

# Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 39

**bast**



# Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung

von

Jost Gail  
Mechthild Lorig  
Christhard Gelau  
Dirk Heuzeroth  
Wolfgang Sievert

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 39

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
B - Brücken- und Ingenieurbau  
F - Fahrzeugtechnik  
M- Mensch und Sicherheit  
S - Straßenbau  
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BASt-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

#### **Impressum**

**Bericht zum Forschungsprojekt 01 511:**  
Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung

#### **Projektbetreuung**

Jost, Gail, Mechthild Lorig, Christhard Gelau,  
Dirk Heuzeroth, Wolfgang Sievert

#### **Herausgeber**

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

#### **Redaktion**

Referat Öffentlichkeitsarbeit

#### **Druck und Verlag**

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)  
ISSN 0943-9307  
ISBN 3-89701-817-9  
Bergisch Gladbach, März 2002

## Kurzfassung – Abstract

### Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung

Das derzeitige Bremssignalbild übermittelt dem nachfolgenden Verkehr nur, dass gebremst wird, die Fahrer erhalten jedoch keine Information über die Stärke des Bremsmanövers. Im vorliegenden Bericht wird im Rahmen einer Literaturstudie untersucht, wie das rückwärtige Signalbild optimiert werden könnte, um vor allem Gefahrenbremsungen gesondert darzustellen. Einige praktikable Lösungsvorschläge, die bereits fertig entwickelt sind, werden vorgestellt und analysiert.

Es hat sich gezeigt, dass prinzipiell zwei Maßnahmen geeignet sind, die Fahrerreaktionszeit zu verkürzen:

- Eine Flächen- und Leuchtdichtevergrößerung der Bremsleuchten wird von den nachfolgenden Fahrern intuitiv als Annäherung an das vorausfahrende Fahrzeug erkannt.
- Blinkende Leuchten sind besonders geeignet, die Aufmerksamkeit des nachfolgenden Fahrers auch bei Ablenkung auf das verzögernde Fahrzeug zu lenken.

Als mögliche Weiterentwicklung für ein optimiertes rückwärtiges Signalbild wird vorgeschlagen: Bei Ansprechen eines Bremsassistenten oder ABS bzw. einer Fahrzeugverzögerung über  $7 \text{ m/s}^2$  ist die Gefahrenbremsung über ein Blinken der dritten hoch gesetzten Bremsleuchte mit 3 bis 5 Hz zu signalisieren. Optional sollten sich zusätzlich die Flächen bzw. Leuchtdichten der beiden unteren Bremsleuchten vergrößern. Diese Maßnahmen erfordern Änderungen in den ECE-Regelungen Nr. 7 und Nr. 48 sowie im Wiener Weltabkommen.

Ziel des vorgestellten Lösungsvorschlags ist die Reduzierung der Zahl bzw. Schwere von Auffahrunfällen.

### Optimization of rear signal pattern for reduction of rear-end accidents during emergency breaking maneuvers

With the present brake signal pattern the traffic behind only receives the information that the brakes are applied, however, the drivers have no information about the intensity of the braking maneuver. In this report it is examined on the basis of a study of the literature, how the rear signal pattern could be optimized for a special representation of emergency braking maneuvers.

In principle there are two suitable possibilities to reduce the driver reaction time:

- An increase in the area and luminance of the brake lights intuitively provide the drivers following with an impression of approaching the vehicle in front.
- Flashing lights are particularly suited to attract the attention of the driver following to the deceleration of the vehicle ahead.

The following advancement is recommended as an optimization of the rear signal pattern: When the brake assistant or ABS actuates or at a vehicle deceleration rate greater than  $7 \text{ m/s}^2$ , the emergency braking maneuver is signaled by flashing of the third high-mounted brake light at a rate of 3 - 5 Hz. As an option, the area and luminance of the two lower brake lights could be increased in addition. These measures require changes to ECE Regulations No. 7 and No. 48 as well as to the Vienna Convention.

The purpose of the described solution is to reduce the number or severity of rear-end accidents.



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	7	<b>5</b>	<b>Notwendige Änderungen der bestehenden Regelungen</b> .....	20
<b>2</b>	<b>Möglichkeiten der Kodierung von Bremsungen durch die Gestaltung der Rückleuchte</b> .....	7	<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	21
2.1	Vorüberlegungen aus wahrnehmungspsychologischer Sicht .....	7	<b>7</b>	<b>Conclusion</b> .....	22
2.2	Vergrößerung der Leuchtenfläche .....	8	<b>8</b>	<b>Quellenverzeichnis</b> .....	22
2.3	Lageänderung der Leuchtenfläche .....	9			
2.4	Veränderung der Leuchtdichte .....	9			
2.5	Blinkende Leuchten .....	9			
2.6	Veränderung der Leuchtfarbe .....	10			
2.7	Veränderung der Kontur der Bremsleuchten .....	10			
2.8	Erhöhung der Anzahl der Bremsleuchten .....	10			
2.9	Kombination verschiedener Stimulusfaktoren .....	10			
<b>3</b>	<b>Vorliegende Lösungsansätze zur Optimierung des rückwärtigen Signalbildes bei Gefahrenbremsungen</b> .....	11			
3.1	Bremsstärkeanzeige mittels Leuchtdichte- und Flächenvergrößerung .....	11			
3.2	Das Integral-Bremslicht (IBL) .....	13			
3.3	Optimierung des rückwärtigen Signalbildes mittels blinkender Leuchten .....	14			
3.4	Lösungsvorschlag mit aktivierter Warnblinkanlage .....	15			
3.5	Dauerlicht der hinteren Fahrtrichtungsanzeiger .....	15			
3.6	Wertung der Lösungsansätze aus Sicht der BAST .....	15			
<b>4</b>	<b>Anforderungen an eine Bremslichtkonfiguration mit optimaler Wirksamkeit</b> .....	17			
4.1	Signalbilder einer optimierten Bremslichtkonfiguration .....	18			
4.2	Technische Ausführung eines optimierten Signalbildes .....	19			





## 1 Einleitung

Bereits seit mehr als 30 Jahren gibt es Überlegungen, ob und gegebenenfalls wie man dem nachfolgenden Verkehr die Stärke eines Bremsmanövers anzeigen sollte. Vorrangiges Ziel aller bislang durchgeführten Untersuchungen zu diesem Thema ist die Vermeidung von Auffahrunfällen durch rechtzeitiges Erkennen von Gefahrensituationen. Darüber hinaus soll eine Harmonisierung des Verkehrsflusses bei Kolonnenfahrten einen weiteren Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit leisten.

Die technische Umsetzung der ersten Lösungsvorschläge scheiterte, weil die vorgeschlagenen Systeme technisch zu aufwändig oder störanfällig bzw. in ihrer Wirkung nicht eindeutig waren [1]. Mit der Weiterentwicklung auf dem Fahrzeugsektor - speziell mit der Einführung des ABS - steht nun bei den meisten Fahrzeugen die Sensorik und damit eine Vielzahl von Eingangsdaten zur Verfügung, die zur Entwicklung einer Bremsstärkeanzeige genutzt werden könnten. Eine Zulassung entsprechender Systeme ist bei den gültigen Regelungen von Wiener Weltabkommen, ECE und StVZO nicht möglich, in den Erläuterungen zu § 53 der StVZO werden sogar Bedenken dagegen geäußert.

In diesem Bericht soll geprüft werden, welche der vorliegenden Lösungsansätze sinnvoll und machbar sind und welche Anforderungen an ein optimiertes rückwärtiges Signalbild zu stellen wären. In einem weiteren Schritt soll geprüft werden, ob und wie die bestehenden Regelungen verändert bzw. ergänzt werden müssten, um ein System mit optimiertem rückwärtigen Signalbild auf europäischer Ebene zuzulassen. Die Untersuchung erfolgt vor allem auf der Grundlage folgender Informationsquellen:

- Untersuchungen der BASt zum Thema "Rückwärtiges Signalbild" aus dem Jahr 1999 [2],
- Auswertung von Fachliteratur und Beiträgen aus dem Internet,
- Gespräche mit Fahrzeugherstellern,
- Vorführung von zwei Systemen auf dem Gelände der BASt.

## 2 Möglichkeiten der Kodierung von Bremsungen durch die Gestaltung der Rückleuchte

### 2.1 Vorüberlegungen aus wahrnehmungspsychologischer Sicht

Nach einer in der Literatur sehr häufig vertretenen und durch empirische Befunde breit belegten Auffassung richten Fahrer ihr Bremsverhalten an der so genannten "Time-to-collision" (TTC) aus. Es handelt sich bei der TTC um die Zeit, die im Falle der Annäherung an ein festes oder bewegtes Objekt bei unveränderter Fahrtrichtung und Geschwindigkeit noch verbleibt, bis es zur Kollision kommt. Dabei gilt es weiterhin als belegt, dass Fahrer diese Information automatisch, d. h. ohne Beteiligung höherer Prozesse der Informationsverarbeitung, dem optischen Flussfeld entnehmen, in dem sie sich befinden, wenn sie mit ihrem Fahrzeug in Bewegung sind [3]. Grundlage dafür stellt die Geschwindigkeit der Ausdehnung des sich nähernden Objektes auf der Retina dar [4, 5, 6, 7].

Mit Blick auf die Definition von Verkehrskonflikten wird eine TTC von 1,5 s als kritischer Grenzwert angenommen, an dem Fahrer ihr Bremsverhalten unabhängig von der gefahrenen Geschwindigkeit zur Konfliktvermeidung orientieren. Empirischen Untersuchungen zufolge handelt sich bei der Einleitung einer Bremsung beim Unterschreiten dieser TTC um eine "natürliche" Reaktion, die nicht erlernt werden muss und daher auch unabhängig von Variablen wie der Fahrerfahrung oder individuell bevorzugten Abständen zum vorausfahrenden Fahrzeug ist [8, 9].

Neben der TTC steht dem Fahrer natürlich eine Reihe weiterer Informationen in der Verkehrsumgebung zur Verfügung. Beispielsweise liefern bei Fahrbahnoberflächen mit hohem Reibwert das "Bremsnicken" oder das Quietschen der Reifen weitere Informationen - diese fehlen jedoch heute meist durch entsprechende Konstruktion der Rad-aufhängungen und bei niedriger Haftung der Reifen, beispielsweise auf vereister Fahrbahn. Nach den Ergebnissen von [10] beurteilen Fahrer bei Dunkelheit Relativbewegungen vorausfahrender Fahrzeuge aufgrund der Veränderung des Sehwinkeles der Rückleuchten sowie der Größe und Helligkeit. Grenzwerte der Geschwindigkeit, ab der eine Bewegung erkannt wird, werden von der Ausgangsentfernung zum vorausfahrenden Fahrzeug,

der Betrachtungsdauer und der Bewegungsrichtung relativ zum Beobachter beeinflusst.

Rasche Bremsreaktionen im realen Verkehr werden in Situationen erforderlich, die für den Fahrer plötzlich und unerwartet auftreten. Die Erwartung eines Reizes, auf den eine Reaktion zu folgen hat, ist für die Reaktionszeit von entscheidender Bedeutung. Generell gilt, dass Reaktionen auf unerwartete Reize langsamer erfolgen als auf erwartete [11]. Als Median der Verteilung von Bremsreaktionszeiten auf unerwartete Situationen wurde in feldexperimentell angelegten Untersuchungen ein Wert von 0,9 s ermittelt [12]. Die Einleitung eines Bremsvorgangs als Reaktion auf die Verzögerung eines vorausfahrenden Fahrzeugs setzt voraus, dass dieses Ereignis durch den Fahrer erkannt wurde. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle werden derartige Ereignisse im peripheren Bereich der Retina wahrgenommen [13]. Da grundsätzlich gilt, dass die eigentliche Informationsverarbeitung erst beginnen kann, wenn das betreffende Objekt im fovealen Bereich der Retina fixiert wurde, ist hierfür eine Blickzuwendung erforderlich. BURCKHARDT [13] nimmt in seinem zeitlichen Ablaufmodell eines Notbremsvorgangs einen durchschnittlichen Wert von 0,48 s für diese Blickzuwendungszeit an. Eine Verkürzung dieser Komponente der "psychophysischen Reaktion" [13] durch verbesserte Bremsleuchten könnte demnach zu einer deutlichen Verkürzung des Anhalteweges bei Notbremsvorgängen beitragen.

