

## **E-Safety – Beiträge der Fahrzeugtechnik zur Erhöhung der Verkehrssicherheit in Europa**

### **1. Problem Auffahrunfall**

Nach den Fahrunfällen, die durch die Einführung von ESP® erfolgreich und signifikant reduziert worden sind [1] [2], stehen jetzt Auffahrunfälle im Vordergrund der Sicherheitsentwicklung bei Mercedes-Benz. In Deutschland waren 2005 21% der tödlich Verunglückten und 17% der Schwerverletzten Opfer von Unfällen im Längsverkehr. Dabei wurden 9% (470) der insgesamt 5.361 im Straßenverkehr Getöteten sowie 8.611 (11,2%) der Schwerverletzten Opfer von Auffahrunfällen (Zusammenstoß mit stehendem, anfahrendem, anhaltendem oder vorausfahrendem Fahrzeug oder Aufprall auf Hindernis auf der Fahrbahn) [3].

Aus der Unfallursachenforschung ist bekannt, dass viele dieser Auffahrunfälle auf die folgenden Faktoren zurückgeführt werden können:

- Ablenkung
- Ermüdung
- Ungenügende „situational awareness“: Fehleinschätzung der Verkehrssituation, insbesondere der Verzögerung des Vorausfahrers

Dies führt zu folgenden Effekten:

- zu schwache Reaktion
- Zu späte Reaktion
- keine Reaktion

Diese Faktoren werden durch neue Assistenzsysteme gezielt adressiert.

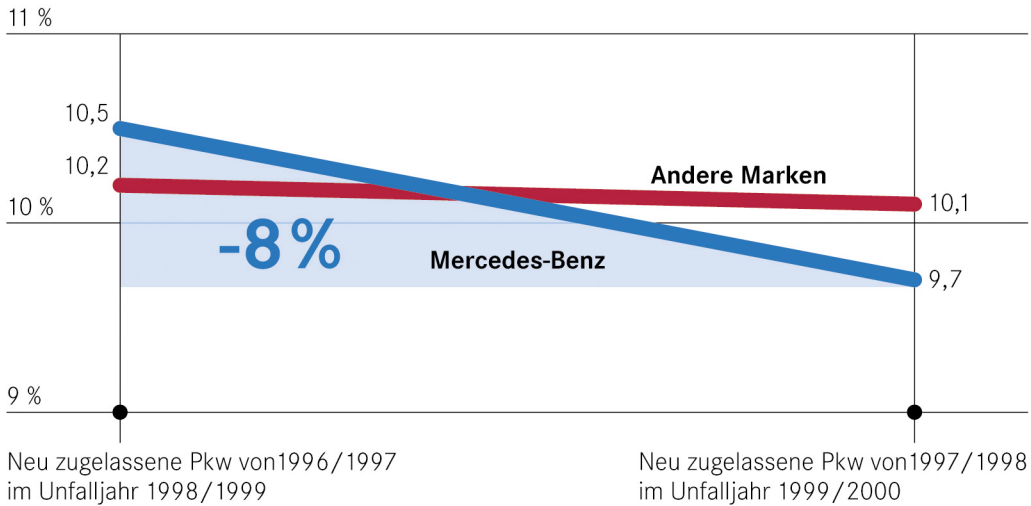
### **2. Brems-Assistent BAS: Unterstützung bei zu schwacher Fahrerreaktion**

Bereits 1992 wurde bei Tests im Fahrsimulator festgestellt, dass die Mehrzahl der Autofahrerinnen und Autofahrer in Notsituationen zwar schnell, aber oft nicht kraftvoll genug aufs Bremspedal treten. Die Leistungsfähigkeit der Bremsanlage wird deshalb nicht vollständig ausgeschöpft, der Bremsweg verlängert sich erheblich. Diese Erkenntnis führte zur Erfindung und Entwicklung des Brems-Assistenten, der 1996 erstmals in Serie ging und seit 1997 zur Grundausstattung aller Personenwagen von Mercedes-Benz gehört. Die Technik schließt ab einer bestimmten Geschwindigkeit, mit der das Bremspedal betätigt wird, auf das Vorliegen einer Notsituation und baut innerhalb von Sekundenbruchteilen die maximale Bremskraftverstärkung auf. Dadurch verkürzt sich der Bremsweg des Autos deutlich - bei 100 km/h und auf trockener Fahrbahn beispielsweise um bis zu 45 Prozent.

