

Wirksamkeitsbewertung im realen Fahrversuch

Norbert Fecher, Maren Graupner, Hermann Winner

Abstract

Both in development and in the release of CAS/CMS a valid effectiveness assessment is essential [5]. Within this article, an overview of typically used methods and tools is given and on the basis of the Darmstadt testing method with EVITA the assessment in real driving tests is presented on the example of collision avoidance systems. On the basis of this experience, the influences on the expected results are described.

Kurzfassung

Sowohl in der Entwicklung als auch bei der Freigabe von CAS/CMS ist eine valide Wirksamkeitsbewertung unerlässlich [5]. Im Rahmen des vorliegenden Artikels wird ein Überblick über heute zum Einsatz kommende Methoden und Werkzeuge gegeben und anhand des Darmstädter Verfahrens (EVITA) die Bewertung im realen Fahrversuch am Beispiel von Frontkollisionsschutzsystemen aufgezeigt. Auf Basis der vorliegenden Erfahrungen werden die Einflüsse auf die zu erwartenden Ergebnisse beschrieben.

1. Einleitung

Die Ausstattung von Fahrzeugen mit Umfeld erfassungssensorik, aktuell auch auf Basis von Kamerasensoren, ermöglicht nun selbst in niedrigeren Fahrzeugklassen die Einführung von Fahrerassistenzsystemen, deren Funktionen auf Umgebungsdaten basieren. Dies führt zu einer ständig wachsenden Anzahl an Fahrzeugmodellen, für die warnende und unterstützende Systeme entwickelt und adaptiert werden, die Frontkollisionen verhindern (Collision Avoidance System – CAS) oder zumindest deren Folgen abschwächen (Collision Mitigation System – CMS). 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.

Im Rahmen des vorliegenden Artikels wird am Beispiel von warnenden und eingreifenden Frontkollisionsschutzsystemen die Wirksamkeitsbewertung im realen Fahrversuch anhand des Darmstädter Verfahrens (EVITA) aufgezeigt.

2. Untersuchungsgegenstand: Frontkollisionsschutzsysteme

Zur Beschreibung der Systeme, die den Untersuchungsfokus bilden, werden beispielhaft einige aktuell auf dem europäischen Markt verfügbare Systeme zur Abwendung/Linderung von Frontkollisionen vorgestellt [4].

Audi bietet unter dem Namen „Audi pre sense plus“ (2014) ein vierstufiges System an, das in der ersten Phase zugleich akustisch und optisch warnt. Bleibt die Fahrerreaktion aus, folgt in der zweiten Stufe ein Bremsruck. In der dritten Phase leitet das System automatisch eine Teilbremsung auf etwa 1/3 des Maximalniveaus ein. Es erfolgt eine Gurtstraffung. Bleibt selbst dann eine Reaktion aus, so wird in der vierten Stufe die Bremskraft weiter erhöht und mündet in eine Vollverzögerung, wenn die Kollision nicht mehr zu vermeiden ist [1].

Honda setzt seit 2006 für das europäische Modell „Legend“ das Collision Mitigation Brake System (CMBS) ein, das seit 2014 in zahlreichen weiteren Fahrzeugmodellen erhältlich ist und mit einer dreistufigen Strategie arbeitet. Es warnt den Fahrer in einer frühen Phase akustisch und optisch. Bremst der Fahrer, so unterstützt ihn der Bremsassistent sofort bei der Anpassung des erforderlichen Bremsdruckes. Bleibt die Reaktion des Fahrers aus, so wird durch eine Gurtstraffung eine weitere Warnung ausgegeben. In einer letzten Stufe erfolgt eine etwa 60% Verzögerung [14].

Beim Lexus A-PCS (Advanced Pre Crash Safety) wird der Fahrer bei einer drohenden Gefahr zunächst durch akustische und optische Signale gewarnt. Besteht die Gefahr weiterhin, werden die Gurtstraffer aktiviert, die Auslöseschwelle für den Bremsassistenten angepasst, die Dämpferregelung des Fahrwerks auf „hart“ geschaltet und eine Teilverzögerung des Fahrzeugs durchgeführt. Zusätzlich wird mit einer auf der Lenksäule angebrachten Kamera der Fahrer beobachtet. Erkennt die Verarbeitungseinheit in kritischen Situationen einen unaufmerksamen Fahrer, werden die Warnstufen zu einem früheren Zeitpunkt aktiviert [16].

Mercedes stellte 2013 eine Weiterentwicklung der bekannten Pre-Safe-Bremse um die Optionen "Plus" (Heckaufprallschutz) und "Impuls" (Vorkonditionierung des Insassenschutzes) vor [13]. Mit dem Assistenzpaket „Collision Prevention Assist Plus“ wird der Fahrer im Geschwindigkeitsbereich von 7 - 250 km/h in mehreren Stufen zunächst optisch und akustisch gewarnt. Bei höherer Gefahrenstufe wird eine Teilverzögerung (bis unterhalb einer Geschwindigkeit von 105 km/h) eingeleitet [9].

In Fahrzeugen der Marke VOLVO wird der Fahrer vor einer drohenden Kollision mit einem rot blinkenden, von der Armaturentafel an die Windschutzscheibe projizierten Licht und einem akustischen Signal gewarnt [17].