Es ist durch Ergebnisse experimenteller Untersuchungen gut belegt, dass durch das abrupte Auftreten von Reizen im peripheren Sehfeld unwillkürliche, d. h. von Intentionen unabhängige Zuwendungen der visuellen Aufmerksamkeit ausgelöst werden, denen entsprechende Blickzuwendungen folgen [14]. Die dafür verantwortlichen sensorischen Mechanismen bedingen, dass bereits ab einem Zeitintervall von 100 ms zwischen dem Auftreten eines Hinweisreizes und eines Zielreizes im peripheren Sehfeld signifikante Reaktionserleichterungen messbar sind [15].

Als eine überaus bedeutsame Informationsquelle, die dem Fahrer beim Folgefahren für die Regelung seines Geschwindigkeits- und Abstandsverhaltens zur Verfügung steht, können daher die Bremslichter vorausfahrender Fahrzeuge angesehen werden. Beim derzeitigen Bremslicht (2 Bremsleuchten und eine hoch gesetzte dritte Bremsleuchte) wird dem Fahrer die Information übermittelt, dass gebremst

wird. Dadurch wird ihm zusätzliche Zeit für die Planung und Durchführung einer situationsadäquaten Fahrhandlung eingeräumt, bevor die TTC den kritischen Wert unterschreitet, von dem an er von sich aus eine Bremsung einleitet.

Tatsächlich treten im Verkehr Situationen auf, in denen lediglich die Information, dass gebremst wird, für die Einleitung einer situationsadäquaten Fahrhandlung nicht ausreichend ist. In der Regel handelt es sich dabei um eine Gefahrenbremsung. Ansätze zur Optimierung des Bremslichts zielen daher im Kern darauf ab, dessen Informationsgehalt zu steigern, indem sie Lösungsvorschläge anbieten, dem Fahrer zusätzlich die Information zu übermitteln, wie stark gebremst wird.

Im Folgenden werden einige Ergänzungen zum oder Änderungen am derzeitigen Signalbild beschrieben, die eine bessere Anpassung des Verzögerungsvorgangs nachfolgender Fahrzeuge an die Verkehrssituation bewirken können. Aus Gründen der Vollständigkeit sei aber darauf hingewiesen, dass es neben der Optimierung des rückwärtigen Signalbildes auch noch andere Möglichkeiten gibt, den Fahrer bei Bremsvorgängen zu unterstützen. Diese setzen zu einem späteren Zeitpunkt, d. h. bei der Durchführung der Bremsung selbst, an. Beispielsweise erkennen Bremsassistentensysteme die Intention des Fahrers z. B. durch Messung der Pedalgeschwindigkeit und greifen in den Verzögerungsvorgang unterstützend ein. Je wirkungsvoller diese Systeme werden und damit Situationen mit hohen Verzögerungswerten erzeugen, desto wichtiger wird eine situationsangemessene Information für Fahrer nachfolgender Fahrzeuge.

## 2.2 Vergrößerung der Leuchtenfläche

Wie einleitend dargelegt, geht die Annäherung an ein Objekt mit einer Ausdehnung von dessen Abbild auf der Netzhaut einher. Der daraus resultierende Eindruck kann durch eine stufenweise Vergrößerung der Leuchtenfläche unterstützt werden: Je stärker die Bremsung ist, desto größer wird die aufleuchtende Fläche (Bild 1).

Da dieser Mechanismus unabhängig von Lernerfahrungen wirksam ist, eignet sich diese Kodierungsform sehr gut, um eine Veränderung der Bremsstärke anzuzeigen. Nach Untersuchungen von [16] ist dabei mindestens eine Verdoppelung der Leuchtenfläche von Stufe zu Stufe empfehlenswert.

## 2.3 Lageänderung der Leuchtenfläche

Mit der Annäherung an ein vorausfahrendes Fahrzeug scheint der horizontale Abstand zwischen zwei leuchtenden Flächen anzuwachsen. Dieser Effekt wird unterstützt, wenn man das Bremssignal in Abhängigkeit von der Bremsstärke von innen nach außen verlagert (Bild 2).

Eine Lageveränderung der Leuchtenfläche von innen nach außen allein ist bei der Vielzahl der Gestaltungsmöglichkeiten unter Umständen missverständlich und sollte daher mit einer Vergrößerung der Leuchtenfläche kombiniert werden [16].

Alternativ kann die Leuchtenfläche von unten nach oben verlagert werden (Bild 3).

## 2.4 Veränderung der Leuchtdichte

Die Leuchtdichte ergibt sich aus dem Quotienten von Lichtstärke zu leuchtender Fläche. Will man also unter Beibehaltung der Leuchtenfläche eine

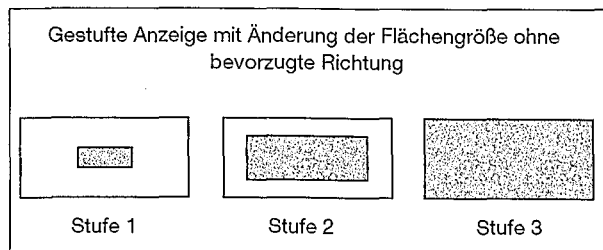


Bild 1: Vergrößerung der Leuchtenfläche

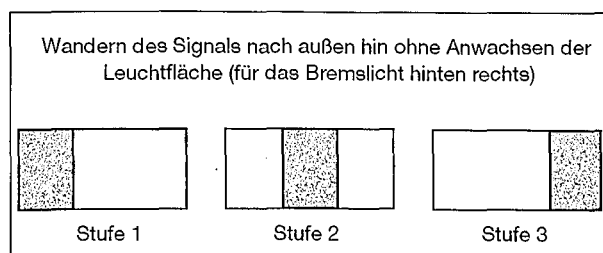


Bild 2: Lageänderung von innen nach außen

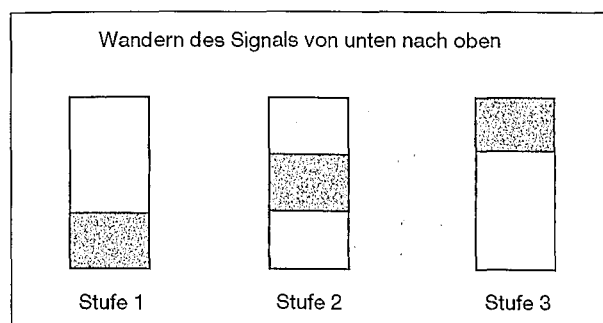


Bild 3: Lageänderung von unten nach oben

Erhöhung der Aufmerksamkeit erzielen, so muss die Lichtstärke variiert werden. Diese Lösung bietet sich an, wenn aus Platz- bzw. Designgründen eine Vergrößerung oder Verlagerung der Bremsleuchten nicht in Frage kommt.

Der Darstellung einer Bremsstärkeanzeige durch Erhöhung der Leuchtdichte sind allerdings enge Grenzen gesetzt, da die Leuchtdichte von Stufe zu Stufe mindestens um den Faktor fünf erhöht werden sollte [1], gleichzeitig aber mögliche Blendwirkungen insbesondere bei Dunkelheit auszuschließen sind.

Zusätzlich ist an dieser Stelle zu berücksichtigen, ob und wie sich eine Veränderung der Leuchtdichte mit zukünftiger Beleuchtungstechnik (wie z. B. der Leuchtdichteadaptation, bei der sich die Leuchtdichte den Umgebungsbedingungen anpasst und z. B. eine Nebelleuchte überflüssig macht) vereinbaren lässt.

## 2.5 Blinkende Leuchten

Das menschliche Auge ist im peripheren Bereich besonders empfindlich gegenüber Helligkeitsveränderungen. Blinken ist daher besonders geeignet, eine Aufmerksamkeitszuwendung zu bewirken. Beispielsweise können statische Objekte, die jenseits von 20° des zentralen Sehfeldes nicht mehr wahrnehmbar sind, noch erkannt werden, wenn sie blinken [17]. Blinkende Leuchten sind daher ein geeignetes Mittel zur Kodierung der Bremsstärkeinformation, wenn eine schnelle Aufmerksamkeitszuwendung in Situationen unterstützt werden soll, in denen der Fahrer seinen Blick vom vorausfahrenden Fahrzeug (z. B. in den Fahrzeuginnenraum) abgewendet hat. Eine Blinkfrequenz von ca. 4 Hz hat sich dabei als optimal herausgestellt [2, 18]. Blinkende Darstellungen sollten jedoch auf absolute Gefahrensituationen beschränkt bleiben, damit deren Warnwirkung nicht abgenutzt wird.

Denkbar wäre auch eine Lösung, bei der das ununterbrochen leuchtende Bremslicht komplett, d. h. im gesamten Verzögerungsbereich, durch blinkende Darstellungen ersetzt wird. Dabei könnte dann eine niedrige Verzögerung einem Blinken mit niedriger Frequenz entsprechen, eine größere Verzögerung einem schnelleren Blinken. Eine solche Bremsstärkeanzeige nur durch Modulation der Blinkfrequenz hat sich aber in Untersuchungen von [16] als nicht wirkungsvoll herausgestellt, da die Zuordnung einer wahrgenommenen Blinkfrequenz

zu einem bestimmten Verzögerungsniveau aufgrund einer fehlenden Referenz schwierig ist.

## 2.6 Veränderung der Leuchtfarbe

Grundsätzlich könnte die Stärke einer Bremsung auch durch einen Farbwechsel signalisiert werden. Vorgestellt wurde in ähnlichem Zusammenhang beispielsweise ein "Tri-Light" mit den Farben Grün (für Beschleunigen), Orange (für gleichmäßige Geschwindigkeit) und Rot (für Bremsen) [1]. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass eine solche Darstellungsform natürlichen Erwartungshaltungen an die Bedeutung von Farben zuwiderläuft [17, 19]. Nach deren stereotyper Interpretation wird mit Grün der Zustand des Normalbetriebs und mit Gelb ein "Achtung" angezeigt. Die Farbe Orange für gleichmäßige Geschwindigkeit (Normalbetrieb) entspricht daher nicht deren stereotyper Interpretation ("Achtung"). Die Farbkodierung des Tri-Lights von Grün nach Rot erfordert deshalb in jedem Falle einen Lernprozess. Da die Unterscheidungsmerkmale für Farbfahlsichtige darüber hinaus nicht oder nicht ausreichend erkennbar sind und außerdem die Zuordnung bei schlechten Witterungsbedingungen schwierig ist, wird die Möglichkeit einer Farbkodierung der Bremsstärke durch einen Wechsel von einer Farbe zur anderen auf breiter Ebene abgelehnt und daher an dieser Stelle nicht weiter vertieft. Weitere Aspekte des Zuschaltens andersfarbiger Leuchten zusätzlich zum roten Bremslicht werden dagegen in Kapitel 3.6 diskutiert.

## 2.7 Veränderung der Kontur der Bremsleuchten

Denkbar wäre auch eine Anzeige der Bremsstärke durch unterschiedliche geometrische Muster, also beispielsweise ein Achteck für "Stopp". Bei größeren Beobachtungsabständen oder eingeschränkten Sichtverhältnissen sind solche Konturveränderungen jedoch nicht ausreichend genau erkennbar und werden daher allein schon aus diesem Grund als unzweckmäßig erachtet.

## 2.8 Erhöhung der Anzahl der Bremsleuchten

Die Diskussion über die optimale Anzahl von Bremsleuchten und deren sinnvolle Anordnung wird bereits seit der Einführung einer einzelnen rückwärtigen Bremsleuchte im Jahr 1909 geführt.

Eine zweite Bremsleuchte wurde 1961 vorgeschrieben. Seitdem gab es viele Vorschläge zur Verbesserung des Signalbildes: Systeme mit bis zu 10 Bremsleuchten in unterschiedlichen Konfigurationen wurden beschrieben [1], keines von diesen konnte sich jedoch durchsetzen. Erst 1980 gab es wieder eine Änderung. Zu diesem Zeitpunkt wurden zwei hoch gesetzte Bremsleuchten in Ergänzung zu den beiden konventionellen Leuchten zugelassen.

