

Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 53

bast

Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag

von
Wilfried Klanner
Ralf Ambos
Hubert Paulus

Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. - ADAC
ADAC Technik Zentrum Landsberg a. Lech

Thomas Hummel
Klaus Langwieder
Hans-Jürgen W. Köster

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. - GDV
Institut für Fahrzeugsicherheit, München - IFM

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 53

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 FE 82.163/1999:
Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag

Projektbetreuung

Eberhard Faerber

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
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9307

ISBN 3-86509-193-8

Bergisch Gladbach, November 2004

Kurzfassung – Abstract

Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag

Durch die Einführung des Airbags als zusätzliches Rückhaltesystem zum Sicherheitsgurt hat sich die Sicherheit für die Fahrzeuginsassen weiter erhöht. Die Airbagtechnologie wird nunmehr seit mehr als zehn Jahren serienmäßig verbaut. Nach wie vor berichten die Autofahrer aber immer wieder auch über Probleme mit dieser Technologie.

Ziel dieser Arbeit ist es, geeignetes Datenmaterial aus dem realen Unfallgeschehen zu sammeln und daraus aktuelle Aussagen zur Schutzwirkung der Airbag-Technologie zu gewinnen. Darüber hinaus sollen aus dem Material auch Erkenntnisse über die Art, Häufigkeit und Ursachen der Probleme abgeleitet und damit Vorschläge für weitere Verbesserungen entwickelt werden. Die Datenbeschaffung erfolgt über eine Umfrage in den Zeitschriften der europäischen Automobilclubs. Zusammen mit dem Airbagmaterial der Versicherer stehen insgesamt 692 Fälle für die Auswertung zur Verfügung.

Es ergibt sich, dass bei schweren Frontalkollisionen der Anteil an schweren bis tödlichen Verletzungen sowohl für den Fahrer als auch für den Beifahrer um gut 20 % niedriger ist als bei vergleichbaren Unfällen ohne Airbag. Auch die Seiten- und Kopfsseiten-Airbags zeigen in Einzelfällen eine gute Schutzwirkung. Wegen der geringen Fallzahlen ist aber noch keine allgemein gültige Aussage möglich.

Das Datenmaterial beinhaltet 78 Problemfälle im Zusammenhang mit der Airbag-Auslösung. Es handelt sich zum einen um ungerechtfertigte Auslösungen ohne Unfall oder bei geringer Unfallschwere und zum anderen um Nichtauslösungen bei hoher Unfallschwere. Besonders auffällig sind hier die Nichtauslösungen beim Unterfahrunfall. Im Rahmen dieser Arbeit wurde auch ein Unterfahr-Test entwickelt, der in Zukunft im Rahmen der Airbag-Optimierung mit eingesetzt werden sollte.

Im Datenmaterial befinden sich auch 92 Problemfälle mit Airbag-Aggressivität. Der häufigste Fall ist hier der Gehörschaden, und zwar durch die Auslösung der Front-Airbags. Über gezielte Maßnahmen zur Schallpegelreduzierung bei der Airbag-Entfaltung, durch mehrstufige Airbagauslösung in Abhängigkeit von der Unfallschwere sowie durch Sitz-

belegungserkennung könnten hier Verbesserungen erreicht werden. Zur Minimierung des Out-of-Position-Risikos sollte der FMVSS-208-Test mit 5%-Dummy in der vordersten Sitzposition bei der Airbag-Abstimmung eingesetzt werden.

Die Airbag-Technologie hat die Insassensicherheit nachhaltig erhöht. Es ist aber noch ein großes Entwicklungspotential für weitere Verbesserungen vorhanden.

Der Originalbericht enthält als Anhänge den „Fragebogen Unfallforschung Airbag“, eine Auflistung der Airbag-Technik zum Stand 2001 sowie Beispiele für die Auslösung bzw. Nichtauslösung des Airbags in verschiedenen Unfallsituationen und unterschiedlichen Unfallschweren, ferner für Verletzungen durch den Airbag und Airbag-Abdeckungen. Außerdem enthalten die Anhänge Übersichten zu Fahrzeughersteller/-typ, Airbag-Rückrufstatistiken, Airbag-Problemfällen und Stellungnahmen der Fahrzeughersteller. Auf die Wiedergabe dieser Anhänge wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge im Berichtstext wurden beibehalten.

Accident injuries in vehicles equipped with airbags

The use of the airbag as an additional restraint system to supplement the seat belt has brought further improvements in the safety of vehicle occupants. Airbag technology has been fitted in cars as standard equipment for more than ten years. Nevertheless, motorists continue to report airbag-related problems.

The aim of this project is to collect relevant data material from real-life accidents in order to gain up-to-date information on the protection provided by airbags. Another aim is to gain insights into the type, frequency and causes of airbag-related problems and to develop proposals for further improvements. The data were collected via a survey in the club magazines of European automobile clubs. The data from this survey and the airbag-related material supplied by insurance companies provided a total of 692 cases for evaluation.

The data show that in severe head-on crashes, the driver and front-seat passenger suffer approximately 20% fewer serious to fatal injuries than in comparable accidents without an airbag. Side airbags and side head airbags have also been shown to provide good protection in some cases. Due to the small number of cases, however, it is not yet possible to present definitive results.

The data material covers 78 problem cases which occurred in connection with airbag activation. These include unjustified activation in situations where there is no or only a minor accident, as well as non-activation in serious accidents, and in particular non-activation in underride accidents. An underride test was therefore developed during the project to be used in future airbag optimisation.

The data material also includes 92 cases of airbag aggressiveness. The most common form of airbag aggressiveness involved hearing impairments caused by front airbag activation. Targeted action to reduce noise levels associated with airbag deployment, staged airbag deployment according to accident severity, and seat occupancy detection could help to resolve these problems.

To minimise the out-of-position risk, the FMVSS 208 test with a 5 % dummy in the frontmost seating position should be used in airbag development.

Airbag technology has made a lasting contribution to the enhancement of passenger safety. However, there is still great potential for further improvement.

The appendices to the original report contain the "Fragebogen Unfallforschung Airbag" (accident-research questionnaire: airbags), a list of state-of-the-art airbag technology in 2001 and examples of the activation and non-activation of airbags in various accident situations and in accidents of various levels of severity, and also of injuries caused by airbags and airbag covers. The appendices also contain overviews of the vehicle manufacturer / type, airbag recall statistics, airbag-related problem cases and the opinions of the vehicle manufacturers on these subjects. This publication does not contain these appendices. They can be consulted at the Federal Highway Research Institute. References to the appendices have been retained in the report text.

Inhalt

1	Einleitung	7	4.2.2	Verletzungen des gesicherten Fahrers	20
1.1	Unfallzahlen und Erkenntnisse aus bisherigen Airbaguntersuchungen	7	4.2.3	Verletzungen des gesicherten Beifahrers	23
1.2	Zielsetzungen und Vorgehensweise ...	8	4.2.4	Vergleich der Verletzungsschwere von Fahrer und Beifahrer	23
2	Materialbeschaffung	8	4.2.5	Verletzungsrisiken für Brillenträger und Raucher bei Airbag-Auslösung	24
2.1	Europa-Umfrage	8	4.3	Seiten-/Kopfairbag-Unfälle	24
2.2	Fragebogen	9	4.4	Beschreibung und Diskussion der „Problemfälle“	25
2.3	Recherche zu Fällen mit Airbag-auslösung während Rettungsmaßnahmen	10	4.4.1	Fehlauslösungen und Auslösungen bei geringer Unfallschwere	27
3	Dokumentation des Standes der Airbag-Technologie	10	4.4.2	Nicht-Auslösen bei hoher Unfallschwere – ohne Unterfahung und/ohne Überschlag	31
3.1	Airbag-Ausrüstquoten	10	4.4.3	Unfälle mit Unterfahung	33
3.2	Airbag-Technologie	11	4.4.4	Unfälle mit Überschlag	34
3.2.1	Angebotene Airbagsysteme	11	4.4.5	„Airbag-Aggressivität“	34
3.2.2	Airbag-Gasgenerator-Technik	11	5	Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Vermeidung von Problemfällen	37
3.2.3	Airbag-Sensor-Technik	12	5.1	Rückrufaktionen wegen Funktionsstörungen der Airbag-Technik	37
3.2.4	Airbagauslöseschwelle	12	5.2	Fahrversuche zur Vermeidung von Fehlauslösungen (Misuse-Tests)	38
3.2.5	Vorgaben bzgl. Mindestsitzabstand zum Lenkrad	12	5.3	Standard-Crash-Tests zur Airbagabstimmung bezüglich Auslösung, Timing, Aggressivität	39
3.2.6	Position der Beifahrerairbag-Austrittsöffnung	13	5.4	Unterfahrttests zur Untersuchung/Verbesserung des Airbagverhaltens bei Längsträgerüberfahung	41
3.2.7	Sitzbelegungserkennung	13	5.4.1	Verlauf der Airbagentfaltung in einem Euro-NCAP-Front-Crash	42
3.2.8	Beifahrerairbag-Deaktivierung (wegen Kindersicherung)	13	5.4.2	Untersuchung zur Überfahung der Längsträger eines Pkw bei 100 % Überdeckung und einer Kollisionsgeschwindigkeit von 50 km/h (Höhe des Lkw-Unterfahrschutzes 550 mm nach Norm)	44
3.2.9	Automatische Kindersitzerkennung	14	5.4.3	Untersuchung zur Überfahung der Längsträger eines Pkw bei 40 % Überdeckung und einer Kollisionsgeschwindigkeit von 40 km/h (Höhe des Unterfahrschutzes 650 mm)	46
3.2.10	Kindersicherung (in Fahrtrichtung) auf Beifahrerplatz mit Airbag	14			
4	Analyse von Realunfällen	14			
4.1	Beschreibung des Airbag-Materials	14			
4.1.1	Unfallzeitpunkt und Unfallort	15			
4.1.2	Unfallgegner	16			
4.1.3	Airbag-Fahrzeuge	16			
4.1.4	Insassen der Airbag-Fahrzeuge	18			
4.2	Front-Airbag-Unfälle	20			
4.2.1	Maximale Verletzungsschwere von Fahrer und Beifahrer bei Nicht-Aktivierung der Airbags	20			

5.4.4	Untersuchung zur Überführung der Längsträger eines Pkw mit 40 % Überdeckung und einer Kollisionsgeschwindigkeit von 50 km/h (Höhe des Unterfahrschutzes 650 mm)	48
5.5.	Vergleich eines Front-Offset-Tests nach Euro-N-CAP mit Front-Offset-Tests mit Unterfahmung	50
6	Vorschläge für verbesserte und zukünftige Airbag-Systeme	53
6.1	Maßnahmen zur Reduzierung von Verletzungen durch den Airbag	53
6.2	Maßnahmen zur besseren Unfallschwere-Erfassung und adaptiven Airbag-Steuerung	53
6.2.1	Unfallschwere-Erfassung durch Mehrsensortechnik (Up-Frontsensorik)	53
6.2.2	Systeme zur frühzeitigen Detektierung von Fahrzeugüberschlägen	54
6.2.3	Adaptives Rückhaltesystem	55
6.2.4	Pre-Crash-Sensierung	55
7	Vorschläge zur Verbesserung von Regelungen der passiven Sicherheit von Pkw	56
7.1	Problem „Lkw-Unterfahmung“	56
7.2	Problem „Airbag-Fehlauslösung und Verletzungsrisiko“	56
8	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	56
9	Literaturverzeichnis	60

Verwendete Abkürzungen

AAAM	Association for the Advancement of Automotive Medicine
ACI	Automobile-Club d'Italia
ACP	Automovel Club de Portugal
ADAC	Allgem. Deutscher Automobil Club
AIS	Abbreviated Injury Scale
AL	Automobile and Touring Club of Finland Autoliito
AMZS	Auto-moto Zveza Slovenije
ANWB	Koninklijke Nederlandse Toeristenbond
ARTS	Adaptive Restrain Technology System
AZT	Allianz Zentrum Technik
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BG	Beschädigungsgrad
CMOS	Halbleiterelement
dB(A)	Dezibel
ECE	Economic Commission for Europe
EES	Energy Equivalent Speed
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
Euro-NCAP	European New Car Assessment Programme
FDM	Forenede Danske Motorejere
FIA	Fédération Internationale de l'Automobile
FMVSS	Federal Motorvehicle Safety Standards
FS 90	Fahrzeugsicherheit 90 (Forschungsprojekt)
GDV	Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft
HWS	Halswirbelsäule
IFM	Institut für Fahrzeugsicherheit München
KOM	Kraftomnibus
MAIS	Maximum Abbreviated Injury Scale (Gesamtverletzungsschwere)
N	Gesamtzahl
NAF	Norges Automobil-Forbund
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
ÖAMTC	Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touring Club
OoP	Out of Position
RACC	Real Automóvil Club de Cataluna
RACE	Real Automóvil Club de Espana
TCB	Touring Club Royal de Belgique
TCS	Touring Club Suisse

1 Einleitung

1.1 Unfallzahlen und Erkenntnisse aus bisherigen Airbaguntersuchungen

In Europa wurde die Airbag-Technologie auf breiter Front zu Beginn der 90er Jahre eingeführt. Ein Blick auf die Unfallstatistik der Europäischen Union, Bild 1-1, zeigt, dass sich die Zahl der bei einem Verkehrsunfall Getöteten von 56.000 im Jahr 1990 auf 43.000 im Jahr 1998 drastisch reduziert hat, und das trotz einer Zunahme der zugelassenen Fahrzeuge und trotz insgesamt gestiegener Fahrleistungen. Es ist davon auszugehen, dass die Airbag-Technologie diese positive Entwicklung mit beeinflusst hat.

Die rechte Spalte in Bild 1-1 zeigt die Getöteten-Rate in den einzelnen Ländern, d. h. die Anzahl der Getöteten pro 100 Millionen gefahrenen Kilometern. Mit etwa 0,7 haben hier Großbritannien und Schweden die niedrigsten Raten. Dagegen liegen die Werte bei Portugal, Griechenland und Spanien mit etwa 2,7 fast dreimal so hoch. Eine Ursache hierfür liegt sicherlich in der niedrigeren Gurtanlegequote in diesen Ländern. Ein anderer Grund ist aber auch, dass in diesen Ländern der Anteil an modernen Fahrzeugen mit Airbag-Technologie niedriger ist als in den übrigen Ländern.

Zur Quantifizierung der Schutzwirkung von Airbags haben der ADAC und der GDV im Jahr 1994 in einer Gemeinschaftsaktion eine Verbrauchermfrage über Airbags durchgeführt. In mehreren Aufrufen wurden die Leser der ADAC motorwelt gebeten, über Unfälle sowie Erfahrungen mit Airbag-Fahrzeugen zu berichten. Durch Hinzuziehung der Schadensakte der Autoversicherer entstand ein sehr aussagekräftiges Material mit insgesamt 335 Fällen (LANGWIEDER, 1997). Das Datenmaterial enthält im Wesentlichen Unfälle mit Frontairbags der ersten Generation. Ein direkter Vergleich dieser Daten mit entsprechenden Daten von Fahrzeugen ohne Airbags zeigte, dass bei gleicher Fahrzeugbeschädigung die Fahrer mit Airbag signifikant seltener schwer verletzt oder getötet werden als Fahrer ohne Airbag.

Ähnlich positive Auswirkungen wie beim Fahrerairbag ergaben sich damals für den Beifahrer-Airbag nicht: Im statistischen Durchschnitt konnte keine signifikant höhere Schutzwirkung durch Gurt plus Airbag im Vergleich zu dem nur durch Gurt gesicherten Beifahrer nachgewiesen werden. Lediglich in Einzelfällen mit sehr hoher Unfallschwere war der zusätzliche Schutzeffekt für angegurte Beifahrer zweifelsfrei vorhanden.

Die positiven Erfahrungen mit Airbags wurden jedoch durch vereinzelte Fälle mit negativen Auswir-

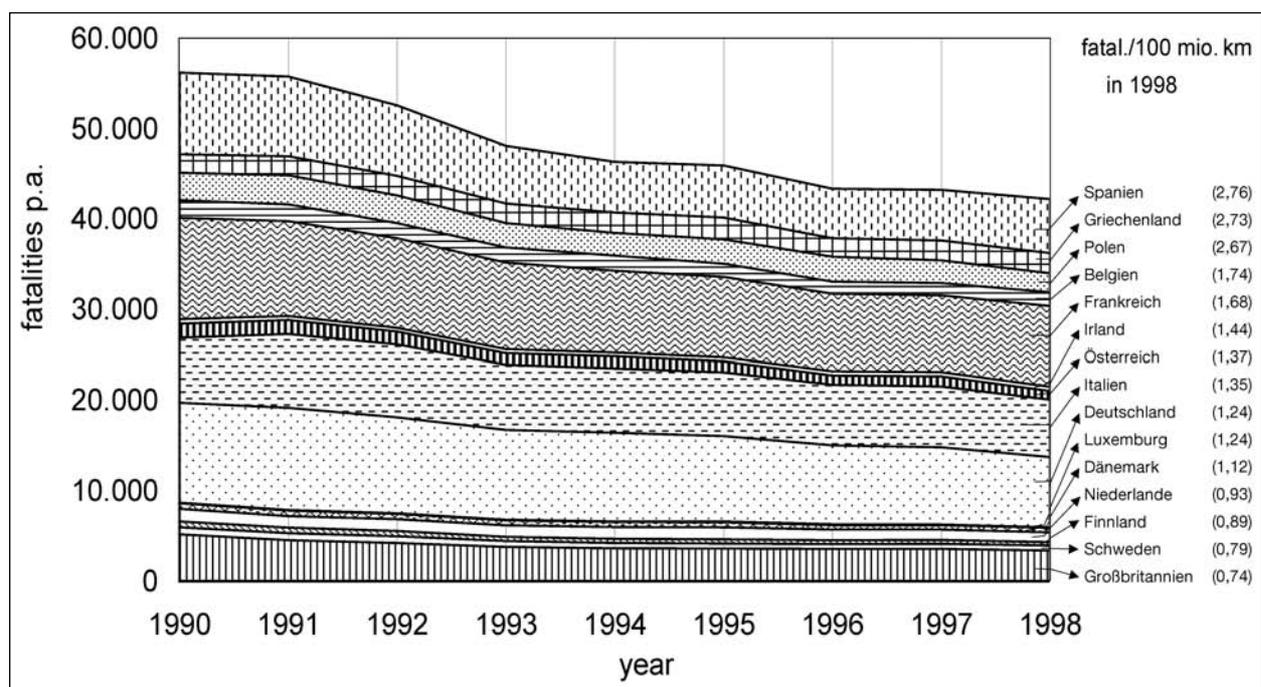


Bild 1-1: Europäische Unfallzahlen: Getötete pro Jahr und Getötetenrate in den einzelnen Mitgliedsländern

kungen getrübt. Es gab Probleme im Zusammenhang mit der Airbag-Auslösung und mit der Airbag-Aggressivität.

1.2 Zielsetzungen und Vorgehensweise

Mittlerweile sind praktisch alle Neufahrzeuge sowie auch viele gebrauchte Fahrzeuge mit Frontairbags ausgestattet. Außerdem besitzen zahlreiche Modelle heute zusätzlich Seitenairbags und teilweise auch schon Kopfseiten-Airbags.

Seit 1996 gibt es das europaweit einheitliche Verbraucherschutz-Crashtest-Programm Euro NCAP, in dem eine Reihe von airbagrelevanten Kriterien zur Beurteilung der Insassensicherheit verwendet werden. Und ab 1998 bestehen EU-Normen für das Front- und Seitencrash-Verhalten von neuen Fahrzeugmodellen. Obwohl dadurch die Anforderungen an den Airbag sicherlich gestiegen sind, berichten die Verbraucher nach wie vor immer wieder auch über Probleme im Zusammenhang mit dieser Technologie.