3. Fragestellung

In der Entwicklung, der Optimierung und der Freigabe dieser Systeme sind Funktions- und Wirksamkeitsbewertungen hilfreich oder erforderlich [5].

Bei den durchgeführten Untersuchungen stehen zwei Fragestellungen im Mittelpunkt:

- 1.) Wie hoch ist die Wirksamkeit der Systeme?
- 2.) Mit welchen negativen Auswirkungen ist im Falle einer Fehlauslösung zu rechnen?

Allen Systemen ist gemein, dass sie in frühen Warnstufen die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die sich kritisch entwickelnde Situation lenken oder durch Vorkonditionierung der Brems- und Rückhaltesysteme deren Dynamik oder Wirksamkeit erhöhen sollen. In der frühen Phase einer drohenden Kollision ist die Aufgabe des Systems,

die sich kritisch entwickelnde Situation zu detektieren und das Verhalten des Fahrers aus Akzeptanzgründen zunächst zu beobachten, um den Fahrer bei ausbleibender Reaktion durch eine wirkungsvolle Warnung auf den bestehenden Handlungsbedarf hinzuweisen. Der Fahrer muss dann durch Handlungen an den primären Bedienelementen des Fahrzeuges die Gefährdung reduzieren. Im Idealfall gelingt es dem Fahrer selbstständig den Crash zu vermeiden. Reagiert der Fahrer jedoch nicht, sehen die Systeme in aller Regel weitere Eskalationsstufen vor, die meist bis zu einer automatisch durchgeführten Bremsung reichen, wenn die Kollision als nicht mehr vermeidbar erkannt ist, um so zumindest die Aufprallenergie zu reduzieren.

Bei der Bewertung der Systeme in der Entwicklung oder zu Ratingzwecken ist somit stets das Gesamtsystem Fahrer-Fahrzeug-Umgebung in einer Closed-Loop-Untersuchung mit einzubeziehen, um Aussagen zu positiven (Wirksamkeit) und negativen (Störung) Effekten treffen zu können. Eine Open-Loop-Untersuchung ohne Berücksichtigung des Fahrers ist nur bei der Analyse von fahrerunabhängigen Systemfunktionen, wie z.B. autonomen Bremseingriffen möglich.

4. Prüfung und Bewertung von Frontkollisionsgegenmaßnahmen

Grundsätzlich stehen für eine Closed-Loop-Untersuchung sehr unterschiedliche methodische Ansätze zur Verfügung, über die hier ein Überblick gegeben werden soll.

4.1 Übersicht über bekannte Prüfungsverfahren

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 damit möglich.

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 [2], ein Test realer Systeme ist aber damit nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich.

Erscheinende leichte Dummies

Zur Erzeugung eines Überraschungseffekts für den Fahrer werden plötzlich aus einer Verdeckung erscheinende Dummies eingesetzt. Diese werden sowohl leicht als auch gepolstert gestaltet und somit „kollisionsfreundlich“ ausgelegt. Diese Methode findet in verschiedenen Varianten sowohl im Systemtest als auch im Probandenversuch Anwendung.

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 etabliert, bietet aber nur eingeschränkt Potential für den Einsatz im Probandenversuch, da die Klappmechanismen ohne Versenkung in die Fahrbahn meist nicht beliebig überfahrbar sind.

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.

Fahrende Hindernisse, stehendes Prüffahrzeug

Durch die Simulation des eigenen Fahrzustandes, beispielsweise auf einem 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 [15] und kann insbesondere bei der Funktionsverifikation (Sensor-, Algorithmus- und Aktortest) hilfreich sein. Eine Gesamtsystemvalidierung im Probandentest ist jedoch nicht möglich.

4.2 Zusammenfassung der Prüfungs- und Bewertungsverfahren

Die bisherigen Prüfverfahren für CMS/CAS 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 Notfallsituationen zu analysieren, so ist die Fahrsimulation aufgrund fehlender oder nur simulierter Fahrzeugbewegung sowie veränderter Gefahrenwahrnehmung mit folglich geänderter 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 die nachfolgenden Anforderungen zu erfüllen:

Real:

Die Bewertung testet reale Systeme im Betrieb und ist für Fahrversuche mit Probanden geeignet.

Realistisch:

Die Präsentation des Szenarios wirkt aus Sicht des Probanden hinsichtlich seiner Wahrnehmung der Situation als auch des Gefährdungspotenzials und des Überraschungseffekts realistisch.

Relevant:

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

Mit dem Darmstädter Verfahren (EVITA) wurde ein Testverfahren vorgestellt, das die genannten Anforderungen erfüllt und reale Systeme reproduzierbar in realistischen und für CAS/CMS relevanten Szenarien testet und bewertet.

5. Darmstädter Test- und Bewertungsverfahren mit EVITA

Das Darmstädter Test- und Bewertungsverfahren mit EVITA (Experimental Vehicle for Unexpected Target Approach) wurde 2008 im Rahmen des Promotionsverfahrens von Hoffmann [5] am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt entwickelt und realisiert. 2014 wurde der mechanische Aufbau wie in Bild 1 dargestellt grundlegend erneuert.

