

Aktive Gefahrenbremsungen – wie reagiert das Fahrer-Fahrzeug-System?

Ein Ansatz zur Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr ist die Unterstützung des Fahrers durch Aktive Gefahrenbremsungen. Zur Beurteilung des Verhaltens von Fahrern arbeitete ein interdisziplinäres Wissenschaftlerteam der TU Darmstadt im Auftrag von sechs Industriepartnern (Audi, Bosch, BMW, Continental, MAN, Opel) im Rahmen der Forschungsinitiative „Aktiv“ (Adaptive und kooperative Technologien für den intelligenten Verkehr) [6], die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert wird.



Vorspannbild

1 Einleitung

Die Sicherheit im Straßenverkehr konnte in den letzten 35 Jahren erheblich verbessert werden. Zunächst war der Erfolg größtenteils auf passive Sicherheitsmaßnahmen, also zur Reduktion der Unfallfolgen zurückzuführen. Diese Technik erreicht langsam die Grenzen ihres Sicherheitspotentials. Somit konzentriert sich die Weiterentwicklung der Fahrzeugsicherheit auf Maßnahmen zur Unfallvermeidung und/oder Unfallablaufbeeinflussung. Mit der Einführung von elektronischen Stabilisierungssystemen und dem Bremsassistenten konnten schon bemerkenswerte Erfolge erzielt werden [2]. Die nächste Generation Sicherheitssysteme nutzt Umfeld erfassende Sensoren, um noch vor dem Unfall Maßnahmen zur Verhinderung der Kollision oder zur Reduktion der Aufprallenergie einzuleiten. Wie in mehreren Unfallanalysen [4] gezeigt wurde, unterbleibt in etwa der Hälfte der schweren Auffahrunfälle die Bremsung. Somit liegt es nahe, Systeme zu entwickeln, die aktiv die Bremsung einleiten, wenn eine hohe Unfallgefahr besteht. Diese Aktion ist oftmals eingebettet in eine Gesamtstrategie mit mehreren vorher ausgelösten Maßnahmen zur Warnung und zur Vorbereitung der Bremsanlage und des Bremsassistenten sowie einer parallel dazu erfolgenden Vorbereitung für verbesserten Insassenschutz. Die im Mittelpunkt dieser Untersuchung stehende Aktive Gefahrenbremsung (AGB) wird als Einzelmaßnahme bewertet, auch deshalb weil nicht davon ausgegangen werden kann, dass in sehr kritischen Situationen eine rechtzeitige Warnung vorausgehen wird.

2 Untersuchungsziele

Obwohl die Vermutung plausibel erscheint, dass eine AGB eine verbesserte Sicherheitswirkung haben wird, wurde dies bisher nicht in Realfahrversuchen nachgewiesen. Weiterhin waren die Auswirkungen von nicht erwartungskonformen Systemeingriffen unbekannt. Im Rahmen dieser Studie wurden die Wirkungen von zwei Varianten der Aktiven Gefahrenbremsung mit unterschiedlichen Eingriffsstärken im Vergleich zur Situation ohne AGB-Unterstützung (Baseline) untersucht:

- Vollverzögerung (AGB Voll)
- Teilverzögerung (AGB Teil)
- Baseline (BL)

Gegenüber vorausgehenden Fahrerverhaltensstudien [1] wurden hier erstmals auch unberechtigte Systemeingriffe untersucht, also unvermittelte AGB-Auslösungen ohne Kollisionsgefahr. Im Fokus standen drei Varianten, deren Parameter in Tabelle 1 aufgeführt sind:

- AGB Voll in den Stand
- AGB Voll mit Lösen
- AGB Teil mit Lösen

Die Systemaktionen bei berechtigtem Eingriff entsprachen den Fehlauflösungsvarianten mit Lösen.

Tabelle 1: Untersuchte AGB- und Fehlauflösungsvarianten

	AGB Teil mit Lösen		AGB Voll mit Lösen		AGB Voll i.d. Stand	
	Pkw	Lkw	Pkw	Lkw	Pkw	Lkw
Verzögerungs-Sollvorgabe [m/s²]	6	4	10	7	10	7
Max. Verzögerung [m/s²]	7,0	3,9	9,8	8,0	9,9	8,1
Mittlerer Verzögerungsaufbau [m/s³]	12	31	12	56	10	58
Mittlerer Verzögerungsabbau [m/s³]	-42	-25	-48	-25	-	-
Zeitdauer des Eingriffs [s]	1,3					
TTC bei berechtigtem Eingriff [s]	2,0					

3 Methodik

Zur Untersuchung der AGB wurde das Darmstädter Verfahren mit EVITA (Experimental Vehicle for Unexpected Target Approach) eingesetzt [3, 5], das im Unterschied zu anderen Fahrversuchsuntersuchungen zu Antikollisionssystemen 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 auf-fahrenden, 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 Zug-fahrzeug befindlichen Seilwinde aus dem Kollisionsbereich gezogen.



