

# **Aktive Gefahrenbremsungen – Wie reagiert der Fahrer?**

## **Emergency Hazard Braking Situations – What about the driver?**

Dipl.-Ing. **Klaus Fuchs**, Dr.-Ing. **Bettina Abendroth**, Prof. Dr.-Ing. **Ralph Bruder**, TU Darmstadt / IAD, Darmstadt

### **Kurzfassung**

Dieser Beitrag beschreibt die methodische Vorgehensweise und ausgewählte Ergebnisse zur Analyse des Fahrerverhaltens bei unterschiedlichen Auslegungsvarianten der Aktiven Gefahrenbremsung (AGB). Hierzu wurden Realfahrversuche mit 90 Probanden mit Pkw und Lkw auf dem Testgelände der TU Darmstadt durchgeführt.

Neben Fahrzeugdaten wie Bremsdruck, Geschwindigkeit, Abstand und der Zeit bis zur Kollision (TTC) wurden Videoaufzeichnungen (z.B. Fahrerhandlungen und Umgebung), Blickbewegungsdaten, physiologische Daten des Fahrers (z.B. Herzschlagfrequenz und Muskelaktivitäten) sowie subjektive Beurteilungen erhoben. Bei der Versuchsdurchführung wurden zwei Szenarien analysiert. Szenario 1 untersuchte das Fahrerverhalten bei einer tatsächlichen Gefahrensituation. In Szenario 2 wurde eine Fehlauflösung betrachtet. Beide Szenarien wurden in unterschiedlichen Reihenfolgen mit unterschiedlichen Auslegungsvarianten der AGB untersucht.

Die Studie wurde von einem interdisziplinär zusammengesetzten Team von Arbeitswissenschaftlern mit dem Forschungsschwerpunkt Fahrzeugergonomie (IAD) und Fahrzeugingenieuren (FZD) der TU Darmstadt im Auftrag von sechs Fahrzeugherstellern und Zulieferern (Audi, Bosch, BMW, MAN, Opel, Continental) im Rahmen der Forschungsinitiative AKTIV (Adaptive und kooperative Technologien für den intelligenten Verkehr) durchgeführt, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert wurde [1].

### **Abstract**

This paper describes the methodical approach and selected results for the analysis of driver behavior obtained with different designs of an “Active Hazard Braking” system (AHB). Field tests have been carried out with passenger cars and trucks on the test-track of the TU Darmstadt. Besides CAN-Data like braking pressure, speed, distance and Time to Collision (TTC) also Videos of the driver behavior and the environment, eye movement, physiological

data of the driver (for example, heart rate and muscle activity) and questionnaires have been gathered. In scenario 1 the driver behavior in hazard situations was analyzed while in scenario 2 driver behavior in faulty autonomous brakings was analyzed.

For the assessment of different designs of autonomous braking systems, an interdisciplinary research team of automotive and ergonomic engineers of the Technische Universität Darmstadt, worked on behalf of six German OEMs and suppliers (Audi, Bosch, BMW, MAN, Opel, Continental) within the scope of the German research initiative "Aktiv" (Adaptive and Cooperative Technologies for the Intelligent Traffic) which was founded by the Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). The subproject of this study is called "Active Hazard Braking" [1].

## **1. Einleitung**

Trotz europaweit ansteigendem Bestand an motorisierten Fahrzeugen ist gleichzeitig eine rückläufige Tendenz an Unfällen bei motorisierten Fahrzeugen zu verzeichnen. Das nach wie vor bestehende Potential aktiver und präventiver Sicherheitssysteme ist allerdings beschränkt, da der Mensch beim Führen des Fahrzeugs an seine Grenzen kommt [2]. Mit fortschreitender technischer Entwicklung steigen die technischen Möglichkeiten unterstützend einzugreifen, um die Unfallschwere abzumildern oder Unfälle ganz zu vermeiden. Eine Möglichkeit hierfür besteht darin für eine kurze Zeit die Fahrzeuglängsführung vollständig zu automatisieren.

