
EVITA –

Das Untersuchungswerkzeug für Gefahrensituationen

Beitrag zur 3. Tagung: Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz

von Jens Hoffmann und Hermann Winner

Jens Hoffmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt, Petersenstraße 30, 64287 Darmstadt (hoffmann@fzd.tu-darmstadt.de)

Hermann Winner ist Leiter des Fachgebiets Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt, Petersenstraße 30, 64287 Darmstadt (winner@fzd.tu-darmstadt.de)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



FAHRZEUGTECHNIK
TU DARMSTADT

Zusammenfassung

Bei der Entwicklung von Systemen zur Kollisionsvermeidung oder Kollisionsminderung sind Wirksamkeit und Akzeptanz durch den Nutzer die für den Erfolg entscheidenden Funktionskriterien und sind daher auch auf eine möglichst objektive Weise zu bewerten. Aufgrund der Gefahren bei der Erzeugung von realen Auffahrunfällen werden Untersuchungen bisher hauptsächlich im Fahr-simulator durchgeführt. In diesem Artikel wird ein Mess- und Bewertungsverfahren für Antikollisions-systeme für den realen Fahrversuch mit Probanden vorgestellt. Zur Bewertung geeignet sind sowohl warnende als auch eingreifende Systeme. Mit dem Versuchsfahrzeug EVITA (Experimental Vehicle for Unexpected Target Approach) werden auf gefahrlose Weise kritisch wirkende Auf-fahrunfallsituationen erzeugt. Neben anderen Bewertungsgrößen spielt der durch die Frontalunfall-gegenmaßnahmen erreichte Geschwindigkeitsabbau die Hauptrolle für die Bewertung. Die gewon-nenen Ergebnisse lassen erstmals klare Unterschiede zwischen verschiedenen Ausprägungen von Antikollisionssystemen belegen.

Schlüsselwörter: Antikollisionssysteme, Testverfahren, Warnelemente

1 Einleitung

Bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen (FAS) sind geeignete Testmethoden für das Er-zeugen von Bewertungen erforderlich. Dabei gilt bisher, dass eine Vergrößerung der Realitätsnähe mit einer enormen Vergrößerung des Aufwands einhergeht. Die Testmethoden für in kritischen Si-tuationen unterstützende FAS müssen vor allen Dingen sicher für die beteiligten Versuchspersonen, aber auch reproduzierbar sein. Der sichere und reproduzierbare Test von Antikollisionssystemen in kritischen Situationen ist bisher eine große Herausforderung. Abbildung 1 listet gebräuchliche Testmethoden auf. Verdeutlicht werden der steigende Aufwand und die ebenso steigende Realitäts-nähe angefangen vom statischen Simulator über den dynamischen Simulator bis zum Feldversuch in Realfahrten.



Abbildung 1: Überblick über gebräuchliche Testverfahren¹

¹ König, W.: Seminarunterlagen FAS, 2003

2 Bekannte Testverfahren

Im Folgenden werden bekannte Testmethoden für das Testen von Antikollisionssystemen während Realfahrten dargestellt. Kassaagi et al.² beschreiben ein Verfahren zum Testen von Bremsassistenten (BAS) mit Probanden. Hinter einem Zugfahrzeug befindet sich ein leichter flacher Anhänger, ähnlich einem offenen Einachser mit Pritsche. Während der Folgefahrt wird der Anhänger, -überraschend für den Probanden im Folgefahrzeug, abgebremst. Durch die Reaktion des Probanden im Folgefahrzeug wird eine Kollision vermieden. Die wichtigste Bewertungsgröße ist die Kraft, mit der der Proband das Bremspedal betätigt.

DaimlerChrysler³ verwendet ein Testverfahren für Radarsysteme, bei dem an einem vorausfahrenden Fahrzeug ein seitlicher Ausleger montiert ist. Das Folgefahrzeug fährt auf dem Fahrstreifen hinter dem Ausleger. Bremst das vorausfahrende Fahrzeug, schwenkt der Ausleger bei einem Aufprall nach oben, um das Folgefahrzeug passieren zu lassen.

Beim APIA-Demonstrator (Active Passive Integration Approach, mittlerweile ContiGuard genannt) von Continental-Teves⁴ kommt das gleiche Verfahren zur Anwendung: An einem Rahmen ist ein Fahrzeugheck als Ausleger befestigt. Diese Vorrichtung klappt per Federvorspannung, ausgelöst durch einen Bediener, bei einem drohenden Aufprall nach oben.

Von Bock et al.⁵ wird ein Virtual Reality (VR) Testverfahren beschrieben. Auf dem Testgelände werden dem Fahrer die Kollisionspartner per Head-Mounted-Display (HMD) eingespielt. Das Testgelände ist zur genauen Positionsbestimmung des Fahrzeugs mit GPS-Sendern ausgestattet. Über ein System zur Bestimmung der Kopfposition im Fahrzeug und weiteren Verarbeitungseinheiten wird dem Fahrer ein künstlich erzeugtes Bild zur Überlagerung der realen Szenerie dargeboten. Das künstlich erzeugte Bild enthält die Kollisionspartner.

3 EVITA

Für in kritischen Situationen agierende FAS ist kein universell einsetzbares, einfaches Testverfahren für Realfahrten bekannt, bei dem Probanden ohne Einschränkungen eingesetzt werden können. In zwei Forschungsprojekten in Kooperation mit Honda R&D Deutschland und der Forschungsinitiative „Aktiv“ wurden verschiedene Ausprägungen von Antikollisionssystemen entwickelt und bewertet. Für die Durchführung des Entwicklungsprozesses ist eine eigene Bewertungsmethode mit einem top-down-Ansatz abgeleitet worden.