Bild 1: Das Darmstädter Test- und Bewertungsverfahren EVITA [3]
Figure 1: The Darmstadt Test- and Evaluation Method EVITA [3]

Für die Bewertung der Wirksamkeit und des Störungsmaßes wird ein Beurteilungszeitraum von 2,0s Dauer definiert, der mit dem AGB-Eingriff beginnt. Da durch EVITA eine Kollision automatisch vermieden wird, ist der Verlauf bis zum gedachten Aufprall auf das ununterbrochen bremsende Dummy Target fiktiv. Der Geschwindigkeitsverlauf des Probandenfahrzeuges wird nach dem Fahrereingriff ab Beginn der ABS-Regelung durch eine Vollverzögerung extrapoliert, da davon auszugehen ist, dass der Fahrer bei einem weiterhin bremsenden Dummy Target ebenfalls voll verzögert haben würde. Zur Berechnung der Größen wird die Geschwindigkeitsdifferenz Δv zwischen der Messung zu Beginn und der Extrapolation am Ende des Beurteilungszeitraums gebildet.

4 Versuchsdurchführung

4.1 Probanden

Um Aussagen über den Einfluss des Fahreralters treffen zu können, wurden die Pkw-Versuche mit 60 Probanden (m/w) aus zwei Altersklassen vorgenommen (25 - 40, Ø 30 Jahre und 50 und 65, Ø 59 Jahre). Es wurden drei Versuchsreihen durchgeführt, in denen je 20 Probanden die Varianten AGB Voll, AGB Teil und Baseline als ersten Versuch erlebten. Mit dem Lkw wurden 30 Probandenversuche (19 - 58, Ø 37 Jahre, mehrheitlich Berufskraftfahrer) durchgeführt.

4.2 Versuchsstrecke

Die Fahrversuche fanden auf dem universitätseigenen Testgelände August-Euler-Flugplatz statt. Die in Bild 2 dargestellte Pylonengasse zwingt den Fahrer des AGB-Fahrzeuges dazu, EVITA in gleicher Spur ohne nennenswerten lateralen Versatz zu folgen. Das Schaumstofffahrzeug rechts wurde als „Alibi-Ziel“ für eine Fehlauflösung aufgestellt.



Bild 2: Versuchsstrecke
Figure 2: Testtrack

4.3 Fahrauftrag

Die Probanden sollten der vorausfahrenden EVITA mit einer Geschwindigkeit von 60km/h im Abstand von 20-25m folgen (Bild 3 links). Als Nebenaufgabe waren einzelne Zeilen aus einer Wegbeschreibung abzulesen (Bild 3 rechts).



Bild 3: Haupt- (links) und Nebenaufgabe (rechts)
Figure 3: Primary (left) and secondary (right) task

5 Ergebnisse

5.1 Wirksamkeit

Bild 4 zeigt die Wirksamkeit im Pkw für die untersuchten AGB-Varianten im Vergleich zu BL. Beide AGB-Varianten weisen jeweils höchstsignifikant höhere Wirksamkeiten im Vergleich zu BL auf, zeigen untereinander aber nur geringe Unterschiede. Im BL-Versuch können die Fahrer nur durch Kontrollblicke nach vorne wahrnehmen, dass Kollisionsgefahr droht. Somit hängt die Erstwahrnehmung der Gefahr hauptsächlich von der Häufigkeit und den Zeitpunkten der Kontrollblicke ab. Im Anschluss müssen die Fahrer die Gefahr als solche wahrnehmen und die Entscheidung zur Reaktion treffen, den Fuß zum Bremspedal umsetzen und die Bremsung einleiten. Mit Unterstützung durch die AGB hingegen werden die Fahrer auf die drohende Kollision durch einen Bremseneingriff aufmerksam gemacht. Darüber hinaus müssen die Fahrer die Situation nicht erst verarbeiten und die Bremsung einleiten, da die Systeme dies automatisch übernehmen.