## **2. Ziele**

Ziel der durchgeführten Untersuchung war es, Verhalten und Beanspruchung von Pkw- und Lkw-Fahrern bei aktiven Gefahrenbremsungen, die autonom ausgelöst werden, zu analysieren. Zusätzlich sollte untersucht werden, inwieweit solche aktive Gefahrenbremsungen von Pkw- und Lkw Fahrern akzeptiert werden.

In diesen Versuchsreihen wurden neben berechtigten und ausbleibenden Eingriffen erstmals auch unberechtigte Systemeingriffe, d.h. Fehlauflösungen, untersucht. Bei den berechtigten AGB-Eingriffen wurde der Bremsdruck variiert (Vollverzögerung Pkw  $10 \text{ m/s}^2$  bzw. Lkw  $7 \text{ m/s}^2$ , Teilverzögerung Pkw  $6 \text{ m/s}^2$  bzw. Lkw  $4 \text{ m/s}^2$ ), bei den unberechtigten Eingriffen wurde zusätzlich die Eingriffsdauer variiert. Ausbleibende AGB-Eingriffe wurden in Baselines, eine ausbleibende AGB ohne Wissen über das eingebaute AGB-System, und ausbleibende AGB mit Systemkenntnis unterschieden. Eine Übersicht der untersuchten Varianten ist in Bild 1 zu sehen.

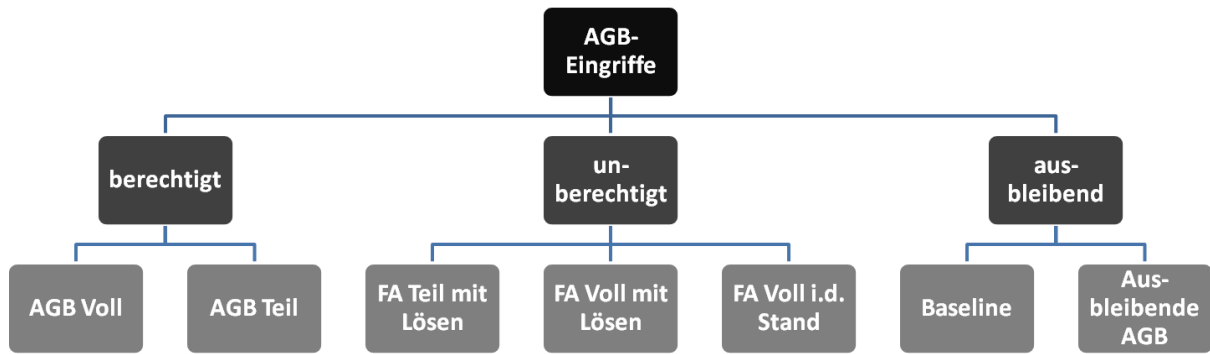


Bild 1: Untersuchte Varianten des AGB-Eingriffs

### 3. Methodik

Zur Erzeugung einer realistischen Gefahrensituation wurden die Versuche auf einer Teststrecke, dem TU eigenen August Euler Flugplatz in Darmstadt durchgeführt.

Hierbei wurde das Darmstädter Test- und Bewertungsverfahren EVITA eingesetzt [3]. EVITA ist ein Werkzeug, um im kontrollierten Feld realitätsnahe sicherheitskritische Auffahrsituationen ohne die Gefahr eines Auffahrunfalls zu reproduzieren (Bild 2).



Bild 2: Versuchsstrecke auf dem August Euler Flugplatz der TU Darmstadt

Die Probanden sollten dem vorausfahrenden Fahrzeug (EVITA) mit einer Geschwindigkeit von 60km/h im Abstand von 20-25 m folgen (Bild 3 links). Um eine kritische Auffahrsituation entstehen zu lassen, wurde den Fahrern zur Ablenkung die Nebenaufgabe gegeben, einzelne Zeilen aus einer Wegbeschreibung abzulesen (Bild 3 rechts).



Bild 3: Haupt- (links) und Nebenaufgabe (rechts) der Versuchspersonen

Die Fahrer sind jeweils neun Versuchsrunden auf dem Testgelände gefahren, dabei haben sie zwei berechtigte, zwei unberechtigte AGB-Auslösungen und eine kritische Auffahrsituation ohne AGB-Unterstützung erlebt. Die Reihenfolge der Bremsungen wurde in drei Versuchsreihen unterschiedlich gestaltet. In diesen drei Versuchsreihen haben die Probanden die Varianten AGB Voll, AGB Teil oder Baseline (ohne AGB-Unterstützung) als ersten Versuch erlebt.

