterblick nicht mehr vor sondern durchaus bereits hinter der B-Säule durch das hintere Seitenfenster schauen. Dies nährt die Vermutung, dass die Beurteilung in dieser Konstellation gegenüber einem leicht größeren Sichtwinkel (entgegen *H1*) bereits wieder ansteigen könnte:

**H3:** „Es existiert (innerhalb des Variationsbereiches) ein Bewertungs-Minimum für einen Sichtwinkelwert, eine Erhöhung oder Verminderung des Sichtwinkels ausgehend von diesem Wert führt zu einer Verbesserung der Bewertung.“

## 3.2 Versuchsaufbau

### 3.2.1 Versuchsträger

Die Beurteilung des Sicht-Parameters erfolgt anhand eines variablen B-Säulen-Dummies in einem Versuchsträger (Opel Astra TwinTop), der ohne eigene B-Säulen ideale Voraussetzungen für eine (witterungsunabhängige) Durchführung im realen Straßenverkehr bietet. Der Verstellbereich des B-Säulen-Dummy erlaubt die Einstellung des gesamten Variationsbereichs der Sichtparameter abgestimmt auf den zuvor ermittelten Augpunkt des jeweiligen Probanden (Bild 5). Versuchsplanerisch ist die *dynamische* Beurteilung aller sieben Sichtwinkel durch jeden Probanden nicht möglich. Daher erfolgt für die dynamische Beurteilung eine Zuteilung von je drei Sichtwinkeln je Proband derart, dass deren Erfahrungshorizont, antizipiert anhand des gemessenen Augpunktes, berücksichtigt wird. Dies dient der Generierung realistischer Beurteilungsszenarien seitens der Probanden sowie der Sicherstellung der technischen Realisierbarkeit. (Anm.: *kleine „Sitzriesen“ werden sehr kleine  $\alpha$  real nie erleben, da die entsprechende Tür unrealistisch kurz wäre*). Die verbleibenden vier Sichtwinkel werden jeweils im Anschluss an die drei dynamischen Beurteilungsfahrten auf der Versuchsstrecke in einer statischen Beurteilung bewertet. Der Sichtwinkel  $23^\circ$  wird von allen Probanden sowohl dynamisch als auch statisch bewertet.

Versuchs- umgebung:	Zurordnung: Probandengruppe - Sichtwinkel		
	Gruppe 1 groß	Gruppe 2 mittel	Gruppe 3 klein
dynamisch:	8°/14°/23°	11°/20°/23°	17°/23°/26°
statisch:	11°/17°/20°/23°/26°	8°/14°/17°/23°/26°	8°/11°/14°/20°/23°
beurt. Sichtwinkel:	8°/11°/14°/17°/20°/23°/26°		

Bild 5: Integration des variablen B-Säulen-Dummy im Versuchsträger (links); Zuteilung der Sichtwinkel (rechts).

### 3.2.2 Versuchsstrecke

Die Versuchsstrecke im inner- und außerstädtischen Gebiet von Rüsselsheim stellt eine Komposition seitensichtrelevanter Verkehrssituationen dar (Bild 6). Die Beurteilungen wurden jeweils direkt nach Durchfahren der Situationen vom Versuchsbegleiter im Fahrzeug in Interviewform aufgenommen.



Bild 6: Situationsgehalt und -lokalisierung der Beurteilungsszenarien in der Versuchsstrecke in Rüsselsheim.

### 3.2.3 Erhebungswerkzeug

Die zur Erhebung verwendete Bewertungsskala ist die 10-stufige sog. *GMUTS-Rating Scale* (Bild 7), die GM-intern standardisiert für subjektive Fahrzeugbeurteilungen im Entwicklungsbereich entwickelt und eingesetzt wird. Alle Probanden sind als GM-Mitarbeiter ausreichend mit der Skala und ihrer Interpretation insbesondere bzgl. der Akzeptanzgrenze bei 6-GMUTS-Punkten vertraut.

Punktwert	Interpretation	Weitere Umschreibung
10	Ausgezeichnet	Dem Wettbewerb eine Evolutionsstufe voraus
9	Sehr gut	Spitzengruppe Wettbewerb
8	Gut	Oberer Wettbewerbsdurchschnitt
7	Befriedigend	Gewöhnungsphase nötig - unterer Wettbewerbsdurchschnitt
6	Noch akzeptabel	Für Kunden als ständig störend bzw. ständiger Kritikpunkt empfunden
<b>Grenzfall</b>		
5	Unbefriedigend	Geht nicht, nicht akzeptabel
4	Mangelhaft	kein Kauf; wird als Fehler erkannt
3	Ungenügend	
2	Schlecht	
1	Sehr schlecht	

Bild 7: GM-interne GMUTS-Rating Scale für subjektive Fahrzeugbeurteilungen.

### 3.2.4 Probandenkollektiv

Das 30-köpfige Probandenkollektiv differenziert sich hinsichtlich des Untersuchungskontextes im Wesentlichen nach Körpergröße und Augpunktlage (Bild 8). Die Gruppeneinteilung anhand der ermittelten Augpunkte dient u.a. der in Bild 5 dargestellten Zuteilung der Sichtwinkel.

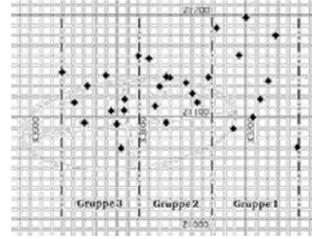
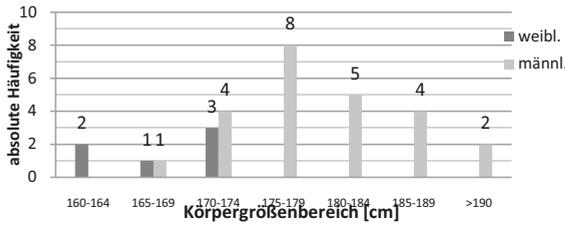


Bild 8: Probandenkollektiv: Histogramm der Körpergrößenhäufigkeiten; Augpunktverteilung und augpunktbasierte Gruppenzuteilung.

#### 4 ERGEBNISSE

Die Roh-Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung bestehen primär aus der Beurteilungsverteilung der sieben Sichtwinkel (Bild 9). Vor der eigentlichen Analyse bzw. der Hypothesen-Testung werden dynamische und statische Daten aggregiert, wozu zunächst auf Basis der doppelten Beurteilung für 23° ein Vergleich auf Unterschiede der beiden Beurteilungen vorgenommen wird. Die Ergebnisse von Probanden, deren dynamische und statische Bewertung für 23° jeweils um mehr als |0,5| GMUTS-Punkte voneinander abweichen, werden aus der aggregierten Ergebnismenge gelöscht. Dieses Kriterium reduziert die Kollektivgröße der aggregierten Daten auf  $N_{agg} = 25$ . Der Spearman'schen Korrelationskoeffizienten zwischen dyn. & stat. Ergebnissen (für 23°) liegt dann bei  $R = 0,89$ .

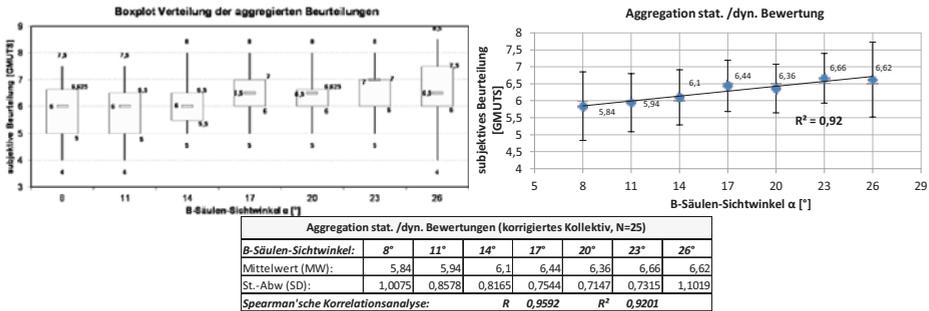


Bild 9: Boxplot-Darstellung und Mittelwerte (+/- 1fache SD) der aggregierten Beurteilungsverteilung der sieben getesteten B-Säulen Sichtwinkel.

#### 4.1 Hypothesen-Test

Zur Abschätzung der Übertragbarkeit der Stichprobenergebnisse auf die Grundgesamtheit müssen die aufgestellten Hypothesen verifiziert werden. Die Ergebnisse der dazu nötigen, statistischen Tests werden im Folgenden thematisiert.

## 4.1.1 H1

Die Überprüfung der  $H_1$  bezüglich der erwarteten Korrelation zwischen den Merkmalen *Sichtwinkel* und *subjektiver Seitensichtbeurteilung* erfolgt anhand des parameterfreien Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten. Dieser gilt bei Anwendung auf intervallskalierten Daten als robuster als ein einfacher Test auf lineare Korrelation und ist zudem widerstandsfähiger gegen Ausreißer. Tabelle 1 zeigt die Testergebnisse bzgl. der Rangkorrelationskoeffizienten.

Tabelle 1: Spearman's  $\rho$  ( $r_s$ ) für Median und Mittelwerte.

Spearman'scher Rangkorrelationskoeffizient für Mediane:								Spearman'scher Rangkorrelationskoeffizient für Mittelwerte:											
Anzahl Stichprobe	i	1	2	3	4	5	6	7	Summe:	Anzahl Stichprobe	i	1	2	3	4	5	6	7	Summe:
Sichtwinkel	x <sub>i</sub>	8	11	14	17	20	23	26	-	Sichtwinkel	x <sub>i</sub>	8	11	14	17	20	23	26	-
Median	y <sub>i</sub>	6	6	6	6,5	6,5	7	6,5	-	Mittelwerte	y <sub>i</sub>	5,84	5,94	6,1	6,44	6,36	6,66	6,62	-
Rang(Winkel)	R(x <sub>i</sub> )	1	2	3	4	5	6	7	28	Rang(Winkel)	R(x <sub>i</sub> )	1	2	3	4	5	6	7	28
Rang(Beurteilung)	R(y <sub>i</sub> )	2	2	2	5,33	5,33	7	5,33	28,99	Rang(Beurteilung)	R(y <sub>i</sub> )	1	2	3	5	4	7	6	28
Rangplatzdifferenz	d <sub>i</sub>	-1	0	-1	-1,33	-0,33	-1	1,67	-0,99	Rangplatzdifferenz	d <sub>i</sub>	0	0	0	-1	1	-1	1	0
	d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	1	0	1	1,77	0,11	1	2,79	7,67		d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	0	0	0	1,00	1,00	1	1,00	4,00
	$r_{s, Median}^*$	0,86										$r_{s, Mittelw}^*$							0,929

Zur Prüfung der Signifikanz der Merkmals-Korrelation wird der Spearman-Test auf Unabhängigkeit angewendet. Die hierfür formulierte Nullhypothese „Sichtwinkel und Sichtbeurteilung“ sind statistisch unabhängig“ ( $H_0: R=0$ ) kann gemäß dem vorherigen Korrelations-Test auf hochsignifikantem Niveau zugunsten der Gegenhypothese „Sichtwinkel und Sichtbeurteilung sind gleichsinnig korreliert“ ( $H_1: R>0$ ) abgelehnt werden, da der ermittelte Koeffizient  $r_s$  bzgl. der *Mediane* wie auch der *Mittelwerte* größer ist als die, dem *Signifikanzniveau*  $S$  entsprechende Testschranke  $r_{s,n}^*$  ( $r_{0,90,7} = 0,71$ ;  $r_{0,95,7} = 0,79$ ;  $r_{0,99,7} = 0,93$ ).

Demnach kann  $H_1$  nicht verworfen werden. Die Bewertung der Sicht zur Seite im Bereich der B-Säule kann als stark positiv korreliert mit dem Sichtwinkel der B-Säule angenommen werden.

## 4.1.2 H2

Wie bereits der Boxplots (Bild 8) zeigt, wird ein Sichtwinkel von  $\alpha = 14^\circ$  und kleiner von jeweils 50% der Probanden als bestenfalls „noch akzeptabel“ beurteilt. Zudem liegen die Beurteilungsmittelwerte für Sichtwinkel  $\alpha < 14^\circ$  unterhalb von 6. Sichtwinkel  $\alpha > 14^\circ$  erhalten hingegen von je 75% der Probanden mindestens eine „noch akzeptable“ oder bessere Bewertung und auch die Beurteilungsmittelwerte liegen für  $\alpha > 14^\circ$  ebenfalls deutlich über der Akzeptanzgrenze von 6, während die Mittelwerte für  $\alpha \leq 14^\circ$  nur marginal von der Akzeptanzgrenze abweichen. Diese tendenzielle Zweiteilung der Ergebnisse könnte zunächst als Hinweis für die Bestätigung von  $H_2$  gewertet werden.

Mittels eines einfachen linksseitigen t-Tests (Einstichproben-t-Test) wird anhand des Bewertungsmittelwertes für  $\alpha = 11^\circ$  (bzw.  $8^\circ$ ) statistisch geprüft, ob der Mittelwert der entsprechenden Grundgesamtheit signifikant die Akzeptanzgrenze 6 unterschreitet. Die Prüfbedingung  $t < -T(1 - \alpha_{Sig}, n - 1) = T(0,95, 24) = 1,711$  zur Ablehnung der  $H_0$  des linksseitigen t-Tests wird von dem sich gemäß Beurteilungsvorteilung ergebenden Prüfwert  $t_{8^\circ} = -0,349$  ( $t_{11^\circ} = -0,795$ ) nicht erfüllt:

$$t_{8^\circ} = -0,3497 \not< -1,711; t_{11^\circ} = -0,7949 \not< -1,711$$

Somit kann auf einem *Signifikanzniveau* von  $\alpha_{sig} = 5\%$  die  $H_0: \mu \geq \mu_0 = 6$  nicht zugunsten der  $H_1: \mu < \mu_0 = 6$  abgelehnt werden. Demnach kann im Sinne der  $H_2$  keine *signifikante* Unterschreitung der Akzeptanzgrenze (GMUTS 6) durch Unterschreitung des Sichtwinkels von  $14^\circ$  nachgewiesen werden. Hypothese 2 ist strenggenommen abzulehnen.

Der entsprechende rechtsseitige Test für  $\alpha = 17^\circ$  hingegen zeigt, dass die Akzeptanzgrenze 6 *signifikant* ( $\alpha_{sig} = 5\%$ ) überschritten wird:

$$t_{17^\circ} = 2,916 > 1,711 = T(1 - \alpha_{sig}, n - 1)$$

Für die Praxis kann trotz Ablehnung von  $H_2$  die Erkenntnis gewonnen werden, dass ein B-Säulensichtwinkel die  $17^\circ$  nicht unterschreiten sollte, wenn man eine erwartete Beurteilungen sicherstellen möchte, die besser als „noch akzeptabel“ ist.

Basierend auf diesen Betrachtungen kann ein B-Säulen-Sichtwinkel von  $\alpha = 17^\circ$  als Untergrenze für einen akzeptierten Wert empfohlen werden.

#### 4.1.3 $H_3$

Hypothese 3 und  $H_1$  sind nicht unabhängig, da beide nicht gleichzeitig zutreffen können. Da  $H_1$  mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% nicht zurückgewiesen werden kann, muss  $H_3$  statistisch verworfen werden. Zudem zeigt ein beidseitiger T-Test (identische Prüfwerte wie linksseitigen t-Test in Abschnitt 4.1.2), dass die Prüfbedingung für  $H_0: \mu \neq \mu_0 = 6$  nicht abgelehnt werden kann:

$$|t_\alpha| > 2,064 = T\left(1 - \frac{\alpha_{sig}}{2}, n - 1\right)$$

Die Mittelwerte für  $\alpha < 14^\circ$  sind somit für das korrigierte, aggregierte Gesamtkollektiv nicht signifikant von der Akzeptanzgrenze verschieden und können somit auch nicht mehr für kleiner werdende Sichtwinkel ansteigen.  $H_3$  ist zu verwerfen.

Der große Wertebereich zwischen dem unteren und dem oberen Quartil der Bewertungen für kleine Sichtwinkel (Bild 8) und auch die Standardverteilungen nähern jedoch die Vermutung, dass sich die Falsifizierung von  $H_3$  *körpergrößen-differenziert* betrachtet anders darstellt. Dies ist insbesondere für das Teilkollektiv der großen Fahrer (Gruppe 1), die den  $H_3$  zugrunde gelegten Effekt kennen könnten, zu untersuchen.

Aufgrund der kleineren, korrigierten (Teil-)Kollektive ( $N = 8/9/8$ ) wird diese Untersuchung auf eine qualitative Betrachtung der Mittelwerte bzw. Mediane beschränkt (Bild 10). Die drei probandenspezifischen Mittelwertverteilungen bestätigen die Aussagen zu  $H_3$ . Gruppe 1 allein zeigt das postulierte Verhalten nicht. Die kleinsten Sichtwinkel erhalten die nahezu geringsten gruppeninternen Bewertungen. Die Mediane bzgl. Gruppe 1 könnten  $H_3$  noch unterstützen, aufgrund der, für die Streubreite und insbesondere den kleinen Teilkollektivumfang geringen Unterschiede wird auch für die gruppendifferenzierte Betrachtung an der Verwerfung von  $H_3$  festgehalten. Die Betrachtung von Gruppe 2 und 3 unterstützt dies ebenfalls.

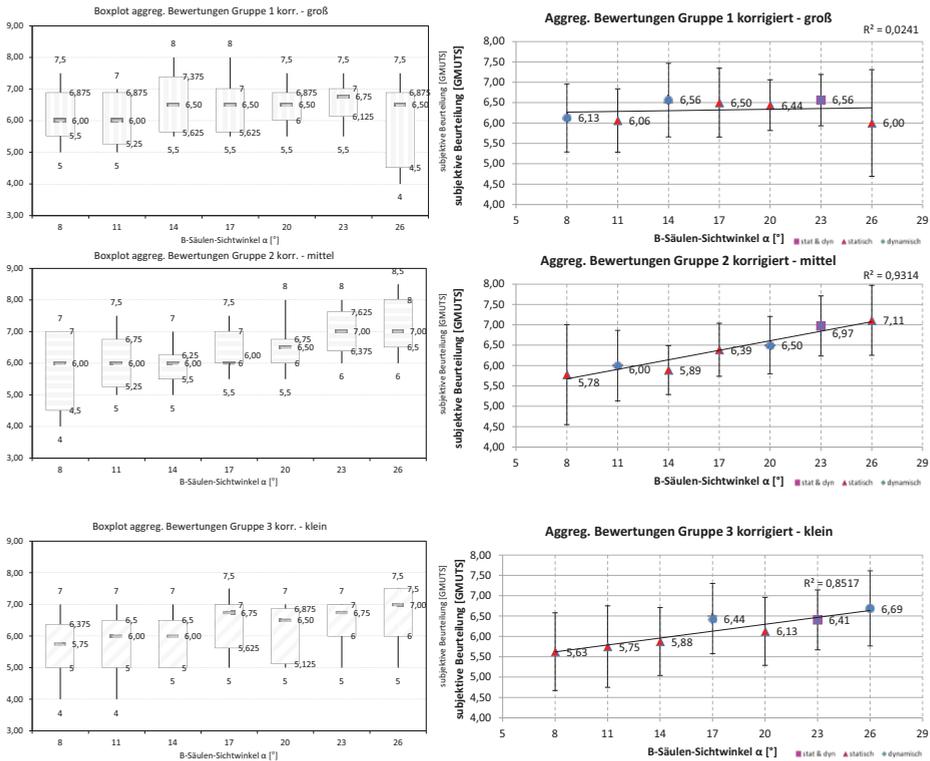


Bild 10: Boxplot & Mittelwerte (+/- 1fache SD) der aggregierten Beurteilungen der sieben getesteten B-Säulen Sichtwinkel - Probandengruppe 1 – 3.

Die auffällig schlechte Beurteilung des größten Sichtwinkels durch Gruppe 1 rührt indes höchstwahrscheinlich von der Verringerung der hinteren Seitenfensterfläche, die sich bei großen Fahrern bei Einstellung des größten Sichtwinkels ergibt.

## 4.2 Dynamische vs. Statische Sichtbeurteilung

Der Vergleich der dynamischen und statischen Erhebung ist im Kontext einer zeitlich gerafften Fahrzeugentwicklung und dem Bedarf an effizienten und validen Beurteilungsmethoden von besonderem Interesse.

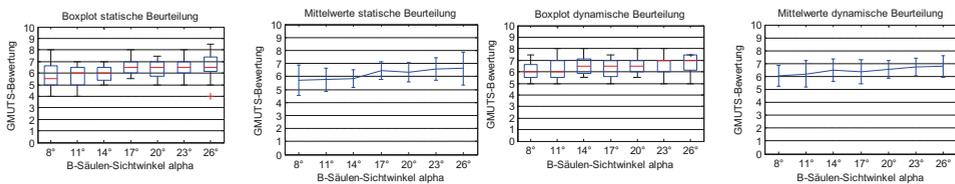


Bild 11: Gegenüberstellung stat. & dyn. Ergebnisse (Boxplots, MW +/- 1x SD).

Ungeachtet der unterschiedlichen Stichprobenumfänge (dyn ~10 Bewertungen pro Winkel, statisch ~20) zeigt der Vergleich der Bloxplots und Mittelwertverteilungen beider Teilmengen, dass die Sichtwinkel in der dynamischen Beurteilung generell etwas besser beurteilt zu werden scheinen (Bild 11). D.h. die statischen Beurtei-

lungen werden etwas kritischer – evtl. konservativer – getätigt. Für rein statische Untersuchungen der B-Säulen-Sicht kann dies als Hinweis bedeutet werden, dass die Ergebnisse tendenziell auf der sicheren Seite bzgl. späterer Beurteilung im dynamischen Fahrbetrieb liegen sollten. Die Spearman'schen Korrelationskoeffizienten für einen linearen Zusammenhang zwischen statischer und dynamischer Bewertung, wie er vorn für die Kollektivkorrektur herangezogen wird, spricht mit einem Wert von  $R = 0,89$  zudem für eine starke Korrelation zwischen statischer und dynamischer Beurteilung. Allerdings ist für eine eventuelle Substitution dynamischer durch statische Beurteilungen ggf. die Verwendung eines Probandenpools zu empfehlen, der hinsichtlich ausreichend ähnlichen Beurteilungsverhaltens in statischem und dynamischem Umfeld validiert wurde.

## 5 DISKUSSION

Eine statistisch signifikante Korrelation hat streng genommen noch keine Beweiskraft für einen ursächlichen, kausalen Zusammenhang. Da die Bewertung der Sicht der simulierten Fahrzeugstruktur durch die Abstrahierung der Sichtbedingungen an der B-Säule auf die Sichtparameter Sicht- und Verdeckungswinkel reduziert und damit weitestgehend von anderen konstruktiv-geometrischen Sichteinflussfaktoren isoliert wird, können die statistischen Korrelationen als kausal mit den ursprünglichen Hypothesen über die Zusammenhänge der Sichtbeurteilung nachvollzogen und erklärt werden.

### 5.1 Bedeutung der Ergebnisse für die Fahrzeugauslegung

Mit der evaluierten Akzeptanzgrenze für einen B-Säulensichtwinkel von  $\alpha = 17^\circ$ , die im Sinne der Kundenzufriedenheit nicht unterschritten werden sollte, ist es nun möglich anhand der SAE-Augellipse im Auslegungs- bzw. bereits im Anforderungsdefinitionsprozess diese Mindestanforderung für entsprechende Perzentile festzulegen. Dabei hat sich die allgegenwärtige These „je größer der Sichtwinkel, desto besser die Probandenbewertung“ bewahrheitet. Darüber hinaus hat die Verwerfung von  $H3$  gezeigt, dass es keine Option sein sollte, (großen) Fahrern bewusst den Blick zur Seite bereits durch die hinteren Seitenscheiben anzubieten.

Damit lässt sich für ein geometrisches Sichtkriterium in der Fahrzeugkonfiguration ein Sichtstrahl empfehlen, der tangential an der Hinterseite der SAE-Augellipse mit  $\alpha \geq 17^\circ$  Sichtwinkel zur B-Säule verläuft. Hingegen würde die klassische Orientierung dieses Sichtstrahls am SAE-Definitionsangpunkt (627mm in z über dem Definitions-H-Punkt) aufgrund seiner relativen Nähe zum Schnittpunkt der Ellipse-Halbachsen dazu führen, dass einem großen Teil des Nutzerkollektivs höchstwahrscheinlich keine akzeptablen Seitensichtbedingungen ( $\alpha_{\text{individuell}} < 17^\circ$ ) geboten werden würden (Bild 12, Topview).

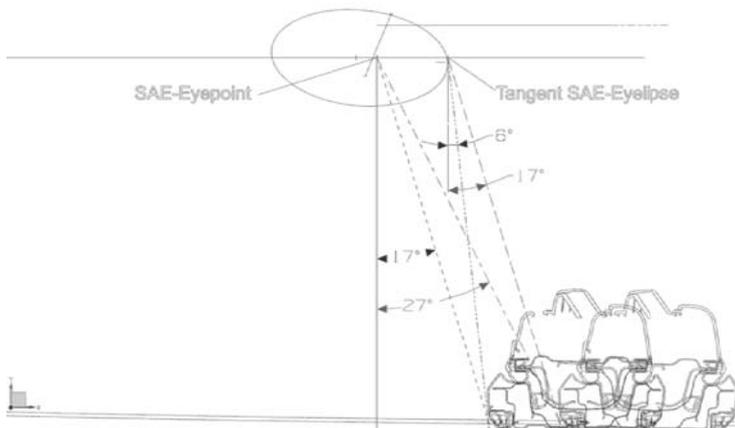


Bild 12: Auslegung anhand Tangente an der Augellipse vs. im SAE-Augpunkt.

## 5.2 Ausblick

Aufgrund der Mittensymmetrie bzgl. einer Vielzahl von sichtwirksamen Fahrzeugbauteilen und der Fokussierung im Rahmen der Untersuchung auf die *Fahrerseite* aus den oben genannten Gründen ist in einem nächsten Schritt die Auswirkungen der Übertragung des evaluierten Sichtkriteriums der Fahrerseite auf die beifahrerseitige B-Säule zu verifizieren. Es sollte explizit ausgeschlossen werden können, dass es bei Einhaltung des Sichtkriteriums auf der Fahrer- (und zwangsweise indirekt auf der Beifahrerseite) zu konträren Beurteilungsergebnissen und somit zu einem Zielkonflikt zwischen Sicht nach links und Sicht nach rechts führt.

Ggf. wäre die Empfehlung von  $\alpha \geq 17^\circ$  zugunsten eines leicht größeren Sichtwinkels zu korrigieren, falls die Sichtbeurteilung auf der Beifahrerseite mit der gespiegelten Säule auf der Beifahrerseite (für  $17^\circ$  gemessen an der Fahrerseite) nicht auch zu einer mindestens akzeptablen Bewertung führt.

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse insbesondere bzgl. H3 sollte zudem für sog. High-Roof-/Hoch-Sitzer-Fahrzeuge validiert werden, da sich die Sitzposition und Augpunkthöhe in diesen Fahrzeugen von den hier betrachteten „Low-Roofs“ unterscheidet. Vor allem die höhere Augpunktposition relativ zur Fahrzeuggürtellinie könnte die Beurteilung der Sicht durch das hintere Seitenfenster begünstigen.

## LITERATUR

**Abendroth, Bettina; Bruder, Ralph (2009):** „Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung“. Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. Hrsg.: Winner, Hermann; Hakuli, Stephan; Wolf, Gabriele. Wiesbaden: Vieweg, S. 4-14.

**Esteve, Bruno; Berger, Henri; Aoussat, Ameziane; Duchamo, Robert (1999):** Visibility of Vehicles -Concept of Visibility Field Proposal for a Measurement and Evaluation Method Based on Photogrammetry. SAE Technical Paper 1999-01-3234. Warrendale: SAE Int'l.

**Hills, Brian L. (1980):** „Vision, Visibility, and Perception in Driving“. Perception 9: S. 183-216.

**Höfner, Klaus ; Hoskovec, Jiri (1973):** Registrierung der Blickbewegung beim Autofahren - bisherige Forschungen. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 19 Nr. 4, S. 222 – 241.

**Hudelmaier, Jörg (2003):** Sichtanalyse im Pkw unter Berücksichtigung von Bewegung und individuellen Körpercharakteristika. München, Technische Universität München, Fakultät für Maschinenwesen.

**NHTSA (2009):** Advanced Notice of Proposed Rulemaking, FMVSS No. 111, Rearview Mirrors, Docket No NHTSA 2009-0041, 28. Februar 2009 ([http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/Rulemaking/Rules/Associated%20Files/Rear\\_Visibility\\_ANPRM\\_022509.pdf](http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/Rulemaking/Rules/Associated%20Files/Rear_Visibility_ANPRM_022509.pdf), letzter Aufruf: 12. Dez. 2012).

**Pfleger, Ernst; Berger, Wolfgang; Pichler, Christoph (1994):** „Unfallursachenforschung bei Unfallhäufungsstellen - Fallbeispiele für Informationsdefizite“. Interdisziplinäre Unfallforschung: Informationsaufnahme des Verkehrsteilnehmers. Hg: Marx, Erich. 3. Fachtagung Verkehrssicherheit, Mitt. Institut für Verkehrswesen. Heft 24. Wien: Institut für Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Wien, S. 47-83.

**Rockwell, Thomas H. (1972):** Skills, judgment and information acquisition in driving. In: FORBES, T.W. (Hrsg.): Human factors in highway traffic safety research..New York, NY: Wiley-Interscience, S. 133-164.

**Sivak, Michael; Schoettle, Brandon; Reed, Matthew P.; Flannagan, Michael J. (2009):** Influence of visibility out the vehicle cabin on lane change crashes Accident Analysis and Prevention, 38 (5), pp. 969-972.

**Sivak, Michael; Schoettle, Brandon; Reed, Matthew P.; Flannagan, Michael J (2007):** Body-pillar vision obstructions and lane-change crashes (2007) Journal of Safety Research, 38(5), pp. 557-561.

**Wonya, L.; Gloger, S.; Bruder, R. (2010):** Methodische Ansätze zur Sichtbeurteilung im Fahrzeug. In: Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten, 56. Frühjahrskongress der GfA, 24. - 26. März 2010 in Darmstadt, Tagungsband. Dortmund: GfA-Press, S. 131-134.

# **BEWERTUNGSGRUNDLAGEN ZUR BEURTEILUNG DER FAHRBEFÄHIGUNG BEI DER PRAKTISCHEN FAHRERLAUBNISPRÜFUNG**

*Michael Bahr, Dietmar Sturzbecher*

## **ZUSAMMENFASSUNG**

Über welches Wissen und Können müssen Fahrzeugführer verfügen? Zur Beantwortung dieser Frage kann eine Betrachtung der rechtlichen und pädagogisch-psychologischen Grundlagen der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung beitragen, in der Fahrerlaubnisbewerber gemäß § 2 Straßenverkehrsgesetz ihre Fahrbefähigung nachweisen müssen. Daher wird im vorliegenden Beitrag zunächst auf die rechtliche Bedeutung der Begriffe „Eignung“ und „Befähigung“ eingegangen und auf die abweichende Verwendung dieser Begriffe in der Psychologie hingewiesen. Danach wird die Bedeutung der Fahrerlaubnisprüfung als Kompetenzprüfung herausgearbeitet. Die Erläuterung der Aktivitäten zur Optimierung der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung, bei denen es sehr stark darum geht, die für das sichere Fahren notwendige Fahrkompetenz als Prüfungsgegenstand schärfer zu fassen, stellt den Hauptteil des Beitrags dar. Als zentrales Element eines methodisch optimierten Prüfungskonzepts, das zu einer präziseren Bestimmung des Prüfungsgegenstands - nämlich der Verhaltensanforderungen beim Fahren - führt, wird das Fahraufgabenkonzept vorgestellt. Dieses bildet die Basis für ein elektronisches Prüfprotokoll. Dabei handelt es sich um eine dem Prüfer für seine Prüftätigkeit mittels Tablet-PC an die Hand gegebene Vorgabe zur Prüfungsdurchführung und zur Dokumentation der Prüfungsergebnisse. Mit Hilfe des elektronischen Prüfprotokolls soll künftig die Fahrkompetenz von Fahrerlaubnisbewerbern vor dem Hintergrund definierter Fahraufgaben(klassen), kompetenzbezogener Beobachtungskategorien und expliziter Bewertungsstandards in systematischer Weise erfasst und dokumentiert werden. Ein in dieser Weise optimiertes Prüfungskonzept verbessert die methodische Prüfungsgüte, stärkt die Steuerungs- und Selektionsfunktion der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung und schafft durch die differenzierte Dokumentation von Prüfungsdaten zusätzliche Möglichkeiten der Prüfungsevaluation.

## **1 DIE PRAKTISCHE FAHRERLAUBNISPRÜFUNG – BEGRIFFLICHE EINORDNUNG**

Gemäß § 2 des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) muss jeder, der auf öffentlichen Straßen ein Kraftfahrzeug führen möchte, eine Fahrerlaubnis besitzen. Voraussetzung dafür ist, dass er zur Fahrzeugführung „geeignet“ und „befähigt“ ist. Nach § 2 Abs. 4 StVG sind Personen zum Führen von Kraftfahrzeugen geeignet, welche die notwendigen körperlichen und geistigen Anforderungen erfüllen und nicht erheblich bzw. wiederholt gegen verkehrsrechtliche Vorschriften oder gegen Strafgesetze verstoßen haben. Befähigt zum Führen von Kraftfahrzeugen ist nach § 2 Abs. 5 StVG, wer:

1. ausreichende Kenntnisse der für das Führen von Kraftfahrzeugen maßgebenden gesetzlichen Vorschriften hat,
2. mit den Gefahren des Straßenverkehrs und den zu ihrer Abwehr erforderlichen Verhaltensweisen vertraut ist,

3. die zum sicheren Führen eines Kraftfahrzeugs, gegebenenfalls mit Anhänger, erforderlichen technischen Kenntnisse besitzt und zu ihrer praktischen Anwendung in der Lage ist und
4. über ausreichende Kenntnisse einer umweltbewussten und energiesparenden Fahrweise verfügt und zu ihrer praktischen Anwendung in der Lage ist.

Nach Bönninger & Sturzbecher (2005, 20) handelt es sich bei diesen beiden Beschreibungen um juristische Begriffsdefinitionen, die der Abgrenzung von Mindestanforderungen dienen. Mit dem Begriff „Fahreignung“ sind solche (charakterlichen, körperlichen und geistigen) Anforderungen gemeint, die bei der Mehrzahl der Fahrerlaubnisbewerber im Normalfall als gegeben angesehen werden können und nur dann im Einzelfall zu überprüfen sind, wenn sich - z.B. bei wiederholten Verstößen gegen verkehrsrechtliche Vorschriften oder gegen Strafgesetze - Hinweise auf ihre unzureichende Ausprägung ergeben. Davon abzugrenzen ist, welche speziellen Fähigkeiten von jedem Fahrerlaubnisbewerber zusätzlich im Rahmen der Fahrschul Ausbildung erworben werden und in einer Befähigungsprüfung nachgewiesen werden müssen.

Diese juristischen Definitionen entsprechen nicht den psychologischen Bedeutungen der Begriffe „Eignung“ und „Befähigung“. So schließt der psychologische Eignungsbegriff auch Fähigkeiten mit ein. Bönninger & Sturzbecher (2005) stellen die Sinnhaftigkeit der juristischen Abgrenzung nicht in Frage, hätten sich allerdings weniger problematische Begriffe vorstellen können, wie etwa die Unterscheidung zwischen einer „Grundeignung“ und einer Fahrbefähigung, die „spezielle Eignungskomponenten“ umfasst, welche im Rahmen der Fahrschul Ausbildung erworben werden.

### 1.1 Fahrkompetenz als Diagnosegegenstand der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung

Für die Verbesserung der methodischen Grundlagen zur Bewertung der Fahrfähigkeit sehen es Sturzbecher et al. (2010, 18f.) als entscheidend an, inhaltliche Fähigkeitskomponenten bzw. Fahrverhaltensanforderungen in pädagogisch-psychologisch sinnvoller Weise zu bestimmen und voneinander abzugrenzen. Als zielführend erscheint es ihnen dabei, das von Weinert (2001) entwickelte Kompetenzkonzept aufzugreifen. Dieses Konzept basiert auf dem handlungstheoretischen Modell der „beruflichen Handlungskompetenz“, mit dem Anforderungen an Lernende in der Berufswelt beschrieben werden. In diesem Bereich wurde die bis in die 90er Jahre hinein vorherrschende fachsystematische Befassung mit berufsspezifischen Ausbildungsinhalten von einem an Lernfeldern orientierten übergreifenden Handlungskompetenzkonzept im Sinne einer umfassenden Problemlösefähigkeit abgelöst. Dieses Kompetenzkonzept lässt sich auch auf die Belange der Fahrausbildung und der Fahrerlaubnisprüfung übertragen. Die hierzu tragfähigste Kompetenzdefinition stammt aus der Expertiseforschung und betont die Wichtigkeit von bereichsspezifischem Wissen und praxisnahen Erfahrungen.

In der Expertiseforschung wird das Handeln von Experten in ausgewählten Gegenstandsbereichen untersucht. Diese Gegenstandsbereiche werden als „Domänen“ bezeichnet. „Kompetenzen sind nach diesem Verständnis Dispositionen, die eine Person befähigen, bestimmte Arten von Problemen erfolgreich zu lösen, also konkrete Anforderungssituationen eines bestimmten Typs zu bewältigen (z.B. sich

mit einem Kraftfahrzeug im Straßenverkehr zu bewegen). Dementsprechend definiert Weinert (2001, 27f.) Kompetenzen handlungs- und leistungsorientiert als „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“. Bei der Anwendung dieser theoretischen Grundlagen auf das Fahrerlaubniswesen kann das für die Teilnahme am motorisierten Straßenverkehr notwendige Wissen und Können als „Fahrkompetenz“ betrachtet werden, während die Verkehrsteilnahme als Problemlöseprozess zu verstehen ist.

Die individuelle Ausprägung der so verstandenen Kompetenz wird nach Weinert (ebd.) von sieben verschiedenen Komponenten bestimmt: Wissen, Fähigkeit, Verstehen, Können, Handeln, Erfahrung, Motivation. Flexibel nutzbares und auf neue Situationen transferierbares („intelligentes“) Wissen ist dabei als Basis jeder Kompetenz anzusehen Baumert (1993). Der Erwerb von Kompetenz beginnt beim systematischen Aufbau intelligenten Wissens in einer Domäne; er wird durch eine Mischung von systematischem und situiertem (lebensnahe Situationen) Lernen am besten gefördert (Weinert, 1998).

## 1.2 Methodische Merkmale der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung

Sturzbecher et al. (2010) haben auch den Wissenstand zu methodischen Merkmalen der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung aufgearbeitet: Die Fahrprüfung kann als ganzheitliches Verfahren bezeichnet werden und stellt in Analogie zur beruflichen Personal- und Eignungsdiagnostik eine kriteriengeleitete Arbeitsprobe dar. Weiterhin handelt es sich um eine offene, teilnehmende und systematische (Fahrverhaltens-) Beobachtung, die in methodischer Hinsicht somit Vorteile und Nachteile aufweist: Der Vorteil besteht in der Möglichkeit, ein Geschehen komplex zu erfassen und vielseitig auszuwerten; als Nachteile sind der hohe Zeit- und Kostenaufwand sowie mögliche Verzerrungen durch Beobachter- bzw. Beurteilereffekte zu nennen. Von besonderer Bedeutung für den vorliegenden Beitrag ist, „dass diese Arbeitsprobe im motorisierten Straßenverkehr stattfindet, der mit seinen wechselnden Bedingungen (z.B. Witterungsbedingungen, Verkehrsdichte) ein schlecht definiertes Anforderungsfeld („lebensweltliche Domäne“) darstellt, das nur eingeschränkt standardisiert werden kann.“ (Sturzbecher et al., 2010, 3). Eine vollständige Beschreibung der methodischen Merkmale systematischer Fahrverhaltensbeobachtungen und der Kriterien zur Beurteilung der methodischen Qualität der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung kann im Rahmen dieses Beitrags nicht erfolgen.

## 2 DIE FAHRERLAUBNISRECHTLICHE SYSTEMATIK DER PRAKTISCHEN FAHRERLAUBNISPRÜFUNG

Die für die Praktische Fahrerlaubnisprüfung maßgeblichen Anforderungs- und Durchführungsstandards sind bislang in unterschiedlichen rechtlichen Regelungen wie dem Straßenverkehrsgesetz (StVG), der Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) und der Prüfungsrichtlinie<sup>1</sup> verankert, deren Inhalte sich ergänzen und teilweise über-

<sup>1</sup> Prüfungsrichtlinie – Richtlinie für die Prüfung der Bewerber um eine Erlaubnis zum Führen von Kraftfahrzeugen. Stand April 2012.

lappen. Auf die Erfordernisse, die sich aus § 2 StVG ergeben, wurde bereits hingewiesen. In der FeV und der Prüfungsrichtlinie werden diese Erfordernisse konkretisiert. In § 17 FeV sind die Anforderungen an den Bewerber, den Prüfungsstoff, die Prüfungsfahrzeuge sowie die Dauer und den Ort der Prüfung festgelegt. Bezogen auf die Mindestanforderungen, die ein Prüfort erfüllen muss, erfolgt nur eine globale Umschreibung. So muss die Prüfung „innerorts und außerorts“ stattfinden und eine ausreichende Komplexität aufweisen, um „die wesentlichen Verkehrsvorgänge auch bei höheren Geschwindigkeiten“ zu ermöglichen. Außerdem enthält Anlage 7 FeV neben den sogenannten Grundfahraufgaben (z.B. „Rückwärts Einparken“ oder „Abbremsen mit höchstmöglicher Verzögerung“) eine Auflistung von „Punkten, bei denen auf richtige Verhaltensweisen, Handhabung bzw. Ausführung zu achten ist“. Diese Auflistung ist identisch mit den in der Anlage 10 zur Prüfungsrichtlinie nachfolgend aufgeführten „Anforderungen an die Prüfungsfahrt“. Bei diesen Punkten bzw. Anforderungen handelt es offensichtlich um als wichtig angesehene sowie musterhaft und uneinheitlich bezeichnete Verhaltensbereiche (z.B. „Lenkradhaltung“), Situationen (z.B. „Überholen und Vorbeifahren“) oder Umgebungsbedingungen (z.B. „Steigung und Gefällstrecken“), in denen ein nicht näher bestimmtes „richtiges“ Verhalten erwartet wird:

- Fahrtechnische Vorbereitung
- Lenkradhaltung
- Verhalten beim Anfahren
- Gangwechsel
- Steigung und Gefällstrecken
- Automatische Kraftübertragung
- Verkehrsbeobachtung und Beachtung der Verkehrszeichen und -einrichtungen
- Fahrgeschwindigkeit
- Abstand halten vom vorausfahrenden Fahrzeug
- Überholen und Vorbeifahren
- Verhalten an Kreuzungen, Einmündungen, Kreisverkehren und Bahnübergängen
- Abbiegen und Fahrstreifenwechsel
- Verhalten gegenüber Fußgängern sowie an Straßenbahn- und Bushaltestellen
- Fahren außerhalb geschlossener Ortschaften
- Fahrtechnischer Abschluss der Fahrt.