Wichtigstes Ziel dieser Arbeit ist es, ein möglichst aktuelles Datenmaterial über Unfälle mit Airbagfahrzeugen zu beschaffen und daraus abzuleiten, wie effektiv die Schutzwirkung der Airbags für Fahrer und Beifahrer heute ist. Darüber hinaus sollen die Art, Häufigkeit und Ursachen der in der Praxis auftretenden Probleme ermittelt werden.

Die Beschaffung des Datenmaterials erfolgt durch eine Umfrage in den Zeitschriften der europäischen Automobilclubs sowie bei den Rettungsinstitutionen. Das gewonnene Datenmaterial wird durch das Airbagmaterial der Autoversicherer erweitert. Zusätzlich erfolgt eine Abfrage der Fahrzeughersteller über den Stand der Airbagtechnologie und über die Ausrüstungsquoten.

Im Rahmen einer Vorauswertung werden die Problemfälle ausgefiltert und den Fahrzeugherstellern zur Stellungnahme übergeben. Die endgültige Analyse geschieht dann unter Berücksichtigung der Herstellerantworten über diese Problemfälle sowie der Versicherungsakte. Wichtige Analyseparameter sind Ort und Zeitpunkt des Unfalls, Unfallgegner, Fahrzeugart und -hersteller, Baujahr und Ausstattung, Unfallschwere und Unfallart, Verletzungsschwere, Besetzung und Beschädigungsflächen.

Um die Ursachen genauer kennen zu lernen, werden wichtige Problemfälle durch Labor-Crashtests

nachgestellt. Aufbauend auf den gewonnenen Ergebnissen wird abschließend eine Reihe von Vorschlägen gemacht, in welche Richtung sich die Airbag-Technologie weiterentwickeln sollte und welche Tests und Beurteilungsverfahren anzuwenden sind, um diese Technologie in Zukunft noch effizienter und zuverlässiger zu machen.

2 Materialbeschaffung

In dem Forschungsprojekt „Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag“ sollen unter anderem auch die Grenzen der Schutzwirkung von Airbags untersucht werden. Grundlage hierfür ist eine umfangreiche Verbraucheranfrage, aus der bestimmte Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbags oder auch Informationen über gewisse Problemfälle zu erhalten sind.

2.1 Europa-Umfrage

Die Erhebung erfolgte im Zeitraum Februar bis Juni 2000 durch Veröffentlichungen in Mitgliederzeitschriften verschiedener europäischer Automobilclubs sowie deren Internet-Homepages. Hierdurch ist ein gezielter Zugriff auf aktuelle Airbag-Fälle gegeben.

Folgende in der FIA organisierten europäischen Automobilclubs beteiligten sich an diesem Projekt (die jeweiligen Club-Mitgliederzahlen sind zum Stand Ende 2000 in Tausend in Klammern angegeben):

ADAC (Deutschland; 14.313), ACI (Italien; 1.100), ACP (Portugal; 182), AL Autoliitto (Finnland; 66), AMZS (Slowenien; 93), ANWB (Niederlande; 3.665), FDM (Dänemark; 214), NAF (Norwegen; 417), ÖAMTC (Österreich; 1.402), RACC (Spanien; 450), RACE (Spanien; 824), TCB (Belgien; 604) und TCS (Schweiz; 1.403).

Der Aufruf richtete sich insgesamt an ca. 24 Millionen Automobilclub-Mitglieder in Europa.

Mit Hilfe eines Umfrage-Coupons und einer kurzen Beschreibung des Forschungsprojektes wurde der Erstkontakt mit betreffenden Personen hergestellt (Bild 2-1).

Bei jedem eingegangenen Umfrage-Coupon erfolgte eine detaillierte Befragung des Mitgliedes durch einen zugesandten Fragebogen.

AUTO
SICHERHEIT

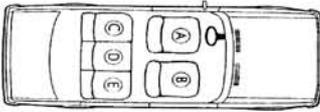
AIRBAG-Unfall

UMFRAGE. Was leisten Front- und Seitenairbags in der Praxis? Erfüllen sie die Erwartungen oder gibt es noch Probleme? Fragen, die wir mit Ihrer Hilfe klären wollen

Hersteller:.....

Typ:.....

Baujahr:.....



Welcher Airbag hat beim Unfall ausgelöst?

Fahrer-Airbag ja nein

Beifahrer-Airbag ja nein nicht vorhanden

Seiten-Airbag ja nein nicht vorhanden

Kopf-Airbag ja nein nicht vorhanden

Bitte tragen Sie für die in der Skizze aufgeführten Personen die Verletzungsschwere ein.

1 = unverletzt 2 = leicht verletzt

3 = schwer verletzt (mehrere Tage Krankenhaus) 4 = getötet

Fahrer A.....

Beifahrer B.....

Mitfahrer C.....

Mitfahrer D.....

Mitfahrer E.....

Wurden nach Ihrer Meinung Sie oder Ihre Mitfahrer durch den Airbag geschützt? ja nein

(Bitte weitere Informationen beilegen)

Wichtig: Bitte tragen Sie den Hauptanstoßbereich des Autos durch Schraffieren in der Skizze ein! Falls möglich, legen Sie bitte ein Foto vom Unfallwagen bei.

Name.....

Straße..... Tel.-Nr:.....

PLZ/Ort.....

Hatten Sie einen Unfall mit einem Airbag-Auto? Falls ja, interessiert uns Ihre Erfahrung. Hintergrund: Der ADAC und das Institut für Fahrzeugsicherheit im GDV wollen im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) die Schutzfunktion und Wirkungsweise heutiger Airbag-Systeme erforschen, um Probleme zu erkennen oder Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Es geht allerdings nur um Unfälle, bei denen der Airbag eine Rolle spielte. Leichtere Frontalunfälle, bei denen z. B. der Fahrer auch ohne Airbag allein durch

die Sicherheitsgurte bereits so gut geschützt wurde, dass sein Kopf das Lenkrad nicht berührte, sind also nicht gefragt. Sollten Sie einen Unfall mit Airbag-Auslösung (oder ohne Airbag-Zündung, aber mit schweren Verletzungen) erlebt haben, senden Sie bitte den oben stehenden Coupon ausgefüllt zurück. Unsere Anschrift: **ADAC, Kennwort Airbag, 81014 München**. Sollten wir noch Fragen haben, schicken wir Ihnen einen ausführlichen Fragebogen zu. BRI

WEITERE INFORMATIONEN IM ADAC-CLUBSERVICE

INTERNET Airbag-Fragebogen
www.adac.de

2.2 Fragebogen

Der Fragebogen (Anhang 2-1) beinhaltet die folgenden Gesichtspunkte, um ein möglichst aussagekräftiges Datenmaterial zu erhalten:

- Daten und Beschädigungen der Unfallfahrzeuge,
- Unfallhergang,
- Sitzeinstellung und Sitzposition bei Fahrer und Beifahrer,
- Airbagauslösung oder Nichtauslösung,
- Daten zu allen Insassen und deren Verletzungen,
- Angaben zu bestimmten Problempunkten (z. B. Verletzungen durch Airbag, Probleme bei Rettung usw.).

Nach Beantwortung des Fragebogens sollte dieser mit eventuellen Ergänzungen wie z. B. Unfallfotos, Gutachten, Arztberichte usw. zurückgesendet werden (freier Rückumschlag).

Bei vielen Rückantworten enthielten die Unterlagen ausreichend gut dokumentierte Schilderungen des Unfallhergangs. Zum Teil waren auch Unterlagen wie z. B. Arztberichte, Gutachten und Unfallfotos beigefügt.

Insgesamt konnten in Europa 771 Fälle ermittelt werden.

Davon lieferten:

ADAC	606 Fälle,
ACI (Italien)	1 Fall,
AL Autolitto (Finnland)	6 Fälle,
ANWB (Niederlande)	33 Fälle,
ÖAMTC (Österreich)	15 Fälle,
RACE, RACC (Spanien)	18 Fälle,
TCB (Belgien)	33 Fälle,
TCS (Schweiz)	59 Fälle.

Zur Objektivierung der vorliegenden Informationen war es jedoch notwendig, zusätzlich die in den Schadensakten der Versicherer enthaltenen Unterlagen auszuwerten. Hierzu mussten diese vom jeweiligen Versicherer angefordert werden. Da überwiegend nur die Unterlagen von Versicherungen aus Deutschland zu erhalten waren und die Fälle

Bild 2-1: Coupon aus der ADAC-Motorwelt 2/2000

aus anderen europäischen Ländern auf Grund einer Vorauswertung keine weiteren Erkenntnisse brachten, stützte sich die Detailanalyse des Materials hauptsächlich auf Fälle aus Deutschland. Das Untersuchungsmaterial konnte zu den 606 Fällen des ADAC durch weitere 86 Fälle aus GDV-Materialien auf insgesamt 692 Fälle aufgestockt werden. Die Analyse des Untersuchungsmaterials wird unter Kapitel 4 beschrieben.

2.3 Recherche zu Fällen mit Airbagauslösung während Rettungsmaßnahmen

Von Rettungsorganisationen wird häufig die Frage gestellt, ob Airbagsysteme bei Bergungsarbeiten auslösen können. Aus diesem Grund fand im Rahmen dieses Projektes eine Befragung folgender Fachzeitschriften, Verbände und Vertreiber von Rettungsgeräten statt:

- Das Rettungsmagazin,
- 112-Magazin der Feuerwehr und Brandschutz,
- Die Deutsche Feuerwehr-Zeitung,
- die Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltung „Fachausschuss Verkehr“ in Hamburg,
- der Bundesverband der Unfallkassen in München,
- der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) in Berlin,
- Vertreiber von so genannten Airbag-Fesselungssystemen.

Die Befragung ergab, dass kein Airbag-Problemfall bei Rettungsarbeiten bekannt ist. Lediglich über den in den Medien bereits mehrfach berichteten Fall aus den USA, bei dem ein Feuerwehrmann durch einen auslösenden Beifahrerairbag verletzt wurde, gab es Hinweise.

Die Wahrscheinlichkeit einer Airbagauslösung bei Rettungsmaßnahmen dürfte somit äußerst gering sein, wenngleich auch ein entsprechender Vorfall bei der Vielfalt der Airbagsysteme nicht völlig ausgeschlossen werden kann.

3 Dokumentation des Standes der Airbag-Technologie

Im Dezember 1980 lief in Deutschland das erste Serienfahrzeug mit Fahrerairbag vom Band. Das im Mercedes S-Klasse eingebaute aufpreispflichtige Zubehör „SRS“ (Supplemental Restraint System) sollte dem Fahrer zusammen mit dem Drei-Punkt-Gurt optimalen Schutz bei Frontalkollisionen bieten. Während in den USA von Anfang an die Forderung bestand, dass der Airbag auch alleine die Schutzwirkung für den Insassen erfüllen muss, hat sich in Europa die kombinierte Schutzwirkung von Airbag und Gurt durchgesetzt.

In den Anfängen der Airbag-Entwicklung gab es sehr unterschiedliche Systeme wie z. B. großvolumige US-Bags (70 bis 130 l Volumen), kleinvolumige Euro-Bags (30 l), elektronische Systeme sowie auch mechanisch auslösende Airbags.

Die Systeme haben sich aber in den letzten Jahren vor allem bezüglich der Auslösesteuerung (elektronische Systeme) und der Sensorik deutlich angeglichen. Gravierende Unterschiede gibt es noch bei der Airbagausführung (Airbag-Geometrie).

3.1 Airbag-Ausrüstquoten

Eine Auswertung des ADAC-Datenbank-Materials, in dem sämtliche Neufahrzeugvarianten enthalten sind, ergibt folgende Ausrüstquoten (Tabelle 3-1) für das Angebot dieser Fahrzeuge (Pkw, Geländewagen und Kleinbus) auf dem deutschen Markt.

Nach Berechnungen der Deutschen Automobil Treuhand (DAT) sind, bezogen auf den gesamten Pkw-Bestand, derzeit 65 % der Pkw in Deutsch-

Von insgesamt 4.500 angebotenen Fahrzeug-Modellen haben:		
Fahrerairbag	serienmäßig	96 %
Beifahrerairbag	serienmäßig	93 %
Thoraxairbag vorne	serienmäßig	75 %
Thoraxairbag vorne	gegen Aufpreis	5 %
Thoraxairbag inkl. Kopfschutz vorne	serienmäßig	9 %
Thoraxairbag inkl. Kopfschutz vorne	gegen Aufpreis	0,3 %
Thoraxairbag hinten	serienmäßig	1 %
Thoraxairbag hinten	gegen Aufpreis	9 %
Windowbag	serienmäßig	7 %
Windowbag	gegen Aufpreis	15 %
Kopfairbag separat vorne	serienmäßig	7 %
Kopfairbag separat hinten	serienmäßig	4 %

Tab. 3-1: Auswertung der ADAC-Fahrzeuginformationsbank 2001

land mit Front-Airbags ausgerüstet. Es kann davon ausgegangen werden, dass im Jahr 2015 die 100-%-Marke erreicht wird.

3.2 Airbag-Technologie

Auf der Grundlage einer Fahrzeughersteller-Umfrage können die aktuellen Daten der Airbag-Technologie für das Modelljahr 2001 dargestellt werden (siehe Anhang 3-1). Nachfolgend sind die jeweiligen Abfragekriterien aufgelistet sowie die Angaben der Hersteller beschrieben:

- angebotene Airbagsysteme,
- Airbag-Gas-Generatortechnik,
- Airbag-Sensor-Technik,
- Airbag-Auslöseschwelle,
- Vorgaben bzgl. Mindestsitzabstand zum Lenkrad (Airbag),
- Position der Beifahrerairbagaustrittsöffnung,
- Sitzbelegungserkennung,
- Beifahrerairbag-Deaktivierung (Kindersicherung).

Die Datenerfassung gestaltete sich äußerst schwierig, da einige Hersteller nur auf mehrfaches Drängen geantwortet haben und zum Teil auch abweichende Informationen zu den Angaben in den Fahrzeug-Bedienungsanleitungen gaben.

3.2.1 Angebotene Airbagsysteme

Fahrer- und Beifahrerairbags gehören heute in den meisten Fahrzeugen zur Grundausstattung. Thoraxairbags sind am häufigsten in der Seitenwange der Sitzlehne verbaut (Bild 3-1) und werden nur von Mercedes und BMW als Seitenairbags in der Fahrzeugsitztür konzipiert (Bild 3-2).

Für den Kopfschutz der vorderen Fahrzeuginsassen werden häufig Thorax-Airbags mit einem integrierten Kopfschutz kombiniert (Bild 3-1).

Eine deutliche Zunahme zeigt sich bei so genannten Windowbags (Bild 3-2), die einen durchgehenden seitlichen Kopfschutz vom Vordersitz bis zum Rücksitz bieten. Einen separaten Kopfschutzairbag getrennt für vorne und hinten hat nur BMW (Bild 3-3).

Somit sind gegenwärtig bis zu 10 Airbags in die Fahrzeuge verbaut, wobei 6 bis 8 Airbags bei Neufahrzeugen zum Teil schon Serienstand sind.

3.2.2 Airbag-Gasgenerator-Technik

Am häufigsten finden auch heute noch pyrotechnische Systeme ihre Anwendung für Fahrerairbags. Bei diesen Systemen erfolgt die Airbagentfaltung durch ein ca. 80 °C heißes Treibgas.

In zunehmendem Maße gewinnt aber die Hybrid-Technik für Beifahrer-, Seiten- und Kopfairbags an Bedeutung, da der Airbag durch komprimierte Luft aufgeblasen wird und so die Problematik mit möglichen Verbrennungen durch heißes Gas entfällt.



Bild 3-1: Integrierter Kopfschutz im Thoraxairbag von Nissan



Bild 3-2: Seitenairbag und Windowbag (Mercedes)

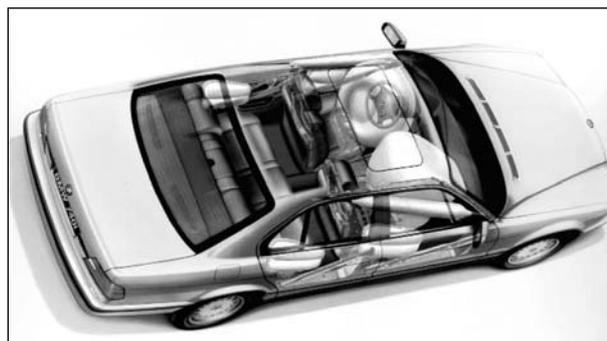


Bild 3-3: Airbag-Komplettausstattung (BMW 7er)

Während in der Vergangenheit ausschließlich einstufige Airbag-Systeme zur Anwendung kamen, gehen die Hersteller nun mehr und mehr zur Verwendung zweistufiger Systeme über.

Zweistufige Airbagsysteme können, der Unfallschwere angepasst, entweder die weniger aggressive 1. Stufe zünden oder bei schweren Unfällen sofort die volle Airbag-Schutzwirkung (2. Stufe) aktivieren. Diese mehrstufigen Systeme sind vor allem zur Erfüllung zukünftiger US-Vorschriften bezüglich „Low Risk Deployment“ (FMVSS 208) erforderlich [RÖLLEKE, 2001].

3.2.3 Airbag-Sensor-Technik

Zu Beginn der Entwicklung der Airbagsysteme waren mehrere Sensoren im Frontbereich der Fahrzeuge eingebaut.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit oder der kompakten Bauweise von Zulieferteilen hatte jedoch in der letzten Zeit die Zentralsensorik an Bedeutung gewonnen.

Da es jedoch in der Vergangenheit in Einzelfällen zu Früh- oder Fehlauflösungen gekommen ist [ADAC Motorwelt, 12/96], ist es heute wieder notwendig, zur Mehrsensortechnik zu wechseln, um die Unfallschwereerkennung zu verbessern.

Vor allem bei den Seitenairbags werden so genannte Satelliten im Türbereich eingesetzt, die eine schnellere Kollisionserfassung und somit auch eine schnellere Airbagzündung gewährleisten können.

Eine neue Entwicklung im Bereich der Airbagtechnik ist der Up-Front-Sensor [LANG, 1999]. Dieser Sensor ist im Bereich des Schlossträgers der Motorhaube verbaut und dient vorrangig dazu, bei geringer Unfallintensität die Airbagauslösung zu verhindern. Zusätzlich soll mit dieser Technik das Problem der Unfallschwereerkennung bei Längsträgerüberfahung gelöst werden.

3.2.4 Airbagauslöseschwelle

Ein Steuergerät mit zentralem Crash-Sensor CCS (Central Crash Sensor) arbeitet nach dem in Bild 3-4 dargestellten Prinzip. Das Integral ΔV_x der zentral gemessenen Beschleunigung a_x wird mit einer aus dem gefilterten Beschleunigungssignal berechneten Auslöseschwelle verglichen [LANG, 1999].

Je nach Fahrzeugstruktur und Erkenntnissen aus der Unfallforschung wird diese Schwelle vom Hersteller selbst definiert. Aus Gründen möglicher Ver-

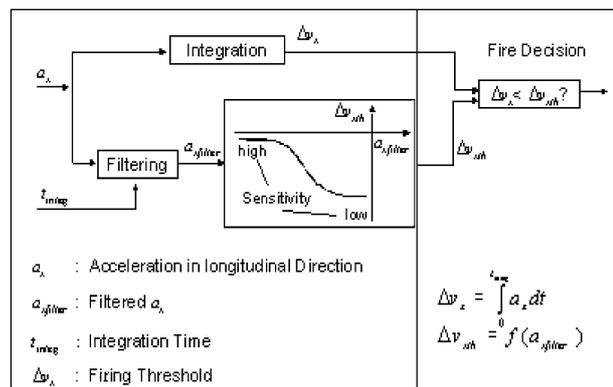


Bild 3-4: Algorithmus mit Zentralsensierung (Bosch)

letzungsrisiken durch den Airbag bei Unfällen mit niedriger Schwere ist die Auslöseschwelle in der Vergangenheit etwas angehoben worden und liegt jetzt in Europa bei einem frontalen Wandaufprall bei ca. 25 – 30 km/h.