Um Aussagen über den Einfluss des Fahreralters beziehungsweise des Geschlechts 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). Mit dem Lkw wurden 30 Probandenversuche (19 - 58, Ø 37 Jahre, mehrheitlich Berufskraftfahrer) durchgeführt.

Zur Beurteilung des Fahrerverhaltens wurden Fahrzeugmessgrößen, Videos des Fahrers sowie des Umfelds und die Blickbewegungen aufgezeichnet. Aussagen über die Beanspruchungen der Fahrer wurden anhand physiologischer Daten getroffen und mit Hilfe von Befragungen wurden die Akzeptanz der Fahrer sowie die Beurteilung der erlebten Situationen durch sie erhoben (siehe Tabelle 1).

Mit Hilfe physiologischer Kennwerte werden Aussagen zur emotionalen Beanspruchung der Fahrer sowie zur muskulären Beanspruchung des rechten Fuß-Bein-Systems des Fahrers während bzw. nach den Bremssituationen getroffen. Ziel ist es, Veränderungen der Fahrer-Beanspruchung durch den Einsatz von Aktiven Gefahrenbremsungen sowie Beanspruchungsunterschiede bei unterschiedlichen Unterstützungsvarianten zu untersuchen. Zur Beurteilung vorwiegend emotionaler Beanspruchungskomponenten dienen die Herzschlagfrequenz sowie der Hautleitwert als Indikatoren. Die mit Hilfe des Elektrokardiogramms ermittelte Herzschlagfrequenz steigt unter informatorischer Belastung signifikant an, falls

dieser Effekt nicht durch energetische Komponenten verdeckt wird, was in den hier durchgeführten Versuchen jedoch nicht der Fall war [4]. Unter dem Hautleitwert wird die elektrische Admittanz der menschlichen Haut zwischen zwei benachbarten, auf der Haut befestigten Elektroden verstanden. Aus Höhe und Dauer der Reizantwort lassen sich Rückschlüsse auf Zeitpunkt und Intensität einer erlebten Emotion ziehen. Im Folgenden wird der tonische Anteil des Hautleitwerts betrachtet.

Tabelle 1: Erhobene Messdaten

Fahrzeugmessgrößen:	Bremsdruck [kPa] Fahrpedalwinkel [°] Radgeschwindigkeit [km/h] Abstand [m], Relativgeschwindigkeit [km/h], TTC [s] ...
Videoaufzeichnungen	Fahrerhandlungen (Gesicht, Fuß) Umfeld
Blickbewegungsanalyse	Blickdauern, Häufigkeiten
Physiologische Daten	Herzschlagfrequenz [1/min] Hautleitwert [ $\mu$ S] Muskelaktivitäten [ $\mu$ V]
Subjektive Beurteilungen	Fragebögen vor, während und nach der Fahrt

Die Blickbewegungsanalyse stellt ein wichtiges Instrument zur Bestimmung der Aufmerksamkeitsverteilung dar, da sie im Vergleich zu Beobachtungs- und Befragungsmethoden ein zeitlich und örtlich detaillierteres Protokoll darüber liefert, welche Informationen selektiert und in welcher Reihenfolge die Informationen betrachtet wurden [5]. Blickbewegungen sind dabei die Bewegungen des Auges, die in Verbindung mit den vom Auge aufgenommenen Informationen interpretiert werden [6]. Eine Fixation ist definiert als der Zustand, bei dem das Auge sich bezüglich eines Sehobjekts in relativem Stillstand befindet. Relativ bedeutet, dass Folgebewegungen in den Fixationen mit eingeschlossen sind [5]. Die vom Fahrer selektierten Informationen wurden mit einem modifizierten helmbasierenden Blickbewegungssystem der Firma SMI aufgezeichnet und anschließend manuell bezüglich der Dauer, Häufigkeit und Reihenfolge analysiert. Die Häufigkeit der Wechsel zwischen Fixationen ist ein Maß für die mentale Beanspruchung einer Person. Diese wird durch die Werte der Fixationen pro Zeiteinheit (1/sec.) ausgedrückt.