3.1. Ziele

Das Hauptentwicklungsziel bestand darin, ein Werkzeug für die Bewertung von Antikollisionssystemen im Längsverkehr zu erstellen. Die Anforderungsliste sah vor, die Bewegungsgrößen eines vorausfahrenden Fahrzeugs aus der stationären Kolonnenfahrt mit einem unerwarteten Bremsmanöver darstellen zu können. Das Risiko für die Probanden darf bei dem zu entwickelnden Testverfahren nicht höher ausfallen als bei anderen üblichen Fahrversuchsverfahren. Weiteres Ziel bei der Entwicklung von EVITA war die minimale Beeinflussung der Probanden durch das Werkzeug zu erreichen, weshalb Wert auf eine größtmögliche Übereinstimmung der Heckansicht mit einem her-

² Kassaagi, Mohamed: PSA-Bremsassistent, FISITA 2006

³ HIGHTECHREPORT, DaimlerChrysler, 2005

⁴ ATZ System Partners, APIA, 2004

⁵ Bock, Th.: Simulations- und Testumgebung für FAS, 2005

kömmlichen Personenkraftwagen gelegt wurde. Die Forderung nach der größtmöglichen Übereinstimmung der Heckansicht mit bekannten Fahrzeugen öffnet neben der Durchführung von Probandenversuchen auch die Nutzung für die Entwicklung und Bewertung von Sensorkonzepten für Antikollisionssysteme.

3.2. Lösung

Die realisierte Lösung besteht aus einer Kombination eines Zugfahrzeugs, einem Anhänger und einem auffahrenden Fahrzeug. Während einer stationären Folgefahrt bremst der Anhänger (*dummy target* genannt) für den im Versuchsfahrzeug sitzenden Probanden überraschend ab. Unabhängig davon, ob der Proband auf das Manöver rechtzeitig reagiert oder nicht, wird der Anhänger aktiv aus dem Kollisionsbereich gezogen. Abbildung 2 zeigt das Gespann.



Abbildung 2: EVITA (bestehend aus Zugfahrzeug und dummy target)

3.3. Aufbau

Im Heck des Zugfahrzeugs befindet sich eine Seilwinde mit einer reibkraftschlüssigen Windenbremse und einem Elektromotor. Der Anhänger ist mit dem Zugfahrzeug nur über das Seil der Winde verbunden. Das andere Ende des Seils ist an der Achsschenkellenkung der Vorderachse des Anhängers befestigt. Die Scheibenbremsen des Anhängers werden hydraulisch via Handbremshebel von einem Elektromotor betätigt. Im hinteren Bereich des Anhängers befindet sich das originale Heck der Mercedes A-Klasse. An diesem Heck ist ein Radarsensor befestigt. Im Zugfahrzeug und im Anhänger befinden sich Rechner, die durch Funkmodems miteinander verbunden sind. Als Grundgerüst für das dummy target dient eine Gitterrohrrahmenkonstruktion mit vier Einzelradaufhängungen eines Quads. Der große Nachlauf der Vorderachse sorgt für einen ruhigen Geradeauslauf. In einem feuchtigkeitsgeschützten Gehäuse befindet sich der lüfterlose Rechner zusammen mit dem Funkmodem, der Energieversorgung und der Bremsensteuerung. Die Bremsleuchten der Heckansicht sind funktionstüchtig. Die Gesamtmasse des dummy target beträgt 180 kg. Abbildung 3 zeigt den Aufbau des dummy target.