In Anlage 11 zur Prüfungsrichtlinie werden unter Verweis auf § 17 FeV sogenannte „Anforderungen an den Prüfort und seine Umgebung“ aufgelistet und zugleich als „Tabelle der Fahraufgaben“ bezeichnet (Bild 1). Die prüfungsrelevanten Fahraufgaben sind in den Anlagen 10 und 11 nicht einheitlich bestimmt. In Anlage 11 finden sich nicht alle in Anlage 10 enthaltenen Fahraufgaben (Kreisverkehre, Steigungen und Gefällstrecken; Überholen und Vorbeifahren, Überholen innerorts). Weiterhin sind die in Anlage 11 genannten Fahraufgaben teilweise differenzierter



Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die in den fahrerlaubnisrechtlichen Regelungen auffindbaren Anforderungsstandards, Beobachtungskriterien sowie Bewertungs- und Entscheidungsstandards wenig präzise und systematisch sowie vor allem kaum mit Bezug aufeinander beschrieben sind. Nach Sturzbecher et al. (2010) kann daher die derzeit in den fahrerlaubnisrechtlichen Grundlagen beschriebene Prüfungssystematik allein keine hinreichende methodische Handlungsanweisung für eine fachlich anspruchsvolle Prüfungsdurchführung darstellen.

### **3 VORSCHLÄGE ZUR OPTIMIERUNG DER PRAKTISCHEN FAHRERLAUBNISPRÜFUNG**

Nachfolgend werden die von Sturzbecher et al. (2012) im Rahmen eines BAST-Projekts erarbeiteten Vorschläge zur Optimierung der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung auszugsweise dargestellt. Da bislang ein elaboriertes und empirisch validiertes Fahrkompetenzmodell aussteht, wird zunächst auf der Basis ausgewählter verkehrspsychologischer Kompetenzkonzepte ein Fahrkompetenzmodell skizziert. Anschließend erfolgt eine Beschreibung von fahrsituationsspezifischen und situationsübergreifenden Anforderungsstandards (Fahraufgaben und Beobachtungskategorien) sowie darauf bezogene Kriterien für eine ereignisorientierte Leistungsbewertung. Dieser Fahraufgabenkatalog bildet die Grundlage für ein wissenschaftlich fundiertes Elektronisches Prüfprotokoll.

#### **3.1 Skizzierung eines Fahrkompetenzmodells**

Eine valide (Fahr-)Kompetenzdiagnostik kann – wie in der Pädagogischen Psychologie bekannt, vgl. Klieme & Leutner (2006) – nur auf der Grundlage von Kompetenzmodellen erfolgen, mit denen sowohl das inhaltliche Gefüge der Anforderungen als auch unterschiedliche Aneignungsstufen bzw. Kompetenzgrade abgebildet werden können. Bei der Erarbeitung eines Fahrkompetenzmodells und der kompetenztheoretischen Einordnung von Prüfungsanforderungen haben sich Sturzbecher et al. (2012) an den Modellüberlegungen von Donges (2009) und Grattenthaler et al. (2009) orientiert, die nachfolgend skizziert werden.

Donges (2009) hat in seinem Modell (Bild 3) handlungsorientierte Überlegungen zu inhaltlichen Anforderungsebenen des Fahrens (Stabilisierungs-, Führungs- und Navigationsaufgaben) mit Niveaustufen der Handlungsregulation (wissens-, regel- und fertigkeitbasiertes Verhalten) nach Rasmussen (1983) verknüpft. Auf der Stabilisierungsebene versucht der Fahrer, das Fahrzeug unter sich verändernden Verkehrsbedingungen in seiner Bewegung zu kontrollieren, um einen Kontrollverlust zu vermeiden (z.B. durch Gas geben, Lenken, Bremsen). Im Zentrum der Fahrzeugführung stehen Fahrmanöver wie das Durchfahren von Kurven, das Überholen, das Einbiegen und das Befahren von Kreuzungen. Diese Fahrmanöver muss der Fahrer regelkonform, sicher und ohne Gefährdung oder vermeidbare Behinderung durchführen. Dementsprechend hat er auf der Führungsebene beispielsweise die Aufgabe, den Verkehr zu beobachten, die Spur zu halten, den Abstand und die Geschwindigkeit anzupassen sowie nicht zuletzt mit anderen Verkehrsteilnehmern zu kommunizieren. Auf der Navigationsebene legt der Fahrer das Fahrtziel fest und plant seine Fahrtroute. Auf allen drei Ebenen des Modells lassen sich Handlungsanforderungen konkretisieren, die eine Bestimmung und Zuordnung entsprechender Fahrkompetenzvoraussetzungen erlauben. Diese

Fahrkompetenzvoraussetzungen müssen bei der Vorbereitung von Fahranfängern auf die motorisierte Verkehrsteilnahme geschaffen werden. Eine unter Durchführungs- und Verkehrssicherheitsabwägungen getroffene Auswahl davon ist bei der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung zu prüfen (Sturzbecher et al., 2012, 19).

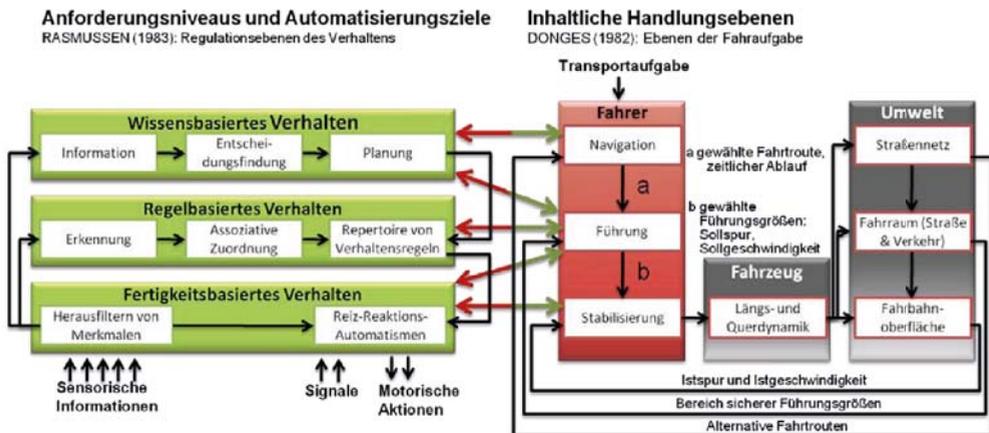


Bild 3: Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten des Menschen nach Rasmussen und Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Donges (1982; aus: Sturzbecher et al. 2012, 20).

Rasmussen (1983) unterscheidet die drei bereits genannten Regulationsebenen des Verhaltens entsprechend dem Automatisierungsniveau der Verhaltenssteuerung. Für das – am wenigsten automatisierte – wissensbasierte Fahrverhalten ist charakteristisch, dass die Anforderungen der Verkehrssituation vom Fahrer zunächst bewusst erkannt, nachvollzogen und interpretiert werden müssen. Daraufhin plant der Fahrer, welche Handlungen als Nächstes auf welche Weise auszuführen sind. Beim regelbasierten Fahrverhalten erkennt der Fahrer aufgrund eines durch Erfahrung bzw. Übung erworbenen Regelrepertoires an Fahrverhaltensweisen bereits bei der Wahrnehmung von bestimmten Situationen, was zu tun ist; das Fahrverhalten ist teilautomatisiert. Das fertigkeitbasierte Fahrverhalten ist schließlich durch reflexartige Reiz-Reaktions-Mechanismen („Routinen“) gekennzeichnet, die keine bewusste Kontrolle mehr erfordern und somit vollständig automatisiert ablaufen. Die Automatisierung von Handlungsabläufen, die in bestimmten prototypischen Verkehrssituationen (z. B. beim Fahrstreifenwechsel) notwendig sind, entlastet das mentale System der Informationsverarbeitung und setzt Kapazitäten für die Bewältigung von Anforderungen auf übergeordneter Ebene (z. B. für das Navigieren), für Nebentätigkeiten (z. B. für Gespräche mit Fahrzeuginsassen) und für die Verarbeitung von unerwarteten oder neuartigen Verkehrssituationen frei.

Aus der Zuordnung der drei inhaltlichen Anforderungsebenen (Donges, 1982) zu den drei Regulations- bzw. Automatisierungsebenen des Fahrverhaltens (Rasmussen 1983) lässt sich herleiten bzw. präzisieren, welche Anforderungen im Zentrum der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung als „Befähigungsprüfung“ stehen müssen – nämlich Fahranforderungen auf der Führungsebene – und auf welchem Automatisierungsniveau (bzw. Kompetenzniveau) ein Fahranfänger die verschiedenen inhaltlichen Fahranforderungen bewältigen sollte. So ist beispielsweise erkennbar, dass die Führung eines Fahrzeugs (bzw. das Manövrieren), wozu vor allem die Fahrzeugbedienung, die Verkehrsbeobachtung, die Kommunikation mit

anderen Verkehrsteilnehmern, die Geschwindigkeitsregulation und die Fahrzeugpositionierung in Verkehrssituationen gehören, sich beim erfahrenen Fahrer überwiegend automatisiert in Form von fertigkeitbasiertem Verhalten vollzieht; sie erfordert – vor allem in außergewöhnlichen bzw. unerwarteten Verkehrssituationen – aber auch wissen- und regelbasiertes Verhalten. Fahranfänger müssen sich das mögliche Automatisierungsniveau erst durch Fahrpraxis aneignen, weshalb die Bewertungsgrundlagen für die Praktische Fahrerlaubnisprüfung zwingend Mindeststandards beinhalten müssen (Sturzbecher et al., 2012).

Um die Möglichkeiten zur lehr-lerntheoretischen Verortung von Prüfungsanforderungen weiter auszubauen, haben Sturzbecher & Weiße (2011) das Konzept von Donges (2009) mit kompetenztheoretischen Überlegungen von Grattenthaler et al. (2009)<sup>2</sup> zu einem Kompetenzstrukturmodell verbunden (Bild 4). Dieses Modell verdeutlicht vor allem die unterschiedliche Mischung der einschlägigen Kompetenzvoraussetzungen - explizites Wissen, implizites Wissen und Motivation - auf den einzelnen Ebenen der Anforderungen an den Fahrer bzw. des erforderlichen Bewältigungsverhaltens.

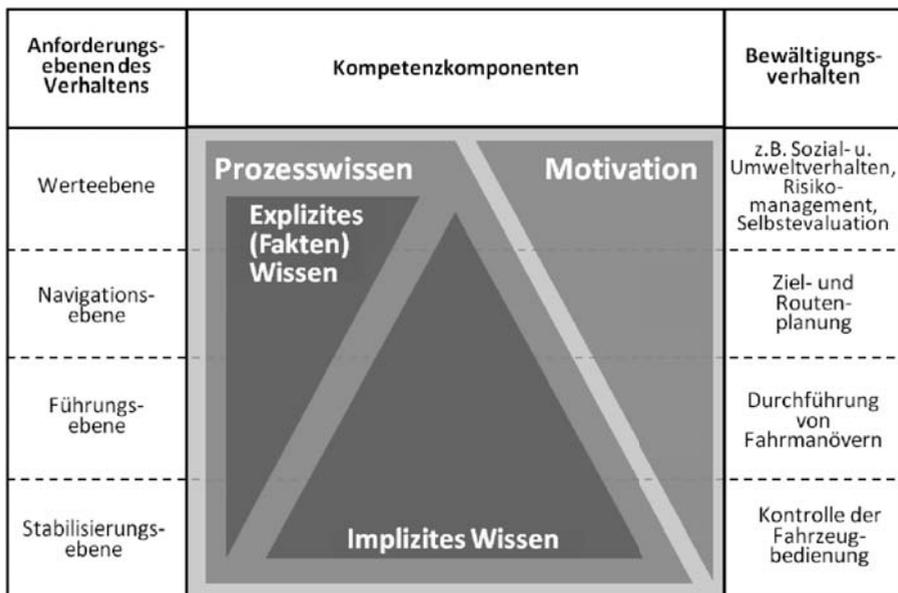


Bild 4: Strukturmodell der inhaltlichen Anforderungsebenen und psychischen Komponenten von Fahrkompetenz (Sturzbecher & Weiße, 2011).

<sup>2</sup> Grattenthaler et al. (2009) beschreiben unter Rückgriff auf Modelle der Informationsverarbeitung (vgl. Atkinson & Shiffrin, 1969; Leutner & Brünken, 2002) Fahrkompetenz als Handlungswissen, das sich in ‚Explizites Wissen‘, ‚Implizites Wissen‘ und ‚Prozesswissen‘ unterteilen lässt:

1. Unter „Explizitem Wissen“ versteht man im Rahmen des Langzeitwissens das Sachwissen („deklaratives Wissen“). „Explizit“ bedeutet, dass dieses Wissen in aller Regel berichtet werden kann und somit auch durch verbale Instruktion vermittelbar ist.
2. Als „Implizites Wissen“ sind prozedurale Komponenten des Langzeitwissens anzusehen, die in Form von motorischen Schemata erworben und durch Rückkopplungsschleifen von Handlungseffekt, Umweltwahrnehmung (vor allem visuell) und Propriozeption weiter ausdifferenziert werden. Mit dem Begriff „Implizit“ wird der Sachverhalt bezeichnet, dass dieses Wissen meist nicht berichtet werden kann. Implizites Wissen kann nicht allein durch Instruktion erworben werden, sondern bedarf einer mehr oder minder intensiven Übung und eines Erfahrungsaufbaus unter wechselnden Handlungsbedingungen. Im Ergebnis entstehen (automatisierte) psychomotorische Fertigkeiten zur Handlungsausführung.
3. Das „Prozesswissen“ schließlich integriert explizites und implizites Wissen: Um die Anforderungen ständig wechselnder und mehr oder minder gewohnter Verkehrssituationen erfolgreich zu bewältigen, wird Sachwissen in Bezug auf diese Situationen aktiviert und mit psychomotorischen Fertigkeiten verknüpft; dies setzt auch eine angemessene Ressourcensteuerung und Selbstevaluation voraus (Sturzbecher et al., 2012, 21f.).

In Bezug auf den Erwerb von Fahrkompetenz ist mit Grattenthaler et al. (2009, 89) darauf zu verweisen, dass es keinen statischen stufenweisen Kompetenzerwerb beim Fahrenlernen gibt: „Die Vorstellung, dass zuerst die psychomotorischen Fertigkeiten erlernt werden müssen, bevor höhere Fahraufgaben übernommen werden können, ist lediglich auf der Makroperspektive zu halten. Sobald die Fahrfertigkeiten auf detailliertem Niveau betrachtet werden, bricht dieses (statisch-stufenweise; d. Verf.) Modell zusammen. Das Erlernen der Spurhaltung setzt Fertigkeiten im Lenken voraus. Diese mögen so gut gelernt sein, dass der Anfänger einen Handlingkurs auf abgesperremt Gelände gut bewältigen kann. Kommt er aber in eine Fahrsituation, in der etwa einem anderen Fahrzeug ausgewichen werden muss, muss er sein Lenkverhalten in eine neue Situation einpassen, in Abhängigkeit von der Situation bestimmen, wann wie viel gelenkt wird, unter Umständen Lenkeingaben korrigieren, was regelhaft zu einer drastischen Reduzierung der Spurengauigkeit (und damit seines bisherigen Leistungsstandes) führt. Faktisch muss in dieser Situation das Lenken neu gelernt werden“. Somit hat das Erreichen einer höheren Ebene des Fahrens zumindest in Teilbereichen auch ein Neu-Lernen von Fertigkeiten der niedrigeren Ebenen zur Folge.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Anforderungen in der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung vornehmlich auf der Führungsebene angesiedelt sind. Um belastbare methodische Prüfungsstandards zu erarbeiten, gilt es, (1) diese Anforderungen konkret im Sinne situationspezifischer Fahraufgaben (z.B. Fahrstreifenwechsel, Überholen oder Befahren von Kreuzungen und Einmündungen) zu beschreiben, (2) die für die Fahraufgabenbewältigung relevanten situationsübergreifenden Verhaltensanforderungen (z.B. Verkehrsbeobachtung, Geschwindigkeitsanpassung) als inhaltliche Dimensionen des Bewältigungsverhaltens auszuweisen und in Form von Beobachtungskategorien der systematischen Beobachtung zugänglich zu machen sowie (3) darauf bezogene ereignis- und kompetenzbezogene Bewertungskriterien festzulegen. Eine Voraussetzung dafür stellt eine handlungstheoretische Anforderungsanalyse des (Auto-) Fahrens dar.

### 3.2 Erarbeitung optimierter Prüfungsstandards

Bei der Entwicklung der Prüfungsstandards orientierten sich Sturzbecher et al. (2012) grundlegend an der von McKnight & Adams (1970a, 1970b) in den frühen 1970er Jahren in den USA durchgeführten systematischen dreistufigen Fahraufgabenanalyse (Bild 5). Im Rahmen ihrer Anforderungsanalyse haben McKnight & Adams (1970b) zunächst insgesamt ca. 1.500 wesentliche bzw. häufig vorkommende Fahrverhaltensweisen identifiziert, strukturiert und zu 45 komplexeren Handlungsmustern/Fahraufgaben (driver's tasks) verdichtet. Bezogen auf diese driver's tasks wurden wiederum insgesamt 1.700 Teilaufgaben und Einzelhandlungen zu ihrer korrekten Ausführung erarbeitet. Im Rahmen einer Gefährlichkeitsbeurteilung wurde den Aufgaben, Teilaufgaben und Einzelhandlungen ein Gefährlichkeitsindex zugeordnet. Auf Basis der beiden vorherigen Schritte wurden dann 45 Fahraufgaben systematisch beschrieben; die Handlungsbeschreibungen enthielten beispielsweise auch Informationen zu typischen Fahrerleistungen oder Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit.

In einer zweiten Etappe der damaligen Weiterentwicklung der Fahrausbildung in den USA wurden von McKnight & Hundt (1971a; 1971b) Leistungs- und Bewer-

tungsstands sowie Evaluationsinstrumente in Form unterschiedlicher Tests (z.B. schriftlicher Wissenstest, fahrpraktischer Basistest, Fahrsituationstest) erarbeitet.

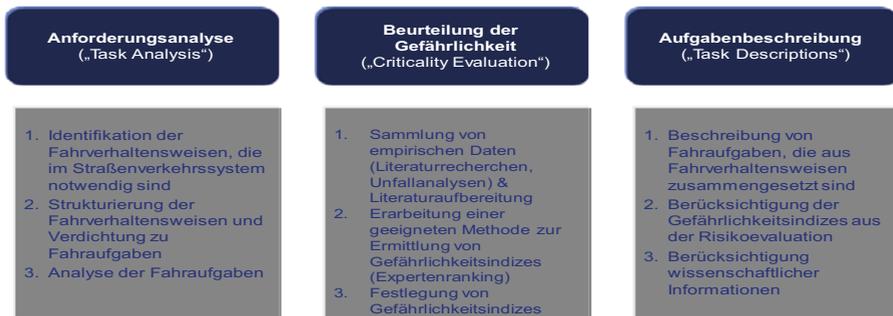


Bild 5: Die „3-Schritt-Strategie“ von McKnight et al.; zitiert nach Sturzbecher & Frommann (2010).

### 3.3 Entwurf eines Fahraufgabenkatalogs und eines Elektronischen Prüfprotokolls

Unter Berücksichtigung der fahrkompetenztheoretischen Betrachtungen, der handlungstheoretischen Anforderungsanalyse der Kraftfahrzeugführung im öffentlichen Straßenverkehr und der methodischen Konstruktion der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung als Systematische Fahrverhaltensbeobachtung wurde von einer Arbeitsgruppe aus Vertretern der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), der Bundesvereinigung der Fahrlehrerverbände (BVF), der Technischen Prüfstellen und der Bundeswehr sowie der TÜV/DEKRA arge tp 21 und verschiedener wissenschaftlicher Institutionen ein Fahraufgabenkatalog für die Fahrerlaubnisklasse B entworfen. Dieser Katalog enthält insgesamt acht situationsbezogene Fahraufgaben, die teilweise in Teilfahraufgaben unterteilt werden: (1) Ein- und Ausfädeln/Fahstreifenwechsel, (2) Vorbeifahren/Überholen, (3) Kreuzungen/Einmündungen, (4) Kurven, (5) Kreisverkehr, (6) Straßenbahn/Bahnübergang, (7) Haltestellen/Fußgänger und Fußgängerüberwege und (8) Radfahrer. Weiterhin werden im Katalog die zu prüfenden situationsübergreifenden Kompetenzbereiche bzw. Beobachtungskategorien – mit Bezug zu den Fahraufgaben – festgelegt: (1) Verkehrsbeobachtung, (2) Fahrzeugpositionierung, (3) Geschwindigkeitsanpassung, (4) Kommunikation und (5) Fahrzeugbedienung/Umweltbewusste Fahrweise. Schließlich werden im Fahraufgabenkatalog für jede Fahraufgabe und jeden Kompetenzbereich ereignisorientierte und kompetenzorientierte Bewertungskriterien beschrieben: Die ereignisorientierten Kriterien bezeichnen einfache und erhebliche Fehler wie auch Beispiele für überdurchschnittliche Leistungen; die kompetenzorientierten Kriterien erlauben die Bewertung der Prüfungsleistungen auf einer vierstufigen Ratingskala.

Der Fahraufgabenkatalog stellte die inhaltliche und methodische Grundlage für die Programmierung und Erprobung eines elektronischen Prüfprotokolls („E-Prüfprotokoll“, Bild 6) dar. Das Prüfprotokoll erfüllt zwei Funktionen: Es liefert dem Prüfer eine umfassende und systematische Informationsunterstützung für die bestimmungsgemäße Abnahme der Prüfung und ermöglicht die Protokollierung der Prüfungsdurchführung und der Prüfungsergebnisse. Mit dem E-Prüfprotokoll sind

wichtige Voraussetzungen geschaffen, die methodische Güte der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung zu verbessern: Das E-Prüfprotokoll unterstützt den Prüfer bei der gezielten Planung und Steuerung des Prüfungsablaufs sowie bei der Auswertung der Prüfungsleistungen anhand einer festgelegten Methodik. Die elektronisch unterstützte Dokumentation der wesentlichen (positiven und negativen) Prüfungsleistungen auf der Basis einheitlicher Standards ermöglicht eine qualifizierte und differenzierte Leistungsrückmeldung, die dem Bewerber verdeutlicht, welche Defizite er im weiteren Verlauf der Fahranfängervorbereitung gegebenenfalls noch abbauen muss. Darüber hinaus sind mit der differenzierten Dokumentation der Prüfungsdaten im E-Prüfprotokoll verbesserte Voraussetzungen für eine Evaluati- on der Prüfungsgüte geschaffen (z.B. in Bezug auf die Beobachterübereinstim- mung oder die Identifikation prüfungsfremder Störgrößen). Erstmals ist die Mög- lichkeit gegeben, fahranfängerspezifische Kompetenzdefizite mit Daten zum Un- fall- und Deliktgeschehen von Fahranfängern zu verknüpfen.

Beobachtungs- kategorien	Verkehrsbeobachtung	Fahrzeugpositionierung	Geschwindigkeitsanpassung	Kommunikation	Fahrzeugbedienung / Umweltbewusste Fahrweise	Gesamtbewertung Fahraufgaben
Fahraufgaben						Bewertung
Fahrstreifenwechsel, Ein- und Ausfädeln						Bewertung
Fußgängerf-Überwege, Haltestellen						Bewertung
Kreuzungen, Einmündungen						Bewertung
Bahnübergänge, Straßenbahnen						Bewertung
Kreisverkehr						Bewertung
Überholen, Vorbeifahren						Bewertung
Radfahrer						Bewertung
Kurven, Verbindungsstrecken						Bewertung
Grundfahraufgaben						Nicht vollumfänglich durchgeführt
Gesamtbewertung Kompetenzbereiche	Bewertung	Bewertung	Bewertung	Bewertung	Bewertung	

Bild 6: Erstentwurf einer beispielhaften schematischen Darstellung der Inhalte des E-Prüfprotokolls nach Sturzbecher et al. (2012).

In einem Anfang 2013 anlaufenden BAST-Projekt soll das E-Prüfprotokoll umfassend in Praxisläufen erprobt und zur Anwendungsreife weiterentwickelt werden. Darüber hinaus sollen in dem Projekt die Bedingungen und Voraussetzungen einer Implementation des optimierten Prüfungssystems geklärt werden.

Im vorliegenden Beitrag wurde der Schwerpunkt auf die Herleitung eines elaborierten Fahraufgabenkonzepts gelegt, das in einer methodisch und informationstechnisch optimierten Praktischen Fahrerlaubnisprüfung eine valide Bestimmung der für das Fahren relevanten Verhaltenserfordernisse ermöglichen soll. Damit stellt das Fahraufgabenkonzept die wichtigste Bewertungsgrundlage zur Beurteilung der Fahrbefähigung bei der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung dar. Im Rahmen des Vortrags wird die Anwendung des Fahraufgabenkonzepts anhand einer konkreten Fahraufgabe und des E-Protokolls illustriert. Dieses Konzept besitzt – auch wenn es noch (auf empirischer Basis) weiter zu entfalten und zu validieren ist – nicht nur Bedeutung für die zuverlässige und gültige Bewertung der Fahrfä-

higkeit bei der Fahrprüfung, sondern vielleicht auch für die Erarbeitung von situationsbezogenen Fahrverhaltensmodellen beim automatisierten Fahren.

## LITERATUR

**Atkinson, Richard C.; Shiffrin, Richard M. (1969):** Storage and retrieval processes in short-term memory. *Psychological Review*, 76, 179-193.

**Baumert, Jürgen (1993):** Lernstrategien, motivationale Orientierung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen im Kontext schulischen Lernens. *Unterrichtswissenschaft*, 21, 327-354.

**Bönninger, Jürgen; Sturzbecher, Dietmar (2005):** Optimierung der Fahrerlaubnisprüfung. Ein Reformvorschlag für die theoretische Fahrerlaubnisprüfung. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft M 168. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

**Donges, Edmund (1982):** Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil-Industrie*, 2, 183-190.

**Donges, Edmund (2009):** Fahrerhaltensmodelle. In H. WINNER, S. HAKULI & G. WOLF (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (15-23). Wiesbaden: Vieweg & Teubner.

**Grattenthaler, Heide; Krüger, Hans-Peter; Schoch, Stefanie (2009):** Bedeutung der Fahrpraxis für den Kompetenzerwerb beim Fahrenlernen. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft M 201. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

**Klieme, Eckhard; Leutner, Detlev (2006):** Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Überarbeitete Fassung des Antrags an die DFG auf Einrichtung eines Schwerpunktprogramms (URL: <http://kompetenzmodelle.dipf.de/pdf/rahmenantrag>; Abruf: 20.12.2012).

**Leutner, Detlev; Brünken, Roland (2002):** Lehr-lernpsychologische Grundlagen des Erwerbs von Fahr- und Verkehrskompetenzen. In Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), *Zweite Internationale Konferenz „Junge Fahrer und Fahrerinnen“*. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft M 143, 76-87. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

**McKnight, A.J.; Adams, A.G (1971b):** Driver Education Task Analysis. Volume IV: The development of instructional objectives. Final Report. Alexandria, VA: Human Resources Research Organization.

**McKnight, A.J.; Adams, B.B. (1970a):** Driver Education Task Analysis. Volume I: Task Descriptions. Alexandria, VA: Human Resources Research Organization.

**McKnight, A.J.; Adams, B.B. (1970b):** Driver Education Task Analysis. Volume II: Task Analysis Methods. Final Report. Alexandria, VA: Human Resources Research Organization.

**McKnight, A.J.; Hundt, A.G.(1971a):** Driver Education Task Analysis. Volume III: Instructional Objectives. Final Report. Alexandria, VA: Human Resources Research Organization.

**Rasmussen, Jens (1983):** Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-13(3), 257-266.

**Sturzbecher, Dietmar; Bönninger, Jürgen; Rüdell, Mathias (2010):** Praktische Fahrerlaubnisprüfung – Grundlagen und Optimierungsmöglichkeiten. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 215. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

**Sturzbecher, Dietmar; Frommann, Peggy (2010):** Weiterentwicklung der Fahraufgaben und Beobachtungskategorien (Teil 1). PowerPoint-Präsentation. Klausurtagung „Optimierung der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung, Berlin.

**Sturzbecher, Dietmar; Mörl, Susann; Kaltenbaek, Jesko (2012):** Optimierung der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. Bergisch Gladbach, Bundesanstalt für Straßenwesen. (Veröffentlichung in Vorbereitung)

**Sturzbecher, Dietmar; Weiße, Bernd (2011):** Möglichkeiten der Modellierung und Messung von Fahrkompetenz. In TÜV I DEKRA arge tp 21 (Hrsg.), Innovationsbericht zur Optimierung der Theoretischen Fahrerlaubnisprüfung – Berichtszeitraum 2009/2010. Dresden: TÜV I DEKRA arge tp 21.

**Weinert, Franz Emanuel (1998):** Neue Unterrichtskonzepte zwischen gesellschaftlichen Notwendigkeiten, pädagogischen Visionen und psychologischen Möglichkeiten. In Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst (Hrsg.), Wissen und Werte für die Welt von morgen (Dokumentation Bildungskongress) (101-125). München.

**Weinert, Franz Emanuel (2001):** Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In Ders. (Hrsg.), LEISTUNGSMESSUNGEN in Schulen (17-31). Weinheim/Basel.



# ZUR OBJEKTIVEN APPARATIVEN MESSUNG DER INTERAKTION ZWISCHEN INDIVIDUELLER PERSÖNLICHKEIT, FAHRZEUG UND FAHRERASSISTENTEN

*Egon Stephan*

## 1 WELCHE AUFGABE IST ZU LÖSEN?

Bei der Entwicklung von Kraftfahrzeugen sind von den Herstellern und ihren Entwicklungsabteilungen sehr unterschiedliche Ziele zu berücksichtigen:

- Die Produktion soll kostengünstig erfolgen können und dennoch ein qualitativ hochwertiges Produkt ergeben.
- Das Produkt sollte im Äußeren und im Inneren sowie durch seine technische Leistungsfähigkeit dem Geschmack einer möglichst großen Gruppe von Käufern entsprechen.
- Und nicht zuletzt soll das Produkt dem Fahrzeuglenker und den übrigen Verkehrsteilnehmern eine maximal sichere Verkehrsteilnahme ermöglichen.

Diese Ziele stehen untereinander zu einem erheblichen Teil in einem Spannungsverhältnis. So erhöhen zusätzliche technische Einrichtungen, die die Sicherheit verbessern, zwangsläufig die Herstellungskosten. Dieses Spannungsverhältnis zwischen den verschiedenen Zielsetzungen macht es notwendig, die vorgenannten Ziele hinsichtlich ihrer Priorität zu ordnen.

Dabei kommt dem Ziel allen am Verkehr Beteiligten eine sichere Verkehrsteilnahme zu ermöglichen aus der Sicht der Allgemeinheit und wohl auch der überwiegenden Mehrheit der Käufer und Fahrzeuglenker oberste Priorität zu. Insoweit ist auch für die Hersteller die aktive und passive Fahrzeugsicherheit ein zentrales Entwicklungsziel, auch wenn daneben andere Aspekte aus den Bereichen Ökonomie und Marketing gleichfalls zentrale Bedeutung haben.

Dieser Beitrag geht von der Prämisse aus, dass die Fahrzeugsicherheit beziehungsweise die individuelle und die allgemeine Verkehrssicherheit höchste Priorität bei der Fahrzeugentwicklung und -produktion haben sollten. Wird diese Prämisse als gültig angesehen, stellt sich die Aufgabe, die Sicherheitsrelevanz technischer Elemente beziehungsweise technischer Systeme (z.B. eines IT-Bremsassistenten) in ihren Auswirkungen auf die individuelle und allgemeine Verkehrssicherheit wissenschaftlich abgesichert zu prüfen. Diese Sicherheitsbewertung ist eine methodisch höchst anspruchsvolle Aufgabe, denn dieselbe technische Installation kann zugleich die Sicherheit erhöhen und gefährden.

Gehen wir beispielsweise von dem Gedankenexperiment aus, dass es einem Hersteller auf der Basis einer technischen Innovation möglich wäre, seine Produkte technisch so auszustatten, dass ihr Bremsweg um 70 % reduziert würde, so hätte dies plausibler Weise sicherheitsfördernde und sicherheitsgefährdende Effekte.

Auf der einen Seite hätte eine solche Verbesserung der Bremsleistung zweifellos zur Folge, dass die Lenker eines solchen Fahrzeugs in erhöhtem Maß Unfälle

vermeiden können, bei dem sie ohne diese technische Innovation ein von rechts kommendes Fahrzeug oder einen querenden Fußgänger geschädigt hätten.

Allerdings wäre auch mit kontraproduktiven, die eigene und die allgemeine Verkehrssicherheit gefährdenden Effekten zu rechnen. Die Lenker solcher Fahrzeuge würden zum Teil in vergleichbaren Situationen relativ schneller mit geringerem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug fahren, weil sie sich darauf verließen, dass sie außergewöhnlich schnell und effektiv bremsen können. Immer wieder dürfte hierbei auch die leistungsfähigste Technologie überfordert werden.

Zugleich müsste damit gerechnet werden, dass diese Fahrzeuge gerade wegen dieser technischen Innovation eher in Gefahr sind, durch nachfolgende Fahrzeuge (durch Auffahrunfall) geschädigt zu werden, also durch Fahrzeuge, die aufgrund ihrer traditionellen Ausrüstung keine solche Bremswegverkürzung haben.

Dieses einfache - und in gewissem Maß durchaus lebensnahe - Beispiel mag deutlich machen, dass eine eindimensionale Ursache-Wirkungs-Perspektive gerade im Hinblick auf die motorisierte Verkehrsteilnahme theoretisch und empirisch unzureichend ist.

Soll die Sicherheitsrelevanz technischer Innovationen angemessen und wissenschaftlich fundiert beurteilt werden, muss der offenkundig gegebenen Komplexität des Untersuchungsgegenstandes angemessen Rechnung getragen werden.

## **2 SYSTEMISCHE MODELLIERUNG: SICHERHEITSBEWERTUNG ALS KOMPLEXE AUFGABE**

Wie bereits deutlich gemacht wurde, führt bei der Beurteilung der Sicherheitsrelevanz technischer Innovationen eine einfache Ursache-Wirkungs-Perspektive nicht zu inhaltlich angemessenen Forschungsdesigns und aussagekräftigen empirischen Untersuchungsergebnissen. Vor diesem Hintergrund ist auch die traditionelle Betrachtung von Mensch-Maschine-Schnittstellen in der Regel unzureichend.

### **2.1 Die Schwächen eindimensionaler Analyse**

Die ergonomische Untersuchung zur optimalen Zusammenstellung und Darstellung von für den Fahrer relevanten Informationen auf dem Display eines entsprechenden Kombiinstrumentes mag ergeben, dass es günstig ist, unterschiedliche Informationen zeitgleich darzustellen. Bei der gleichzeitigen Wahrnehmung der Lenkungsaufgabe im Verkehr kann diese auf dem Display präsentierte, und für sich genommen sehr sinnvolle, Informationsvielfalt aber im Ergebnis sehr kontraproduktiv sein, weil der Fahrer bei dem zwangsläufig häufigen Wechsel zwischen dem Blick auf den Verkehr und dem Blick auf das Display - wegen der hohen Informationsdichte auf dem Display - zu immer wieder neu beginnender Orientierung auf dem Display gezwungen ist. Kontraproduktiv dürfte in diesem Fall gerade die große Informationsdichte sein, weil sie wegen der hohen Auflösung der Informationen auf dem Display, neben der Fahraufgabe, die immer wieder eine Blickabwendung vom Display erfordert, auch immer wieder eine Neuorientierung auf dem Display erzwingt. Bei isolierter empirischer Überprüfung Schnittstelle Mensch-

Display im Labor kann dies, ohne Belastung durch die Fahraufgabe, aber durchaus verborgen bleiben.

Aus diesen Überlegungen ergeben sich eine Reihe wissenschaftlich-methodischer Konsequenzen für die theoretische Modellierung, die Entwicklung geeigneter Untersuchungsdesigns und die Auswahl geeigneter empirischer Untersuchungsmethoden. Dies soll im Folgenden erörtert werden.

## **2.2 Der Nutzen einer systemtheoretische Modellierung für das Gesamtsystem „Verkehrsteilnahme“**

Die Aufgabe, die Sicherheitsrelevanz technischer Innovationen im Fahrzeug und im Verkehrsraum zu beurteilen, ist eine aus wissenschaftlicher Sicht sehr komplexe Aufgabe, die der entsprechenden theoretischen Modellierung, der fundierten Reflektion geeigneter Bewertungskriterien und der Entwicklung geeigneter Messinstrumente bedarf.

Um empirische Untersuchungen sinnvoll planen und durchführen sowie deren Ergebnisse sinnvoll interpretieren zu können, bedarf es zur wissenschaftlichen Fundierung im ersten Schritt einer geeigneten Modellierung.

Hierbei ist zunächst zu bedenken, welche unterschiedlichen Bereiche, die jeweils durch eine Vielzahl von Einzelkomponenten geprägt sind, bei der Verkehrsteilnahme wirksam werden. Im Wesentlichen sind es drei große Bereiche (siehe Bild 1), die zusammenwirken:

- der Kraftfahrzeugführer
- das Kraftfahrzeug und
- die Verkehrsumwelt.

Sehr häufig wird die Ursache für auftretende Probleme vor allem beim Teilsystem Fahrer gesehen, der durch eigene Fehler Unfälle auslöst.

Angesichts der Tatsache, dass die hier genannten drei Bereiche ihrerseits durch eine Vielzahl von Einzelkomponenten konstituiert werden, die untereinander und mit den Teilkomponenten der anderen Bereiche in vielfältiger Weise interagieren, liegt es auf der Hand, dass eindimensionale bzw. monokausale Modelle nicht geeignet sind, diese Interaktionen und Interdependenzen theoretisch angemessen zu modellieren.

Angesichts der Tatsache, dass die hier genannten drei Bereiche ihrerseits durch eine Vielzahl von Einzelkomponenten konstituiert werden, die untereinander und mit den Teilkomponenten der anderen Bereiche in vielfältiger Weise interagieren, liegt es auf der Hand, dass eindimensionale bzw. monokausale Modelle nicht geeignet sind, diese Interaktionen und Interdependenzen theoretisch angemessen zu modellieren.

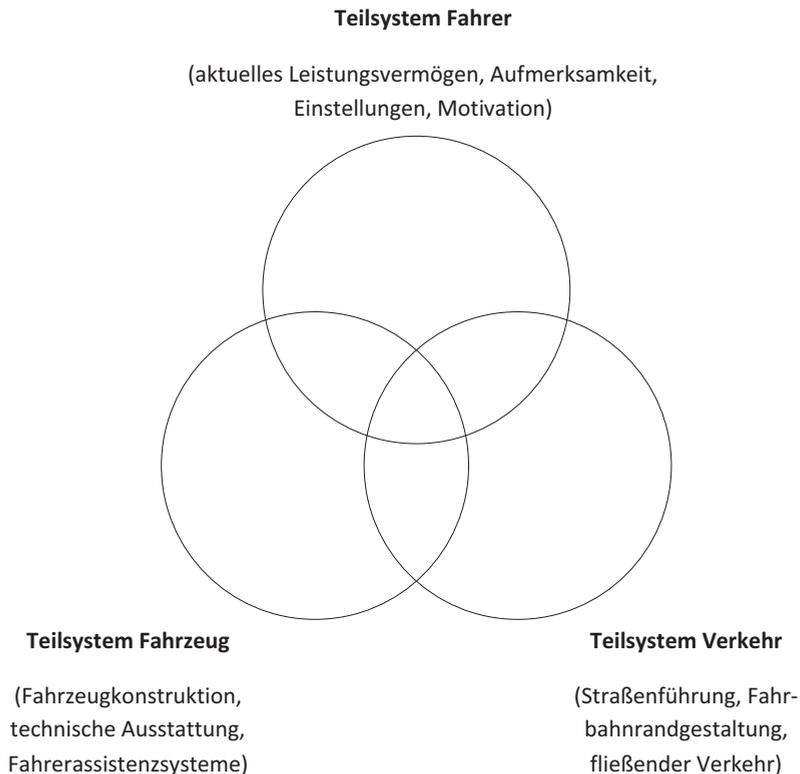


Bild1: Das Gesamtsystem Verkehrsteilnahme - Unfallverursachungsanteile von Teilsystemen Fahrer – Fahrzeug – Verkehr.

Dagegen erscheint die systemtheoretische Betrachtung besonders gut geeignet, diese wissenschaftliche Fundierung zu leisten, weil sie ein Modell zur Verfügung stellt, das die Komplexität des Untersuchungsgegenstandes hinreichend differenziert abbildet und zielführende empirische Ergebnisse liefern kann. Um diese Aussage zu begründen, soll im Folgenden zunächst in allgemeiner Form auf systemtheoretische Ansätze und wesentliche Merkmale systemtheoretischer Modelle eingegangen werden.