Seit 1991 wurde in Deutschland eine dritte hoch gesetzte zentrale Bremsleuchte geduldet, seit 1998 ist sie für Neufahrzeuge vorgeschrieben [20]. Von der so verbesserten Anzeige des Bremsvorgangs erwartete man eine Verkürzung der Fahrerreaktionszeiten und damit verbunden positive Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit. Möglicherweise wurden die anfangs dadurch erzielten Effekte inzwischen durch Gewöhnungsprozesse auf Seiten der Fahrer wieder reduziert. Einen bleibenden Sicherheitsgewinn stellt die hoch gesetzte Bremsleuchte jedoch für die Fahrer der später nachfolgenden Fahrzeuge in Kolonnen in dem Fall dar, wenn bei einer Bremsung die beiden unteren Bremsleuchten des verzögernden Fahrzeugs durch ein vorausfahrendes Fahrzeug verdeckt sind, die hoch gesetzte Bremsleuchte jedoch durch das vorausfahrende Fahrzeug hindurch sichtbar ist.

In der Literatur bezieht sich die Angabe "konventionelles Bremslicht" mitunter auf eine Ausstattung mit nur zwei Bremsleuchten im Fahrzeugheck. Diese Bezeichnung ist etwas missverständlich, wenn man berücksichtigt, dass die jetzige Fahrzeugflotte bereits zu einem großen Teil aus Fahrzeugen mit hoch gesetzter Bremsleuchte besteht. Da jedoch - wie bereits dargelegt - die dritte hoch gesetzte Bremsleuchte in Deutschland mittlerweile vorgeschrieben ist, wird auch im vorliegenden Bericht die Konfiguration mit nur zwei Bremsleuchten als "konventionelles Bremslicht" und die mit dritter hoch gesetzter Bremsleuchte als "derzeitiges Bremslicht" bezeichnet.

## 2.9 Kombination verschiedener Stimulusfaktoren

Die beschriebenen Kodierungsmöglichkeiten lassen sich natürlich auch auf vielfältige Weise miteinander kombinieren. Grundsätzlich kann durch Mehrfachkodierung, also die Kombination von mindestens zwei Kodierungsdimensionen (also z. B.

Leuchtdichte und Position), die mögliche Anzahl von Signalen wie auch deren Unterscheidbarkeit erhöht werden. SANDERS und McCORMICK [11] empfehlen jedoch, bei der Mehrfachkodierung im Interesse einer raschen Interpretationsleistung nicht mehr als zwei Dimensionen miteinander zu kombinieren und darüber hinaus zu beachten, dass nicht alle Dimensionen beliebig miteinander kombinierbar sind. Hierzu zählt beispielsweise die Kombination der Dimensionen "Blinkrate" und "Helligkeit".

Sehr effektiv ist z. B. im Falle der Kodierung der Bremsstärke eine Verknüpfung von Flächenvergrößerung und Lageveränderung. Als beste Variante hat sich dabei eine Flächenvergrößerung von innen unten nach oben außen herausgestellt [16] (Bild 4).

### 3 Vorliegende Lösungsansätze zur Optimierung des rückwärtigen Signalbildes bei Gefahrenbremsungen

Wie bereits erwähnt, gibt es schon seit langer Zeit Ideen, wie man die Stärke eines Bremsmanövers für den nachfolgenden Verkehr anzeigen könnte. Darunter sind auch einige "exotische" Vorschläge. So wurde beispielsweise angeregt, eine rückwärtige Geschwindigkeitsanzeige einzuführen [1]. Ein "Bastler" bietet im Internet speziell für den Fiat Uno eine Schaltung an, die bei Betätigung des Bremspedals gleichzeitig die Nebelschlussleuchte aktiviert [21]. Auch wenn solche Vorschläge sicher nicht ernsthaft diskutiert werden müssen, zeigt sich doch, dass diesbezüglich bei vielen Fahrern offensichtlich Unterstützungsbedarf besteht. Einige praktikable Lösungsvorschläge sind bereits fertig entwickelt. Diese Vorschläge werden im Folgenden vorgestellt und bewertet.

#### 3.1 Bremsstärkeanzeige mittels Leuchtdichte- und Flächenvergrößerung

Die BMW AG hat in den Jahren 1994-99 umfangreiche Versuche bezüglich der Wirksamkeit von Bremsstärkeanzeigen durchgeführt. Folgende Untersuchungen wurden veranlasst:

- Literaturanalyse

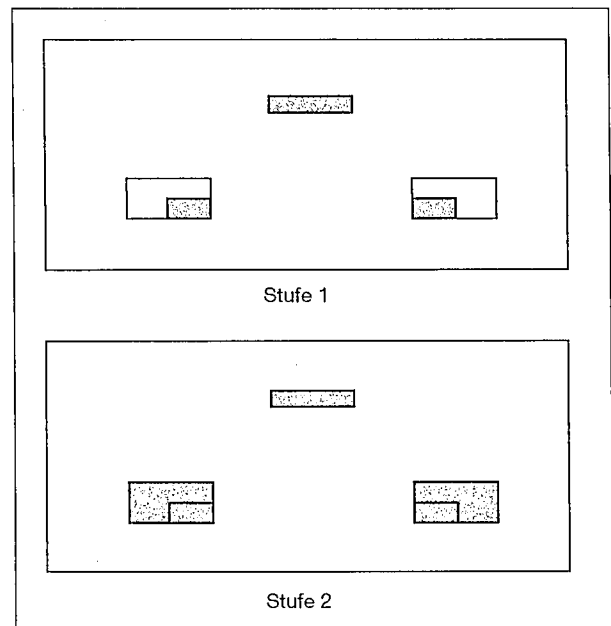


Bild 4: Flächenvergrößerung der beiden unteren Bremsleuchten von innen unten nach oben außen

- Tests im Fahrsimulator  
Die 20 Testpersonen hatten die Aufgabe, einem vorausfahrenden Fahrzeug mit 40 bis 50 m Abstand zu folgen. Aus einer Geschwindigkeit von 100 km/h heraus wurden leichte ( $1,3 \text{ m/s}^2$ ), mittlere ( $2,5 \text{ m/s}^2$ ) und starke Bremsungen ( $6,0 \text{ m/s}^2$ ) durchgeführt. Untersucht wurden der Einfluss unterschiedlicher Reizdimensionen (Flächenvergrößerung, Lageveränderung, Stufenanzahl, hoch gesetzte Bremsleuchte, Frequenz), Auswirkungen auf das Fahrerverhalten (Abstandsverhalten, Reaktionsverhalten, Akzeptanz) und der Einfluss von eingeschränkten Sichtverhältnissen [16].
- Maßstäbliche Betrachtung auf der Modellstraße der TH Darmstadt  
Auf der Modellstraße der TH Darmstadt im Maßstab 1:10 sollten Versuchspersonen Veränderungen von Flächengröße und -lage sowie der Leuchtdichte auf einer Skala von 1 bis 9 bewerten. Da hier in erster Linie die periphere Wahrnehmung beurteilt werden sollte, erhielten die Testpersonen die Zusatzaufgabe, einen Monitor im Winkel von  $7^\circ$  zu beobachten [16].
- Untersuchungen im Lichtkanal  
Die Sichtbarkeit der Bremsstärkeanzeige wurde für Verhältnisse bei Nacht und bei Regen im Lichtkanal getestet. Die 25 Testpersonen sollten aus einem Beobachtungsfahrzeug heraus die Bremsstärke eines im Abstand von 40 m ste-

henden Signalfahrzeugs durch entsprechenden Bremspedaldruck nachvollziehen und subjektiv bewerten. Auch hier war eine Ablenkung durch Einstellen einer geforderten Geschwindigkeit über das Gaspedal vorgegeben [16].

- Verkehrsflusssimulation mittels des Programms "Pelops" an der RWTH Aachen  
Hier wurde das Fahrerverhalten einer Kolonne von 10 Fahrzeugen bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h und einem anfänglichen Abstand zwischen den einzelnen Fahrzeugen von 40 m getestet. Verglichen wurde eine konventionelle Bremsanzeige durch die beiden Heckleuchten mit einer 3-stufigen Bremsstärkeanzeige [16].

- Felduntersuchungen auf einem Testgelände durch VTI  
Auf einem abgeschlossenen Testgelände wurden drei Versuchsreihen bei eingeschränktem Fremdverkehr durchgeführt [22].

Reihe 1: Im ersten Schritt führen insgesamt 12 Versuchspersonen ohne vorherige Einweisung hinter einem Fahrzeug mit 3-stufiger Bremsstärkeanzeige. Dann wurden sie über Sinn und Funktion der Bremsstärkeanzeige informiert, und der Test wurde wiederholt, um zu prüfen, ob die Bremsstärkeanzeige intuitiv und leicht erlernbar ist.

Reihe 2: Hier wurden vier Alternativen der Bremsstärkeanzeige mit und ohne Einbeziehung der hoch gesetzten Bremsleuchte gegenübergestellt. Acht Versuchspersonen sollten die Varianten beurteilen.

Reihe 3: Bei Nachtfahrten sollten vier Testpersonen zwei unterschiedliche Leuchtdichteniveaus beurteilen.

- Felduntersuchungen auf Autobahnen durch TRL  
Um weitreichende Informationen über die Wirksamkeit einer Bremsstärkeanzeige im realen Verkehrsgeschehen zu erhalten, führen 30 Testpersonen sowohl hinter einem Versuchsfahrzeug mit konventionellem Bremslicht (nur die beiden Bremsleuchten) als auch hinter einem Fahrzeug mit 3-stufiger Bremsstärkeanzeige. Registriert wurden einerseits die zum normalen Verkehrsablauf gehörenden Bremsmanöver, andererseits wurden Bremsungen künstlich provoziert. Aus Sicherheitsgründen wurde dabei auf Gefahrenbremsungen verzichtet [22].

Bremsstufe	Bremsleuchte	hoch gesetzte Bremsleuchte
Stufe 1 (leicht)	Aufleuchten des Standardbremslichts mit mittlerer Leuchtdichte	ohne
Stufe 2 (mittel)	Erhöhung der Leuchtdichte, Vergrößerung der Leuchtfläche	Aufleuchten der Standardleuchte
Stufe 3 (stark)	Vergrößerung der Leuchtfläche	Vergrößerung der Breite der Leuchte
Zuschalten der nächsthöheren Stufe jeweils nach Aufleuchten der Ausgangsstufe von 200 ms		

Tab. 1: 3-stufiges Break Force Display [22]

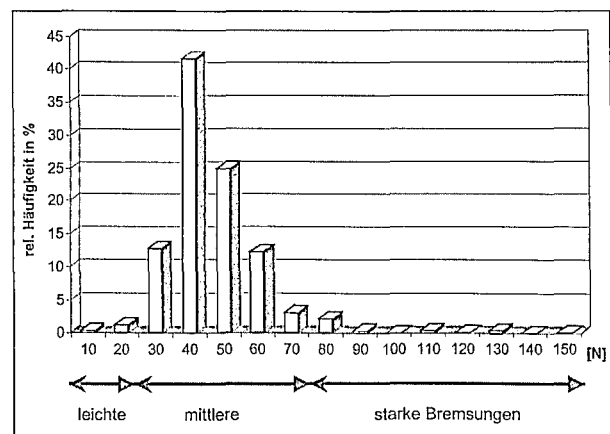


Bild 5: Verteilung der Bremspedalkraft [N] während einer Autobahnfahrt [23]

Aufgrund der Ergebnisse der ersten Studien wurde zunächst ein 3-stufiges Bremslicht (Break Force Display, BFD) favorisiert, dessen Aufbau in Tabelle 1 dargestellt ist.

Die Unterscheidung zwischen leichten, mittleren und starken Bremsungen wurde in Anlehnung an die Verteilung der Bremspedalkräfte während einer Autobahnfahrt auf trockener Fahrbahn vorgenommen (Bild 5). Auswirkungen des BFD innerhalb von Ortschaften wurden nicht untersucht.

Als Ergebnisse werden von BMW genannt:

Bei leichten Bremsungen wird die Reaktionszeit der Fahrer größer, d. h., die Fahrer nehmen den Fuß vom Gaspedal und sind in Bremsbereitschaft, warten aber ab, ob tatsächlich eine Bremsung erforderlich wird. Dies spiegelt sich auch in einer deutlichen Abnahme der Bremspedalbetätigungen wider. Wenn eine Bremsung erforderlich wird, so wird die verspätete Reaktionszeit durch leicht erhöhten Bremspedaldruck ausgeglichen, so dass hier kein höheres Gefährdungspotenzial entsteht. Wie die Verkehrsflusssimulation gezeigt hat, ist

diese Bremsstufe ein geeignetes Instrument, um den Verkehrsfluss zu harmonisieren.