Vertiefende Informationen zur Versuchsmethodik können [7] entnommen werden.

## 4. Ergebnisse

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse zu berechtigten und unberechtigten AGB Eingriffen vorgestellt.

### 4.1. Muskuläre Reaktionen

Um die Auswirkungen autonomer Bremsengriffe auf die physiologischen Reaktionen des Fahrers zu untersuchen, werden im Folgenden die Maximalwerte ausgewählter Muskeln während des Eingriffzeitraums der AGB am rechten Bein analysiert. Es werden alle AGB-Eingriffe mit Vollverzögerung und mit Teilverzögerung aus den drei Versuchsreihen in die Auswertung einbezogen.

Durch die Auslegung der AGB werden die individuellen Aktivitäten der Beinmuskulatur des Fahrers nicht beeinflusst. Sowohl bei den Pkw- als auch bei den Lkw-Versuchen (Bild 4) sind die individuellen Aktivitäten der ausgewählten Beinmuskeln für die Bremsituationen mit Voll- und Teilverzögerung vergleichbar hoch. Dies zeigt, dass die Fahrer unabhängig vom Grad der Unterstützung durch AGB in dieser kritischen Situation gleich stark mitbremsen.

Diese Reaktion lässt darauf schließen, dass Probanden zwischen den AGB-Varianten mit Voll- und Teilverzögerung keinen Unterschied feststellen konnten und dementsprechend von sich aus eine möglichst starke Bremsung einleiten wollten. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass der Gradient des Verzögerungsaufbaus beim eingesetzten Pkw weitestgehend unabhängig von der jeweiligen AGB-Variante ist. Teil- und Vollverzögerungen sind zu Beginn der Aktiven Gefahrenbremsung auch anhand der fahrdynamischen Größen nicht zu unterscheiden.

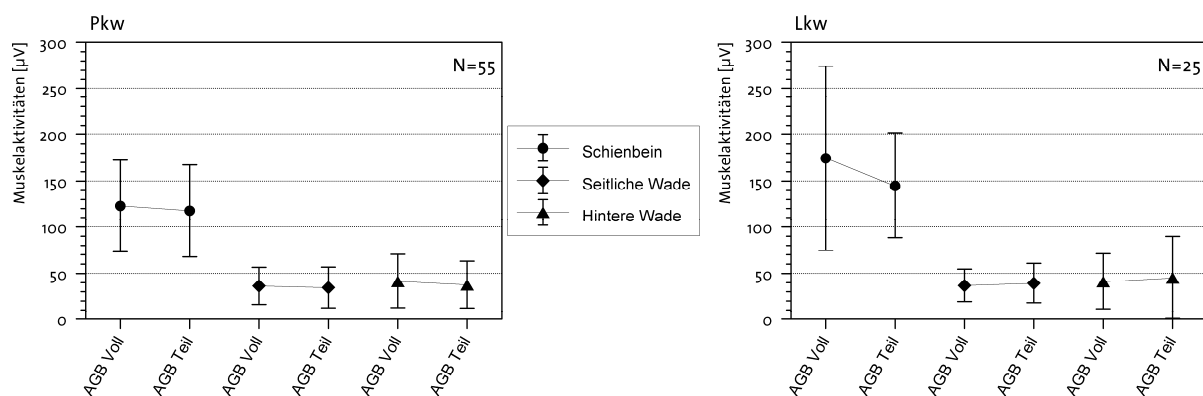


Bild 4: Pkw (links) und Lkw (rechts) – Muskelaktivitäten (Mittelwert und Standardabweichung) an Schienbein, seitlicher Wade und hinterer Wade in  $\mu\text{V}$  bei AGB-Eingriff mit Voll- und Teilverzögerung (Versuchsreihen BL, AT und AV, alle Versuche mit AGBT und AGBV)

#### 4.2. Emotionale Beanspruchung (Herzschlagfrequenz/Hautleitwert)

Betrachtet werden die Maximalwerte von Herzschlagfrequenz (HSF) und Hautleitwert (SCL). Dabei werden die Werte für die beiden AGB-Varianten, sowie die der Ruhemessung miteinander verglichen. Der Maximalwert der Herzschlagfrequenz ist definiert als das Maximum der HSF innerhalb des Betrachtungszeitraums von einer Minute ab dem Beginn einer AGB Auslösung. Analog dazu ist der Maximalwert des Hautleitwertes definiert als das Maximum der SCL innerhalb des Betrachtungszeitraums von einer Minute ab dem Beginn einer AGB Auslösung.