Die Umfrage ergab, dass viele Fahrzeughersteller weder für die Front- noch für die Seitenairbags bestimmte Angaben zur Auslöseschwelle machen. Häufig ist die Begründung dafür, dass verschiedene Parameter wie z. B. Überdeckungsgrad, Anstoßwinkel, Steifigkeit der Stoßpartner usw. den Verzögerungsverlauf des Fahrzeugs und damit das Erreichen der Airbagauslöseschwelle beeinflussen.

Wenn Angaben zur Auslöseschwelle gemacht wurden, waren diese sehr unterschiedlich.

Für die Frontairbagauslösung reicht die Spanne bei Angaben zu EES (Energy Equivalent Speed) von 20 km/h (Daihatsu, Hyundai und Suzuki) bis 30 km/h (Seat und BMW). Beim Seitenairbag wurden entsprechende Vergleichsdaten (EES-Werte) von 20 km/h (Hyundai) bis max. 50 km/h (Daihatsu) angegeben. Der Wert von 25 km/h für die Auslöseschwelle der Seitenairbags war jedoch eine sehr häufig vorkommende Angabe der Hersteller.

Da sich die Angaben der Hersteller aber auch auf unterschiedliche Testkonfigurationen bezogen (z. B. Test gegen feste Barriere, EEVC-Barriere oder Fahrzeug/Fahrzeug-Crash), ist ein direkter Vergleich des Niveaus der Airbagauslöseschwelle unter allen Herstellern nicht möglich.

3.2.5 Vorgaben bzgl. Mindestsitzabstand zum Lenkrad

Beim ADAC-Autotests hat sich immer wieder gezeigt, dass es Fahrzeuge gibt, bei denen der Fahrersitz extrem nahe zum Lenkrad eingerastet werden kann.

Da es dadurch vor allem für Personen mit kurzer Beinlänge zu einer „Out of Position“-Stellung kommen kann, hat u. a. auch eine Befragung der Hersteller bezüglich Vorgaben zu Mindestsitzabstand des Insassen zum Airbag stattgefunden.

Die meisten Hersteller haben keine Angaben bezüglich des Mindestsitzabstandes zu Frontairbags gemacht, verweisen aber auf die Hinweise in den Fahrzeug-Bedienungsanleitungen. Diese sind jedoch häufig sehr global und deuten nur darauf hin, dass keine zu nahe Position zum Airbag eingenommen werden soll.

Diejenigen Hersteller, die ein bestimmtes Mindestmaß zum Lenkrad vorgeben, sind Audi, BMW, Mercedes, Opel und Saab. Die Werte betragen hier zwischen 250 mm und 300 mm und decken sich mit den Angaben der NHTSA (10 inch = 254 mm außerhalb kritischem Bereich). Nur die Firmen MMC Smart und VW bestätigen, dass die vordere Position der Sitzlängsverstellung auch den Mindestsitzabstand darstellt.

3.2.6 Position der Beifahrerairbag-Austrittsöffnung

In früheren Realunfall-Untersuchungen [LANGWIEDER, 1996; LANGWIEDER, 1997; KLANNER, 2000] zeigten sich häufig Fälle, bei denen durch die Abstützreaktion des Beifahrers auf dem Armaturenbrett schwere Verletzungen an den Händen entstanden sind, da die Airbag-Austrittsöffnung direkt in diesem Abstützbereich lag (front-mounting).

Die Abfrage für das Modelljahr 2001 ergab, dass gegenüber dem bisherigen Stand jetzt viele Hersteller „top-mounting“-Systeme einsetzen. Bei diesen Systemen ist die Beifahrerairbag-Austrittsöffnung nach oben zur Windschutzscheibe gerichtet. Front-mounting-Systeme werden heute überwiegend noch in kleineren Fahrzeugen eingesetzt.

3.2.7 Sitzbelegungserkennung

Zur Reduzierung möglicher Gehörschäden durch eine Airbagauslösung ist es erforderlich, den Beifahrerfrontairbag nur dann auszulösen, wenn ein Beifahrer vorhanden ist. Messungen haben ergeben, dass der Schalldruckpegel bei einer Auslösung des Beifahrerairbags sehr hoch (im Bereich 140 dB(A)) liegt [BEAT, 2000]. Dafür sind Sitzbelegungserkennungs-Systeme nötig, die erst seit einigen Jahren eingesetzt werden. In der Regel wird bei diesen Systemen ab ca. 12 kg Gewicht ein Bei-

fahrer erkannt und der Airbag aktiviert. In Kindersitzen gesicherte Kinder werden dadurch aber nicht zuverlässig erkannt. Die Auflistung (Anhang 3-1) zeigt, dass auch heute noch viele Neufahrzeuge diese Technik nicht aufweisen. Lediglich BMW und Mercedes verbauen schon bei allen Modellen eine Sitzbelegungserkennung. Hyundai liefert diese Technik nur in den neuesten Modellen. Die Firma Opel bietet eine Sitzbelegungserkennung auf Wunsch an.

Das modernste System bezüglich der Insassen- und Insassenpositionserkennung (Out-of-Position-Erkennung) liefert zur Zeit die Firma Jaguar im Modell XK. Das serienmäßige Rückhaltesystem (ARTS) ermittelt mit Hilfe von Ultraschall-, Sitz- und Gurtschlossensoren die Sitzposition der Frontinsassen und aktiviert bzw. deaktiviert (nur Beifahrerairbag) situativ die Airbagauslösung (siehe Bild 6-5, Kapitel 6.2.3)

3.2.8 Beifahrerairbag-Deaktivierung (wegen Kindersicherung)

Auf Grund des hohen Verletzungsrisikos ist es gesetzlich vorgeschrieben, dass rückwärts gerichtete Kindersitze beim aktiven Beifahrerairbag nicht auf dem Beifahrersitz montiert werden dürfen. Für besondere Fälle (z. B. Kleinkind muss beobachtet werden) ermöglichen einige Fahrzeughersteller die Deaktivierung des Beifahrerairbags – die Methoden hierfür sind jedoch deutlich verschieden.

Während Audi, BMW, Mitsubishi, Saab, Seat, Skoda, Suzuki, Toyota und VW eine permanente Deaktivierung durch eine Vertragswerkstatt ermöglichen, bei der dieser außergewöhnliche Zustand auch in die Fahrzeugpapiere eingetragen werden muss, lehnen Chrysler, Daewoo, Daihatsu, Ford, Honda, Hyundai, Jaguar, Mazda, Mercedes, MCC Smart, Nissan, Opel, Rover, Subaru und Volvo grundsätzlich eine permanente Deaktivierung ab.

Zunehmend werden jetzt so genannte „Airbag-Schlüsselschalter“ eingesetzt (Bild 3-5), mit denen der Autofahrer selbst je nach Bedarf den Beifahrerairbag deaktivieren kann (z. B. Audi, Citroen, Fiat und Peugeot).

Da hier eine große Verantwortung beim Fahrer liegt, sollte die vorgeschriebene Kontrollleuchte „Airbag aus“ unbedingt auch für den Beifahrer klar zu erkennen sein. Die Beschreibung in der Bedienungsanleitung und die Kennzeichnung am Fahrzeug dürfen auf keinen Fall missverständlich (z. B. Bild 3-6) sein.

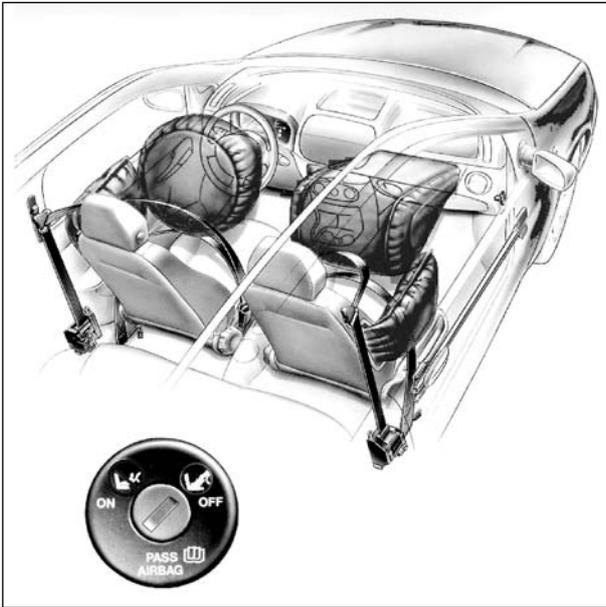


Bild 3-5: Schlüsselschalter bei Fiat



Bild 3-6: Missverständliches Airbag-Label für das Abschalten des Beifahrerairbags

3.2.9 Automatische Kindersitzerkennung

Ausgelöst durch die Problematik mit rückwärts gerichteten Kindersitzen in Verbindung mit Frontairbag wurde die Forderung nach einem automatischen Kindersitzerkennungs-System erhoben, durch das der Airbag automatisch deaktiviert wird. Bis heute gibt es jedoch keine entsprechenden Systeme, die alle Kindersitze erkennen. Lediglich Jaguar, Mazda, Mercedes, MMC Smart und Porsche bieten aktuell schon automatische Kindersitzerkennungs-Systeme für den Beifahrersitz an.

Es werden aber hierbei durch spezielle Transpondersysteme nur Kindersitze vom jeweiligen Fahrzeughersteller erkannt! Die Firma Opel wird zukünftig ein entsprechendes System anbieten, das aber ebenfalls nur herstellerspezifische Kindersitze erkennt.

3.2.10 Kindersicherung (in Fahrtrichtung) auf Beifahrerplatz mit Airbag

Seit dem 01.04.93 gilt in Deutschland die Vorschrift, dass Kinder im Fahrzeug mit amtlich genehmigten Kindersicherungssystemen gesichert werden müssen. Grundsätzlich ist dadurch auch die Kindersicherung auf dem Beifahrerplatz erlaubt.

Da jedoch einige Hersteller wegen möglicher Gefahren durch den Airbag lt. Bedienungsanleitung den Beifahrerplatz für die Kindersicherung generell verbieten, kommt es vor allem bei Fahrgemeinschaften mit Kindern beim Verbraucher zu Unsicherheiten.

Folgende Firmen erlauben die Kindersicherung nur im Fond: BMW, Chrysler, Citroen, Daewoo, Hyundai, Jaguar, Nissan, Opel, Porsche, Rover, Saab, Seat, Subaru, Suzuki und Volvo.

Die anderen Hersteller schränken diesen Sitzplatz weniger stark ein, weisen jedoch darauf hin, dass bei dieser Verwendung der Beifahrersitz ganz nach hinten verstellt werden muss, damit durch eine stärkere Vorverlagerung keine Verletzungsrisiken durch den Frontairbag entstehen.

Wegen möglicher Fehlbedienungen ist unbedingt anzustreben, dass die Vorgaben für die Kindersicherung in Fahrzeugen mit Airbag – so weit möglich – vereinheitlicht werden.

4 Analyse von Realunfällen

4.1 Beschreibung des Airbag-Materials

Die dem ADAC gemeldeten Fälle (N = 606) wurden im Institut für Fahrzeugsicherheit einer detaillierten Analyse unterzogen.

Hierfür wurden – so weit möglich – zu jedem Unfall die entsprechenden Schadenakten der Deutschen Autoversicherer zusätzlich ausgewertet, wodurch die Informationsdichte deutlich erhöht werden konnte.

Durch diese Maßnahme war es zugleich möglich, die teilweise subjektiven Angaben der Automobilclub-Mitglieder durch das Hinzuziehen weiterer Informationen zu objektivieren (z. B. Verletzungsbeschreibung durch behandelnde Mediziner).

Das Aufgreifen der Schadenakten – deren Inhalt sich u. a. zusammensetzt aus dem Polizeibericht, Sachverständigengutachten zu den Fahrzeugbeschädigungen, unfallanalytischen Gutachten und Arztberichten, bis hin zu Obduktionsberichten – gestaltete sich sehr zeitaufwändig und war mit umfangreichen Telefonrecherchen verbunden.

So wurden mit insgesamt 247 beteiligten Personen Telefonate geführt, um jene Informationen zu erhalten, die es ermöglichen, auf die Versicherungsunterlagen gezielt zugreifen zu können.

In der Summe wurden 336 Schadenakten angefordert, von denen 220 in das vorliegende Projekt integriert werden konnten; die restlichen Akten waren kurzfristig nicht verfügbar.

Die Zusammensetzung des Fallmaterials, das in den folgenden Kapiteln behandelt wird, ist in Tabelle 4-1 dargestellt.

In den 606 Fällen des ADAC befinden sich sowohl „reine“ Unfälle (Kollisionen) als auch Unfallereignisse ohne Kollision wie z. B. Fehlauslösungen des Airbags während der Fahrt.

Die ADAC-Fälle wurden ergänzt durch Pkw-Unfälle aus drei aktuellen, unabhängigen GDV-Materialien:

Aus insgesamt 1.223 Pkw-Unfällen (Fahrzeuge mit/ohne Airbag; Unfälle mit/ohne Airbag-Aktivierung) wurden alle Unfälle mit mindestens einem aktivierten Airbag (N = 86) selektiert und in das Gesamtmaterial eingebracht, das somit aus 692 Fällen besteht.

Die sich innerhalb des Kapitels 4.1 anschließenden Betrachtungen beziehen sich auf diese 692 Fälle und haben rein deskriptiven Charakter.

Erst in den Folgekapiteln werden Detailergebnisse ausführlich sowie mehrdimensional dargestellt und erläutert.

Airbag-Material			
	Gesamt	davon	
ADAC-Fälle	606	mit/ohne Auslösung	606
GDV-Fälle	1.223	mit Auslösung	86
Gesamt	1.829		692

Tab. 4-1: Zusammensetzung des Airbag-Materials

Aufgrund unterschiedlicher Selektionskriterien (abhängig von der Fragestellung und Betrachtungsweise) ergeben sich in den einzelnen Tabellen Grundgesamtheiten, die von 692 Fällen abweichen.

4.1.1 Unfallzeitpunkt und Unfallort

Die überwiegende Zahl der Unfälle (Tabelle 4-2) ereignete sich in den Jahren 1997 bis 2000, exakt 91,7 % der Unfallereignisse entfielen auf diesen Zeitraum; nur 8,3 % der Airbag-Fahrzeuge verunglückten 1996 oder vorher.

Knapp 70 % der gemeldeten Unfälle fanden außerhalb geschlossener Ortschaften statt (Tabelle 4-3), am häufigsten ereigneten sie sich auf Bundesstraßen (30,8 %) gefolgt von Autobahnen (24,6 %) und Land-/Staatsstraßen (9,3 %).

Die Unfallrate auf Außerortsstraßen ist damit im vorliegenden Airbag-Material sehr hoch, wie ein Vergleich mit dem repräsentativen GDV-Unfallmaterial „Fahrzeugsicherheit 90“ („FS 90“; 15.000 Pkw/Pkw-Unfälle mit Personenschaden aus dem Jahr 1990) zeigt (HUK-Verband, 1994).

In der „FS 90“ ereigneten sich lediglich 32 % der Unfälle außerhalb geschlossener Ortschaften, im

Unfalljahr	Anzahl	%
1993	1	0,2
1994	4	1,0
1995	9	2,2
1996	20	4,9
1997	44	10,8
1998	113	27,7
1999	149	36,5
2000	68	16,7
Gesamt	408	100
nicht ersichtlich	284	

Tab. 4-2: Unfallzeitpunkt

Unfallort	Anzahl	%	
außerorts			
Autobahn	105	24,6	69,2
Bundesstraße	132	30,8	
Land-/Staatsstraße	40	9,3	
Kreisstraße	14	3,3	
andere Straße	5	1,2	
innerorts	132	30,8	30,8
Gesamt	428	100	
nicht ersichtlich	264		

Tab. 4-3: Unfallort

Unfallgegner	Anzahl	%
Pkw	288	56,9
Baum o. Ähnliches	60	11,9
Mauer o. Ähnliches	20	4,0
Lkw, KOM	49	9,7
Transporter, Kleinbus o. Ä.	17	3,4
diverse Fahrzeuge	10	2,0
Leitplanke	21	4,2
Böschung, Graben o. Ä.	21	4,2
diverse Gegenstände	9	1,7
Tiere	6	1,1
Verkehrszeichen/-schild	5	0,9
Gesamt	506	100
Unfallgegner nicht ersichtlich	186	

Tab. 4-4: Unfallgegner

Fahrzeugart	Anzahl	%
Pkw Limousine	534	77,3
Pkw Kombi	98	14,2
Van	17	2,5
Pkw Coupé	16	2,3
Pkw Cabrio	14	2,0
Transporter/Kleinbus	7	1,0
Geländewagen	3	0,5
Minivan	1	0,1
Wohnmobil	1	0,1
Gesamt	691	100
Fahrzeugart nicht ersichtlich	1	

Tab. 4-5: Fahrzeugart Airbag-Fahrzeuge

Fahrzeug-Hersteller	Anzahl
Alfa Romeo	1
Audi	44
Austin Rover	4
BMW	61
Citroen	9
Daewoo	3
Daihatsu	1
DaimlerChrysler	62
Fiat	25
Ford	62
Honda	10
Hyundai	3
Isuzu	1
Jaguar	1
Lancia	3
Mazda	19
Mitsubishi	10
Nissan	12
Opel	106
Peugeot	11
Porsche	1
Renault	45
Saab	2
Seat	11
Skoda	5
Subaru	3
Suzuki	3
Toyota	6
VW	142
Volvo	24
Sonstige Hersteller	1
Gesamt	691
nicht ersichtlich	1

Tab. 4-6: Hersteller Airbag-Fahrzeuge

Airbag-Material dagegen 69,2 %. Dies ist ein Hinweis auf eine insgesamt über dem Durchschnitt liegende Unfallschwere bei den hier betrachteten Airbag-Fahrzeugen.

4.1.2 Unfallgegner

In mehr als der Hälfte der Unfälle (56,9 %) kollidierten die Airbag-Fahrzeuge mit einem Pkw (Tabelle 4-4), für 15,9 % der Fahrzeuge endete die Fahrt an einem festen Hindernis, wie zum Beispiel an einem Baum oder Mast (11,9 %) bzw. einer Mauer (4,0 %), 15,1 % hatten einen Lkw oder Bus, bzw. andere Fahrzeuge (z. B. Transporter, Kleinbus, Wohnwagen ...) als Unfallgegner. In 21 Fällen (4,2 %) fand eine Kollision mit einer Leitplanke – davon drei Mal verbunden mit einer Unterfahung – statt, in 21 weiteren Fällen (4,2 %) kollidierte das Airbag-Fahrzeug nicht unmittelbar mit einem Unfallgegner oder einem Objekt, sondern kam von der Fahrbahn ab und schleuderte in einen Graben, gegen eine Böschung oder fuhr in eine Wiese bzw. einen Acker. Verschiedene Gegenstände (verlorener Lkw-Reifen, verlorene Ladung usw.) sowie Tiere auf der Fahrbahn und auch Verkehrsschilder zählten in 3,7 % der Kollisionen zu den Unfallgegnern der Airbag-Fahrzeuge.

4.1.3 Airbag-Fahrzeuge

4.1.3.1 Fahrzeug-Art

In Tabelle 4-5 ist für die Airbag-Fahrzeuge angegeben, um welche Fahrzeug-Art es sich handelte:

Mehr als 96 % waren Pkw, doch sind – auch wenn nur mit geringer Fallzahl – Vans, Transporter und Geländewagen sowie auch ein Wohnmobil im Airbag-Material enthalten.

4.1.3.2 Fahrzeug-Hersteller

Die Hersteller der Airbag-Fahrzeuge sind in alphabetischer Reihenfolge in Tabelle 4-6 aufgeführt.

Annähernd von allen Herstellern, die auf dem europäischen Markt vertreten sind, finden sich Fahrzeuge in dem Airbag-Material wieder, selbst von Herstellern, die nur einen sehr kleinen Marktanteil besitzen, wie z. B. Daihatsu, Isuzu, Jaguar oder Saab.