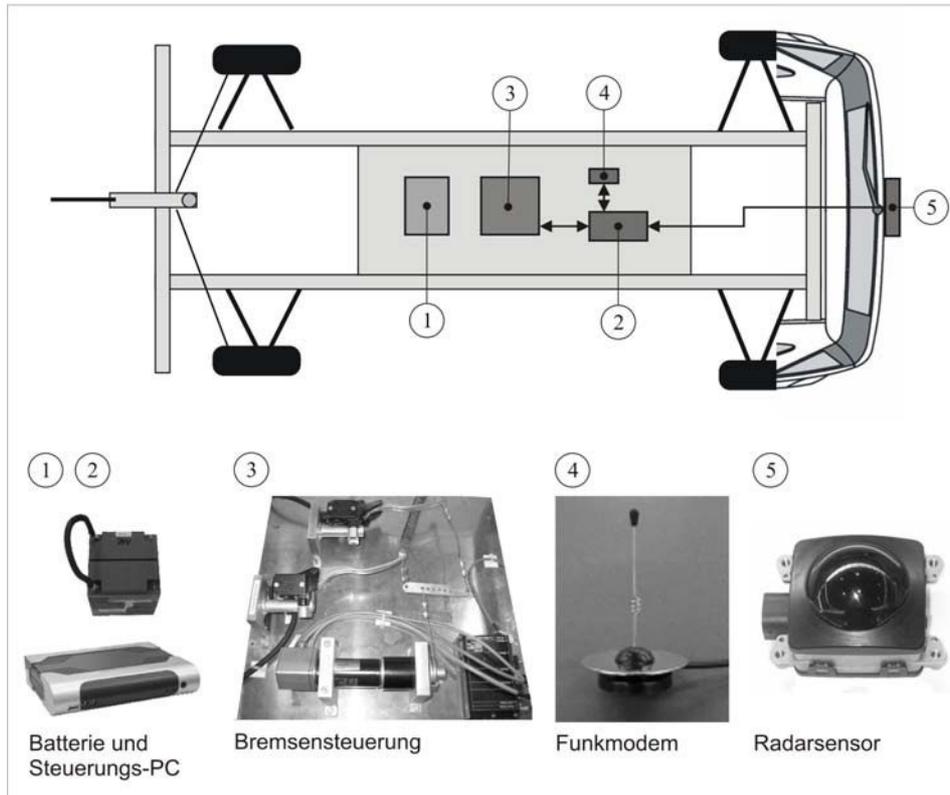


Abbildung 3: Aufbau und Komponenten dummy target

3.4. Versuchsablauf

Im Ausgangszustand ist der Anhänger hinter dem Zugfahrzeug kurzgekoppelt. Wird vom am Anhängerheck montierten, rückwärtig messenden Radar ein Fahrzeug (target object) in passendem Versuchsabstand detektiert, kann das Gesamtsystem für eine Versuchsdurchführung aktiviert werden. Ein Befehl des Bedieners im Zugfahrzeug öffnet die Bremse der Seilwinde und betätigt die Bremsen des Anhängers. Das Zugfahrzeug fährt während dieses Vorgangs mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Durch das Bremsen des dummy target wickelt sich das Seil der Winde ab. Während der Anhänger verzögert, berechnet die Verarbeitungseinheit des Abstandssensors permanent die Time-To-Collision (TTC). Die TTC ist ein aus Abstand, Relativgeschwindigkeit und Relativbeschleunigung gebildetes Kriterium. Unterschreitet die TTC einen festgelegten Wert, schließt die Seilwindenbremse im Zugfahrzeug und der Anhänger beschleunigt auf das mit konstanter Ausgangsgeschwindigkeit fahrende Zugfahrzeug. Nach der Beendigung des Versuchs bremst das gesamte Gespann bis zum Stillstand ab.

3.5. Leistungsdaten

Die im Hinblick auf eine Kollision relevanten Leistungsdaten von EVITA zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Leistungsdaten EVITA

Maximale Differenzgeschwindigkeit zwischen auffahrendem Fahrzeug und dummy target	50 km/h
Maximale Bremsverzögerung des dummy target	9 m/s ²
Kleinste TTC vor einem Versuchende	Unter 1 s
Übliche Testgeschwindigkeiten (Ausgangsgeschwindigkeit)	50 bis 80 km/h

4 Messkonzept im Versuchsfahrzeug

Ein Ziel bei der Entwicklung der Methodik lag darin, die Messung zur Güte von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen unabhängig vom Werkzeug EVITA zu machen. Zu diesem Zweck wurde das Messkonzept vollständig im Versuchsfahrzeug umgesetzt. Dieses auffahrende Versuchsfahrzeug ist mit einem Antikollisionssystem ausgestattet. Der serienmäßige Radarsensor klassifiziert die vorausfahrende EVITA als relevantes Zielobjekt. Per Gateway und CAN-Bus werden die Objektgrößen, wie beispielsweise Abstand, Relativgeschwindigkeit und Relativbeschleunigung an einen Real-Time-Rechner übermittelt. Dieser bestimmt anhand eines Algorithmus das Kriterium TTC. Über einen zweiten Rechner mit Bedienschnittstelle werden von einem Versuchsbegleiter Einstellungen vorgenommen. Dadurch ist unter anderem die Steuerung von zu untersuchenden Mensch-Maschine-Schnittstellen bzw. Aktoren für Antikollisionssysteme möglich.

Drei Kameras beobachten den Fahrer. Die erste Kamera ist auf das Vorfeld des Fahrzeugs gerichtet. Sie ermöglicht im Zusammenhang mit den Radar-Daten eine zuverlässige Interpretation der Situation. Die zweite Kamera ist vom Kombiinstrument aus auf das Gesicht des Fahrers gerichtet. Dadurch ist unter anderem eine Zuordnung der Blickrichtung des Fahrers möglich. Die dritte Kamera ist auf die Pedalerie des Fahrzeugs fokussiert. Dies ermöglicht die Analyse der Fußbewegungen des Fahrers und die Bestimmung von Aktionszeiten wie beispielsweise die Umsetzzeit vom Gaspedal auf das Bremspedal. Die Wiederholungsrate für jedes der drei Einzelbilder liegt bei 20 ms. Dasselbe Messsystem zeichnet die CAN-Daten auf, sodass eine zeitliche Zuordnung von Bildern und Signalen gegeben ist. Als CAN-Daten stehen die üblichen Fahrzeugdaten wie Geschwindigkeit, Quer- und Längsbeschleunigung, Daten des vorausfahrenden Objekts sowie Daten aus der Benutzung des Fahrzeugführers wie Lenkradwinkel, Bremspedalbetätigung und weitere zur Verfügung.

5 Gefährdungen von Versuchsteilnehmern

Zur Bestimmung potentieller Systemfehlfunktionen wurde eine System-FMEA durchgeführt und daraus Maßnahmen für den sicheren Betrieb abgeleitet. Während jeder Versuchsdurchführung laufen automatisierte Sicherheitsprüfroutinen ab. Wird ein Fehler erkannt, wird das System in einen sicheren und stabilen Zustand überführt. Das Sicherheitsniveau wird durch das automatisierte Auslösen einer Notbremsung im folgenden Versuchsfahrzeug beim Erreichen einer TTC von 0,7 s zusätzlich erhöht. Sollte eine Kollision trotz aller Vorkehrungen unvermeidbar sein, wird aufgrund der geringen Masse des dummy target kein Schaden für Versuchspersonen erwartet.

6 Bewertungsmethode

Mit EVITA liegt das Werkzeug zum Erzeugen von kritischen Unfallsituationen vor. Im Folgenden wird eine der Hauptbewertungsgrößen zur Beurteilung der Güte von Antikollisionssystemen beschrieben.

6.1. Wirksamkeit von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen

Als objektive Beurteilungsgröße für die Wirksamkeit eines Antikollisionssystems (speziell von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen) wird die Verringerung der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs vor dem Aufprall 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. Neben der objektiven Wirksamkeit wird die von den Probanden beurteilte subjektive Wirksamkeit definiert. Diese per Fragebogen ermittelte Größe wird als Vergleich zwischen verschiedenen Ausprägungen von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen durch das Bilden einer Rangfolge definiert.