Bild 5 zeigt, dass die Ruhe Herzschlagfrequenz der Probanden vor Versuchsbeginn sich höchst signifikant niedriger im Vergleich zu den HSF-Werten in kritischen Auffahrsituationen verhält. Zwischen den Situationen mit AGB-Unterstützung sowie bei ausbleibender AGB wird jedoch kein signifikanter Unterschied der Maximalwerte der HSF erkannt. Diese Erkenntnis lässt den Schluss zu, dass eine AGB-Unterstützung die emotionale Beanspruchung des Fahrers weder reduziert noch erhöht.

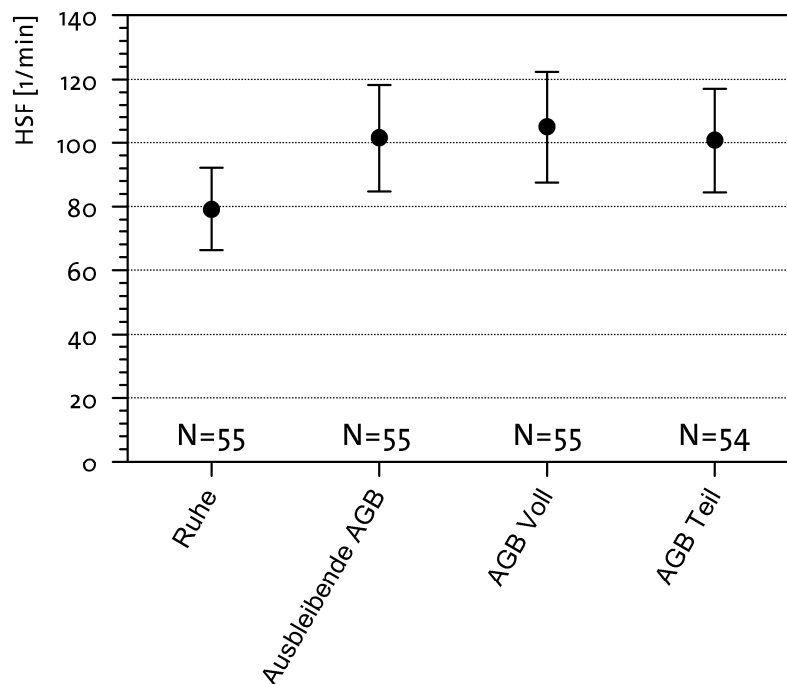


Bild 5: Pkw – Maximalwert der Herzschlagfrequenz der Fahrer (Mittelwert und Standardabweichung) (von links nach rechts: Ruhezustand, bei ausbleibender AGB, bei AGB Voll und AGB Teil jeweils AV, AT und BL)

Auch zwischen den Fehlauflösungsvarianten zeigen die Fahrer keine signifikanten Unterschiede in der emotionalen Beanspruchung, hier gezeigt anhand des Indikators Hautleitwert (Bild 6). Auch sind die Hautleitwertmaxima der Fahrer bei Fehlauflösungen im Vergleich zu den Werten bei berechtigten AGB-Eingriffen sowie der Werte bei ausbleibenden AGB-Eingriffen nicht signifikant unterschiedlich.