Eine komplette Liste aller Hersteller und der im Airbag-Material enthaltenen Fahrzeug-Typen befindet sich in Anhang 4-27.

4.1.3.3 Fahrzeug-Baujahr

Bedingt durch das Auswahlkriterium „Fahrzeug mit Airbag“ war ein Großteil der Fahrzeuge relativ neu (Tabelle 4-7): So stammten 93,9 % der Airbag-Fahrzeuge aus den Jahren 1994 bis 2000.

Der Anteil älterer Pkw war dementsprechend sehr gering und es befanden sich beispielsweise aus den 80er-Jahren lediglich sechs Fahrzeuge in dem hier vorliegenden Gesamtmaterial.

4.1.3.4 Ausstattung der Fahrzeuge mit Airbags

Der Logik folgend, waren alle Fahrzeuge mit einem Frontairbag auf der Fahrerseite ausgestattet, 80,8 % davon (559 Fahrzeuge) besaßen einen Frontairbag auf der Beifahrerseite (Tabelle 4-8).

Fahrzeug-Baujahr	Anzahl	%
bis 1990	6	0,9
1990	-	-
1991	2	0,3
1992	7	1,0
1993	27	3,9
1994	59	8,6
1995	89	13,0
1996	135	19,7
1997	122	17,8
1998	140	20,4
1999	87	12,7
2000	12	1,7
Gesamt	686	100
nicht ersichtlich	6	

Tab. 4-7: Verteilung Fahrzeug-Baujahre

Unfallgegner	Anzahl	%
Fahrer-Front-Airbag	692	100
Beifahrer-Front-Airbag	559	80,8
Seiten-/Kopf-Airbag	94	13,6
Fondairbag	1	0,1

Tab. 4-8: Airbag-Ausstattung

Seiten-/Kopfairbags befanden sich in insgesamt 94 Fahrzeugen (13,6 %), wobei 19 Mal die Information vorlag, dass das Fahrzeug außer mit Thorax-Airbags zusätzlich mit Kopf-Airbags ausgestattet war.

Lediglich ein einziger Pkw war auch auf den Rücksitzen mit Seiten-/Kopf-Airbags ausgestattet.

4.1.3.5 Aktivierungshäufigkeit

Die Aktivierungshäufigkeit der unterschiedlichen Airbags ist in Tabelle 4-9 dargestellt.

Es zeigen sich unterschiedliche Häufigkeiten zwischen rund 40 % und 75 %.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Möglichkeit einer Aktivierung natürlich abhängig ist von der Art und Häufigkeit der verschiedenen Kollisionstypen, d. h., dass die hier gezeigte Verteilung keine Rückschlüsse auf die Qualität der Airbag-Auslösung zulässt, sie dient lediglich der globalen Beschreibung des vorliegenden Airbag-Materials. In gesonderten Kapiteln wird darauf eingegangen, ob die Auslösungen korrekt waren oder nicht.

4.1.3.6 Beschädigungsgrad

Die Verteilung der Beschädigungsgrade („BG“) für die Airbag-Fahrzeuge (Tabelle 4-10) zeigt, dass sie in vergleichsweise schwere Unfälle verwickelt waren.

Beschädigungsgrad	Anzahl	%
keine Beschädigung	17	3,2
BG 1	16	3,0
BG 2	62	11,6
BG 3	352	66,2
BG 4	75	14,1
BG 5	10	1,9
Gesamt	532	100
nicht ersichtlich	160	

Tab. 4-10: Verteilung der Beschädigungsgrade

	Airbag ausgelöst				Gesamt	
	ja		nein			
Airbag-Ausstattung	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Fahrer-Front-Airbag	519	75,0	173	25,0	692	100
Beifahrer-Front-Airbag	390	69,8	169	30,2	559	100
Seiten-/Kopf-Airbag	63	41,2	90	58,8	153**	100
Fond-Airbag	1	*	1	*	2	*

* wegen geringer Fallzahlen keine Prozentangabe
 ** darüber hinaus lag in einer Reihe weiterer Fälle keine präzise Angabe zur Aktivierung vor

Tab. 4-9: Aktivierungshäufigkeit

So wurden 82,2 % schwer bis total (BG 3–5) beschädigt, leichtere Beschädigungen (BG 1–2) waren dagegen eher selten.

Im Gegensatz dazu wiesen in einem älteren, aber repräsentativen Unfallmaterial (HUK-Verband, 1994) nur 38 % der Pkw schwere Beschädigungen BG 3–5 auf. Beispiele für die Einstufung in unterschiedliche Beschädigungsgrade sind in Anhang 4-1 angegeben.

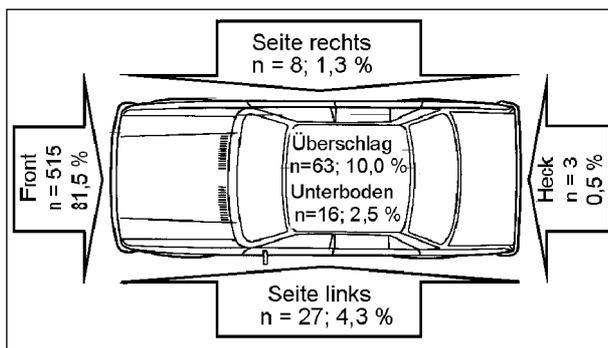


Bild 4-1: Beschädigungsflächen

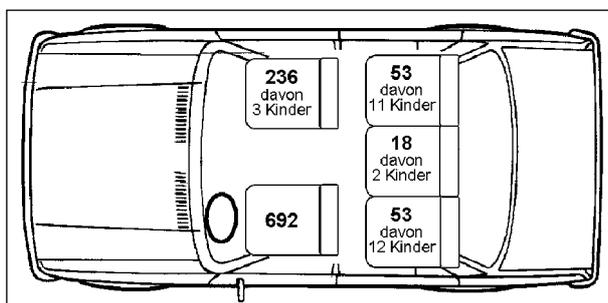


Bild 4-2: Besetzungshäufigkeit

	unge-sichert	gesichert	Sicherungs- quote	Gesamt	Sicherung n. e.
Sitzposition	Anzahl	Anzahl	%	Anzahl (100 %)	Anzahl
Fahrer	18	454	96,2	472	220
Beifahrer	6	183	96,8	189	44
Fondinsasse	1	61	96,8	62	37

n. e. = nicht ersichtlich

Tab. 4.11: Fahrzeugbesetzung und Sicherungsquoten von Erwachsenen

	ungesichert	Dreipunkt- gurt	Kinderschutz- system	Gesamt
Sitzposition	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
Beifahrer	-	-	3	3
Fond links	-	1	11	12
Fond Mitte	-	-	2	2
Fond rechts	-	-	11	11
Gesamt	-	1	27 (96,4 %)	28 (100 %)

Tab. 4.12: Besetzung der Airbag-Fahrzeuge mit Kindern

Der Beschädigungsgrad ist zwar ein relativ grobes Maß zur Angabe der Unfallschwere, andererseits ist er relativ leicht vom Beschädigungsbild her zu bestimmen und erlaubt zudem den Vergleich mit Großzahluntersuchungen des GDV.

4.1.3.7 Beschädigungsflächen

In 632 von insgesamt 692 Fällen war es möglich, anhand der vorliegenden Unterlagen die Hauptbeschädigungsflächen anzugeben (Bild 4-1).

Am häufigsten wurde mit 81,5 % die Fahrzeugfront getroffen, in 5,6 % die rechte oder linke Seite des Airbag-Fahrzeugs und in 0,5 % das Fahrzeugheck.

Eine Beschädigung des Unterbodens lag in insgesamt 16 Fällen (2,5 %) vor; Überschlagunfälle mit Beschädigung mehrerer Fahrzeugflächen wiesen mit 63 Fällen eine Häufigkeit von 10 % auf.

4.1.4 Insassen der Airbag-Fahrzeuge

4.1.4.1 Besetzungshäufigkeit

Neben den 692 Fahrern befanden sich 236 Beifahrer (davon 3 Kinder) und 124 Rücksitzinsassen (davon 25 Kinder) in den Airbag-Fahrzeugen (Bild 4-2).

Die Sitze hinten links und hinten rechts waren zu gleichen Anteilen mit jeweils 53 Personen besetzt, auch die Kinder verteilten sich in etwa gleicher Anzahl auf die linke (N = 12) und rechte (N = 11) Sitzposition.

4.1.4.2 Sicherungsquoten

Die Sicherungsquoten bei den Frontinsassen (Tabelle 4-11) waren mit 96 bis 97 % sehr hoch und lagen minimal über den Werten, die von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) für das Jahr 2000 (HAAS & EVERS, 2001) erhoben wurden (Fahrer: 94 %; Beifahrer: 95 %).

Die immer wieder geäußerte Befürchtung, dass in Airbag-Fahrzeugen ein Trend zu nachlässiger Sicherungsmoral eintreten könne, lässt sich anhand der hier festgestellten Sicherungsquoten somit nicht belegen. Auf den Rücksitzen lag die Gurtquote mit knapp 97 % genauso hoch wie jene für den Beifahrer und war damit 15 Prozentpunkte höher als die von der BASt beobachtete Sicherungsquote im Fond von Pkw (82 %).

Im vorliegenden Airbag-Material befanden sich auch 28 Kinder im Alter bis zu 11 Jahren (Tabelle 4-12), drei Kinder davon fuhren auf dem Beifahrer-

platz mit. Alle Kinder waren gesichert und mit Ausnahme eines einzigen Kindes – das nur mit dem Dreipunktgurt gesichert war – befanden sich alle in einem speziellen Kinderschutzsystem.

4.1.4.3 Verletzungsschwere

Für die in Tabelle 4-13 aufgeführten Insassen (519 der 692 Fälle) lag eine objektive Beschreibung der

erlittenen Verletzungen vor (z. B. in Form eines Arztberichts), so dass die Verletzungsschwere nach „AIS“ (AAAM, 1990) bewertet werden konnte.

Insgesamt 15 der Insassen im Airbag-Fahrzeug starben an den erlittenen Verletzungen, davon 7 Fahrer, 7 Beifahrer und ein Rücksitzinsasse. Eine Kurzbeschreibung der entsprechenden Fälle ist in Tabelle 4-14 zu finden.

Verletzungsschwere	Fahrer		Beifahrer		Fondinsasse	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
MAIS 0	74	14,3	26	13,1	37	40,6
MAIS 1	298	57,4	110	55,6	33	36,3
MAIS 2	98	18,9	48	24,2	18	19,8
MAIS 3	31	5,9	8	4,1	2	2,2
MAIS 4	10	1,9	1	0,5	-	-
MAIS 5	3	0,6	3	1,5	-	-
MAIS 6	5	1,0	2	1,0	1	1,1
Gesamt	519	100	198	100	91	100
MAIS 3+	49	9,4	14	7,1	3	3,3

Tab. 4-13: Verletzungsschwere nach MAIS

Fall-Kurzbeschreibung Fahrer	
FS096	Fahrerin † (69 J.) angeschnallt, Frontalkollision gegen Hauswand Fahrer-/Beifahrer-Airbag ausgelöst, Beifahrer † angeschnallt Grenzen der Airbag-Schutzwirkung
FS064	Fahrerin † (Alkohol 1,6 Promille) angeschnallt, Airbag ausgelöst, Unfallgegner Pkw 270°-Kollision mit Überschlag nach rechts um die Längsachse
FS062	Fahrer † nicht angeschnallt, Unfallgegner Baum Seite rechts A-Säule, Fahrer-Airbag ausgelöst
574	Fahrer † nicht angeschnallt, Unfallgegner Baum frontal, Fahrer-Airbag nicht ausgelöst trotz extremer Unfallschere, Beifahrerin (ohne Beifahrer-Airbag) nur leicht verletzt MAIS 1
069	Fahrer † angeschnallt, mehrfacher Überschlag, Fahrer-/Beifahrer-/Seitenairbags nicht ausgelöst
495	Fahrer † angeschnallt, Frontalkollision 50 % Überdeckung, starke Intrusionen links, Beifahrerin angeschnallt leicht verletzt, beide Airbags ausgelöst, Grenzen der Airbag-Schutzwirkung
384	Fahrer † Überschlag (Front- und Dachbereich, Fahrer-Airbag nicht ausgelöst Beifahrerin (kein Beifahrer-Airbag) schwerste Kopfverletzungen
Fall-Kurzbeschreibung Beifahrer	
525	Beifahrer †, Lkw-Teilunterfahung rechts, keine Airbagauslösung (siehe auch getöteter Insasse † hinten rechts)
FS076	Beifahrer † (88 J., Rippenserienfraktur) angeschnallt, Frontalkollision gegen Pkw, Fahrer (MAIS 1) angeschnallt, Fahrer-/Beifahrer-Airbag ausgelöst
FS096	Beifahrer † (90 J.) angeschnallt, Frontalkollision gegen Hauswand Fahrer-/Beifahrer-Airbag ausgelöst, Fahrer † angeschnallt, Grenzen der Airbag-Schutzwirkung
221	Beifahrerin † (80 J., HWS-Bruch) angeschnallt, Unfallgegner Pkw, Fahrer (MAIS 3) und Insasse (MAIS 1) hinten rechts angeschnallt, Fahrer-/Beifahrer-Airbag ausgelöst
640	Beifahrer † nicht angeschnallt, Unfallgegner Baum mit Intrusion beim Überschlag etwa in Dachmitte, Fahrer angeschnallt (MAIS 3), Fahrer-/Beifahrer-Airbag nicht ausgelöst
137	Beifahrer † (fast keine Angaben), Fahrer angeblich unverletzt
357	Beifahrer † (85 J., Genick-Bruch), Fahrer (87 J., MAIS 2) beide angeschnallt, 60°-Kollision gegen Geldtransporter, Fahrer-/Beifahrer-Airbag ausgelöst, keine Seitenairbags vorhanden
Fall-Kurzbeschreibung Insasse hinten rechts	
525	Insasse † hinten rechts nicht angeschnallt, Lkw-Teilunterfahung rechts, Türe aufgerissen, Insasse herausgeschleudert, zwischen Lkw und Fzg. zerquetscht (s. o. getöteter nicht angeschnallter Beifahrer †)

Tab. 4-14: Fall-Kurzbeschreibung getötete Insassen

Anzumerken ist hier, dass nicht nur Insassen mit der Verletzungsschwere MAIS 6, sondern auch Insassen mit der Verletzungsschwere MAIS 3 bzw. MAIS 4/5 ihren Verletzungen erlagen.

Die wesentlichen Faktoren, die in enger Verbindung mit der Tatsache stehen, dass die genannten Insassen getötet wurden, sind folgende:

- Lkw-Unterfahmung,
- Überschlag,
- hohes Alter,
- nicht gesichert,
- hohe Unfallschwere (mit starker Intrusion der Fahrgastzelle).

In den Kapiteln 4.2 bis 4.4 wird auf diese Fälle, vor allem im Zusammenhang mit der Frage der Aktivierung bzw. der Nichtaktivierung des (der) Airbags näher eingegangen.

4.2 Front-Airbag-Unfälle

4.2.1 Maximale Verletzungsschwere von Fahrer und Beifahrer bei Nicht-Aktivierung der Airbags

Im Airbag-Material lagen insgesamt 102 Unfälle vor, bei denen der Fahrer-Airbag nicht aktiviert wurde, und 41 Unfälle mit Nichtauslösen des Beifahrer-Airbags.

In allen Fällen waren sowohl der Fahrer als auch der Beifahrer gesichert. Knapp 70 % der Fahrer und Beifahrer blieben unverletzt oder erlitten nur leichte Verletzungen MAIS 1 (Tabelle 4-15). Kritische und lebensbedrohliche sowie tödliche Verletzungen (MAIS 4–6) traten beim Beifahrer überhaupt nicht auf, beim Fahrer wurden in 3 Fällen Verletzungen MAIS 5/6 festgestellt.

In beiden Fällen mit tödlichen Verletzungen des Fahrers handelte es sich um einen Überschlag, wobei einmal ein seitlicher Kopfaufprall des Fahrers auf der Fahrbahn erfolgte und beim zweiten Fall das Dach von oben her total eingedrückt wurde, sodass kein Überlebensraum für den Fahrer mehr gegeben war.

Für den einen Fall mit einer kritischen Verletzung (MAIS 5) beim Fahrer liegt zwar eine exakte Verletzungsbeschreibung vor, doch existieren keine gesicherten Informationen zum Unfallablauf und den Beschädigungen des Fahrzeugs, sodass das

Verletzungsschwere	Fahrer		Beifahrer	
	Anz.	%	Anz.	%
MAIS 0	20	19,6	11	26,8
MAIS 1	48	47,0	18	43,9
MAIS 2	24	23,5	10	24,4
MAIS 3	7	6,9	2	4,9
MAIS 4	-	-	-	-
MAIS 5	1	1,0	-	-
MAIS 6	2	2,0	-	-
Gesamt	102	100	41	100

Tab. 4.15: Verletzungsschwere MAIS ohne Airbag-Auslösung

Nichtauslösen des Airbags nicht kommentiert werden kann.

In den Fällen mit Verletzungen MAIS 3 beim Fahrer oder Beifahrer lagen entweder ein Überschlag oder eine extreme Lkw-Unterfahmung vor, bei denen der Airbag nicht auslösen konnte, des Weiteren wurden bei relativ leichten Frontalkollisionen, bei denen die Auslöseschwelle gerade noch nicht erreicht war, Brustkorbverletzungen AIS 3 (verursacht durch die Rückhaltewirkung des Gurtes) beobachtet.

Es ist zu bezweifeln, dass durch eine Aktivierung des Airbags diese Brustkorbverletzungen vermieden werden könnten, da auch bei ausgelöstem Airbag ein hoher Anteil von schweren Thoraxverletzungen für beide Frontinsassen festzustellen ist.

In insgesamt zwei der hier betrachteten Fälle mit MAIS-Werten ≥ 3 hätte jedoch der Airbag auf jeden Fall aktiviert werden müssen.

Bereinigt man die Zahlen in Tabelle 4-15 um jene Fälle, bei denen der Front-Airbag nicht auslösen kann bzw. nicht aktiviert werden muss (seitlicher Anstoß, Heckanstoß, Überschlag, MAIS 0/1, Beschädigungsgrad 1/2), so verbleiben beim Fahrer 11 „Problemfälle“, in denen der Airbag hätte auslösen müssen, beim Beifahrer ergeben sich 5 entsprechende Fälle. Diese sind in Kapitel 4.4.2 aufgeführt.

4.2.2 Verletzungen des gesicherten Fahrers

4.2.2.1 Maximale Verletzungsschwere des Fahrers bei ausgelöstem Front-Airbag

Die maximale Verletzungsschwere des gesicherten Fahrers bei ausgelöstem Front-Airbag (N = 330, incl. der 2 „nicht ersichtlich Fälle“) zeigt Tabelle 4-16. In mehr als 70 % der Unfälle erlitten die Fahrer maximal AIS-1-Verletzungen, schwere bis tödliche Verletzungen (MAIS 3+) waren nur in 9,7 %

aller Fälle zu beobachten. In Anhang 4-2 ist beispielhaft eine schwere Frontalkollision gegen einen Baum aufgeführt, bei der der Fahrer nur leichte Verletzungen erlitt.

Erst in Fällen mit extrem hoher Unfallschwere und sehr starker Einschränkung des Insassenraums ist die zusätzliche Schutzwirkung des Fahrer-Airbags erschöpft und es können trotz Airbags auch tödliche Verletzungen auftreten (Bild 4-3).

Doch selbst Fälle mit massiver Zerstörung des Insassenraums können mit vergleichsweise geringer Verletzungsschwere überstanden werden (Bild 4-4).