Seit seiner Erfindung hat sich der Brems-Assistent millionenfach bewährt. Mit seiner Hilfe lassen sich nicht nur Auffahrunfälle verhindern, er leistet auch einen wirksamen Beitrag zum Fußgängerschutz. Das zeigte eine weitere Untersuchung von Mercedes-Benz im Fahrsimulator [4]: 55 Autofahrerinnen und Autofahrer fuhren mit Tempo 50 durch eine Ortschaft als plötzlich ein Kind auf die Fahrbahn lief. Der Unfall konnte ausschließlich durch eine Notbremsung vermieden werden. Das Testergebnis: Autofahrer, die durch den Brems-Assistenten unterstützt

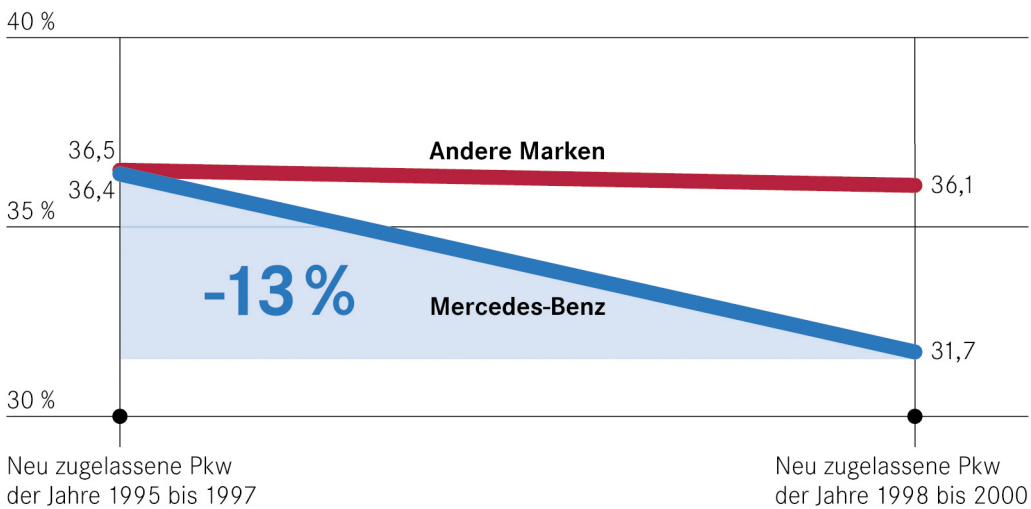
wurden, verunglückten signifikant seltener als Fahrer, denen das System nicht zur Verfügung stand. Die Unfallquote verringerte sich durch den Brems-Assistenten um 26 Prozentpunkte.

DaimlerChrysler bezieht seit 1999 vom Statistischen Bundesamt regelmäßig anonymisierte, repräsentative 50-Prozent-Stichproben von schweren Unfällen in Deutschland (Unfälle mit Personenschaden bzw. größerem Sachschaden). Jüngste Auswertungen belegen die unfallvermeidenden und Unfallschwere mindernden Wirkungen des BAS: Die Unfallquote für Auffahrkollisionen betrug bei den Mercedes-Personenwagen vor der BAS- Einführung 10,5 je 10.000 neu zugelassene Fahrzeuge und sank nach dem serienmäßigen Einsatz des Bremsassistenten um acht Prozent auf 9,7. Dagegen blieb die Unfallquote bei Fahrzeugen anderer Marken nahezu konstant (Bild 1). Ebenso bemerkenswert ist der Beitrag, den der Bremsassistent zur Vermeidung schwerer Fußgängerunfälle leistet. Die Auswertung der Unfalldaten ergab für Mercedes-Personenwagen ohne BAS einen Anteil schwerer Fußgängerkollisionen von 36,4 Prozent, der sich nach dem serienmäßigen Einsatz des Systems um 13 Prozent verringerte. Bei Automobilen anderer Marken sank der Anteil der Fußgängerunfälle mit Getöteten und Schwerverletzten im gleichen Zeitraum hingegen nur um ein Prozent (Bild 2).