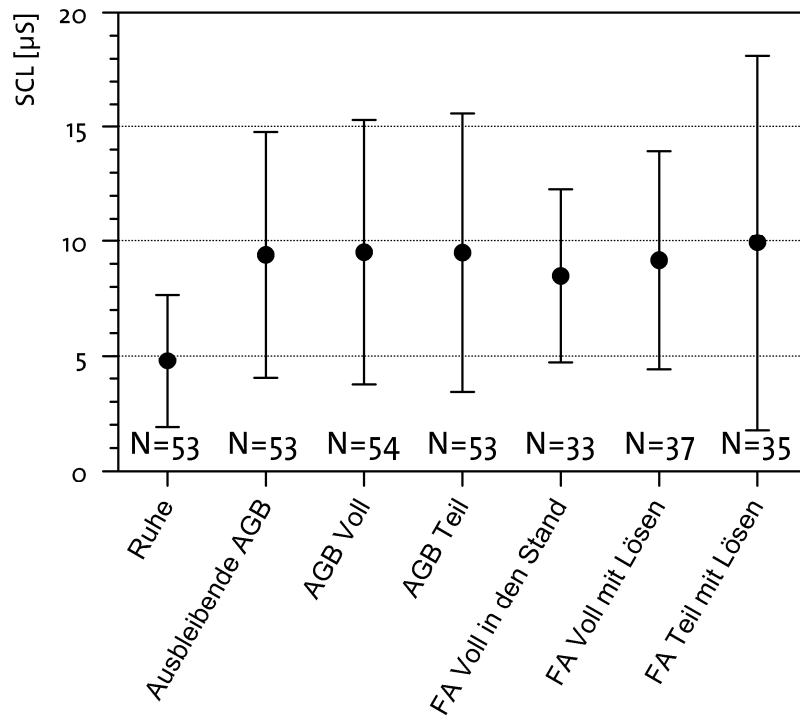


Bild 6: Pkw – Maximalwerte des Hautleitwerts (Mittelwert und Standardabweichung); links: Fehlauflösung Teil mit Lösen, Fehlauflösung Voll mit Lösen, Fehlauflösung Voll in den Stand; rechts: Ruhezustand, Ausbleibende AGB, AGB Voll und AGB Teil (jeweils Versuchsreihe AV, AT und BL)

#### 4.4. Blickbewegung

Zur Ableitung von Aussagen über die visuelle Beanspruchung der Fahrer wird die Anzahl der Blickwechsel pro Sekunde betrachtet. Extrem kurze Fixationszeiten können oft auf eine sehr starke Beanspruchung des Fahrers hinweisen [8]. Die Pkw-Fahrer scheinen durch die Fehlauflösungen stärker visuell beansprucht als die Lkw-Fahrer. Bei den Pkw-Fahrern kommt es bei Versuchen mit einer AGB-Fehlauflösung im Vergleich zu den Versuchen, in denen es zu einer kritischen Annäherung an das Dummy-Target gekommen ist, im Mittel zu doppelt so vielen Blickwechseln (Bild 7 links), dieser Unterschied ist signifikant. Dabei hat weder die AGB-Variante bei berechtigten AGB-Eingriffen noch die Fehlauflösungsvariante



bei den unberechtigten Eingriffen einen signifikanten Einfluss auf das Blickverhalten. Auch die Lkw-Fahrer führen bei den unberechtigten Bremsungen mehr Blickwechsel aus als bei den berechtigten (Bild 7 rechts), jedoch ist der Unterschied geringer, trotzdem auch signifikant.

