

FAHRVERSUCHE ZUR UNTERSUCHUNG VON FRONTALKOLLISIONSGEGENMASSNAHMEN

Hermann Winner, Norbert Fecher, Fabian Regh, Jens Hoffmann

ZUSAMMENFASSUNG

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

1 EINLEITUNG

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

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

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

2 BEGRIFFSDEFINITIONEN

Frontalkollisionsgegenmaßnahmen

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

Warnelemente

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

Gegenmaßnahme

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

Antikollisionsstrategie

Die zeitliche Abstufung mehrerer Gegenmaßnahmen wird Antikollisionsstrategie genannt.

Antikollisionssysteme

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

3 FRONTALKOLLISIONSGEGENMASSNAHMEN

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

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

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

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

4 PRÜFUNG UND BEWERTUNG VON ANTIKOLLISIONSSYSTEMEN

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

4.1 Übersicht über bisher eingesetzte Prüfungs- und Bewertungsverfahren

4.1.1 Dynamische Fahrsimulatoren

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

4.1.2 Augmented Reality

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

4.1.3 *Erscheinende leichte Dummies*

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

4.1.4 *Wegklappbare Hindernisse*

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

4.1.5 *Leichte Fahrzeuge*

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

4.1.6 *Fahrende Hindernisse, stehendes Prüffahrzeug*

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

4.1.7 *Bewegte halbe Fahrzeuge*

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

4.2 **Zwischenfazit**

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

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

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

- **Real:**

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

- **Realistisch:**

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

- **Relevant:**

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

5 DARMSTÄDTER TEST- UND BEWERTUNGSVERFAHREN MIT EVITA

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



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

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

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

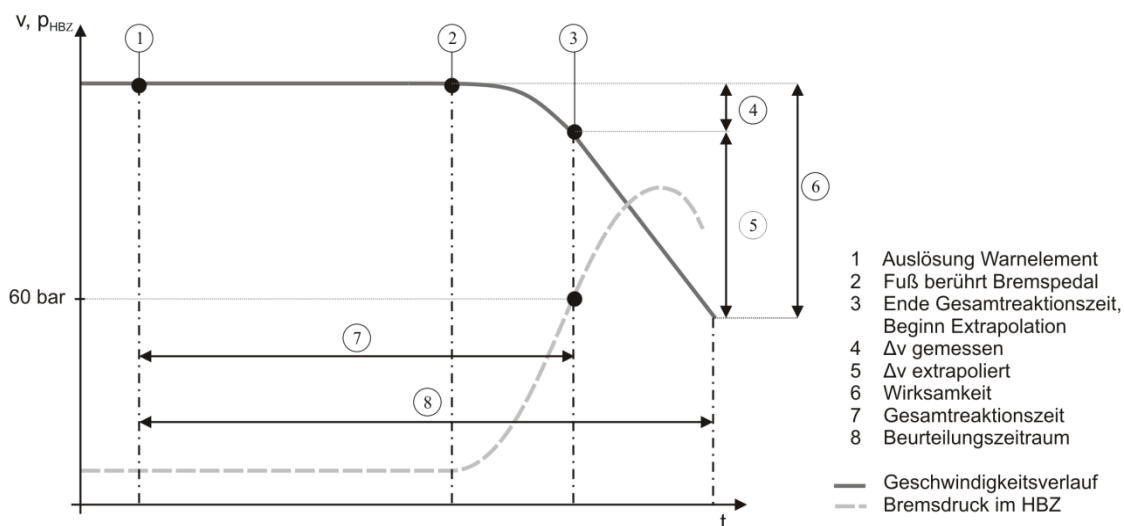


Bild 2: Kenngrößen im EVITA-Versuch [5]