Systemtheoretische Ansätze sind in zahlreichen wissenschaftlichen Disziplinen von Bedeutung. Generell gilt allerdings, dass der Systembegriff je nach wissenschaftlicher Teildisziplin unterschiedlich verwandt wird. Auch in den Ingenieurwissenschaften sind systemische Ansätze beispielsweise im Bereich der Regelungstechnik traditionell von großer Bedeutung. Grundsätzlich ist der Literatur aber auch zu entnehmen, dass es auch innerhalb der Ingenieurwissenschaften keinen einheitlichen systemtheoretischen Ansatz gibt. Entsprechendes gilt in vermehrtem Umfang für den Bereich der Sozialwissenschaften, der Psychologie und der Medizin. Grundsätzlich wird zwischen linearen und nichtlinearen Modellen unterschieden.

Vor diesem Hintergrund erscheint es geboten, kurz zu erläutern, von welchen Prämissen bei einer systemtheoretischen Modellierung des motorisierten Straßen-

verkehrs beziehungsweise des Gesamtsystems "Verkehrsteilnahme" in diesem Beitrag ausgegangen werden soll. Unter dynamisch wird verstanden, dass nicht nur zwischen den einzelnen Teilsystemen, sondern auch zwischen den Komponenten der Teilsysteme interaktive und interdependente Beziehungen bestehen.

Wird - wie dies in diesem Beitrag vorgeschlagen wird - als Untersuchungsgegenstand das Gesamtsystem "Verkehrsteilnahme" betrachtet, ist weiter zu berücksichtigen, dass es sich um ein nichtlineares, dynamisches System handelt, in das Teilsysteme aus dem technischen, dem sozialen, dem biologisch-psychischen und dem physikalischen Bereich integriert sind. Bereits die Aufzählung der unterschiedlichen Teilbereiche, die auch jeweils für sich genommen nichtlineare, dynamische Teilsysteme bilden, macht die außergewöhnlich hohe Komplexität des Gesamtsystems „Verkehrsteilnahme“ deutlich und bedeutet, dass der Output des Gesamtsystems zwar gemessen aber nicht prognostiziert werden kann.

### **3 METHODISCHE UND EMPIRISCHE KONSEQUENZEN AUS DER SYSTEMTHEORETISCHEN BETRACHTUNG: DER SICHERHEITSRELEVANTE OUTPUT DES GESAMTSYSTEMS „VERKEHRSTEILNAHME“**

Es ist offenkundig, dass der Versuch, die Interaktion zwischen den einzelnen Komponenten innerhalb der Teilsysteme und zwischen den Teilsystemen zu analysieren, wegen der außergewöhnlich hohen Komplexität der Teilsysteme zum Scheitern verurteilt sein dürfte. Im Hinblick auf die Auswirkung von Komponentenänderungen auf die individuelle und die allgemeine Verkehrssicherheit scheint es aber nicht nur möglich, sondern auch sinnvoll, statt einer Untersuchung der Interaktionen innerhalb des Gesamtsystems "Verkehrsteilnahme" den Output des Gesamtsystems „Verkehrsteilnahme“ zu analysieren.

Dabei hat die hier vorgeschlagene systemische Betrachtung für die Bewertung der Sicherheitsrelevanz technischer Innovationen eine Reihe von theoretisch-wissenschaftlichen und praktischen Vorzügen:

Zum einen erlaubt sie eine theoretisch fundierte Einordnung einzelner - gegebenenfalls innovativ veränderter - technischer Komponenten des jeweils einschlägigen Teilsystems, zum anderen ermöglicht sie aber auch zu berücksichtigen, dass es letztlich für die Beurteilung der Sicherheitsrelevanz technischer Informationen auf den Output des Gesamtsystems ankommt. Durch die Zentrierung auf den sicherheitsrelevanten Output – in der vorliegenden Arbeit den Auswirkungen auf die Informations-Verarbeitungskapazität des Fahrers - wird es möglich, die verkehrssicherheitsrelevante Auswirkung von Veränderungen einzelner oder mehrerer Komponenten innerhalb des Gesamtsystems an Hand einer einzigen zentralen Variablen in objektiver, zuverlässiger und inhaltlich valider Weise zu erfassen.

Je nach Forschungsinteresse kann die systemische Betrachtung dazu herangezogen werden, Forschungsdesigns zu entwickeln, zu messende Untersuchungsvariablen zu identifizieren und zu operationalisieren und den letzten Endes relevanten Output des Gesamtsystems objektiv exakt zu messen. Dabei ist selbstkritisch anzumerken, dass es sich hierbei nur um eine erste pragmatische theoretische Positionierung handelt, die für die Zukunft der weiteren theoretischen Begründung und empirischen Absicherung bedarf.

Bei der Frage, welche Inhalte des System-Outputs sicherheitsrelevant sind, bietet sich die Informations-Verarbeitungskapazität des Fahrers als eine gut operationalisierbare und damit gut messbare Variable an. Die Informations-Verarbeitungskapazität ist deshalb von zentraler Bedeutung, weil eine Entlastung des Fahrers in diesem Bereich grundsätzlich – allerdings auch nicht zwangsläufig – die Bewältigung der notwendigen Lenk- und Kontrollaufgaben des Fahrers erleichtert. Ausgehend von dieser Prämisse wurde das Kölner Verfahren zur Erfassung der Beanspruchung im Straßenverkehr (K-VEBIS) entwickelt. Hierauf soll im Folgenden eingegangen werden. Vorab sei darauf hingewiesen, dass die zentrale Bedeutung der Informationsverarbeitung und die methodische Lösung bei der Messung auch von anderen Wissenschaftlern, die sich mit der Interaktion in Mensch-Maschine-Systemen auseinandersetzen, in ähnlicher Weise gesehen wird. Grandt & Ley (2008, S. 89) führen hierzu aus:

„Die Abschätzung des Ressourcenbedarfs der Informationsverarbeitung bei der Prozessüberwachung erscheint schon wegen der großen interindividuellen Unterschiede mit analytischen Verfahren kaum möglich. Die empirische online-Analyse der mentalen Beanspruchung kann in diesen Fällen die Informationslücke analytischer Verfahren schließen, so dass sich insgesamt der in Abbildung 6.2 skizzierte Aufbau zur Benutzerzustandserfassung und Weiterverarbeitung im Sinne einer benutzerzentrierte Adaption ergeben kann.“

Auch Grandt & Ley (2008) rücken also die Informationsverarbeitung in den Mittelpunkt ihrer Analyse. Auf die Umsetzung dieser Beurteilung für die Entwicklung eines Forschungsinstruments soll im Folgenden eingegangen werden.

Ausgehend von der zentralen Bedeutung der Informationsverarbeitungs-Kapazität des Fahrers wurde ein Forschungsinstrumentarium konzipiert, entwickelt und empirisch erprobt, das eine objektive, zuverlässige (reliable) sowie valide Messung der bei der Verkehrsteilnahme – unter den aktuell gegebenen komplexen Systembedingungen für den Fahrer- verbleibenden Informationsverarbeitungs-Kapazität ermöglichen sollte.

#### **4 DAS KÖLNER VERFAHREN ZUR VERGLEICHENDEN ERFASSUNG DER KOGNITIVEN BEANSPRUCHUNG IM STRAßENVERKEHR (K-VEBIS)**

Ausgehend von den unbefriedigenden Erfahrungen mit standardisierten Verkehrssituationen als (nicht hinreichend) präzisiertem Messmaßstab für die Beurteilung des System-Outputs von Fahrer-Fahrzeug-Systemen, beispielsweise nach der Veränderung einzelner Systemkomponenten (wie etwa der Implementierung eines Fahrerassistenzsystems), bestand von Anfang an das Ziel, ein Messinstrument zu entwickeln, das den Anforderungen psychologischer Gütekriterien an Testverfahren (Objektivität, Zuverlässigkeit/Reliabilität und Validität) genügt, und zugleich bei ökonomisch vertretbarem Aufwand präzise Messungen bei der Verkehrsteilnahme im Feld ermöglichen sollte, da es letzten Endes auf den sicherheitsrelevanten System-Output des Gesamtsystems „Verkehrsteilnahme“ im Straßenverkehr ankommt.

Bei dem Projekt stand u. a. die Überlegung Pate, dass es durch die Fülle an Informationen, die dem Fahrer durch Assistenzsysteme zur Verfügung gestellt werden können, zu einer Reizüberflutung kommen kann, die die Verkehrssicherheit

gefährdet, wobei insbesondere dann mit einer Gefährdung im Straßenverkehr zu rechnen ist, wenn sich parallel zur Überflutung durch Informationen überraschend eine kritische Verkehrssituation entwickelt. Ist zum Zeitpunkt einer solchen unvorhergesehenen, unfallträchtigen Entwicklung im fließenden Verkehr zeitlich parallel die Informationsverarbeitungs-Kapazität des Fahrers durch die Verarbeitung der Informationen des Assistenzsystems schon vollständig ausgeschöpft, verbleibt keine Restkapazität zur Registrierung und damit auch zur Bewältigung der unerwarteten Gefahrensituation (vgl. Stephan et al. 2000a; 2000b).

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel, ein portables Messinstrument verfügbar zu machen, mit dem sich in realen Verkehrssituationen unter Alltagsbedingungen die mehr oder weniger große Belastung oder Entlastung der Informationsverarbeitungs-Kapazität des Fahrers durch die Fahraufgabe objektiv erfassen und exakt messen lässt.

#### **4.1 Die objektiv exakte Messung der Informations-Verarbeitungskapazität bei der Verkehrsteilnahme durch eine Zweitaufgabe**

Um die jeweils aktuell gegebene individuelle Leistungsfähigkeit des Fahrzeuglenkers (mit oder ohne Unterstützung durch ein Fahrerassistenzsystem) exakt messen zu können, bedarf es einer Operationalisierung dieses Merkmals. Diese Operationalisierung wurde im K-VEBIS-Versuchsaufbau dadurch realisiert, dass in den Mittelpunkt der Messung die Erfassung der Informationsverarbeitungskapazität des Fahrers gestellt wurde. Diese Lösung beruht auf dem Modell der elementaren und komplexen menschlichen Informationsverarbeitung (MEKIV) nach Hussy (1993). Die Zentrierung auf die Informationsverarbeitungs-Kapazität erscheint inhaltlich sinnvoll, weil diese Variable für das Führen von Kraftfahrzeugen im Straßenverkehr von grundlegender Bedeutung ist und in der Regel Fahrerassistenzsysteme gerade durch die Bereitstellung zusätzlicher Informationen für den Fahrer einen Beitrag zur Erhöhung der Fahrsicherheit leisten sollen. Dabei kann von der Prämisse ausgegangen werden, dass ein Fahrerassistenzsystem nur dann einen positiven Beitrag zur Verkehrssicherheit leistet, wenn der Fahrer dadurch mehr „freie“ Informationsverarbeitungskapazität gewinnt. Um die durch ein Fahrerassistenzsystem bewirkte Erhöhung oder Verminderung der Informationsverarbeitungskapazität zuverlässig zu messen, kann auf ein Zweitaufgabenparadigma zurückgegriffen werden. Dabei ist unter einer Zweitaufgabe eine Nebenaufgabe zu verstehen, die parallel bzw. zusätzlich zur Fahraufgabe vom Fahrer immer dann zu bearbeiten ist, wenn ihm die Bewältigung der Hauptaufgabe hierfür freien Raum lässt. Durch die Kombination von Hauptaufgabe und Nebenaufgabe ist es möglich, beim einzelnen Fahrer zu jedem Zeitpunkt das Ausmaß der aktuell freien Informationsverarbeitungs-Kapazität, das sich in der erfolgreichen Bearbeitung der Nebenaufgabe widerspiegelt, zu messen.

#### **4.2 Konzeption der methodischen Lösung und konkreter Versuchsaufbau**

Von dem für das Projekt zuständigen Arbeitskreis 2 der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) war die Vorgabe gemacht worden, dass bereits bei kleinen Stichproben von 15 bis 20 Versuchspersonen die Erhebung aussagekräftiger Daten möglich sein sollte. Bei so kleinen Stichproben - ohne die Möglichkeit

des Vergleichs mit den Daten einer Kontrollstichprobe - konnte eine Lösung nur in einer weitgehenden Standardisierung des Messmaßstabs bestehen. Die im Zentrum stehende Aufgabe bestand darin, die Messmethodik so weit zu standardisieren, dass eine Variation der Ergebnisse von Untersuchungsteilnehmern bei der Lösung der Fahraufgabe jeweils möglichst eindeutig auf durch das überprüfte Fahrerassistenzsystem (oder eine Kombination von Fahrerassistenzsystemen) veränderte Rahmenbedingungen zurückgeführt werden kann. Dabei kann dieses Ziel offenkundig nur dann erreicht werden, wenn zugleich gewährleistet ist, dass die durch das Fahrerassistenzsystem bzw. die Fahrerassistenzsysteme erhöhte oder verminderte Leistungsfähigkeit der Fahrzeuglenker zu jedem Zeitpunkt exakt gemessen werden kann. Ausgehend von diesen Rahmenüberlegungen wurde zur Gewährleistung exakter Messbedingungen und hoher externer Validität der Untersuchungsergebnisse im K-VEBIS-Versuchsaufbau darüber hinaus auf eine Kombination von Labor- und Feldbedingungen zurückgegriffen. Dabei kommen dem Labor- und dem Feldversuch unterschiedliche Aufgaben zu.

Im Laborversuch wird die aktuelle Leistungsfähigkeit jeder Versuchsperson unter vollständig kontrollierten Bedingungen erhoben. Hierdurch kann für den Feldversuch eine Prognose der individuellen Leistungsfähigkeit eben dieser Versuchsperson erstellt werden. Weicht die Versuchsperson in positiver Richtung von der prognostizierten - durch die kontrollierte Labormessung exakt quantifizierte - Leistungserwartung ab, kann hieraus auf einen positiven Beitrag des Fahrerassistenzsystems für die Verkehrssicherheit geschlossen werden. Falls im Feld eine erwartungswidrig niedrige Leistungsfähigkeit festgestellt wird, kann dies als Beleg für einen negativen Effekt des Fahrerassistenzsystems auf die Informationsverarbeitungs-Kapazität des Fahrers und damit auf die Verkehrssicherheit interpretiert werden.

Die „intellektuellen“ Anforderungen durch die Zweitaufgabe, die vom Fahrer neben der Führung des Fahrzeugs zu bearbeiten ist, müssen extrem gering sein, denn es geht nicht um eine Messung der individuellen Intelligenz, sondern um das vollständige Ausschöpfen der Informationsverarbeitungs-Kapazität des einzelnen Fahrers während der gesamten Messzeit. Dementsprechend wurde eine äußerst einfache Leistungsaufgabe entwickelt:

Die Zweitaufgabe wird auf einem kleinen Display präsentiert, auf dem sieben Leuchtdioden in symmetrischer Konstellation angebracht sind. Von diesen sieben Leuchtdioden leuchten jeweils drei Dioden, entweder in gerader Linie oder ein Dreieck bildend auf. Bei „gerader Linie“ ist die linke Antworttaste zu drücken, bei „Dreieck“ die rechte. Eine programmierbare Messplattform (Varioport) gibt nach Zufall die Aufgaben vor und misst das Tempo der Antworten mit einer zeitlichen Auflösung von 128 Hz. Diese Messplattform wurde während zwei Jahrzehnten am eigenen Lehrstuhl entwickelt und für Forschungszwecke genutzt, sie wurde kontinuierlich weiterentwickelt und optimiert. Dieses Varioport-System hat dementsprechend eine hohe Anwendungsreife erreicht.

Um die neben der Lenkaufgabe verbleibende Restkapazität in der Informationsverarbeitung exakt messen zu können, reicht es aber nicht aus, die intellektuelle Anforderung durch die Aufgabe extrem gering zu halten, sondern es müssen noch zwei weitere Voraussetzungen gewährleistet werden:

- Zum einen muss das Beobachten/Kontrollieren des Displays - parallel zum Führen des Kraftfahrzeugs - besonders einfach sein, d.h. es darf kein Abwenden des Blicks von der Fahrbahn erforderlich sein.
- Zum andern darf der Fahrer auch nicht dadurch in Anspruch genommen werden, dass er auf einem Gerät die richtige Taste zum Beantworten suchen muss.

Diese beiden Anforderungen sind technisch auf die folgende Weise gelöst worden:

Das Display mit den Leuchtdioden wird auf der Konsole vor dem Fahrer, also zwischen Steuerrad und dem vorderen Fenster des Fahrzeugs, angebracht und an der Scheibe befestigt. Durch diese Platzierung ist gewährleistet, dass der Fahrer das Display bei der Bewältigung seiner Fahraufgabe mühelos im Auge behalten kann, ohne die Verkehrssicherheit zu gefährden. Ein Suchvorgang für das Finden der richtigen Taste zum Beantworten der jeweils gestellten Aufgabe entfällt, weil die zwei verschiedenen Antworttasten mit Klettverschlüssen am linken und am rechten Zeigefinger des Fahrers befestigt werden. Sobald der Fahrer sich jeweils entschieden hat, ob er die linke oder die rechte Taste zur Beantwortung der gerade präsentierten Aufgabe drücken muss, kann er die entsprechende Taste gegen das Steuerrad drücken und dadurch die Antwort geben. Auf diese Weise wird gleichzeitig auch das Loslassen des Lenkrades vermieden.

Als zentraler Messwert zur Feststellung der „frei verfügbaren Informationsverarbeitungs-Kapazität“ kann jeweils die Zeit zwischen dem Aufleuchten einer Diodenkonstellation bis zu ihrer korrekten Beantwortung bzw. die Anzahl der richtigen Bearbeitungen der Nebenaufgabe pro Zeiteinheit gemessen und registriert werden.

Die Steuerung der Zweitaufgabe und die Registrierung der Reaktionen der Versuchsperson erfolgt über dasselbe Steuer- und Messgerät (Varioport). Bei der Verkehrsteilnahme kann der Versuchsleiter parallel die jeweils gegebene Verkehrssituation eingeben (z.B. „Linksabbiegen mit Gegenverkehr“). Da es sich um ein portables Gerät handelt, ist es möglich, die Zweitaufgabe im Feldversuch (bei der Teilnahme am Straßenverkehr) in identischer Weise wie im Labor durchzuführen.

## 5 DISKUSSION UND KRITISCHE BEWERTUNG DES VORGESCHLAGENEN WEGES

Wie ausgeführt, kommen für die Bewertung technischer Innovationen im Fahrzeug sehr unterschiedliche Kriterien infrage. Neben ökonomischen Gesichtspunkten bei der Herstellung können die Werbewirksamkeit aus Marketingperspektive oder Sicherheitsaspekte eine wesentliche Rolle spielen. Aus der Sicht dieses Beitrages kommt bei der Bewertung technischer Innovationen der Verbesserung der individuellen und der allgemeinen Verkehrssicherheit die höchste Priorität zu. Diese hohe Positionierung der individuellen und allgemeinen Sicherheit bei der Verkehrsteilnahme ist diesem Beitrag als Prämisse zu Grunde gelegt und soll an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden.

Die Unterscheidung zwischen dem Gesamtsystem, dessen Teilsystemen und deren Einzelkomponenten auf der einen Seite sowie dem Output des Gesamtsys-

temauf der anderen Seite ermöglicht gerade im Hinblick auf die Sicherheitsrelevanz von technischen Innovationen besonders fruchtbare Forschungsansätze, die der Perspektive der traditionellen Mensch-Maschinen-Schnittstelle überlegen sind.

Die systemische Modellierung des Gesamtsystems „Verkehrsteilnahme“ erlaubt im Hinblick auf die jeweilige Forschungsfragestellung den letztlich relevanten Output des Gesamtsystems zu erkennen sowie zentrale Messvariablen zu identifizieren und methodisch adäquat zu operationalisieren. Das K-VEBIS- Instrumentarium bietet vor diesem Hintergrund die Möglichkeit, die sicherheitsrelevante Bedeutung der Veränderung von Einzelkomponenten im Fahrzeug und/oder in der Verkehrsumwelt zu beurteilen. Dabei bleibt einzuräumen, dass diese Eingrenzung der Sicherheitsrelevanz auf die Informationsverarbeitungs-Kapazität zwangsläufig eine schwerwiegende Bedingungsreduktion ist. In diesem Zusammenhang ist ferner zu bedenken, dass eine besonders geringe Belastung der Informationsverarbeitungs-Kapazität durch Unterforderung des Fahrers für die Sicherheit auch eine kontraproduktive Wirkung haben kann, weil der Fahrer wegen der Unterforderung seinen Gedanken nachhängt und nur noch automatisiert fährt.

Trotz dieser skizzierten Einschränkungen des theoretischen Ansatzes sprechen einige wissenschaftlichen Argumente für die Nützlichkeit der systemischen Modellierung der Verkehrsteilnahme. Das hier vorgeschlagene systemische Modell erscheint zumindest vorläufig geeignet, im Sinne von Niklas Luhmann die menschliche Fähigkeit zu steigern, die Komplexität der Welt zu erfassen und zu reduzieren.

Im Hinblick auf das hier vorgestellte Kölner Verfahren zur Erfassung der Beanspruchung im Straßenverkehr (K-VEBIS-Instrumentarium) lässt sich feststellen, dass mit diesem Messsystem beim bisherigen Kenntnisstand die wichtigste Output-Variable für die Beurteilung der Sicherheitsrelevanz der Implementierung einzelner Systemkomponenten in methodisch überzeugender Weise gemessen werden kann.

Dabei ist insbesondere die individuelle Kalibrierung des Messinstruments anhand der aktuellen Tagesform der untersuchten Versuchspersonen im Labor und der daraus ableitbaren exakten Prognose des Leistungsverhaltens bei der Verkehrsteilnahme als methodisch positive Eigenschaft hervorzuheben. Hierdurch ist es möglich, bereits auf der Basis der Untersuchung sehr kleiner Stichproben von 15-20 (zufällig angefallenen) Versuchspersonen statistisch signifikante Aussagen über die Sicherheitsrelevanz zu treffen.

Darüber hinaus können auch die Sicherheitsauswirkungen durch Veränderungen von Einzelkomponenten in der Verkehrsumwelt gemessen werden.

## LITERATUR

**Grandt, Morten; Ley, Daniel (2008):** Unterstützung von Entscheidungsprozessen durch benutzerzentrierte Gestaltung von Führungssystemen. In: L. Schmidt, C. M. Schlick & J. Grosche: Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

**Hussy, Walter (1993):** Denken und Problemlösen. Stuttgart: Kohlhammer.

**Stephan, Egon; Hussey, Walter; Follmann, Klaus; Hering, Wilfried; Klaffer, Katrin; Mutz, Gerhard; Thiel, Svenja (2000a):** Kölner Verfahren zur vergleichenden Erfassung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr. Frankfurt am Main: Forschungsgemeinschaft Automobiltechnik e.V. (FAT).

**Stephan, Egon; Hussey, Walter; Follmann, Klaus; Hering, Wilfried; Thiel, Svenja (2000b):** Eichung und Anwendungserprobung von K-VEBIS (Kölner Verfahren zur vergleichenden Erfassung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr). Frankfurt am Main: Forschungsgemeinschaft Automobil.



# MAßE FÜR DEN SICHERHEITSGEWINN VON FAHRERASSISTENZSYSTEMEN

*Hermann Winner, Sebastian Geyer, Mohsen Sefati*

## ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von der allgemeinen Definition von Sicherheit als Abwesenheit von nicht akzeptierten Risiken sollten Sicherheitsmaße konsequenterweise die Senkung von Risiken beschreiben. Für den Straßenverkehr sind Unfälle die Hauptschadensfälle, sodass die Sicherheit verbessert wird, wenn die Unfallschäden geringer ausfallen oder die Zahl der Unfälle abnimmt. Makroskopisch lässt sich dies an den jährlich veröffentlichten Unfallstatistiken ablesen. Da aber in diese Zahlen vielfältige Ursachen einfließen, ist nur selten die Sicherheitswirkung einzelner Maßnahmen zu extrahieren.

Sicherheitsmaße mit einem klaren Bezug zu einem Unfallablauf zielen zumeist auf eine Verminderung der Aufprallgeschwindigkeit bzw. der -energie ab. An Beispielen zur Evaluation von Gefahrenwarnungen und anderen Kollisionsgegenmaßnahmen wird gezeigt, dass hiermit erfolgreich gearbeitet werden kann. Zur Beschreibung der präventiven Sicherheit, die das Auftreten kritischer Situationen durch möglichst hohe Sicherheitsreserven vermeidet, werden zumeist stark vereinfachten Kriterien verwendet, die auf Werten der Zeitlücke oder der Time-to-collision basieren. Kombinationen solcher Größen können hier schon besser das Verkehrsgeschehen repräsentieren, auch wenn sie „nur“ beschreiben können, wie häufig kritische Situationen auftreten und/oder welche Reaktionszeit zur Verfügung steht.

Die Ergebnisse der Naturalistic-Driving-Feldstudien zeigen, dass Assistenzsysteme, die die Reaktionszeit steigern, die Sicherheit verbessern. Andererseits lässt sich aus anderen Studien das Versagen solcher Kriterien als Maßstäbe der momentanen Fahrsicherheit ablesen, da sie nicht den Bedarf an Reaktionsreserve berücksichtigen, der von verschiedenen Faktoren wie Umweltbedingungen, dem Aufmerksamkeitszustand oder dem Fahrkönnen des Fahrers abhängt. Mögliche Ansätze diesen Bedarf zu berücksichtigen, werden in diesem Beitrag diskutiert.

## 1 MOTIVATION

Die Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit ist seit den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts ein dauerhaftes Ziel bei der Entwicklung von Kraftfahrzeugen. Die im Laufe der letzten vierzig Jahre erreichten Erfolge sind einerseits beeindruckend, z.B. von ca. 19.000 Todesopfern im Jahr 1970 auf voraussichtlich unter 4.000 im Jahr 2012 (Statistisches Bundesamt, 2012a), andererseits aber ist diese Zahl immer noch zu hoch. Für eine erfolgreiche Sicherheitsverbesserung sollte bei allen potentiellen Maßnahmen geprüft werden, ob und wie viel diese die Sicherheit erhöhen. Hieraus ergibt sich, dass die Sicherheit quantifizierbar sein muss. Als globale Maße bieten sich retrospektive Statistiken über die Unfallzahlen und -schäden an, wie sie über die Meldungen der Polizei beim Statistischen Bundesamt erhoben werden (Statistisches Bundesamt, 2012b). Diese können über Gewichtungen sogar zu monetären Zahlen verdichtet werden und als volkswirtschaft-

licher Schaden durch Straßenverkehrsunfälle ausgedrückt werden. So summieren sich die volkswirtschaftlichen Kosten durch Personen- und Sachschäden bei Straßenverkehrsunfällen im Jahr 2009 in Deutschland auf 30,5 Milliarden Euro (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2011).

Diese Zahlen erfüllen ihren Zweck bei globalen Diskussionen zum Preis für den Individualverkehr, ermöglichen jedoch keine Rückschlüsse auf die Sicherheitswirkung einzelner Maßnahmen. Die Differenzierung der statistischen Unfallzahlen nach Unfallopferklassen und Fahrleistung ermöglicht hier schon eine differenziertere Betrachtung. Der Quotient aus der Zahl der Opfer zu der Zahl der Unfälle kann als pauschale Maßzahl für die Passive Sicherheit herangezogen werden. Hier sind alle Maßnahmen enthalten, die die Unfallschäden pro aufgetretenen Unfall reduzieren. In diesem Bereich haben die Einführung des Sicherheitsgurts, der aktiven Rückhaltesysteme (Airbag, Gurtstraffer), der sicheren Fahrgastzelle und definierter Knautschzonen, aber auch die verbesserte Rettungskette von Unfallbenachrichtigung bis zur medizinischen Notfallhilfe zu einem hohen Sicherheitsnutzen beigetragen. Pro registrierten 1.000 Unfällen in Deutschland wurden im Jahr 1970 14 Menschen getötet und 382 verletzt, im Jahr 2011 waren es nur noch zwei Getötete und 166 Verletzte (Statistisches Bundesamt, 2012a). Die vom Sicherheitspionier Béla Barényi begonnene Sicherheitsforschung hat aber nicht nur zu konstruktiven Sicherheitsmaßnahmen geführt, sondern auch zu Testverfahren (vgl. Bild 1).



Bild 1: Erster Crashtest (Frontalkollision gegen stehendes Hindernis) bei Mercedes-Benz im Jahre 1959 (Daimler, 2009).

Nach einer gewissen Reifephase wurden diese Bestandteile von Zulassungsvorschriften, wie beispielsweise dem seit 1974 in Deutschland vorgeschriebenen Crashtest mit 50 km/h gegen ein starres Hindernis als Teil der Typprüfung von Neufahrzeugen, und, wichtiger noch, von Verbrauchertests wie dem European New Car Assessment Programme „EURO NCAP“ (vgl. Kramer, 2009, S. 283-324). Um den Aufwand in einem akzeptablen Bereich zu halten, müssen sich diese Prüfverfahren auf wenige, wenn auch möglichst repräsentative Unfallszenarien beschränken, wodurch eine Optimierung der Sicherheitsmaßnahmen auf die Testfälle folglich einhergeht. Diese einseitige Optimierung wird für weltweit vertriebene

Fahrzeuge allerdings erschwert, da eine Vielzahl von Teststandards mit zum Teil großen Unterschieden bestanden werden muss. Die Messbarkeit der passiven Sicherheit eines Fahrzeugs hat zu einer starken Beschleunigung der Entwicklung von Maßnahmen und deren Markteinführung geführt, denn mit den Ergebnissen der Verbrauchertests, insbesondere der einfachen Darstellung der Gesamtbewertung in Form von Sternen, konnte Sicherheit auch marktfördernd eingesetzt werden. Heute finden sich viele Stimmen, die das Potenzial der passiven Sicherheit als weitgehend ausgeschöpft ansehen. Die Einführung des E-Call für die Verbesserung der Rettungskette erscheint so als letzte Möglichkeit mit größerem Potenzial, die Zahl der Opfer pro Unfall zu senken.

## 2 KRITERIEN FÜR UNFALLFOLGENLINDERUNG

Aus den vorherigen Betrachtungen lässt sich schließen, dass weitere Verbesserungen der Sicherheit nur über Maßnahmen erreicht werden können, die schon vor dem Kollisionszeitpunkt wirken. Diese Maßnahmen reichen von der Vorkonditionierung der Rückhaltesysteme bei erkannter Unfallgefahr bis hin zu Eingriffen mit dem Ziel, den Unfallablauf günstiger für die Unfallopfer zu gestalten. Hierzu zählen insbesondere Bremseneingriffe kurz vor der erwarteten Kollision, die über umfelderfassende Sensoren (Radar, Lidar, Kamera) prädiiziert wird. Somit lassen sich diese Systeme der Aktiven Sicherheit mit denen der Passiven Sicherheit zu der Integralen Sicherheit zusammenführen. Die hier verwendete Kategorisierung der Sicherheitsbegriffe zeigt Tabelle 1<sup>1</sup>.

Tabelle 1: Definition für die hier verwendeten Sicherheitskategorien.

Sicherheitskategorie	Bezug zum Unfall
Präventive Sicherheit	nur statistischen Bezug, kein konkretes Unfallszenario erkennbar
Aktive Sicherheit	potentielles Unfallszenario klar erkennbar, aber noch vermeidbar
Integrale Sicherheit	noch vor Unfallzeitpunkt, Unfall aber nicht mehr vermeidbar
Passive Sicherheit	Schädigungsphase (Crash, Überschlag, ...)
Rettung	Unfallopferbergung, Ambulanz

Heutige, am Markt vertretene Systeme zur Unfallfolgenlinderung gehorchen dem gleichen Grundprinzip, weisen jedoch häufig eine unterschiedliche Auslegung auf. Die Auslösung einer Notbremsung geschieht zwar im Detail zu unterschiedlichen Bedingungen, für das vereinfachte Szenario einer Kollision mit einem Objekt konstanter Geschwindigkeit  $v_{ob}(t)$ , welches sich auch im Stillstand befinden kann, und eigener konstanter, höherer Geschwindigkeit  $v_{sub}(t)$  wird auf die Time-to-Collision referenziert.

$$\tau_{tc}(t) = d(t)/v_{diff}(t); v_{diff}(t) = -v_{rel}(t) = v_{sub}(t) - v_{ob}(t) \tag{1}$$

<sup>1</sup> Die Begriffe sind zwar üblich, aber oftmals unterschiedlich benutzt. Ein erweiterter Begriff von Passiver Sicherheit schließt häufig die Integrale Sicherheit und Rettung mit ein. Andererseits schließt die Integrale Sicherheit auch die Schutzsysteme, die während der Schädigungsphase eingreifen, mit ein. Unter der Aktiven Sicherheit werden die Systeme zur Präventiven Sicherheit und manchmal sogar die „nur“ kollisionsfolgenlindernden, fahrdynamisch wirkenden Sicherheitssysteme subsummiert.

Wie von Winner (2012, S. 528-531) im Detail dargelegt, bestimmt die Annahme über mögliches Ausweichen die Auslösung des Bremsengriffs. Auf Standardausweichszenarien bezogen lassen sich folgende Auslösezeitpunkte ableiten:

Die fahrphysikalische Grenze liegt bei  $\tau_{tc,0} \approx 0,6$  s, ein Ausweichen unterhalb von  $\tau_{tc,1} \approx 1,0$  s ist zwar physikalisch noch möglich, wird von Fahrern aber als gefährlich eingestuft. Die Komfortgrenze für Ausweichen wird bei  $\tau_{tc,2} \approx 1,6$  s angesetzt. Da bei einer Auslösung bei früheren  $\tau_{tc} > \tau_{tc,0}$  Ausweichen noch möglich ist, wird nicht die maximale Verzögerung ausgelöst, sondern mit einer, die einer mittleren (ca.  $4 \text{ m/s}^2$  bei  $\tau_{tc,2}$ ) und stärkeren (ca.  $6 \text{ m/s}^2$  bei  $\tau_{tc,1}$ ) Teilbremsung entspricht, aber die Ausweichfähigkeit noch nicht beeinträchtigt. Natürlich lassen sich auch Kombinationen dieser Bremsstrategien bilden, wie z.B. ca.  $4 \text{ m/s}^2$  bei  $\tau_{tc,0} \leq \tau_{tc}(t) < \tau_{tc,2}$  und  $10 \text{ m/s}^2$  bei  $\tau_{tc}(t) < \tau_{tc,0} \approx 0,6\text{s}$ , (vgl. Breuer, 2009, S. 101).

Zunächst einmal erscheint es offensichtlich, dass diese Notbremssysteme die Sicherheit steigern, da sie die Kollisionsenergie abbauen und damit die Unfallschwere reduzieren sollten. Aber um wie viel? Dazu könnte man sich über einen Zusammenhang zwischen dem Unfallschaden und der Kollisionsenergie nähern. Allgemein üblich ist, dafür die EES (Energy Equivalent Speed) heranzuziehen. In dieser Größe geht anteilig die im Kollisionspartner aufgenommene Kollisionsenergie ein, deren Anteil wiederum geschwindigkeitsabhängig ist. Aber selbst bei der nächsten Vereinfachung, dem Aufprall auf eine starre Barriere (dann ist  $EES = v_{coll}$ , der Aufprallgeschwindigkeit) hängt die Reduktion der Geschwindigkeit von den Anfangsbedingungen ab, wie folgende kurze Rechnung zeigt:

$$\Delta v = v_0 - v_{coll} = \int_{t_0}^{t_c} D(t) dt \quad (2)$$

Für eine zur einer TTC von  $\tau_{tc,i}$  ausgelösten Bremsung mit sprunghaft von Null auf einedanach konstante Verzögerung  $D_0$  ergibt sich ein Geschwindigkeitsabbau von

$$\Delta v = v_0 \left(1 - \sqrt{1 - 2D_0\tau_{tc,i}/v_0}\right), \text{ für } v_0 \geq 2\tau_{tc,i}D_0, \text{ ansonsten } \Delta v = v_0 \quad (3)$$

Der minimale Geschwindigkeitsabbau tritt bei sehr hoher Ausgangsgeschwindigkeit auf:

$$\Delta v_{\infty} = \int_{t_0}^{t_0 + \tau_{tc,i}} D(t) dt = D_0\tau_{tc,i} \quad (4)$$

Der maximale Geschwindigkeitsabbau ist durch die Ausgangsgeschwindigkeit begrenzt, da in diesem Fall die Kollision vermieden wird. Ansonsten hängt es vom Verhältnis  $D_0\tau_{tc,i}/v_0$  ab, wie lange die Phase bis zur Kollision dauert und ob die Bremse den Geschwindigkeitsabbau vornehmen kann (vgl. Bild 2, oben). Mit steigendem Wert von  $D_0\tau_{tc,i}/v_0$  verlängert sich die Zeitdauer bis zum Aufprall von  $\tau_{tc,i}$  bis zu  $2\tau_{tc,i}$ . Dadurch kann wiederum ein progressiv steigender Geschwindigkeitsabbau  $\Delta v/v_0$  bewirkt werden (vgl. Bild 2, unten).

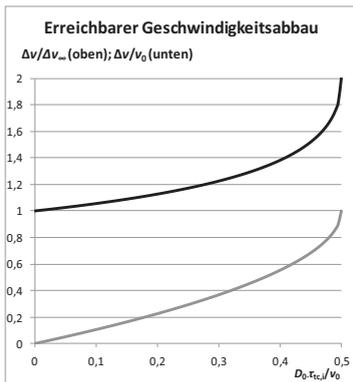


Bild 2: Erreichbarer, auf die Ausgangsgeschwindigkeit  $v_0$  bezogener Geschwindigkeitsabbau (unten), Verlängerungsfaktor  $\Delta v/\Delta v_\infty$  (oben) als Funktion von  $D_0\tau_{tc,i}/v_0$ .

Die Verlängerung ist höher, wenn die anfängliche Geschwindigkeit niedrig ist. Da die Sicherheitssysteme zumeist unabhängig von der Ausgangsgeschwindigkeit auf Basis der ohne Eingriff noch zur Verfügung stehenden Zeit bis zur Kollision arbeiten, liegt es nahe eine Basisgröße wie  $\Delta v_\infty$  in der allgemeinen Definition als Integral über die Verzögerung innerhalb des nicht verlängerten Intervalls  $\tau_{tc,i}$  zu verwenden. Für eine Betrachtung des Sicherheitsgewinns als Verringerung von Getöteten- und Verletztanzahlen muss natürlich der der Ausgangskonstellation entsprechende Geschwindigkeitsabbau berechnet werden und mit der Häufigkeit des Auftretens gewichtet werden. Ein Beispiel für derartige Berechnungen liefert Busch (2004). Darin werden Reduktionspotenziale bezüglich der Zahl der im Straßenverkehr getöteten Personen von 3,4 % und 5,6 % bei einer vollständigen Durchdringung mit Notbremssystemen und Notbremssystemen in Kombination mit einem Bremsassistenten ermittelt.

Neben der durch den Bremseneingriff erzielten Verlangsamung wird bei frühzeitiger Auslösung, wie z.B. bei  $\tau_{tc,2}$  eine Verlängerung der Reaktionszeit für einen Fahrereingriff erreicht, wie folgendes Beispiel zeigt. Bei  $v_0 = 20 \text{ m/s}$  (72 km/h) und  $4 \text{ m/s}^2$  für  $\tau_{tc}(t) < \tau_{tc,2} = 1,6 \text{ s}$  beginnt die Bremsung bei  $d_0 = 32 \text{ m}$ . Eine Sekunde später sind  $4 \text{ m/s}$  abgebaut und  $18 \text{ m}$  Abstand verkürzt worden, so dass die dann aktuelle  $\tau_{tc}(t_0 + 1 \text{ s}) = \frac{14}{16} \text{ s} = 0,875 \text{ s}$  fast  $0,3 \text{ s}$  höher ist als ohne diese Teilbremsung. Eine Unfallvermeidung durch eine „beherzte“ Fahrereaktion mit schnellem Ausweichen wäre dann ebenso noch möglich wie mit einer Vollbremsung ( $d_{VB} = 16^2/20 \text{ m} = 12,8 \text{ m}$ ). Ohne Fahrereingriff würde die Kollision mit

$$v_{coll} = \sqrt{v_0^2 - 2D_0d_0} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \tag{5}$$

erfolgen.

Die Teilbremsung bei  $\tau_{tc,2}$  bewirkt also nicht nur den Abbau der Kollisionsgeschwindigkeit, sondern warnt den Fahrer zusätzlich durch den kinästhetischen Bremsruck und „schenkt“ zusätzliche Reaktionszeit, die zur Unfallvermeidung genutzt werden kann.

Diese zusätzliche Zeit lässt sich auch als Differenz der Time-to-collision nach dem und derjenigen vor dem Eingriff ausdrücken. Allerdings reicht es nicht aus, die über Gl. (1) definierte  $\tau_{tc}$  heranzuziehen, da sie nur für den Fall gilt, dass sich zwei Fahrzeuge ohne Relativbeschleunigung zueinander bewegen. Aber gerade der Bremsengriff sorgt für eine Relativbeschleunigungsänderung, so dass statt Gl. (1) die Enhanced-Time-to-Collision  $\tau_{tc}(D_{diff})$ ;  $D_{diff} = D_{sub} - D_{ob}$  anzuwenden ist:

$$\tau_{tc}(D_{diff}) = \frac{v_{diff}}{D_{diff}} \left( 1 - \sqrt{1 - 2D_{diff} \tau_{tc} / v_{diff}} \right); v_{diff} \geq 2D_{diff} \tau_{tc}. \quad (6)$$

Hier gilt es die Vorzeichen zu beachten: ein Verzögern des vorausfahrenden Fahrzeugs führt zu einer negativen Relativbeschleunigung, die (positive) Verzögerung des nachfahrenden  $D_{sub}$  zu einer positiven Relativbeschleunigung.