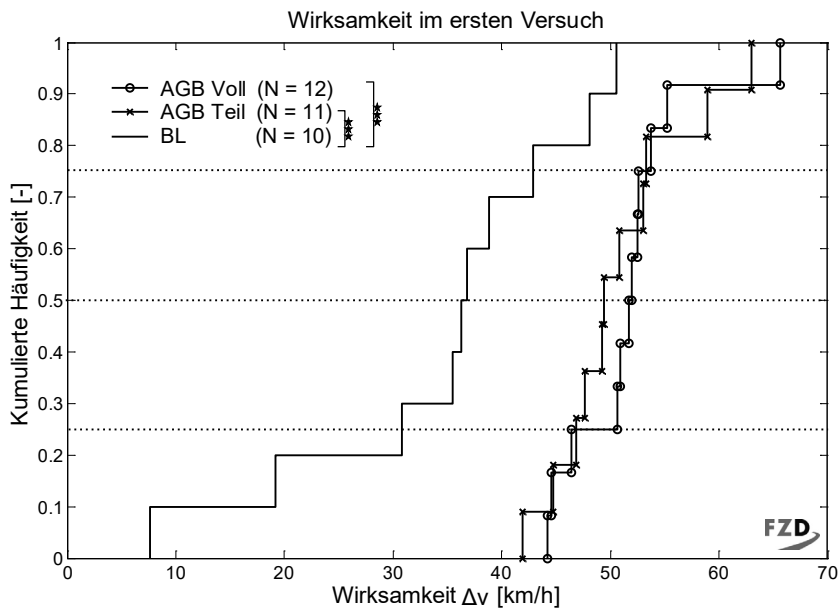


Bild 4: Kumulierte Häufigkeit der Wirksamkeit im ersten Versuch (Pkw)
 Figure 4: Cumulated percentage of the Effectiveness in the first trial (Passenger Car)

Obgleich anzunehmen wäre, dass die höhere Vollverzögerung zu einer höheren Wirksamkeit führen sollte, kann dies mit den in Bild 4 gezeigten Ergebnissen nicht belegt werden. Ursache hierfür ist, dass im Pkw-Versuchsträger der Verzögerungsaufbau beider Varianten mit nahezu gleichem Gradienten erfolgt und sich die AGB-Voll frühestens etwa 800ms nach Beginn durch höhere Verzögerung von AGB-Teil trennt. Da die meisten Fahrer sehr früh die AGB-Bremsungen durch selbstständiges Bremsen übersteuern, kann eine so späte Vollverzögerung keinen nachweisbaren Wirksamkeitserfolg mehr erzielen. Dieser könnte aber z.B. durch einen schnelleren Verzögerungsaufbau zu Beginn des Bremseneingriffs realisiert werden. So kann mit einem ideal schnellen Vollbremseneingriff rechnerisch eine Geschwindigkeitsreduktion von $20 \text{ m/s} = 72 \text{ km/h}$ vorhergesagt werden.

In Bild 5 sind die Wirksamkeiten im Lkw-Versuch dargestellt. Im Gegensatz zum Pkw wird hier mindestens auf dem Niveau hochsignifikant eine Wirksamkeitsrangfolge gebildet: AGB Voll > AGB Teil > BL. Beide AGB-Varianten sind hinsichtlich der Wirksamkeit der Baseline weit überlegen. Allerdings wird im Lkw nun eine höhere Wirksamkeit für AGB Voll gefunden als für AGB Teil. In diesem Fahrzeug kommt ein sehr dynamisches elektro-pneumatisches Bremssystem mit Druckspeicher zum Einsatz, das es der Variante „Voll“ ermöglicht, bereits 300ms nach Beginn eine höhere Verzögerung aufzubauen als in der Teilverzögerungsvariante. Den Probanden gelingt frühestens nach 500ms durch eigene Bremsstätigkeit das System zu übersteuern, wodurch der Vorteil der Vollverzögerungsvariante zu erklären ist.