Verletzungsschwere	Anzahl	%
MAIS 0	41	12,5
MAIS 1	193	58,9
MAIS 2	62	18,9
MAIS 3	20	6,1
MAIS 4	9	2,7
MAIS 5	2	0,6
MAIS 6	1	0,3
Gesamt	328	100
nicht ersichtlich	2	

Tab. 4-16: Maximale Verletzungsschwere (MAIS) des gesicherten Fahrers; Front-Airbag aktiviert



Fall 495

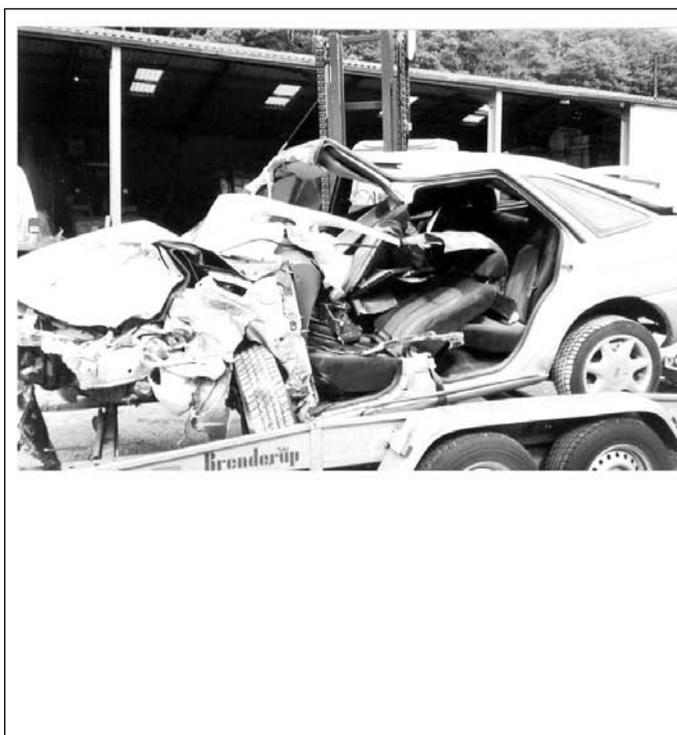
Schwere Pkw/Pkw-Frontalkollision mit ca. 90-prozentiger Überdeckung

Beide Front-Airbags ausgelöst

Fahrer, 22 Jahre, angegurtet

Der eingeklemmte Fahrer erlag noch an der Unfallstelle seinen Verletzungen

Bild 4-3: Grenzen der Airbag-Schutzwirkung (Fallbeispiel)



Fall 215

Schwere Pkw/Pkw-Frontalkollision mit ca. 70-prozentiger Überdeckung

Beide Front-Airbags ausgelöst

Fahrerin, 22 Jahre, angegurtet

Größe: 172 cm; Gewicht: 82 kg

Verletzungen

MAIS 3

- HWS-Trauma
- Lungenquetschung (AIS 3)
- Thoraxprellung
- Unterarmfraktur links (AIS 2)
- Oberschenkelfraktur links (AIS 3)
- Fußfraktur links (AIS 2)
- Gehörschaden temporär
- multiple Prellungen

Bild 4-4: Grenzen der Airbag-Schutzwirkung (Fallbeispiel)

4.2.2.2 Airbag-Schutzwirkung für den Fahrer bei schweren Frontalkollisionen

In Bild 4-5 ist die Auftretenshäufigkeit der Verletzungsschwere MAIS 3+ für nur gurtgesicherte Fahrer (FS-90-Material, HUK-Verband, 1994) sowie für Fahrer, die durch Gurt und Front-Airbag geschützt waren, gegenübergestellt.

Es wurden hier nur Unfälle mit relativ hoher Unfallschwere (BG 3 und BG 4) berücksichtigt, sowohl leichtere Kollisionen (BG 2) als auch „Katastrophenfälle“ (BG 5) wurden ausgenommen.

Der Zahlenvergleich macht deutlich, dass bei schweren Frontalkollisionen durch den Airbag schwere bis tödliche Verletzungen von 11,9 % auf 9,4 % um mehr als 20 % reduziert werden.

Bei diesem Vergleich ist zu berücksichtigen, dass die modernen Airbag-Fahrzeuge im hier betrachteten Unfallmaterial steifere Frontstrukturen aufweisen als die Fahrzeuge in der FS-90-Studie (im Wesentlichen Fahrzeuge aus den 80er-Jahren).

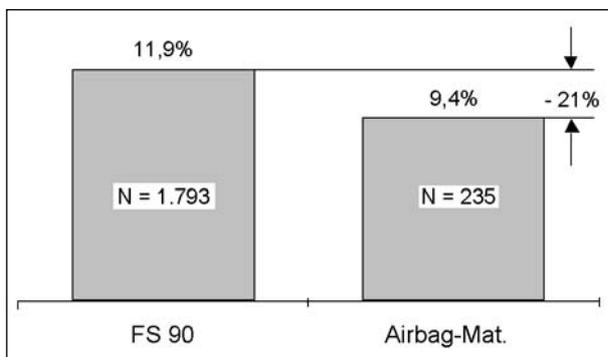


Bild 4-5: Häufigkeit schwerer Verletzungen MAIS 3+; Fahrer gesichert; BG 3+4

Dies bedeutet, dass bei gleichem Beschädigungsumfang die EES (und somit die Unfallschwere) für das Airbag-Fahrzeug höher gelegen haben muss.

Der Vergleich in Bild 4-5 ist demnach tendenziell zu Ungunsten des Airbag-Materials angestellt und dennoch zeigt sich im Bereich der schweren bis tödlichen Verletzungen ein deutlicher Sicherheitsgewinn für den durch Gurt plus Front-Airbag geschützten Fahrer.

4.2.2.3 Verletzungsmuster des gesicherten und airbaggeschützten Fahrers

Für die in Tabelle 4-16 aufgeführten gesicherten und airbaggeschützten Fahrer ist die Häufigkeit und Schwere der Verletzungen an den einzelnen Körperteilen in Tabelle 4-17 angegeben.

AIS-2+-Verletzungen waren mit 13,0 % am häufigsten an den unteren Extremitäten festzustellen, gefolgt von den Thorax-Verletzungen mit 12,7 %; erst an dritter Stelle stehen die Kopfverletzungen mit 8,5 %.

Die bereits in früheren Studien (LANGWIEDER, HUMMEL et al., 1997) festgestellte Verschiebung der Verletzungsschwerpunkte durch den Airbag – d. h. im Wesentlichen Reduzierung der Häufigkeit schwerer Kopfverletzungen gegenüber dem nur gurtgesicherten Fahrer – zeigt sich auch ganz klar im vorliegenden Unfallmaterial.

Nach wie vor nicht zufrieden stellend ist der relativ hohe Anteil von Brustkorbverletzungen.

Inwieweit durch optimierte Systeme hier noch eine Verbesserung zu erzielen wäre, müsste durch detaillierte Einzeluntersuchungen der entsprechenden Fälle geklärt werden.

	Einzelverletzungen Fahrer (N = 330)											
	AIS 1		AIS 2		AIS 3		AIS 4		AIS 5		AIS 6	
	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%
Kopf	13	3,9	24	7,3	1	0,3	2	0,6	1	0,3	-	-
Gesicht	90	27,3	1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
HWS/Hals	115	34,8	2	0,6	2	0,6	1	0,3	-	-	1	0,3
Thorax	94	28,5	23	7,0	14	4,2	4	1,2	1	0,3	-	-
Abdomen/Becken intern	16	4,8	12	3,6	2	0,6	4	1,2	-	-	-	-
Beckenknochen	8	2,4	5	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Oberarm	39	11,8	10	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Unterarm/Ellbogen	38	11,5	9	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Hand	52	15,8	6	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-
untere Extremitäten	92	27,8	35	10,6	8	2,4	-	-	-	-	-	-
äußerlich	49	14,8	1	0,3	1	0,3	-	-	-	-	-	-

Tab. 4-17: Fahrer; Häufigkeit und Schwere der Einzelverletzungen

Die in insgesamt 43 Fällen festgestellten Frakturen an den unteren Extremitäten belegen, dass auch im Fuß-/Beinraum noch Optimierungsbedarf gegeben ist.

Nach der international üblichen AIS-Skala, die den Grad der Lebensbedrohung angibt, wird beispielsweise eine Sprunggelenksfraktur zwar „nur“ als mäßige Verletzung (AIS 2) eingestuft, die Verletzungsfolgekosten können jedoch aufgrund der häufig auftretenden Dauerfolgen annähernd 100.000,- DM betragen (GDV, 1998).

Die Verringerung von Beinverletzungen ist somit eine wesentliche Aufgabe der Zukunft, nachdem durch Gurt und Airbag eine deutliche Verringerung der Kopfverletzungen erreicht wurde.

4.2.3 Verletzungen des gesicherten Beifahrers

4.2.3.1 Maximale Verletzungsschwere des Beifahrers bei ausgelöstem Front-Airbag

Im vorliegenden Unfallmaterial befanden sich insgesamt 121 gesicherte Beifahrer, bei denen der Front-Airbag aktiviert wurde; die Verteilung der maximalen Verletzungsschwere (MAIS) ist in Tabelle 4-18 wiedergegeben.

Knapp 70 % der Beifahrer blieben unverletzt oder erlitten lediglich leichte Verletzungen, MAIS-2+

Verletzungsschwere	Anzahl	%
MAIS 0	8	6,6
MAIS 1	76	62,8
MAIS 2	30	24,8
MAIS 3	4	3,3
MAIS 4	1	0,8
MAIS 5	2	1,7
MAIS 6	-	-
Gesamt	121	100

Tab. 4-18: Maximale Verletzungsschwere (MAIS) des gesicherten Beifahrers, Front-Airbag aktiviert

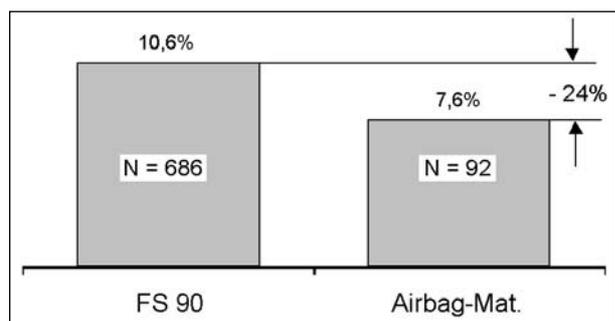


Bild 4-6: Häufigkeit schwerer Verletzungen MAIS 3+; Beifahrer gesichert; BG 3+4

-Verletzungen lagen in 30,6 % der Fälle vor, lebensbedrohliche/kritische Verletzungen (MAIS 4/5) besaßen einen Anteil von 2,5 %.

Wie auch beim Fahrer festgestellt, traten die kritischen Verletzungen erst bei sehr hoher Unfall-schwere bzw. sehr „unglücklichen“ Unfallumständen auf.

4.2.3.2 Airbag-Schutzwirkung für den Beifahrer bei schweren Frontalkollisionen

Stellt man den selben Vergleich wie in Kapitel 4.2.2.2 für den Fahrer beschrieben für den Beifahrer an, so ergeben sich die in Bild 4-6 dargestellten Resultate: Durch den Front-Airbag für den Beifahrer werden Verletzungen MAIS 3+ von 10,6 % auf 7,6 % vermindert – dies ist eine Reduzierung um 24 % im Bereich der schweren Frontalkollisionen (BG 3 und BG 4).

4.2.3.3 Verletzungsmuster des gesicherten und airbaggeschützten Beifahrers

Die Einzelverletzungen der 121 gesicherten Beifahrer an den verschiedenen Körperteilen sind in Tabelle 4-19 dargestellt. Am häufigsten sind Brustkorbverletzungen festzustellen, sowohl unter Einbeziehung aller Verletzungsschweregrade (AIS 1+) als auch bei Betrachtung der AIS-2+ oder auch AIS-3+-Verletzungen.

Stellt man auf die Verletzungsschweregrade AIS 2+ ab, so werden die Brustkorbverletzungen (14,0 %) gefolgt von Verletzungen an den unteren Extremitäten (10,8 %) und erst an dritter Stelle erscheinen die Kopfverletzungen mit 5,8 %.

Wie beim Fahrer, so müssen sich auch beim Beifahrer die Bemühungen um eine Reduzierung schwerer Verletzungen primär konzentrieren auf die relativ häufigen und auch schweren Brustkorbverletzungen sowie die Verletzungen an den Beinen.

4.2.4 Vergleich der Verletzungsschwere von Fahrer und Beifahrer

LANGWIEDER, HUMMEL et al. (1997) zeigten, dass der gesicherte und airbaggeschützte Beifahrer in Frontalkollisionen häufiger schwere bis tödliche Verletzungen (MAIS 3–6) erleidet als der ebenso geschützte Fahrer; dabei wurden ausschließlich jene Unfälle betrachtet, in denen tatsächlich beide Frontsitzplätze belegt waren.

	Einzelverletzungen Beifahrer (N = 121)											
	AIS 1		AIS 2		AIS 3		AIS 4		AIS 5		AIS 6	
	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%
Kopf	3	2,5	7	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Gesicht	40	33,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HWS/Hals	32	26,4	-	-	-	-	-	-	2	1,7	-	-
Thorax	48	39,7	13	10,7	3	2,5	1	0,8	-	-	-	-
Abdomen/Becken intern	10	8,3	4	3,3	1	0,8	-	-	-	-	-	-
Beckenknochen	5	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oberarm	8	6,6	4	3,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Unterarm/Ellbogen	4	3,3	3	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Hand	19	15,7	2	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-
untere Extremitäten	21	17,4	11	9,1	2	1,7	-	-	-	-	-	-
äußerlich	16	13,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 4-19: Beifahrer; Häufigkeit und Schwere der Einzelverletzungen

Verletzungsschwere	Fahrer		Beifahrer	
	Anz.	%	Anz.	%
MAIS 0	17	15,5	7	6,4
MAIS 1	70	63,6	69	62,7
MAIS 2	16	14,6	27	24,6
MAIS 3	5	4,5	4	3,6
MAIS 4	2	1,8	1	0,9
MAIS 5	-	-	2	1,8
MAIS 6	-	-	-	-
Gesamt	110	100	110	100

Tab. 4-20: Vergleich Verletzungsschwere Fahrer-Beifahrer; Front-Airbag aktiviert

Ein entsprechender Vergleich anhand des hier vorliegenden „neuen“ Airbag-Materials liefert das in Tabelle 4-20 dargestellte Ergebnis.

Zwar bleibt der Beifahrer seltener unverletzt und erleidet auch häufiger Verletzungen MAIS 2, doch sind sowohl für den Fahrer als auch den Beifahrer Verletzungen MAIS 3–6 mit der gleichen Häufigkeit von 6,3 % zu beobachten. Im „alten“ Unfallmaterial (beschrieben in LANGWIEDER, HUMMEL et al., 1997) lag der Anteil MAIS 3–6 für den Beifahrer noch bei 22 %.

Im Bereich der schweren bis tödlichen Verletzungen (MAIS 3–6) ist somit in modernen Fahrzeugen (wie im vorliegenden Unfallmaterial) ein eindeutiger Trend hin zu einer höheren Schutzwirkung des Beifahrer-Airbags im Vergleich zu älteren Airbag-Fahrzeugen festzustellen.

4.2.5 Verletzungsrisiken für Brillenträger und Raucher bei Airbag-Auslösung

Von insgesamt 928 Frontinsassen im vorliegenden Airbag-Material trugen 164 beim Unfallereignis mit

Besondere Umstände	Anzahl	Verletzungen
Brille getragen	164	2 (leicht)
Pfeife geraucht	-	-
Zigarette geraucht	4	-
Gegenstände vor sich aufbewahrt	9	-
telefoniert	-	-

Tab. 4-21: Verletzungsrisiken für Brillenträger und Raucher bei Airbag-Auslösung

Airbag-Aktivierung eine Brille, 4 Frontinsassen rauchten eine Zigarette und 9 Personen hatten einen Gegenstand vor sich aufbewahrt (Tabelle 4-21).

Mit Ausnahme von zwei Brillenträgern (1 Fahrer und 1 Beifahrer), die leicht verletzt wurden, erlitten alle hier betrachteten Insassen keine Verletzungen durch den Airbag.

4.3 Seiten-/Kopfairbag-Unfälle

Wie in Kapitel 4.1.3.4 „Ausstattung der Fahrzeuge mit Airbags“ beschrieben, lag zwar in 94 Fällen die Info vor, dass das Fahrzeug mit einem Seiten-Airbag ausgestattet war, doch kam es nur in 63 Fällen zu einer Aktivierung.

In allen anderen Fällen handelte es sich nicht um Seitenkollisionen, sondern um Frontalkollisionen, Überschläge sowie Unterfahrungen oder um Fehlauslösungen; diese Fehlauslösungen und sonstige Problemfälle sind in Kapitel 4.4 beschrieben.

Lediglich in 19 Fällen mit aktiviertem Seiten-Airbag lag eine detaillierte Verletzungsbeschreibung (damit die Möglichkeit der AIS-Bewertung) sowie eine definitive Information darüber vor, auf welcher Seite (Fahrer- oder Beifahrer-Seite) der Airbag aus-

Verletzungsschwere	Anzahl
MAIS 0	7
MAIS 1	10
MAIS 2	2
Gesamt	19

Tab. 4-22: Maximale Verletzungsschwere MAIS Fahrer; Seitenairbag aktiviert

gelöst wurde und ob es sich um einen Seiten- und/oder Kopf-Airbag handelte.

In all diesen 19 Fällen mit Auslösung des Seiten-Airbags wurde die linke Fahrzeugseite getroffen, die Verteilung der maximalen Verletzungsschwere des Fahrers, der sich somit auf der stoßzugewandten Seite befand, ist in Tabelle 4-22 wieder-gegeben.

Insgesamt blieb der Fahrer sieben Mal unverletzt, zehn Fahrer erlitten nur leichte Verletzungen und bei zwei Fahrern wurden mäßig schwere Verletzungen (MAIS 2) festgestellt.

In einem dieser beiden Fälle erlitt der Fahrer, der mit seinem Fahrzeug im Bereich der A-Säule gegen einen Baum prallte, eine Gehirnerschütterung (AIS 2) – ein Kopf-Airbag war nicht vorhanden – sowie eine Oberschenkelprellung (AIS 1) und eine Schnittwunde am linken Ellenbogen (AIS 1).

Im zweiten Fall prallte das Fahrzeug auf Höhe der Fahrertür und B-Säule gegen zwei Betonpoller (Intrusion ca. 40 cm).

Trotz der Aktivierung des Thoraxbags (ein Kopf-Airbag war nicht vorhanden) wurden neben mehreren AIS-1-Verletzungen die folgenden AIS-2-Verletzungen beim Fahrer festgestellt: Gehirnerschütterung, drei gebrochene Rippen und eine Milzprellung.

Diese Verletzungen sind damit zu erklären, dass zum einen das Schutzpotenzial des Thoraxbags annähernd ausgeschöpft war und zum anderen zwei Anstöße zeitlich versetzt erfolgten, der Bag aber nur bei einem Anstoß seine Schutzwirkung entfalten kann.

Aufgrund der vergleichsweise geringen Fallzahlen lassen sich derzeit noch nicht allgemein gültige Schlüsse über die Schutzwirkung von Seiten-/Kopfairbags ziehen, die bisherigen Erfahrungen mit Seiten-/Kopfairbags im realen Unfallgeschehen lassen sich jedoch als durchweg positiv bezeichnen.