Bei mittleren Bremsungen, die bei Autobahnfahrten am häufigsten auftreten, zeigt sich bei geringem Sicherheitsabstand zwischen den Fahrzeugen eine signifikant kürzere Reaktionszeit. Wird der Sicherheitsabstand größer, so wurden bei Felduntersuchungen auf der Autobahn tendenziell höhere Reaktionszeiten festgestellt, was darauf hindeutet, dass der Fahrer auch in diesem Fall zunächst "abwartet", wie sich die Situation weiter entwickelt. Bei Betrachtung des Bremskraftverlaufs zeigt sich deutlich ein schnelleres Erreichen des Maximalwertes. Tendenziell scheint sich auch bei mittleren Bremsungen das Abstandsverhalten zum Vordermann zu verbessern.

Bei starken Bremsungen konnten aus Sicherheitsgründen keine Versuche unter realen Verkehrsbedingungen durchgeführt werden. Ob die Reaktionszeit des Fahrers durch die Bremsstärkeanzeige verkürzt wird, konnte nicht eindeutig geklärt werden. Die Bremskraftverläufe im Fahr Simulator und auf der Teststrecke sind jedoch signifikant besser als ohne Anzeige: Der Maximalwert wird früher erreicht und der Bremsverlauf ist insgesamt harmonischer (Bilder 6 und 7).

Auch bei starken Bremsungen ist ein besseres Abstandsverhalten zum vorausfahrenden Fahrzeug feststellbar. Dies zeigt sich bei Betrachtung der maximalen Geschwindigkeitsdifferenz der beiden Fahrzeuge während des Bremsvorgangs (Bild 8).

Der praktischen Umsetzung einer 3-stufigen Bremsstärkeanzeige steht der enorme Platzbedarf (Flächenverdoppelung von Stufe zu Stufe) entgegen. Daher wird von der BMW AG alternativ ein 2-stufiges BFD vorgestellt (Tabelle 2).

Während bei der 3-stufigen Variante zwischen leichten, mittleren und starken Bremsungen unterschieden wird, erfolgt bei der einfacheren 2-stufigen Variante eine Unterscheidung zwischen Standardbremsung und starker Bremsung. Die bislang durchgeführten Felduntersuchungen beschränken sich auf die 3-stufige Version.

### 3.2 Das Integral-Bremslicht (IBL)

Von GERHAHER, WERMUTH und BARSKE wurde ein integrales Bremslicht entwickelt [24]. Die Anzeige der Bremsstärke erfolgt hier über die dritte hochgesetzte Bremsleuchte und ist aus 2 x 15

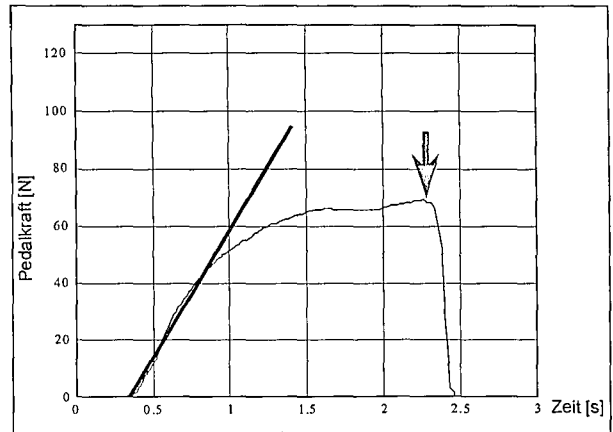


Bild 6: Bremspedalkraftverlauf mit konventioneller Anzeige [23]

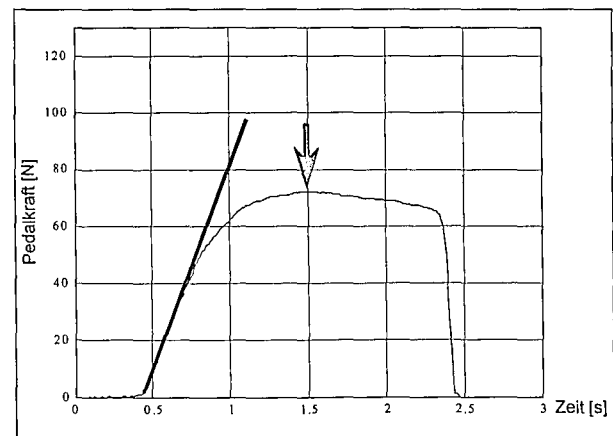


Bild 7: Bremspedalkraftverlauf mit Break Force Display [23]

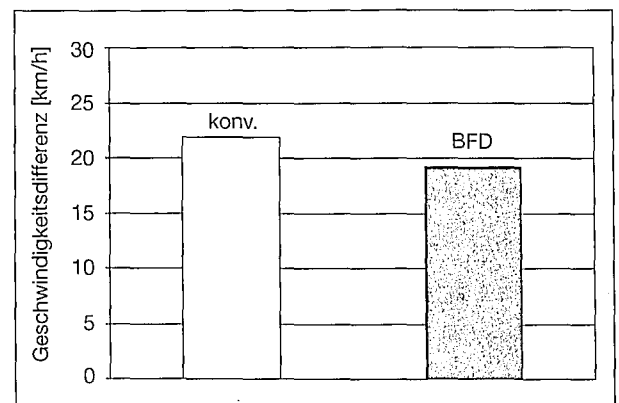


Bild 8: Maximale Geschwindigkeitsdifferenz [km/h] während starker Bremsungen [22]

Bremsstufe	Bremsleuchte	hoch gesetzte Bremsleuchte
Stufe 1 $a < 4-5 \text{ m/s}^2$	Aufleuchten des Standardbremslichts	mit
Stufe 2 $a > 4-5 \text{ m/s}^2$ oder Eingriff des ABS	Erhöhung der Leuchtdichte, Vergrößerung der Leuchtfläche zur Seite oder nach oben	evt. Vergrößerung der Breite der Leuchte

Tab. 2: 2-stufiges Break Force Display

bandförmig angeordneten LED aufgebaut. In Abhängigkeit von einem kontinuierlich ermittelten "Gefahrenwert" werden diese zunächst in 15 Stufen von außen nach innen angesteuert, so dass zum Schluss das Leuchtenband geschlossen ist. Steigt die Bremsverzögerung weiter an, so blinken die Leuchten in vier weiteren Warnstufen mit steigender Frequenz. Der Gefahrenwert  $G$  wird in der Steuereinheit des ABS errechnet und berücksichtigt nicht nur die momentane Verzögerung, sondern auch die Dauer des Verzögerungsvorgangs.

$$G = \int_{t_0}^{t_1} a^3 dt$$

Eine Nachwarnzeit über den Stillstand des Fahrzeugs hinaus soll die noch bestehende Geschwindigkeitsdifferenz am Ende des Bremsmanövers signalisieren.

Die Wirksamkeit des IBL wurde in Fahrversuchen auf einem Testgelände der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen in Aachen untersucht [24]: Acht Testpersonen durchfuhren 30 typische Bremssituationen einmal mit derzeitigem Bremslicht und einmal mit IBL. In einem ersten Durchgang waren die Testpersonen uninformiert, dann wurden sie über die Funktion des IBL aufgeklärt, und die Versuche wurden wiederholt. Die Beurteilung des IBL durch die Testpersonen fiel positiv aus. Auch die Messwerte zeigten ein verbessertes Reaktions- und Bremsverhalten.

### 3.3 Optimierung des rückwärtigen Signalbildes mittels blinkender Leuchten

Im Auftrag der damaligen Daimler-Benz AG wurden 1992 Untersuchungen zur Optimierung des rückwärtigen Signalbildes von Pkw durchgeführt [18].

Aufgrund theoretischer Vorüberlegungen kam man auch hier zu der Schlussfolgerung, dass die Anzeige des Verzögerungsvorgangs in höchstens zwei bis drei Abstufungen vorgenommen werden sollte. Eine zeitliche Veränderung des Signalbildes in Form einer intermittierenden Darstellung wurde dabei bevorzugt.

Ob die Reaktionszeit des Fahrers im Falle einer Gefahrenbremsung durch blinkende Leuchten verkürzt werden könnte und welche Darstellung des Signalbildes hierfür am besten geeignet wäre, sollten Untersuchungen im Fahrsimulator zeigen. Die

40 Testpersonen wurden vor Beginn der Versuche ausführlich über die verschiedenen Lösungsvorschläge informiert. Sie wurden aufgefordert, einem mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h vorausfahrenden Fahrzeug im Abstand von 50 m zu folgen, und sollten auf unterschiedliche Bremsmanöver angemessen reagieren. In einem ersten Durchgang erfolgten die Testfahrten ohne Ablenkung, im zweiten Durchgang wurden die Testpersonen aufgefordert, zwischenzeitlich auf eine rote Lampe zu schauen.

Die Untersuchungen konzentrierten sich im Wesentlichen auf folgende Varianten:

- konventionelle Bremsleuchten,
- konventionelle Bremsleuchten und Warnblinkanlage,
- konventionelle Bremsleuchten und hoch gesetzte blinkende Bremsleuchte.

Die Versuchsergebnisse sind in Bild 9 dargestellt.

Bei dem Einsatz blinkender Leuchten ergeben sich für beide Varianten verbesserte Reaktionszeiten, wobei die Lösung mit einer hoch gesetzten blinkenden Bremsleuchte wirkungsvoller ist.

Messungen an einem Computermessplatz zeigten, dass die beste Frequenz zur Anzeige eines Gefahrenwertes bei 4 Hz liegt [18]. Damit wäre auch eine eindeutige Unterscheidung zum Blinken der Fahrtrichtungsanzeiger ( $1,5 \text{ Hz} \pm 0,5 \text{ Hz}$ ) gewährleistet. Zur Signalisation einer Gefahrenbremsung darf die Frequenz auch deshalb nicht zu niedrig gewählt werden, da mehr als eine Periodendauer nötig ist, um ein Blinken auch als solches zu identifizieren. Die technische Umsetzung einer so hohen Frequenz erschien zum damaligen Zeitpunkt nur über die Leuchtdioden der dritten hoch gesetzten Bremsleuchte möglich. Aufgrund dieser Überle-

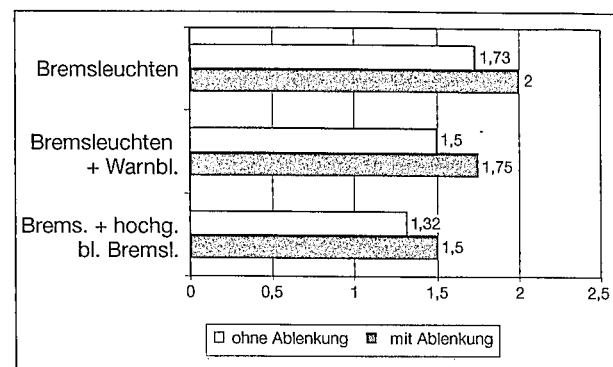


Bild 9: Effektive Reaktionszeiten mit und ohne Ablenkung [25]



gungen wurde nicht untersucht, wie sich die Reaktionszeit des Fahrers bei gleichzeitigem Blinken aller Bremsleuchten verbessert, obwohl diese Variante grundsätzlich als die Lösung mit dem höchsten Sicherheitsgewinn angesehen wurde. Inzwischen gibt es auf diesem Gebiet Weiterentwicklungen, so dass ein Versuchsfahrzeug mit einer entsprechenden Technologie ausgestattet wurde. Eine Vorführung dieses Fahrzeugs bei der BAST bestätigte die positive Wirkung dieser Konfiguration.

Als Eingangsdaten werden von Daimler Chrysler die ohnehin zur Verfügung stehenden Daten von ABS und Bremsassistent genutzt.