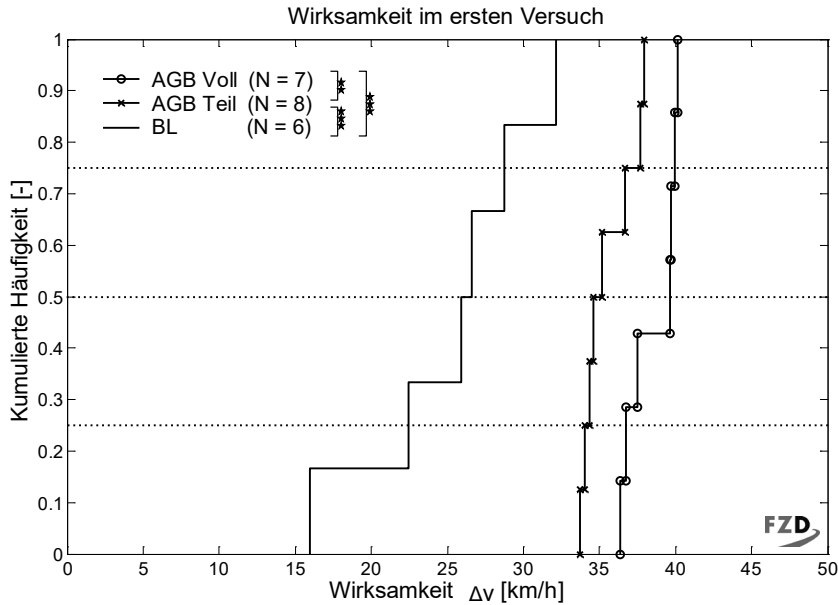


Bild 5: Kumulierte Häufigkeit der Wirksamkeit im ersten Versuch (Lkw)
 Figure 5: Cumulated percentage of the Effectiveness in the first trial (Truck)

5.2 Fahrerbeurteilte Wirksamkeit

Neben der objektiven Wirksamkeit wurde die subjektive Wahrnehmung der AGB-Varianten durch die Fahrer in der Befragung im Anschluss an die Versuchsfahrten erfasst. Diese beurteilten die Wirksamkeit der unterschiedlichen Bremsungen, ohne dass ihnen die AGB-Variante bekannt war.

Die Probanden bewerten die Wirksamkeit der eingesetzten aktiven Gefahrenbremsungen mehrheitlich als „wirksam“ oder „sehr wirksam“ (Bild 6). Hinsichtlich der Beurteilung der AGB-Varianten ergaben sich keine signifikanten Unterschiede der Bewertungen. Diese Ergebnisse verdeutlichen zum einen, dass die Höhe der Wirksamkeit der Voll- und der Teilverzögerung für die Probanden kaum zu unterscheiden ist. Weiterhin sind sie ein Indiz dafür, dass die AGB, unabhängig den untersuchten Varianten, vom Fahrer als Unterstützung wahrgenommen wird.

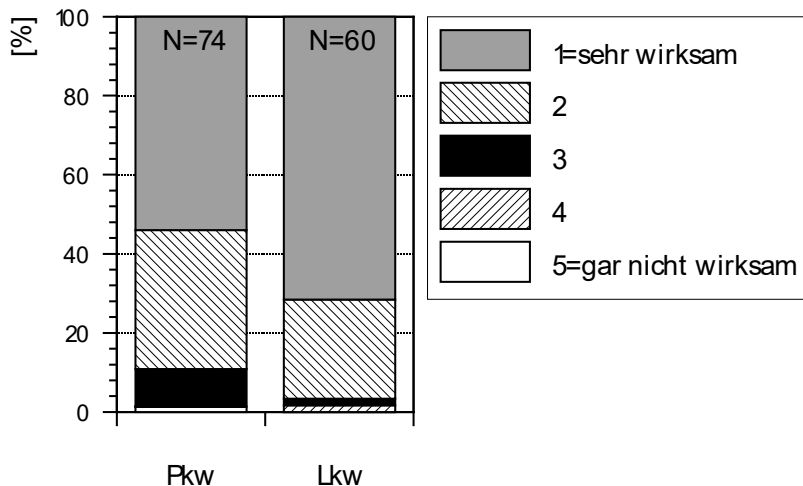


Bild 6: Fahrerbeurteilte Wirksamkeit von AGB-Eingriffen (2 Versuchsreihen, 2 Fahrten)
 Figure 6: Driver assessment of the effectiveness of AHB interventions (2 test series, two journeys)

5.3 Störungsmaß

Das Störungsmaß Δv wird analog zur Wirksamkeit definiert.