4.4 Beschreibung und Diskussion der „Problemfälle“

Im Vorfeld der vertieften Auswertung wurde das gesamte Untersuchungsmaterial durch eine Vortrierung bezüglich der Airbagauslösung in die Klassifizierungsblöcke „korrektes Airbagverhalten“, „problematisches Unfallgeschehen“ und „Airbag-Problemfälle“ eingeteilt. Eine weiter gehende Differenzierung erfolgte nach folgenden Gesichtspunkten:

Fälle mit korrektem Airbagverhalten

- Airbag-Auslösung (korrekt) bei hoher Unfallschwere, wenn offensichtlich eine Zusatzschutzfunktion zum Gurt durch den Airbag gegeben war (z. B. Schutz vor Kopf- bzw. Brustkorbanprall auf das Lenkrad).
- Airbag-Nichtauslösung (korrekt) bei niedriger Unfallschwere, wenn offensichtlich eine Zusatzschutzfunktion durch den Airbag nicht nötig war (z. B. nur leichte Verletzungen durch die Rückhaltewirkung des Sicherheitsgurtes).

problematisches Unfallgeschehen

- Unfälle mit Unterfahung (Pkw-Längsträger wird nicht getroffen).
- Unfälle mit Fahrzeugüberschlag (bisherige Airbagtechnik weist keine Überschlag-Erkennung auf).

Airbag-Problemfälle

- Airbag-Auslösung im Stand.
- Airbag-Auslösung während der Fahrt (ohne äußere Krafteinwirkung).
- Airbag-Auslösung während der Fahrt (ohne Kollision, aber mit äußerer Krafteinwirkung); z. B. durch einen Schlag gegen den Unterboden.
- Airbag-Auslösung bei geringer Unfallschwere; zusätzliche Schutzfunktion durch den Airbag nicht erforderlich, da Verletzungsrisiko sehr gering.
- Airbag-Nichtauslösung bei hoher Unfallschwere mit entsprechendem Verletzungsrisiko für die gesicherten Insassen (z. B. schwere Verletzungen durch Lenkradkontakt trotz Sicherheitsgurt) – ohne Unfälle mit Unterfahung und Überschlag.
- Fälle mit Airbagaggressivität (z. B. Brandverletzungen, Gehörschäden, Augenverletzungen,

Verletzungen durch Airbag-Abdeckung sowie schwere Prellungen/Schürfungen bei geringer Unfallschwere im Bereich der Auslöseschwelle). Diese Problematik wurde bei sämtlichen Fällen mit Airbagauslösung geprüft, also auch bei den Fällen, bei denen der Airbag korrekt aktiviert wurde.

Sämtliche in der Vorsortierung als „Problemfälle“ eingestuft Sachverhalte wurden den Fahrzeug-Herstellern anonymisiert, aber mit Angabe der Fahrgestell-Nummer, zur Stellungnahme übermittelt. Tabelle 4-23 zeigt, um welche Problemfälle es sich dabei handelte.

In Anhang 6-1 sind zu diesen Fällen neben einer Kurzbeschreibung auch die jeweilige Stellungnahme des Fahrzeugherstellers mit Angaben zu Fahrzeugtyp und Baujahr aufgeführt.

Die meisten Hersteller und Importeure gaben, soweit die Unterlagen es zuließen, eine detaillierte Stellungnahme zum jeweiligen Fall ab.

Nur wenige Hersteller wie z. B. Renault und Fiat teilten pauschal mit, dass anhand der übersandten Unterlagen eine Stellungnahme nicht möglich sei, da die Informationsdichte über den genauen Sachverhalt zu gering sei.

Nach Prüfung der Stellungnahmen sowie Auswertung sämtlicher Unfallunterlagen wurde für die endgültige Fall-Klassifizierung nur das Material mit ausreichender Dokumentation weiterverarbeitet.

Tabelle 4-24 zeigt die Verteilung des Untersuchungsmaterials bezüglich korrektem Airbagverhalten und Airbag-Problemfällen.

Anfragen an Hersteller	Stand-auslösung	Auslösung während der Fahrt		Auslösung bei geringer Unfallschwere	Nicht-Auslösung bei hoher Unfallschwere	Aggressivität bei korrekter Auslösung	Summe
		ohne äußere Krafteinwirkung	mit äußerer Krafteinwirkung				
Audi			4	1	1		6
BMW			2	1			3
Fiat				1	1		2
Ford		4	1	2	1		8
Honda					1	1	2
Mercedes	4	1	1		4		10
Mitsubishi					1	2	3
Opel		2		4	11	1	18
Peugeot		2					2
Renault	3	2		2	5	2	14
Seat						1	1
Suzuki						1	1
Volvo		1		4	1		6
VW		1	2	3	5	3	14
	7	13	10	18			
		48 (davon 12 Fälle von Aggressivität)			31	11	90

Tab. 4-23: Den Herstellern mitgeteilte Problemfälle

korrektes Airbag-Auslöseverhalten		problematisches Unfallgeschehen (mit/ohne Auslösung)		Problemfälle				
Auslösung bei hoher Unfallschwere	Nicht-Auslösung bei niedriger Unfallschwere	Überschlag	Unterfahrung	Stand-Auslösung	Auslösung während der Fahrt		Auslösung bei geringer Unfallschwere	Nicht-Auslösung bei hoher Unfallschwere
					ohne äußerer Krafteinwirkung	mit äußerer Krafteinwirkung		
461 *(66)	65	63	25	10	13	9	22	24
				54 *(26)				
526		88		78				
692								
* davon () Fälle mit Aggressivität								

Tab. 4-24: Fall-Klassifizierung: korrektes Airbag-Auslöseverhalten, problematisches Unfallgeschehen und Airbag-Problemfälle

Aus Tabelle 4-24 ist ersichtlich, dass bei den meisten Fällen (N = 461) aufgrund der Unfallschwere die Airbagauslösung korrekt war.

Auffällig ist, dass bei 65 Fällen, bei denen die Airbags wegen der geringen Unfallschwere folgerichtig nicht aktiviert wurden, die Befragten sehr häufig eine Airbagauslösung erwartet hatten.

Dies deutet auf eine falsche Erwartungshaltung beim Verbraucher hin.

Die weiteren Fälle verteilen sich auf die beschriebenen Problembereiche.

Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass es sich bei der Verteilung in Tabelle 4-24 mit einer relativ hohen Anzahl von Problemfällen nicht um ein repräsentatives Abbild des Verkehrs- und/oder Unfallgeschehens handelt.

Vielmehr verdeutlicht diese Tabelle die Struktur der von den Mitgliedern der Automobilclubs gemeldeten Airbagfälle.

Die hier dargestellten Problemfälle müssen bezogen werden auf die Gesamtzahl der Automobilclubmitglieder (Leser der Clubzeitschriften), im Falle des ADAC mehr als 14 Millionen, und es muss auch der Aspekt der erwarteten Unterstützung durch den Club bei Problemen berücksichtigt werden.

D. h. die Bereitschaft vom Mitglied, einen Unfall mit Problemen zu melden ist deutlich größer als einen „normalen“ Unfall bekannt zu geben.

Dies spiegelt sich auch in den vielen Fällen mit korrekter Airbag-Nichtauslösung bei Unfällen mit niedriger Unfallschwere wider, bei denen die Erwartungshaltung (Airbagauslösung) beim Verbraucher sehr hoch war.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Problemfälle fallbezogen dargestellt und diskutiert.

4.4.1 Fehlauslösungen und Auslösungen bei geringer Unfallschwere

4.4.1.1 Airbag-Auslösung im Stand

Unter den „Problemfällen“ existieren 10 Fälle, bei denen im stehenden Fahrzeug (ohne äußere Kraftwirkung) insgesamt 13 Front- und zwei Seiten-Airbags auslösten.

In Tabelle 4-25 sind sowohl die Umstände als auch die Verletzungen der betreffenden Insassen angegeben.

Interessantes Detail in drei der aufgeführten Fälle ist die Tatsache, dass die Front-Airbags erst mit erheblicher zeitlicher Verzögerung (15 bis 20 Minuten) nach einem leichten frontalen oder seitlichen Anstoß aktiviert wurden.

Die Zwischenfälle verliefen für keinen Fahrer oder Beifahrer ohne Verletzungen, doch wurden die meisten nur leicht verletzt.

In einem Fall (Renault, Fall-Nr. 547) waren die Verletzungen jedoch so schwer, dass die betroffene

Fall	Kurzbeschreibung
579	Mercedes A 160, Baujahr 1999; Auslösung von Fahrer- und Seitenairbag im geparkten und verschlossenen Fahrzeug
580	Mercedes A-Klasse; Fahrer-Airbag im geparkten und verschlossenen Fahrzeug ausgelöst; vorausgegangene Elektronik-Probleme an Tacho und Gebläse
748	Mercedes C 220, Baujahr 2000; Beifahrer-Seitenairbag beim Starten des Fahrzeuges ausgelöst. Verletzungen Beifahrerin: Tinnitus temporär, Schürfwunden u. Hämatom am Unterarm (MAIS 1)
767	Mercedes 110 Vito, Baujahr 1996; Fahrer- und Beifahrer-Airbag im stehenden Fahrzeug bei laufendem Motor ausgelöst. Verletzungen Fahrer: Tinnitus temporär, Schürfwunden (MAIS 1)
038	Renault Laguna, Baujahr 07/1997; Unfall mit Reh; 15 Minuten Standzeit; beim Starten Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst
546	Renault Scenic, Baujahr 02/1997; leichte Seitenkollision mit Motorrad (links); nach 20 Minuten beim Starten Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst. Verletzungen Fahrer: Tinnitus temporär, Handprellung (MAIS 1)
547	Renault Twingo, Baujahr 08/1996; Seitenkollision mit Pkw (rechts); nach 15 Minuten beim Starten Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst. Verletzungen Fahrerin: chronischer Tinnitus, Kinnprellung, Thoraxprellung, Bindehautblutung am Auge, Berufseinschränkung (MAIS 2)
768	Renault Twingo Baujahr 1996; Fahrer- und Beifahrer-Airbag beim Starten ausgelöst
769	Saab 9-5, Baujahr 1999; Fahrer-Airbag beim Starten ausgelöst. Verletzungen Fahrerin: Tinnitus temporär (MAIS 1)
773	VW Golf IV, Baujahr 2000; Fahrer-Airbag im geparkten Fahrzeug ausgelöst; Zündung ausgeschaltet; Fahrerin reinigte Fahrertürfenster (siehe Anhang 4-3). Verletzungen Fahrerin: Tinnitus temporär rechts, Schürfwunden Schulter rechts, Hämatome Unterarm/Ellbogen rechts, Verbrennungen Schulter rechts (MAIS 1)

Tab. 4-25: Airbag-Auslösung im Stand

Person nicht mehr in der Lage war, das in der Vergangenheit geführte Leben in gleicher Weise nach dem Unfall weiterzuführen.

Problematisch bei dieser Art von Fehlauflösung ist die Tatsache, dass die Personen, die sich im oder nahe am Fahrzeug befinden, vollkommen „unvorbereitet“ von der Aktivierung des Airbags überrascht werden und sich somit auch in extrem gefährlichen Positionen befinden können.

Wie ein gerade noch harmlos (im Hinblick auf den AIS-Wert) verlaufender Fall aussehen kann, ist in Anhang 4-3 dargestellt.

4.4.1.2 Airbag-Auslösung während der Fahrt (ohne äußere Krafteinwirkung)

Wie in Tabelle 4-24 aufgeführt, befinden sich im vorliegenden Airbag-Material 13 Fälle, in denen insgesamt 22 Airbags während der Fahrt (ohne äußere Krafteinwirkung) auslösten.

Neben 12 Frontairbags wurden drei Seiten-Airbags auf der Fahrerseite aktiviert, sechs Seiten-Airbags auf der Beifahrerseite und ein Kopfairbag, ebenfalls auf der Beifahrerseite.

Die Fahrgeschwindigkeiten sowie die entsprechenden Fahrzeugtypen und die Verletzungen der Insassen sind in Tabelle 4-26 aufgeführt.

Die in diese Fehlauflösungen involvierten Frontinsassen blieben alle unverletzt oder trugen maximal AIS-1-Verletzungen davon.

Diese beschränkten sich auf Schürfungen, Prellungen und Verbrennungen sowie auf temporären Tinnitus und HWS-Distorsionen.

Trotz der teilweise hohen Fahrgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt der Airbag-Aktivierung verliefen alle hier beschriebenen Fehlauflösungen ohne Kollision, und es waren alle Fahrer in der Lage, ihre Fahrzeuge ohne gravierende Folgeschäden zum Stehen zu bringen.

Fall	Kurzbeschreibung
053	Ford Mondeo Baujahr 1997 Fahrer-Airbag bei 160 km/h auf der Autobahn ausgelöst
227	Ford Mondeo, Baujahr 1997 Beifahrer-Seitenairbag bei 120 km/h auf der Autobahn ausgelöst Verletzungen Fahrer: Tinnitus temporär (MAIS 1)
567	Ford Mondeo, Baujahr 1997 Beifahrer-Seitenairbag bei 30 km/h ausgelöst Verletzungen Beifahrerin: Oberarmprellung (MAIS 1)
570	Ford Focus, Baujahr 1998 Fahrer-Airbag bei 100 km/h auf der Autobahn ausgelöst; ca. 30 Sekunden nach Anhalten lösten Beifahrer-Airbag und Beifahrer-Seitenairbag aus
582	Ford Focus, Baujahr 1998 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst
765	Mercedes E 200 Fahrer-Airbag bei 185 km/h auf der Autobahn ausgelöst Verletzungen Fahrer: Thoraxprellung (MAIS 1)
209	Opel Zafira, Baujahr 1999 Fahrer-Seitenairbag bei 60 km/h ausgelöst
657	Opel Astra, Baujahr 1999 Fahrer- und Beifahrer-Seitenairbag bei 50 km/h ausgelöst Verletzungen Fahrer: HWS-Trauma, Tinnitus kurzzeitig, Verbrennungen am Oberarm (MAIS 1)
598	Peugeot 206, Baujahr nicht ersichtlich Fahrer- und Beifahrer-Airbag sowie beide Seitenairbags ausgelöst
692	Peugeot 206, Baujahr 2000 Fahrer- und Beifahrer-Seitenairbag bei 40 km/h ausgelöst Verletzungen Fahrerin: Tinnitus temporär (MAIS 1)
581	Renault Clio, Baujahr 1999 Fahrer-Airbag bei 40 km/h ausgelöst Verletzungen Fahrerin: HWS-Trauma, Tinnitus temporär, Schürfungen/Hämatome am Unterarm (MAIS 1)
173	VW Passat, Baujahr 1997 Fahrer-Seitenairbag bei 150 km/h auf der Autobahn ausgelöst
772	VW Golf IV, Baujahr 2000 Beifahrer-Kopf- und Beifahrer-Seitenairbag bei 80 km/h ausgelöst

Tab. 4-26: Airbag-Auslösung während der Fahrt, ohne äußere Krafteinwirkung

4.4.1.3 Airbag-Auslösung während der Fahrt (ohne Kollision, mit äußerer Krafteinwirkung)

Neben den in Kapitel 4.4.1.2 beschriebenen Fällen liegen 9 weitere vor, bei denen ebenfalls während der Fahrt eine Airbag-Auslösung stattfand, allerdings mit dem Unterschied, dass eine Krafteinwirkung von außen (z. B. Schlag gegen den Unterboden) gegeben war (Tabelle 4-27); insgesamt 16 Airbags lösten dabei aus:

- Frontairbag Fahrer: 1 Aktivierung,
- Seitenairbag Fahrer: 3 Aktivierungen,
- Kopfairbag Fahrer: 3 Aktivierungen,
- Seitenairbag Beifahrer: 7 Aktivierungen,
- Kopfairbag Beifahrer: 2 Aktivierungen.

Die von den Frontinsassen durch die Airbag-Aktivierung erlittenen Verletzungen beschränken sich auch hier auf Verletzungen AIS 1 wie Schürfungen, Prellungen, Verbrennungen und Gehörschäden, wobei zu beachten ist, dass der „reine“ AIS-Wert

nicht in der Lage ist, bestimmte, für den Betroffenen sehr unangenehme Unfallfolgen zu beschreiben (z. B. einen chronischen Gehörschaden, der jedoch nur mit AIS 1 eingestuft wird).

Ein entsprechender Beispielfall ist in Anhang 4-4 dargestellt.

4.4.1.4 Airbag-Auslösung bei geringer Unfallschwere

Airbag-Auslösungen bei geringer Unfallschwere traten im vorliegenden Unfallmaterial in 22 Fällen auf, insgesamt wurden dabei 39 Airbags aktiviert (Tabelle 4-28). In den Anhängen 4-5 bis 4-8 sind vier typische Beispielfälle aufgeführt.

Im Einzelnen lösten folgende Airbags aus:

- Frontairbag Fahrer: 21 Aktivierungen,
- Frontairbag Beifahrer: 14 Aktivierungen,
- Seitenairbag Fahrer: 3 Aktivierungen,
- Kopfairbag Fahrer: 1 Aktivierung.

Fall	Kurzbeschreibung
014	Audi A4 Avant, Baujahr 1999 Seiten- und Kopf-Airbag von Fahrer und Beifahrer bei 120 km/h auf der Autobahn ausgelöst; leichte Beschädigungen am Fahrzeug-Unterboden im Bereich des Fahrerfußraumes
471	Audi A4, Baujahr 1997 Beifahrer-Seitenairbag bei 40 km/h ausgelöst; Kratz-/Schleifspuren am Hilfsrahmen
470	Audi A6, Baujahr 1998 Beifahrer-Seitenairbag bei 130 km/h auf der Autobahn ausgelöst; kleinste Beschädigungen/Schrammen am Fahrzeug-Unterboden, Bereich Beifahrersitz und -fußraum, Kotflügel-/Radlaufunterkante links leicht umgebogen Verletzungen Beifahrer: Prellung (MAIS 1)
590	BMW 528i, Baujahr 1997 Fahrer-Kopf- und Seitenairbag bei 120 km/h auf der Autobahn ausgelöst; Überfahren eines unbekanntes Gegenstandes; Unterboden mit mehreren Aufschlagstellen
418	BMW 535i, Baujahr 3/1991 Fahrer-Airbag bei 160 km/h auf der Autobahn ausgelöst; verlorenen Auspufftopf überfahren, Schrammen an Stabilisator, Eindellungen an Schweller und Auspuffmitteltopf (siehe Anhang 4-4) Verletzungen Fahrer: nicht näher bezeichneter chronischer Gehörschaden, Schürfungen an Unterarm und Ellbogen (MAIS 1); Verletzungen Beifahrer: Tinnitus temporär (MAIS 1)
571	Ford Mondeo, Baujahr 1997 Beifahrer-Seitenairbag bei 90 km/h ausgelöst; Aufsetzen im Schwellerbereich Verletzungen Fahrer: Finger verstaucht (MAIS 1)
578	Mercedes E 280, Baujahr 02/1999 Kopf- und Seiten-Airbags von Fahrer und Beifahrer auf der Autobahn bei 200 km/h ausgelöst; Überfahung von Kleinteilen auf der Fahrbahn mit Beschädigungen am Fahrzeug-Unterboden und an der Auspuffanlage (Unfall auf der Gegenseite) Verletzungen Beifahrer: Verbrennungen rechte Hand (MAIS 1)
281	VW Golf III, Baujahr 5/1997 Auslösung des Beifahrer-Seitenairbags bei Autobahnfahrt; Delle am Unterboden (6 cm Ø, 1 cm tief); keine Verletzungen
568	VW Golf III, Baujahr 1997 Beifahrer-Seitenairbag bei 40 km/h ausgelöst; 15 cm großes Holzstück überfahren; lokale Schäden am Unterboden Verletzungen Fahrer: Tinnitus temporär (MAIS 1)

Tab. 4-27: Airbag-Auslösung während der Fahrt, ohne Kollision, mit äußerer Krafteinwirkung