5.1 Methodischer Ansatz

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 Bremsen der im Zugfahrzeug befindlichen Seilwinde zügig auf Ausgangsgeschwindigkeit gebracht und somit die Kollisionsgefahr gebannt.



Bild 1: EVITA 2.0 mit Zugfahrzeug

5.2 Wirksamkeitsbeurteilung im Probandenversuch

Eine Erkenntnis aus In-depth-studies [10] ist, dass viele Fahrzeugführer vor einem Auffahrunfall abgelenkt sind. Ablenkung oder allgemein Unaufmerksamkeit mag makroskopisch häufig vorkommen, in Probandenversuchen treten Unaufmerksamkeitsphasen jedoch zu selten auf, als dass man darauf warten könnte. Daher werden die Probanden des auffahrenden Versuchsfahrzeugs kurz vor einer Abbremsung von EVITA mit einer Nebenaufgabe zu einer länger als 2 s dauernden Blickabwendung

verleitet. Erkennt der im Versuchsfahrzeug sitzenden Bediener die Blickabwendung des Probanden, so wird die kritisch wirkende Auffahrsituation von EVITA ausgelöst. Der Proband wird anschließend mit der realen Funktion (z.B. zunächst optisch und akustisch wirkende Warnelemente bis hin zu Bremsengriffen) des zu untersuchenden CAS/CMS konfrontiert.

Als objektive Beurteilungsgröße für die Wirksamkeit der Systeme wird die Verringerung der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs in einem Beurteilungszeitraum (s.u.) herangezogen. Dieses Kriterium stimmt mit dem generellen Ziel von Antikollisionssystemen überein, entweder die Aufprallgeschwindigkeit zu reduzieren oder die vollständige Vermeidung des Aufpralls zu erreichen. Je höher die Verringerung der Geschwindigkeit, desto wirksamer ist das Antikollisionssystem.

Hierzu wird ein Beurteilungszeitraum festgesetzt, an dessen Anfang und Ende die Geschwindigkeit gemessen und die Geschwindigkeitsdifferenz Δv berechnet wird.

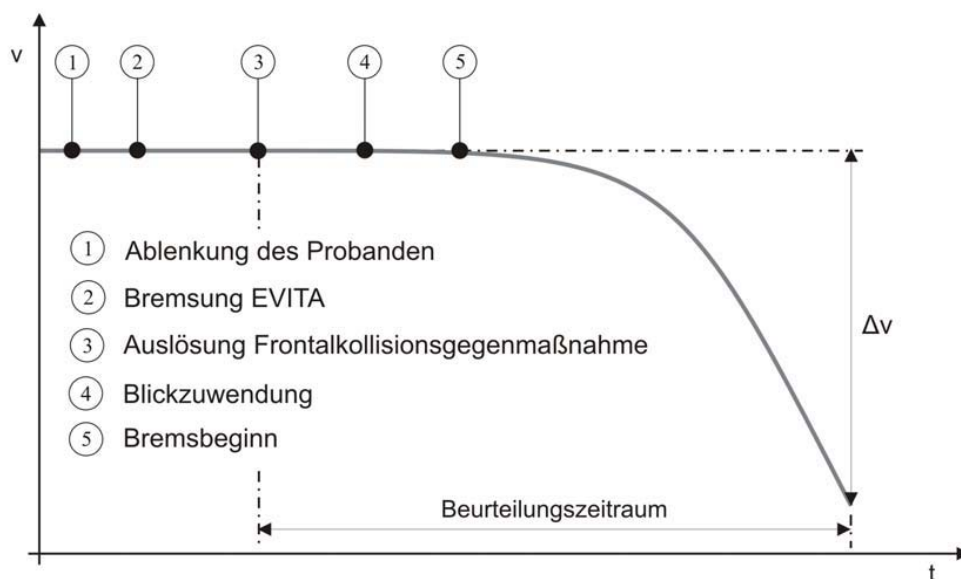


Bild 2: Idealisierter Geschwindigkeitsverlauf im Versuch

Bild 2 zeigt einen idealisierten Geschwindigkeitsverlauf während der Konfrontation einer abgelenkten Versuchsperson mit einem CAS/CMS. Sobald im Versuch durch den Probanden mit Hilfe einer Abstandsampel (siehe Bild 1 in der Heckscheibe) der korrekte Abstand zur konstant vorausfahrenden EVITA eingestellt wurde, wird die Ablenkung des Fahrers durch den Versuchsleiter eingeleitet (1). Währenddessen löst der technische Versuchsleiter (ebenfalls im Versuchsfahrzeug sitzend) per Funksignal die Abbremsung des EVITA-Systems aus (2). Sobald sich die Situation hinreichend kritisch entwickelt hat, wird das zu untersuchende reale CAS/CMS aktiv (3) und warnt den Fahrer. Dieser richtet dann durch Blickzuwendung seine Aufmerksamkeit von der Ablenkungsaufgabe zurück zur Verkehrssituation (4) und leitet nach einer Einschätzung der Situation die Bremsung ein (5).

Der Beurteilungszeitraum beginnt mit der Auslösung der ersten CAS/CMS-Reaktion, und seine Dauer muss die nachfolgend genannten Anforderungen erfüllen:

- So lang, dass die Gesamtreaktionszeit aller Probanden bestimmt werden kann.
- So kurz, dass der Einfluss der stationären Vollverzögerung nicht die Gesamtreaktionszeit überwiegt und noch kein Stillstand erreicht wird.