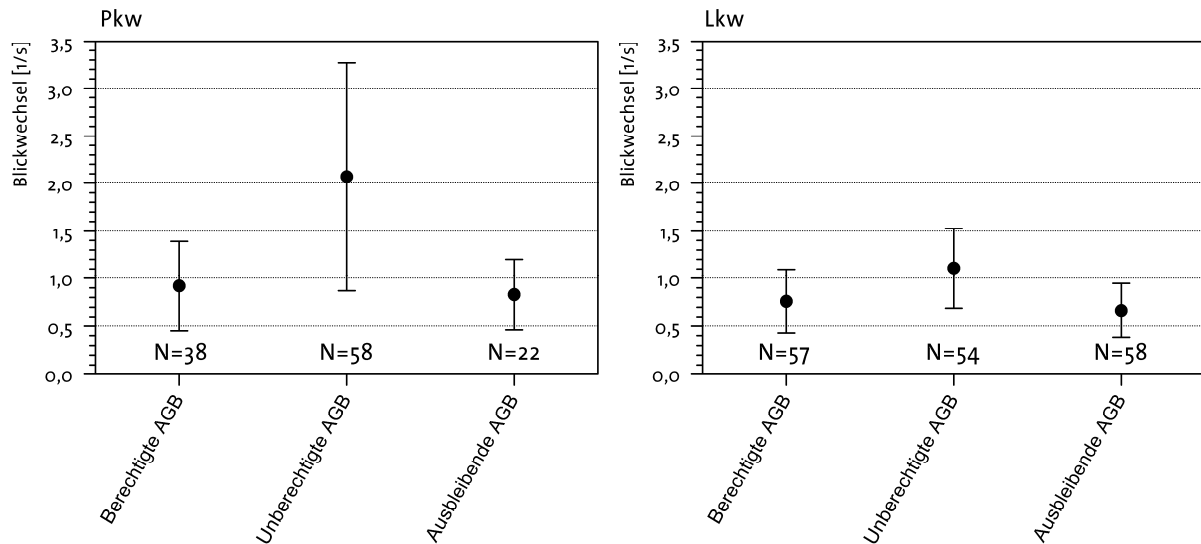


Bild 7: Pkw (links) und Lkw (rechts) – Anzahl der Blickwechsel pro Sekunde (Mittelwert und Standardabweichung) bei berechtigten, unberechtigten und ausbleibenden AGBs (von links nach rechts: Berechtigte AGBs (V1), unberechtigte AGBs (erste Fehlauslösung) und ausbleibende AGBs)

#### 4.5. Subjektivurteile der Probanden

Die Akzeptanz eines Systems, das den Fahrer durch Aktive Gefahrenbremsungen in kritischen Auffahrsituationen unterstützt, wird auch durch Fehlauslösungen eines solchen Systems beeinflusst. Deshalb wurden die Probanden unmittelbar nach einer Fehlauslösung gefragt, wie sehr sie sich durch die gerade erlebte Fehlauslösung gestört fühlten.

Bild 8 zeigt, dass die Fahrer (Pkw und Lkw) diese mehrheitlich als störend und sehr störend empfanden. Bei den Pkw Fahrern ist eine Rangfolge bezüglich des Grades der Störung für die Varianten tendenziell erkennbar. Insgesamt zeigt sich, dass alle Fehlauslösungen von der Mehrheit der Probanden als störend oder sehr störend beurteilt werden.