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

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

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

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

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

6 ERGEBNISSE UND ERFAHRUNGEN

6.1 Bisherige Versuchskampagnen

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

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

6.2 Untersuchte Frontalkollisionsgegenmaßnahmen

6.2.1 Sitzvibration & Symbol

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

6.2.2 *Sound*

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

6.2.3 *Bremsruck*

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

6.2.4 *Teilverzögerung*

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

6.2.5 *Vollverzögerung*

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

6.3 Bewertung des Systemnutzens

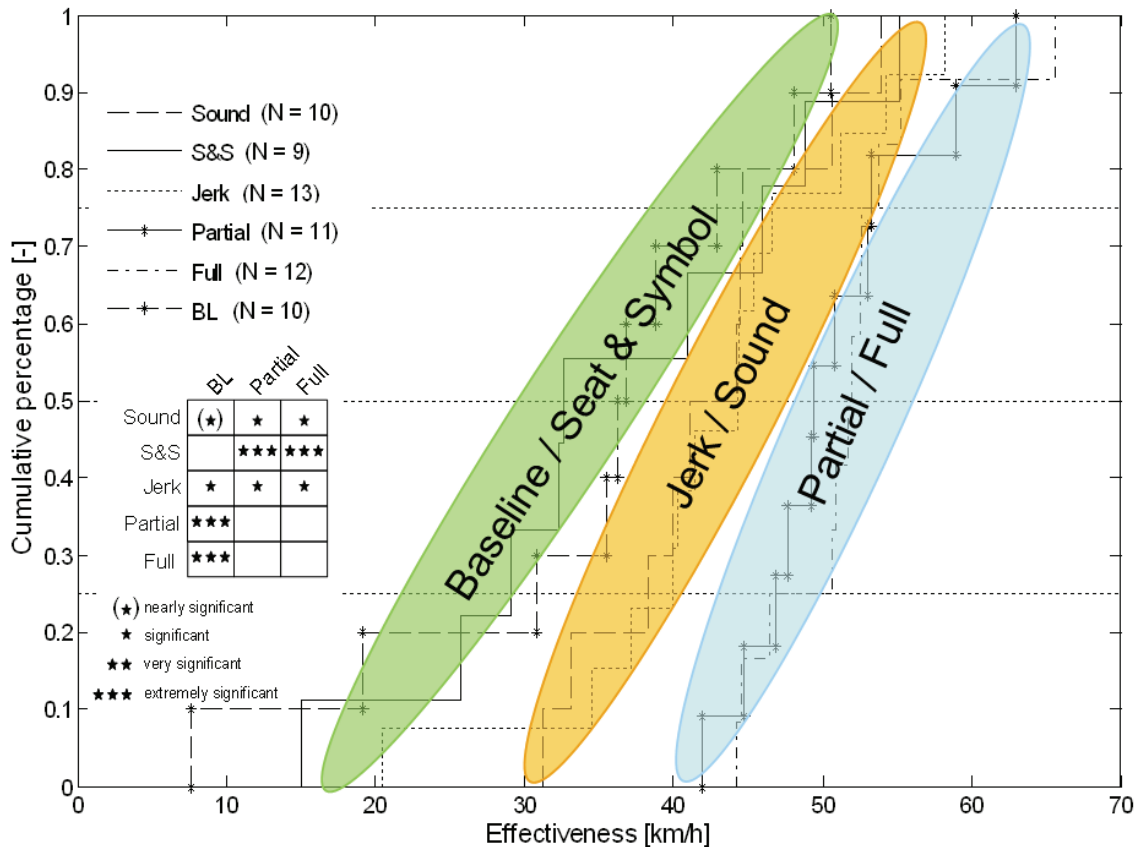


Bild 3: Wirksamkeit ausgewählter FKGM im jeweils ersten Versuch [km/h] [5]

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

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

6.4 Wirksamkeit vs. Störungsmaß

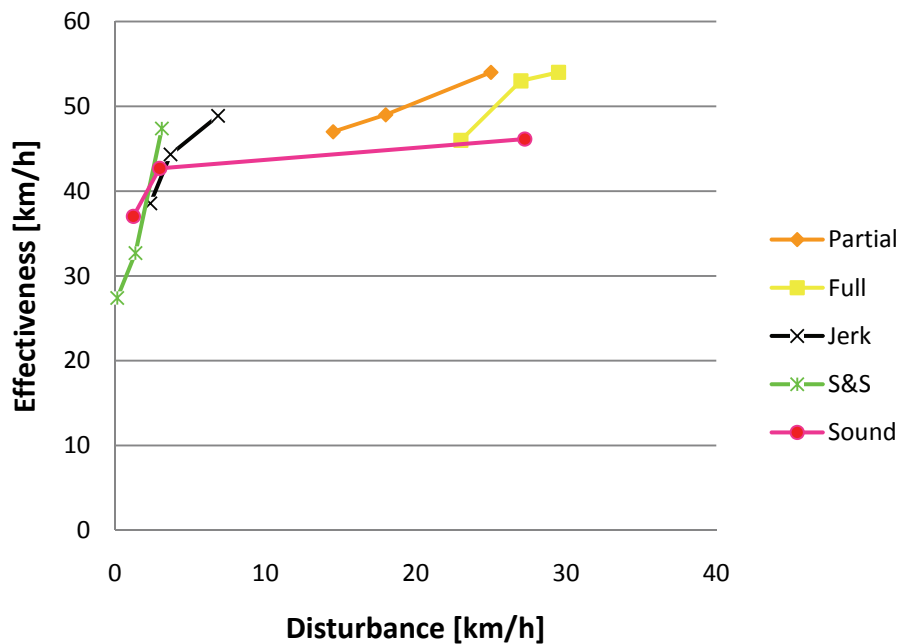


Bild 4: Wirksamkeit vs. Störungsmaß [km/h]

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

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

6.5 Grenzen und Verbesserungspotenziale des Darmstädter Verfahrens (EVITA)

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

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

6.5.1 Ablenkungsaufgabe

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

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

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

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

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

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

6.5.2 *Bewertung von Antikollisionsstrategien*

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

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

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

6.5.3 *Trennschärfe im Baselineversuch*

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

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

7 FAZIT UND AUSBLICK

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

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

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

LITERATUR

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

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