Für die Untersuchung mit EVITA hat sich eine Dauer des Beobachtungszeitraumes von 2 s bewährt. Sie deckt damit die bisher aufgetretenen maximalen Reaktionszeiten ab, kommt bei Versuchsgeschwindigkeiten oberhalb etwa 50 km/h noch nicht zum Stand und entspricht ungefähr den bekannten Abbruchzeiten für eine harte Notbremsaktion. Für den Fall, dass in dieser Zeit wegen der Entschärfung der Situation durch die Beschleunigung des Dummy-Targets die Fahrerbremsung abgeschwächt oder sogar abgebrochen wird, wird die Geschwindigkeit mit Hilfe der vorherigen Verzögerung extrapoliert. Mit einem solchen Maß kann das ganze Spektrum von Gegenmaßnahmen adressiert werden, egal ob Warnelement oder autonome Bremseingriffe. Dieses Maß erlaubt vergleichende Untersuchungen, wenn die Anfangsbedingungen gleich sind, sprich der Zeitpunkt zu Beginn des Beurteilungszeitraums. Für Wirksamkeitsmessungen von Einzelgegenmaßnahmen, z.B. Warnton vs. Bremsruck, empfiehlt sich der Beginn auf den Aktionsstart zu legen. So kann das Maß auch verwendet werden, um den Einfluss einer Falschauslösung zu messen. Bei Systemen mit mehreren Maßnahmen sollte ein Beurteilungszeitraum definiert werden, der mit der ersten Aktion des „frühesten“ Systems beginnt.

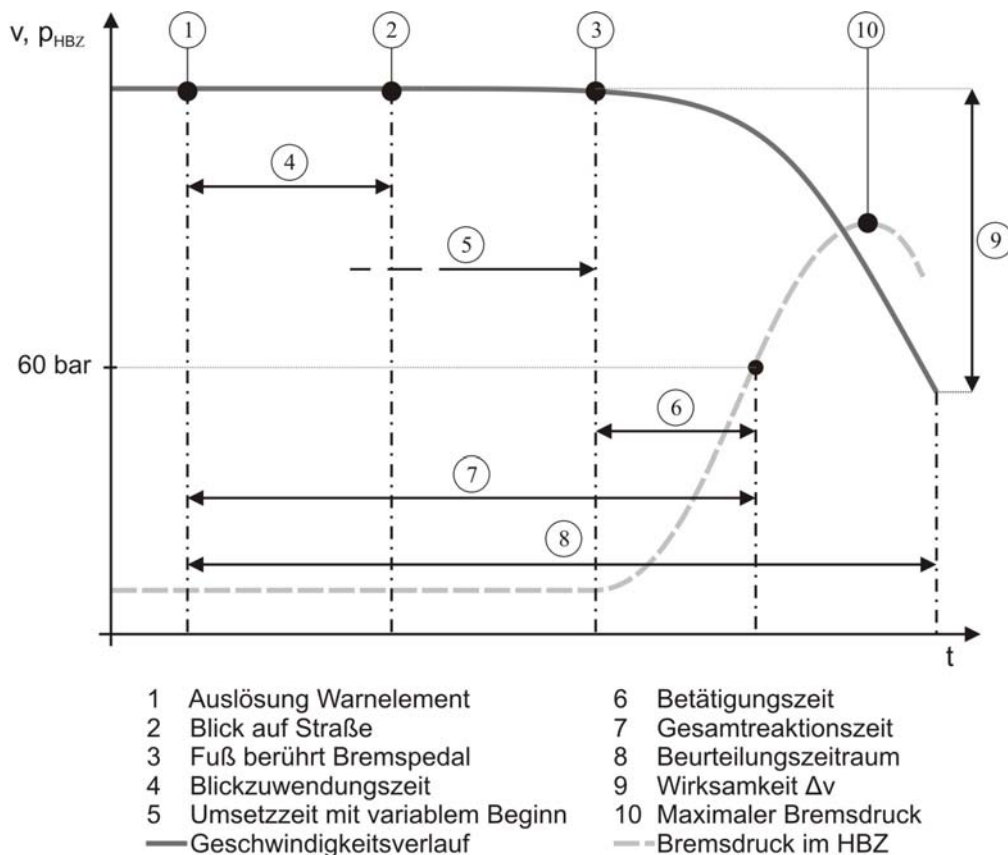


Bild 3: Zeitl. Bewertungskriterien während des Versuchsverlaufs

Weiterhin werden zeitliche Kriterien wie unterschiedliche Reaktionszeiten des Fahrers festgelegt, um eine Charakterisierung von Antikollisionssystemen zu ermöglichen. Unter dem Begriff Reaktionszeit werden viele Einzelkriterien subsumiert. Bild 3 zeigt schematisiert den Geschwindigkeitsverlauf des Versuchsfahrzeugs über der Zeit, den Beurteilungszeitraum sowie zeitliche Bewertungskriterien.