### 3.4 Lösungsvorschlag mit aktivierter Warnblinkanlage

Der PSA-Konzern hat mit der Entwicklung des Peugeot 607 erstmals eine Anzeige von Gefahrenwerten bei hoher Bremsverzögerung realisiert: Bei Geschwindigkeiten ab 50 km/h wird bei Verzögerungswerten von mehr als  $7 \text{ m/s}^2$  über einen Zeitraum von länger als 0,3 s die Warnblinkanlage aktiviert [28]. Wie aus dem Diagramm in Kapitel 3.3 ersichtlich, ist eine solche Anzeige grundsätzlich geeignet, um die Reaktionszeit des Fahrers zu verkürzen.

### 3.5 Dauerlicht der hinteren Fahrtrichtungsanzeiger

Bei dem "Kfz-Bremslicht" [30] handelt es sich um den Vorschlag eines Privatmanns, der eine einfache 2-stufige Bremsstärkeanzeige entwickelt hat (s. Tabelle 3).

Untersuchungen über die Wirksamkeit des "Kfz-Bremslichts" liegen nicht vor. Bei ähnlichen Versuchen mit einer Kombination aus konventionellen Bremsleuchten und roten Schlussleuchten zeigten sich allerdings keine wesentlichen Verbesserungen [18].

Bremsstufe	Bremsleuchte	hoch gesetzte Bremsleuchte
Stufe 1 $a < 4 \text{ m/s}^2$	Aufleuchten des Standardbremslichts	mit
Stufe 2 $a > 4\text{-}5 \text{ m/s}^2$ oder Eingriff des ABS	Zusätzliches Aufleuchten der hinteren Fahrtrichtungsanzeiger (gelbes Dauerlicht)	keine Veränderung

Tab. 3: 2-stufiges "Kfz-Bremslicht"

### 3.6 Wertung der Lösungsansätze aus Sicht der BAST

#### Leuchtdichte- und Flächenvergrößerung

Die beschriebenen mehrstufigen Bremsstärkeanzeigen sind aus Sicht der BAST intuitiv zu erfassen. Lageänderung, Flächenvergrößerung und Leuchtdichteerhöhung bilden Vorgänge nach, die auch bei natürlicher Annäherung an ein Objekt beobachtet werden. Daher ist kein Lernprozess erforderlich, wie sich bei den von BMW in Auftrag gegebenen Felduntersuchungen auf dem Testgelände gezeigt hat [22]. Vorführungen für Mitarbeiter der BAST haben diesen Eindruck ebenfalls bestätigt.

Bei Fixierung des vom vorausfahrenden Fahrzeug erzeugten Signalbildes sind Änderungen in der Bremsstärkeanzeige gut wahrnehmbar. Dies gilt auch bei Dunkelheit oder schlechten Sichtbedingungen. Die Veränderung der Bremsstärkeanzeige ist auch im peripheren Sehfeld als eine Bewegung des Bremssignals erkennbar, so dass der Fahrer auch in diesem Fall angemessen reagieren kann. Probleme können nur dann auftreten, wenn aufgrund einer größeren Blickabwendung der Umschaltvorgang zwischen zwei Bremsstufen nicht beobachtet wurde. Bei den vielen unterschiedlichen Fahrzeugmodellen müsste dann unterschieden werden, ob es sich um ein besonders großes Bremslicht oder aber schon um eine nächsthöhere Stufe der Bremsstärkeanzeige handelt. Vor allem in Notbremssituationen ist es jedoch wichtig, die Aufmerksamkeit des Fahrers unter allen Umständen zu erzielen. Eine alleinige Flächen- bzw. Leuchtdichtevergrößerung zur Signalisation einer Gefahrenbremsung erscheint daher nicht als ausreichend. Dagegen ist das Break Force Display aus Sicht der BAST gut dazu geeignet, auch bei Verzögerungen von  $4\text{-}5 \text{ m/s}^2$ , die noch nicht einer extremen Gefahrenbremsung entsprechen, dem Fahrer sicherheitsrelevante Zusatzinformationen zu liefern.

Bei einer Zulassung der mehrstufigen Bremsstärkeanzeige bleibt die Frage offen, ob durch Gewöhnungsprozesse die Warnfunktion des rückwärtigen Signalbildes langfristig gemindert wird. Im Gegensatz zur jetzigen Version der hoch gesetzten Bremsleuchte erfolgt die Anzeige der höheren Bremsstufen zeitversetzt. Außerdem handelt es sich hier im Gegensatz zur einfach zusätzlich leuchtenden dritten hoch gesetzten Bremsleuchte um eine echte Kodierung der Bremsstärke. Da ab-

hängig von der Stärke der Bremsung verschiedene Signalbilder anstelle des immer gleichen konventionellen Bildes dargeboten werden, ist mit einer Abschwächung der Warnwirkung, wie sie bei der dritten hoch gesetzten Bremsleuchte vermutet wird, nicht zu rechnen.

Eine Nachrüstung von Altfahrzeugen ist bei dem beschriebenen Break Force Display mit Flächenvergrößerung aufgrund des zusätzlichen Platzbedarfs für die Leuchtkörper schwierig. Zusätzlich müssten alle Heckträger ebenfalls mit neuen Leuchten ausgerüstet werden. Außerdem würde das Vorschreiben einer Flächenvergrößerung einen deutlichen Eingriff in die Designfreiheit der Hersteller darstellen. Aus diesen Gründen sollte die Möglichkeit einer Flächenvergrößerung zur Signalisation einer Gefahrenbremsung optional und nicht verpflichtend sein.

#### Integral-Bremslicht

Die Intention des Integral-Bremslichtes (IBL) ist eine völlig andere als bei dem zuvor beschriebenen 2-stufigen System mit Leuchtdichte- und Flächenvergrößerung. Dieses hat in erster Linie Warnfunktion: "Achtung, hier wird stark gebremst." Der Fahrer des nachfolgenden Fahrzeugs ist aufgefordert, selbst stark zu bremsen und erforderlichenfalls nach einer Ausweichmöglichkeit zu suchen. Die Aufmerksamkeit soll sprunghaft gesteigert werden. Beim IBL wird der Fahrer animiert, die Bremsung des vorausfahrenden Fahrzeugs "nachzubremsten". Dies erfordert unseres Erachtens ein konzentriertes Fixieren der hoch gesetzten Bremsleuchte und schränkt damit unter Umständen den Blickwinkel zur Beurteilung der Gesamtsituation ein.

Bei der Bewertung von Mehrstufenbremssystemen wird ein System mit 2-3 Stufen jedoch bevorzugt [1, 16, 18, 33]. Die 19 Bremsstufen des IBL führen laut Literaturangaben zu einer Überforderung des Fahrers.

#### Blinkende Bremsleuchten

Einer Zulassung von blinkenden Bremsleuchten steht eine Regelung des Wiener Weltabkommens aus dem Jahr 1968 entgegen, wonach rote Beleuchtungseinrichtungen nicht blinken dürfen [26]. Im Straßenverkehr und in der Straßenausstattung sind rot blinkende Leuchten - bislang ausschließlich der Gefahrenabsicherung an unbeschränkten Bahnübergängen vorbehalten - durchaus umstrit-

ten, weil die Bedeutung "rotes Dauerlicht = Stopp" durch eine blinkende Darstellung abgeschwächt sei [27]. Blinkende Bremsleuchten am Fahrzeug haben demgegenüber eine etwas andere Funktion: Sie sollen die Aufmerksamkeit des Fahrers auf das vorausfahrende, stark verzögernde Fahrzeug lenken. Für diese Aufgabe sind blinkende Leuchten am besten geeignet. Da es sich hier um einen dynamischen Bremsvorgang handelt, sollte die Kodierung "Bremsung = rotes Licht" beibehalten werden. Dass es sich bei blinkenden Bremsleuchten um eine Gefahrenbremsung handelt, müssten die Fahrer erlernen. Beschränkt man das Blinken auf die dritte hoch gesetzte Bremsleuchte, so zeigen die unteren Bremsleuchten das gewohnte Bild von dauerhaft leuchtenden Bremsleuchten, so dass Irritationen, wie sie durch drei blinkende Bremsleuchten erzeugt werden könnten, vermieden werden.

Eine rot blinkende Darstellung an Fahrzeugen gibt es bereits in den USA, dort sind die Fahrtrichtungsanzeiger rot.

#### Aktivierung der Warnblinkanlage

In den üblicherweise auftretenden Situationen wird die Warnblinkanlage bisher vom Fahrer und nicht automatisch aktiviert. Nach den Erläuterungen zu § 53a StVZO stehen einer verzögerungsabhängig eingeschalteten Warnblinkanlage zwar verkehrsrechtliche Vorschriften grundsätzlich nicht entgegen, jedoch darf die automatische Zuschaltung erst im Falle sehr hoher Verzögerungswerte zwischen 1,5 g und 10 g erfolgen [29]. Das heißt im Falle einer Gefahrenbremsung, bei der die Verzögerung deutlich unter 1,5 g liegt, ist ein automatisches Zuschalten der Warnblinkanlage nach StVZO bislang nicht erlaubt.

Aus Sicht der BAST ist die Warnblinkanlage wegen der Signalisierung nach vorne und hinten nicht prädestiniert, einen Bremsvorgang oder die Bremsstärke anzuzeigen. Weiterhin ist das Aufleuchten der Warnblinkanlage im Straßenverkehr nicht zwingend mit einer Bremsung verbunden, sondern dient nach StVO zur Warnung vor ganz unterschiedlichen Gefahren. In der Regel handelt es sich dabei nicht um hochdynamische Situationen, sondern eher um quasistatische Vorgänge, wie z. B. bei liegen gebliebenen Fahrzeugen. Um zu vermeiden, dass es im Fall einer starken Bremsung zur Fehldeutung des dargebotenen Signals kommen kann, sollte die bisherige Kodierung "Bremsung = rotes Licht" beibehalten werden.

Außerdem sollte wegen der besseren Sichtbarkeit im Kolonnenverkehr auch die dritte hoch gesetzte Bremsleuchte in die Signalisation einer Gefahrenbremsung einbezogen werden, was bei alleinigem Betrieb der Warnblinkanlage nicht der Fall ist.

Dauerlicht der hinteren Fahrtrichtungsanzeiger

Um Irritationen zu vermeiden, sollten die Fahrtrichtungsanzeiger nicht für eine Bremsstärkeanzeige "missbraucht" werden. Gelbes Dauerlicht ist im derzeitigen Signalbild nicht vorgesehen. Seine Einführung würde einen Lernprozess erfordern.

Für Bremsungen sollte die Kodierung "Bremsung = rotes Licht" beibehalten werden.

#### 4 Anforderungen an eine Bremslichtkonfiguration mit optimaler Wirksamkeit

Aufbauend auf den theoretischen und praktischen Erkenntnissen über die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen zur Verbesserung des rückwärtigen Bremssignals, die in den vorgenannten Studien erörtert wurden, muss unseres Erachtens ein optimiertes Bremslicht im Falle einer Gefahrenbremsung folgenden Anforderungen genügen:

- 1) Das Signal soll auch von visuell abgelenkten Fahrern schnell wahrgenommen werden können, um deren Reaktionszeiten zu verkürzen.
- 2) Das Signal soll intuitiv wahrnehmbar und verständlich sein, d. h., die gewählte Art der Informationskodierung muss ohne vorheriges Lernen den natürlichen Erwartungshaltungen der Verkehrsteilnehmer entsprechen.
- 3) Das dargebotene Signal soll in möglichst wenig Stufen unterteilt sein, um die Anforderungen an das menschliche Differenzierungsvermögen so gering wie möglich zu halten [13].
- 4) Die für ein optimiertes Bremslicht gewählten Stufen sollen sich aus der Verteilung der im realen Straßenverkehr auftretenden Bremsstärken ableiten.
- 5) Auch die Intention einer Vollbremsung z. B. auf mindergriffigen Oberflächen (Eis) muss angezeigt werden.

- 6) Die Warnwirkung einer Anzeige für Gefahrenbremsung sollte möglichst unempfindlich gegenüber Gewöhnungseffekten sein.
- 7) Das Signal muss eindeutig sein und darf die Verkehrsteilnehmer nicht verwirren.
- 8) Die technische Realisierung des Signalbildes soll bei allen Fahrzeugtypen möglich sein. Daher sollen auch Nachrüstmöglichkeiten gegeben sein.