\* Unfallquote je 10 000 Neuzulassungen: Pkw als Hauptverursacher beim Zusammenstoß mit vorausfahrendem Fahrzeug  
 Quelle: Auswertung der anonymisierten 50-Prozent-Stichprobe der Unfallstatistik des Statistischen Bundesamtes für die Unfalljahre 1998 bis 2003 durch Mercedes-Benz

**Bild 1: Rückgang der verursachten Auffahrunfälle bei Mercedes-Benz Pkw nach Einführung des Bremsassistenten als Teil der Serienausstattung**



\* Prozentualer Anteil der Unfälle mit Getöteten und Schwerverletzten an allen Unfällen beim Überschreiten der Fahrbahn  
 Quelle: Auswertung der anonymisierten 50-Prozent-Stichprobe der Unfallstatistik des Statistischen Bundesamtes für die Jahre 1998 bis 2003 durch Mercedes-Benz

**Bild 2: Rückgang des Anteils schwerer Fußgängerunfälle bei Mercedes-Benz Pkw nach Einführung des Bremsassistenten als Teil der Serienausstattung**

### 3. Radarbasierte Assistenz: BAS PLUS und PRE-SAFE® Bremse

#### 3.1 Radarsensoren

Beim Erkennen einer unfallträchtigen Situation helfen dem Fahrer zwei Nahbereichs-Radarsensoren hinter dem Frontstoßfänger und ein Fernradar in der Kühlermaske (Bild 3). Sie erfassen permanent das Verkehrsgeschehen vor der S-Klasse. Das Nahbereichsradar (24 Gigahertz) arbeitet mit 30 Metern Reichweite und einem Abtastwinkel von 80 Grad, das Fernradar (77 Gigahertz) hat einen Öffnungswinkel von neun Grad und kann drei Fahrspuren einer Autobahn 150 Meter weit abtasten. Die Daten beider Radarsysteme werden für das Abstandswarnsystem, den Bremsassistent PLUS sowie die PRE-SAFE Bremse genutzt.

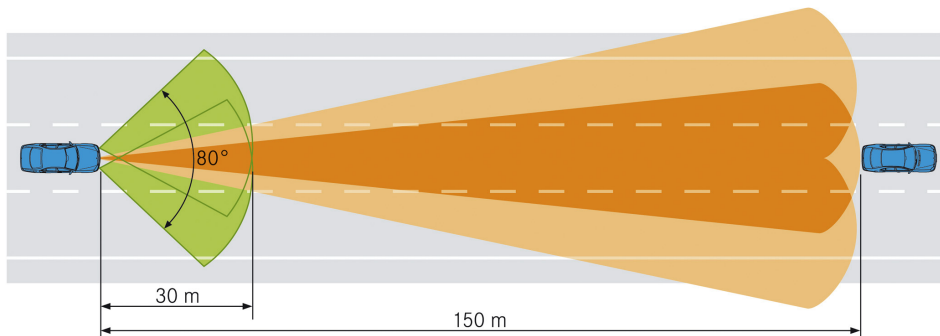


Bild 3: Prinzipdarstellung der Nah- und Fernbereichsradar-Sensoren

#### 3.2 Bremsassistent PLUS: Adaptive Verstärkung der Fahrerreaktion

Ist der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu gering, leuchtet im Kombi-Instrument ein rotes Warnsymbol auf. Droht ein Auffahrunfall, z.B. weil der vom Radar erfasste Vorfahrer plötzlich bremst, so ertönt zusätzlich ein akustisches Signal als unmissverständliche Aufforderung an den Autofahrer zu reagieren. Der Bremsassistent PLUS (BAS PLUS) unterstützt ihn dabei, denn bereits beim ersten Warnton ermittelt das System den erforderlichen Bremsdruck, um –sofern technisch/physikalisch möglich– die Kollision zu verhindern. BAS PLUS unterstützt damit den Autofahrer bei der Einschätzung der Gefahrensituation und stellt die berechnete Bremskraftunterstützung auch dann unmittelbar zur Verfügung, wenn der Autofahrer nicht kräftig genug auf das Bremspedal tritt. So ermöglicht BAS PLUS je nach Tempo und Abstand eine geregelte Zielbremsung auf das erkannte Objekt. Es stellt dabei aus Rücksicht auf den folgenden Verkehr nicht mehr Bremskraft zur Verfügung als in der jeweiligen Situation nötig. Nur falls erforderlich, erhöht das System die Bremskraft bis zur Vollbremsung.