Im Versuch folgt nach der Auslösung des CAS/CMS typischerweise die Blickzuwendung durch den Probanden auf die Situation vor dem Ego-Fahrzeug. Dieser Zeitraum ist als Blickzuwendungszeit definiert. Nach dem Umsetzen des rechten Fußes vom Gaspedal auf das Bremspedal (Umsetzzeit) beginnt die vom Fahrer eingeleitete Bremsung und die Betätigungszeit beginnt. Die Betätigungszeit endet bei einem Druck im Hauptbremszylinder von 60 bar. Dies entspricht der Schwelle des Bremsdrucks für eine ABS-geregelte Vollverzögerung bei hohem Reibwert zwischen Reifen und Fahrbahn, sodass die maximal mögliche Verzögerung anliegt. Die Gesamtreaktionszeit wird vom Zeitpunkt der Auslösung eines Warnelements bis zum Erreichen des Bremsdrucks von 60 bar gemessen. Zum Ende des Beurteilungszeitraums wird die Geschwindigkeitsdifferenz Δv bestimmt.

6. Ergebnisbeispiele zur Wirksamkeitsbewertung von CMS/CAS

Das Darmstädter Verfahren mit EVITA wurde bereits in zahlreichen Untersuchungen angewendet. Als Ergebnis wird, wie bereits beschrieben, jeweils die Wirksamkeit, definiert als die Geschwindigkeitsreduktion innerhalb des Bewertungszeitraumes, herangezogen. Die dabei ermittelten Geschwindigkeitswerte werden als kumulative Häufigkeit aufgetragen, um die im Probandenversuch gemessene Verteilung zu veranschaulichen. Um die Wirksamkeit eines Warnelements bzw. Warnsystems beurteilen zu können, wird eine Baseline-Gruppe (BL) zum Vergleich herangezogen, in der, bei ansonsten gleichen Versuchsbedingungen, keine Systemauslösung erfolgt.

Die Wirksamkeit dieser Vergleichsgruppe ergibt sich aus dem natürlichen, zufälligen Blickzuwendungsverhalten des Fahrers und seiner Reaktionszeit ohne Unterstützung durch ein Warnelement. In Bild 4 ist beispielhaft ein typisches Ergebnis dieser Untersuchungen für die Systemeingriffe mit Voll- (Full) und Teilverzögerung (Partial Braking) gegenüber der Baseline-Gruppe dargestellt.

Für die vergleichende Bewertung werden die ermittelten Verteilungen Varianzanalysen unterzogen. Je höher der Geschwindigkeitsabbau ist, umso höher werden die Wirksamkeit (Effectiveness) und damit der Sicherheitsgewinn eingestuft. Neben der Mittelwertbetrachtung kann auch die Streuung ausgewertet werden. Sie ist insbesondere bei der Baseline auf das zufällige Ende der Blickabwendungszeit und zugehöriger Rückkehr der Aufmerksamkeit zurückzuführen. Sobald eine Wirkung erkennbar ist, verringert sich die Streuung. Somit verliert sich etwa die Hälfte der Probanden durch die ungesteuerte Rückkehr der Aufmerksamkeit. Würde man diese Hälfte herausnehmen (die 50% höheren Δv) wäre der Abstand der Mittelwerte höher, allerdings ist dann die Kollektivgröße vermindert, was bei einem Signifikanztest gegenläufig wirkt. Sieht man Baseline als minimale Wirkung und Partial/Full Brake als maximale an, dann wird klar, dass mit ca. 12 „verwertbaren“ Probanden grademal drei bis vier Verteilungen signifikant unterschieden werden können. Will man eine höhere Sensitivität, so muss entsprechend der \sqrt{n} -Abhängigkeit der Trennfähigkeit in eine (quadratisch) höhere Probandenzahl investiert werden.