Fall	Kurzbeschreibung
472	Audi 100 Fahrer-Airbag ausgelöst; beim Wenden fuhr der Unfallgegner in die Beifahrerseite Verletzungen Fahrer: Schädelprellung und dreifache Armfraktur rechts durch Airbagauslösung (MAIS 2)
287	BMW 518i, Baujahr 1993 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; Beschädigungsgrad 2; Auffahrunfall, Hauptanstoß vorne links; EES 18 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-7), Fahrer unverletzt
509	BMW 316, Baujahr 1988 Fahrer-Airbag ausgelöst; leichter Frontschaden rechts; Geschwindigkeit 5 km/h Fahrerin nicht angeschnallt, da Gurtbefreiung wegen geringer Körpergröße (154 cm, 43 kg); Sitzstellung in vorderster Position; Verletzungen Fahrer: offene Unterarm-Schafffraktur rechts (MAIS 3)
775	BMW 316i, Baujahr 2000 Beide Front-Airbags sowie Fahrer-Kopf- und Seitenairbag ausgelöst; leichter Leitplankenstreifschaden mit Front- und Seitenbeschädigung; EES 20 km/h \pm 5 km/h; Verletzungen Fahrer: Schürfungen Unterarm links durch nicht korrekte Auslösung des Seitenairbags (MAIS 1); Verletzungen Beifahrerin: Schürfungen und Verbrennungen im Gesicht durch unnötige Beifahrer-Airbagauslösung, Schnittverletzungen (MAIS 1)
161	Fiat Seicento, Baujahr 1998 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; Frontalkollision gegen Laterne; Querträger mittig eingedrückt; EES 20 km/h \pm 5 km/h; Verletzungen Fahrer: nicht näher bezeichneter chronischer Gehörschaden, Verbrennungen II. u. III. Grades an der linken Hand (MAIS 3)
311	Ford Fiesta, Baujahr 4/1996 Fahrer-Airbag ausgelöst; leichter Auffahrunfall mit 20 km/h auf stehendes Fahrzeug; Beschädigungsgrad 2, Verletzungen Fahrer: Brandverletzungen an Gesicht, Brust und Hals (MAIS 1)
FS023	Ford Fiesta, Baujahr 1998 Fahrer-Airbag ausgelöst; nur leichter Frontschaden; EES 18 km/h
118	Ford Mondeo, Baujahr 1997 Fahrer-Airbag und Fahrer-Seitenairbag bei 5 km/h ausgelöst; Geschwindigkeit Unfallgegner 15 km/h; Kotflügel vorne links eingedrückt; Verletzungen Fahrer: Gehirnerschütterung und Tinnitus temporär (MAIS 2)
HWS118	Mazda 323 Fahrer-Airbag ausgelöst; nur leichter Frontschaden; Verletzungen Fahrer: MAIS 1
FS286	Mercedes 300 SE, Baujahr 1991 Fahrer-Airbag ausgelöst; erst Heckkollision durch VW Golf, dann Stoßstangenkontakt mit einer Mauer; EES 15 km/h \pm 5 km/h; Verletzungen Fahrer: Prellungen im Gesicht, Ober- und Unterarmprellung, Unterschenkelprellung, HWS (MAIS 1)
034	Opel Astra Kombi, Baujahr 1995 Fahrer- + Beifahrerairbag ausgelöst; mit Abschlepphaken an einem Stein angestoßen (Schrittgeschwindigkeit)
050	Opel Corsa, Baujahr 10/1998 Leichte Seitenkollision gegen Baum; Fahrer-Seitenairbag (Sitzlehne) ausgelöst; leichte Verformung Stoßfänger vorne seitlich links; Delle in Fahrertürschweller; Fahrertüre leicht gewellt durch Baumkontakt; EES 10 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-5); Verletzungen Fahrer: Unterarmprellung links mit Taubheitsgefühl (MAIS 1)
573	Renault Twingo, Baujahr 1998 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; Abkommen von der Fahrbahn (Linkskurve); Auslösung vermutlich durch leichten Kontakt des rechten Längsträgers/Abschlepphakens mit unbefestigter Bankette (siehe Anhang 4-22); Verletzungen Fahrer: Unterarmschürfungen, Verbrennungen am rechten Unterarm und Verbrennungen am Bauch rechts (MAIS 1); Verletzungen Beifahrerin: Verbrennungen am kleinen Finger rechts (MAIS 1)
146	Seat Toledo, Baujahr 1999 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; Auffahrunfall auf stehendes Fahrzeug; Beschädigungsgrad 2 (siehe Anhang 4-6); Fahrer unverletzt; Beifahrer: HWS-Trauma (MAIS 1)
192	Suzuki Swift, Baujahr 1997 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; Beschädigungsgrad 2
306	Volvo 945, Baujahr 1994 Leichter Auffahrunfall; Fahrer-Airbag ausgelöst; Beschädigungsgrad 2; Verletzungen Fahrer: Prellung und Schürfung linker Unterarm (MAIS 1)
388	Volvo 940, Baujahr 1994 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; Anstoß vorne links gegen eine Wand; Geschwindigkeit unter 10 km/h; Verletzungen Fahrer und Beifahrer: Tinnitus temporär (MAIS 1)
419	Volvo 960, Baujahr 1994 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; leichter Auffahrunfall; Geschwindigkeit 10 km/h; Stoßfänger kaum sichtbar beschädigt; Beschädigungsgrad 1; EES 10 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-8); Verletzungen Fahrer: nicht näher bezeichneter Gehörschaden temporär, Schnittverletzungen Unterarm rechts durch Glassplitter (durch Beifahrer-Airbag Windschutzscheibe großflächig gesprungen/gebrochen) (MAIS 1)
477	VW Polo Variant, Baujahr 1998 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; Abkommen nach rechts in Graben; EES 15 km/h \pm 5 km/h, Auslösung vermutlich durch Achsschaden vorne rechts; Verletzungen Fahrer: Nasenprellung (MAIS 1)
473	VW Golf III, Baujahr 1997 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; Schaden vorne links; Beifahrer-Airbagauslösung trotz Deaktivierung
417	VW Golf IV, Baujahr 1998 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst, leichter Auffahrunfall; Geschwindigkeit max. 20 km/h (siehe Anhang 4-24); Verletzungen Fahrer: Schnittverletzungen an Ober-/Unterarmen durch Airbagabdeckung (MAIS-1) Verletzungen Beifahrerin: Prellungen und Schürfungen an beiden Ober- und Unterarmen, Handgelenkprellung und Schnittwunde am rechten Handrücken durch Airbag-Abdeckung (MAIS 2)
312	VW-Bus Wohnmobil, Baujahr 1997 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; leichter Unfall mit Schneescooter; Beschädigungsgrad 2; mögliche Auslösung wegen Frontschutzbügel (siehe Anhang 4-23) Verletzungen Beifahrerin: Muskelfaserriss mit Oberschenkelprellung durch Airbagabdeckung (MAIS 2)

Tab. 4-28: Airbag-Auslösung bei geringer Unfallschwere

Problematisch sind die Auslösungen bei geringer Unfallschwere vor allem aus zwei Gründen: Zum einen entstehen zusätzliche Reparaturkosten, die theoretisch vermieden werden könnten, und zum anderen erleiden die Insassen teilweise Verletzungen, die bei Nicht-Aktivierung des Airbags in vergleichbarer Schwere nicht auftreten würden. In 6 der 22 Fälle erlitt der Fahrer oder Beifahrer Verletzungen MAIS 2, in weiteren 2 Fällen traten beim Fahrer Verletzungen MAIS 3 ein. In einem dieser beiden Fälle entstanden an der linken Hand der Fahrerin Verbrennungen zweiten und dritten Grades (Fall Nr. 161) und im zweiten Fall erlitt die nicht gesicherte Fahrerin, die sehr klein und von der Gurtpflicht ausgenommen war, bei einer Kollision mit ca. 5 km/h (Anfahrvorgang) eine offene Unterarmfraktur rechts (Fall Nr. 509).

Die in Tabelle 4-28 sowie in weiteren Tabellen und diversen Anhängen angegebenen EES-Werte (BURG & ZEIDLER, 1980) wurden aus den vorliegenden Beschädigungsbildern der Fahrzeuge ermittelt, teilweise mit Hilfe der Energie-Raster-Methode (BÄUMLER & UNGERER, 1988) und teilweise durch Vergleich mit Crash-Test-Resultaten, bei denen die EES bekannt waren. Die EES-Werte besitzen dadurch einen Toleranzbereich von ca. ± 5 km/h. Die Geschwindigkeitsänderung Δv konnte nicht bestimmt werden, da hierfür eine komplette Unfallrekonstruktion nötig wäre, wofür jedoch die Datentiefe im vorliegenden Unfallmaterial häufig

nicht ausreichend war (zu wenig detaillierte Informationen über den Unfallgegner, die Unfallörtlichkeit usw.).

4.4.2 Nicht-Auslösen bei hoher Unfallschwere – ohne Unterfahrung und ohne Überschlag

Im vorliegenden Unfall-Material sind insgesamt 24 Fälle enthalten, bei denen trotz relativ hoher Unfallschwere (BG ≥ 3) der (die) Airbag(s) nicht aktiviert wurde(n), obwohl nach Auffassung der Autoren eine Aktivierung hätte stattfinden müssen (Tabelle 4-29).

Die beteiligten Insassen im Airbag-Fahrzeug wurden dabei teilweise erheblich verletzt.

In den Anhängen 4-9 bis 4-15 sind mehrere entsprechende Unfälle aufgeführt und angesichts dieser Beschädigungen und der aufgetretenen Verletzungen dürfte es offensichtlich sein, dass die Nicht-Aktivierung der Airbags nicht akzeptabel erscheint.

Nachdem für die Aktivierung der Airbags kein fixer Auslösepunkt, sondern vielmehr nur ein Auslösbereich angegeben werden kann, wurden in Tabelle 4-29 jene Fälle mit der Bezeichnung „Grenzfall“ versehen, bei denen die Unfallschwere im Bereich der Auslöseschwelle lag und/oder die Verletzungsfolgen – gemessen an der Unfallschwere – relativ hoch waren.

Fall	Kurzbeschreibung
776	Audi A6 Avant, Baujahr 11/1999 Seitenkollision (fahrerseitig) gegen Straßenbahn; Kollisionsgeschwindigkeit ca. 45 km/h; Vorderachse links, A-Säule und Fahrertüre links getroffen; Beschädigungsgrad 3; EES 35 km/h \pm 5 km/h Verletzungen Fahrer: Schädelprellung, HWS-Trauma, Abschürfungen linkes Ohr, Thoraxprellung links (durch Gurt), Rippenprellung rechts, Schlüsselbeinfraktur links (MAIS 2)
516	BMW Z3 Coupé, Baujahr 1998 Frontalkollision mit Diagonalschub auf die Karosserie von vorne links nach hinten rechts; Vorbau nach rechts verschoben, Karosserie längsachsenseitig verwunden, Tunnelbereich gestaucht; Beschädigungsgrad 3; EES 40 km/h \pm 5 km/h, Verletzungen Fahrer: Fraktur dritter Fußknochen (MAIS 2); Verletzungen Beifahrer: Thoraxprellung, Rippenfraktur (MAIS 1)
777	BMW M3 Cabrio, Baujahr 1996 Frontalkollision gegen Baum mit 100 km/h; Beschädigungsgrad 3, Verletzungen Fahrer: BWK-Impressionsfraktur der vorderen Deckplatte TH 1 und 3, Knochenmarködem C7 (MAIS 3)
225	Fiat Coupé, Baujahr 1994 Extreme Frontalkollision mittig rechts; Längsträger, Radhäuser und Motor/Getriebe massiv getroffen; Beschädigungsgrad 4; EES 65 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-10) Fahrer, nicht angeschnallt (MAIS 3)
367	Ford Escort Express, Baujahr 1996 Frontalkollision mit 50 km/h gegen Pkw; Frontschaden, Längsträger gestaucht; Beschädigungsgrad 3; EES 25 km/h \pm 5 km/h (Grenzfall) Verletzungen Fahrer: Thoraxprellung, Handgelenksstauchung (MAIS 1) Verletzungen Beifahrer: HWS-Trauma, Sternumfraktur (MAIS 2)

Tab. 4-29: Nicht-Auslösung bei hoher Unfallschwere – ohne Unterfahrung und ohne Überschlag

Fall	Kurzbeschreibung
091	Honda Accord, Baujahr 1999 Frontalkollision vorne links; Unfallgegner Pkw; linker Längsträger mit Radhaus deformiert; Beschädigungsgrad 3; EES 40 km/h \pm 5 km/h, (Grenzfall); Verletzungen Fahrer: HWS-Trauma, Thoraxprellung (MAIS 1); Verletzungen Beifahrer: HWS-Trauma, Brustkorbquetschung, Sternumfraktur (MAIS 2)
503	Honda Civic, Baujahr 1995, Frontalkollision vorne links; Radhaus und Längsträger massiv getroffen; Beschädigungsgrad 3; EES 50 km/h \pm 5 km/h, Fahrer leicht verletzt
468	Mercedes E 290 Kombi, Baujahr 10/1996 Frontalkollision vorne rechts; Radhaus, Längsträger, A-Säule, Dach und Schweller rechtsseitig massiv nach hinten verschoben bzw. geknickt; Beschädigungsgrad 4; EES 65 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-11) Fahrer, nicht angegurtet (MAIS 3); Beifahrer, nicht angegurtet (MAIS 2), Fondinsasse (MAIS 0)
303	Mitsubishi Carisma, Baujahr 1999 Leitplankenschaden vorne und seitlich links, mit Verhakung linkes Vorderrad; (Grenzfall) Verletzungen Fahrer: Gehirnerschütterung, Visusreduktion linkes Auge, Sehnervschädigung (MAIS 2)
317	Opel Corsa, Baujahr 1996 Frontalkollision vorne links mit 40 km/h gegen Felswand, Frontmaske mit Radhaus links deformiert, Knick im Dach links bei B-Säule, Achse vorne links bis in die Spritzwand gedrückt; Beschädigungsgrad 3; EES 35 km/h \pm 5 km/h; Verletzungen Fahrerin: Gehirnerschütterung, Schürfwunden im Gesicht, Sternumfraktur (MAIS 2)
085	Opel Corsa, Baujahr 1997 Frontalkollision gegen Pkw; Beschädigungsgrad 3; EES 40 km/h \pm 5 km/h, Grenzfall; Verletzungen Fahrer: HWS-Trauma, Lungeneinblutung, Rippenserienfraktur, Sternum-Absplitterung, Handgelenkprellung (MAIS 3)
425	Opel Corsa, Baujahr 1999 Schleuderunfall bei 140 km/h; Aufprall mit linker Fahrzeugseite gegen Lkw; Kotflügel, A-Säule komplett und Fahrertüre massiv eingedrückt; Beschädigungsgrad 3; EES 25 km/h \pm 5 km/h; Verletzungen Fahrer: Gehirnerschütterung, HWS-Trauma, Riss am Ohr, Thoraxprellung, LWS-Prellung, Schulterprellung links (MAIS 2)
760	Opel Corsa, Baujahr 1999 Frontalkollision mit entgegenkommendem Pkw; beide Pkw 50 km/h; Frontschaden Mitte links, Seite vorne links mit Achse; Achse deutlich nach hinten verschoben; Beschädigungsgrad 3; EES 50 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-15); Verletzungen Fahrerin: Gehirnerschütterung, Prellung rechtes Auge, HWS-Trauma, Thoraxprellung, Abdomen-Kontusion, Ellbogen-Abschürfung links, Knieprellung bds. (MAIS 2)
263	Opel Astra, Baujahr 1998 Frontschaden rechts; Frontmaske, Radhaus und Längsträger rechts eindeutig getroffen; Motor-/Getriebeeinheit rechts deutlich nach hinten verschoben; Beschädigungsgrad 3; EES 30 km/h \pm 5 km/h; Verletzungen Fahrer: Knieprellung links, Druckschmerz Abdomen (MAIS 1); Verletzungen Beifahrer: stabile LWK-1-Vorderkantenkompressionsfraktur, Prellungen äußerlich, möglicherweise Dauerschaden (MAIS 2)
298	Opel Vectra, Baujahr 1997 Seitenkollision linke Fahrerseite; Achse links, beide Türen, A- und B-Säule sowie Schweller getroffen; EES 25 km/h \pm 5 km/h, (Grenzfall); Verletzungen Fahrer: Schädelprellung, Prellung und Fraktur Schulter links, Thorax-Kontusion (MAIS 2)
352	Opel Omega B, Baujahr 12/1996 Frontalkollision links; Radhaus und Längsträger getroffen; Beschädigungsgrad 3; EES 30 km/h \pm 5 km/h, (Grenzfall); Verletzungen Fahrer: Gehirnerschütterung, Stirnplatzwunde links, Schienbeinschürfwunden rechts (MAIS 2)
041	Renault Laguna, Baujahr 1997 Kollision gegen Mauer und Baum; Beschädigungen vorne, seitlich und hinten rechts; Beschädigungsgrad 4; Verletzungen Fahrer: Gehirnerschütterung mit Schädelriss, BWK-Trümmerfraktur, Lungenquetschung/-riss, Schulterprellung, Schnittwunden Oberarm rechts, Schnitt- und Schürfwunden äußerlich, Querschnittslähmung, Dauerschaden (MAIS 5)
290	Renault Laguna, Baujahr 10/1998 Frontalkollision links mit 50 km/h gegen Baum; Frontmaske und Radhaus mit Längsträger links deutlich getroffen; Beschädigungsgrad 3, (Grenzfall); Verletzungen Fahrer: Sternumprellung, HWS-Trauma, Ellbogenstauchung, Hüft- und Knieprellung (MAIS 1)
469	Renault Twingo, Baujahr 1998 Frontalkollision mit 35-40 km/h gegen Pkw, Radhäuser mit Längsträgern gestaucht; Beschädigungsgrad 3; Verletzungen Fahrer: Fraktur 5. BWK durch Lenkradkontakt (MAIS 2)
577	Volvo 850, Baujahr 1995 Frontalkollision mittig gegen Baum; massive Eindrückung bis zum Motor, Einknickung des Querträgers, beide Längsträger nach innen gezogen; Beschädigungsgrad 3; EES 45 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-14); Verletzungen Fahrer: leichte Gehirnerschütterung und HWS-Trauma durch Kopfaufprall am Lenkrad (MAIS 2)
144	VW Golf III Variant, Baujahr 1994 Frontschaden links; Radhaus, Längsträger und Achse eindeutig getroffen; Beschädigungsgrad 3; EES 25 km/h \pm 5 km/h, Grenzfall (siehe Anhang 4-9); Verletzungen Fahrerin: HWS-Trauma, Zahnfraktur durch Lenkradkontakt, Schulterhämatom, Prellungen an Unterschenkel und Fuß links (MAIS 1)
526	VW Golf III Variant, Baujahr 1994 Frontalkollision vorne rechts gegen Baum; Radeinbau mit Längsträger, A-Säule komplett mit Schwelleransatz und Dach rechts massiv eingedrückt; Beschädigungsgrad 4; EES 75 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-12); Verletzungen Fahrerin: Polytrauma SHT I. Grades, Rippenfraktur links mit Pneumothorax, Thoraxkontusion, offene Oberarmfraktur rechts, Oberschenkelfraktur beidseitig (MAIS 3)
574	VW Golf III, Baujahr 1997 Schwere Frontalkollision mittig links gegen Baum; Radhaus, A-Säule, Dach und Schweller linksseitig massiv nach hinten verschoben bzw. geknickt; Beschädigungsgrad 4; EES 70 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-13); Verletzungen Fahrer (nicht angegurtet): Schädel-Hirn-Trauma III. Grades, stumpfes Thorax-Trauma (MAIS 4); verstarb 3 Stunden nach dem Unfall; Verletzungen Beifahrer (angegurtet): HWS-Trauma, Thoraxprellung mit Blutergüssen entlang des Gurtverlaufs
288	VW Vento, Baujahr 1993 Frontalkollision mittig links; Querträger, Frontmaske und linkes Radhaus mit Längsträger eindeutig getroffen, Dachwelle über B-Säule links; Beschädigungsgrad 3; Verletzungen Fahrer: Kopfprellung, HWS-Trauma, Knieprellungen bds. (MAIS 1); Verletzungen Beifahrerin: Thoraxprellung, Knie- und Fußprellung (MAIS 1)

Tab. 4-29: Fortsetzung

4.4.3 Unfälle mit Unterfahung

Aus früheren Unfalluntersuchungen ist bekannt, dass das Risiko, bei Pkw/Lkw-Unfällen tödlich verletzt zu werden, etwa dreimal höher ist als bei Pkw/Pkw-Kollisionen (BÄUMLER & LANGWIEDER, 1996).