6.2. Probandenversuch

Eine Erkenntnis aus In-depth-studies ist, dass viele Fahrzeugführer vor einem Auffahrunfall abgelenkt sind.⁶ 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. Durch den im Versuchsfahrzeug sitzenden Bediener wird während der Blickabwendung des Probanden die Auslösung der kritischen Auffahrsituation getriggert. Der Proband wird anschließend beim Erreichen einer vordefinierten TTC-Schwelle beispielsweise von den Warnelementen des Antikollisionssystems alarmiert.

6.3. Beurteilungszeitraum

In den durchgeführten Versuchen ist eine Streuung der Ausgangsgeschwindigkeit und des Ausgangsabstands der Fahrzeuge nicht zu vermeiden. Viele Probanden neigen zum Einstellen eines persönlichen Abstands, der einer Standardisierung des Testverfahrens jedoch entgegenstehen kann. Die Vergabe der Ablenkungsaufgabe an den Probanden kann weitere Geschwindigkeits- und Ab-

⁶ NHTSA Report 2001

standsveränderungen zur Folge haben. Aus diesen Gründen passt der Bediener von EVITA Abstand und Geschwindigkeit an die Fahrweise des hinter ihm fahrenden Probanden an. Das Kontrollinstrument für den Bediener im Zugfahrzeug ist die Darstellung der Radarsensordaten auf der Bedienerschnittstelle.

Die genannten Effekte führen zu einer Varianz der Ausgangsgeschwindigkeit im Moment des Bremsbeginns von EVITA. In den bisher durchgeführten Probandenversuchen ergab sich eine Streuung von maximal 8 km/h. Die Unterschiede in den Ausgangsgeschwindigkeiten sind gering genug um anzunehmen, dass sich für die Probanden kein unterschiedliches Fahrgefühl einstellt, welches zu einer Verzerrung des Gesamtbildes führen könnte.

Für die Beurteilung der Wirksamkeit wird ein Beurteilungszeitraum festgesetzt. Der Zeitraum beginnt mit dem Zeitpunkt des Auslösens einer Warnung oder eines Fahrzeugeingriffs. Der Beurteilungszeitraum endet zum Zeitpunkt eines gedachten, ungebremsten Aufpralls des Versuchsfahrzeugs auf das vorausfahrende, ununterbrochen bremsende dummy target. Dieser Aufprall ist „gedacht“, da von EVITA automatisch eine Kollision vermieden wird. Der Endzeitpunkt wird in Abhängigkeit des TTC-Algorithmus und der Auslöseschwelle in einem ungebremsten Eichversuch ohne Proband bestimmt. Für eine typische Warnung mit dem TTC-Algorithmus beträgt der Betrachtungszeitraum 2 s. Die Warnschwelle wurde unter Kenntnis von Warnzeitpunkten bekannter Frontalkollisionsgegenmaßnahmen definiert.^{7,8} So können Warnelemente sowohl miteinander als auch mit autonomen Bremsingriffen verglichen werden.

Zur Bestimmung der Wirksamkeit wird die Geschwindigkeit des Probandenfahrzeugs zu Beginn und am Ende des Beurteilungszeitraums gemessen und die Geschwindigkeitsdifferenz Δv gebildet. Somit ist das Hauptbewertungskriterium definiert. Es werden weitere zeitliche Kriterien wie unterschiedliche Reaktionszeiten des Fahrers festgelegt um eine Charakterisierung von Antikollisionsystemen zu erreichen. In der Literatur gibt es zahlreiche Angaben zur Bestimmung des Fahrerverhaltens in Gefahrensituationen. Dazu geben Bäumler⁹ und Krause¹⁰ einen Überblick. Die in diesem Kontext verwendete Festlegung von Reaktionszeiten lehnt sich an die für die Versuchsverhältnisse allgemeingültige Definition von Burckhardt¹¹, bzw. Zomoter¹² an. Unter dem Begriff Reaktionszeit werden viele Einzelkriterien subsumiert. Abbildung 4 zeigt schematisiert den Geschwindigkeitsverlauf des Versuchsfahrzeugs über der Zeit, den Beurteilungszeitraum sowie zeitliche Bewertungskriterien.

⁷ Siehe beispielsweise Kodaka, Kenji: Honda Rear-End Collision Velocity Reducing System, 2003