Eine wesentliche Verkürzung der Reaktionszeit und ein optimaler Aufforderungscharakter werden durch schnell blinkende Leuchten (4 Hz) erreicht [2, 18]. Schnell blinkende Leuchten in der peripheren Wahrnehmung lösen die Blickzuwendung aus und ziehen so die Aufmerksamkeit vor allem dann auf die Verkehrssituation, wenn der Fahrer diese gerade nicht im Blick fixiert hat. Dabei soll die Kodierung "Bremsung = rotes Licht" beibehalten werden.

Das optimierte rückwärtige Signalbild erfordert bei Neuentwicklungen und auch bei gegebenenfalls zu entwickelnden Nachrüstlösungen Veränderungen gegenüber der bisherigen Praxis. Die mit einer Frequenz von 4 Hz blinkende Darstellung einer Gefahrenbremsung erfordert den Einsatz von Leuchtdioden (LED), da Glühlampen ein zu träges Ansprechverhalten aufweisen, um mit dieser Frequenz einzelne, visuell sauber trennbare Impulse zu erzeugen. An den Leuchten werden zusätzliche Steuersignale erforderlich, um die höhere Stufe des Bremssignalbildes zu aktivieren. Um zu einer kostengünstigen Nachrüstlösung zu kommen, sollte, damit die Darstellung der Gefahrenbremsung auch mit Glühlampen realisierbar ist, eine Frequenz zwischen 3 Hz und 5 Hz vorgeschrieben werden.

Das rückwärtige Signalbild muss eindeutig sein und sich von anderen Signalen im Straßenverkehr absetzen, darf aber gleichzeitig keine visuelle Reizüberlastung bewirken und sollte in seiner Wirkung möglichst unbeeinflussbar durch Gewöhnungseffekte sein. Aufgrund dieser Forderungen müssen blinkende Darstellungen auf absolute Gefahrensituationen beschränkt bleiben, was eine hohe Verzögerung ( $> 7 \text{ m/s}^2$ ) als Einschaltkriterium erfordert.

Um in den beiden unteren Bremsleuchten zur Vermeidung von Verwirrung das bisherige, gewohnte Dauerleuchten bei Bremsvorgängen beibehalten zu können, sollte nur die dritte hoch gesetzte Leuchte im Fall der Gefahrenbremsung blinken. Ein zusätz-

licher Sicherheitsgewinn kann durch eine Flächen- und Leuchtdichtevergrößerung der unteren Bremsleuchten erreicht werden (s. Kap. 2.9). Insbesondere die intuitive Wahrnehmung und die dadurch veranlasste situationsangemessene Bremsung mit größtmöglicher Verzögerung werden auf diese Weise optimal sichergestellt. Dabei sollte eine Flächenvergrößerung angrenzend an die Ausgangsfläche nach oben und nach außen erfolgen. Bei einer Flächenvergrößerung ohne zusätzliche Leuchtdichtevergrößerung sollte sich die Fläche mindestens verdoppeln, bei alleiniger Leuchtdichtevergrößerung sollte diese mindestens Faktor 5 betragen. Kombinierte Leuchtdichte- und Flächenvergrößerungen sollten so gestaltet sein, dass sie mindestens die gleiche Wirkung erzeugen wie eine alleinige Flächenvergrößerung um den Faktor 2 oder eine alleinige Leuchtdichtevergrößerung um den Faktor 5. Werden angrenzende Schlussleuchten in die Flächenvergrößerung einbezogen, so muss die Leuchtdichte der zugeschalteten Flächen an die der Bremsleuchten angepasst werden. Eine Flächen- und Leuchtdichteänderung ist jedoch nicht für alle derzeit gängigen Fahrzeugtypen realisierbar und kann daher nur optional angeboten

werden. Zum Teil ist der für eine Flächenvergrößerung erforderliche Platzbedarf nicht vorhanden. Weiterhin wird das Gesamtbild eines Fahrzeugs auch durch das Design der Beleuchtungseinrichtungen geprägt, so dass eine Veränderung in der Leuchtenkonfiguration den Entwicklungen vieler Fahrzeughersteller entgegensteht und erst in zukünftigen Fahrzeugflotten realisiert werden könnte.

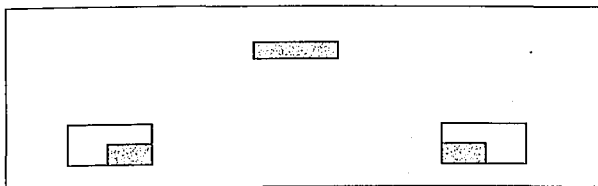
Diese Überlegungen führen zu der folgenden Gestaltung des rückwärtigen Signalbildes zur verbesserten Signalisation von Gefahrenbremsungen und zur Reduzierung von Auffahrunfällen.

#### 4.1 Signalbilder einer optimierten Bremslichtkonfiguration

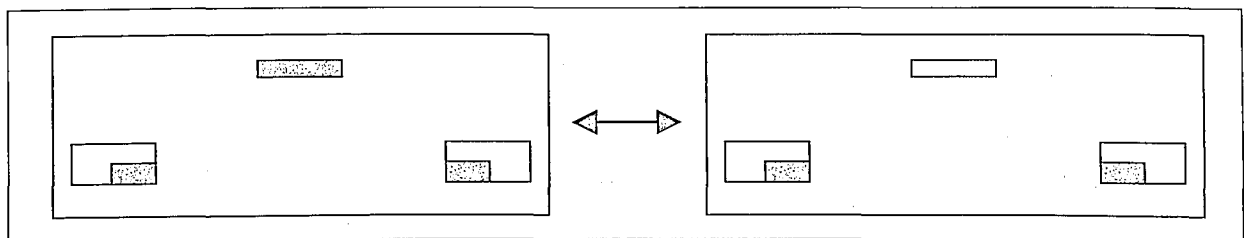
Bei Bremsungen im Verzögerungsbereich unter  $7 \text{ m/s}^2$  soll das derzeitige Signalbild beibehalten werden (Bild 10).

Bei Gefahrenbremsungen  $> 7 \text{ m/s}^2$  soll der Fahrer auch bei Ablenkung innerhalb kürzester Zeit reagieren und die Bremsung mit der höchstmöglichen Pedalkraft einleiten. Dies wird am einfachsten und effektivsten durch das Blinken der dritten hoch gesetzten Bremsleuchte mit einer Frequenz von 3 bis 5 Hz erreicht (Bild 11).

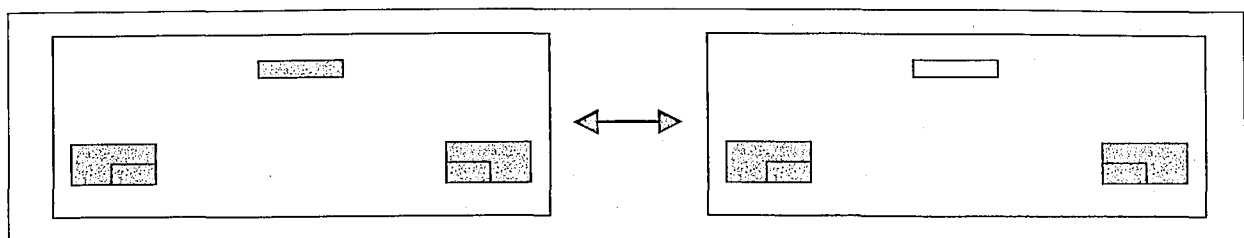
Dieses Signalbild sollte optional durch eine Flächen- und Leuchtdichtevergrößerung der beiden unteren Bremsleuchten erweitert werden (Bild 12).



**Bild 10:** Beibehaltung des derzeitigen Signalbildes bei Bremsverzögerungen bis  $7 \text{ m/s}^2$



**Bild 11:** Blinken der dritten hoch gesetzten Bremsleuchte mit 3-5 Hz bei Gefahrenbremsungen ( $> 7 \text{ m/s}^2$ )



**Bild 12:** Flächen- und Leuchtdichtevergrößerung der beiden unteren Bremsleuchten zusätzlich zum Blinken der dritten hoch gesetzten Bremsleuchte bei Gefahrenbremsungen ( $> 7 \text{ m/s}^2$ )

Die Durchdringung der gesamten Fahrzeugflotte mit der Möglichkeit zur Signalisation einer Gefahrenbremsung wäre ein Prozess über mehrere Jahre hinweg. Während dieses Zeitraums gäbe es nebeneinander Fahrzeuge mit und ohne Bremsstärkeanzeige. Bislang wurde das Problem des "Mischverkehrs" nicht untersucht. Unklar ist beispielsweise, ob die Nachfolgefahrt hinter einem Fahrzeug ohne Anzeige dann lediglich als Komfortverlust empfunden würde oder ob es hier zu Fehlreaktionen kommen könnte. Das Bild einer derzeitigen Bremsleuchtenkonfiguration eines nicht ausgerüsteten Fahrzeugs könnte z. B. fälschlicherweise als "schwache Bremsung" gedeutet werden, weil die stattfindende Gefahrenbremsung nicht besonders hervorgehoben wird.

Prinzipiell ist hierzu Folgendes anzumerken: Wenn eine mehrstufige Bremsstärkeanzeige als geeignetes Instrument zur Vermeidung von Auffahrunfällen erkannt wird, so ist der positive Nutzen auf Dauer höher zu bewerten, vor allem wenn sich durch eine Nachrüstmöglichkeit schnell ein hoher Ausstattungsgrad einstellt. Ähnlich war die Situation bei der Einführung der dritten Bremsleuchte. Den damit verbundenen Sicherheitsgewinn stellt sicherlich niemand in Frage, auch wenn es während einer Übergangsphase unter Umständen zu Irritationen gekommen ist. Nennenswerte Auswirkungen hatte der Mischverkehr nicht.

Sollte das vorausfahrende Fahrzeug nicht ausgerüstet sein, so wäre bei einer Bremsung, unabhängig von ihrer Stärke, das bisherige Signalbild zu sehen. Die Reaktion auf eine Gefahrenbremsung müsste dann, wie zurzeit, zusätzlich auf den optischen Informationen über die Annäherung an den Vordermann beruhen, so dass die Reaktionszeit zwar länger als mit Bremsstärkeanzeige, jedoch nicht länger als im derzeitigen Verkehrsgeschehen wäre. Es ist also davon auszugehen, dass Mischverkehr (wie bisher bei vielen neuen Einrichtungen) keine bedeutenden negativen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit hat.

#### **4.2 Technische Ausführung eines optimierten Signalbildes**

Die zu den dargestellten Bremssignalbildern angegebenen Verzögerungswerte beziehen sich auf Bremsungen bei trockener Straße. Je nach Vorhandensein von verschiedenen weiteren Eingangsgrößen für die Bestimmung der vom Fahrer ge-

wünschten Bremsverzögerung können diese anstelle der genannten Verzögerungswerte verwendet werden. Dies ist insbesondere bei mit ABS (Anti-Blockier-System) oder Bremsassistenten ausgerüsteten Fahrzeugen sinnvoll und leicht realisierbar. Sollte eines dieser Systeme ansprechen, so ist von einer Gefahrenbremsung auszugehen und die höhere Stufe des Signalbildes wäre zu aktivieren. Mit anderen geeigneten Eingangsgrößen anstelle der tatsächlichen Fahrzeugverzögerung lassen sich auch bei Fahrbahnoberflächen mit niedrigem Reibwert intendierte starke Bremsungen erkennen und entsprechend über die Bremsleuchten signalisieren.