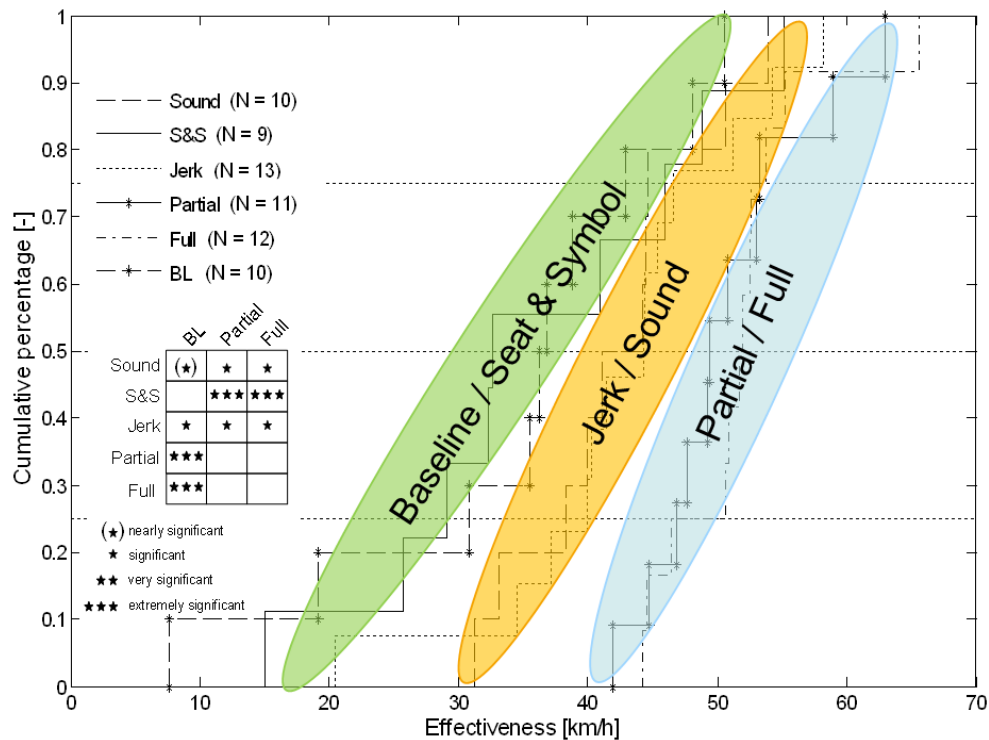


Bild 4: Wirksamkeit verschiedener Warnelemente (vgl. [3], [19])

7. Einflüsse auf das Ergebnis

Für die Durchführung valider, reproduzierbarer und objektiver Versuche ist dabei das Parametersetup bezüglich der Teilsysteme Fahrer, Fahrzeug sowie das Versuchsszenario und deren Wechselwirkungen wie nachfolgend beschrieben von Bedeutung.

7.1 Fahrer

Während der Fahrversuche wird der Fahrer mit einer Nebenaufgabe beschäftigt, die seine Aufmerksamkeit aus dem Bereich des Fahrraumes vor dem Fahrzeug weglenkt, um eine für den Einsatz von CAS/CMS realistische Situation zu erzeugen. Ein auf die Fahraufgabe konzentrierter Fahrer würde eine Situation mit verzögerndem Vorauszufahrer bereits in ihrer Entstehung erkennen und frühzeitig die Situation entschärfen. Daher ist der Proband kurz vor dem Beginn der Verzögerung des Zielobjekts so abzulenken, dass er den Blick von der Fahrsituation abwendet und erst durch die Auslösung des Warnelementes auf die Kritikalität der Situation aufmerksam wird. Nach [8] wird die sich kritisch entwickelnde Situation vom Fahrer während der Ausführung der Nebenaufgabe über kurze Kontrollblicke überwacht. Sobald Abweichungen zur antizipierten Situation auftreten, wird die Nebenaufgabe unterbrochen und der Blick wieder auf die Situation gerichtet. Als Nebenaufgabe hat es sich bewährt, den Fahrer Navigationsanweisungen von einem Routenplanerausdruck laut ablesen zu lassen, womit es gelingt etwa 75% der Probanden solange abzulenken, dass eine Blickzuwendung zur Situation erst nach der ersten Systemauslösung erfolgt. Alle Blickzuwendungen nach diesem Zeitpunkt können durch die Gegenmaßnahme beeinflusst sein, müssen aber nicht, wie die Baseline zeigt, bei der einige Fahrer auch ohne „Trigger“ frühzeitig reagieren.

Wie zu vermuten war, ist eine „echte“ Schreckreaktion aber nur bei der Erstkonfrontation mit dem EVITA-Szenario zu erwarten. Zahlreiche Testpersonen lassen sich nach diesem Erlebnis nicht mehr ablenken. Allerdings kann dem Probanden die Funktionsweise des EVITA Systems erklärt werden, so dass dieser dann vom Schreck unabhängige Fragestellungen, z.B. zur Gestaltung des Systems, beantworten kann.

7.2 Fahrzeug und CAS/CMS-Verhalten

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse zeigen, dass bei Baseline-Versuchsreihen die objektiv gemessenen Fahrerreaktionen systematisch vom verwendeten Versuchsträger beeinflusst werden. Dies wird besonders bei der Analyse einzelner Reaktionszeiten, wie beispielsweise der Brems-Betätigungszeit (d.h. die Zeitspanne vom erstmaligen Berühren des Bremspedals bis zum Erreichen des ABS-Bremsdrucks), deutlich, die sich zwischen verschiedenen Versuchsträgern unterscheiden. Diese vom Bremssystem abhängigen und somit fahrzeugseitigen Ursachen können sich zusätzlich mit einer Abweichung des Verhaltens bei der zur Fahrerablenkung notwendigen Nebenaufgabe überlagern. Hier können sich je nach Sitzposition und Übersichtlichkeit des Cockpits verschiedene, der späteren Bewertung zugrunde liegende Ablenkungszeiten ergeben.

Aus diesem Grund ist ein Vergleich unterschiedlicher CAS/CMS nur zulässig, wenn die unterschiedlichen Varianten im gleichen, besser selben, Fahrzeug untersucht werden. Der Sicherheitsgewinn eines Systems lässt sich somit auch nur relativ zu den Ergebnissen der Baseline im zugrundeliegenden Fahrzeug angeben.