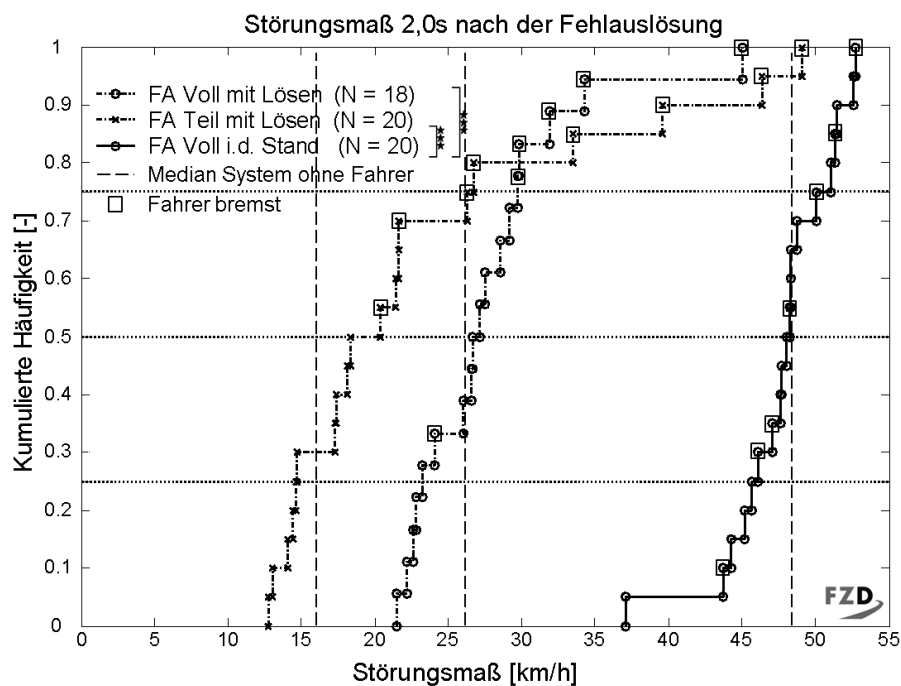


Bild 7: Kumulierte Häufigkeit des Störungsmaßes (Pkw)
Figure 7: Cumulated percentage of the Disturbance (Passenger Car)

In Bild 7 sind die Störungsmaße aus den Pkw-Versuchen aufgetragen. Die senkrechten Strichlinien geben für jede Fehlauflösungsvariante den Median aus denjenigen Versuchen an, in denen die Probanden nicht gebremst haben. Dieser stellt damit den jeweils zu erwartenden Mittelwert der reinen Systemreaktion ohne Fahrereingriff dar. Die quadratischen Boxen um einzelne Messwerte zeigen einen Bremseneingriff des Fahrers an, ohne dessen Höhe im Vergleich zur Systemaktion zu werten. Die Streuungen des Störungsmaßes ohne Fahrereingriff werden durch Variationen des Reibwerts während der Versuchskampagne und der Variation des Bremsdruckaufbaus verursacht. Letztere ist typisch für ESP-Pumpen mit nur einem Hubkolben pro Bremskreis.

Es zeigt sich ein höchstsignifikanter Unterschied der Vollverzögerung in den Stand gegenüber den Varianten mit Lösen. Im Unterschied zum Versuch mit berechtigter Auslösung verstärken nur wenige Probanden die AGB durch eigene Bremsung. Die meisten Probanden erkennen die fehlerhafte Auslösung, wodurch das Störungsmaß eines Großteils der Verzögerungen mit Lösen nur bei etwa einem Viertel der Probanden zu einer Erhöhung führt. Eine Vollverzögerung in den Stand erhöht das Störungsmaß erheblich.

Bild 8 zeigt die Störungsmaße aus dem Lkw-Versuch. Aufgrund der höheren Dynamik des Bremseneingriffs ist der Unterschied zwischen Voll- und Teilbremsung (beide mit Lösen) deutlicher, so dass eine klare Störungsmaßrangfolge gebildet werden kann:

FA Voll in den Stand > FA Voll mit Lösen > FA Teil mit Lösen

Die dargestellten Bremspedalbetätigungen zeigen im Lkw-Versuch eine Korrelation zwischen Häufigkeit der Bremsbetätigung und zunehmender Heftigkeit der Fehlauflösungsvariante. Während nur drei von sechs Fahrern bei der Teilverzögerungsfehlauslösung selbst bremsen, betätigen neun von zehn Fahrern die Bremse bei der Vollverzögerung in den Stand und immerhin acht von elf bremsen bei der Vollverzögerung mit Lösen.