Für die Vereinfachung  $v_{ob}(t) = \text{const}$  und  $v_{sub}(t < t_0) = \text{const}$  ergibt sich eine Erhöhung von

$$\Delta\tau_{tc} = \tau_{tc}(D_{sub}) - \tau_{tc} = \frac{v_{diff}}{D_{sub}} \left( 1 - \sqrt{1 - 2D_{sub} \tau_{tc} / v_{diff}} \right) - \tau_{tc}. \quad (7)$$

Die gewonnene Zeit lässt sich somit präzise angeben. Die damit unbestritten einhergehende Erhöhung der Sicherheit lässt sich hingegen nur schwer quantifizieren. Hillenbrand (2007; s.a. Früh et.al., 2008) stellt einen Ansatz vor, nach dem auf Basis von Verteilungen der Fahrerreaktionszeiten Unfallvermeidungspotentiale berechnet werden können, die sich allein aus dem Gewinn der durch einen Bremsengriff gewonnenen zusätzlichen Reaktionszeit ergeben.

Für die Warnung vor einer Kollision stehen aber natürlich noch andere Mittel zur Verfügung. Neben den bekannten auditiven Alarmierungen (Beep, Gong o.ä.) können auditive Icons die Wirkung durch die im Icon enthaltene Zusatzinformation (Beispiel: Reifenquietschen entsprechend einer Notbremsung) erhöhen. Auch der haptische Informationskanal kann angeregt werden, sei es über einen Gurtruck, ein aktives Fahrpedal oder durch Sitzvibration. Auch optische Mittel werden diskutiert, die auch im peripheren Sichtfeld noch bemerkt werden können. Doch nach welchen Kriterien lassen sich die besten Lösungen finden? Reaktionszeitmessende Experimente liefern nur einen Teil der relevanten Information, denn es reicht nicht, einfach nur eine Reaktion festzustellen. Bei Aufforderung zu einer Notbremsung ist auch die Reaktionsstärke wichtig, d.h. wie schnell der Bremsdruck aufgebaut wird und wie stark gebremst wird.

Diese Fragen führten zur Entwicklung der Darmstädter Methode EVITA und dem zugehörigen Experiment. Die Methodik basiert auf einem für Auffahrunfälle sehr relevanten Szenario, dem Fall eines plötzlich und stark bremsenden vorausfahrenden Fahrzeugs. Dargestellt wird dies mit einem selbstbremsenden Anhänger (s. Bild 3), der an einer, im Bremsfall gelockerten, Seilwinde geführt wird. Zur Vermeidung einer Kollision mit dem hinterherfahrenden Prüffahrzeug wird die Seilwinde rechtzeitig geschlossen und der Anhänger in weniger als einer Sekunde auf die Ausgangsgeschwindigkeit beschleunigt.



Bild 3: EVITA bestehend aus Zugfahrzeug und Anhänger (Hoffmann, 2008, S. 22).

Für die Fahrer des nachfahrenden Prüffahrzeugs ergibt sich eine plötzliche und überraschende Situation, die aber ohne Ablenkung mit hoher Wahrscheinlichkeit bewältigt würde, d.h. die Kollision würde auch ohne das Schließen der Seilwindenbremse vermieden. Erst in Kombination mit einer Ablenkung des Probanden entstehen mit größerer Wahrscheinlichkeit Situationen, die in einem realen Notbremsfall zu einer Kollision führen würden. Somit ist die Ablenkung ein wichtiger Teil der Methodik, um für die Prüfsituation passende „Unaufmerksamkeitsfenster“ zu finden. Hoffmann (2008, S. 32) hat vergleichend verschiedene Frontalkollisionsgegenmaßnahmen (FKGM) bewertet, indem er auf einen definierten, von der Time-to-Collision abhängigen Anfangszeitpunkt  $t_0$  die darauf folgende Geschwindigkeitsänderung bis zu einem späteren Bezugspunkt  $t_0 + T$  betrachtet:

$$\Delta v(T) = v(t_0) - v(T) \quad (8)$$

Für  $T = \tau_{tc}(t_0)$  erhält man die gleiche Definition wie nach Gl. (4) für  $\Delta v_\infty$ . Es besteht jedoch keine Notwendigkeit dieser Bedingungeinhaltung, solange der Gefahren Eindruck so bemessen ist, dass die Kollisionsgefahr nur durch eine Notbremsung zu vermeiden ist. Für  $T$  ist eine Zeit zu wählen, die einerseits groß genug ist, um die üblichen Informationsverarbeitungsschritte des Menschen (Gefahrenwahrnehmung, Reaktion, Verzögerungsaufbau) bis zur Maximaldauer ablaufen zu lassen, andererseits klein genug, dass auch im Best-case der Stillstand nicht erreicht wird. Ein Wert von  $T = 2$  s trägt dieser Betrachtung für Testgeschwindigkeiten im Bereich von 50-60 km/h Rechnung. Da im Laufe der Vollverzögerungsphase oft schon der Testanhänger wieder auf Ausgangsgeschwindigkeit beschleunigt werden muss, ohne dass die Zeit  $t_0 + T$  vergangen ist, um eine reale Kollision zu vermeiden, wird der Geschwindigkeitsverlauf bis  $t_0 + T$  auf der Basis der zuletzt erreichten mittleren Vollverzögerung extrapoliert. Die auf diese Weise ermittelten Geschwindigkeitswerte werden als kumulative Häufigkeit aufgetragen, um die im Probandenversuch gemessene Verteilung zu veranschaulichen. Zur Beurteilung der Wirksamkeit eines Warnelements bzw. Warnsystems wird eine Baseline (BL)-Gruppe zum Vergleich herangezogen, in der bei ansonsten gleichen Versuchsbedingungen keine Systemauslösung erfolgt. Die Wirksamkeit dieser

Vergleichsgruppe ergibt sich aus dem Blickzuwendungsverhalten des Fahrers und seiner Reaktionszeit ohne Systemunterstützung. In Bild 4 ist beispielhaft ein typisches Ergebnis dieser Untersuchungen für die Systemeingriffe mit Voll- (FullBraking) und Teilverzögerung (Partial Braking) gegenüber der Baseline-Gruppe dargestellt.

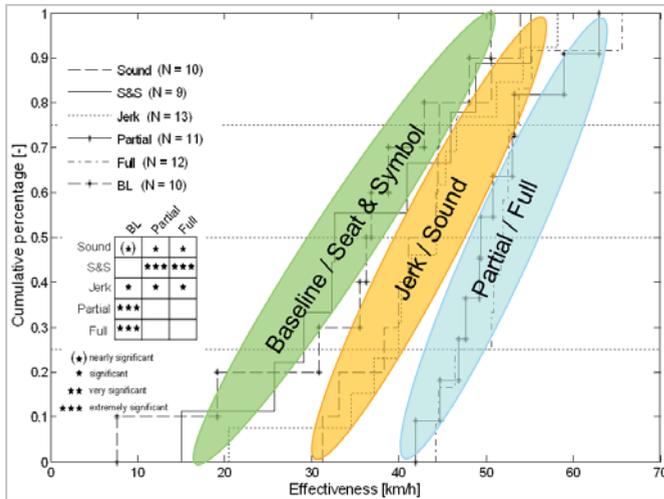


Bild 4: Wirksamkeit verschiedener Warnelemente (vgl. Winner et al. 2009, Fecher et al. 2008)

Über ein Bewertungskonzept dieser Art können die verschiedenen Ausprägungsmöglichkeiten der FKGM relativ zueinander und unter Closed-Loop-Bedingungen verglichen werden und eine optimale Gesamtlösung gefunden werden. Allerdings ist die Trennschärfe nicht sehr hoch. Hauptursache für die breite Streuung der Ergebnisse, insbesondere der Base-Line, ist die Streuung des Endes der Unaufmerksamkeit. Es ist kaum kontrollierbar, den Zeitpunkt des Kontrollblicks, der auch bei Ablenkung immer wieder erhoben wird, vorherzusagen. Erfolgt dieser vor der Auslösung, so wird die Messung für ungültig erklärt. Erfolgt dieser innerhalb einer sehr kurzen Zeit vorher oder nachher, so ist die Reaktion das Ergebnis von zwei unabhängigen Prozessen, dem Kontrollblick und der Alarmierung. Erst danach kann von einer allein durch die FKGM bewirkten Reaktion ausgegangen werden. Ein weiterer Nachteil ist die bisher als zwingend vorausgesetzte Bedingung, dass nur der erste Versuch zählt und die Probanden für weitere Vergleiche zur Messung der Wirksamkeit „verdorben“ sind. Dies führt zu einem hohen Aufwand mit vielen Probanden. Immerhin sind bei diesen Testreihen mit derselben Person noch andere Auswertungen möglich, wie z.B. der Verzeihlichkeit der FKGM bei einer simulierten Falschauslösung.

### 3 KRITERIEN FÜR PRÄVENTIVE SICHERHEIT

Mit den zuvor geschilderten Ansätzen lässt sich für eine bestimmte Unfallart, hier die Frontalkollision auf ein fahrendes oder stehendes Hindernis, eine Bewertung heranziehen und mit weiteren Annahmen über Unfallhäufigkeit und Unfallwirkung eine Abschätzung der Unfallschadensminderung oder Unfallvermeidung quantifizie-

ren. Die so ermittelte Sicherheitswirkung setzt aber eine unveränderte Zahl der Kollisionssituationen bei gleichzeitiger Erhöhung der Vermeidungs- und Linderungsquote voraus.

Sicheres Fahren hingegen vermeidet das Auftreten solcher Situationen. Übliche Annahmen zur Vermeidung kritischer Situationen sind das Nichtauftreten von „zu hohen“ Geschwindigkeiten und/oder zu kleinen Abständen.

Bezüglich des Abstands verlangt die StVO in § 4, Absatz 1: „Der Abstand von einem vorausfahrenden Fahrzeug muss in der Regel so groß sein, dass auch dann hinter ihm gehalten werden kann, wenn es plötzlich gebremst wird [...].“ Daraus leitet sich der in nicht-technischen Bereichen oft so genannte „Sekunden-Abstand“ ab, der korrekt als Zeitlücke  $\tau_{gap}$  (engl. time gap, manchmal auch THW, Time Headway) zu bezeichnen ist.

Entsprechend der angenommenen Wahrnehmungs- und Reaktionszeit des Menschen ergeben sich Zeitlücken mit Werten von  $\tau_{gap} \approx 1,0 \text{ s} \dots 2,0 \text{ s}$ . Daher findet sich die Zeitlücke in vielen wissenschaftlichen Arbeiten (z.B. Filzek, 2002; Fecher, 2005) auch als Bewertungsmaß für die Sicherheitsbeurteilung, bei der die allgemeine Annahme zugrundeliegt, dass größere Zeitlücken mehr Sicherheit bedeuten. Dieses Maß ist aber nur für die Folgefahrt gleichschneller Fahrzeuge definiert, also:

$$\tau_{gap} = \frac{d}{v_{sub}} = \frac{d}{v_{ob}} \tag{9}$$

Für den nächst einfachen Spezialfall, dem Annähern des Fahrzeugs (Index  $_{sub}$ ) mit einer konstanten Relativgeschwindigkeit  $v_{diff} = v_{sub} - v_{ob}$  an ein vorausfahrendes Fahrzeug (Index  $_{ob}$ ) werden die aktuelle Time-to-Collision  $\tau_{tc}(t)$  gemäß Gl. (1) oder die minimale  $\tau_{tc,min}$  als Kennwert herangezogen.

Manche Autoren wie beispielsweise Minderhoud und Bovy (2001) erfinden neue Kriterien wie die Zeitdauer unterhalb einer TTC-Schwelle oder gewichten die Zeit mit der Differenz zwischen Schwellwert und aktueller TTC. Letzteres wird damit begründet, dass kleine TTC schwerer ins Gewicht fallen als große.

Dabei ist eine solche Gewichtung nahezu automatisch gegeben, wenn der Kehrwert

$$\tau_{tc}^{-1}(t) = v_{diff}(t)/d(t); \tag{10}$$

herangezogen wird. Auch wenn der Kehrwert einer Zeitgröße zunächst weniger anschaulich ist, so sind folgende Vorteile inhärent vorhanden: 1. besteht eine monotone Zunahme der Gefahr mit  $\tau_{tc}^{-1}(t)$ . 2. ist die Mittelung über  $\tau_{tc}^{-1}(t)$  selbst dann noch sinnvoll, wenn die Differenzgeschwindigkeit verschwindet oder sogar negativ wird. Nur wenn die Aussagen sich auf eine Verteilungsfunktion beziehen, sei es über aktuelle Werte oder Extremwerte, ist die Information noch identisch. Schon bei einer Boxplot-Verteilung wird bei der Darstellung der Ausreißer ein anderes Ergebnis erzeugt, da die Streuungsmaße verschieden sein werden.

Eine der wenige Ausnahmen der Verwendung von  $\tau_{tc}^{-1}(t)$  findet sich bei Chan (2006), der eine Criticality Index Function definiert:

$$\text{Criticality Index} = v_{\text{diff}}^2(t) \tau_{\text{tc}}^{-1}(t); [\text{Criticality Index}] = \text{m}^2/\text{s}^3 \quad (11)$$

Mit dem Quadrat der Differenzgeschwindigkeit soll der möglichen Kollisionsschwere Rechnung getragen werden, die auch als Produkt von benötigter Verzögerung  $v_{\text{diff}}(t) \cdot \tau_{\text{tc}}^{-1}(t)$  (genau genommen dem halben Wert) und der Differenzgeschwindigkeit interpretiert wird. Chan spricht von der benötigten Impulsänderung (momentum change), die mit diesem Criticality Index einhergeht.

Der Fall konstanter Differenzgeschwindigkeit ist ein Spezialfall. Bei konstanter Differenzverzögerung lässt sich, wie zuvor schon gezeigt, ein vergleichbarer Ausdruck für  $\tau_{\text{tc}}(D_{\text{diff}})$  gemäß Gl. (6) heranziehen.

Da das vorausfahrende Fahrzeug bei positiver Verzögerung irgendwann zum Stillstand kommt und die Eigenverzögerung beendet, gilt für diesen Fall:

$$\tau_{\text{tc}}(v_{\text{ob}}, D_{\text{ob}}) = \frac{v_{\text{sub}} - \sqrt{v_{\text{sub}}^2 - 2D_{\text{sub}} \cdot d - v_{\text{ob}}^2 \cdot D_{\text{sub}}/D_{\text{ob}}}}{D_{\text{sub}}}; \quad (12)$$

$$(v_{\text{sub}}^2 - 2D_{\text{sub}} \cdot d - v_{\text{ob}}^2 \cdot D_{\text{sub}}/D_{\text{ob}}) > 0$$

Somit kann bei bekannter Geschwindigkeit und Beschleunigung der Fahrzeuge und dem Abstand zwischen beiden eine Time-to-Collision (und natürlich auch davon der Kehrwert) gebildet werden.

Ähnlich lässt sich das Kriterium Zeitlücke weiterentwickeln. Aufgrund unterschiedlicher Geschwindigkeiten ist die Zeitlücke nicht nur variabel, sondern hat auch unterschiedliche Bezugsgeschwindigkeiten:

$$\tau_{\text{gap,sub}} = \frac{d}{v_{\text{sub}}}; \tau_{\text{gap,ob}} = \frac{d}{v_{\text{ob}}} \quad (13)$$

Üblicherweise wird dann die auf  $v_{\text{sub}}$  bezogene Definition verwendet.

Mit TTC und Zeitlücke sind grundsätzlich zwei Zeitmaße verfügbar, die als Sicherheitskriterium herangezogen werden können. Jedes für sich besitzt einen monotonen Zusammenhang, wenn das Zeitmaß größer ist, ist der Zustand sicherer, oder, wie zuvor schon angedeutet, im Kehrwert monoton mit der Gefährdung steigend. Aber wie sind diese zu gewichten, wenn beide zusammen zu betrachten sind? In manchen Arbeiten werden beide Größen gegeneinander aufgetragen (Beispiel Filzek, 2002, S. 46 u. 80 ff). Andere berechnen über Einzelschwellwerte dieser Messgrößen Gefahrenklassen, oder modifizieren diese Einteilung noch mithilfe weiterer Größen wie der Relativgeschwindigkeit. Benmimoun et al. (2012a, S. 824) identifizieren kritische Fahrsituationen auf Basis der Fahrzeuggeschwindigkeit, der Zeitlücke, der Kollisionszeit, der Relativgeschwindigkeit und der Statusinformation des Bremslichts. Zur weiteren Verbesserung der Erkennungsmethodik wird zusätzlich die Fahrerreaktion berücksichtigt.

Solchen heuristischen, aber trotzdem ziemlich willkürlichen Zuordnungen fehlt ein eindeutiges, top-down-abgeleitetes Grundprinzip. Dabei liefert die StVO einen klaren Hinweis darauf, wie eine solche Verbindung geschaffen werden kann: „[...] auch dann hinter ihm gehalten werden kann, wenn es plötzlich gebremst wird [...]“. Dazu wird für jeden Moment  $t$  angenommen, dass das vorausfahrende Fahrzeug der Fahrzeuglänge  $\ell_{\text{ob}}$  an der Position  $x_{\text{ob}}(t) = x_{\text{sub}}(t) + d(t) + \ell_{\text{ob}}$  (auf

Fahrzeugvorderkante bezogen) aus einer Geschwindigkeit  $v_{ob}(t)$  eine Vollverzögerung mit der konstanten Verzögerung  $D_{ob}$  beginnt. Zur Erfüllung des StVO-Kriteriums ist es hinreichend, wenn das nachfahrende Fahrzeug mindestens die gleiche Verzögerung aufbringen kann und an der Position, an der das vorausfahrende Fahrzeug zu bremsen begonnen hat zzgl. Fahrzeuglänge die gleiche Geschwindigkeit aufweist wie  $v_{ob}(t)$  bei Bremsbeginn. Unter der Annahme gleicher Verzögerungen  $D_{sub} = D_{ob} = D_{max}$  als Vollverzögerung ergeben sich aus dieser Bedingung folgende Bestimmungsgleichungen für den zusätzlichen Bremsweg aufgrund der höheren Geschwindigkeit:

$$s_{sub+}(t) = \frac{v_{sub}^2(t) - v_{ob}^2(t)}{2D_{max}} \quad (14)$$

Dieser ist vom Abstand abzuziehen. Die verbleibende Länge  $s_{res}(t) = d(t) - s_{sub+}(t)$  des Abstands kann als Reservezeit  $\tau_{res}(t)$  für eine Fahrerreaktion herangezogen werden.

$$\tau_{res}(t) = \frac{s_{res}(t)}{v_{sub}(t)} = \frac{d(t) - \frac{v_{sub}^2(t) - v_{ob}^2(t)}{2D_{max}}}{v_{sub}(t)} = \tau_{gap,sub}(t) - \frac{v_{sub}^2(t) - v_{ob}^2(t)}{2D_{max} v_{sub}(t)} \quad (15)$$

Abgeleitet wurde die Beziehung für eine Situation mit einem langsamer vorausfahrenden Fahrzeug, sie ist aber auch für den anderen Fall, also wenn  $v_{sub} \leq v_{ob}$ , gültig.

In Bild 5 sind Linien konstanter Reservezeit nach Gl. (15) in Abhängigkeit der reziproken TTC (Ordinate) und der Zeitlücke  $\tau_{gap,sub}$  aufgetragen, links für den Kehrwert, rechts die übliche Definition auf den Abszissen. Dazu muss ein Arbeitspunkt über die Objektgeschwindigkeit  $v_{ob}$  definiert werden, in diesem Fall  $v_{ob} = 25 \frac{m}{s} = 90 \text{ km/h}$ . Bild 5 zeigt wie eine nach Gl. (15) berechnete Reservezeit die Zeitlücke modifiziert, wenn eine Differenzgeschwindigkeit vorliegt und damit eine (reziproke) TTC berechnet werden kann. Die Polstelle bei verschwindender Differenzgeschwindigkeit erfordert die reziproke Darstellung der TTC.

Grundsätzlich können auch negative TTC berechnet werden, wodurch jedoch die Kollisionsbedeutung verschwindet. Verwendbar ist dieses Kriterium für Einscher-Manöver, z.B. hinter einem schneller fahrenden Objekt. Die negative TTC drückt dann die Zeit aus, die nach Passieren des Objekthecks an der Front des Subjekt-fahrzeugs vergangen ist. Bild 5 zeigt, dass bei steigender  $\tau_{tc}^{-1}$  die Zeitlücke größer gewählt werden muss, um die gleiche zeitliche Reserve zu erhalten.

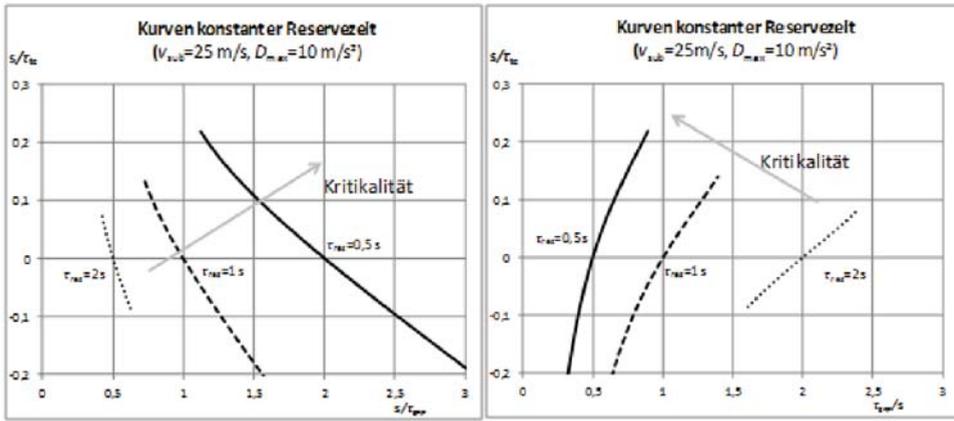


Bild 5: Kehrwert der Time-to-Collision und der Zeitlücke bei konstanter Reservezeit (links Kehrwert Zeitlücke, rechts Zeitlücke normal).

Habenicht (2012) hat für die Bewertung der Sicherheitswirksamkeit von Fahrstreifenwechsellassistenten ein ähnlich abgeleitetes Kriterium als so genannte maximal verfügbare Reaktionszeit  $\tau_{react,rel,max}(t)$  definiert. Hier wurde eine Kollisionsvermeidungsstrategie herangezogen, die sich auf ein mit konstanter Geschwindigkeit vorausfahrendes Fahrzeug bezieht.

$$\tau_{react,rel,max}(t) = \frac{d(t) - \frac{v_{diff}^2(t)}{2D_{max}}}{v_{diff}(t)} = \tau_{tc}(t) - \frac{v_{diff}(t)}{2D_{max}} \tag{16}$$

Mit der so definierten Größe wird die verfügbare Zeit bis zum spätesten Bremsbeginn einer gerade noch zur Kollisionsvermeidung ausreichenden Bremsung angegeben (vgl. Bild 6). Diese Definition kann als Modifikation der Time-to-Collision-Bedingung angesehen werden (vgl. rechter Term von Gl. (16)), wenn Ausweichen, z.B. durch Fahrstreifenwechsel, keine gesicherte Option ist.

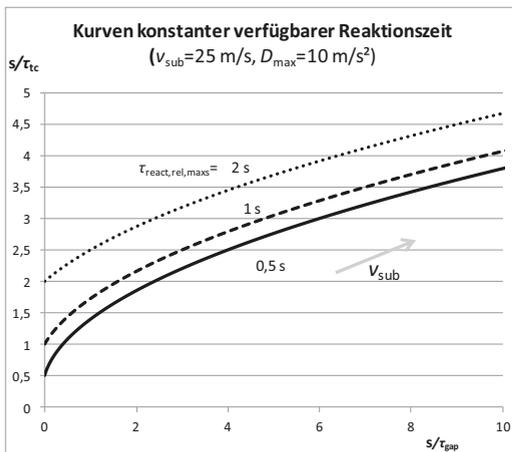


Bild 6: Abhängigkeit der reziproken Time-to-Collision von der reziproken Zeitlücke bei konstanter verfügbarer Reaktionszeit.

Genau um einen solchen Anwendungsfall handelt es sich bei Habenicht, nämlich der Bewertung des Sicherheitsgewinns von Fahrstreifenwechsellassistenten. Als Beispiel sei die Situation in Bild 7 herangezogen.

Habenicht ermittelt die beim Fahrstreifenwechsel auftretenden minimalen Werte jeweils auf die drei anderen Fahrzeuge und kann so für alle drei Bezugsfahrzeuge signifikante, zumeist sogar hoch oder höchst signifikante Unterschiede zwischen den zwei untersuchten Assistenzsystemen (herkömmliches Lane Change Decision Aid System nach ISO 17387 und Manöverbasierter Fahrstreifenwechsellassistent) einerseits sowie jeweils zur Baseline ohne Unterstützung aufzeigen. Zum Vergleich herangezogene Verteilungen minimaler TTC oder minimaler Zeittücken hingegen lieferten keine signifikanten Unterschiede.

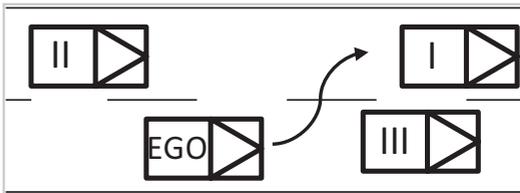


Bild 7: Untersuchtes Szenario zur Sicherheitsbewertung von Fahrerassistenzsystemen (Habenicht, 2012, S. 94).

Aber nicht nur der methodische Vorteil von  $\tau_{react,rel,max}(t)$  einer deutlich geringeren Streuung motiviert die Verwendung, sondern der klare Bezug zu einem kurzen Zeitintervall um eine Aktion herum, hier den Fahrstreifenwechsel. Diese kann als induzierte Störung des Ausgangszustands gesehen werden, so dass die verfügbare Zeitdauer für die Anpassung auf einen neuen Zustand ein adäquates Sicherheitsmaß für einen Zustandswechsel ist.

Für eine allgemeine Betrachtung der Fahrsicherheit wäre aus der Definition heraus die Reservezeit  $\tau_{res}(t)$  als Sicherheitskriterium geeignet. Dies gilt vermutlich bei einer klaren Unterschreitung der üblichen Reaktionszeiten, z.B. bei  $\tau_{res}(t) < 0,5\text{ s}$ , und für eine längere Phase. Eine Vollverzögerung eines vorausfahrenden Fahrzeugs ist ein allgemein sehr selten auftretendes Manöver, das in der Erfassung der Verzögerungsverteilung, wie in Bild 8 exemplarisch dargestellt, kaum auftritt.

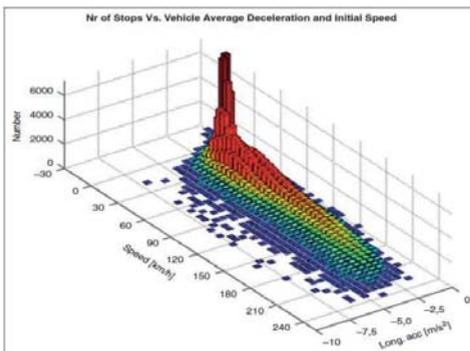


Bild 8: Bremshäufigkeitsverteilung eines Normalfahrers als Funktion von Fahrgeschwindigkeit und Längsverzögerung (Gruber et al., 2012, S. 498).

Auch wenn Zweifel darüber berechtigt sind, dass das Auftreten von Vollbremsungen einer Normalverteilung gehorcht und dass sie unabhängig von der aktuellen Reservezeit sind, so lassen sich folgende Rückschlüsse ziehen, für die diese Annahmen getroffen wurden. Dazu werden unabhängige zeitbasierte Verteilungen (Wahrscheinlichkeitsdichten) für die Verzögerung des vorausfahrendes Fahrzeugs ( $\rho_D$ ) und für die Reservezeit ( $\rho_\tau$ ) angenommen. Die Wahrscheinlichkeit einer Vollbremsung (z.B. bezogen auf einen Grenzwert von  $D \geq D_B \approx 6 \text{ m/s}^2$ ), lautet

$$P(D \geq D_B) = \int_{D_B}^{\infty} \rho_D dD; \quad (17)$$

und für das Auftreten einer Reservezeit unterhalb einer Schwelle  $\tau_{\text{res},\text{min}}$

$$P(\tau_{\text{res}} < \tau_{\text{res},\text{min}}) = \int_{-\infty}^{D_B} \rho_\tau d\tau; \quad (18)$$

Die Kollisionswahrscheinlichkeit ergibt sich bei Unabhängigkeit der Verteilungen als Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten.

$$\begin{aligned} P_{\text{Kollision}} &= P\left((\tau_{\text{res}} < \tau_{\text{res},\text{min}}) \cap (D \geq D_B)\right) \\ &= P(D \geq D_B) \cdot P(\tau_{\text{res}} < \tau_{\text{res},\text{min}}) \end{aligned} \quad (19)$$

Bei einer Pkw-Fahrleistung (vgl. Statistiken des ADAC (2013)) von  $s_{Pkw} = 6 \cdot 10^{11} \text{ km}$  (alle Werte auf Deutschland im Zeitraum 2009-2011 bezogen) und einer Zahl von  $n_{pU} = 2,4 \cdot 10^7$  polizeilich erfassten Unfällen lassen sich folgende Abschätzung ableiten. Die oben genannten Überlegungen beziehen sich auf Auffahrunfälle, diese haben einen Anteil von etwa 25 % (Kategorie Unfälle im Längsverkehr (Statistisches Bundesamt, 2012b,S. 8 und 9)). Da gerade leicht verlaufende Unfälle im Längsverkehr nicht immer polizeilich gemeldet werden, ist noch eine Dunkelziffer<sup>4</sup> von Unfällen vorzusehen. Daher wird ein etwa doppelt so hoher Wert angenommen, so dass sich nun eine Zahl von  $n_{LvU} = 1,2 \cdot 10^7$  Längsverkehrsunfällen ergibt. Aus dem Verhältnis der Unfallzahl zur Gesamtfahrleistung lässt sich die mittlere Strecke zwischen zwei (hier Längsverkehrs-) Unfällen berechnen.

$$s_{LvU} = \frac{s_{Pkw}}{n_{LvU}} = 5 \cdot 10^4 \text{ km} \quad (20)$$

Um diesen Wert mit der Kollisionswahrscheinlichkeit nach Gl. (19) vergleichen zu können, muss dieser Wert in eine zeitbezogene Wahrscheinlichkeit überführt werden. Mit einer mittleren Fahrgeschwindigkeit  $\bar{v}$  und einer mittlere Zeitdauer  $\Delta t_{\text{Kollision}}$  einer Kollisionssituation erhält man:

$$P_{LvU} = \frac{\bar{v} \Delta t_{\text{Kollision}}}{s_{LvU}} \quad (21)$$

Werte von  $\bar{v} = 15 \text{ m/s}$  und  $\Delta t_{\text{Kollision}} = 3 \frac{1}{3} \text{ s}$  erscheinen plausibel, woraus sich dann ein Wert von  $P_{LvU} = 10^{-6}$  ergibt. Die Wahrscheinlichkeit, sich in einer Längskollisionssituation zu befinden, beträgt nach diesen Annahmen also eins zu einer

<sup>2</sup>  $\infty$ , faktisch aber durch den maximalen Kraftschlussbeiwert begrenzt.

<sup>3</sup>  $-\infty$ , es können tatsächlich negative  $\tau_{\text{res}}$ -Werte auftreten, vgl. Gl. (12)

<sup>4</sup> Bei der Naturalistic-Driving-Feldstudie in USA zeigte sich, dass nur 15 von den gesamt 82 Unfällen innerhalb eines Jahres der Polizei angezeigt wurden. (vgl. Neale et.al. 2005). Eine solch hohe Dunkelziffer  $>5:1$  ist für Deutschland nicht zu vermuten.

Million, wobei noch offen bleibt, ob man sich in dem auffahrenden oder dem vorausfahrenden Fahrzeug befindet. Mit der Annahme, dass die Wahrscheinlichkeit für „Auffahrtäter“ und „Auffahropfer“ gleich ist, lässt nun eine der Gl. (19) entsprechende Zahl angeben, nämlich

$$P_{\text{Kollision}} = P_{L\text{v}U} / 2 = 0,5 \cdot 10^{-6}. \quad (22)$$

Wüsste man nun die Zahl der Vollbremsungen pro Zeit oder Weg, kann abgeschätzt werden, in welchem Anteil die Reservezeit zu kurz war. Bei einer angenommenen Strecke pro Vollbremsung  $s_{VB} = 1.000$  km auf ein direkt vorausfahrendes Fahrzeug würde nur jede  $s_{VB} / (2 \cdot s_{L\text{v}U}) = 1/100$  zu einem Auffahrunfall führen.

Demnach wäre

$$P(\tau_{\text{res}} < \tau_{\text{res},\text{min}}) = s_{VB} / (2 \cdot s_{L\text{v}U}) = 1/100 \quad (23)$$

und damit

$$P(\tau_{\text{res}} \geq \tau_{\text{res},\text{min}}) = 1 - P(\tau_{\text{res}} < \tau_{\text{res},\text{min}}) = 99\% \quad (24)$$

Welche Aussagen lassen sich aus diesen Zahlen ableiten?:

Meistens gehen kritische Situationen doch noch gut aus (bleiben Beinahe-Unfälle)

Aus dem Abstandsverhalten (indiziert durch  $\tau_{\text{res}}$ ) im unkritischen Bereich lässt sich nur wenig ableiten, sofern die Verteilung  $\rho_{\tau}$  nicht auch im Bereich der geringen Wahrscheinlichkeitsdichte bestimmt wird. Bei der hier sicherlich nicht gültigen Normalverteilung hieße das, dass die Dichte beim Abstand des 2,5-fachen der Standardabweichung vom Mittelwert in hinreichender, z.B. 10%-iger Genauigkeit bekannt sein müsste.

Für letzteres ist aber oft die Ereigniszahl viel zu gering, um daraus Kritikalitätsprognosen abzuleiten.

Selbst ohne Betrachtung der intraindividuellen Unterschiede (Tagesform, o.ä.) oder einer sicherlich notwendigen Diskussion des stark schwankenden Aufmerksamkeitszustands ist eine Fahrsicherheitsmessung über die verfügbare zeitliche Reserve wenig aussagekräftig. Es lassen sich sicherlich Indikatoren finden, die eine kritische Situation detektieren können, wie z.B. über Kraftschlussausnutzung für Brems- und Ausweichmanöver und dabei auftretende zeitliche Kriterien analog zu den Gl. (1), (9), (15) oder (16). Bei genügend eingesetzten Kriterien und vorliegendem Datensatz lassen sich vermutlich immer Schwellen finden, die, wie von Benmimoun et al. (2012a) gezeigt, die kritischen Situationen mit geringer Zahl von sowohl falsch negativen als auch falsch positiven Fehlern detektieren. Es bleibt aber das Problem, dass diese Zahl zu gering ist, um eine Fahrsicherheitsindikation zu bilden. Sie sagt nur aus, wie häufig die Person kritische Situationen erlebt hat. Selbst Beobachtungswerte von absolut 10 kritischen Ereignissen (auf einer beliebigen Zeitspanne oder Strecke) lassen nur die Unterscheidung zu, dass mit 5%-Irrtumswahrscheinlichkeit der Erwartungswert zwischen 5 und 18 liegen wird.<sup>5</sup> Selbst bei 30 Ereignissen ist die Bandbreite der möglichen Erwartungswerte noch

<sup>5</sup> Abschätzung basierend auf einer Poisson-Verteilung

im Bereich von 21 bis 40. Für eine in der Praxis taugliche Unterscheidbarkeit in vielleicht fünf Stufen müsste etwa eine mittlere Ereigniszahl von etwa 100 Ereignissen auftreten, wofür oft ein oder mehrere Jahre Beobachtungszeit für einen einzelnen Fahrer vergehen können.

#### 4 ROLLE DER AUFMERKSAMKEIT

Die Analyse der Unfallereignisse und der kritischen Situationen der Naturalistic Driving Study in den USA (Dingus et al., 2005) zeigt, dass eine zu geringe Zeitlücke nicht im Zusammenhang mit kritischen Situationen auftraten, sondern stattdessen sehr häufig Unaufmerksamkeit beobachtet wurde. So wurden bei fast 80% der beobachteten Unfälle und 65% der Beinaheunfälle Unaufmerksamkeit des Fahrers attestiert. Die beobachteten Zeitlücken vor dem Ereignis verteilen sich fast gleichmäßig auf die Zeitlückenklassen. Allerdings ist die Zeitlücke bei Geschwindigkeitsunterschieden keine geeignete Größe, wie bereits zuvor abgeleitet. Eine hier besser angebrachte Auswertung nach  $\tau_{\text{res}}$ -Klassen steht allerdings nicht zur Verfügung, um abzuschätzen, inwieweit eine derartige Klassifizierung die Häufigkeitsverteilung verändert hätte. Jedoch kann aufgrund der hohen Zahl der Unaufmerksamkeiten weiterhin davon ausgegangen werden, dass es auch bei anfänglich hohen Reservezeiten zu Unfällen oder Beinaheunfällen kommt, da die benötigte Reaktionszeit  $\tau_{\text{bR}}$  durch Ablenkung erheblich vergrößert wird. Neben der verbleibenden Blickabwesenheitsdauer  $\tau_{\text{na}}$  kommt es gerade bei längeren Blickabwendungsdauern  $\tau_{\text{a,ges}}$  zur einer Neuorientierung auf das aktuelle Geschehen, wodurch die reine Reaktionszeit  $\tau_{\text{normal}}$  im Vergleich zum aufmerksamen Blick um  $\Delta\tau_{\text{Ori}}$  verlängert wird. Mathematisch betrachtet:

$$\tau_{\text{bR}} = \tau_{\text{na}} + \tau_{\text{normal}} + \Delta\tau_{\text{Ori}}(\tau_{\text{a,ges}}); \tau_{\text{na}} \leq \tau_{\text{a,ges}} \quad (25)$$

Für die Reaktionszeiten mit Verzögerungsnotwendigkeit wird oft (z.B. Hillenbrand 2007, S. 164; Brunsen et al., 2002, S. 3-7) die logarithmische Normalverteilung angesetzt. Dabei ist den Autoren nicht bekannt, ob die Verteilung eher  $\tau_{\text{normal}}$  ohne Ablenkung oder  $\tau_{\text{bR}}$  mit Ablenkung repräsentiert.

Unabhängig davon berechnet sich die Kollisionswahrscheinlichkeit als Verbundwahrscheinlichkeit

$$P_{\text{Kollision}} = P((\tau_{\text{res}} < \tau_{\text{bR}}) \cap (D \geq D_B)) \quad (26)$$

so dass bei Auftreten eines potentiell kritischen Ereignisses, wie einer Vollbremsung, die benötigte Reaktionszeit oberhalb der Reservezeit liegt.

Wie lassen sich hieraus Kriterien für die Bewertung von Sicherheitsgewinnen durch Fahrerassistenzsysteme ableiten?:

1. Ein Kriterium, das die Differenz zwischen notwendiger Reaktionszeit und (verfügbare) Reservezeit zugrunde legt, wird mehr Aussagekraft haben als die Reservezeit allein. Jedoch wird es hier ebenfalls sehr schwierig, die Wahrscheinlichkeitsdichte im Bereich der kumulierten 0-1%-Verteilung in für eine Sicherheitsbewertung hinreichender Güte zu ermitteln. Ferner ist die Annahme der Unabhängigkeit der Wahrscheinlichkeiten  $P(\tau_{\text{res}} < \tau_{\text{bR}})$  und  $P(D \geq D_B)$  sicherlich nicht gegeben.

2. Kann ein Fahrerassistenzsystem jedoch nachweisbar  $P(\tau_{\text{res}} < \tau_{\text{bR}})$  senken, sollte ein Sicherheitsgewinn klar zu erwarten sein, d.h. für eine vergleichende Bewertung ein geeignetes Kriterium sein.
3. Das Kriterium  $P(\tau_{\text{res}} < \tau_{\text{bR}})$  liefert direkt Hinweise, auf welche Wirkungsweise mehr Fahrsicherheit erreicht werden kann:
  - Mehr Reservezeit schaffen, z.B. durch ACC, bei der sowohl die Zeitlücke auf Werte geregelt wird, die zumeist über denen der Fahrerregelung liegen, als auch die Reservezeit nicht so stark „abschmilzt“, da die Fahrgeschwindigkeit unmittelbar gesenkt wird.
  - Benötigte Reaktionszeit verkürzen:
    - a) weniger Blickabwendung (geringer Anteil Abwendung/Zuwendung)
    - b) kürzere Abwendungszeiten
    - c) frühzeitige Aufforderung zur Blickzuwendung im Falle eines kritischen Ereignisses. Dieses ist das Ziel von Kollisionswarnsystemen, aber auch Teil der ACC-Funktion mit der durch den Verzögerungseinsatz bewirkten kinästhetischen Rückwirkung und der meist als Teil der ACC-Funktionalität enthaltenen Übernahmeaufforderung.

Auf Basis der in Europa durchgeführten Naturalistic Driving Study EURO-FOT konnte erstmals auch überprüft werden, ob die Zahl der kritischen Situationen mit Fahrerassistenzsystemen nachprüfbar gesenkt wird. Auch wenn die Auswertungen (Benmimoun et al., 2012b) hinsichtlich der statistischen Aussagekraft nicht belegt wurden, so erscheinen die Ergebnisse zumindest hinsichtlich der Sicherheitsbewertung von ACC klar: Die Zahl der kritisch kleinen Abstände (als Zeitlücke gemäß Gl. (9) mit Grenzwert  $< 0,5$  s definiert) sinkt mit ACC auf ein Drittel des Vergleichsmaßstabs ohne ACC. Die Zahl der kritischen Situationen gemäß (Benmimoun et al., 2012a) sank sogar um 82%. Die alleinige Warnfunktion konnte nur subjektiv Sicherheit vermitteln. Die Anzahl der starken Bremsungen wurde nicht gesenkt. Allerdings sollte dieses Ergebnis nicht pauschal auf alle möglichen Warnsysteme übertragen werden. Es kann durchaus sein, dass ein anders ausgelegtes Warnsystem mehr Wirkung zeigt, insbesondere, wenn über eine Unaufmerksamkeitserkennung die Warnung situationsangemessener dargestellt wird.