Umfangreiche Probanden-Untersuchungen im Fahrsimulator zur Wirksamkeit des Bremsassistenten PLUS zeigen, dass sich durch dieses System die Unfallquote in drei typischen Situationen mit Gefahr einer Auffahrkollision um 75% vermindert (Bild 4). Die Unterstützung durch BAS PLUS erfolgt jedoch nur, wenn der Autofahrer den Befehl dazu gibt - also beim deutlichen Tritt aufs Bremspedal.



\*bei einem Test mit 100 Probanden im Fahrsimulator

Bild 4: Ergebnis einer Untersuchung am Fahrsimulator: Mittlere Unfallquote in 3 typischen Verkehrssituationen mit Auffallunfall-Gefahr für Fahrten mit BAS PLUS und ohne BAS PLUS (konventioneller BAS in beiden Gruppen verfügbar)

### 3.3 PRE-SAFE® Bremse: Unterstützung bei ausbleibender Fahrerreaktion

Aus der Praxis ist bekannt, dass Autofahrer in kritischen Momenten nicht immer so schnell reagieren, wie es notwendig ist - zum Beispiel, weil sie abgelenkt sind und deshalb die Warnsignale nicht beachten. In solchen Situationen greift die neu entwickelte PRE-SAFE®-Bremse ein und bremst bei akuter Unfallgefahr selbsttätig ab.

Die zeitliche Analyse einer typischen Auffahrsituation zeigt, wie die Assistenzsysteme eine unfallträchtige Situation erkennen, den Autofahrer warnen, ihn unterstützen oder bei akuter Gefahr selbst eingreifen (Bild 5):

- **Rund 2,6 Sekunden** vor dem vom System berechneten Zusammenstoß ertönt die akustische Gefahrenwarnung. Zudem wird der Autofahrer bereits durch das rote Warnsymbol im Tachometer informiert, dass Unfallgefahr besteht.
- **Etwa 1,6 Sekunden** vor dem berechneten Unfall -- nach dreimaliger akustischer Warnung -- nimmt die PRE-SAFE®-Bremse eine autonome Teilbremsung vor, falls der Autofahrer nicht reagiert hat.
- **Rund 0,6 Sekunden** vor dem Aufprall besteht für den Fahrer die letzte Möglichkeit, den Zusammenstoß durch schnelles Ausweichen oder durch Vollbremsung zu verhindern. Er hat also nach dem Einsatz der PRE-SAFE®-Bremse noch rund eine Sekunde Zeit zu handeln.

Die PRE-SAFE®-Bremse ist im Geschwindigkeitsbereich von 30 bis 180 km/h aktiv, wenn vorausfahrende Fahrzeuge erfasst werden. Das System kann ebenso wie BAS PLUS im Geschwindigkeitsbereich von 30 bis ca. 70 km/h auch bei Annäherung an stehende Objekte mit einer Bremsunterstützung bzw. -aktivierung reagieren, wenn die Objekte sicher als relevante Hindernisse erkannt werden konnten. Es ist dabei nicht auszuschließen, dass BAS PLUS und PRE-SAFE® Bremse unter extrem ungünstigen Randbedingungen nicht auf jedes relevante *stehende* Objekt reagieren. Die eindeutige Erkennung *bewegter* Objekte ist dagegen grundsätzlich wesentlich einfacher.