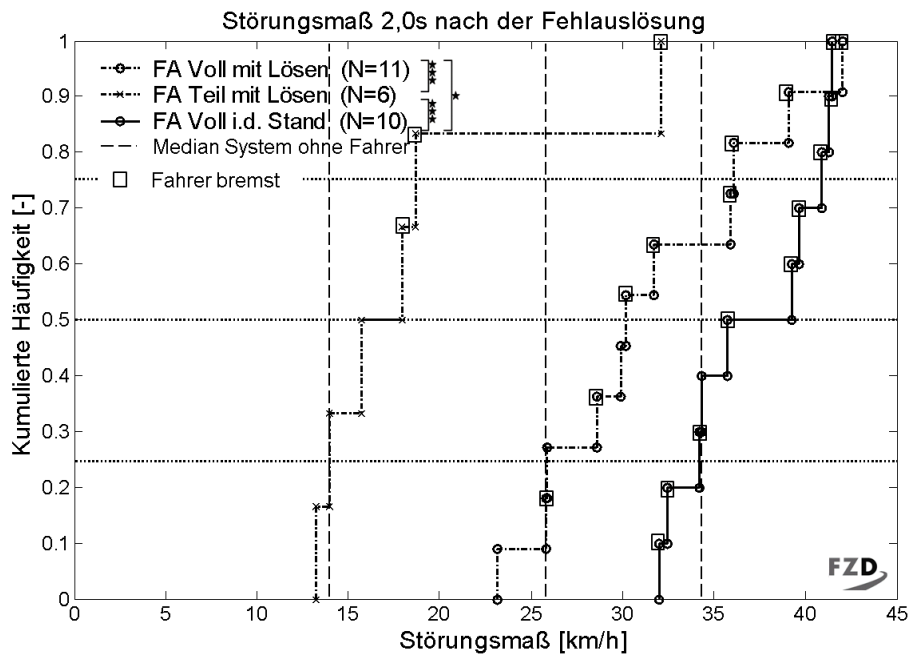


Bild 8: Kumulierte Häufigkeit des Störungsmaßes (Lkw)
 Figure 8: Cumulated percentage of the Disturbance (Truck)

5.4 Fahrerbeurteilte Verzeihlichkeit von Fehlauflösungen

Alle Probanden haben jeweils zwei Fehlauflösungen der AGB erlebt. Im Anschluss hieran beurteilten sie, wie sehr sie sich dadurch gestört fühlten, ohne zu wissen, welche Variante sie erlebt haben.

Bild 9 zeigt, dass die Fahrer (Pkw und Lkw) diese mehrheitlich als störend und sehr störend empfanden. Die Fahrer differenzieren bezüglich der Verzeihlichkeit nicht zwischen den Fehlauflösungsvarianten.

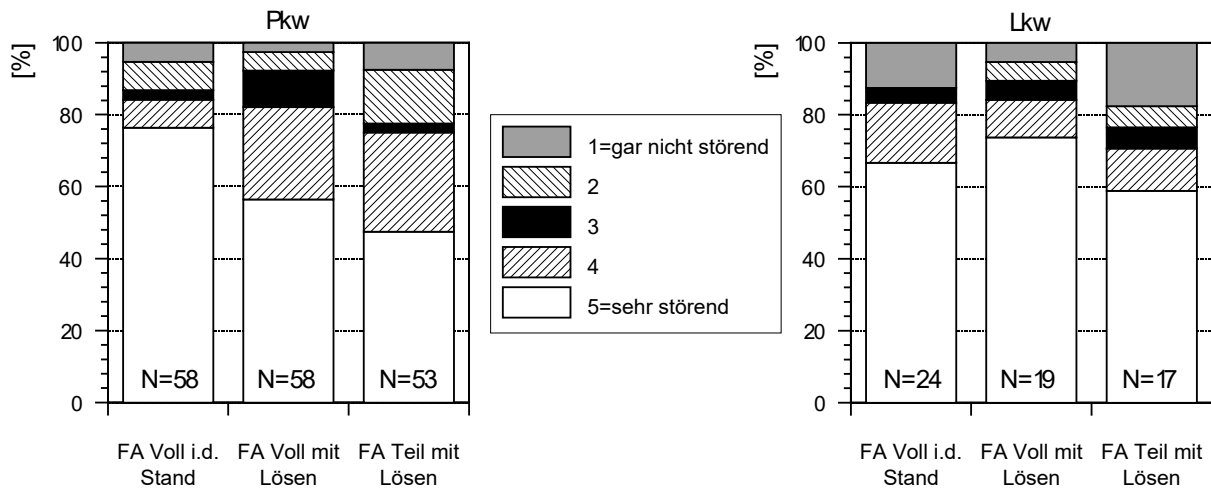


Bild 9: Subjektive Verzeihlichkeit von Fehlauflösungen - Pkw (links) und Lkw (rechts)
 Figure 9: Subjective forgiveness of faulty activation for passenger cars (left) and trucks (right)

5.5 Fahrerbeanspruchungen

Um Aussagen über das vom Fahrer subjektiv empfundene Gefährdungspotential treffen zu können, werden mit den Messgrößen Herzschlagfrequenz und Hautleitwert die körperlich messbaren Reaktionen auf die Emotionen des Fahrers bei den AGB-Eingriffen erfasst.