## 5 FAZIT

Auch wenn die Bewertung der passiven Sicherheit immer noch Fragen offen lässt, so ist sie aus zwei Gründen präziser als die Maße für die aktive Sicherheit: eine lange Erfahrung mit Bewertungsverfahren für dieses Segment und die Reproduzierbarkeit der Verfahren. Bei Systemen, die kurz vor einem absehbaren Unfall eingreifen, lassen sich aus dem Produkt von Eingriffsschwellzeit und Eingriffsstärke Wirksamkeitsmaße ableiten, die den Abbau der Kollisionsgeschwindigkeit beschreiben. Dieser Gedanke lässt sich auch auf Wirksamkeitsmaße von warnenden sowie kombiniert warnenden und eingreifenden Antikollisionssystemen übertragen, wobei die Bestimmung dieser Werte durch eine große Grundstreuung der

Fahrerablenkung erschwert ist und für eine hohe Trennschärfe ein hoher Probandenaufwand benötigt wird. Noch unsicherer wird die Bestimmung von präventiver Fahrsicherheit. Die Bestimmung über die Zählung kritischer Ereignisse oder sogar realer Unfälle lässt nur als Feldtest eine globale Aussage zu. Die Fahrsicherheit eines Individuums innerhalb einer Fahrt lässt sich hingegen kaum bewerten. Am Nächsten kommt die Betrachtung der Wahrscheinlichkeit der Differenz der Reservezeit zur Abwehr der Gefahr und der aktuell benötigten Reaktionszeit.

## LITERATUR

**ADAC (2013):** Statistiken

<http://www.adac.de/infotestrat/ratgeber-verkehr/statistiken>, Zugriff Februar 2013.

**Benmimoun, Mohamed; Fahrenkrog, Felix; Zlocki, Adrian; Eckstein, Lutz (2012a):** Erkennung und Klassifizierung kritischer Fahrsituationen mittels Fahrzeugdaten. ATZ- Automobiltechnische Zeitschrift, Ausgabe 2012-10, S. 820-826

**Benmimoun, Mohamed; Fahrenkrog, Felix; Pütz, Andreas; Zlocki, Adrian; Eckstein, Lutz (2012b):** Wirkungsanalyse von ACC und FCW auf Grundlage von CAN-Daten im Rahmen eines Feldversuchs. 8. Workshop Fahrerassistenzsysteme, 26.-28.09.2012 in Walting.

**Breuer, Jörg (2009):** Sicherheitsprognosen für neue Assistenzsysteme – Stand und Herausforderungen. In: Winner, H.; Bruder, R. (Hrsg.): Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug – Wie realitätsnah lässt sich Fahrerverhalten messen? Ergonomia Verlag, Stuttgart.

**Brunsen, S. J.; Kyle, E. M.; Phambo, N. C.; Prezotti, G. R. (2002):** Alert Algorithm Development Program. NHTSA Rear-End Collision Alert Algorithm. Final Report. DOT HS 809 526, National Highway Traffic Safety Administration, United States.

**Bundesanstalt für Straßenwesen (2011):** Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle 2009. Forschung kompakt 04/11.

**Busch, Sebastian (2004):** Entwicklung einer Bewertungsmethodik zur Prognose des Sicherheitsgewinns ausgewählter Fahrerassistenzsysteme. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 588, Düsseldorf.

**Chan, Ching-Yao (2006):** Defining Safety Performance Measures of Driver Assistance Systems for Intersection Left-Turn Conflicts. Intelligent Vehicles Symposium 2006, 13.-15.06.2006 in Tokyo, Japan.

**Daimler (2009):** September 1959: Erster Crashtest bei Mercedes-Benz <http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-657486-49-1228592-1-0-0-0-0-11701-614318-0-1-0-0-0-0.html>, Zugriff Februar 2013.

**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 810593, National Highway Traffic Safety Administration, United States.

**Fecher, Norbert (2005):** Analyse des stationären Folgeverhaltens von Pkw-Fahrzeugführern unter Berücksichtigung von Nässe und einhergehender Sichtbehinderung. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 604, Düsseldorf.

**Fecher, Norbert; Fuchs, Klaus; Hoffmann, Jens; Abendroth, Bettina; Bruder, Ralph; Winner, Hermann (2008):** Analysis of the driver behavior in autonomous emergency hazard braking situations. FISITA World Automotive Congress. 14.-19.September 2008 in München.

**Filzek, B. (2002):** Abstandsverhalten auf Autobahnen – Fahrer und ACC im Vergleich. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 536, Düsseldorf.

**Früh, Christian; Gleißner, Stefan; Hillenbrand, Jörg; Heine, Ulrich (2008):** Driver Assistance Systems for active safety in Mercedes-Benz passenger cars – system characteristics in the area of conflict between driver acceptance and system benefits. FISITA World Automotive Congress. 14.-19.September 2008 in München.

**Gruber, Steffen; Ocvirk, Norbert; Remfrey, James (2012):** Bremssysteme. In: Braess, Hans-Hermann; Seiffert, Ulrich (Hrsg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. S. 492-533, Vieweg+Teubner, Wiesbaden.

**Habenicht, Stefan (2012):** Entwicklung und Evaluation eines manöverbasierten Fahrstreifenwechselassistenten. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 756, Düsseldorf.

**Hillenbrand, Jörg (2007):** Fahrerassistenz zur Kollisionsvermeidung. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 669, Düsseldorf.

**Hoffmann, Jens (2008):** Das Darmstädter Verfahren (EVITA) zum Testen und Bewerten von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 693, VDI, Düsseldorf.

**Kramer, Florian (2009):** Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen. Vieweg+Teubner, Wiesbaden.

**Minderhoud, Michiel M. und Bovy, Piet H. L. (2001):** Extended time-to-collision measures for road safety assessment. Accident Analysis and Prevention 33, S. 89-97, Elsevier.

**Neale, Vicki L.; Dingus, Thomas A.; Klauer, Sheila G.; Sudweeks, Jeremy (2005):** An Overview of the 100-Car Naturalistic Study Findings. National Highway Traffic Safety Administration, United States..

**Statistisches Bundesamt (2012a):** Verkehrsunfälle in Deutschland <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/Verkehrsunfaelle.html>, Zugriff Februar 2013.

**Statistisches Bundesamt (2012b):** Verkehrsunfälle 2011. Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden.

**Winner, Hermann (2012):** Frontalkollisionsschutzsysteme. In: Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. S. 522-542, Vieweg+Teubner, Wiesbaden.

**Winner, Hermann; Fecher, Norbert; Regh, Fabian; Hoffmann, Jens (2009):** Fahrversuche zur Untersuchung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen. In: Bruder, R.; Winner, H. (Hrsg.): Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug – Wie realitätsnah lässt sich Fahrerverhalten messen? Ergonomia Verlag, Stuttgart.

## ANHANG

Abhängigkeiten von  $\tau_{tc}$  von  $\tau_{gap}$  bei vorgegebenem  $\tau_{res}$ ,  $v_{sub}$  und  $D_{max}$

$$\frac{v_{sub}^2 - v_{ob}^2}{2D_{max} v_{sub}} = \frac{2v_{diff}}{2D_{max}} - \frac{2v_{diff} \tau_{gap}}{2D_{max} \tau_{tc}} = \frac{2v_{diff}}{2D_{max}} \left(1 - \frac{\tau_{gap}}{\tau_{tc}}\right) \quad (27)$$

$$= \frac{2v_{diff}}{2D_{max}} \left(1 - \frac{\tau_{gap}}{\tau_{tc}}\right) = \frac{v_{sub} \tau_{gap}}{D_{max} \tau_{tc}} \left(1 - \frac{\tau_{gap}}{\tau_{tc}}\right)$$

$$\tau_{res} = \tau_{gap} - \frac{v_{sub} \tau_{gap}}{D_{max} \tau_{tc}} \left(1 - \frac{\tau_{gap}}{\tau_{tc}}\right) \quad (28)$$

$$\frac{\tau_{res} - \tau_{gap}}{v_{sub}} D_{max} = \frac{\tau_{gap}}{\tau_{tc}} \left(\frac{\tau_{gap}}{\tau_{tc}} - 1\right) \quad (29)$$

$$\frac{\tau_{gap}}{\tau_{tc}} = \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{\tau_{res} - \tau_{gap}}{v_{sub}} D_{max} + \frac{1}{4}} \quad (30)$$

Abhängigkeiten von  $\tau_{tc}$  von  $\tau_{gap}$  bei vorgegebenem  $\tau_{react,rel,max}$ ,  $v_{sub}$  und  $D_{max}$

$$\frac{v_{diff}}{2D_{max}} = \frac{v_{sub} \tau_{gap}}{2D_{max} \tau_{tc}} \quad (31)$$

$$\tau_{tc} = \tau_{react,rel,max} + \frac{v_{sub} \tau_{gap}}{2D_{max} \tau_{tc}} \quad (32)$$

$$\tau_{tc}^2 = \tau_{tc} \tau_{react,rel,max} + \frac{v_{sub} \tau_{gap}}{2D_{max}} \quad (33)$$

$$\tau_{tc} = \frac{1}{2} \tau_{react,rel,max} + \sqrt{\frac{v_{sub} \tau_{gap}}{2D_{max}} + \frac{\tau_{react,rel,max}^2}{4}} \quad (34)$$

$$\tau_{gap} = \frac{2D_{max} (\tau_{tc}^2 - \tau_{tc} \tau_{react,rel,max})}{v_{sub}} \quad (35)$$

# ANSÄTZE ZUR EFFIZIENTEREN OPTIMIERUNG VON ASSISTENZSYSTEMEN

*Philipp Glauner, Axel Blumenstock, Martin Haueis, Uwe Petersen,  
Simon Tattersall*

## ZUSAMMENFASSUNG

Ein wesentlicher Teil der Optimierung von Fahrerassistenzsystemen erfolgt im Rahmen von Felderprobungen, bei der bis zu einer Million Kilometer im kundennahen Fahrbetrieb zurückgelegt werden. Dies dient auch dazu, die Systemtauglichkeit im realen Straßenverkehr nachzuweisen. Bei der Mercedes-Benz PKW-Entwicklung werden neue Ansätze verfolgt, um diesen Prozess noch effizienter zu gestalten. Auf technischer Ebene werden mittels eines umfangreichen datenbankbasierten Messdatenmanagementsystems die anfallenden Messungen verwaltet und den Entwicklungsingenieuren in aufbereiteter Form zur Auswertung zur Verfügung gestellt. Auf konzeptueller Ebene wird das bisher laufleistungsorientierte Vorgehen um eine ereignisorientierte Erprobungsplanung erweitert. Denn nicht immer ist vorab bekannt, welche Art von Erprobung den größten Erkenntnisgewinn erbringt. Daher sollen initial grobe Erprobungsvorgaben unter Verwendung der fortlaufend gewonnenen Fahrdaten iterativ verfeinert werden.

Grundlage hierfür bildet ein systemspezifischer Erprobungsraum, in dem sowohl Soll- als auch Ist-Fahrleistungen (samt Ereignissen) aggregiert, verglichen und unter verschiedenen Aspekten bewertet werden können. Als Dimensionen des Erprobungsraumes kommen bei der Absicherung von Systemen mit komplexer Umfeldsensorik oft Merkmale der Fahrumgebung in Frage, etwa zur Bebauung, Verkehrsführung oder -dichte. Dazu können insbesondere georeferenzierte Fahrten mit Informationen aus digitalen Navigationskarten die Planungsbasis neben herkömmlichen Messdaten deutlich erweitern.

## 1 EINLEITUNG

Gerade im Hinblick auf das autonome Fahren nimmt die Komplexität von Fahrerassistenzsystemen weiter zu, gleichzeitig wird die Absicherung dieser Systeme schwieriger. Die hohe Varianz der Umgebungsbedingungen wie z.B. wechselnde Sichtbedingungen, Fußgänger, oder andere Verkehrsteilnehmer, fordern das System zusätzlich heraus. Solche Szenarien unterliegen oft einem gewissen Zufall und lassen sich nur sehr schwer durch Manöverkataloge, Testfahrten oder Fahr-simulatoren abbilden, da jede Situation andere Zustände umfasst, die das System herausfordern.

Daher durchlaufen Fahrerassistenzsysteme vor der Serienfreigabe eine Vielzahl von Erprobungsschritten, von der reinen Softwaresimulation über die Sicherstellung der funktionalen Sicherheit bis zum realen Fahrversuch. Unter anderem werden hierfür bei Mercedes-Benz umfangreiche Feldversuche durchgeführt. Im Gegensatz zu z. B. Versuchen auf einem Testgelände oder im Fahr-simulator ist es hierdurch möglich zu untersuchen, wie das System sich unter Alltagsbedingungen im öffentlichen Straßenverkehr und im Zusammenhang mit eher „normalen“ Fahrern (in Gegensatz zu professionellen Testfahrern) verhält. Bei der Feldabsiche-

rung werden folgende grundsätzliche Gestaltungsprinzipien von Fahrerassistenzsystemen bewertet (Breuer, 2012):

- Schnelle Eingewöhnung
- Erwartungskonformes und konsistentes Systemverhalten
- Einfaches „Bedienen“, klares Anzeigekonzept
- Eingriffe nur bei sicher erkannter Unfallgefahr
- Wirksamkeit im realen Straßenverkehr.

Die heutige Herangehensweise bei der Felderprobung orientiert sich dabei Großteils an Kilometervorgaben. Zur weiteren Steigerung der Erprobungseffizienz werden im Folgenden Ansätze vorgestellt, zu absolvierende Straßenfahrten besser mit den spezifischen Anforderungen der jeweiligen Fahrerassistenzsysteme zu koppeln, um die für den Test erforderliche Laufleistung zu senken bzw. besser zu nutzen. Das Vorgehen für eine effiziente Erprobung, die sich weniger an der Laufleistung, sondern an Ereignissen ausrichtet, wird in den folgenden Kapiteln erläutert.

## 2 STAND DER FORSCHUNG

Die Entwicklung von sicherheitskritischen Systemen wie Fahrerassistenzsystemen wird an Anforderungen aus standardisierten Normen wie der ISO 26262 (Norm zur funktionalen Sicherheit) ausgerichtet. Speziell das V-Modell gibt eine Übersicht, welche Stadien ein neues System von der Konzeptphase bis zur Serienreife durchläuft. Die Ableitung dieses Modells in Bezug auf Feldtests in der Breitenerprobung wird im Projekt FESTA gegeben (FESTA Consortium, 2011). Hierin wird beschrieben, was ein Feldtest generell zum Ziel hat, nämlich den Nutzen und die Robustheit der Systeme in der Realität nachzuweisen, sowie ein Leitfaden zur Planung, Vorbereitung, Durchführung, Analyse und Bewertung von Feldtests gegeben. Es werden Strukturen und Methoden zum Aufbau von Feldtests und deren Nutzen zur Bewertung von neuen Systemen dargestellt. Die aufgezeigten Methoden zur Datenanalyse wie Clusteranalyse und Zeitreihentest zum Nachweis von Hypothesen liefern eine Ableitung, aber noch keine Bewertung von Ereignissen im Hinblick auf eine ereignisbasierte Erprobung, was das Ziel dieser Arbeit ist.

Ein generelles Konzept für eine realistische Felderprobung wurde im Auftrag der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (2011) beschrieben. Ziel dieser Arbeit ist unter anderem die Erarbeitung methodischer und technischer Leitlinien zur Durchführung von Fahrstudien, um mit möglichst geringem Aufwand möglichst große Aussagekraft über Messdaten zu erzielen. Dabei geht es bei den Methoden um die Klassifikation von Events (Manöver, Crashes, Szenarien), die Funktionsentwicklung zur Erkennung von Events sowie Triggeralgorithmen und Spezifikationen zur Struktur von Datenbanken zur Speicherung von Messdaten. Die systemspezifische Ableitung und Bewertung relevanter Situationen bleibt Gegenstand zukünftiger Arbeiten.

### 3 HEUTIGE PRAXIS

Bild 1 zeigt den Datenfluss und die wesentlichen Systemkomponenten bei der Feldabsicherung von neuen Fahrerassistenzsystemen, wie sie aktuell in der Mercedes-Benz PKW-Entwicklung praktiziert wird. Für weitere Details zur technischen Umsetzung siehe Tattersall (2012).

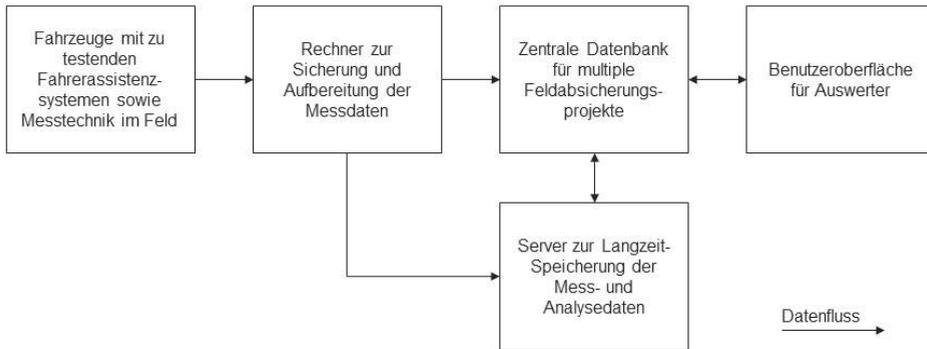


Bild 1: Datenfluss und Systemkomponenten bei der Felderprobung

Nach der Vergabe eines Absicherungsauftrags werden die für die Erprobung benötigten Fahrzeuge aufgebaut, mit den zu testenden Systemen ausgerüstet und mit Messtechnik ausgestattet (Bild 1, links).

Bei der Konfiguration der Messtechnik können sowohl „Dauermessungen“ als auch „Triggermessungen“ implementiert werden. Als Dauermessung wird eine kontinuierliche Messung bezeichnet, die über die komplette Dauer der Fahrt verläuft und die typischerweise einige hundert der wichtigsten Messsignale beinhaltet, beispielsweise fahrdynamische Daten wie Fahrgeschwindigkeit, Kilometerstand, geographische Position und fundamentale Systemdaten wie beispielsweise Daten zu Eingriffen von Assistenzsystemen. Im Gegensatz dazu ist eine Triggermessung eine zeitlich befristete Messung, die durch eine vorprogrammierte Triggerbedingung ausgelöst wird. Solche Triggerbedingungen werden im Vorfeld des Absicherungsprojektes in Zusammenarbeit zwischen dem Absicherungsteam und den Systementwicklern anhand bestimmter Signalwerte, Signalverläufe und logischen Verknüpfungen definiert. Beispiele für Triggerbedingungen sind Systemeingriffe, Systemstörungen, potentiell sicherheitskritische Fahrsituationen oder Bewertungen durch den Fahrer. Sobald eine solche Triggerbedingung erfüllt ist, wird eine Messung ausgelöst – typischerweise wird hierbei mit einem Ringspeicher gearbeitet und eine Vorlaufzeit von 20 bis 40 Sekunden sowie eine Nachlaufzeit von 10 bis 20 Sekunden gewählt, so dass Daten vor und nach dem interessierenden Zeitpunkt vorliegen. Die Triggermessung kann mehrere zehntausend Messsignale, Videobilder, Radar- und Kamerarohdaten beinhalten.

Nachdem die Fahrzeuge aufgebaut und getestet sind, werden sie in der eigentlichen Felderprobung betrieben. Eine Möglichkeit ist der Betrieb in einer sogenannten Kundennahen Fahrerprobung (KNFE) – hier werden interessierte Unternehmensmitarbeiter per Los ausgewählt und ihnen wird typischerweise für eine Woche ein Erprobungsfahrzeug zur Verfügung gestellt. Eine weitere Möglichkeit stellt der Erprobungsdauerlauf dar. Hier werden die Fahrzeuge im Schichtbetrieb von professionellen Fahrern gefahren.

In regelmäßigen Abständen werden die Messdaten von den Fahrzeugen eingesammelt und die Funktion der Systeme und Messtechnik überprüft. Beim Eintreffen der Messdaten aus den Fahrzeugen werden diese durch einen automatisierten Konvertierungsprozess geleitet (Bild 1, Mitte links). Dabei werden die Daten zur sicheren Verwaltung auf einem zentralen Server abgelegt (Bild 1, unten). Die Messungen werden anschließend ggf. in andere Dateiformate konvertiert, Ereignisse innerhalb der Messungen werden identifiziert und Kennwerte zu den Messungen und Ereignissen werden berechnet.

Alle Metainformationen zu den Messdaten werden in einer zentralen Datenbank abgelegt (Bild 1, Mitte rechts). Als Datenstruktur hat sich ein Mehr-Ebenen-Modell bewährt, bestehend aus folgenden Haupttabellen:

- Absicherungsprojekt
- Gruppe: eine Gruppe von zusammengehörigen Messungen aus einem Fahrzeug
- Messung: eine von der Messtechnik erzeugte Datei
- Ereignis: ein zeitlich punktuell Ereignis innerhalb einer Messung, definiert durch Signalwerte und -verläufe.

Zugriff auf die Datenbank und die Messdaten haben die Entwicklungsingenieure über eine speziell für diesen Zweck entwickelte Benutzeroberfläche (Bild 1, rechts). So können sie schnell und bequem die für sie relevanten Messungen und Ereignisse identifizieren und analysieren, sowie ihre Auswertungen in die Datenbank eingeben.

Für ein ausgewähltes Ereignis existieren folgende Auswertmöglichkeiten:

- Standbild zum Zeitpunkt des Ereignisses
- Kurzvideo, mit Fahrzeug- und Systemdaten ergänzt, um das Ereignis herum
- Öffnen der relevanten Messungen in externen Anwendungen zur Messdatenanalyse
- Anzeige der geographischen Lage des Ereignisses auf einer Karte
- Anzeige von Ereignissen, die sich auf dem gleichen Straßennetzlinkzügen haben (siehe Abschnitt 8)
- Eingabe sowohl kategorisierter (z. B. Licht- und Wetterbedingungen, Straßentyp, Fahrsituation) als auch Freitext-Bewertungen pro Ereignis
- Eingabe eines Workflow-Status zur Koordination der Zusammenarbeit zwischen Absicherungsteam und Funktionsentwicklung

Das Datenbanksystem wurde unter ständiger Weiterentwicklung seit 2009 für eine Vielzahl von Absicherungsprojekten mit einer Gesamtlauflistung von ca. 5 Millionen Kilometer benutzt. Dabei wurden mehrere 100.000 Messungen aufgenommen und verwaltet.

#### 4 EREIGNISBASIERTE ERPROBUNG UND IHRE POTENTIALE

Zur Steigerung der Effizienz in der Felderprobung ist es nötig, die Laufleistung, die momentan als primäre Vorgabe für eine Absicherung dient, zielgerichteter einzusetzen und damit ggf. insgesamt senken zu können. Dabei muss beachtet werden, dass Systeme meistens für spezifische Situationen wie z. B. Kreuzungen, Baustellen, Spurwechsel oder ähnliches konzipiert sind und dabei z. B. nur in bestimmten Geschwindigkeitsbereichen aktiv sind. Dies motiviert den Ansatz, das Erprobungsziel in Zukunft mehr an Ereignissen zu orientieren, welche das System herausfordern. In Bild 2 ist die heutige Vorgabe zur Felderprobung einer möglichen zukünftigen Absicherungsplanung gegenübergestellt.

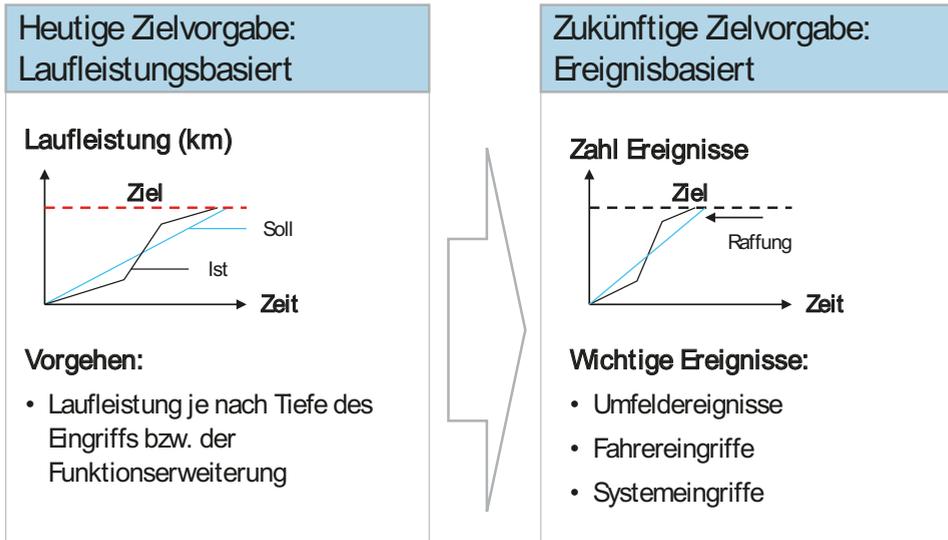


Bild 2: Effizienzpotentiale in der Felderprobung

Die heutige Zielvorgabe ist dabei im Wesentlichen an gefahrenen Kilometern orientiert und hängt von der Komplexität des Systems ab bzw. den Erweiterungen im vorhandenen System wie beispielsweise dem Neuartigkeitsgrad eingesetzter Sensoren. Dabei beschränken sich die Vorgaben an die Fahrtstrecken hauptsächlich auf qualitative Aussagen zur Fahrumgebung wie dem Anteil von Stadt-, Landstraße- und Autobahnkilometern. Das zukünftige Vorgehen bezüglich einer ereignisbasierten Erprobung richtet sich mehr an quantitativen also zählbaren Ereignissen aus, welche auf den Stand der Erprobung schließen lassen. Dazu gehören Umfeldereignisse wie Kreuzungsdurchfahrten, Fahrereingriffe wie starke Bremsungen oder Systemeingriffe wie z.B. eine Warnung.

Hierbei stellen sich Herausforderungen bezüglich der Auswahl und Definition geeigneter Ereignisse sowie nach der Bewertung dieser im Hinblick auf eine Kennzahl zum Absicherungsbeitrag. Anders ausgedrückt: Wie trägt ein gefahrener Kilometer zur Absicherung des zu untersuchenden Systems bei? Die Größe und Komplexität des Raumes denkbarer (Fahr-) Situationen legt dabei nahe, dass eine vollständige Abdeckung aller Möglichkeiten illusorisch ist. Selbst mit einer Erprobung über eine Laufleistung von einer Million Kilometer kommt im Vergleich dazu eine Million Kunden in Summe auf eine um Zehnerpotenzen größere Fahrleistung

und eine entsprechend höhere Wahrscheinlichkeit, einer unvorhergesehenen Konstellation zu begegnen. Als Vergleich dazu, auch im Hinblick auf das Forschungsfeld autonomes Fahren, siehe Winner & Weitzel (2012).

## 5 EREIGNISDEFINITION

Für eine ereignisorientierte, systemspezifische Analyse von Messdaten aus der Felderprobung sind zu Beginn relevante Ereignisse für die zu untersuchenden Fahrerassistenzsysteme zu identifizieren. Wichtig ist, dass der Raum möglicher Fahrsituationen mit der bestehenden Entwicklungsdokumentation vorgelagerter Hardware- und Softwareabsicherung koppelbar ist, um aus dem Raum aller denkbaren Fahrsituationen möglichst genau den Raum für den Test relevanter Situationen zu extrahieren. Weiterhin ist zu beachten, dass die Ereignisse des betrachteten Situations- und Zustandsraums der Systeme durch Messtechnik oder Datenbanken quantitativ für das betrachtete System erfassbar sind.

Die initialen Festlegungen werden in der Regel noch immer sehr umfangreich sein, so dass nach Möglichkeiten einer weiteren Fokussierung zu suchen ist. Dies bedeutet konkret: Wie lassen sich Kriterien definieren, mit denen aus vorhandenen Messdaten relevante Situationen abgeleitet werden können? Wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass für potentiell relevante Fahrsituationen überhaupt beschreibende Größen gewonnen werden können. In Zukunft können hierfür Quellen mit Informationen zur Verkehrsstruktur, Verkehrsdichte, Wetterbedingungen und ähnlichem zum Einsatz kommen, die über Zeit und Raum mit den Messdaten zu verknüpfen sind. Als Stütze zum Finden von besonders erprobungsrelevanten Situationen dienen folgende Vorüberlegungen:

- Wann muss das System tätig sein (positive Folgen)?
- Wann kann das System eingreifen, wofür es jedoch nicht konzipiert wurde?
- Wann werden Systemgrenzen erreicht?
- Wann hat das System falsch reagiert (negative Folgen)?

Bei der Ableitung dieser Situationen kann man sich auf bestehende Entwicklungsdokumentationen und Leitfäden wie z. B. RESPONSE 3 (2009) stützen. Relevante Ereignisse können drei Kategorien zugeordnet werden:

1. Systemereignisse (z. B. die Überschreitung interner Kennwerte, Systemreaktionen oder registrierte Fehler)
2. Fahrerereignisse (z. B. starke Bremsungen)
3. Umfeldereignisse (z. B. das Durchfahren eines Kreisverkehrs).

Besonders wichtig für die Absicherung umfeldwahrnehmender Systeme ist dabei die dritte Kategorie. In oben beschriebener Erprobungsdatenbank werden heute Ereignisse, die sich auf dem gleichen Straßennetzlink zugetragen haben, analysiert. Die Kopplung dieser Analysen mit Umfeldereignissen vor der Zielstellung einer effizienteren Erprobungsplanung wird im folgendem näher beschrieben.

## 6 ERPROBUNGSPLANUNG UND ERPROBUNGSRAUM

Grundlage der nachfolgenden Diskussion von Planungsverfahren bildet ein sogenannter Erprobungsraum. Als Dimensionen, die diesen diskreten Raum aufspannen, kommen grundsätzlich alle Merkmale in Frage, die

- aus Fahr- oder Umfelddaten gewinnbar sind,
- überhaupt eine Erprobungsoption darstellen,
- systemspezifisch relevante Umstände beschreiben können.

Eine solche Merkmalsauswahl ist keineswegs fest, sondern mag sich je nach System, sogar im Laufe einer Erprobung oder je nach zu berechnender Bewertungsgröße ändern. Je stärker die Ungleichverteilung, die sie innerhalb der Bewertungsgrößen erzeugen, desto besser ist die Merkmalsauswahl. Bild 3 zeigt hierzu beispielhaft eine solche Darstellung. Eine Ausprägung (Zeile) in dieser Tabelle stellt gleichzeitig eine mögliche Art dar, wie man erproben kann, wobei allerdings nicht vorausgesetzt wird, dass jede kombinatorische Möglichkeit praktisch sinnvoll oder durchführbar ist.

<b>Straßenklasse</b>	<b>Tageszeit</b>	<b>Vorausfahrer</b>	<b>Soll-Anteil</b>	<b>Ist-Anteil</b>
Autobahn	Tag	ja	2%	10%
		nein	0%	10%
	Nacht	ja	3%	0%
		nein	0%	0%
Landstraße	Tag	ja	10%	20%
		nein	5%	5%
	Nacht	ja	10%	5%
		nein	5%	5%
Innenstadt	Tag	ja	20%	30%
		nein	10%	10%
	Nacht	ja	20%	5%
		nein	15%	0%
<b>Summe</b>			<b>100%</b>	<b>100%</b>

Bild 3: Ein einfacher Erprobungsraum aus den Dimensionen Straßenklasse, Tageszeit und Vorausfahrer.

Die einzelnen Zeilen stellen mögliche Kombinationen der Mess- und Umfelddaten dar, wie z. B. eine Autobahnfahrt bei Tag, mit vorausfahrenden Verkehrsteilnehmern. Für jede dieser Kombination lassen sich dann a priori Vorgaben als Soll-Anteil festlegen, welche dann a posteriori mit dem Ist-Anteil verglichen und unter Umständen iterativ angepasst werden können.

## 7 NUTZENBEWERTUNG VON FAHRUMFÄNGEN

Für die Nutzenbewertung von Fahrumfängen spielen verschiedene Aspekte eine Rolle. Der Aspekt der Exposition des Fahrerassistenzsystems in seiner Umgebung soll widerspiegeln, wie stark ein System auf einem gegebenen Fahrtabschnitt herausgefordert wurde. Hierfür werden primär Ereignisse gezählt, wie sie in Abschnitt 5 definiert wurden, beispielsweise durchgefahrene Kreisverkehre oder erlebte

Systemeingriffe. Trägt man (ggf. für verschiedene Ereignisklassen) jeweils die Häufigkeiten im Erprobungsraum (Abschnitt 6) auf und setzt sie mit dem investierten Aufwand, wie Fahrzeit oder Laufleistung, ins Verhältnis, ergeben sich empirische Auftretenswahrscheinlichkeiten, anhand derer sich für die Planung wiederum Umstände identifizieren lassen, in denen ein hoher Systemstress, und damit ein hoher Erkenntnisgewinn, zu erwarten ist. Würde man die weiteren Fahrten in der Erprobung jedoch allein daran ausrichten, wären sehr einseitige Pläne das Resultat. Weitere Aspekte wie z. B. die Vielfalt bzw. eine Reproduzierbarkeit adressieren die Berücksichtigung von Kundenprofilen bzw. Konfidenzen in der Erkennung von Ereignissen und können für eine umfängliche Planung berücksichtigt werden. All diese Kenngrößen können anhand des zugrundeliegenden Datenbanksystems auf bereits geleisteten Fahrten berechnet werden, um rückblickend ihren Nutzen für die Fortsetzung der Erprobung zu quantifizieren.

## 8 UMSETZUNG

Zur Bestimmung der Exposition sind die Dimensionen des Erprobungsraums (Abschnitt 6) festzulegen. Ausgangspunkt dazu ist eine Betrachtung der Erprobungsoptionen. Diese sind festgelegt durch den jeweiligen Streckenabschnitt unter Nebenbedingungen wie z. B. Tageszeit, Verkehrsaufkommen, oder Sichtbedingungen. Ein Spezialfall hierbei (mit höchster Granularität) sind Links aus der Routenplanung. Ein Link ist dabei ein kurzer Streckenabschnitt aus der Navigationsdatenbank. Für statische Informationen aus Kartendaten (z. B. Straßentyp, Tunnel) reicht diese Aggregation aus, jedoch ist für Fahrzeugdaten eine feinere Messdatenaggregation nötig, um daraus wiederum relevante Ereignisse generieren zu können. Je nach Attribut werden die Messdaten in der Datenbank daher wie folgt abgelegt:

- Ein Eintrag pro Zeiteinheit (für Fahrdaten, z. B. Lenkwinkel, Bremsmoment)
- Ein Eintrag pro Link (für alle Karteninformationen, z. B. Tunnel, Kreuzung)
- Ein Eintrag pro Fahrt (für sonstige Informationen, z. B. zum Fahrzeug oder zur Messtechnik).

Durch eine intelligente Verknüpfung dieser Datenquellen können daraus systemrelevante Ereignisse lokalisiert und der Infrastruktur zugeordnet werden. Als Beispiel sei eine Häufung von starken Brems- oder Systemeingriffen an einer bestimmten Kreuzung genannt. Aus den Fahrdaten lassen sich Größen wie Fahr-, Bremsverhalten und Verkehrsdichte ableiten, woraus stark befahrene Stellen abgeleitet werden können. Über die Kartendaten lassen sich Grundmengen ableiten wie Strecken innerhalb, außerhalb Orts oder Anzahl der insgesamt durchfahrenen Kreuzungen und Tunnels. Hierfür werden Fahrdaten in einem so genannten „map-matching“-Prozess mit Kartendaten ergänzt. Dabei wird jeder gemessenen GPS-Position der zugehörige Straßenabschnitt bzw. Link zugeordnet. Dieser Link wird dann über seine ID mit zusätzlichen Daten aus digitalen Navigationskarten verknüpft, so dass Informationen wie Straßentyp, Spuranzahl, Geschwindigkeitsbegrenzung oder auch das Durchfahren besonderer Infrastrukturobjekte (wie Tunnels oder Kreisverkehre) zur Verfügung stehen.

## 9 ANWENDUNGSBEISPIELE

Für die in Abschnitt 7 vorgestellten Aspekte zur Bewertung von Fahrumfängen hinsichtlich des Expositionsgrades eines Fahrerassistenzsystems, werden hier nun einige Beispiele von Auswertungen gegeben. Um den Aspekt der Exposition, also der Auftretenswahrscheinlichkeit von Ereignissen, die bei dem untersuchten System von Interesse sind, zu beschreiben, ist es von Interesse, in welchen Geschwindigkeitsbereichen diese auftreten. Dabei werden hier nun verschiedene Datenquellen genutzt, welche in oben beschriebener Erprobungsdatenbank integriert wurden. In der ersten Auswertung wird untersucht, in welchen Geschwindigkeitsbegrenzungen, eingeteilt nach dem Kartenattribut „speed-limit“, sich die Ereignisse zugetragen haben. Dieses Ergebnis ist in Bild 4 zu sehen. Dabei stellen die hellen Balken die Gesamtzahl von Systemeingriffen dar, die dunklen Balken Eingriffe mit hoher Testrelevanz. Das Ergebnis ist in Eingriffen pro Stunde dargestellt, also normiert über die eigentliche Fahrzeit in den entsprechenden Kategorien. Man erkennt Häufungen bei 51-70 km/h und insbesondere bei 31-50 km/h.

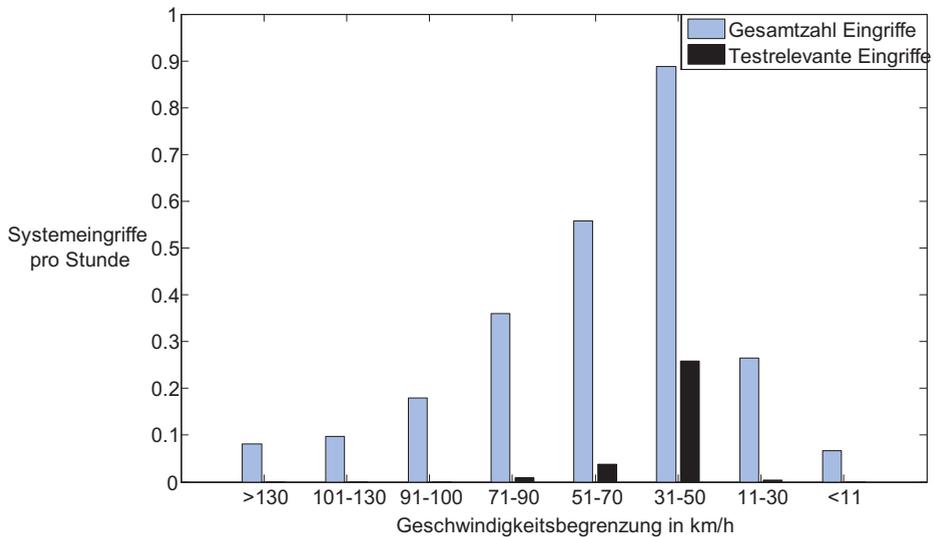


Bild 4: Relative Häufigkeit von Ereignissen, aufgeteilt nach Geschwindigkeitsbegrenzung.

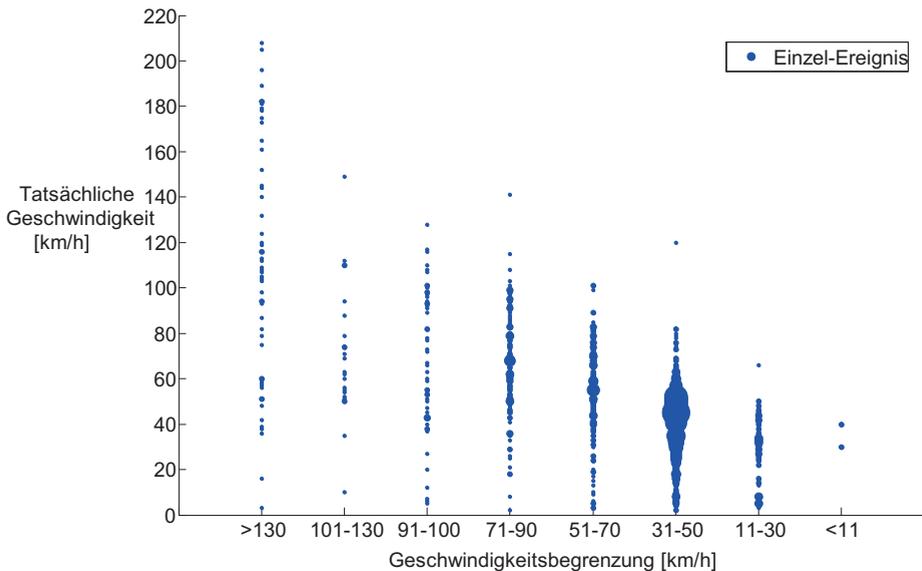


Bild 5: Tatsächliche Geschwindigkeit beim Eingriff, aufgeteilt nach Geschwindigkeitsbegrenzung.

Wie hoch die tatsächliche Geschwindigkeit zum Zeitpunkt eines Ereignisses war, ist in Bild 5 dargestellt. Hier ist die tatsächliche Geschwindigkeit über den Geschwindigkeitsbegrenzungen aufgetragen. Ein einzelner Punkt stellt ein Ereignis dar, wobei der Durchmesser die Anzahl der Ereignisse widerspiegelt. Wiederum lässt sich erkennen, dass Häufungen zwischen 30 und 70 km/h zu finden sind, auch auf Straßen die höhere Geschwindigkeiten erlauben. Weitere Attribute wie z. B. Tageszeit, Verkehrsdichte oder Straßentyp zur Beschreibung erprobungsrelevanter Situationen im Hinblick auf die Exposition können für solche und ähnliche Auswertungen bereits genutzt werden. Damit lässt sich die Erprobungsplanung gezielter auf Fahrabschnitte mit einer hohen Exposition relevanter Ereignisse fokussieren.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist in Bild 6 dargestellt, welches die Position von allen 313 Kreisverkehren in einem gewissen geographischen Raum um die Erprobungszentrale in Sindelfingen darstellt.