#### **Eingangsgrößen**

Bezugsgröße für die Darstellung einer Bremsstärke ist der Verzögerungswunsch des Fahrers. Physikalisch äußert sich die Absicht des Fahrers zuerst in der Fußbewegung (Umsetzung des Fußes vom Gas- auf das Bremspedal). Allein schon aus der Geschwindigkeit der Fußbewegung lassen sich Rückschlüsse auf die beabsichtigte Verzögerung ziehen. Dies machen sich so genannte Bremsfrühwarnsysteme zu Nutze, bei denen die Bremsung signalisiert wird, ohne dass der Fuß schon das Bremspedal berührt haben muss. Andere Systeme wie der Bremsassistent schließen aus der Bremspedal-Betätigungsgeschwindigkeit, ob eine Notbremsung erwünscht ist, und sorgen für ein möglichst schnelles Erreichen des maximalen Bremsdrucks, ohne dass der Fahrer das Pedal schon fest genug durchgetreten haben muss. Die Daten eines solchen Bremsassistenten sind daher dafür prädestiniert, als Eingangsgrößen für eine Signalisation einer Gefahrenbremsung zu fungieren. Bei Fahrzeugen ohne Bremsassistenten kann auch das Ansprechen des ABS, das heute in nahezu allen Neufahrzeugen vorhanden ist, zur Identifikation einer Gefahrenbremsung herangezogen werden, wobei die Signalisation erst dann erfolgen sollte, wenn sich mindestens zwei Räder gleichzeitig im Regelbereich befinden. Auch Bremsdruck und Bremspedalkraft könnten zusammen mit der Fahrzeuggeschwindigkeit als Eingangsgrößen dienen. Sollte keine dieser Größen vorliegen, bleibt noch die mittels Beschleunigungssensor oder aus der Änderung der Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmte Verzögerung als Eingangsgröße übrig. Die tatsächliche Verzögerung kann bei niedrigem Reibwert jedoch gering sein, obwohl eine Gefahrenbremsung vorliegt. Oder bei steiler Bergabfahrt

kann es möglich sein, dass die mit einem Beschleunigungssensor ermittelte Fahrzeugverzögerung hoch ist, obwohl keine Gefahrenbremsung vorliegt. Daher wäre es sinnvoll, soweit wie möglich auf erstgenannte Eingangsgrößen zurückzugreifen.

#### Ein- und Ausschaltkriterien

Die höhere Stufe einer Anzeige einer Gefahrenbremsung sollte nach fahrzeuginterner Auswertung der oben beschriebenen Eingangsgrößen zugeschaltet werden. Das Blinken bzw. die zusätzliche Flächen- und Leuchtdichte vergrößerung sollte dann direkt ohne Zeitverzögerung einsetzen. Nach dem Lösen des Bremspedals, bei Stillstand des Fahrzeugs oder nach dem Erkennen der Beendigung einer Gefahrenbremsung durch Bremsassistent oder ABS sollte die höhere Stufe sofort ausgeschaltet werden. Zusätzlich könnte man an dieser Stelle überlegen, ob nicht bei Stillstand des Fahrzeugs die Bremsleuchten generell - eventuell mit kurzer Zeitverzögerung - ausgeschaltet werden sollten, da der Verzögerungsprozess in diesem Augenblick abgeschlossen ist. Sollte es infolge eines Unfalls zu extremen Verzögerungen gekommen sein, sollte stattdessen, wie bereits erwähnt, die Warnblinkanlage automatisch aktiviert werden.

Häufig werden Signaleinrichtungen am Fahrzeug für andere als die vorgeschriebenen Zwecke missbraucht und können damit im Extremfall sogar zu Verkehrsgefährdungen führen. Zu nennen sind hier beispielsweise das "Begrüßen" mit der Hupe, das Einschalten der Warnblinkanlage zum kurzfristigen Parken auf der Fahrbahn, das Drängeln auf der Überholspur mittels Lichthupe, das unnötige "Antippen" der Bremse auf der Autobahn, das kurzzeitige Einschalten des Fahrlichts, um dem nachfolgenden Fahrer ein Bremsmanöver vorzutäuschen. Solche oder ähnliche Missbrauchsmöglichkeiten sollen bei der Bremsstärkeanzeige weitestgehend ausgeschlossen sein. Der Aufbau des Signalbildes mit zunehmender Verzögerung muss allein von fahrzeuginternen Größen abhängen, die Informationen über die Bremsung und die Fahrzeugbewegung beinhalten. Wird als Eingangsgröße für die Bremsstärkeanzeige der Brems- oder Bremspedaldruck verwendet, so ist auszuschließen, dass die höheren Stufen bei Stillstand des Fahrzeuges, z. B. an einer Ampel, durch starkes Betätigen des Bremspedals durch den Fahrer ausgelöst werden können. Um fehlerhaftes Aufleuchten der Bremsstärkeanzeige zu vermeiden, ist eventuell vorzuse-

hen, dass die Bremsstärkeanzeige erst oberhalb einer Mindestgeschwindigkeit (z. B. Schrittgeschwindigkeit von ca. 5 km/h) aufleuchtet. Im Stadtverkehr ist auch mit einem positiven Effekt der Gefahrenbremssignalisation zu rechnen, so dass die Mindestgeschwindigkeit nicht zu hoch angesetzt werden sollte (nahe Schrittgeschwindigkeit).

## 5 Notwendige Änderungen der bestehenden Regelungen

Obwohl die Einführung einer Signalisation von Gefahrenbremsungen möglichst wenig Änderungen der bestehenden Regelungen erfordern sollte, ist zu bedenken, dass man die Einführung neuer technischer Möglichkeiten ungeachtet der Vorschriftenlage vorantreiben sollte, wenn mit ihnen ein deutlicher Sicherheitsgewinn einhergeht, und zwar auch so, dass weitere Verbesserungen leicht ergänzbar sind.

Um eine mehrstufige Bremsstärkeanzeige auf europäischer Ebene zuzulassen, müssen folgende Regelungen überdacht und entsprechend geändert werden:

#### Definition der Bremsbetätigung

In den Regelungen ECE-R 7 [31] und -R 48 [20] ist definiert, dass die Bremsleuchte anzeigt, dass der Fahrer die Betriebsbremse betätigt. Das Zuschalten einer zweiten Stufe einer Bremsstärkeanzeige würde jedoch zusätzlich durch das Fahrzeug selbst ausgelöst (als Reaktion auf die Bremsbetätigung des Fahrzeugführers). Das Aufleuchten von Bremslichtkonfigurationen über das herkömmliche Bild hinaus sollte daher nicht explizit an die Einschaltung bzw. Betätigung durch den Fahrer gekoppelt sein. Die Bremsbetätigung sollte nur die Grundvoraussetzung für alle möglichen Bremssignaltypen mit unterschiedlichen weiteren Einschaltkriterien sein.

#### Dynamische Änderung des Bremslichtes während einer Bremsung

In der Regelung ECE-R 48 [20] ist unter Punkt 2.7.12 und 6.7.7 zuzulassen, dass die Bremsleuchten in zwei Stufen nacheinander aufleuchten können, d. h., dass sich das Signalbild im Verlauf einer Bremsung verändern darf. Hier sind Flächen- und Lichtstärkeänderungen sowie Blinken vorzusehen. Außerdem sind die Ein- und Ausschaltkriterien festzuhalten.

### Anzahl der Leuchten

Zur Realisierung der Flächenvergrößerung mittels einer Änderung der Anzahl der Leuchten sollten für den speziellen Fall der Gefahrenbremsung mehr als drei Leuchten für das Bremslicht zugelassen sein. Dies wäre in ECE-R 48 unter Punkt 6.7.2 festzuhalten.

### Lichtstärke

Die in ECE-R 7 vorgegebenen Grenzen für die Lichtstärkepegel sollten beibehalten werden, auch um die Gefahr von Blendungen zu vermeiden. Innerhalb der Grenzen sollte die Lichtstärke jedoch auch während einer Bremsung variiert werden können.

### Blinken der dritten hoch gesetzten Bremsleuchte

In § 53, Abs. 2 StVZO [29] müsste die Verwendung von Blinklicht für die dritte hoch gesetzte Bremsleuchte erlaubt werden. Gleiches gilt für ECE-R 48, Punkt 5.9. In Anhang 5, Abs. 42 des Wiener Weltabkommens über den Straßenverkehr von 1968 [26] müsste ein Blinken von roten Leuchten zugelassen werden.

### Abstand zu Nebelschlussleuchten

Nach ECE-R 48, Punkt 6.11.9 und § 53 d StVZO müssen die Lichtaustrittsflächen von Bremsleuchten und Nebelschlussleuchte mindestens einen Abstand von 100 mm besitzen. Um eine Flächenvergrößerung der Bremsleuchten einfach realisieren zu können, sollte bei der Gefahrenbremsungssignalisation auf diesen Mindestabstand verzichtet werden. Die kurzzeitige Signalisation einer Gefahrenbremsung oder starken Bremsung hat eine deutlich höhere Priorität als die Nebelschlussleuchte. Die Erkennbarkeit des Fahrzeugs bei dichtem Nebel bleibt auch bei direkt neben der Nebelschlussleuchte aufleuchtendem Bremssignal gegeben. Für schwache Bremsungen mit bisherigem Signalbild sollte der Mindestabstand beibehalten werden.

## 6 Zusammenfassung

Mit dem heutigen Bremssignalbild erhält ein nachfolgender Fahrer lediglich die Information, dass der Vorfahrende bremst, jedoch nicht wie stark die Bremsung ist. Ziel des vorliegenden Berichtes war,

anhand einer Literaturstudie herauszuarbeiten, welche Anforderungen an ein optimiertes rückwärtiges Signalbild zu stellen sind und wie ein Lösungsvorschlag für die Signalisation von Gefahrenbremsungen aussehen sollte. Dazu wurden folgende Signalbilder einzeln analysiert und verglichen:

- Flächen- und Leuchtdichtevergrößerung der Bremsleuchten,
- 19-stufiges Integralbremslicht mit Zuschaltung von Leuchtdioden und Blinken der dritten hoch gesetzten Bremsleuchte,
- Blinken der Bremsleuchten,
- Blinken der hinteren beiden Fahrtrichtungsanzeiger,
- Dauerleuchten der hinteren beiden Fahrtrichtungsanzeiger.

Hauptergebnis des Vergleichs ist, dass die beiden Prinzipien (Flächen- und Leuchtdichtevergrößerung sowie Blinken der Leuchten) ihre jeweiligen Vorteile, d. h. Verkürzung der Fahrerreaktionszeit und schnelles Erreichen einer angemessenen Verzögerung, in unterschiedlichen Situationen zeigen, da beide dem Fahrer des nachfolgenden Fahrzeugs unterschiedlich geartete Informationsangebote liefern: So gibt die Flächen- und Leuchtdichtevergrößerung dem Fahrer intuitiv einen Eindruck einer Annäherung an das vorausfahrende Fahrzeug, dagegen zieht ein Blinken die Aufmerksamkeit insbesondere dann auf den Vordermann, wenn der Fahrer diesen gerade nicht fixiert hat.

Weiterhin hat sich herausgestellt, dass zur Differenzierung des Signalbildes und der richtigen Interpretation durch den Nachfolgenden nur zwei bis maximal drei Darstellungsstufen geeignet sind. Mehr Stufen bergen die Gefahr, die Fahrer zu verwirren.

Um eine einheitliche Farbcodierung beizubehalten und damit unnötigen Lernbedarf sowie Verwechslungen zu vermeiden, sollte eine Bremsinformation immer mit der Darbietung von rotem Licht verbunden sein.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse wurde als mögliche Lösung folgende Variante vorgeschlagen: Bei Ansprechen eines Bremsassistenten oder ABS bzw. einer Fahrzeugverzögerung über  $7 \text{ m/s}^2$  ist die Gefahrenbremsung über ein Blinken der dritten, hoch gesetzten Bremsleuchte mit 3-5 Hz zu signalisieren. Optional sollten sich zusätzlich die Flächen bzw. Leuchtdichten der beiden unteren Bremsleuchten vergrößern.

Die Einführung einer derartigen Signalisation einer Gefahrenbremsung würde Änderungen in den ECE-Regelungen Nr. 7 und Nr. 48 sowie im Wiener Weltabkommen erfordern. Betroffen sind die Punkte der Kopplung des Bremslichts an die Betätigung der Bremse, die Veränderung des Bremssignals im Verlauf einer Bremsung, Flächen- und Leuchtdichtevergrößerung und Blinken der Bremsleuchten sowie die Ein- und Ausschaltkriterien.

Es ist zu erwarten, dass mit der beschriebenen Weiterentwicklung des rückwärtigen Signalbildes durch gesonderte Darstellung der Gefahrenbremsung eine Erhöhung der Verkehrssicherheit bzw. eine Reduktion der Zahl oder Schwere von Auffahrunfällen einhergeht.