Großen Einfluss auf die Ergebnisse besitzt der Auslösezeitpunkt des zu bewertenden Systems. Vergleicht man Reaktionszeiten sowie Wirksamkeiten eines Warnlements bei verschiedenen Warnzeitpunkten, so können sich diese statistisch signifikant voneinander unterscheiden. Ursächlich für diesen Zusammenhang könnte eine Änderung des Fahrerverhaltens als Funktion der nach der Warnung wahrgenommenen Kritikalität der Fahrsituation sein. Eine Auswertung der Fahrerreaktionen bei Baseline-Versuchsreihen hat gezeigt, dass die gemessenen Gesamtreaktionszeiten umso kleiner sind, je kleiner die Time-To-Collision (TTC) zum Zeitpunkt der ersten Situationswahrnehmung ist, d.h. je kritischer sich die Situation bereits entwickelt hat.

7.3 Szenario

Die integralen Sicherheitssysteme sollen bei der späteren Umsetzung im Feld zu einer Senkung der Unfallzahlen führen. Dazu ist eine Priorisierung der zu adressierenden Unfallsituationen vorzunehmen, die die benötigte Funktionalität und die für die Prüfung notwendige simulierte Unfallsituation bedingt. Dabei ist zwischen unbeschleunigten (stationären) und beschleunigten (dynamischen) Szenarien zu unterscheiden. Bei den bisher durchgeführten Versuchen wurde eine dynamische Situation gewählt. Das Zielobjekt EVITA (Targetobjekt) wird aus einer unkritischen Fahrfahrt plötzlich verzögert. Bei der Gestaltung des Versuchsszenarios sind im ersten Schritt die Abstände von Versuchsfahrzeug zum Targetobjekt zu Beginn der Situation sowie die Ausgangsgeschwindigkeiten festzulegen. Der Abstand lässt sich aus der gewählten Ausgangsgeschwindigkeit und einer minimalen Zeitlücke errechnen. Die Kritikalität der Situation ist dabei bei maximaler Verzögerung des Targetobjektes und kleinstem möglichen Ausgangsabstand am höchsten. Diese Parameter sind nicht frei wählbar, da einerseits die maximale als realistisch zu betrachtende Verzögerung des

Targets auf ca. 1 g begrenzt ist, andererseits die minimale Zeitlücke durch das Sicherheitsbedürfnis des Probanden bedingt wird, da sonst kaum eine für den Versuch hinreichende Ablenkungsdauer erzielt werden kann. Gleichzeitig bestimmen diese beiden Parameter auch die Dauer und Entwicklung der Unfallsituation. Für die Auslegung der Versuche sind hierbei insbesondere die Zeitdauer für den Aufbau der kritischen Situation, in der der Fahrer abgelenkt sein muss bis zur Auslösung des Warnelements für die dann vorliegende Kritikalität entscheidend.

Neben kinematischen Zusammenhängen haben auch Lichteinflüsse durch die Umgebung Einfluss auf die Ergebnisse und müssen daher berücksichtigt werden. Eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Fahrerreaktionen und der Umgebungsleuchtdichte unter Tageslichtbedingungen konnte keine signifikanten Korrelationen aufzeigen. Der Vergleich zwischen Tag- und Nachtversuchen weist jedoch auf eine grundsätzliche Abweichung des Fahrer-Ablenkungsverhaltens bei Nacht hin, die durch eine erschwerte Informationswahrnehmung und -verarbeitung bei Dunkelheit verursacht wird. Desweiteren empfinden die Fahrer bei Nacht das Einhalten der Fahraufgabe bei gleichzeitigem Lösen der Nebenaufgabe als signifikant anspruchsvoller als bei Tage. Als Folge davon sinkt die durchschnittliche Ablenkungszeit bei Nacht und macht in den meisten Fällen eine Kollisionswarnung im Rahmen des EVITA-Szenarios überflüssig. Die Übertragbarkeit auf reale Verkehrssituationen ist jedoch nicht gesichert, da in den relativ kurzen Testfahrten mit dem EVITA-System bei den Probanden keine Ermüdungserscheinungen zu erwarten sind und somit die Ergebnisse sich „nur“ auf „wache Unaufmerksamkeit“ bezieht.

8. Fazit

In über 2.000 Einzelversuchen mit mehr als 800 Probanden wurden erfolgreich objektive Bewertungen von Frontkollisionsgegenmaßnahmen vorgenommen. Die objektiven Bewertungsmaßstäbe auf Basis des Δv in einem Beurteilungszeitraum erlaubt die signifikante Unterscheidung von Systemvarianten, sowohl bei der Wirksamkeit als auch der Verzeihlichkeit [6]. Allerdings zeigt die Erfahrung von Untersuchungen zu unterschiedlichen Systemausprägungen in unterschiedlichen Fahrzeugen und unter unterschiedlichen Randbedingungen, dass dieses Bewertungsmaß quantitativ nicht übertragbar ist und somit trotz Kardinalskalierung eher der Qualität einer Ordinalskala entspricht. Dies belegt, dass eine vergleichende Wirksamkeitsbewertung von CAS/CMS nur unter Berücksichtigung des Gesamtsystems, bestehend aus Fahrer, Fahrzeug und Umgebungsszenario erfolgen kann. Zur Sicherstellung der Reproduzierbarkeit kommt der Einhaltung verschiedener Parameter besondere Bedeutung zu, die im Versuch zu etwa gleichen Teilen durch den Probanden sowie durch die Versuchsumgebung geleistet werden müssen. Dies gelingt zum einen durch eine auf das Untersuchungsziel abgestimmte Zusatzaufgabe, wie z.B. das Einhalten des durch eine Ampel angezeigten Abstandes parallel zur Nebenaufgabe, als auch durch eine sorgfältige Planung versuchsszenarioseitiger Parameter, wie z.B. der Versuchsgeschwindigkeit, dem richtigen Zeitpunkt für den Aufbau der kritischen Situation wenn der Fahrer gerade abgelenkt ist und der Verzögerungsstärke. Dabei sind diese durch den Versuchsplaner in der Vorbereitung zu identifizierenden bzw. festzulegenden Parameter im Versuch zu kontrollieren.