Im Rahmen einer Felderprobung wurde während laufenden Absicherungen festgestellt, dass das Ereignis "Durchfahrt durch einen Kreisverkehr" für das zu erprobende Fahrerassistenzsystem von besonderer Relevanz ist. Nach den Definitionen in Abschnitt 7 erlebt das System bei solchen Ereignissen also eine hohe Exposition, da hier mit hoher Wahrscheinlichkeit potentiell relevante Ereignisse auftreten. Um die Vielfalt der Erprobung in Hinblick auf diese Ereignisart zu erhöhen, wurden Routen definiert, um möglichst viele der Kreisverkehre im definierten Raum mindestens einmal zu durchfahren. Darüber hinaus wurde die Reproduzierbarkeit überprüft, indem einzelne Kreisverkehre bis zu 180-mal durchfahren wurden und eine "Ereignisrate", ein Verhältnis zwischen Durchfahrthäufigkeit und Anzahl relevanter Ereignisse, für diese einzelnen Kreisverkehre berechnet wurde.

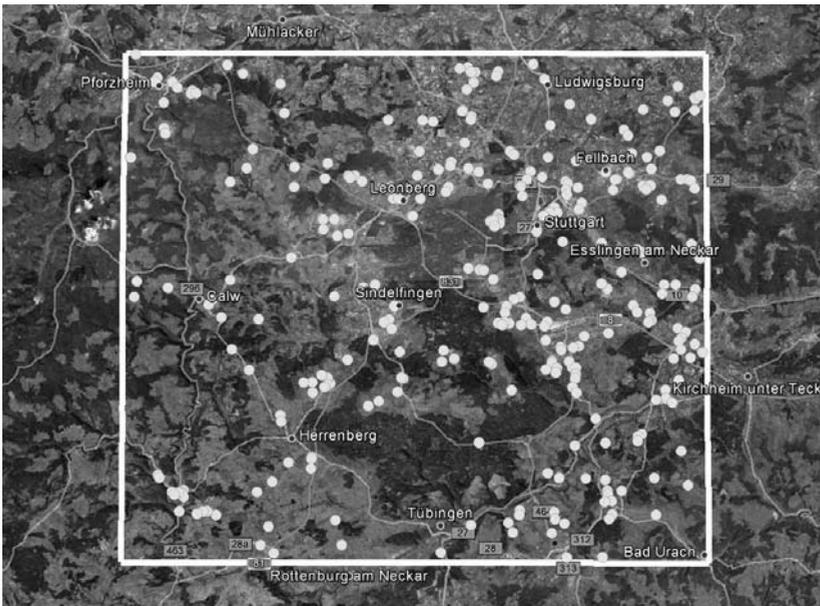


Bild 6: Darstellung aller Kreisverkehre als Punkte in ausgewähltem Bereich um Sindelfingen.

## 10 AUSBLICK

Das Ziel der Arbeit ist die effiziente Optimierung von Fahrerassistenzsystemen im Rahmen von Felderproben. Dabei lassen sich nicht alle Vorgaben a priori festlegen. Vielmehr werden relevante Ereignisse wie Systemeingriffe laufend auf ihre Plausibilität untersucht und bewertet. Demnach können interessante Stellen, bei denen z. B. solche Ereignisse mehrfach auftreten, mit aktualisierten Softwareständen abgefahren werden. Somit lässt sich die Erprobungsplanung auch als Regelkreis darstellen, bei dem die Vorgaben abhängig vom bisher erlebten iterativ angepasst werden (Bild 7).

Die Schritte 1 bis 3 in diesem Prozess, nämlich die Messdatenerfassung und -verwaltung, die Extraktion von Ereignissen sowie die Berechnung von Bewertungsgrößen wurden in den vorangegangenen Abschnitten bereits skizziert. Die Planung umfasst nicht nur eine Festlegung von Routen. Vielmehr zielt sie darauf ab, das System unter den oben beschriebenen Aspekten wie z. B. Exposition des Fahrerassistenzsystems bestmöglich zu erproben. Gleichwertige Situationen können dabei auf verschiedenen Routen erzielt werden; ebenso kann aber auch dieselbe Route bei verschiedenen Witterungsbedingungen oder Tageszeiten unterschiedliche Fahrumstände bieten. Bausteine für einen Erprobungsplan sind also Routen *und* gewisse Umgebungsmerkmale - nämlich jene, die als Dimensionen den Erprobungsraum aufspannen. Wie sich eine praktikable Zielgröße für Pläne summieren und auf dieser Basis eine Planung implementieren lässt, ist Gegenstand weiterer Forschung.

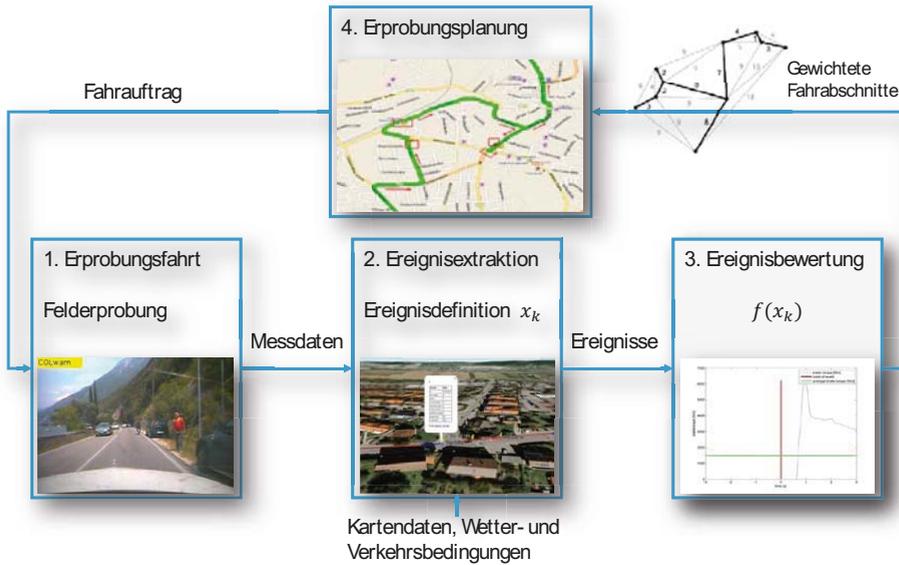


Bild 7: Erprobungsplanung als Regelkreismodell.

## 11 ZUSAMMENFASSUNG

Angesichts steigender Zahl und Vielfalt von Fahrerassistenzsystemen liegt der Bedarf auf der Hand, deren Optimierung im Rahmen von Felderprobungen möglichst effizient und zielgerichtet zu gestalten. Dies umfasst zum einen Messwerkzeuge, die Auskunft über den Erkenntnisgewinn von Fahrleistungen geben, zum anderen einen Prozess, der ausgehend von der Entwicklungsdokumentation die Ereignisse und Planung von Straßenfahrten ableiten kann.

Als besonders wichtig für eine Umsetzung einer ereignisorientierten Erprobungsplanung wird dabei die direkte Kopplung der Entwicklungsdokumentation mit der Definition relevanter Ereignis- und Zustandsräume erachtet, sowie die Einbeziehung neuer Datenquellen mit statischen Informationen zur Umwelt, soweit sie das betrachtete Fahrerassistenzsystem beeinflussen und zur Ableitung von Fahrerempfehlungen genutzt werden können. Dies wird anhand vorhandener Daten aus laufenden Feldabsicherungen dargestellt, wo sowohl Fahrzeugdaten als auch Kartendaten für ein Erprobungsmonitoring genutzt werden.

Auf dem Weg zur Erprobungsplanung steht der Fokus auf der Bewertung von Ereignissen, um Strecken mit einer Kennzahl zum Absicherungsbeitrag belegen zu können. Eine skalierbare Datenhaltung und Datenorganisation ist Grundlage für eine Auswertung von hybriden, aus Messdaten sowie Ergänzungsdaten bestehenden Umfeldmodellen.

## LITERATUR

**Breuer, J. (2012):** „Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen,“ in Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, pp. 55-68.

**FESTA (2011):** „FESTA Handbook Version 4,“ FESTA Consortium.

**Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (2011):** „Methodische und technische Aspekte einer NaturalisticDriving Study,“ Verband der Automobilindustrie (VDA).

**RESPONSE 3 (2009):** „Code of Practice for the Design and Evaluation of ADAS“, PReVENT.

**Tattersall, S.; Petersen, U.; Breuer, J. (2012):** Ein Messdatenmanagementsystem für die Feldabsicherung von neuen Fahrerassistenzsystemen,“ 28. VDI/VW Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit.

**Winner, H.; Weitzel, A. (2012):** „Quo vadis, FAS?,“ in Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Wiesbaden, Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner, pp. 658-667.



# BEANSPRUCHUNGSADAPTIVE FAHRERUNTERSTÜTZUNG, DER WEG ZUM SICHEREN UND EFFIZIENTEN FAHREN

Eberhard Hipp, Karlheinz Dörner, Maria Seitz, Daniel Heyes

## ZUSAMMENFASSUNG

Zwei neuartige Systeme können helfen, die Fahrerbeanspruchung zu reduzieren und die Fahrerleistung zu steigern. Ein „Informationsmanager“ optimiert die zeitliche Ausgabe von Fahrzeugmeldungen und vermittelt anhand der aktuellen kognitiven Fahrerbeanspruchung und der Priorität der Meldung dem Fahrer genau dann Informationen, wenn er diese akut benötigt, gleichzeitig jedoch dadurch nicht zu sehr belastet wird. Demgegenüber versorgt ein „Virtueller Fahrtrainer“ den Fahrer in Phasen der Unterforderung mit situationsangepassten Tipps und rechtzeitigen Hinweisen zu einem optimalen Fahrstil. So steigt nicht nur kurzfristig die Fahrerleistung, vielmehr werden durch hilfreiche Zusatzinformationen das Sicherheitsbewusstsein des Fahrers und eine effiziente Fahrweise langfristig geschult.

## 1 EINLEITUNG

Im täglichen Straßenverkehr erfahren Führer von Nutzfahrzeugen in den letzten Jahren eine immer stärkere Beanspruchung. Die wachsende Zahl der Verkehrsteilnehmer, steigender Termindruck und immer komplexere Informationen zu verschiedensten Systemen müssen während der Fahrt verarbeitet werden. Daneben führt Unterforderung, z.B. auf bekannten oder monotonen Strecken, ebenso zu einer hohen Beanspruchung des Fahrers. In allen Fällen führt dies zu einer Reduzierung der Fahrerleistung und einem damit verbundenen Verlust an Sicherheit und Effizienz. Bild 1 lässt erkennen, dass Fehlleistungen des Fahrers eine wesentliche Unfallursache sind, wobei sowohl Ablenkung als auch Übermüdung unfallsteigernd angesehen werden kann.

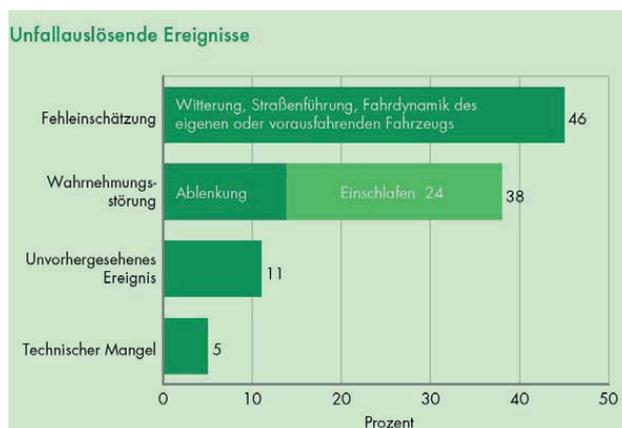


Bild 1: Einfluss des Fahrers auf das Unfallgeschehen (nach Hell & Langwieder, 2001).

Um den Fahrer in einem optimalen Belastungszustand zu halten, wird daher ein Verfahren für die Ermittlung der momentanen Fahrerbeanspruchung vorgestellt. Darauf aufbauend wird gezeigt, wie das Informationsmanagement während überfordernden Situationen die Informationsdichte reduzieren und ein virtueller Fahrtrainer durch gezielte Fahrhinweise sowohl die Fahrerleistung als auch die Kraftstoffeffizienz verbessern kann.

## 2 EIN KONZEPT ZUR VERMEIDUNG VON UNTER- UND ÜBERFORDERUNG VON FAHRERN IM NUTZFAHRZEUG

In den Arbeitswissenschaften werden die beiden Begriffe Belastung und Beanspruchung voneinander unterschieden. Dabei meint Belastung die von außen auf den Menschen einwirkenden Einflüsse, während Beanspruchung die unmittelbare Auswirkung dieser Einflüsse im Menschen bezeichnet. Diese Auswirkungen sind abhängig von den individuellen Voraussetzungen und Bewältigungsstrategien und können intra- und interindividuell voneinander abweichen (DIN EN ISO 10075-1). Grundsätzlich nimmt die Beanspruchung Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Menschen. So ist bei höherer Beanspruchung mit Leistungseinbußen zu rechnen. Bild 2 zeigt den Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Leistungsfähigkeit nach Meister (1976). Der Zustand optimaler Leistungsfähigkeit befindet sich in Bereich A bei geringer Beanspruchung.

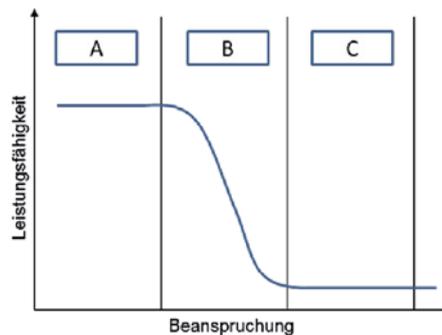


Bild 2: Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Leistungsfähigkeit.

Die Beanspruchung wiederum ergibt sich aus den Anforderungen oder Belastungen, die auf eine Person einwirken. Der Zusammenhang zwischen Anforderungen, Beanspruchung und Leistung ist in Bild 3 nach De Waard (1996) dargestellt<sup>1</sup>. Die höchste Leistungsfähigkeit und damit ideale Beanspruchung ist im Bereich mittlerer Anforderungen gegeben (Bereich A2 in Bild 3). Mit steigenden Anforderungen steigt auch die Beanspruchung (A3). Die Leistungsfähigkeit hingegen kann durch erhöhte Anstrengung zunächst auf einem hohen Level gehalten werden. Erst in Bereich B und C sinkt die Leistungsfähigkeit, da sie auch durch erhöhte Anstrengung nicht mehr aufrechterhalten werden kann. Es liegt eine Überforderung des Menschen vor. Analog zu einem überforderungsbedingten Leistungsabfall kann ein unterforderungsbedingter Leistungsabfall auftreten. Sind die Anforderungen an den Menschen sehr gering, so steigt die Beanspruchung ebenfalls. Auch dann sinkt die Leistung erst, wenn die steigende Beanspruchung nicht mehr durch er-

<sup>1</sup> Die Begriffe Workload und Beanspruchung werden im Folgenden synonym verwendet.

höhte Anstrengung abgefangen werden kann. In diesem Falle liegt eine Unterforderung vor, welche beispielsweise bei monotonen Tätigkeiten auftritt (De Waard, 1996).

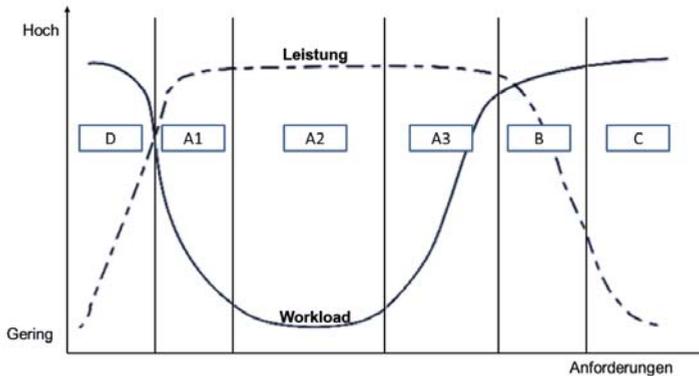


Bild 3: Zusammenhang zwischen Anforderungen, Beanspruchung (Workload) und Leistung.

Um einen Fahrzeugführer dabei zu unterstützen, sich in einem Bereich optimaler Beanspruchung und damit maximaler Leistungsfähigkeit zu befinden, sind obigen Ausführungen zufolge zwei Ansätze zu berücksichtigen. Zum einen gilt es, eine Überforderung des Fahrers zu vermeiden. So sollten in Situationen mit erhöhten Anforderungen - neben einer bestmöglichen Unterstützung beispielsweise durch Fahrerassistenzsysteme - zusätzliche Anforderungen vermieden werden. Zum anderen könnte ein Fahrer in monotonen Situationen (Unterforderung), die mit einer erhöhten Beanspruchung einhergehen, mit fahraufgabenbezogenen Tätigkeiten beaufschlagt werden, um einen Zustand optimaler Beanspruchung zu erreichen.

Vorliegende Arbeit zeigt aufbauend auf diesen Überlegungen ein Gesamtkonzept zur Reduzierung von Unter- und Überforderung im Nutzfahrzeug allein durch die gezielte Ausgabe von Fahrzeugmeldungen. Dieses Konzept wird schematisch in Bild 4 dargestellt. Voraussetzung für dessen Realisierung ist eine zuverlässige Schätzung und Differenzierung zwischen überforderungsbedingter oder unterforderungsbedingter Beanspruchung. Liegt eine hohe Beanspruchung aufgrund hoher Anforderungen an den Fahrer vor, so soll durch intelligentes Informationsmanagement eine weitere Erhöhung der Beanspruchung vermieden werden. Bei einer Unterforderung des Fahrers wird vor dem Hintergrund eingangs erwähnter Notwendigkeit zu kraftstoff- und verschleißoptimierter Fahrweise ein virtueller Fahrtrainer aktiviert. Dieser gibt dem Fahrzeugführer situationsangepasste Fahrhinweise für eine Verbesserung seines Fahrstils. Diese Fahrhinweise, die in Form von Fahrzeugmeldungen über ein Display ausgegeben werden, stellen eine zusätzliche Informationseinheit dar, die der Fahrer kognitiv verarbeitet und eventuell in eine Handlung umsetzt. Daher ist von einer Erhöhung der Anforderungen auszugehen, welche einen verbesserten Fahrerszustand im Sinne einer niedrigeren Beanspruchung bewirken könnte.

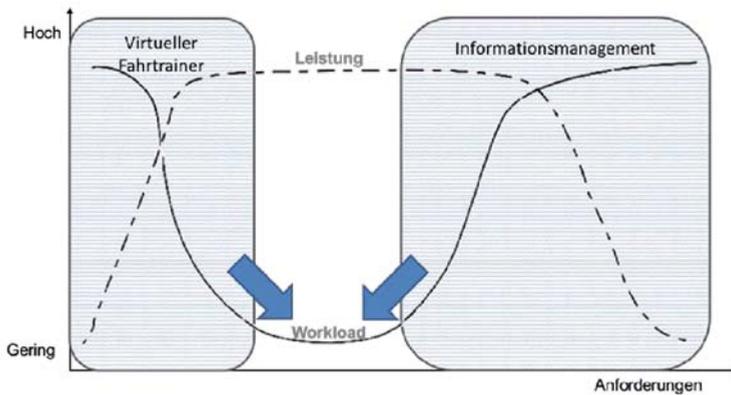


Bild 4 Konzept zur Vermeidung von Unter- und Überforderung im Nutzfahrzeug.

Nachfolgend werden die beiden Systeme, das Informationsmanagement zur Reduzierung von Überforderung sowie der virtuelle Fahrtrainer zur Reduzierung von Unterforderung und Verbesserung der Fahrweise im Detail gezeigt. Zuvor wird eine Möglichkeit zur Schätzung der Beanspruchung im Serienfahrzeug als Regelgröße für die beiden Systeme vorgestellt.

### 3 INDIREKTE SCHÄTZUNG DER BEANSPRUCHUNG

Die direkte Erfassung der Fahrerbeanspruchung, beispielsweise über die Erhebung physiologischer Messgrößen, ist nach Stand der Technik in einem Serienfahrzeug nicht zuverlässig möglich (Seitz et al., 2012a). Daher wird die Beanspruchung indirekt über eine Referenzgröße geschätzt. Diese muss zum einen in einem direkten Zusammenhang zur Fahrerbeanspruchung stehen, zum anderen sollte sie im Fahrzeug erfassbar sein. Für die Referenzgröße sind a priori erfasste Beanspruchungswerte in einer Look up Table hinterlegt. So kann über die Erfassung der Referenzgröße ein Wert für die geschätzte Beanspruchung sowie die Klassifizierung von Unter- oder Überforderung an die Systeme Informationsmanagement und Fahrtrainer übermittelt werden. Als Referenzgröße zur Schätzung der Fahrerbeanspruchung bietet sich die aktuelle Fahr- und Umweltsituation an. Bild 5 zeigt dieses Vorgehen in einer Übersicht.

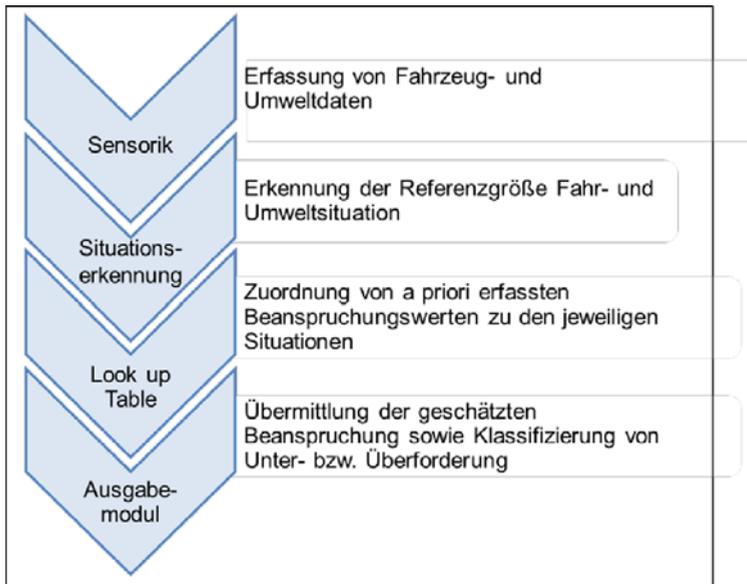


Bild 5: Schätzung der Fahrerbeanspruchung über die Erfassung einer Referenzgröße.

Das Konzept zur indirekten Beanspruchungsschätzung wurde bisher für Situationen mit hohen Anforderungen an den Fahrer (Gefahr der Überforderung) umgesetzt und validiert. Es ist jedoch auf die Erkennung potentieller Unterforderung übertragbar.

Bei der Umsetzung der indirekten Beanspruchungsschätzung gilt es zunächst diejenigen Situationen zu identifizieren, die sich als relevant für die Beanspruchung zeigen und in dem Konzept berücksichtigt werden sollten. Hierzu wurde eine Fahrerbefragung auf Rastplätzen mit 31 Berufs-Lkw-Fahrern im Alter von 23 – 66 Jahren (MW=43,1; SD=11,3) durchgeführt, in welcher 44 relevante Fahr- und Umweltsituationen identifiziert werden konnten. Im Serienfahrzeug erfolgt die Erkennung dieser Situationen regelbasiert auf Basis von Fahrzeug-, Sensor- und Kartendaten. Der Algorithmus zur Erkennung der Situationen wurde in einem Lkw implementiert und in Realversuchen und Simulationen validiert. Insgesamt ergibt sich dabei eine für den Einsatz der Situationserkennung angemessene Erkennungsgüte (Seitz et al., 2012a).

Die in der Look up Table zu hinterlegenden Beanspruchungswerte für die verschiedenen Fahr- und Umweltsituationen wurden in einer Probandenstudie am Lkw-Fahrsimulator des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München erhoben. An der Studie nahmen 38 männliche Berufs-Lkw-Fahrer im Alter von 26-69 Jahren ( $\mu=47,1$ ;  $SD=9,8$ ) teil. Die Beanspruchung wurde mittels physiologischer Verfahren (Hautleitwert, Pupillometrie) sowie subjektiver Bewertungen anhand einer modifizierten Rating Scale of Mental Effort nach Zijlstra (1993) und Eilers et al. (1986) erhoben. Es zeigen sich hohe Beanspruchungswerte bei schlechten Wetterbedingungen (Regen, Nebel, Schneefall) und bei hohem Verkehrsaufkommen oder Stau. Außerdem ergibt sich eine hohe Beanspruchung in Situationen, in denen die Fahrer eine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer befürchten, wie beispielsweise in engen Baustellendurchfahrten. Das zeitlich hoch auflösende physiologische Messverfahren der Pupillometrie zeigt, dass z.B. bei

Abbiegevorgängen oder auch dem Durchfahren enger Kurven zum einen die Vorbereitung auf die Situation hohe Beanspruchung verursacht. Zum anderen stellt das sichere Manövrieren des Sattelauflegers um die Kurve eine Beanspruchung dar, wohingegen das eigentliche Durchfahren der Kurve mit der Sattelzugmaschine geringere Beanspruchung verursacht. Grundsätzlich bewerten die Versuchspersonen Situationen mit hohen Anforderungen auf der Stabilisierungsebene als anstrengend (Seitz et al., 2011). Die Ergebnisse der Fahrstudie wurden in einem Realversuch validiert (Seitz et al., 2012b).

#### 4 INFORMATIONSMANAGEMENT

Der technologische Fortschritt der letzten Jahre bewirkt, dass immer mehr Systeme Einzug in das Fahrzeug finden, welche dem Fahrer zusätzliche Information bereitstellen. Das Bundesamt für Güterverkehr fasst in einer Bewertung der Arbeitsbedingungen in Güterverkehr und Logistik zusammen: „Die Anforderungen an Berufskraftfahrer haben sich in den vergangenen Jahren stetig erhöht. Zurückzuführen ist dies in erster Linie auf stetige Modernisierungsprozesse der Fahrzeug- und Logistiktechnologien, mit denen Kraftfahrzeugführer umgehen und die sie bedienen können müssen. Dazu zählen beispielsweise Telematik-, Fahrerassistenz- und Satellitennavigationssysteme sowie digitale Kontrollgeräte oder Mauterfassungsgeräte“ (Bundesamt für Güterverkehr, 2011, S. 92). Vor dem Hintergrund, dass die Anzahl möglicher Meldungen im Fahrzeug auch in Zukunft weiter ansteigen wird, wird die Notwendigkeit einer gezielten Steuerung der Meldungsausgabe immer größer. Ein naheliegender Ansatz zur zeitlichen Optimierung der Meldungsausgabe ist, die aktuelle Fahrerbeanspruchung in die Entscheidung über eine Meldungsausgabe mit einzubeziehen. So können in beanspruchenden Fahr- und Umweltsituationen zusätzliche Anforderungen an den Fahrer durch die Aufnahme und Verarbeitung einer Fahrzeugmeldung vermieden werden.

Das Konzept des Informationsmanagers sieht sowohl eine Berücksichtigung der aktuellen Fahrerbeanspruchung als auch der Wichtigkeit und Dringlichkeit einer auszugebenden Meldung vor. Die Fahrzeugmeldungen sind in drei Prioritätsstufen eingeteilt, welche im wesentlichen Komfortmeldungen, Hinweise und Warnungen voneinander abgrenzen. Dementsprechend sind im Informationsmanagement zwei Beanspruchungsschwellen hinterlegt. Übersteigt die aktuelle Fahrerbeanspruchung die niedrigste Beanspruchungsschwelle, so werden Komfortmeldungen zurückgehalten, bei Überschreitung der zweiten Schwelle werden zusätzlich Hinweismeldungen geblockt. Warnungen werden aufgrund ihrer Wichtigkeit immer ausgegeben (Seitz et al., 2012a). Außerdem ist die Berücksichtigung von Vorbereitungs- und Erholungszeiten vorgesehen. So zeigte sich in einer Probandenstudie an einem statischen Lkw-Fahrstudie, dass sich die Versuchspersonen insbesondere vor beanspruchenden Situationen eine Filterung von weniger wichtigen Fahrzeugmeldungen wünschen, um sich ungestört auf die folgende Situation vorbereiten zu können. Dagegen wird Erholungszeiten nach beanspruchenden Situationen eine geringere Notwendigkeit zugesprochen (Seitz et al., 2012c).

Durch das Zurückstellen von Fahrzeugmeldungen während beanspruchender Situationen wird der Fahrer von zusätzlichen Anforderungen an Informationsaufnahme und -verarbeitung befreit. So kann eine weitere Erhöhung der Beanspruchung vermieden werden.

## 5 VIRTUELLER FAHRTRAINER

Steigende Kraftstoffkosten haben sich zum maßgeblichen Kostentreiber bei Transportunternehmen entwickelt und bilden heutzutage einen Anteil von nahezu 30% an den Transportkosten (Wittenbrink, 2011).

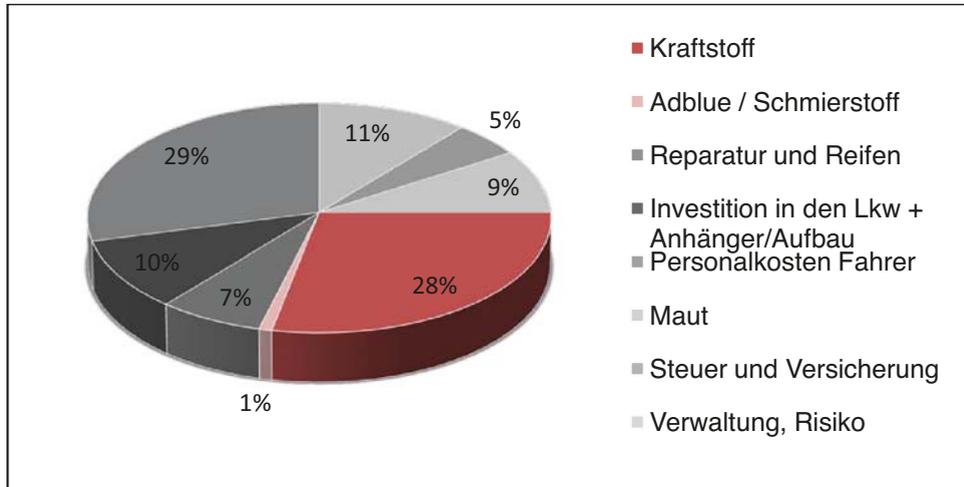


Bild 6: Kostenstruktur Fernverkehrs-Lkw (nach Wittenbrink, 2011).

Daher stellt die Kraftstoffeffizienz von Nutzfahrzeugen einen maßgeblichen Einflussfaktor auf die Transporteffizienz und damit die Wettbewerbsfähigkeit von Fuhrunternehmern dar. Durch fahrzeugseitige Maßnahmen konnten die Nutzfahrzeughersteller schon erhebliche Einspareffekte erzielen (VDA, 2010). Trotz dieser Bemühungen hat die Fahrweise des Fahrers weiterhin einen signifikanten Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Geiler & Kerwien (2008) konnten einen kurzfristigen Kraftstoffeinspareffekt von ca. 7% durch Fahrertraining feststellen, der jedoch innerhalb von 10 Monaten auf 4% sank. In einer von Wahlberg (2007) durchgeführten Studie erzielten Berufskraftfahrer nach einem Wirtschaftlichkeitstraining einem um ca. 6% geringeren Kraftstoffverbrauch. Auch hier stellte sich ein langfristiger Einspareffekt ein, der jedoch mit 2% deutlich geringer war, als kurz nach dem Training.

Wird die Fahrweise durch ein Assistenzsystem kontinuierlich analysiert, können dem Fahrer situationsbezogene Fahrhinweise über sein Verbesserungspotential gegeben werden. Es ist zu erwarten, dass sich durch einen solchen „virtuellen Fahrtrainer“ ein langfristiger Lerneffekt einstellt, der nicht nur kurzfristige Kraftstoffeinspareffekte aufgrund der Fahrweise Änderung erzielt, sondern diese verbesserte Fahrweise langfristig festigt und damit zu einer nachhaltigen Verbrauchsreduzierung beiträgt.

Nach Bild 7 gliedern sich die Fahrhinweise des virtuellen Fahrtrainers in vorausschauende Fahrhinweise und Hinweise zur Verbesserung des Fahrstils. Die vorausschauenden Fahrhinweise helfen dem Fahrer frühzeitig auf die Topografie, Infrastruktur und andere Verkehrsteilnehmer zu reagieren. Zur Verbesserung des Fahrstils wird die Fahrweise des Fahrers analysiert. Dabei wird beobachtet, wie der Fahrer die Geschwindigkeit des Fahrzeugs beeinflusst (z.B. Nutzung der Geschwindigkeitsregelanlage, Einhaltung einer maximalen Reisegeschwindigkeit),

wie der Motor betrieben wird (z.B. Motor im Stillstand abstellen, bei Handschaltfahrzeugen im verbrauchsgünstigen Drehzahlbereich fahren) und das Bremssystem und Kupplung verschleißgünstig betätigt wird (z.B. Einsatz des Retarders bei leichter Verzögerung, verschleißsarmes Schließen der Kupplung).

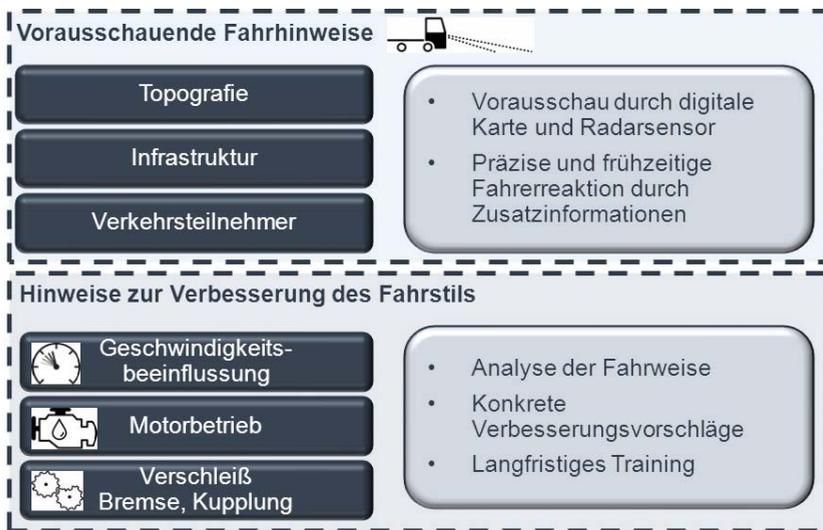


Bild 7: Einteilung der Fahrhinweise in vorausschauende Fahrhinweise und Hinweise zur Verbesserung des Fahrstils.

Beispielsweise können vorausschauende Fahrhinweise bei einer verdeckt liegenden Ortseinfahrt den Fahrer unterstützen frühzeitig die Geschwindigkeit im Rollbetrieb zu reduzieren. Ein ortsunkundiger Fahrer würde das Ortsschild zu spät sehen und müsste vor dem Ortsschild übermäßig abbremsen. Aber auch ortskundige Fahrer können die Fahrzeugreaktion nicht immer präzise einschätzen und können durch die vorausschauenden Fahrhinweise ihrer Fahrzeug- und Ortskenntnis verfeinern. Mittels Informationen aus einer digitalen Karte über den vorausliegenden Streckenabschnitt gelingt es dem virtuellen Fahrtrainer die Fahrzeugreaktion und damit den optimalen Ausrollzeitpunkt vorzuberechnen ohne dabei Akzeptanzkriterien für die Minimalgeschwindigkeit zu verletzen. Durch die in Bild 8 dargestellte Fahrerschnittstelle kann der Fahrhinweise geeignet an den Fahrer übermittelt werden.

Wird bei der Ausgabe der Fahrhinweise die Beanspruchung der aktuellen Fahrsituation berücksichtigt, kann die Häufigkeit der Fahrhinweise bei unterforderungsbedingter Beanspruchung erhöht werden und damit der Fahrer sowohl zu einem wirtschaftlichen Verhalten angehalten werden als auch in einen verbesserten Fahrerzustand gebracht werden. Bei einer überforderungsbedingten Beanspruchung wird durch das Informationsmanagement die Ausgabe der Fahrhinweise unterdrückt und ein erhöhter Kraftstoffverbrauch zugunsten einer zu geringeren Beanspruchung in Kauf genommen.



Bild 8: Vorausschauender Fahrhinweis vor einer verdeckt liegenden Ortseinfahrt.

## 6 DISKUSSION UND AUSBLICK

Durch die indirekte Beanspruchungsschätzung wird die Möglichkeit geschaffen mit bestehender Fahrzeugsensorik die momentane Beanspruchung des Fahrers zu schätzen. Sie bildet die Basis für das Informationsmanagement und damit direkt für die Verkehrssicherheit. Damit lässt sich sowohl die steigende Komplexität von Assistenzfunktionen beherrschen als auch gezielt mit Hilfe des virtuellen Fahrtrainers der wirtschaftliche Umgang des Fahrers mit seinem Fahrzeug verbessern. Gerade in monotonen Fahrsituationen bietet dies eine willkommene Abwechslung und steigert dabei die Fahrleistung. Insgesamt hat die intelligente Kopplung des Informationsmanagements und des virtuellen Fahrtrainers das Potential sicheres und effizientes Fahren zu unterstützen.

## LITERATUR

**Bundesamt für Güterverkehr (2011):** Marktbeobachtung Güterverkehr: Auswertung der Arbeitsbedingungen in Güterverkehr und Logistik 2011-I. Köln.

**De Waard, D. (1996):** The Measurement of Drivers' Mental Workload. University of Groningen Diss.

**DIN EN ISO 10075-1 (2000):** Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. Teil 1: Allgemeines und Begriffe. Berlin: Beuth 2000.

**Eilers, K.; Nachreiner, F.; Hänecke, K. (1986):** Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 40, S.215-224.

**Geiler, M.; Kerwien, H. (2008):** Wirksamkeitsstudie zu einem Training ökonomischen Fahrens. Z. f. Verkehrssicherheit 54 (2008) Nr. 3, S.138.

**Hell, W.; Langwieder, K. (2001):** Einschlafunfälle im Straßenverkehr: eine bisher oft verkannte Unfallursache; Auftretenshäufigkeit und Prävention, Kolloquium des HDT, Essen.

**Logistik V'Info (2010):** Ergebnisbroschüre Logistik-V'Info.

**Meister, D. (1976):** Behavioral foundations of system development. New York: Wiley.

**Seitz, M.; Dlugosch, C.; Haslbeck, A.; Bengler, K.; Lienkamp, M. (2011):** Pupillometrie als Werkzeug zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung im Nutzfahrzeug. Der Fahrer im 21. Jahrhundert, Braunschweig.

**Seitz, M.; Feldmeier, D.; Zimmermann, A.; Lienkamp, M. (2012b):** Eine Feldstudie zur Erfassung der kognitiven Beanspruchung von Lkw-Fahrern. 2. Commercial Vehicle Technology Symposium, Kaiserslautern.

**Seitz, M.; Maas, M.; Zimmermann, A.; Lienkamp, M. (2012a):** Möglichkeiten zur kontinuierlichen Schätzung der Fahrerbeanspruchung im Serienfahrzeug, Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit, Wolfsburg.

**Seitz, M.; Matysiak, D.; Zimmermann, A.; Lienkamp, M. (2012c):** Untersuchungen zur zeitlich optimierten Ausgabe von Fahrzeugmeldungen. 5. Tagung Fahrerassistenz, München.

**VDA (2010):** Das Nutzfahrzeug - umweltfreundlich und effizient, Frankfurt.

**Wahlberg, A. (2007):** Long-term effects of training in economical driving: Fuel consumption, accidents, driver acceleration behavior and technical feedback. In International journal of industrial ergonomics, Vol. 37, No. 4, S. 333-343.

**Wittenbrink, P. (2011):** Transportkostenmanagement im Straßengüterverkehr, Wiesbaden: Gabler.

**Zijlstra, F.R.H. (1993):** Efficiency in work behavior. A design approach for modern tools. Delft: Delft University Press.

# MENSCHLICHE ZUVERLÄSSIGKEIT UND SICHERES FAHREN – EIN WIDERSPRUCH?

Heiner Bubb

## ZUSAMMENFASSUNG

*Errare humanum est* (lat., frei übersetzt: „Menschen machen Fehler“). Die Unfallstatistik ist ein beredter Beweis für diese schon im Altertum bekannte Erkenntnis. Ist sicheres Fahren, ein Straßenverkehr, der ohne Sach- und Personenschäden auskommt, also unmöglich? Jeder weiß allerdings auch, dass in der persönlichen Erfahrung ein Unfall gottlob ein eher seltenes Ereignis ist. Damit spielt offensichtlich der Zufall, mathematisch durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung fassbar, im Unfallgeschehen eine wichtige Rolle. Um dem Zufall ein wenig „nachzuhelfen“ und damit die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall zu reduzieren, hat man verschiedene Maßnahmen entwickelt. Neben der Fahrerbeeinflussung durch Schulung, Verkehrsregeln und Androhung von Bestrafung sind Assistenzsysteme eine zunehmend an Bedeutung gewinnende Möglichkeit. Diese übernehmen, dem Fahrer quasi parallel geschaltet, entweder dauernd oder in extremen Situationen dessen Fahraufgabe bzw. warnen ihn gegebenenfalls vor einer Gefahr und sollen so durch Redundanz für eine Reduzierung der Fehlerwahrscheinlichkeit sorgen. Mit Blick auf den Anteil der systemrelevanten Krisensituationen am Gesamtunfallgeschehen spricht man dabei von *Wirkpotenzial* und mit Blick auf den zu erwartenden Systemgewinn u.a. auch unter Berücksichtigung der Nutzungshäufigkeit des betreffenden Systems von *Wirkerwartung*. Wie diese Maßnahmen aus Sicht der Gesamtzuverlässigkeit zu bewerten sind und wodurch eventuelle Lücken zu schließen sind, wird in dem vorliegenden Beitrag diskutiert.