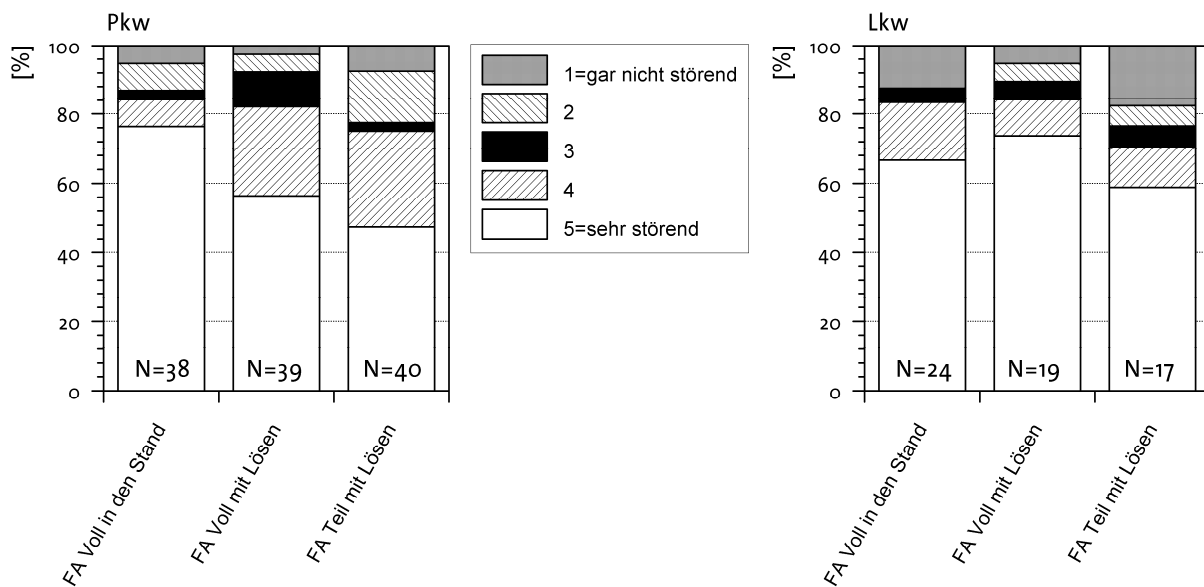


Bild 8: Pkw (links) und Lkw (rechts) – Subjektive Verzeihlichkeit von Fehlauflösungen: „Wie störend empfanden Sie den Bremsengriff?“

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Durch das realisierte Versuchsdesign im kontrollierten Feld ist eine gute Reproduzierbarkeit bei gleichzeitig hoher Übertragbarkeit gewährleistet. Die Ergebnisse lassen erste verallgemeinerbare Aussagen zu. Die gemessenen Werte dürfen aber nicht ohne weiteres auf Systemausführungen übertragen werden, die sich in der Stärke und/oder der Dynamik des Bremsengriffs von den hier untersuchten Beispielen unterscheiden.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die emotionale Beanspruchung der Fahrer in Gefahrensituationen mit AGB-Eingriff signifikant höher ist als vor der Fahrt, die Ausprägung der untersuchten AGB-Varianten hat keinen Einfluss auf die Fahrerbeanspruchung. Jedoch zeigen die Ergebnisse auch, dass diese Erhöhung der emotionalen Beanspruchung primär durch die Gefahrensituation ausgelöst wird. Durch berechtigte AGB-Eingriffe wird die Fahrerbeanspruchung nicht signifikant reduziert, aber auch nicht weiter erhöht, wie der Vergleich zu den ausbleibenden AGB-Bremssituationen zeigt.

Fehlauflösungen werden von den Fahrern in allen Varianten mehrheitlich als „störend“ oder „sehr störend“ beurteilt. Auch die objektiven Daten zeigen, dass die Fahrer durch Fehlauflösungen ebenso stark emotional beansprucht werden wie in den kritischen Bremsituationen. Die visuelle Beanspruchung des Fahrers ist bei unberechtigten AGB-Eingriffen sogar bedeutend höher als in kritischen Bremsituationen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Fahrer durch Suchbewegungen der Augen versuchen, die Ursache für die unberechtigt eingeleitete AGB sowie ihre eigene hohe emotionale

Aktivierung zu klären. Nachteilig wirkt sich aus, dass während der Zeit dieser „Suche“ der Fahrer seinen Blick nicht konzentriert nach vorne richtet und somit eventuell wichtige Informationen verpassen könnte.

### **Literaturverzeichnis**

- [1] [www.aktiv-online.org](http://www.aktiv-online.org)
- [2] REASON 1994: Reason, J.: „Menschliches Versagen – Psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien“. Aus dem Amerikanischen übersetzt von Joachim Grabowski. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl.
- [3] Hoffmann, J.; Winner, H.: EVITA-The Testing Method for Collision Warning and Collision Avoiding Systems, F2008-12-019, FISTIA2008, Munich, Germany
- [4] Philipp, Ulrich: Zur Beurteilung der Herzschlagfrequenz bei psycho-physisch hoch Belastenden Tätigkeiten. IAD – TU Darmstadt, Dissertation, Darmstadt, 1979
- [5] Rötting, Matthias: Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung, Bd. 34, zugl.: Aachen, RWTH, Dissertation 2001. Aachen: Shaker Verlag, 2001.
- [6] Seifert, K.; Rötting, M., Jung, R. 2001, Registrierung von Blickbewegungen im Kraftfahrzeug. In: T. Jürgensohn & K.P. Timpe 207-228. Berlin: Springer.
- [7] N. Fecher, K. Fuchs, J. Hoffmann, B. Abendroth, R. Bruder, H. Winner: Analysis of the driver behavior in autonomous emergency hazard braking situations, FISITA 2008, F2008-02-030
- [8] Schweigert, Manfred: Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben. München, Techn. Univ., Lehrstuhl für Ergonomie, Dissertation, 2003.