⁸ Siehe beispielsweise Steiner, M.: S-Klasse von Mercedes-Benz, 2005

⁹ Bäumler, Hans: Reaktionszeiten im Straßenverkehr, 2007

¹⁰ Krause, Ralf: Mensch und Bremse in Notbremssituationen, 2007

¹¹ Burckhardt, M.: Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen, 1985

¹² Zomoter, A.: Fahrwerktechnik – Fahrverhalten, 1987

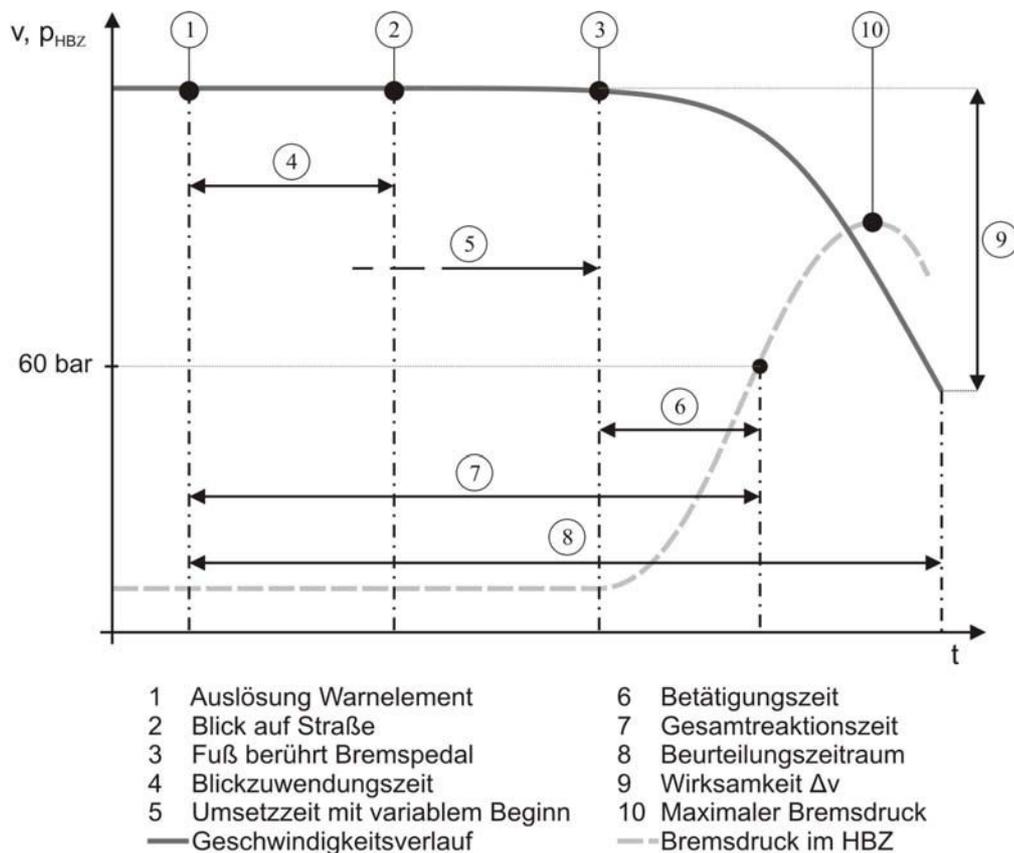


Abbildung 4: Idealisierter Versuchsablauf als Geschwindigkeitsverlauf über der Zeit des Versuchsfahrzeugs mit zeitlichen Bewertungskriterien

Im Versuch erfolgen zunächst die Ablenkung des Probanden und die Bremsung des dummy target, welche im Diagramm nicht dargestellt sind. Beim Erreichen der Auslöseschwelle wird beispielsweise eine Alarmierung des Fahrers ausgegeben oder ein sonstiger Eingriff. Typischerweise folgen dann eine 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 Bremspedaldrucks für eine ABS-geregelte Vollverzögerung bei hohem Reibwert zwischen Reifen und Straße, sodass eine Verzögerung von 10 m/s^2 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.

Tabelle 2 fassten die Bewertungskriterien zusammen.

Tabelle 2: Bewertungskriterien

Objektive Wirksamkeit	Geschwindigkeitsänderung Δv des Ego-Fahrzeugs im Beurteilungszeitraum
	Bestimmt aus den Daten eines Geschwindigkeitsmessers im auffahrenden Versuchsfahrzeug
Blickzuwendungszeit	Zeitdauer vom Zeitpunkt der Warnung bis zum Blick auf die Straße
	Bestimmt aus den Daten der Kamera auf das Gesicht des Fahrers
Umsetzzeit	Zeitdauer von der ersten Bewegung des Fußes vom Gaspedal bis zum ersten Kontakt mit dem Bremspedal
	Bestimmt aus den Daten der Fußraumkamera
Betätigungszeit	Zeitdauer vom ersten Kontakt des Fußes mit dem Bremspedal bis zum Erreichen eines Bremspedaldrucks von 60 bar
	Bestimmt aus den Daten der Fußraumkamera und einem Drucksensor am Hauptbremszylinder
Störungsmaß	Geschwindigkeitsänderung Δv des Ego-Fahrzeugs vom Beginn einer Fehlwarnung (ohne Kollisionsgefahr)
	Bestimmt aus den Daten eines Geschwindigkeitsmessers im Versuchsfahrzeug
Subjektive Wirksamkeit	Probandenbeurteiltes Maß für die Höhe einer kollisionsvermeidenden Wirkung eines Warnelements
	Bestimmt per Fragebogen als Rangfolge verschiedener Ausprägungen von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen (Häufigkeit der Präferenz für Platz 1)
Subjektive Verzeihlichkeit	Probandenbeurteiltes Maß eines Warnelements bei einer Fehlwarnung/nicht-berechtigten Warnung
	Bestimmt per Fragebogen als Rangfolge verschiedener Ausprägungen von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen (Häufigkeit der Präferenz für Platz 1)

6.4. Vergleiche von Antikollisionssystemen

Das einheitliche Bewertungsverfahren ist Grundlage für den Vergleich verschiedener Ausprägungen von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen. Für die Bewertung werden mit einem entsprechend geteilten Kollektiv von Probanden Testfahrten unter Berücksichtigung verschiedener Ausprägungen durchgeführt. Der Vergleich der über alle Probanden gemittelten Geschwindigkeitsreduktionen im Beurteilungszeitraum gibt die Wirksamkeit der Varianten wieder.

Eine Beurteilung der absoluten Wirksamkeit eines Antikollisionssystems ist durch die Verwendung einer sogenannten Baseline zu erreichen. Dabei wird ein Teil des Probandenkollektivs ohne einen Eingriff des Antikollisionssystems mit der kritischen Situation konfrontiert und beispielsweise die Geschwindigkeitsdifferenz bestimmt.