Es zeigt sich anhand der Indikatoren Herzschlagfrequenz und Hautleitwert, dass die emotionale Beanspruchung aller Fahrer in allen kritischen Situationen im Vergleich zum Ruhezustand signifikant erhöht war. Dabei gibt es keine Unterschiede zwischen den kritischen Bremssituationen, in denen der Fahrer durch die AGB unterstützt wurde oder nicht.

Die Analyse der emotionalen Fahrerbeanspruchungen ergibt, dass die Fahrer durch Fehlauflösungen genauso hoch beansprucht werden, wie in den kritischen Bremssituationen. Nur der Indikator Herzschlagfrequenz liegt bei den Fehlauflösungen der Pkw-Fahrer signifikant niedriger als in den kritischen Bremssituationen.

Zur Ableitung von Aussagen über die visuelle Beanspruchung der Fahrer wird aus der Blickbewegungsanalyse (Bild 10) die Anzahl der Blickwechsel pro Sekunde zwischen festgelegten Objekten betrachtet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fahrer bei Fehlauflösungen signifikant mehr Blickwechsel ausführen als bei berechtigten AGB-Eingriffen bzw. in kritischen Bremssituationen. Dabei lässt die Anzahl der Blickwechsel darauf schließen, dass die Pkw-Fahrer durch die Fehlauflösungen weitaus stärker visuell beansprucht werden als die Lkw-Fahrer. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Fahrer durch Suchbewegungen der Augen versuchen, die Ursache für die eingeleitete AGB zu klären. Nachteilig wirkt sich aus, dass während der Zeit dieser Blickwechsel der Fahrer seinen Blick nicht konzentriert nach vorne richtet und somit eventuell wichtige Informationen verpassen könnte.



Bild 10: Blickbewegungsvideo bei LKW-Fahrt
Figure 10: Eye Tracking Video (Truck)

6 Schlussfolgerungen

Im Rahmen der vorliegenden Studie konnte erstmals in einem realitätsnahen Probandenversuch die positive Wirkung der Aktiven Gefahrenbremsung nachgewiesen werden. Die Wirksamkeit, ausgedrückt als Geschwindigkeitsdifferenz während der Gefahrensituation, liegt auf deutlich höherem Niveau als in Situationen, in denen der Fahrer nicht über AGB-Unterstützung verfügt.

Es zeigte sich, dass eine stärkere Verzögerung durch das System auch zu höheren Störungsmaßen sowie allgemein auch zu höherer Wirksamkeit führt. Bei einem langsamen Verzögerungsaufbau, wie er z.B. durch die ESP-Pumpe im untersuchten Pkw-Versuchsträger erfolgt, darf aber trotzdem nicht von stärkerer Verzögerung zugleich auf höhere Wirksamkeit geschlossen werden. Nur ein schnellerer Verzögerungsaufbau kann hier einen Vorteil verschaffen, wobei aber das Störungsmaß dennoch gesteigert wird.

Bei den hier untersuchten Varianten zeigte sich stets die Korrelation zwischen hoher Wirkung und hohem Störungsmaß im Fall fehlerhafter Auslösung. Allerdings konnten an einer Stelle Indizien zur Auflösung dieses Zielkonflikts gefunden werden: Ein mit hoher Dynamik aufgebaute Teilverzögerungseingriff ist, wie in den Lkw-Versuchen zu sehen war, immer noch geeignet, den Fahrer auf die drohende Kollisionsgefahr zügig aufmerksam zu machen und führt zu hohen Wirksamkeiten. Fehlauflösungen werden aber, wie anhand der Pedalhandlungen zu sehen ist, so früh als solche erkannt, dass diese von den Fahrern mehrheitlich erduldet werden, ohne die Bremse zu betätigen. Die Fahrer beurteilten diese Fehlauflösungen jedoch in allen Varianten mehrheitlich mit „störend“ oder „sehr stö-

rend“. Die Störungsmaße bleiben deutlich unterhalb derjenigen der Vollverzögerungen. Aufgrund der geringen Stichprobengröße ist dieser Zusammenhang jedoch nicht signifikant.