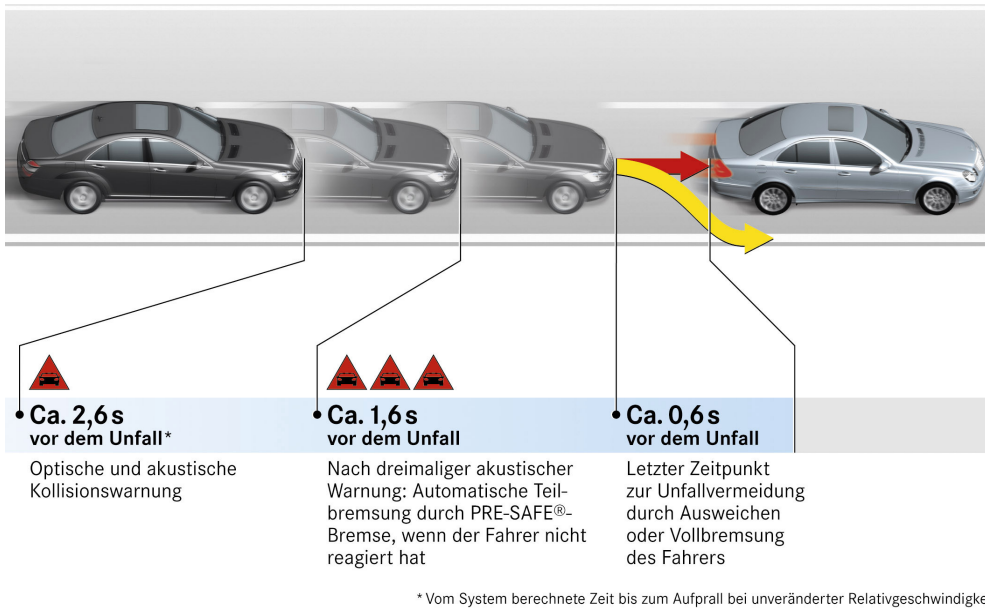


Bild 5: Zeitlicher Ablauf der Unterstützung in einer Situation mit Auffahrunfall-Gefahr

### 3.4 PRE-SAFE® Bremse: Unfallvermeidung oder Verringerung der Unfallschwere

Die autonome PRE-SAFE®-Teilbremsung zeigt auf zweierlei Weise Wirkung: Abgelenkte Autofahrer können durch den Eingriff der PRE-SAFE®-Bremse wieder aufmerksam werden und zum sofortigen Reagieren veranlasst werden, um den Unfall zu verhindern. Dabei unterstützen auch die Fahrsicherheitssysteme Bremsassistent PLUS (baut sofort den für die Fahrsituationen berechneten optimalen Bremsdruck auf) und ESP® (stabilisiert das Fahrzeug beim schnellen Ausweichen und verringert das Schleuderrisiko). Ist der Zusammenstoß unvermeidbar, kann die PRE-SAFE®-Bremse dazu beitragen, die Unfallfolgen zu verringern.

Die neuen radarbasierten Sicherheitssysteme für die S- und CL-Klasse haben ein sehr umfangreiches Testpensum absolviert: Mercedes-Benz hatte in Deutschland und in den USA insgesamt 30 Versuchswagen im Einsatz, um die Technologie im Alltagsverkehr bewerten zu können. Bei diesen Praxistests haben mehr als 500 Autofahrer rund eine Million Kilometer zurückgelegt. Kameras und Messtechnik an Bord der Testwagen zeichneten potentiell kritische Verkehrssituationen auf und ermöglichen eine genaue Analyse der Systemwirkung unter realen Bedingungen.

Daneben wurde „Hardware-in-the-Loop“ eingesetzt, die Vorteile der Praxiserprobung mit jenen der Computersimulation verbindet. An diesem Prüfstand haben Bremsassistent PLUS und PRE-SAFE®-Bremse eine intensive Dauererprobung absolviert -- in einer virtuellen Welt, aber mit realen Daten aus dem Verkehrsgeschehen. Das Verfahren ermöglicht es, die für den Serieneinsatz vorgesehene Hardware, also Systemkomponenten wie Steuergeräte, Hydraulikeinheiten und Sensoren, in die Testläufe einzubeziehen. Leistungsfähige Computer füttern die Geräte mit Sensordaten aus simulierten Verkehrssituationen und zeichnen die Steuerbefehle auf, mit denen die Bauteile darauf reagieren. So konnte die Steuer-Elektronik der PRE-SAFE®-Bremse in kurzer Zeit mit tausenden realen Verkehrssituationen konfrontiert werden und ihre Zuverlässigkeit beweisen.

Die Wirksamkeit der neuen PRE-SAFE®-Bremse wurde in einem Versuch mit 70 Autofahrerinnen und Autofahrern am Fahrsimulator von DaimlerChrysler bewertet. Die

Probanden befuhren nach einer Eingewöhnungsfahrt mit rund 80 km/h in einer Kolonne eine virtuelle Landstraße (Bild 6). Nach einiger Zeit tauchten am linken Fahrbahnrand stehende Fahrzeuge auf, die dort verunglückt waren. Die Autos, die Fußgänger auf der Straße und ein Polizeifahrzeug sollten die Testfahrer für einen kurzen Augenblick ablenken. Genau in diesem Moment bremste das vorausfahrende Auto - zuerst nur leicht, dann plötzlich mit einer Vollbremsung.