Für die Bewertung der Wirksamkeit des Antikollisionssystems ist nur der erste Versuch des Probanden eine unbeeinflusste Basis. Bei allen weiteren Versuchen hat der Proband trotz einer lücken-

haften Vorinformation über den eigentlichen Zweck der Versuche den Versuchsgegenstand einer überraschenden Notsituation verstanden, er gilt als voreingenommen. Der Bewertung der Akzeptanz durch den Fahrer kommt bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen mittlerweile eine große Beachtung zu.¹³ Die weiteren Versuche nach der ersten Notsituation eignen sich zum Erzeugen weiterer Erkenntnisse, wie etwa der Umgang mit Fehlwarnungen oder die vergleichende Probandeneinschätzungen zu Varianten von Antikollisionssystemen. Die Einschätzung von Probanden zur erlebten Situation und zur Bewertung von Fahrerwarnelementen wird mit Fragebögen abgefragt. Aus der Auswertung dieser Fragebögen werden Hinweise zur Gestaltung von Fahrerwarnelementen gezogen.

7 Ergebnisse

Es wurden umfangreiche Versuche mit einer Anzahl von rund 250 Probanden durchgeführt. Die Auswertung der Versuche zeigt, dass sich bei gewöhnlicher Folgefahrt keine Auffälligkeiten im Fahrverhalten der Probanden erkennen lassen, die auf den Versuchsaufbau zurückzuführen sind. Bestätigt wird diese Erkenntnis durch die per Fragebögen erhobene Einschätzung der Probanden. Somit ist das Ziel, keine negative Beeinflussung der Probanden durch den Versuchsaufbau zu erhalten, erreicht.

Exemplarisch vorgestellt werden Ergebnisse der Warnelemente:

1. auditory icon Reifenquietschen,
2. Sitzvibration mit Symboldarstellung
3. und Bremsruck.

Diese Warnelemente werden einem Versuch ohne Warnung und ohne Eingriff gegenübergestellt („Baseline“ oder „BL“). Alle Warnelemente im Versuchsfahrzeug wurden 2 s vor einer drohenden Kollision aktiviert (siehe „Beurteilungszeitraum“).

Das begriffliche Geräusch („auditory icon“) Reifenquietschen wird über einen mittig im Armaturenbrett angeordneten Lautsprecher eingespielt (Versuchsreihe „Sound“). Die Lautstärke am Kopf des Fahrers beträgt 90 dB(A), die Dauer 0,95 s. Weitere Hinweise zu auditory icons finden sich bei Graham und Fricke.^{14,15}

Ein mittig unter dem Fahrersitz angeordneter E-Motor mit einer Unwucht sorgt für eine Sitzvibration, ein oberhalb des Kombiinstrumentes angebrachter Bildschirm stellt das blinkende rote Symbol dar (Versuchsreihe „Seat & Symbol“, „S&S“). Die Größe des Symbols beträgt 75 x 50 mm.

Der Bremsruck ist als Beschleunigungs-Rampe über eine Zeitdauer von 0,5 s mit einem kurzzeitigen Maximum bei 5 m/s² realisiert (Versuchsreihe „Jerk“).

Die Darstellung 5 zeigt die im Fahrversuch bestimmte Wirksamkeit der getesteten Warnelemente im ersten Versuch. Bestimmt wird die Geschwindigkeitsreduktion des Ego-Fahrzeugs im Beurteilungszeitraum während der ersten Notbremssituation.