## 7 Conclusion

With the present brake signal pattern, drivers following are provided only with the information that the brakes have been applied on the vehicle in front, however, not how hard they are applied. The purpose of this report was to work out on the basis of a study of the literature, which requirements should be placed on an optimized rear signal pattern, and provide a solution or recommendation for signaling emergency braking maneuvers. For this purpose, the following signal patterns were analyzed individually and compared:

- increase in area and luminance of brake lights,
- 19-stage integral brake light with switch-on of LEDs and flashing of third high-mounted brake light,
- flashing of the brake lights,
- flashing of the two rear indicators,
- continuous illumination of both rear indicators.

The primary result of the comparison is that both principles (increase in the area and luminance as well as flashing of the lights) have their respective advantages, i. e. reduction of the driver reaction time and quickly achieving a suitable deceleration rate in various hazard situations, because both provide information in different forms to the driver of the vehicle behind: For example, an increase in the area and luminance intuitively provide the driver with an impression of quickly approaching the vehicle in front, while flashing attracts the attention of the driver to the car in front particularly when the

driver behind is not looking directly at it at the moment.

Moreover, it was found that only two, up to a maximum of three, display stages are suited for differentiation of the signal pattern and correct interpretation by the drivers behind. More stages pose the hazard of confusing the driver.

In order to maintain a uniform color-coding and thereby avoid unnecessary learning requirements as well as mix-ups, the brake information should always be connected with red light.

Based on these results, the following version was recommended as a possible solution: When the brake assistant or ABS actuates or at a vehicle deceleration rate greater than  $7 \text{ m/s}^2$ , the emergency braking maneuver is signaled by flashing of the third, high-mounted brake light at a rate of 3-5 Hz. As an option, the area and luminance of the two lower brake lights could be increased in addition.

Introduction of such types of signaling for an emergency-braking maneuver would require changes to ECE Regulations No. 7 and No. 48 as well as to the Vienna Convention. This affects the points which couple the brake light with actuation of the brakes, a change in the brake signal during the course of a braking maneuver, increase in the area and luminance and flashing of the brake lights as well as switch-on and switch-off criteria.

It is expected that the described advancement in the rear signal pattern with special representation of the emergency braking maneuver will be accompanied by an increase in the traffic safety or a reduction in the number of severe rear-end accidents.

## 8 Quellenverzeichnis

- [1] BOL, J., DECKER, H. J.: Verbesserung der Heckbeleuchtung von Kraftfahrzeugen, 1971
- [2] SIEVERT, W., SANDER, K.: Rückwärtiges Signalbild an Kraftfahrzeugen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Mai 1999, nicht veröffentlicht
- [3] GELAU, C.: Bewegungsextrapolation und ihre altersabhängige Variation, Münster: LIT-Verlag, 1997



- [4] LEE, D. N.: A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision, *Perception*, 5, 1976
- [5] McLEOD, R. W. & ROSS, H. E.: Optic-flow and cognitive factors in time-to-collision estimates, *Perception*, 12, 1983
- [6] SCHIFF, W. & DETWILER, M. L.: Information used in judging impending collision, *Perception*, 8, 1979
- [7] YILMAZ, E. H. & WARREN, W. H.: Visual control of braking: A test of the tau hypothesis, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 1995
- [8] HORST, R. van der: Time-to-collision as a cue for decision-making in braking, in: A. G. GALE et al. (eds.), *Vision in Vehicles III*, Amsterdam, North-Holland: Elsevier Science Publishers, 1991
- [9] WINSUM, W. van & HEINO, A.: Choice of time-headway in car-following and the role of time-to-collision information in braking, *Ergonomics*, 39, 1996
- [10] JANSSEN, W. H., MICHON, J. A. & HARVEY, L. O.: The perception of lead vehicles movement in darkness, *Accident Analysis & Prevention*, 8, 1976
- [11] SANDERS, M. S. & McCORMICK, E. J.: *Human factors in engineering and design*, 6th ed. New York u. a.: McGraw-Hill, 1987
- [12] JOHANSSON, G. & RUMAR, K.: Drivers' brake reaction times, *Human Factors*, 13, 1971
- [13] BURCKHARDT, M.: *Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen*, Köln: Verlag TÜV Rheinland, Mai 1985
- [14] POSNER, M.: Orienting of attention, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 1980
- [15] EIMER, M., NATTKEMPER, D., SCHRÖGER, E. & PRINZ, W.: Unwillkürliche Aufmerksamkeit. In: O. NEUMANN & A. F. SANDERS (Hrsg.), *Göttingen: Hogrefe*, 1996
- [16] FENK, J., PRAXENTHALER, M.: Experimentelle Untersuchungen zur Verhaltenswirksamkeit mehrstufiger Bremsstärkeanzeigen, BMW AG, Oktober 1998, nicht veröffentlicht
- [17] MUTSCHLER, H.: *Warning systems in vehicles*, Technical Report ISO/TC 22/SC 13/WG 8 N333, Karlsruhe: Beratungsbüro für Ergonomische Fragen, 2001
- [18] ELSCHNER, H.: *Optimierung des rückwärtigen Signalbildes von Pkw sowie weitere Beiträge zur Kraftfahrzeugtechnik*, Forschungsprojekt i. A. der Daimler Benz AG, 1992, nicht veröffentlicht
- [19] WOODSON, W. E., TILLMAN, B. & TILLMAN, P.: *Human factors design handbook*, 2nd ed., New York u. a.: McGraw-Hill, 1992
- [20] *Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich des Anbaus der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen*, ECE-R 48
- [21] Unbekannt: *Nebelschlussleuchte als zusätzliche Bremsleuchte*, Mitteilung aus dem Internet unter: <http://www.fiat-uno-forever.de/Tipps/bremse.html>
- [22] FENK, J., PRAXENTHALER, M.: *Zusammenfassender Bericht über die BFD-Felduntersuchungen von VTI und TRL*, BMW AG, Juli 1999, nicht veröffentlicht
- [23] AULBACH, J.: *Rückwärtiges Signalbild bei Gefahrenbremsung*, persönliche Mitteilung, 2001
- [24] GERHABER, M., WERMUTH, G., BARSKE, H.: *Das Integral-Bremslicht IBL, ein wirksamer Beitrag zur Verminderung von Auffahrunfällen*, Mai 1999
- [25] REICHEL, W.: *Optimierung Rückwärtiges Signalbild*, persönliche Mitteilung, 2001
- [26] *Gesetz zu den Übereinkommen vom 8. November 1968 über den Straßenverkehr und über Straßenverkehrszeichen*
- [27] MESEBERG, H.-H.: *Wirksamkeit vertikaler Leitelemente für Straßenarbeitsstellen*, Bundesanstalt für Straßenwesen, November 1997
- [28] WINTERHAGEN, J.: *Der neue Peugeot 607*, *Automobiltechnische Zeitschrift*, 2000
- [29] *Warndreieck, Warnleuchte, Warnblinkanlage*, StVZO § 53a
- [30] WIEMANN, H.: *Elektronisches 2-Stufen-Bremslicht*, persönliche Mitteilung, 2001

- [31] Begrenzungs-, Schluss-, Brems-, Umrissleuchten, ECE-R 7
- [32] Schlussleuchten, Bremsleuchten, Rückstrahler, StVZO § 53
- [33] ENGELS, K., KROJ, G., NELSEN, W., SCHLABNITZ, W.: Zweckmäßigkeit und Möglichkeiten einer verzögerungsabhängig gesteuerten Warnblinkanlage und eines Zwei- oder Mehrstufenbremslichts, Deutsche Kraftfahrtforschung und Straßenverkehrstechnik, Heft 205, 1970

## Schriftenreihe

**Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**

## Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

- F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw**  
E. Faerber, G.-D. Wobben  
88 Seiten, 1993 € 12,50
- F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen**  
W. König, H. Werner, E. Schuller, G. Beier, W. Spann  
80 Seiten, 1993 € 13,50
- F 3: Sicherheit von Motorradhelmen**  
H. Zellmer  
52 Seiten, 1993 € 11,00
- F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung**  
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typprüfverfahren  
A. Richter, G. Michelmann  
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge mit Katalysator  
Chr. Albus  
80 Seiten, 1993 € 13,50
- F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz**  
R. Bamberg, H. Zellmer  
56 Seiten, 1994 € 11,00
- F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport**  
G.-D. Wobben, H. Zahn  
64 Seiten, 1994 € 12,50
- F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben**  
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe  
P. Junge  
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe  
M. Chmielarz, B. Siegl  
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie -  
H. Derkum  
88 Seiten, 1994 € 14,00
- F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen**  
D. Otte, G. Schroeder, J. Eidam, B. Kraemer  
32 Seiten, 1994 € 10,50
- F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen**  
M. Schmieder, D. Bley, M. Spickermann, V. von Zettelmann  
40 Seiten, 1994 € 11,00
- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern**  
J. Damasky  
52 Seiten, 1995 € 12,50
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays**  
H. Mutschler  
124 Seiten, 1995 € 16,50
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen**  
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern  
H. Zellmer, M. Schmid  
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern  
H. Zellmer  
44 Seiten, 1995 € 12,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen**  
K. Sander  
40 Seiten, 1995 € 11,50
- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall**  
Entwicklung eines Prüfverfahrens  
K.-P. Glaeser  
100 Seiten, 1996 € 15,50
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern**  
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern  
C. Heinrich, E. von der Osten-Sacken  
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“  
F. Nicklisch  
220 Seiten, 1996 € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen**  
R. Sagerer, K. Wartenberg, D. Schmidt  
52 Seiten, 1996 € 12,50

- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen**  
- Problemanalyse und Verfahrenskonzept  
D. Grunow, G. Heuser, H.J. Krüger, Chr. Zange-  
meister  
136 Seiten, 1996 € 17,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS**  
J. Präckel  
84 Seiten, 1996 € 14,50
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung**  
E. Pullwitt  
44 Seiten, 1996 € 11,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand**  
K. Sander  
60 Seiten, 1996 € 13,00
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe**  
M. Fach  
80 Seiten, 1996 € 14,00
- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung**  
B. Bugsel, Chr. Albus, W. Sievert  
24 Seiten, 1997 € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase**  
F. A. Berg, U. Mayer  
171 Seiten, 1997 € 19,50
- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes**  
I. Kalliske, Ch. Albus, E. Faerber  
44 Seiten, 1998 € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern**  
I. Kalliske, D. Wobben, M. Nee  
39 Seiten, 1998 € 11,50
- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-Regelsysteme**  
T. F. Schweers  
74 Seiten, 1999 € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern**  
M. Vötter, E. Groß, St. Esser, A. Born, M. Flamm, D. Rieck  
22 Seiten, 1999 € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen**  
R. Kohlstruck, H. Wallentowitz  
59 Seiten, 1999 € 13,00
- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen**  
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen  
K.-P. Glaeser  
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen  
Th. Aubel  
54 Seiten, 2000 € 13,00
- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen**  
A. Faber  
44 Seiten, 2000 € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen**  
D. Otte  
43 Seiten, 2000 € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BAST**  
Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach  
63 Seiten, 2000 € 14,00
- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen**  
W. Gaupp, D. Wobben, M. Horn, M. Seemann  
116 Seiten, 2000 € 17,00
- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug**  
K. Sander, B. Bugsel, W. Sievert, Ch. Albus  
22 Seiten, 2001 € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren**  
H. Wallentowitz, D. Ehmanns, D. Neunzig, M. Weillkes, B. Steinauer, F. Bölling, A. Richter, W. Gaupp  
147 Seiten, 2001 € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Kraft-rädern**  
A. van de Sand, H. Wallentowitz, Th. Schrüllkamp  
64 Seiten, 2001 € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat**  
G. Afflerbach, D. Hassel, H. Schmidt, K.-S. Sonnborn, F.-J. Weber  
32 Seiten, 2001 € 11,50

---

**F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des  
Fußgängerschutzes**

F. Friesen, H. Wallentowitz, M. Philipps

44 Seiten, 2001

€ 12,50

**F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes  
zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung**

J. Gail, M. Lorig, Chr. Gelau, D. Heuzeroth,  
W. Sievert

27 Seiten, 2002

€ 9,50

---

Zu beziehen durch:

Wirtschaftsverlag NW

Verlag für neue Wissenschaft GmbH

Postfach 10 11 10

D-27511 Bremerhaven

Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0

Telefax: (04 71) 9 45 44 77

Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)

Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