Bild 6: Szenario eines Versuchs am Fahrsimulator zur gezielten Ablenkung der Teilnehmer

Ergebnisse (Bild 7):

- 53 Prozent der Testteilnehmer reagierte so schnell auf die optischen und akustischen Hinweise des Abstandswarners, dass der Unfall mit Unterstützung des Bremsassistenten PLUS verhindert werden konnte.
- 17 Prozent der Testteilnehmer reagierten erst aufgrund der autonomen Teilbremsung und traten selbst so schnell aufs Bremspedal, dass der Unfall mithilfe von PRE-SAFE®-Bremsung und Bremsassistent PLUS verhindert wurde.
- 30 Prozent der Autofahrer war durch die Szene auf der Gegenfahrbahn so stark abgelenkt, dass nicht rechtzeitig gebremst wurde. In diesen Fällen bewirkte die PRE-SAFE®-Bremsung eine deutliche Verringerung der Aufprallgeschwindigkeit und damit der Unfallschwere: Die Aufprallgeschwindigkeit verringerte sich durch die autonome Teilbremsung von durchschnittlich 45 auf 35 km/h. Das bedeutet eine um 40 Prozent reduzierte Crash-Energie und damit ein deutlich vermindertes Verletzungsrisiko für Fahrer und Beifahrer. Die aufprallbedingten Belastungen des Oberkörpers hätten sich beispielsweise dadurch um bis zu 20 Prozent reduziert.



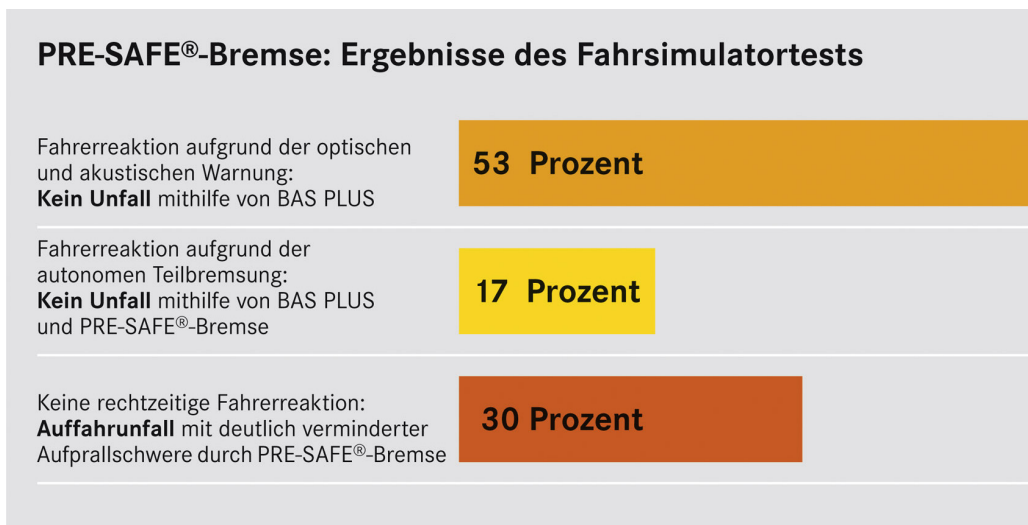


Bild 7: Ergebnisse eines Versuchs mit 70 Probanden am Fahrsimulator mit gezielter Ablenkung der Teilnehmer

### 3.5 Automatische Aktivierung des präventiven Insassenschutzes

Das neue System ist Bestandteil des präventiven Insassenschutzes PRE-SAFE®, das die wertvolle Zeit zwischen dem Erkennen einer potenziellen Unfallgefahr und dem Aktivieren der Schutzsysteme im Innenraum nutzt [5]. Weil PRE-SAFE® mit den Sensoren von Bremsassistent und ESP® vernetzt ist, erkennt das System fahrdynamisch kritische Situationen wie drohendes Schleudern oder heftiges Bremsen und verarbeitet diese Sensor-Informationen, um die Auto-Insassen vorsorglich auf einen Unfall vorzubereiten:

- **Bei einer Notbremsung** werden in der S-Klasse präventiv die vorderen Sicherheitsgurte gestrafft und Luftpolster in den fahrdynamischen Multikontursitzen (Wunschausstattung) gefüllt, die Fahrer, Beifahrer und Fondpassagiere abstützen und besser in den Sitzen fixieren. Zusätzlich wird der Beifahrersitz hinsichtlich Längseinstellung, Kissen- und Lehnenneigung in eine günstige Position gebracht, damit Gurt und Airbag bestmöglich arbeiten können. Im Fond der S-Klasse korrigiert PRE-SAFE® ebenfalls Lehnenneigung und Sitzkisseneinstellung. Außerdem stellen sich die Fondkopfstützen auf.
- **Bei Schleudergefahr** beginnt das System der S-Klasse, zusätzlich die Seitenscheiben und das Schiebedach zu schließen. So können sich zum Beispiel beim Seitenaufprall oder beim Überschlag die Windowbags besser abstützen. Außerdem verringert sich durch diese PRE-SAFE®-Maßnahme das Risiko, dass die Insassen beim Crash durch die geöffneten



Seitenscheiben oder das Schiebedach nach außen geschleudert werden oder dass Gegenstände in den Innenraum eindringen.

Die neue PRE-SAFE®-Bremse erweitert diesen vorsorglichen Insassenschutz, denn viele Präventivmaßnahmen werden künftig auch dann aktiviert, wenn der Autofahrer trotz der Warnungen aus dem Cockpit nicht reagiert und seinen Wagen bei Unfallgefahr nicht abbremst. Sobald das System mit der autonomen Teilbremsung beginnt, straffen sich automatisch die vorderen Gurte, pumpen sich die Stützpolster in den fahrdynamischen Multikontursitzen auf und fährt der Beifahrersitz in eine günstige Position.

#### **4. Adaptives Bremslicht**

Dem Ziel, die hohe Zahl gefährlicher Auffahrunfälle zu verringern, dient auch ein verbessertes rückwärtiges Signalbild, das bereits in vielen Modellreihen von Mercedes-Benz zur Serienausstattung gehört: das Adaptive Bremslicht mit blinkenden Bremsleuchten.

Untersuchungen von Mercedes-Benz auf einem Testgelände haben ergeben, dass sich die Bremsreaktionen der Autofahrer im Durchschnitt um 0,2 Sekunden verkürzen, wenn in Notbremssituationen statt des herkömmlichen Bremslichts ein blinkendes Warnsignal erfolgt. Der Anhaltweg verkürzt sich dadurch bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h um rund 4,40 Meter, bei 100 km/h sogar um rund 5,50 Meter [6]. Damit sind blinkende Bremsleuchten eine weitere wirksame Maßnahme zur Vermeidung von Auffahrunfällen.

Das System sorgt außerdem dafür, dass die Warnblinkleuchten nach einer Gefahrenbremsung in den Stillstand automatisch aktiviert und nach dem Anfahren wieder automatisch deaktiviert werden.

[1] FARMER, C. M.: Effect of Electronic Stability Control on Automobile Crash Risk. In: Traffic Injury Prevention, 5:317–325, 2004

[2] UNSELT, T.; BREUER, J.; ECKSTEIN, L.; FRANK, P.: Avoidance of „loss of control accidents“ through the benefit of ESP. In: FISITA 2004 World Automotive Congress. Barcelona: Sociedad de Tecnicos de Automocion 2004

[3] Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 7, 2005

- [4] UNSELT, T.; BREUER, J.; ECKSTEIN, L.: Fußgängerschutz durch Bremsassistentz. In: "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme", Technische Universität München, 11.-12.03.04 ([www.ftm.mw.tum.de/zubehoer/pdf/Tagung\\_AS/14\\_unselt.pdf](http://www.ftm.mw.tum.de/zubehoer/pdf/Tagung_AS/14_unselt.pdf))
  
- [5] BREITLING, T.; BREUER, J.: Unfallverminderungspotentiale von Systemen der Aktiven Sicherheit. In: Technischer Kongress 2005 Verband der Deutschen Automobilindustrie VDA 2005
  
- [6] UNSELT, T.; BEIER, G.: Safety Benefits of Advanced Brake Light Design. In: STRASSER, H.; KLUTH, K.; RAUSCH, H.; BUBB, H. (Hrsg.): Qualität von Arbeit und Produkt in Unternehmen der Zukunft. Proceedings Annual Spring Conference Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Stuttgart: ergonomia 2003