¹³ Bubb, Heiner: Fahrversuche mit Probanden, 2003

¹⁴ Graham, Robert: auditory icons as emergency warnings, 1999

¹⁵ Fricke, N.: Semantik von Warnmeldungen, 2006

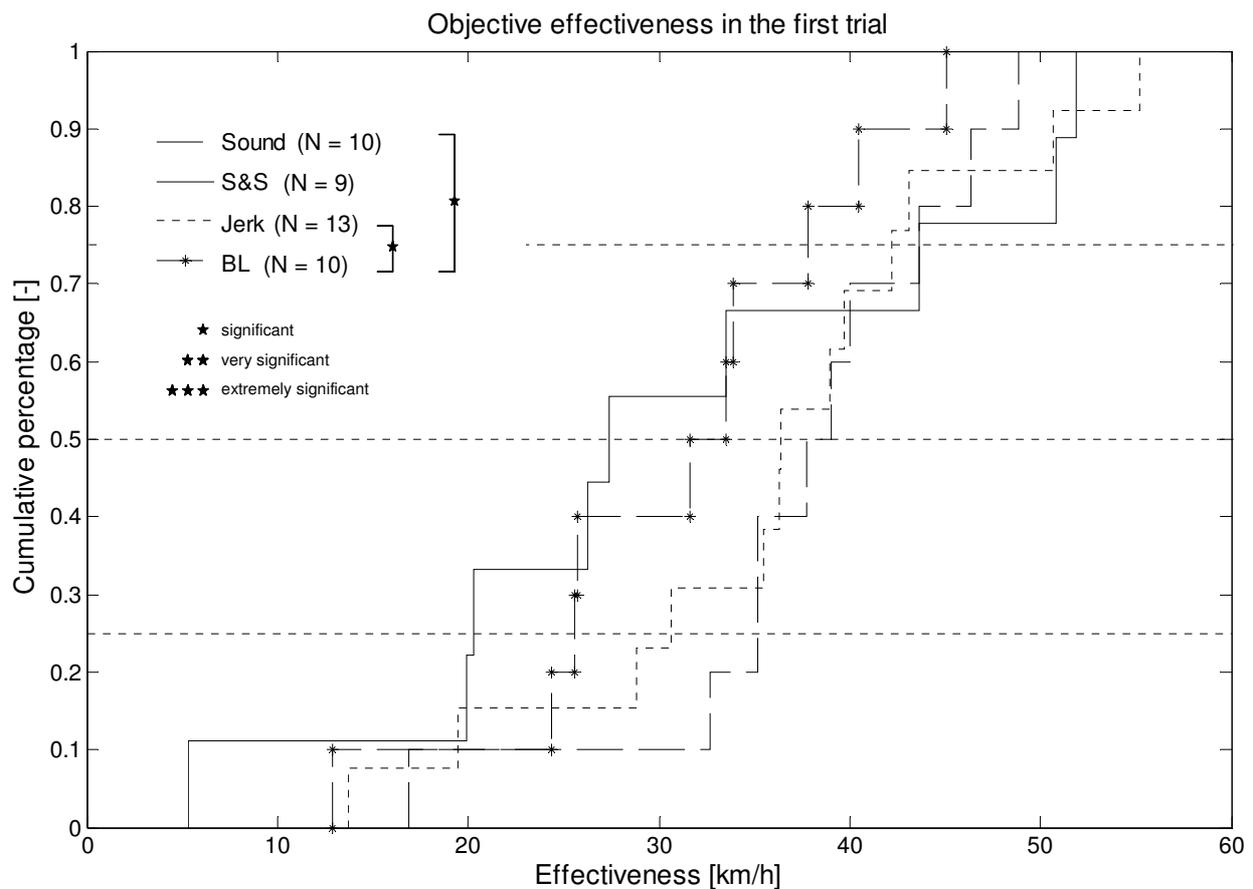


Abbildung 5: Kumulierte Häufigkeit der Wirksamkeit im ersten Versuch

Aufgetragen ist die kumulierte Häufigkeit (cumulative percentage) gegenüber der Wirksamkeit (effectiveness). Die Grenzen der mittleren 50% sind als horizontale Hilfslinien angegeben und entsprechen den Grenzen eines Boxplots (Grenze bei 25% und 75%). Der Buchstabe N kennzeichnet die Anzahl der Versuche. Die Sterne beschreiben die Signifikanzen zwischen den Warnelementen. Je weiter rechts eine Kurve liegt, desto wirksamer ist das Warnelement.

Ersichtlich ist die Unterscheidbarkeit zwischen den Gruppen „Sitzvibration & Symbol“ mit „Baseline“ gegenüber „Bremsruck und Sound“. „Sitzvibration mit Symbol“ weist aus statistischer Sicht keinen signifikanten Unterschied gegenüber einem Vergleichsversuch ohne Warnung auf („Baseline“). Die Verläufe von „Bremsruck“ und „Sound“ ähneln sich, beide sind statistisch nicht unterscheidbar. Beide Warnelemente weisen bezüglich der Wirksamkeit einen signifikanten Unterschied zur Baseline auf.

Ein Merkmalsdiagramm eignet sich für die vergleichende Darstellung unterschiedlicher Kriterien, welche in Abbildung 6 zusammengefasst sind.