Die Fahrer fühlen sich durch Fehlauflösungen immer gestört, wobei die Variante AGB Teil mit Lösen am seltensten als „sehr störend“ beurteilt wurde, aber mit nur geringem Abstand zu den anderen Varianten. Die Probanden gaben mehrheitlich an eine Möglichkeit haben zu wollen, um Fehlauflösungen überstimmen zu können. Allerdings gibt es bei der Frage, wie überstimmt werden soll, kein einheitliches Meinungsbild. Allein die Betätigung des Fahrpedals darf nicht als Überstimmungswunsch interpretiert werden, da fast alle Fahrer, die direkt vor Eingriffsbeginn das Fahrpedal betätigen, dieses nach Beginn des Eingriffs weiter durchtreten.

Die emotionale Beanspruchung ist in Gefahrensituationen mit AGB-Eingriff signifikant höher als vor der Fahrt, die untersuchte AGB-Variante hat aber keinen Einfluss. Jedoch zeigen die Ergebnisse auch, dass diese Erhöhung primär durch die Gefahrensituation ausgelöst wird. Durch AGB-Eingriffe erfolgt keine weitere Erhöhung, wie der Vergleich zu der ausbleibenden AGB zeigt.

Mit dem Darmstädter Test- und Bewertungsverfahren EVITA liegt eine Methode vor, die eine direkte Vergleichbarkeit sowohl der Maßnahmen zur Vermeidung/Folgenminderung von Frontalkollisionen sowie der damit verbundenen Störungen mit Fehlerfall ermöglicht.

Die Ergebnisse sind mit einheitlichen Auslöseschwellen ermittelt worden und nur mit den gezeigten Eingriffsformen. Die bisherigen Ergebnisse lassen erste verallgemeinerbare Aussagen zu, die gemessenen Werte dürfen aber nicht auf Systemausführungen übertragen werden, die sich in der Stärke und/oder der Dynamik des Bremsingriffs von den hier untersuchten Beispielen unterscheiden. Auch die Wirkung einer frühen Warnung, wie sie die meisten Antikollisionssysteme einsetzen, ist hier nicht ermittelt worden.

6 Quellen

- [1] Bender, E.: Handlungen und Subjektivurteile von Kraftfahrzeugführern bei automatischen Brems- und Lenkeingriffen eines Unterstützungssystems zur Kollisionsvermeidung, Dissertation, IAD - TU Darmstadt, 2007
- [2] Busch, S.: Entwicklung einer Bewertungsmethodik zur Prognose des Sicherheitsgewinns ausgewählter Fahrerassistenzsysteme, Dissertation TU Dresden, VDI Fortschritt-Berichte Reihe 12, 2005
- [3] Hoffmann, J.; Winner, H.: EVITA-The Testing Method for Collision Warning and Collision Avoiding Systems, F2008-12-019, FISTIA2008, Munich, Germany
- [4] Kopischke S.: Entwicklung einer Notbremsfunktion mit Rapid Prototyping Methoden, Dissertation, TU Braunschweig, 2000.
- [5] Winner, H.; Fecher, N.; Hoffmann, J.; Regh, F.: Bewertung von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen – Status Quo, Integrated Safety, Hanau, Juli 2008
- [6] www.aktiv-online.org



Dr.-Ing. Norbert Fecher ist Oberingenieur bei FZD und leitete den fahrzeugtechnischen Teil sowie die Koordination der Studie auf TUD-Seite.

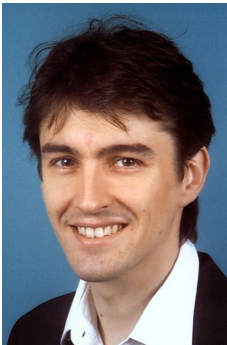


Dipl.-Ing. Jens Hoffmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter bei FZD und entwickelte im Rahmen seines Promotionsvorhabens das Darmstädter Verfahren mit EVITA.



Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner leitet das Fachgebiet Fahrzeugtechnik.

iad
Technische Universität Darmstadt
Institut für Arbeitswissenschaft



Dipl.-Ing. Klaus Fuchs ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IAD und bearbeitete den fahrerbezogenen Teil der Studie.



Dr.-Ing. Bettina Abendroth ist Oberingenieurin am IAD und leitete den fahrerbezogenen Teil der Studie.



Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder leitet das Institut für Arbeitswissenschaft.