Am Beispiel einer Wirksamkeitsbewertung mit EVITA konnte gezeigt werden, dass tatsächlich durch die Darstellung einer realen und realistischen dynamischen Situation das Fahrerverhalten untersucht und durch Auswertung von Einzelreaktionszeiten

die Einzelanteile, die am Ende zur Gesamtwirksamkeit des Systems führen, bestimmt werden können. Es trägt dazu bei, die Eigenschaften des Regelsystems Fahrer-Fahrzeug in vielfältigen Umgebungsszenarios besser zu verstehen, zeigt aber auch die Grenzen auf, mit Human-in-the-Loop objektive Maßstäbe zu generieren.

Literatur

- [1] Audi Pressemeldung vom 08.03.2012, www.audi-mediaservices.com
- [2] Bock, T.: Verfahren zur Funktionsprüfung eines kraftfahrzeugseitig integrierten Fahrerassistenzsystems, Patent Nr. DE102004057947A1, 08.06.2006
- [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 München, 2008, F2008-02-030
- [4] Fecher, N.; Hoffmann, J.: Fahrerwarnelemente. In: Winner, H.; Hakuli, S.; Lotz, F.; Singer, C. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme (3. Aufl.), Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2015 (in Druck), S. 675 - 685
- [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.; Fecher, N.; Winner, H.: EVITA - Das Prüfverfahren zur Beurteilung von Antikollisionssystemen. In: Winner, H.; Hakuli, S.; Lotz, F.; Singer, C. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme (3. Aufl.), Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2015 (in Druck), S. 197 - 206
- [7] Hoffmann, J.; Winner, H.: EVITA – Das Untersuchungswerkzeug für Gefahrensituationen. 3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, München, April 2008
- [8] Krüger, H.-P.; Rauch, N.; Gradenegger, B.: Der situationsbewusste Umgang mit Nebenaufgaben beim Fahren, VDI-Berichte 2015, 2007
- [9] Mercedes-Benz Homepage, Sicherheit - Collision Prevention Assist Plus, <http://www.mercedes-benz.de>, April 2014
- [10] NHTSA Report 2001
- [11] Reschka, A.; Rieken, J.; Maurer, M.: Entwicklungsprozess von Kollisionsschutzsystemen für Frontkollisionen: Systeme zur Warnung, zur Unfallschwereminderung und zur Verhinderung. In: Winner, H.; Hakuli, S.; Lotz, F.; Singer, C. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme (3. Aufl.), Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2015 (in Druck), S. 913 - 935

- [12] Schlag, B. [et al.]: Mehr Licht – mehr Sicht – mehr Sicherheit?. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss., 2009
- [13] Schopper, M.; Henle, L.; Wohland, Th.: Intelligent Drive, Vernetzte Intelligenz für mehr Sicherheit. In: ATZ-Extra: Die neue S-Klasse von Mercedes-Benz, S. 107, Juli 2013
- [14] Technikbeschreibung Honda,
http://www.honda.de/innovation/sicherheit_technik/sicherheit_kollisionswarnsystem.php, April 2014
- [15] TNO: www.tassininternational.com/VeHIL, 06.01.2015
- [16] Toyota Deutschland GmbH, Pressemitteilung Lexus: Lexus Pre-Crash-Safety (PCS) im LS 460, November 2006
- [17] Volvo mit aktivem Geschwindigkeits- und Abstandregelsystem inklusive Bremsassistent Pro, Volvo-Presse, 22.02.2007
- [18] Winner, H.: Grundlagen von Frontkollisionsschutzsystemen. In: Winner, H.; Hakuli, S.; Lotz, F.; Singer, C. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme (3. Aufl.), Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2015 (in Druck), S. 893 - 912
- [19] Winner, H.; Fecher, N.; Regh, F.; Hoffmann, J.: Fahrversuche zur Untersuchung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen. In: Bruder, R.; Winner, H. (Hrsg.): Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug – Wie realitätsnah lässt sich Fahrerverhalten messen? Ergonomia Verlag, Stuttgart, 2009

Autoren:

Dr.-Ing. Norbert Fecher

ist Oberingenieur am Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD) der TU Darmstadt | Otto-Berndt-Straße 2 | D-64827 Darmstadt | Tel. 06151-16-6575 | Fax. -5192 | fecher@fzd.tu-darmstadt.de.

Maren Grauper M.Sc.

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin bei FZD | Tel. 06151-16-5197 | Fax. -5192 | grauper@fzd.tu-darmstadt.de.

Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner

ist Leiter des Fachgebiets Fahrzeugtechnik | Tel. 06151-16-3796 | Fax. -5192 | winner@fzd.tu-darmstadt.de.