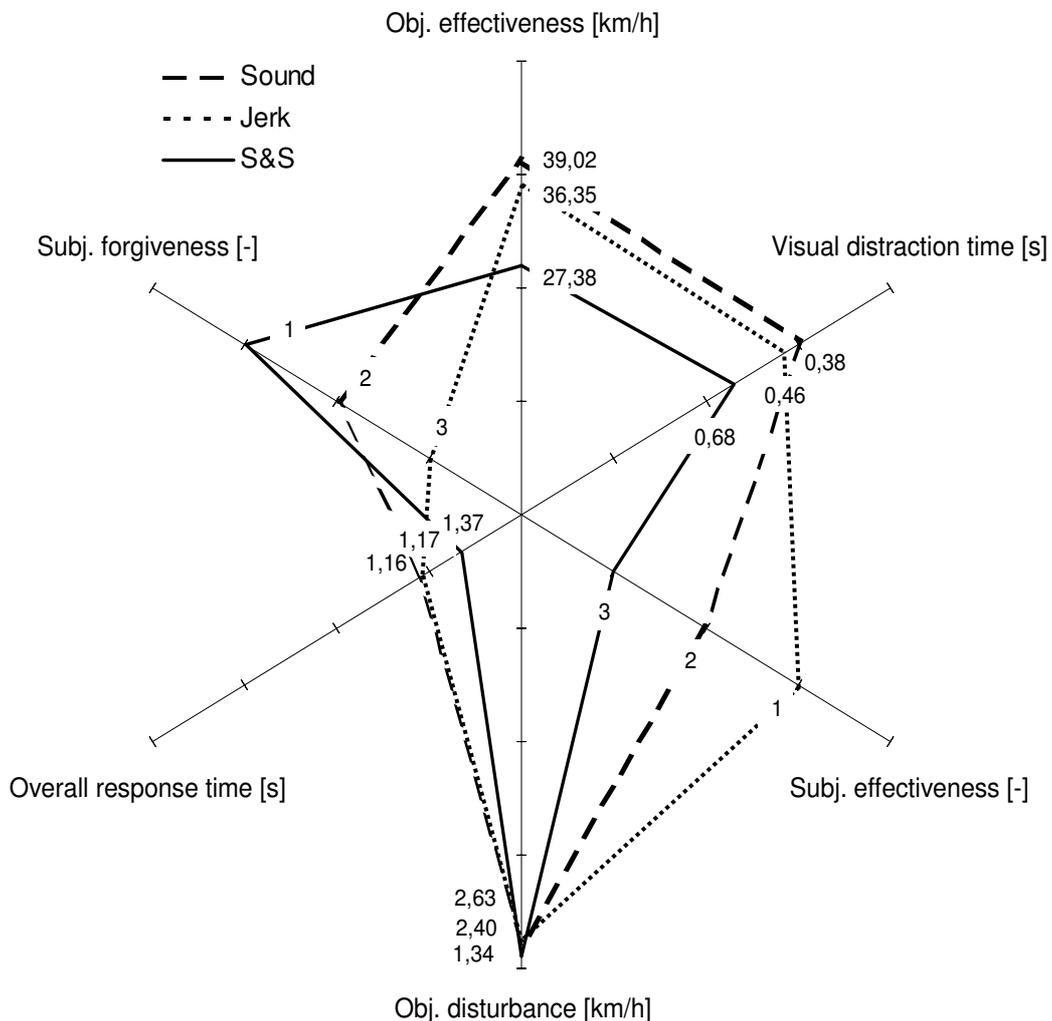


Abbildung 6: Merkmalsdiagramm der Warnelemente

Aufgetragen sind die Mediane der Bewertungskriterien Wirksamkeit (objective effectiveness), Blickzuwendungszeit (visual distraction time), subjektive Wirksamkeit (subjective effectiveness), Störungsmaß (objective disturbance), Gesamtreaktionszeit (overall response time) und subjektive Verzeihlichkeit (subjective forgiveness). Je weiter ein Wert vom Zentrum (Schnittpunkt der Achsen) entfernt liegt, desto besser ist das Kriterium erfüllt.

Auf Grundlage des Merkmalsdiagramms können gewichtete Bewertungen für das Erzeugen von Empfehlungen festgelegt werden. So können beispielsweise die objektive Wirksamkeit und die subjektive Verzeihlichkeit sehr hoch gewichtet werden. In diesem Sinne erfolgt eine Empfehlung für das Warnelement „Sound“, da sowohl die objektive Wirksamkeit als auch die subjektive Verzeihlichkeit größer sind als beim Warnelement „Jerk“. Das Warnelement „Seat & Symbol“ hat eine geringe Wirksamkeit aber auch eine hohe Verzeihlichkeit.

8 Fazit

Das Darmstädter EVITA Test- und Bewertungsverfahren wurde entwickelt und vorgestellt. Mit dem Bewertungswerkzeug EVITA können erstmals auch extreme dynamische Vorgänge (Vollbremsmanöver) im realen Fahrversuch mit unvorbereiteten Probanden bis zu einer minimalen TTC von unter einer Sekunde dargestellt werden. Das Verfahren ist durch mehr als 1500 Versuche ohne Fehlfunktion validiert.

Durch die Definition der Bewertungskriterien wurde eine klare Differenzierung verschiedener Frontalkollisionsgegenmaßnahmen erreicht. Exemplarisch dafür stehen die Ergebnisse der drei Warn-elemente Reifenquietschen, Bremsruck und Sitzvibration & Symbol. Es steht damit ein objektives Bewertungsverfahren unter Einbeziehung des Fahrers zur Entwicklung von Antikollisionssystemen zur Verfügung.

9 Literatur

ATZ System Partners: [APIA]

APIA-Demonstrator von Continental Teves, 2003, Seite 30

Bäumler, Hans: [Reaktionszeiten im Straßenverkehr]

Reaktionszeiten im Straßenverkehr; VKU (Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik), Vieweg- Verlag, Ausgaben 11/2007, 12/2007, 1/2008

Bock, Th.: [Simulations- und Testumgebung für FAS]

K.-H. Siedersberger, M. Zavrel, A. Breu, M. Maurer: Simulations- und Testumgebung für Fahrerassistenzsysteme, VDI-Berichte Nr. 1900, 2005

Bubb, Heiner: [Fahrversuche mit Probanden]

Fahrversuche mit Probanden – Nutzwert und Risiko, Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug, Darmstadt, 2003

Burckhardt, M.: [Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen]

Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen; Fahrzeugtechnische Schriftreihe, Verlag TÜV Rheinland, 1985

Graham, Robert: [auditory icons as emergency warnings]

Use of auditory icons as emergency warnings, Ergonomics, 1999, Vol. 42, No. 9 Seite 1233 ff

Fricke, N.: [Semantik von Warnmeldungen]

Zur Gestaltung der Semantik von Warnmeldungen, VDI-Berichte 1960, 2006, S. 133 ff

HIGHTECHREPORT: [DaimlerChrysler]

Werkzeug von DaimlerChrysler, 1/2005, Seiten 56, 57

Kassaagi, Mohamed: [PSA-Bremsassistent]

Bousslimi, Wajih; Val, Clément; Bersac, Jean-Marc; Moessinger, Michèle; Page, Yves; Laboratory of Accidentology, Biomechanics and studies of human behavior, PSA: Effectiveness of Emergency Brake Assist in Rear-End Accident Scenarios, FISITA 2006 (F2006D062), Seiten 3,5

Kodaka, Kenji: [Honda Rear-End Collision Velocity Reducing System]

Otabe, Makoto; Urai, Yoshihiro; Koike, Hiroyuki: Rear-End Collision Velocity Reducing System, SAE 2003-01-0503, März 2003

König, W.: [Seminarunterlagen Fahrerassistenzsysteme]

Seminarunterlagen Fahrerassistenzsysteme, TU Darmstadt, 2003

Krause, Ralf: [Mensch und Bremse in Notbremsituationen]

Nils de Vries, Wolf-Christoph Friebe: Mensch und Bremse in Notbremsituationen; VKU (Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik), Ausgabe Juni 2007

NHTSA: [Report]
NHTSA Report 2001

Steiner, M.: [S-Klasse von Mercedes-Benz]

Baumann, M.; Regensburger, U.; Schmid, V.; Hämmerling, C.; Seekircher, J.; Reichmann, M.; Kiese-
wetter, W.: Fahrdynamikregelsystem und Fahrerassistenzsysteme, ATZ / MTZ Sonderheft: Die
neue S-Klasse von Mercedes-Benz, 2005, S. 88

Zomoter, A.: [Fahrwerktechnik – Fahrverhalten]

Fahrwerktechnik - Fahrverhalten; Würzburg, Vogel, 1987