## 1 SICHERHEIT, ZUVERLÄSSIGKEIT UND FEHLER

Die Europäische Union hat sich das Ziel gesetzt, die Zahl der Verkehrstoten und -verletzten bis zum Jahre 2020 zu halbieren. Von DaimlerChrysler wurde vor wenigen Jahren das Forschungsziel „Unfallfreies Fahrzeug“ propagiert. Das alles ist nur mit „sicherem Fahren“ zu erreichen. Doch was ist Sicherheit? Der deutsche Begriff „Sicherheit“ wird interessanterweise in recht unterschiedlichem Sinne verwendet und gibt damit zu irrtümlichen bzw. widersprüchlichen Interpretationen Anlass. Die englische Sprache verwendet demgegenüber verschiedene Wörter, was zur Klärung der Begriffe beitragen mag. Sicherheit ist – neben speziellen weiteren Möglichkeiten - durch folgende Worte zu übersetzen:

1. *Security*: damit ist die Freiheit von Sorge, d.h. letztlich der Schutz vor Angst gemeint. Unter Angst ist dabei die abwehrende Haltung vor einer unbekanntem und unbestimmten Beeinträchtigung des Lebens und der Lebensumstände zu verstehen (z.B.: „Angst vor Gespenstern!“). Die Polizei stellt z.B. in diesem Sinne „security“ vor unbekanntem Einbrechern, Mordgesellen, Verkehrsrowdies und dergleichen her.
2. *Safety*: charakterisiert den Schutz vor (gekannter) Gefahr. Sie stellt also den Schutz vor Furcht dar. Furcht ist - im Gegensatz zu Angst - die abwehrende Haltung vor einer bekannten und konkretisierbaren Beeinträchtigung

des Lebens und der Lebensumstände (z.B.: „Furcht vor dem Kampf!“). Der „safetybelt“ schützt vor der im Prinzip kalkulierbaren Gefahr der körperlichen Beeinträchtigung durch zu hohe Kräfteeinwirkung.

3. *Certainty* kennzeichnet die Gewissheit, mit der etwas geschieht. Auch diese Gewissheit lässt sich im technischen Bereich finden. Sie kennzeichnet die Gewissheit, mit der ein Maschine oder ein technisches System funktioniert. Obwohl man in der deutschen Sprache hier den Ausdruck von der „sicheren Funktion“ verwendet, meint man doch die Zuverlässigkeit, genauer gesagt die Funktionsfähigkeit des Systems („reliability“). Der oftmals benutzte Begriff der „Bediensicherheit“ gehört in diese Kategorie.

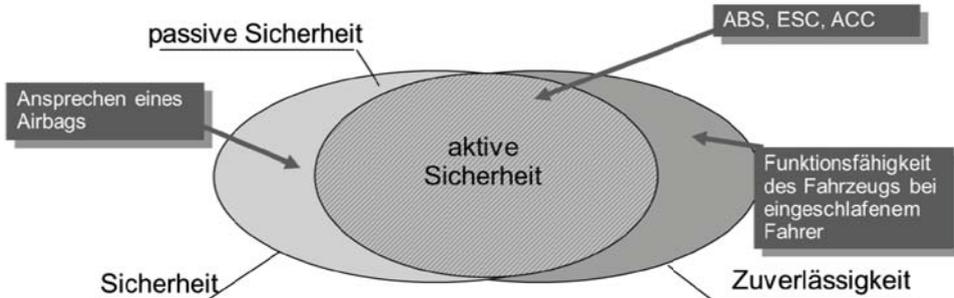


Bild 1: Bereiche der Sicherheit und Zuverlässigkeit und deren Zuordnung zu den Begriffen "aktive" und "passive" Sicherheit.

Um den Zusammenhang von Zuverlässigkeit und Sicherheit zu verstehen, kann man sich den Bereich der Sicherheit und den der Zuverlässigkeit in Form von Venn-Diagrammen gezeichnet vorstellen (siehe Bild 1). Danach gibt es also einen Bereich, in dem Sicherheit durch den zuverlässigen Betrieb erreicht wird. Dies ist der Bereich, den man als „aktive Sicherheit“ („primary safety“) bezeichnet. Er wird vor allem durch ein zuverlässiges Zusammenwirken von Fahrzeug und Fahrer, aber u.a. auch durch Assistenzsysteme wie ABS, ESC ACC erreicht. Wird dieser gemeinsame Bereich verlassen, so kann dennoch Sicherheit außerhalb der (normalen) Funktionsfähigkeit gewährleistet werden, indem beispielsweise Sicherungselemente wie Knautschzone, Sicherheitsgurt und Airbag wirksam werden. Dieser Bereich wird bekanntlich als „passive Sicherheit“ („secondary safety“) bezeichnet. Es sei hier auf eine häufig beobachtete Verwechslung aufmerksam gemacht: passive Sicherheit kann sowohl durch passive Sicherungselemente, wie z.B. die Knautschzone als auch durch aktive Sicherungselemente, wie z. B. den Airbag erreicht werden. Der Bereich außerhalb der Sicherheit bei Erhalt der (technischen) Funktionsfähigkeit ist vollkommen unerwünscht. Er würde beispielsweise ein führerloses aber sonst technisch intaktes Fahrzeug kennzeichnen.

Eng verbunden mit dem Begriff der Sicherheit ist der des Risikos. Nach DIN 31 004, Teil 1 wird Sicherheit und Gefahr als Teil eines Kontinuums auf der Achse zunehmenden Risikos angesehen, wobei das nach gesellschaftlicher Übereinkunft festgelegte Grenzniveau den Bereich der Sicherheit von dem der Gefahr trennt. Im Bereich des Straßenverkehrs gilt eigentlich nur das Grenzniveau „keine Sachbeschädigung, keine Verletzten, keine Toten“.

Auch wenn man durch passive Sicherheit viel Leid, das durch die Folgen eines Unfalls entsteht, vermeiden kann, so ist demnach doch der anzustrebende „Normalfall“ der der aktiven Sicherheit. Es geht also um die zuverlässige Funktion des Systems Fahrer-Fahrzeug - Verkehr. Die Zuverlässigkeit des Fahrzeugs wird durch dessen Fehlerfreiheit definiert. Ein wenig differenzierter ist dies bei der des Fahrers zu betrachten. Unter menschlicher Zuverlässigkeit versteht man nach allgemeinem Sprachgebrauch:

1. die individuelle positive Grundeinstellung zur Übernahme von *Verantwortung* für eine den anderen nicht schädigende vielmehr dessen Wohlergehen herbeiführende Handlungsweise,
2. die Vermeidung von zufälligen oder auf ungünstige Gestaltung zurückzuführende *Fehlhandlungen*, welche die Funktionsfähigkeit einer technischen Anlage – hier des Fahrzeugs bzw. des Verkehrssystems- beeinträchtigen.

Während Punkt 1 sich auf die - auch moralisch zu bewertende - Einstellung des Einzelnen bezieht, adressiert Punkt 2 unbeabsichtigtes Handeln, das aber inakzeptable Folgen nach sich zieht. Reason (1994) unterscheidet entsprechend zwischen (beabsichtigten) *Verstößen* und (unbeabsichtigten) *Fehlern*.

Seitdem Fahrzeugunfälle untersucht werden, versucht man zu deren Vermeidung die menschliche Zuverlässigkeit zu verbessern. Im Wesentlichen geschieht dies durch Schulungsmaßnahmen, durch die das Unfall vermeidende Verhalten eingeübt und die Einsicht in die Zwecklosigkeit des egoistischen, Verbote übertretenden Verhaltens gefördert werden soll. Dem letzten Aspekt wird durch entsprechenden Sanktionen Nachdruck verliehen<sup>1</sup>. Von der technischen Seite versucht man durch die menschengerechte Gestaltung des Fahrzeugs Fehlhandlungen unwahrscheinlicher zu machen.

Zuverlässigkeit wird auch als Fehlerfreiheit („Tadellosigkeit“) definiert. Ausgehend von dem Regelkreisschema kann man nach Schmidtke (1993) das Verhältnis von Ergebnis zu Aufgabe (hier Fahraufgabe) als Qualität bezeichnen. Als Fehler wird in diesem Zusammenhang bezeichnet, wenn ein gefordertes Qualitätsniveau nicht erreicht wird. Ist dieser Fehler durch den Fahrer bedingt, so handelt es sich um einen Fahrfehler. Hinsichtlich dieser Fahrfehler sind folgende hierarchisch gestufte Toleranzgrenzen unterscheidbar (frei nach Rigby, 1970):

- *Physikalisch vorhandene Akzeptanzgrenzen* stellen reale Barrieren dar, wie Hindernisse, Sperrren, Leitplanken, Nagelbänder, der Fahrbahnrand oder der Bordstein, deren Nichteinhaltung deutlich wahrnehmbar ist (Aufprallgeräusch, Kratzen, Schleifgeräusche, Nagelbandrattern, Ruck oder Erschütterungen des Fahrzeuges) und bei ungünstigem Verlauf zu Sachschäden oder ggf. zu Personenschäden führen kann.
- *Warngrenzen* sind Akzeptanzgrenzen, die im Sinne vorbeugenden Schutzes aus physikalisch-technischen Gründen erlassen worden sind. Ihre Überschreitung ist zwar möglich, wird aber aktuell durch Warnsignale aktiv

<sup>1</sup> Leider wird hier bei jedem beobachteten Fehler – aus pragmatischen Gründen – der absichtliche Verstoß unterstellt. Zudem erfolgt die Sanktion in den meisten Fällen so zeitversetzt, dass damit keinen Lernerfolg erhofft werden kann. Zudem werden Verstöße und Fehler, die nicht zu einem Unfall führen, in Relation zu deren Auftreten nur mit geringer Häufigkeit beobachtet (nach Schätzung oft 1:30.000!) Diese die Psychologie von Fehlhandlungen und Fehlverhalten nicht hinreichend berücksichtigende Vorgehensweise raubt den Sanktionen zum großen Teil den gewünschten Effekt.

rückgemeldet oder ist eindeutig anhand von Markierungen oder sonstigen Zeichen erkennbar (z.B. Rotlicht einer Lichtsignalanlage, Überholverbote, Parkverbote u.ä.). Dazu gehören auf der fahrzeugtechnischen Seite beispielsweise Reifendruckwarnung oder Abstandswarnungen (z.B. Park Distance Control PDC).

- *Empirische Akzeptanzgrenzen* beruhen auf der Erfahrung einzelner Fahrer oder auf der Bildung von Normen aufgrund der Erfahrung Vieler als soziale Konventionen. Das Problem ist, dass die Überschreitung dieser Grenzen nicht unmittelbar sinnlich wahrzunehmen ist. Ihre Wahrnehmung setzt die Interpretation der Situation anhand von Erfahrung, Erinnerungsvermögen und Bereitschaft zur Einsicht in die technisch-betrieblichen oder verhaltenspsychologischen Zusammenhänge, mit anderen Worten zum „Mitdenken“ und sicherheitsgerichteten Verhalten, voraus. Zu diesen Grenzen gehören u.a. empirische „Wenn-dann-Vorschriften“ (z.B.: das adäquate Verhalten bei der Vorbeifahrt an Kleinkindern oder alten Personen oder die Regel, beim Stopp vor einer Ampel, den Weg für eine querende Nebenstraße frei zu lassen).
- *Forensische Grenzen* sind Akzeptanzgrenzen, die sich vor allem auf Rechtsvorschriften bzw. Vorschriften beziehen, die aus Normen, Regelwerken u.ä. erwachsen (z.B. Geschwindigkeitsgrenzen). Das Problem ihrer Beachtung liegt zum Teil in der mangelnden Einsichtigkeit ihrer Gültigkeit (Handybenutzungsverbot ohne Freisprecheinrichtung) und/oder der Unschärfe ihrer Definition (Geschwindigkeitswahl in Abhängigkeit vom Fahrbahnzustand) zum Teil aber auch darin, dass es oft mehr Aufwand bedeutet, ihnen zu entsprechen, als die Vorschrift zu umgehen. Ein klassisches Beispiel stellt die mangelnde Akzeptanz zum Anlegen des Sicherheitsgurtes (in manchen Ländern) dar.

In vielen praktischen Fällen sind diese Qualitätsforderungen jedoch nicht explizit vorgegeben, sondern nur implizit in Form eines Appells an den Fahrer „so zu fahren, dass er niemanden mehr als nach den Umständen vermeidbar behindert oder beeinträchtigt“. Häufig wird dann erst im Nachhinein das menschliche Versagen (gleichbedeutend mit menschlichem Fehler) definiert, wenn es zum Unfall gekommen ist, also der Bereich der Sicherheit objektiv verlassen worden ist. Tatsächlich können nämlich fahrerische Fehlhandlungen innerhalb des Wirkungsgefüges des Fahrer-Fahrzeugs prinzipiell nur an zwei Stellen beobachtet werden

1. Unmittelbar durch Beobachtung der menschlichen Handlung selbst; dies ist z.B. durch Beobachtung des Blickverhaltens und der Betätigung der Bedienelemente möglich. Um hier im obigen Sinne allerdings Fehler zu entdecken, wäre die Kenntnis des „richtigen“ Schauens bzw. des „richtigen“ Bedienelementeingriffs für jede denkbare Situation notwendig. Mit Ausnahme von artifiziellen Versuchssituationen (z.B. unter anderem auch Simulatorexperimenten) scheidet dieser Beobachtungsort in praktischen Fällen aus.
2. Mittelbar am Ergebnis; in diesem Fall wird die Abweichung des Fahrerergebnisses von der geforderten Qualitätstoleranz als Fehler bezeichnet. Auch diese Beobachtungsart bringt in der praktischen Fehlerbeurteilung Schwierigkeiten mit sich, die vor allem darin liegen, die richtigen Sollwerte für jede Situation festzulegen. Die Übertretung einer rechtlichen Vorschrift und in

extremen Fällen der Unfall stellt eine ganz eindeutige Überschreitung der Akzeptanzgrenzen dar. Unfallforschung ist somit eine wesentliche Ressource für die menschliche Fehlerforschung und damit auch für die menschengerechte Gestaltung des technischen Systems. Zusätzlich gewinnt heute in der wissenschaftlichen Forschung die Beobachtung von "Beinahe-Unfällen" zunehmende Bedeutung.

## 2 FEHLER, KONFLIKT UND UNFALL

Ein Fehler muss sich - wie dargestellt - nicht notwendigerweise gefährlich auswirken. Er wird entweder rechtzeitig korrigiert oder er bleibt folgenlos. Folgenlos bleibt er, wenn kein Konfliktobjekt vorhanden ist (z.B.: Überfahren einer roten Ampel, wenn kein Querverkehr vorhanden ist). Erst wenn als Folge des Fehlers (oder mehrerer Fehler) ein Schadensereignis droht und dieses nur durch eine Vermeidungsaktion des oder der Beteiligten vermieden werden kann, spricht man von einem Konflikt, bei Fahraufgaben speziell vom Verkehrskonflikt (Zimolong, 1982). Nur der unbewältigte Konflikt mündet in einen Unfall, das Schadensereignis, das im Sinne des Fehlerbaums als TOP-Event bezeichnet wird (siehe Bild 2). Diese grundsätzliche Betrachtung der Unfallentstehung wurde unter anderem von Durth und Bald (1987) vorgeschlagen. Von Reichart (2001) wurde diese Modellvorstellung der Entstehung eines Unfalles in einer Fehlerbaumdarstellung interpretiert.

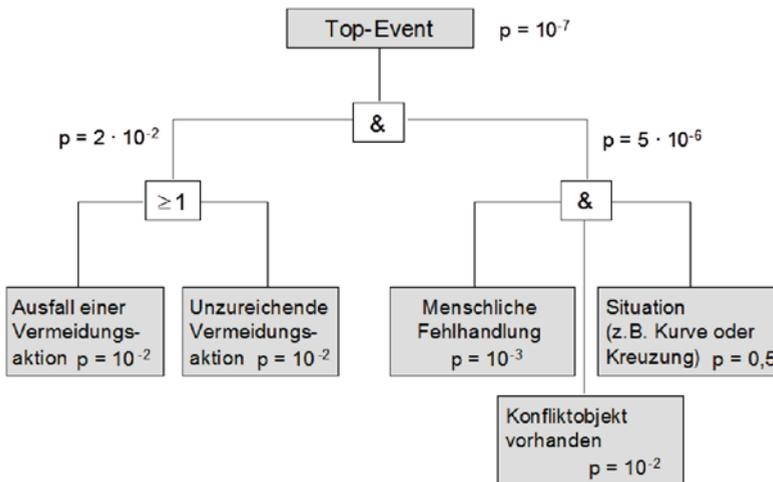


Bild 2: Generisches Fehlerbaummodell der Unfallentstehung im Straßenverkehr.

Auslösendes Ereignis für das Auftreten eines Verkehrskonfliktes sind entweder fehlerhafte Handlungen des Fahrzeugführers oder in seltenen Fällen Fehler technischer Systeme des Fahrzeuges. Erst bei Vorhandensein von stationären oder bewegten Konfliktobjekten (z.B. andere Verkehrsteilnehmer, Bäume, Straßenbegrenzungen) kommt es zum Verkehrskonflikt. Beim Alleinunfall liegt die einzige Möglichkeit einer Vermeidungsreaktion beim Konflikt auslösenden Fahrer.

Das Zusammentreffen des Fahrerfehlers mit dem Konfliktobjekt, und dem Ausfall oder dem Fehler der Vermeidungsaktion wird bei unabhängigen Ereignissen durch die Multiplikation der Wahrscheinlichkeiten der Einzelereignisse beschrieben; bei

abhängigen Ereignissen sind entsprechende bedingte Wahrscheinlichkeiten zu verwenden. Das Auftreten von Fehlern, Konflikten und Unfällen kann jeweils als stochastischer Prozess verstanden werden. In sehr seltenen Fällen (z.B. völlige Überforderung menschlicher Fähigkeiten) kann ein derartiges Ereignis auch deterministisch eintreten (sog. „sicheres Ereignis“ im Sinne von „wenn Situation X, dann Fehler Y“).

Will man Zuverlässigkeitsbewertungen von Fahraufgaben durchführen, muss man geeignete Zuverlässigkeits-Modelle der Fahraufgaben erstellen. Hierfür eignen sich primär die Fehlerbaummodelle. Bei der Fehlerbaummethode wird vom so genannten TOP-Ereignis des Fehlerbaumes in einer deduktiven Analyse die logische Kombination der Fehler modelliert, die zu diesem Ereignis führen. Als TOP-Ereignis wird ein für diese Fahraufgabe typischer Verkehrskonflikt (Unfalltyp) gewählt, z.B. Abkommen von der Fahrbahn“. Eine der Hauptschwierigkeiten in der Zuverlässigkeitsbewertung von Fahraufgaben liegt in der Ermittlung von Situationshäufigkeiten und in der Abschätzung von Fehlerwahrscheinlichkeiten. Situationshäufigkeiten können aus statistischen Daten von Straßenbauämtern gewonnen werden (z.B. Lippold & Mattheß, 1994). Die meisten heute bezüglich der menschlichen Zuverlässigkeit verfügbaren Daten wurden im Bereich kerntechnischer Anlagen gesammelt oder beruhen auf der Erfahrung und Abschätzung von Experten (für eine Übersicht siehe Swain & Gutmann, 1983).

Auf der Basis der heute vorliegenden Erkenntnisse können die in Tabelle 1 zusammengefassten Angaben gemacht werden.

Tabelle 1: Fehlerwahrscheinlichkeiten beim Autofahren abgeschätzt aus den Daten von Rasmussen (1982); Reason (1994); Swain & Gutmann (1983).

Art der Aufgabe	Beispiel	Wahrscheinlichkeit eines Fehlers
Hochgeübte Tätigkeiten	Zündschlüssel in Zündschloss einstecken (ohne Drogen/Alkoholisierung)	$p = 10^{-4} \dots 10^{-5}$
Geübte einfache Tätigkeiten	Verschalten	$p = 10^{-2} \dots 10^{-4}$
Regelbasierte Tätigkeiten	Geschwindigkeitsanpassung bei Nässe	$p = 10^{-1} \dots 10^{-3}$
Wissensbasierte Tätigkeiten	Normale Ausweichreaktion, Annahme von Zeitlücken	$p = 10^{-1} \dots 10^{-2}$
Tätigkeit unter hohem Stress	Ausweichreaktion bei kurz bevorstehendem Unfall	$p = 0,1 \dots 1$

Um das Unfallrisiko zu kalkulieren, ist noch die Wahrscheinlichkeit für das Ausbleiben oder den Nichterfolg von Vermeidungsaktionen des Fahrers oder eines potentiellen Konfliktpartners abzuschätzen, welche die Übergangswahrscheinlichkeit vom Verkehrskonflikt zum Unfall bestimmen. Diese sind sowohl nach dem oben zitierten Verfahren von Swain und Guttmann als auch mit Hilfe der Daten von Gstalter (1983) abschätzbar. Diese Übergangswahrscheinlichkeit liegt beim

Alleinunfall bei ca.  $10^{-2}$  und in sonstigen Fällen bei  $10^{-3}$  bis  $10^{-5}$ . Unterstellt man für den normalen Fahrbetrieb die durchschnittlich übliche Fehlerwahrscheinlichkeit des Menschen für einfache und häufig durchgeführte Aufgaben von  $10^{-3}$ , so lässt sich mit diesen Angaben gemäß dem Fehlerbaummodell des Bildes 2 eine Wahrscheinlichkeit für den Topevent, den Unfall von  $10^{-7}$  berechnen. Reichart (2001) konnte zeigen, dass sich so durchaus plausible Werte ergeben, die sich mit den Daten der amtlichen Unfallstatistik in brauchbarer Übereinstimmung befinden.

Doch was bedeuten solche Angaben aus Sicht des Einzelnen? Es ist logisch, dass derjenige keinen Straßenverkehrsunfall erfährt, der sich nicht in den Straßenverkehr begibt. Es geht also um die so genannte Prozessintensität, wenn man von den Fehlern zur eher anschaulichen mittleren Zeit zwischen Fehlern (Mean Time Between Failures, MTBF) gelangen will. Für die Prozessintensität kann man auf Untersuchungen von Pöppel (2000) zurückgreifen, der für hochgeübte Tätigkeiten eine interne Zykluszeit des Menschen von 3 Sekunden und für neuartige Tätigkeiten eine von 2 Sekunden gefunden hat. Das bedeutet, dass man für hochgeübte Tätigkeiten, wie sie das stressfreie normale Autofahren darstellt, damit rechnen muss, dass man alle 3 Sekunden die Chance für einen Fehler hat. Bei einer Wahrscheinlichkeit von  $10^{-3}$  wird die MTBF also ca. 50 min betragen. Wie Bild 2 nahelegt, wird aber nicht jeder kleine Fehler zu einem Unfall führen. Unterstellt man, dass im Durchschnitt 1 Stunde pro Tag gefahren wird, so ergibt sich mit der Berechnung des TOP-Event von Bild 2 zu  $10^{-7}$  eine mittlere Zeit zwischen Unfällen (ohne Aussage über die Schwere des Unfalls!) ein Wert von ca. 23 Jahren. Das ist durchaus eine Periode, der mit eigener Erfahrung in Übereinstimmung stehen kann!

### 3 URSACHEN MENSCHLICHER FEHLER

Wie aus dem generischen Fehlerbaummodell des Bildes 2 zu entnehmen ist, besteht ohne die Hilfe von Assistenzsystemen die einzige Möglichkeit, die Unfallwahrscheinlichkeit zu minimieren, darin, die Wahrscheinlichkeit von menschlichen Handlungsfehlern zu reduzieren. Es geht also darum, die Ursache menschlicher Fehler zu verstehen. Dazu sind viele Modelle entwickelt worden, die aller gewissen Ähnlichkeiten zueinander besitzen und die sich zum Teil gegenseitig ergänzen. Gründl (2005) liefert dazu eine sehr anschauliche Übersicht. Die wesentliche Grundlage dafür stellt das Modell von Wickens (1992) dar. Dieses enthält die Verarbeitungsstufen Signaldetektion (oft *Informationsaufnahme* benannt), Wahrnehmung und Entscheidung für eine bestimmte Handlung (diese beiden Funktionen werden im Allgemeinen zu dem Begriff *Informationsverarbeitung* zusammengefasst, da bei hochgeübten Tätigkeiten auch Handlungen ohne Entscheidung durchgeführt werden können; z.B.: inneres Bilden eines Kurses, der auf einer kurvigen Straße nachgefahren werden soll) sowie Reaktionsausführung (auch *Informationsumsetzung* genannt). Während dieses Modell jedes, d.h. auch erfolgreiche Handeln erklären kann, adressiert das Modell von Rasmussen (1982) speziell interne Fehler. Bereits Norman (1986; 1991) hat darauf hingewiesen, dass zwischen unbeabsichtigten Handlungsfehlern in der Informationsumsetzung (so genannte „slips“) und den eigentlichen „mistakes“ zu unterscheiden ist, die in der Informationsverarbeitung geschehen. Dieser Fehlermodellkomplex wird durch die Überlegungen von Hacker (1987) ergänzt, der zwischen den Hauptzweigen „objektives Fehlen von Information“, wie es durch Verdeckung, schlechte Sicht und

ähnlichem zustande kommen kann, und „Nutzungsmängel von objektiv vorhandener Information“ trennt, wobei dieses dann gemäß der Rasmussen'schen Kategorisierung beschrieben werden kann. Letzteres kann noch ergänzt werden durch die für den Bereich des Straßenverkehrs wichtige bereits oben erwähnte Unterscheidung von Reason (1994) zwischen absichtsvollen Verstößen und unabsichtlichen Fehlern. Bild 3 gibt einen Überblick über diese verschiedenen Fehlerursachenmodelle.

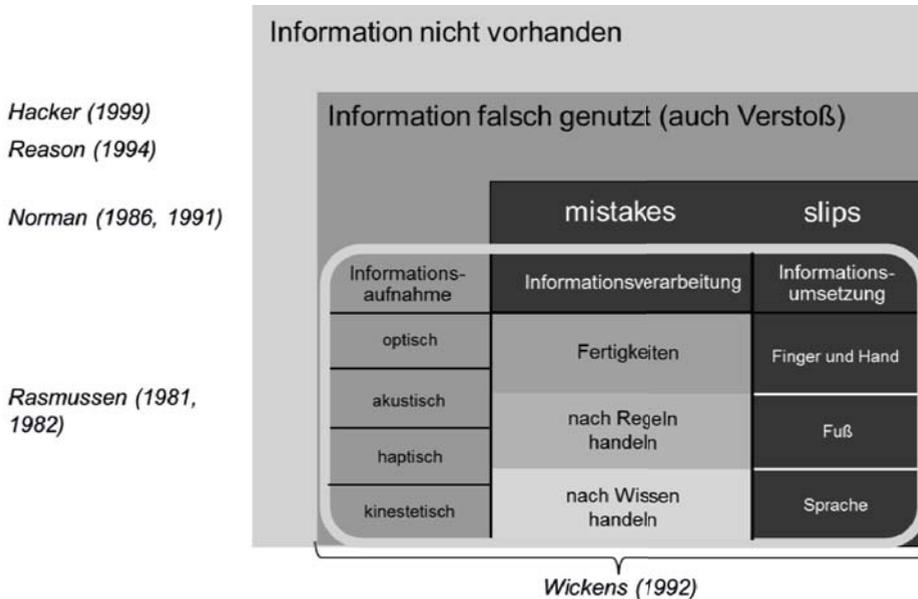


Bild 3: Ursachenorientierte Klassifizierung menschlicher Fehler

Gründl (2005) nutzt das Rasmussen Modell bei seiner In-Depth-Unfallanalyse<sup>2</sup>, um die Häufigkeit von Fehlerursachen zu spezifizieren (siehe Bild 4). Im Einzelnen sind auf der Grundlage der zuvor genannten Fehlermodelle folgende Kategorien zu nennen:

**strukturelle Fehler:** zum Zeitpunkt des Eintritts des Handlungsfehler besteht keine unmittelbare Handlungsmöglichkeit mehr. Allerdings liegt der Fehler hier immer im Vorfeld der Handlung, z.B.: Nicht-anpassen der Geschwindigkeit bzw. zu geringer Sicherheitsabstand.

**Informationsfehler:** verkehrsrelevante Information wird nicht oder zu spät wahrgenommen.

**Diagnosefehler:** falsche Einschätzung z.B. von Zeitlücken, falsche Interpretation der Handlungsabsicht anderer u. ä.

<sup>2</sup> Bei dieser Form der Analyse informierte die Polizei, die zu einem Unfall gerufen wurde, ein Team von Wissenschaftlern, bestehend aus Technikern, Psychologen und Medizinern, die ihre Untersuchungen unabhängig von der Polizei machten. Den Verunfallten, die sich für ein Interview bereit erklärten, war zuvor zugesichert worden, dass die Aussagen vertraulich sind und den öffentlichen Unfallaufnahmeorganen oder den späteren Verhandlungspartnern vor Gericht nicht vermittelt werden. So konnten Äußerungen aufgezeichnet und Beobachtungen gemacht werden, die näher an dem wirklichen Geschehen sind als die offiziellen Polizeierfassungen.

*Zielsetzungsfehler:* z.B. Ausweichen vor einem Tier.

*Methodenfehler:* falsche Wahl der Handlung bei gegebenen Handlungsalternativen (dieser Fall kommt normalerweise im Straßenverkehr nicht vor).

*Handlungsfehler:* zum Beispiel Verreißen des Lenkrads.

*Bedienungsfehler:* zum Beispiel Abrutschen vom Bremspedal.

Die zuletzt genannten Handlungs- und Bedienungsfehler werden von Norman zu dem Begriff „slips“ zusammengefasst (s.o.).

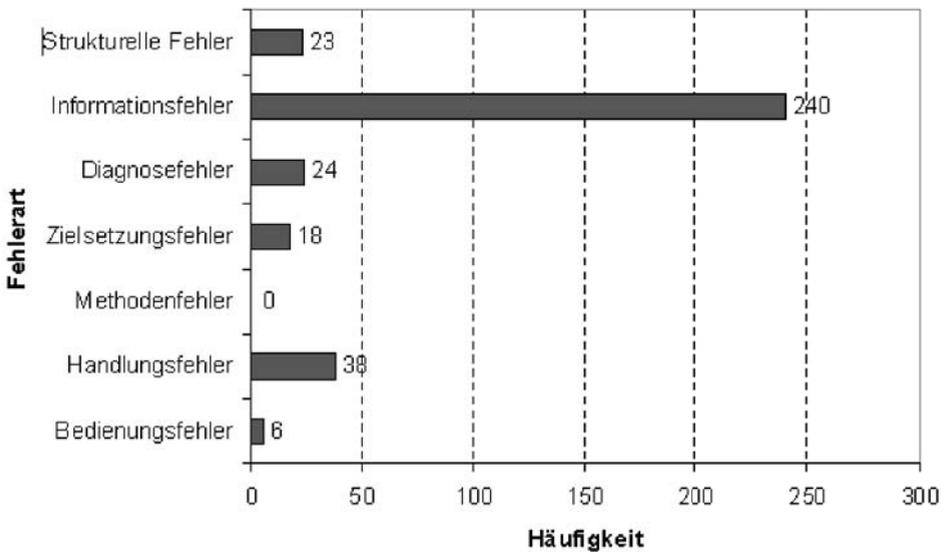


Bild 4: Häufigkeit von internalen Unfallursachen bei insgesamt 312 analysierten Unfällen (Gründl, 2005).

Wie aus Bild 4 zu entnehmen ist, stellen Informationsfehler die mit Abstand häufigste Unfallursache dar. Der Informationsfehler kann auf unterschiedliche Weise zu Stande kommen. Die Hauptursache dafür ist die Tatsache, dass das menschliche Auge nur einen kleinen Winkelbereich von 2° - 3° auf der so genannten zentralen Sehgrube wirklich scharf abbildet. Nur Objekte, die in diesem Bereich abgebildet werden, können kognitiv erfasst und gedächtnismäßigen Inhalten zugeordnet werden. Die Wahrnehmung in der Peripherie dient eher dem Erfassen von Bewegung, der Geschwindigkeit und auch der Bewegungsrichtung. Um sich quasi ein inneres Bild der Außenwelt zu verschaffen, ist das Auge gezwungen, durch ständige Bewegung - so genannte Sakkaden - die Umgebung abzutasten. Was dabei zufällig nicht erfasst wurde, ist in dem inneren Bild der Außenwelt auch nicht vorhanden. Deshalb sind Abwendungen, wie sie durch die Betätigung von fahrzeuginternen Bedienvorgängen entstehen (z.B. Radio, CD-Player, Klimaanlage, Suchen von Orten auf der auf dem Beifahrersitz liegenden Karte, Eingabe von Zielen in das Navigationssystem, Betätigung des Handys usw.), auch die Hauptquelle für Informationsfehler. Aber auch Verdeckungen durch Objekte in der Außenwelt (z.B.: falsch geparkte Fahrzeuge an Einmündungen, Büsche, Bäume,

Plakattafeln u.ä.) können die Ursache für den Fehler „Information (temporär) nicht vorhanden“ bilden.

Im Rahmen dieser Abhandlung soll auf einen Informationsfehler, der durch die Fahrzeuggestaltung zustande kommt und der erstaunlich wenig Beachtung findet, aufmerksam gemacht werden, nämlich die Verdeckung durch die A-Säule. Bereits Scholly (2006) konnte durch seine Untersuchungen mit dem so genannten Glaskuppelauto finden, dass sich häufig an Einmündungen und auf kurvenreichen Straßen der Sichtschatten mit den dort notwendigen Hauptblickrichtungen deckt (siehe Bild 5). Bild 6 zeigt den Verdeckungseffekt für den Fahrer durch die A-Säule in einem modernen PKW.

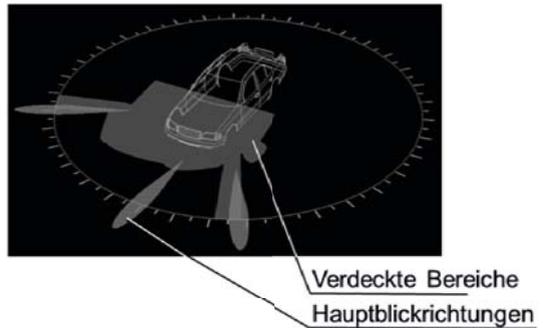


Bild 5: Scholly's „Glaskuppelauto“ (links), sowie durch die A-Säule verdeckte Bereiche und Hauptblickrichtungen.



Bild 6: Blick aus der Fahrerposition in einem modernen Pkwin eine Einmündung.

Zaindl (2009) führte Simulatorexperimente durch, bei denen durch die kontinuierliche Verfolgung der Augenposition des Fahrers die querenden Fahrzeuge so gesteuert wurden, dass sie sich im Sichtschatten der linken bzw. rechten A-Säule befanden. Diese Fahrzeuge blieben unentdeckt, selbst dann, wenn sie sich leicht versetzt zum Sichtschatten der A-Säule befanden, sich aber gegenüber diesem nicht bewegten. Dieses in der Schiffs- und Flugzeugtechnik als „stehende Peilung“ bekannte Phänomen kann Ursache für viele Kreuzungsunfälle sein, wenn man

bedenkt, dass das innere Bild des Fahrers von der Außenwelt nur durch einen kurzen Blick entsteht, der womöglich gerade in dem jeweiligen Augenblick nicht das querende Fahrzeug erfasst hat.

Remlinger (2013) hat die Sichtbehinderung durch die A-Säule auf der Grundlage des Vorausschauwinkels, der sich mit der im Allgemeinen vorkommenden Vorausschauzeit von 2 s bestimmen lässt, in Abhängigkeit von Querbeschleunigung und Geschwindigkeit berechnet und hierfür sehr umfassende und zugleich anschauliche Diagramme entwickelt, die für die sicherheitsgerechte Gestaltung von Fahrkabinen von großem Wert sind (z.B. Bild 7). Es zeigen sich dabei einige schwerwiegende grundsätzliche Probleme:

- die Verdeckungswahrscheinlichkeit nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit zu,
- sie ist für größere weiter hinten sitzende Personen problematischer, obwohl für kleine Personen der prozentuale Verdeckungsbereich größer ist d.h. kleinere Fahrer haben mit größeren Verdeckungsbereichen zu kämpfen, während größere häufiger mit den dynamischen Verdeckungseffekten konfrontiert werden.
- Sportliche Fahrweise mit höheren Querbeschleunigungen vergrößert die Verdeckungsgefahr.

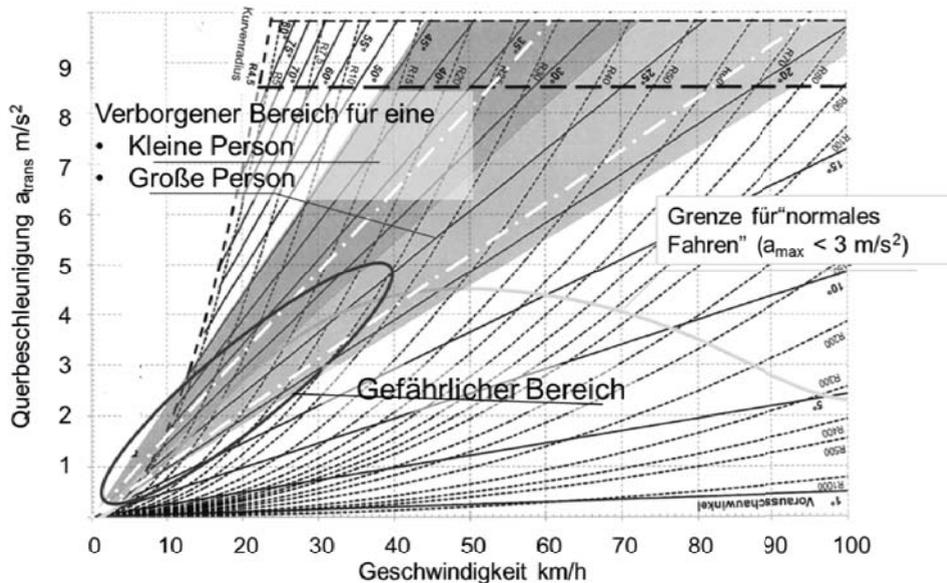


Bild 7: Voraussichtwinkel von 2s in einer Linkskurve als Funktion von Kurvenradius, Geschwindigkeit  $v$  und Querbeschleunigung  $a_{trans}$ .



Mercedes CLS (2010)



Opel Rekord (1959)

Bild 8: Modernes Design der Frontscheibe und altmodische Panoramascheibe.

Als Konsequenz aus diesen Überlegungen stellte Remlinger (2013) die Frage, ob die heute aus modischen und aerodynamischen Gründen immer flacher werdenden und im Fahrzeug weiter vorne wurzelnden A-Säulen aus sicherheitstechnischen Gründen tragbar sind und ob nicht unter den heutigen Möglichkeiten der Glastechnik eine Rückbesinnung zu der alten Panoramascheibe überlegenswert wäre (siehe Bild 8).

#### 4 SICHERHEIT UND ASSISTENZSYSTEME

Es ist allgemeiner Konsens, dass man heute weder durch fahrzeugseitige Verbesserungen noch durch auf den Fahrer wirkende Erziehungsmaßnahmen eine signifikante Reduzierung der Unfallzahlen erreichen kann. Die Hoffnung für die Verbesserung der aktiven Sicherheit liegt ganz bei den Assistenzsystemen. Um dafür aber die richtige Auswahl zu treffen, ist die Berücksichtigung der Unfallstatistiken notwendig, da Assistenzsysteme, die bei den häufigsten Unfallarten ihre Wirkung zeigen, auch insgesamt den größten Benefit versprechen. Gründl (2005) hat in der bereits erwähnten Studie mittels des In-Depth-Ansatzes 312 Unfälle analysiert und mit intensiven Interviews von 528 Fahrern Unfallursachen erforscht (siehe Bild 9). In Übereinstimmung mit anderen Unfallstatistiken hat er herausgefunden, dass die häufigsten Unfälle (29,5%) im Längsverkehr geschehen, wenn ein schnelleres Fahrzeug auf ein langsamerer Fahrzeug trifft, wobei häufig zu geringer Sicherheitsabstand die ausschlaggebende Rolle spielt.

Ungefähr 22 % aller Unfälle sind so genannte Alleinunfälle, bei denen das Fahrzeug von der Straße abkommt. Unter solchen Bedingungen verrißt der erschrockene Fahrer dann das Lenkrad und erst dadurch bringt er das Fahrzeug in einen gefährlichen, nicht mehr zu beherrschenden Schleuderzustand. Diese Form des Unfalls ist besonders häufig bei jungen Fahrern zu beobachten.

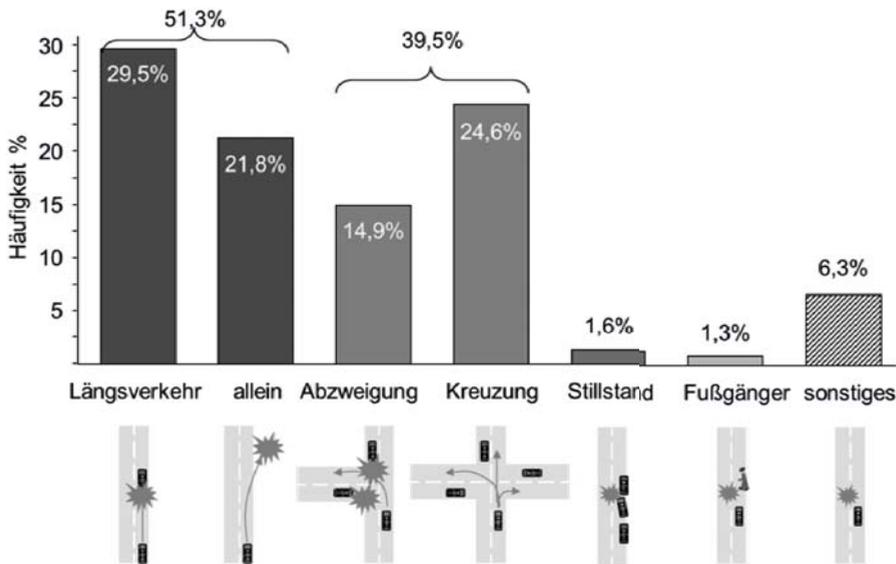


Bild 9: Verteilung der Unfälle gemäß den Untersuchungen von Gründl (2005).

Eine weitere bedeutende Gruppe von Unfällen sind die Kreuzungsunfälle. Der häufigste unter diesen ist der Unfalltyp, bei dem der Fahrer vorhat, nach links abzubiegen, aber ein entgegenkommendes Fahrzeug übersieht oder dessen Geschwindigkeit falsch einschätzt (im Bild 9 als „Abzweigung“ gekennzeichnet). Die anderen Kreuzungsunfälle sind sehr verschiedenartig und werden in dem Bild 9 unter dem Begriff „Kreuzung“ zusammengefasst (eine eingehende Untersuchung dieser Art von Unfällen wurde von Plavšić, 2010 vorgelegt). Unfälle mit stillstehenden Objekten sind relativ selten. Das gilt in gleicher Weise auch für Fußgängerunfälle. Der Rest sind verschiedenartige andere Unfälle. Aus dieser Unfallanalyse und auch von anderen ähnlichen Analysen kann entnommen werden, dass der größte Anteil an Unfällen in Längs- und Querrichtung geschieht (51 %). In Abhängigkeit von den zu Grunde liegenden Statistiken liegen an zweiter Stelle oder oftmals auch an erster Stelle die Kreuzungsunfälle (hier ca. 40 %). Mit Assistenzsystemen sollten unter dem Aspekt der Effizienz also primär diese beiden Bereiche unterstützt werden.

Um den Sicherheitsgewinn zu quantifizieren, wurden von Langwieder (2005) sowie von Knoll & Langwieder (2006) neben anderen die Begriffe *Wirkpotezial* und *Wirkerwartung* ins Spiel gebracht. Das *Wirkpotezial* charakterisiert die Häufigkeit jener Unfallsituationen, für die ein spezielles Fahrerassistenzsystem einen positiven Effekt haben könnte in Bezug auf die betrachtete Gesamtheit der Fahrzeugunfälle. Es ist definiert durch:

$$\text{Wirkpotezial} = \frac{\text{Zahl der systemrelevanten Unfälle}}{\text{Alle Fahrzeugunfälle}}$$

Die *Wirkerwartung* gibt an, wie groß der Anteil an Fahrzeugunfällen mit Personenschaden ist, der durch das System bei 100% Marktdurchdringung vermeidbar wäre. Sie ist definiert durch:

$$\text{Wirkerwartung} = \frac{\text{Zahl der durch das System vermeidbaren Unfälle mit Pers.-schaden}}{\text{Alle Unfälle mit Personenschaden}}$$

Bild 10 gibt auf der Grundlage dieser Formeln eine Abschätzung der einzelnen Assistenzsysteme wieder, die von Maier (2013) zusammengestellt worden ist. Neben der elektronischen Stabilisierungsregelung (ESC), deren Wirksamkeit bereits statistisch abgesichert ist und die daher sowohl in den USA als auch in der EU zukünftig bindend für Neufahrzeuge vorgeschrieben ist, wird in Übereinstimmung mit anderen Autoren dem automatischen Notbremsassistenten das höchste Wirkpotenzial zugeschrieben. Man erkennt aber auch, dass das Wirkpotenzial durchwegs höher ist als die Wirkerwartung. Das wird besonders deutlich bei dem Spurhalteassistenten, in dessen Wirkpotenzial noch viele weitere Faktoren (u. a. Alkoholisierung, Geschwindigkeitswahl. u.ä.) eingehen und das deshalb je nach Autor einen weiten Streubereich ausweist. Insgesamt ist jedoch anzumerken, dass die Wirkerwartung mit der relativen Nutzungshäufigkeit multipliziert werden müsste, um – selbst bei vollkommener Marktdurchdringung - eine realistischen Einschätzung der Veränderung des Unfallgeschehens zu erhalten.

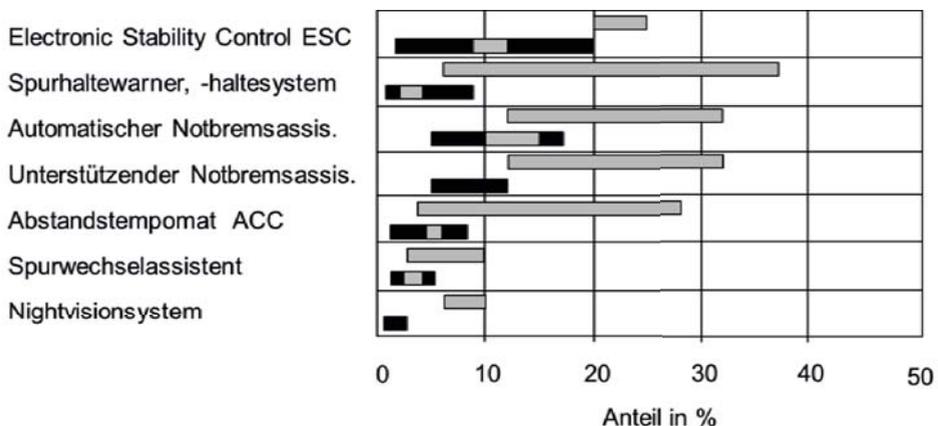


Bild 10: Zusammenstellung der von verschiedenen Autoren geschilderten Bereiche von Wirkpotenzial (grau) und Wirkerwartung verschiedener Assistenzsysteme (schwarz; der helle Bereich gibt jeweils den Medianwert an); nach Maier (2013).

Tatsächlich ist die Nutzungshäufigkeit der „Pferdefuß“ alle Assistenzsysteme. Abschätzungen zeigen, dass derartige Systeme nur zu maximal 25 % der Fahrzeit eingeschaltet werden (u. a. Sacher, 2009; Pereira al., 2013). Nachdem sich viele Systeme (insbesondere ACC) nach einem Eingriff des Fahrers selbstständig abschalten und danach erneut bewusst aktiviert werden müssen, bleiben sie nach einem solchen Vorfall oft lange Zeit nicht eingeschaltet. Ein weiterer Grund für die geringen Einschaltquoten ist die relativ hohe Zahl von „false alarms“, die sich aus den technisch anspruchsvollen Detektialgorithmen erklären, durch die aus dem „Rauschen der Signale“ die jeweils korrekte Reaktion abgeleitet werden soll.

Um dieser Problematik auf den Grund zu gehen, ist es notwendig, die Wirksamkeit eines Assistenzsystems unter dem Aspekt der Fehlerwahrscheinlichkeit theoretisch zu berechnen. Prinzipiell ist in jedem Fall im Sinne des von Fahrer und Fahr-

zeug gebildeten Regelkreises ein Assistenzsystem dem Fahrer parallel geschaltet, d.h. Fahrer und Assistenzsystem sind redundant. Die Frage ist allerdings, wie die vom Fahrer und dem Assistenzsystem gebildete Information zusammengeführt wird, so dass sie sich auf das Fahrzeug und damit auf das Fahrerergebnis auswirkt. Bild 11 zeigt die beiden möglichen Alternativen: entweder kann die Auswahl durch einen Schalter erfolgen, wie es heute bei den meisten Assistenzsystemen der Fall ist, oder die Information von Fahrer und Assistenzsystem wird gleichberechtigt über einen Summenpunkt zusammengeführt. In Bild 11 sind für die Zuverlässigkeit der einzelnen Systeme Annahmen gemacht: wie üblich wird die Fehlerwahrscheinlichkeit des Fahrers für die hochgeübte Tätigkeit des Fahrens selbst mit  $E_M = E_{M1} = 10^{-3}$  angenommen. Für das Fahrzeug wird eine Fehlerwahrscheinlichkeit von  $E_F = 10^{-5}$  angenommen, wie es bereits weiter oben geschehen ist. Für das Assistenzsystem wird relativ optimistisch eine Fehlerwahrscheinlichkeit von  $10^{-4}$  angenommen. Diese Annahme bezieht sich nicht auf die technische Funktion des Systems selbst. Diese dürfte wie die des Fahrzeugs bei  $10^{-5}$  liegen. Vielmehr soll damit berücksichtigt werden, dass es für jedes Assistenzsystem Situationskonstellationen gibt, die es nicht bewältigen kann. Im Fall des durch den Schalter aktivierten Systems sind nun zwei Fehlerzweige zu berechnen: liegt der Schalter auf dem Fahrer, ist das Assistenzsystem also ausgeschaltet, so errechnet sich die Fehlerwahrscheinlichkeit  $E_1$  des ersten Zweiges aus:

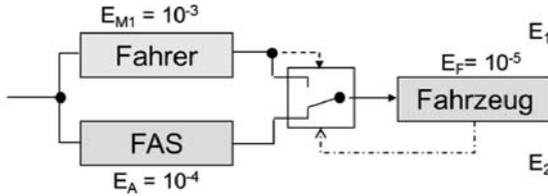
$$\begin{aligned} E_1 &= 1 - (1 - E_{M1})(1 - E_F) \\ &= 1 - (1 - 10^{-3})(1 - 10^{-5}) \\ &= 1 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Für das aktivierte Assistenzsystem errechnet sich die Fehlerwahrscheinlichkeit  $E_2$  mit den hier gemachten Annahmen zu:

$$\begin{aligned} E_2 &= 1 - (1 - E_A)(1 - E_F) \\ &= 1 - (1 - 10^{-4})(1 - 10^{-5}) \\ &= 1 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Wenn der Schalter wie in Bild 11 gezeigt, durch den Fahrer betätigt wird, wird wegen dessen unsicherer Betätigungswahrscheinlichkeit von ca. 0,25 die an sich mögliche Verbesserung der Fehlerwahrscheinlichkeit durch das Assistenzsystem praktisch auf das Niveau des Fahrers zurückgefahren. Aus diesem Grund wird von manchen Autoren der Nutzen von Assistenzsystemen bezweifelt (z.B. Gründl, 2005).

Parallel geschaltetes FAS, aktiviert durch einen Schalter



Permanent aktiviertes FAS (Summenpunkt).

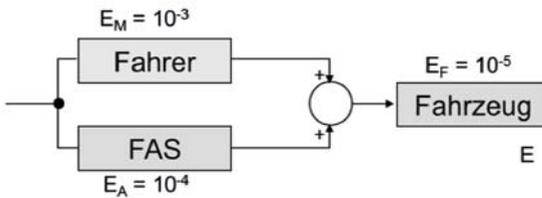


Bild 11: Mögliche Verschaltungen von Fahrer, Assistenzsystem und Fahrzeug.

In manchen Fällen (zum Beispiel ABS) wird der Schalter aber auch aufgrund von technisch (meist am Fahrzeug selbst) gemessenen Bedingungen betätigt. Das ist bei allen Assistenzsystemen der Fall, die auf dem Stabilisierungsniveau wirken (siehe Tabelle 2). Das ist gerade unter den zeitlich engen Bedingungen des Stabilisierungsniveaus (im 100ms-Bereich) sinnvoll, da unter solchen Umständen ein Übersteuern durch den Fahrer aufgrund dessen Reaktionsvermögen gar nicht möglich ist. Dann ist für diese kurze Zeit das hohe technische Niveau wirksam, das dann sogar besser als die hier angenommenen  $10^{-4}$  sein kann.

Anders sieht die Berechnung für den Fall des Zusammenführens der redundanten Informationen über einen Summenpunkt aus. In diesem Fall kommt die Redundanz voll zum Tragen (UND-Verknüpfung:  $E_A \cdot E_M$ ). Die Berechnung ergibt:

$$\begin{aligned}
 E &= 1 - (1 - E_A \cdot E_M)(1 - E_F) \\
 &= 1 - (1 - 10^{-7})(1 - 10^{-5}) \\
 &= 10^{-5}
 \end{aligned}$$

Durch die parallele Verschaltung von Fahrer und Assistenzsystem kompensieren sich die jeweiligen Fehlermöglichkeiten gegenseitig und die Fehlerwahrscheinlichkeit reduziert sich sogar auf die des technischen Systems „Fahrzeug“.

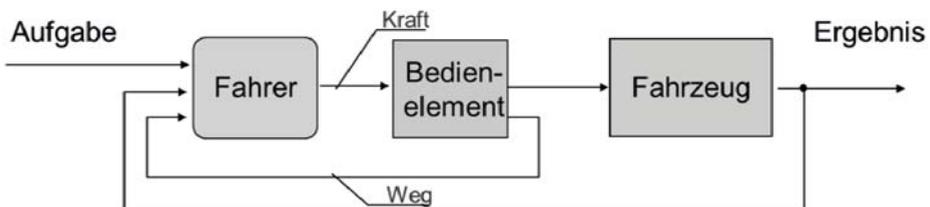


Bild 12: Informationsfluss bei einem konventionellen Bedienelement.

Wie kann nun der Effekt des Summenpunktes in der praktischen Anwendung realisiert werden? Bild 12 zeigt den Informationsfluss eines konventionellen Bedienelements. Vom Fahrer wird die visuell erfasste Aufgabe in eine entsprechende Kraft umgesetzt, mit der er auf das Bedienelement (Lenkrad, Gaspedal, Bremspedal) einwirkt. Aufgrund der technischen Eigenschaften des Bedienelements wird dadurch eine bestimmte Position erreicht, die der Fahrer ebenso wie die aufgewendete Kraft als Rückmeldung wahrnimmt. Die Stellung des Bedienelements selbst wird als Eingangsgröße für das technische System „Fahrzeug“ genutzt, welche selbst wieder das Ergebnis produziert. Die Rückmeldung über das Ergebnis erfolgt nur über den optischen (bzw. mit Einschränkung über den akustischen und kinästhetischen<sup>3</sup>) Weg.

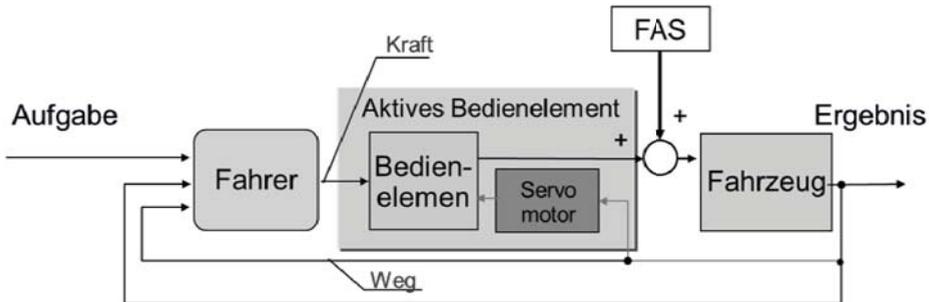


Bild13: Informationsfluss bei einem aktiven Bedienelement.

Beim aktiven Bedienelement (siehe Bild 13) erfolgt ebenso wie beim konventionellen Bedienelement die Kraffteinwirkung aus der Verarbeitung der Aufgabe. Diese Kraft wird genutzt, um das Fahrzeug zu beeinflussen, welches selbst wieder das Ergebnis bewerkstelligt. Dieses Ergebnis wird aber nun an das Bedienelement zurückgemeldet und über einen Servomotor wird dieses in eine dem Ergebnis entsprechende Stellung gebracht. Damit erhält der Fahrer nicht nur über den üblichen optischen Weg Rückmeldung über das Ergebnis, sondern spürt dieses auch am Bedienelement. U. a. Eckstein (2001) konnte zeigen, dass man mit einem derartigen Bedienelement ein Fahrzeug recht intuitiv steuern kann (vor allem Fahranfänger haben hier Vorteile). Der Vorteil des aktiven Bedienelements ist aber nun, dass man zwischen Bedienelement und Fahrzeug die Information aus dem Fahrerassistenzsystem im Sinne eines Summenpunktes einspeisen kann. Dadurch, dass dessen Wirkung auf das Fahrzeug über den Servomotor auch haptisch spürbar wird, erhält der Fahrer unmittelbar die Information vom „Willen“ des Fahrerassistenzsystems, gegen den er aber über den Summenpunkt jederzeit „ankämpfen“ kann. Damit wird die Version des permanent aktivierten Fahrerassistenzsystems, wie sie in Bild 11 dargestellt wurde, realisiert.

In Tabelle 2 findet sich eine Zusammenstellung der heute verfügbaren Assistenzsysteme. Es wird dabei untersucht, auf welchem Niveau der Fahraufgabe diese Systeme wirksam sind, ob sie nur warnenden bzw. hinweisenden Charakter haben, ob sie sich über einen Schalter automatisch einschalten bzw. unter bestimmten Bedingungen automatisch ausschalten oder ob sie von Hand ein- bzw. ausgeschaltet werden. Es fallen dabei drei Systeme auf, die überhaupt keinen direkten

<sup>3</sup> die akustische und kinästhetische Rückmeldung ist wichtig, um ein gutes „Gefühl“ für die Bewegung des Fahrzeugs zu erhalten. Da es dafür keine aus der Situation ableitbare Führungsgröße gibt, liefern sie allerdings keinen unmittelbaren Beitrag für die Steuerung des Fahrzeugs. Sie leisten aber einen essenziellen Beitrag zur so genannten „situation awareness“.

Einfluss auf das Fahrzeug haben: das Navigationssystem liefert Hinweise für den Fahrer auf dem Navigationsniveau. Seine positive Wirkung für die Sicherheit ist unzweifelhaft, wenn man von der Abwendung absieht, die entsteht, wenn Navigationseingaben während der Fahrt gemacht werden. Das Night-Vision-System kann Hinweise auf dem Führungsniveau liefern. Allerdings ist die Wirksamkeit dieses Systems für die Sicherheit sehr fraglich, da in einer kritischen Situation die dort verfügbare Information durch einen von der Straße abwendenden Blick aufgenommen werden müsste (siehe Bergmeier, 2009). Der Müdigkeitswarner wirkt zwar über den Fahrer auf allen Fahraufgabenniveaus, hat aber nur sicherheitstechnische Wirksamkeit, wenn sein Hinweis befolgt wird und die Fahrt für eine Ruhepause unterbrochen wird (bei Lkw-Fahrern ist dies zudem mit der womöglich erfolglosen Suche nach geeigneten Parkplätzen verbunden). Da er aus Sicht des Fahrers häufig „false alarm“ gibt und da der Zeitdruck im Geschäftsleben übermächtig ist, ist zu befürchten, dass seine Hinweise oft missachtet werden und dass er sogar häufig ganz ausgeschaltet wird.

Das Antiblockiersystem (ABS) und das Electronic Stability Control (ESC) wirken ausschließlich auf der Stabilisierungsebene. Beide schalten sich automatisch ein, wenn die entsprechenden Bedingungen (Blockieren eines Rades bzw. nicht tolerierbares Abweichen der gemessen von der aufgrund von Lenkradstellung und Geschwindigkeit berechneten Giergeschwindigkeit) gegeben sind. In beiden Fällen hat der Fahrer keine weitere Eingriffsmöglichkeit, solange die Assistenzfunktion wirksam ist. Das geringe technische Fehlerniveau rechtfertigt gerade unter dem engen zeitlichen Fenster der Stabilisierungsaufgabe (100 ms bis 300 ms) diese Maßnahme. Das hohe Wirkpotenzial und die hohe Wirkerwartung erklären sich u.a. auch daher. Unter dem Aspekt der Sicherheit ist es deshalb fragwürdig, dass bei den meisten Fahrzeugen das ESC (bei manchen Fahrzeugen auch ABS) deaktiviert werden kann. Auch der unterstützende Notbremsassistent ist ausschließlich auf dem Stabilisierungsniveau wirksam. Bei einer schnellen Bremsbetätigung durch den Fahrer (der Fahrer erkennt also auf dem Führungsniveau die Gefahr) erhöht er automatisch überproportional den Bremsdruck, allerdings nicht geregelt von sonstigen äußeren Einflüssen. Eine gewisse Eingriffsmöglichkeit seitens des Fahrers ist hier insofern realisiert, als bei einem Nachlassen der Kraft auf dem Bremspedal das System automatisch den Bremsdruck wieder auf das vom Fahrer vorgegebene Niveau reduziert.

Tabelle 2: Analyse der heute verfügbaren Assistenzsysteme unter dem Aspekt des Niveaus ihrer Wirksamkeit und der Wirkungsweise.

Assistenzsysteme		Wirksam auf Niveau von			Wirkungsweise			Summen-pkt.
		Navi-gation	Füh-rung	Stabi-lisier-ung	Warn./Hin-weis	Schalter		
						automat-an/aus	Hand-an/aus	
Q&L	Navigationssystem	X					X	
Querf.	Spurhaltesystem		X	X			X	X
	Spurhaltewarner		X		X		X	
	Spurwechselassistent		X		X		X	
Längsf.	Abstandstempomat ACC		X	X		X	X	
	Automatischer Notbremsassis.		X	X			X	
	Unterstützender Notbremsassis.			X	X			
Q&L	Nightvisionsystem		X		X		X	
Q	Electronic Stability Control ESC			X		X	X	(X)
L	Antiblockiersystem ABS			X		X	X	
	Müdigkeitswarner	X	X	X	X		X	

Die meisten Assistenzsysteme arbeiten auf dem Führungsniveau. Der erwartete hohe Sicherheitsgewinn wird ja auch dadurch gerechtfertigt, dass ungünstige Bedingungen, die durch den Fahrer auf dem Führungsniveau geschaffen worden sind (z.B. zu hohe Geschwindigkeit, zu geringer Abstand) dann auf dem Stabilisierungsniveau nicht mehr kompensiert werden können (struktureller Fehler). Allerdings greifen nicht alle Assistenzsysteme auf die Stabilisierungsebene durch, was bedeutet, dass der Fahrer innerhalb eines oft sehr engen Zeitkorsetts selbst eingreifen muss. Auch dies ist aus sicherheitstechnischen Gründen fragwürdig.

Das einzige auf dem Führungsniveau ansetzende System, das gemäß Tabelle 2 den Summenpunkt realisiert, ist das Spurhaltesystem. Bei ihm wird auf das Lenkrad eine Rückmeldung (Vibration bzw. sogar korrigierendes Rückstellmoment) gegeben, wenn sich der Fahrer zu stark dem von dem System definierten Fahrspurrand nähert. Der Fahrer kann aber diesen Hinweis jederzeit „überdrücken“.

Ansonsten fällt bei der Betrachtung der Zusammenstellung der Tabelle 2 auf, dass alle Assistenzsysteme von Hand eingeschaltet werden müssen, was zur Folge hat, dass die bereits erwähnte geringe Einschaltquote wirksam wird. Insgesamt weist die unsystematische Verteilung der Kreuze in Tabelle 2 auf die aus ergonomischer Sicht unabgestimmte Bedienung- und Wirkphilosophie der Assistenzsysteme hin, was bei dem technisch nicht vorgebildeten Fahrer mit Sicherheit zu Verwirrung führt. Es ist also die Frage zu stellen, wie durch eine verbesserte Ergonomie der Assistenzsysteme erreicht werden kann, dass die Akzeptanz beim Fahrer erhöht und somit die Sicherheit verbessert wird.

## 5 ERGONOMISCHE GESTALTUNG VON ASSISTENZSYSTEMEN

Gemäß Tabelle 2 würde aus sicherheitstechnischer Sicht die ideale Auslegung eines Assistenzsystems folgendermaßen aussehen:

- Wirksamkeit auf dem Führungsniveau,
- Durchgriff auf das Stabilisierungsniveau (automatischer Eingriff),
- automatisches Einschalten, ggf. auch automatisches Abschalten, was aber angezeigt werden muss,
- nicht von Hand abschaltbar,
- Realisierung des Summenpunktes in der Form, dass die Intention des Assistenzsystems am Gaspedal/Bremspedal bzw. Lenkrad spürbar ist, aber jederzeit zu überdrücken ist (das Assistenzsystem stellt also keine Automatik im eigentlichen Sinn dar!).

Der zuletzt genannte Punkt weist schon auf ein Dilemma hin: während das Lenkrad grundsätzlich einen haptisch spürbaren Kraft-/Momentenaufschlag zulässt, der sowohl in als auch gegen die Intention des Fahrers gerichtet sein kann, ist dies bei Gas- und Bremspedal nur eingeschränkt möglich. Der Hauptgrund besteht hierbei darin, dass bedingt durch die gegebene technische Entwicklung die Längsdynamik des Fahrzeugs nicht durch ein, sondern durch zwei Bedienelemente beeinflusst wird (abgesehen von noch weiteren Bedienelementen wie Kupplung und Schalthebel, die aber schon lange wegen gut funktionierenden Automatikgetrieben wegfallen können), die beide keine +/-Charakteristik aufweisen, wie das Lenkrad. Es nimmt also nicht wunder, dass in vielen wissenschaftlichen Untersuchungen zu einer innovativen Fahrzeugsteuerung auf ein zweidimensionales joystick-artiges Bedienelement ausgewichen wird, da sich hier Assistenzfunktionen weitaus widerspruchsfreier realisieren lassen (Bolte, 1991; Eckstein, 2001; Penka, 2001). Für die Längsdynamik bietet sich schon seit einiger Zeit das so genannte aktive Gaspedal (AGP) an, das eine von dem System beeinflussbare Rückstellkraft zu erzeugen vermag. So kann darüber dem Fahrer beispielsweise angezeigt werden, dass er zu schnell fährt oder dass der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu gering ist. Ist eine Korrektur nur durch Bremsen möglich, wird in diesem Fall das aktive Gaspedal vollkommen in die Nullposition gefahren; eine haptische Rückmeldung über den nun erfolgten Bremsvorgang ist aber nicht möglich.

Ein Nachteil vieler heutiger Assistenzsysteme ist deren gegenseitige Unabhängigkeit und oftmals auch die mangelnde Fähigkeit, den zukünftigen Verlauf der Straße korrekt zu berücksichtigen. Ein erster Ansatz, dieses Manko aufzuheben, wurde mit dem Projekt SANTOS (2002) unternommen. U.a. wurde dabei über das aktive Gaspedal eine Geschwindigkeitsempfehlung auf der Basis der so genannten V85<sup>4</sup> vorgenommen. Im Sinne des heute wegen des notwendigen sparsamen Energieverbrauchs von Verbrennungs- wie Elektromotorfahrzeugen wieder an Bedeutung gewinnenden „vorausschauenden Fahrens“ bekommt dieser Bezug auf die im Navigationssystem hinterlegte Information neue Impulse. Die Ergebnisse

<sup>4</sup> 85% der beobachteten Fahrer fahren langsamer als diese Geschwindigkeit; für die V85 gibt es aus dem Bereich des Straßenbaus Formeln, die erlauben sie aus dem Kurvenradius und dem sonstigen Streckenverlauf zu berechnen. Sie kann somit aus den Daten eines Navigationssystems bestimmt werden.

von SANTOS und viele weitere Versuche (u. a. Penka, 2001; Lange, 2008) zeigen aber auch, dass der aktive Zugriff auf das Fahrerverhalten maßvoll und mit Bedacht gewählt werden muss, um die Akzeptanz solcher Systeme nicht zu gefährden. Insbesondere ist eine gewisse Eigenanpassung durch den Fahrer vorzusehen. Bei der Querführung fördert ein breiter nicht assistierter Korridor gegenüber einer Engführung die Akzeptanz. Bei der Längsführung muss der Sicherheitsabstand (korrekt: die Sicherheitszeitlücke) in Grenzen vom Fahrer wählbar sein. Eine automatische Übernahme der maximal erlaubten Geschwindigkeit aus dem Navigationssystem bzw. aus dem Verkehrserkennungssystem hat sich insgesamt als stressfreier erwiesen und liefert auch die besseren objektiven Werte, wird aber zugleich subjektiv als „unsportliche“ beurteilt (Lange, 2008). Insbesondere Versuche zum „vorausschauenden Fahren“ zeigen, dass hier, um Kraftstoff/Energie einzusparen, oftmals sehr frühe Reaktionen vor dem eigentlichen Ereignis notwendig sind (bis zu 16 s). Maßnahmen dafür werden vom Fahrer nur dann akzeptiert, wenn eine Reaktion auf nicht unmittelbar einsichtige Objekte verlangt wird, deren Art aber dennoch angezeigt werden muss; sonst will er sich auf sein eigenes Urteil verlassen (Popiv, 2011). Es konnte dabei aber auch gezeigt werden, dass - durch das moderate Fahren bedingt - eindeutig die Unfallwahrscheinlichkeit reduziert wird.

Dieser aus allen Experimenten schimmernde Selbstbestimmungseffekt muss berücksichtigt werden, um die Akzeptanz von Assistenzsystemen zu verbessern. Aus der Sicht der Sicherheit darf dies aber nicht dadurch geschehen, dass das Assistenzsystem „selbstbestimmt“ abgeschaltet wird. Der Vorteil der permanent aktiven Redundanz ginge sonst verloren. Wie Lange (2008) zeigen konnte, ist ein probates Mittel, den „Ratschlag“ des Assistenzsystems zu akzeptieren, ihn situationsbezogen zu verstehen. Er formulierte dafür den Satz: „Der Fahrer sollte *haptisch* vermittelt bekommen, *was* er zu tun soll und *optisch*, *warum* er es tun soll“.

Die wirkungsvollste optische Darstellung geschieht, sowohl nach Langes als auch anderen Versuchen durch das HUD (Head-Up-Display), weil dieses die Information vermitteln kann, ohne den Blick von der Straße zu nehmen. Während beim konventionellen HUD durch die Spiegeltechnik ein Bild etwa in Höhe der Motorhaube auf einer senkrecht stehenden virtuellen Ebene in einer Entfernung von ca. 2 - 3 m erzeugt wird, liegt beim kontaktanalogen Head-Up-Display (kHUD) die virtuelle Ebene unmittelbar auf der Straße, so dass Objekte in der korrekten Entfernung angezeigt werden können (Bubb, 1975; Schneid, 2009). In der von Bubb vorgeschlagenen Form, wird ein vor dem Fahrzeug herfahrender Querbalken angezeigt, dessen Entfernung geschwindigkeitsabhängig der Distanz entspricht, die in ca. 1,2 - 1,5 Sekunden durchfahren wird. Diese Distanz sollte vom Fahrer in Grenzen wählbar sein und der Regeldistanz des ACC-Systems entsprechen. Bild 14 zeigt diese Form der Anzeige am Beispiel eines bei Audi entwickelten Prototyps (Schneid, 2009). Wenn in der dort gezeigten Situation die ACC-Regelung einsetzen würde, würde das aktive Gaspedal durch seine Rückbewegung dem Fahrer anzeigen, dass die Geschwindigkeit reduziert werden muss und gleichzeitig durch eine Veränderung der Balkenfarbe, warum dies notwendig ist. Die Summenpunktforderung ist erfüllt, indem der Fahrer über den künstlichen Druckpunkt des Gaspedals hinaus willentlich die Distanz zum vorausfahrenden Fahrzeug gegen den „Rat“ des ACC vermindern könnte, bzw. durch Reduzierung des Drucks auf das Gaspedal auch die Distanz vergrößern bzw. die Geschwindigkeit reduzieren könnte. Auch Fehlfunktionen des ACC würden dem Fahrer einsichtig gemacht,

indem er beispielsweise durch die Lage des Balkens erkennt, dass er sich keineswegs auf Kollisionskurs zu einem gefährlichen Hindernis befindet.

Auch die Einsicht in eine notwendige Querführungskorrektur wird durch das kHUD erreicht. Nach einem Vorschlag von Lange (2008) würde simultan mit dem vom Spurhaltesystem erzeugten Rückstellmoment an dem Abstandsbalken ein Pfeil eingeblendet werden, der diesen in die richtige Richtung "drückt".

Israel (2013) konnte zeigen, dass der Abstandsbalken, der der Fahrzeugbreite entspricht und dessen Querlage durch die augenblickliche Stellung des Lenkrads bestimmt wird, auch schwierige Engpässe an Baustellen mit ruhiger Hand und reduzierter Beanspruchung passieren lässt, auch dann, wenn der Spurführungsassistent nicht aktiv sein kann. Bild 16 zeigt weitere Vorschläge möglicher Anzeigen im kHUD wie Spurführung, Ausweichempfehlung bei Kollisionswarnung und vor allem eine kontaktanaloge Navigationsanzeige, die nach den Untersuchungen von Israel (2013) an schwierigen Kreuzungen eine deutlich verringerte Fehlwahl von notwendigen Abzweigungen bewirkt.



Bild 14: Kontaktanaloges HUD (kHUD) mit Abstandsbalken (Prototyp Audi).

Damböck et al. (2012) und Weißgerber et al. (2012) wiesen in einer Version, bei der der von dem Assistenzsystem vorgeschlagene Kurs durch eine Trajektorie im kHUD angezeigt wird, nach, dass im Fall einer Fehlfunktion dieses Assistenzsystems die Fahrer schneller und genauer eine Korrektur vornehmen als ohne eine solche Anzeige.



Bild 15: Anzeige einer notwendigen Querführungskorrektur im kHUD (Lange, 2008).



Bild 16: Weiter mögliche Anzeigekonzepte für Spurhaltung, Ausweichempfehlung bei Kollisionswarnung, Navigation und Sicherheitsabstand (Israel & Bubb, 2010).

Mit den hier vorgestellten Interaktionsvarianten von Assistenzsystemen ist nur eine Reduktion der Längs- und Querführungsunfälle zu erwarten. Das Problem der Kreuzungsunfälle und insbesondere des dichten und sehr heterogenen Verkehrs in Innenstädten ist damit noch nicht adressiert. Zurzeit existieren hierzu im Zusammenwirken verschiedener Institute und der Industrie im Rahmen des Urban-Projektes intensive Aktivitäten. Auch in diesem Zusammenhang werden unter anderem die Chance und das Potenzial des konventionellen HUD wie des kHUD ausgelotet. Das in diesem Beitrag angesprochene Summenpunktproblem bleibt dabei virulent.

Bei alledem darf aber nicht außeracht gelassen werden, dass die Attraktivität des Autofahrens u.a. darin besteht, dass es *Spaß* macht. Wie viele Beispiele belegen, vermitteln solche Dinge Handlungsspaß, bei denen man zur einer irgendwie gear- teten Grenze vordringt und nun die Gradwanderung versucht, einerseits beim Überschreiten der Grenze nicht „abzustürzen“ und andererseits nicht in die Belang- losigkeit des Reizlosen zurückzufallen. Aus sicherheitstechnischen Gründen darf diese Grenze aber nicht im Bereich objektiver Gefahr liegen. Die hier vorgeschla- gene Kombination aus haptischer Rückmeldung und optischer Anzeige der ge- setzten Grenze könnte den Effekt des Spaßes mit dem der Sicherheit verbinden. Im Detail ist zum Erreichen dieses Ziels aber noch weiterer Forschungsaufwand notwendig.

## LITERATUR

**Bergmeier, Ulrich (2009):** *Kontaktanalog markiertes Nachtsichtsystem- Entwick- lung und Experimentelle Absicherung*. Dissertation Technische Universität Mün- chen.

**Bolte, Uwe (1991):** *Das Aktive Stellteil – Ein ergonomisches Bedienkonzept*. Fort- schrittsberichte VDI-Reihe 17 Nr. 75. Düsseldorf: VDI-Verlag.

**Bubb, Heiner (1975):** *Untersuchung über die Anzeige des Bremsweges Im Kraft- fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität München.

**Damböck, Daniel; Weißgerber, Thomas; Kienle, Martin; Bengler, Klaus (2012):** *Evaluation of a Contact Analog Head-Up Display for Highly Automated Driving*. In 4th International Conference on Applied Human Factors and Ergonom- ics.

**Durth, Walther; Bald, Stefan, J. (1987):** *Risikoanalysen im Straßenverkehr*, For- schungsauftrag FE 02.111 R86a des Bundesministers für Verkehr, Schlussbericht, TH Darmstadt.

**Eckstein, Lutz (2001):** *Entwicklung und Überprüfung eines Bedienkonzepts und von Algorithmen zum Fahren eines Kraftfahrzeugs mit Aktiven Sidesticks*. Fortschr.-Ber. VDI, Reihe 12, Nr. 471, VDI-Verlag, Düsseldorf.

**Gründl, Martin (2005):** *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfäl- len und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*. Inauguraldissertation Universität Regensburg.

**Gstalter, Herbert (1083):** *Der Verkehrskonflikt als Kenngröße zur Beurteilung von Verkehrsabläufen und Verkehrsanlagen*, Dissertation, TU Braunschweig.

**Hacker, Wilfried (1987):** *Fehlhandlungen und Arbeitsfehler*. In Hacker, W. (Hrsg.): *Arbeitspsychologie*, Schriften zur Arbeitspsychologie, Nr. 41. Stuttgart: H. Huber.

**Israel, Boris (2013):** *Potenziale eines kontaktanalogen Head-Up-Displays für den Serieneinsatz*. Dissertation, Technische Universität München.

**Israel, Boris; Bubb, Heiner (2010):** *Augmented Reality im Fahrzeug – Möglichkeiten und Grenzen der Darstellung mit dem kontaktanalogen Head-Up Display*, Tagungsband Ueware,.

**Knoll, Peter; Langwieder, Klaus (2006):** *Der Sicherheitseffekt von ESP in Realunfällen – Überlegungen zum volkswirtschaftlichen Nutzen von prädiktiven Fahrerassistenzsystemen*. In TUM/TÜV Süd (Hrsg.) Tagungsband der Tagung „Sicherheit durch Fahrerassistenz“. Garching.

**König, Winfried; Weiß, Karl-Ernst; Mayser Christoph (2002):** *S.A.N.T.O.S Situations- angepasste und Nutzer-Typ- zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung*. Gemeinsamer Projektabschlussbericht Der Robert Bosch GmbH und der BMWgroup. BMFT.

**Lange, Christian (2008):** *Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades*. Dissertation, Technische Universität München.

**Langwieder, Klaus (2005):** *Wissenschaftlicher Erkenntnistand zu ESP*. Beitrag zur Konferenz 10 Jahre ESP, 23.02.2005, Berlin.

**Lippold, Christian; Mattheß, Volker (1994):** *Anwendung von Risikoanalysen, Anwendungsbeispiel „Hindernis auf der Fahrbahn“*, Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik Heft 689, Bundesminister Für Verkehr, Bonn,

**Maier, Frank (2013):** *Fahrerassistenzsysteme in der Fahrausbildung – Einfluss moderner Fahrerassistenzsysteme auf die Verkehrssicherheit und Ansätze zur Integration der Systeme in der Fahrausbildung junger Fahranfänger*. Dissertation, Technische Universität München.

**Norman, Donald Arthur (1981):** *Categorization of Action Slips*. Psychological Review, 88.

**Norman, Donald Arthur (1986):** *New Views in Information Processing: Implications for Intelligent Decision Support Systems*. In: Hollnagel, E., Manchini, G. and Woods, D.D. (Eds.): *Intelligent Decision Support in Process Environments*. Springer-Verlag, Berlin.

**Penka, Andreas (2001):** *Vergleichende Untersuchung zu Fahrerassistenzsystemen mit unterschiedlichen Aktiven Bedienelementen*, Dissertation, Technische Universität München.

**Pereira, Marta; Bruyas, Marie-Pierre; Kaufmann, Clemens; Britschgi, Virpi; Gil, José; Zaoral, Aleš (2013):** *Reported Use of Speed Control Systems: Cruise Control and Speed Limiter*. IET Intelligent Transport Systems.

**Plavšić, Marina (2010):** *Analysis and Modeling of Driver Behavior for Assistance Systems at Road Intersections*. Dissertation, Technische Universität München.

**Popiv, Daria (2011):** *Enhancement of Driver Anticipation and its Implications on Efficiency and Safety*. Dissertation, Technische Universität München.

**Pöppel, Ernst (2000):** *Grenzen des Bewußtseins - Wie kommen wir zur Zeit und wie entsteht Wirklichkeit?*, Insel Taschenbuch, Frankfurt a.M. und Leipzig.

**Rasmussen, Jens (1982):** *Human Errors: A Taxonomy for Describing Human Malfunction in Industrial Installations*. Journal Of Occupational Accidents, 4, 311-333.

**Reason, James (1994):** *Menschliches Versagen: Psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien*. Heidelberg: Spektrum.

**Reichart, Günther (2001):** *Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen*. Fortschritt-Berichte, Reihe 22, Mensch-Maschine-Systeme, Nr. 7, VDI-Verlag, Düsseldorf.

**Remlinger, Wolfram (2013):** *Analyse von Sicht Einschränkungen im Fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität München.

**Rigby, Lynn V. (1970):** *The Nature of Human Error*, Sandia National Laboratories Report Sc-R70-4318, Albuquerque.

**Sacher, Heike (2009):** *Gesamtheitliche Analyse des Bedienverhaltens von Fahrzeugfunktionen in der täglichen Nutzung*. Dissertation, Technische Universität München.

**Schmidtke, Heinz (1993):** *Der Leistungsbegriff in der Ergonomie*. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Aufl., München-Wien: Carl Hanser-Verlag.

**Schneid, Marcus (2009):** *Entwicklung und Erprobung eines kontaktanalogen Head-Up-Displays im Fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität München.

**Scholly, Uwe (2006):** *Sicht im Pkw – Evaluationsmethoden in der Praxis*, Tagungsunterlagen Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA), 28.-29.10.2006, Sindelfingen.

**Swain, Alan D.; Guttmann, Henry. E. (1983):** *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*. Sandia National Laboratories, Nureg/ Cr-1278. Washington DC.

**Weißgerber, Thomas; Damböck, Daniel; Kienle, Martin; Bengler, Klaus (2012):** *Auswirkungen einer kontaktanalogen Anzeige auf die Querführung hochautomatisierter Fahrzeuge*. 28.VDI/VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und integrierte Sicherheit. Wolfsburg. Germany.

**Wickens, Christopher. D. (1992):** *Engineering Psychology and Human Performance*. Harper Collins Publishers. New York.

**Zaindl, Albert (2009):** *Simulation von Kreuzungskonflikten durch Sichtverdeckung der A-Säule*. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München.

**Zimolong, Bernhard (1982):** *Verkehrskonflikttechnik, Grundlagen und Anwendungsbeispiele, Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr*, Heft 35, Bergisch Gladbach.