Ein Grund dafür ist, dass Kollisionen zwischen Pkw und Lkw häufig verbunden sind mit Unterfahrungen. PADBERG (2001) stellte fest, dass bei Pkw/Lkw-Frontalkollisionen mit Schwerverletzten oder Getöteten in mehr als 80 % eine Unterfahung eintritt, wobei jedoch in mehr als einem Drittel dieser Fälle der Insassenraum noch weitgehend erhalten bleibt.

Bei Kollisionen von Pkw gegen das Lkw-Heck blieb nach KANDLER (1999) in rund drei von vier Fällen – trotz Unterfahung – der Überlebensraum der Pkw-Insassen im Wesentlichen noch intakt. Bei noch nicht zerstörter Fahrgastzelle kann davon ausgegangen werden, dass der Airbag einen zusätzlichen Schutz zum vorhandenen Sicherheitsgurt bietet, daher sollte sichergestellt sein, dass er – auch bei Unterfahrungen – zuverlässig auslöst.

Im vorliegenden Unfallmaterial wurden insgesamt 25 Unterfahrungen (22 gegen Lkw, 3 gegen Leitplanken) festgestellt, dabei wurde der Frontairbag auf der Fahrerseite in 16 von 25 Fällen nicht aktiviert und auf der Beifahrerseite in sieben von neun Fällen nicht ausgelöst.

Die aufgetretenen Verletzungsschweregrade für den Fahrer, Beifahrer und den Fondinsassen sind in Tabelle 4-30 aufgeführt.

Die vorliegenden Fallzahlen sind zwar relativ klein, doch zeigt sich tendenziell, dass die Insassen bei

aktiviertem Airbag seltener schwere Verletzungen MAIS 3+ erleiden als bei nicht ausgelöstem Airbag.

Problematisch bei den Unterfahrungen ist, dass häufig die Längsträger nicht mit in die Deformation einbezogen werden und daher die Airbags, wie bereits festgestellt, nicht oder erst sehr spät aktiviert werden (siehe Kapitel 5.4).

Auch wenn der Insassenraum noch weitgehend erhalten bleibt, können im realen Unfallgeschehen bereits mäßig schwere (siehe Bild 4-7 und Anhang



Bild 4-7: Lkw-Unterfahung ohne Airbag-Auslösung



Bild 4-8: Lkw-Unterfahung mit Airbag-Auslösung

	MAIS Fahrer							
	0	1	2	3	4	5	6	gesamt
Fahrer-Airbag ausgelöst	3	3	1	2	-	-	-	9
Fahrer-Airbag nicht ausgelöst	-	9	2	5	-	-	-	16
	MAIS Beifahrer							
	0	1	2	3	4	5	6	gesamt
Beifahrer-Airbag ausgelöst	-	2	-	-	-	-	-	2
Beifahrer-Airbag nicht ausgelöst	1	2	2	2	-	-	-	7
	MAIS Fondinsasse							
	0	1	2	3	4	5	6	gesamt
Insasse hinten links (kein Airb.)	1	1	1	-	-	-	-	3
Insasse hinten mitte (kein Airb.)	1	-	-	-	-	-	-	1
Insasse hinten rechts (kein Airb.)	1	1	-	-	-	-	1	3

Tab. 4-30: MAIS-Verteilung für Fahrer, Beifahrer und Fondinsassen; Unfälle mit Unterfahung

4-16) bis hin zu tödlichen Verletzungen (siehe Anhang 4-17; Beispielfall aus aktueller Lkw-Datenbank des GDV) beobachtet werden, falls keine Airbag-Auslösung erfolgt. Wird jedoch der Airbag ausgelöst, so kann er – auch bei Unterfahrungen – noch einen gewissen zusätzlichen Schutz für die Insassen bieten, wie der Fall in Bild 4-8 und Anhang 4-18 belegt.

Dieser Fall dürfte zwar an der Grenze einer möglichen Schutzwirkung des Airbags bei einer Unterfahrung liegen, doch ist davon auszugehen, dass ohne Auslösung des Airbags dieser Unfall nur mit geringer Wahrscheinlichkeit überlebbar gewesen wäre.

Diese Annahme wird von dem in Anhang 4-19 (Beispielfall aus aktueller Lkw-Datenbank des GDV) dargestellten, etwa gleich schweren Fall gestützt, bei dem kein Airbag vorhanden war und beide Frontinsassen verstarben.

Es bleibt also festzuhalten, dass der Airbag – auch bei Unterfahrungen – einen gewissen Schutz bieten kann; Voraussetzung dafür ist allerdings eine zuverlässige Aktivierung.

4.4.4 Unfälle mit Überschlag

Unfälle mit Überschlag waren im vorliegenden Material 63 Mal zu beobachten und hatten damit einen Anteil von 9,1 %. In Tabelle 4-31 ist für alle 71 Front-Insassen mit bekannten Verletzungsfolgen (53 Fahrer und 18 Beifahrer) der MAIS-Wert angegeben; es wird deutlich, dass die Verletzungsschwere überdurchschnittlich hoch war: Allein drei von insgesamt sieben getöteten Fahrern (im Gesamtmaterial) starben bei Überschlag-Unfällen.

Mäßig schwere bis tödliche Verletzungen waren sowohl bei Aktivierung (Beispielfall siehe Anhang 4-20) als auch bei Nicht-Aktivierung (Beispielfall

siehe Anhang 4-21) eines bzw. mehrerer Airbags festzustellen.

Dies legt den Schluss nahe, dass es nicht in jedem Fall ausreichend wäre, die vorhandenen Airbags auszulösen, da durch den komplexen Bewegungsablauf bei Überschlägen Verletzungsmechanismen vorliegen können, die mit den heute in modernen Fahrzeugen vorhandenen Airbags nicht oder nur unzureichend zu beeinflussen sind. Gerade die Komplexität des Überschlag-Unfalls mit diversen Anstößen aus unterschiedlichen Richtungen und wechselnden „Unfallgegnern“ macht es auch so schwierig, „den typischen Überschlag“ zu definieren, so dass innerhalb dieses Projekts darauf verzichtet wurde, Überschläge im Test zu simulieren. In weiteren Forschungsarbeiten sollte geklärt werden, welche Arten von Überschlag-Unfällen für die Insassen besonders gefährlich sind und durch welche (evtl. neue) Schutzsysteme im Fahrzeug das dabei vorhandene Verletzungsrisiko minimiert werden könnte.

4.4.5 „Airbag-Aggressivität“

Im gesamten hier betrachteten Airbag-Material befanden sich 564 Fahrzeuge, bei denen mindestens ein Airbag aktiviert wurde. Die dabei auftretenden Verletzungen – auch wenn sie durch den Airbag entstehen sollten – können in aller Regel toleriert werden (66 Fälle, s. Tabelle 4-24), da bei Nicht-Aktivierung des Airbags wesentlich schwerere Verletzungen eintreten würden.

In einigen Fällen jedoch, die im Folgenden beschrieben werden, war eine Airbag-Aggressivität festzustellen, die – zumindest aus Sicht der Autoren – nicht zu akzeptieren ist. Als „aggressiv“ wurden alle Fälle (26 Fälle, s. Tabelle 4-24) eingestuft, bei denen mindestens eines der folgenden Kriterien zutreffend war:

	MAIS Fahrer						
	0	1	2	3	4	5	6
Airbag ausgelöst	3	16	8	2	1	1	1
Airbag nicht ausgelöst	-	12	4	3	-	-	2
	MAIS Beifahrer						
	0	1	2	3	4	5	6
Airbag ausgelöst	1	5	3	-	-	-	-
Airbag nicht ausgelöst	2	3	3	-	-	1*	-
* getötet							

Tab. 4-31: MAIS-Verteilung für Fahrer und Beifahrer bei Unfällen mit Überschlag

- Brandverletzung,
- Gehörschaden,
- Verletzung durch Airbag-Abdeckung,
- Augenverletzung,
- Prellung/Schürfung bei geringer Unfallschwere im Bereich der Auslöseschwelle.

Diese genannten Kriterien wurden von einigen Insassen in mehreren Punkten erfüllt, sodass sich die in Tabelle 4-32 genannten Häufigkeiten teilweise überschneiden.

Arten von Airbag-Aggressivität	Anzahl
Brandverletzungen	40
Gehörschaden	57
Verletzungen durch Airbag-Abdeckung	2
Augenverletzungen	4
Prellungen/Schürfungen	8

Tab. 4-32: Arten von Airbag-Aggressivität

Fall	Kurzbeschreibung
161	Fiat Seicento, Baujahr 1998 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; Frontalkollision gegen Laterne; Querträger mittig eingedrückt; EES 20 km/h ± 5 km/h; Verletzungen Fahrerin: nicht näher bezeichneter chronischer Gehörschaden, Verbrennungen II. u. III. Grades an der linken Hand (MAIS 3)
301	Renault Megane, Baujahr 1998 Frontalkollision mit korrekter Auslösung von Fahrer- und Beifahrer-Airbag; Fahrer: unverletzt; Jacke weist im Ellbogenbereich Brandbeschädigung auf Beifahrer: Schürfungen an beiden Händen (MAIS 1)
311	Ford Fiesta, Baujahr 4/1996 Fahrer-Airbag ausgelöst; leichter Auffahrunfall mit 20 km/h auf stehendes Fahrzeug; Beschädigungsgrad 2 Verletzungen Fahrerin: Brandverletzungen an Gesicht, Brust und Hals (MAIS 1)
345	Opel Corsa, Baujahr 1998 Frontalkollision mittig gegen Motorrad; Auslösung von Fahrer- und Beifahrer-Airbag korrekt Beifahrerin: Gehirnerschütterung, Schürfungen und leichte Verbrennungen, Radius-Fraktur rechts (MAIS 2)
392	Volvo 850 Kombi, Baujahr 1994 Auslösung von Fahrer- und Beifahrer-Airbag korrekt, Fahrer: Handverbrennungen II. Grades (MAIS 2)
573	Renault Twingo, Baujahr 1998 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; Abkommen von der Fahrbahn (Linkskurve); Auslösung vermutlich durch leichten Kontakt des rechten Längsträgers/Abschlepphakens mit unbefestigter Bankette (siehe Anhang 4-22); Verletzungen Fahrerin: Unterarmschürfungen, Verbrennungen am rechten Unterarm und Verbrennungen am Bauch rechts (MAIS 1); Verletzungen Beifahrerin: Verbrennungen am kleinen Finger rechts (MAIS 1)
773	VW Golf IV, Baujahr 2000 Fahrer-Airbag in geparktem Fahrzeug ausgelöst; Zündung ausgeschaltet; Fahrerin reinigte Fahrertürfenster (siehe Anhang 4-3), Verletzungen Fahrerin: Tinnitus temporär rechts, Schürfungen Schulter rechts, Hämatome Unterarm/Ellbogen rechts, Verbrennungen Schulter rechts (MAIS 1)
775	BMW 316i, Baujahr 2000 Beide Front-Airbags sowie Fahrer-Kopf- und Seitenairbag ausgelöst; leichter Leitplankenstreifschaden mit Front- und Seitenbeschädigung; EES 20 km/h ± 5 km/h; Verletzungen Fahrer: Schürfungen Unterarm links durch nicht korrekte Auslösung des Seitenairbags (MAIS 1) Verletzungen Beifahrerin: Schürfungen und Verbrennungen im Gesicht durch unnötige Beifahrer-Airbag-Auslösung, Schnittverletzungen (MAIS 1)

Tab. 4-33: Fall-Beispiele Brandverletzungen

4.4.5.1 Brandverletzungen

Die insgesamt 40 festgestellten Brandverletzungen (bei 31 Fahrern und 9 Beifahrern) waren meist leichte Verbrennungen I. Grades, doch traten in Einzelfällen auch Verbrennungen II. und sogar III. Grades auf. In Tabelle 4-33 sind acht typische Fälle kurz beschrieben, Fall Nr. 773 ist zusätzlich in Anhang 4-3 dargestellt und Fall Nr. 573 in Anhang 4-22.

4.4.5.2 Gehörschäden

Einen Gehörschaden erlitten insgesamt 44 Fahrer und 13 Beifahrer, wobei 11 dieser Verletzungen (bei 10 Fahrern und 1 Beifahrer) bleibend waren (Tabelle 4-34).

Ein sehr auffälliges Ergebnis ist, dass alleine 16 Gehörschäden zurückzuführen waren auf Fehlauflösungen sowie Auslösungen bei geringer Unfallschwere.

Die Tatsache, dass der Insasse von den Fehlauflösungen vollkommen unvorbereitet überrascht wird, scheint einen nicht unbedeutenden Einfluss darauf

Fahrer	Arten der Gehörschäden	Beifahrer
31	Gehörschaden temporär, nicht näher bezeichnet	11
3	Gehörschaden mit Tinnitus temporär	1
6	Gehörschaden chronisch, nicht näher bezeichnet	1
4	Tinnitus chronisch	-
-	Explosionstrauma	-
44	gesamt	13
57 verletzte Personen		

Tab. 4-34: Arten der Gehörschäden

zu haben, ob er einen Gehörschaden erleidet oder nicht. In 9 der 11 Fälle mit einem bleibenden Gehörschaden beim Fahrer oder Beifahrer wurden sowohl der Frontairbag auf der Fahrer- als auch auf der Beifahrerseite aktiviert, in 2 Fällen nur der Fahrer-Frontairbag.

Im gesamten, vorliegenden Airbag-Material befand sich kein einziger Fall, bei dem die Auslösung eines Seiten-/Kopfairbags zu einem bleibenden Gehörschaden führte, nur bei zwei Fahrern war in Verbindung mit der Auslösung eines Seiten-/Kopfairbags (beide Male Airbag-Auslösungen während der Fahrt, ohne Kollision) eine temporäre Gehörbeeinträchtigung festzustellen.

Fall	Kurzbeschreibung
312	VW-Bus Wohnmobil, Baujahr 1997 Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst; leichter Unfall mit Schneescooter; Beschädigungsgrad 2; mögliche Auslösung wegen Frontschutzbügel (siehe Anhang 4-23) Verletzungen Beifahrerin: Muskelfaserriss mit Oberschenkelprellung durch Airbagabdeckung (MAIS 2)
417	VW Golf IV, Baujahr 1998 Fahrer- u. Beifahrer-Airbag ausgelöst, leichter Auffahrunfall (siehe Anhang 4-24) Verletzungen Fahrer: Schnittverletzungen an Ober-/Unterarmen durch Airbagabdeckung (MAIS 1) Verletzungen Beifahrerin: Prellungen und Schürfungen an beiden Ober- und Unterarmen, Handgelenkprellung und Schnittwunde am rechten Handrücken durch Airbag-Abdeckung (MAIS 2)

Tab. 4-35: Verletzungen durch Airbag-Abdeckung

Fall	Kurzbeschreibung
236	Honda CRX, Baujahr 1997; Auslösung Fahrer-Airbag korrekt, jedoch Airbag-Aggressivität; Verletzungen Fahrer: Schädelprellung, Schulter- und Hüftprellung durch Gurt, Einblutung vordere Augenkammer rechts (MAIS 1)
366	Renault Laguna, Baujahr 1998; Frontalkollision; Auslösung von Fahrer- und Beifahrer-Airbag korrekt; Verletzungen Fahrer: HWS-Trauma, Gurtprellung, Fußprellung, Sehnerv-Trauma durch Airbag (MAIS 2)
523	VW Golf III, Seitenkollision links mit Längskomponente; Auslösung von Fahrer- und Beifahrer-Airbag korrekt (siehe Anhang 4-25) Verletzungen Fahrerin: Augenprellung links mit Irisriss (MAIS 1)
547	Renault Twingo, Baujahr 08/1996; Seitenkollision mit Pkw (rechts); nach 15 Minuten beim Starten Fahrer- und Beifahrer-Airbag ausgelöst Verletzungen Fahrerin: chronischer Tinnitus, Kinnprellung, Thoraxprellung, Bindehauteinblutung am Auge, Berufseinschränkung (MAIS 2)

Tab. 4-36: Fall-Beispiele Augenverletzungen

Fall	Kurzbeschreibung
050	Opel Corsa, Baujahr 10/1998 Leichte Seitenkollision gegen Baum; Fahrer-Seitenairbag (Sitzlehne) ausgelöst; leichte Verformung Stoßfänger vorne seitlich links; Delle in Fahrertürschweller; Fahrertüre leicht gewellt durch Baumkontakt; EES 10 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-5); Verletzungen Fahrer: Unterarmprellung links mit Taubheitsgefühl (MAIS 1)
346	Volvo 850, Baujahr 1996 Frontalkollision mittig gegen Baum; Auslösung von Fahrer- und Beifahrer-Airbag; massive Eindrückung bis zum Motor, Querträger eingeknickt, beide Längsträger nach innen gezogen; EES 28 km/h \pm 5 km/h (siehe Anhang 4-26); Verletzungen Fahrer: Schürfungen und Prellungen im Gesicht, Prellung rechte Hand, multiple Prellungen (MAIS 1)

Tab. 4-37: Fall-Beispiele Prellungen/Schürfungen bei geringer Unfallschwere

4.4.5.3 Verletzungen durch Airbag-Abdeckung

Verletzungen, die durch die Airbag-Abdeckung hervorgerufen wurden, waren im Airbag-Material relativ selten: Bei insgesamt 2 Kollisionen mit Aktivierung der Frontairbags wurden ein Fahrer und zwei Beifahrerinnen an den Armen bzw. Beinen verletzt.

Die entsprechenden Fälle sind in Tabelle 4-35 kurz beschrieben und in den Anhängen 4-23 und 4-24 bildlich dargestellt.

4.4.5.4 Augenverletzungen

Augenverletzungen durch den aktivierten Airbag wurden bei insgesamt vier Frontinsassen festgestellt, wobei in jedem Fall der Fahrer verletzt wurde.

Eine kurze Fallbeschreibung findet sich in Tabelle 4-36. In Fall Nr. 547 handelte es sich um eine Airbag-Aktivierung im Stand beim Starten des Fahrzeugs, sodass möglicherweise eine sehr ungünstige Position zum Airbag gegeben war.

Die bildliche Darstellung einer Augenverletzung – hervorgerufen vom Airbag – befindet sich in Anhang 4-25.

4.4.5.5 Prellungen/Schürfungen bei geringer Unfallschwere im Bereich der Auslöseschwelle

Hat der Airbag im Falle einer schweren Kollision seine Schutzwirkung erfüllt, einen Insassen eventuell sogar vor tödlichen Verletzungen bewahrt, so können leichte Verletzungen AIS 1 wie Prellungen und Schürfungen toleriert werden.

Kommt es jedoch im unteren Geschwindigkeitsbereich, d. h. im Bereich der Auslöseschwelle des Airbags, zu diesen Verletzungen, so ist dies nicht zu akzeptieren.

Diese hier beschriebene Art von Airbag-Aggressivität war im Fallmaterial in acht Fällen festzustellen, zwei typische Fälle sind in Tabelle 4-37 beschrieben.

Fall Nr. 050 ist in Anhang 4-5 und Fall Nr. 346 mit Prellungen und Schürfungen im Gesicht ist in Anhang 4-26 dargestellt.

5 Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Vermeidung von Problemfällen

Für eine nachträgliche Beseitigung der Probleme bieten sich Rückrufaktionen an. Zur Vermeidung

von Fehlauflösungen müssen vom Hersteller im Rahmen der Entwicklung umfangreiche Fahrversuche durchgeführt werden. Für die Abstimmung des Airbagverhaltens bezüglich Auslösung, Timing und Aggressivität sind mindestens die heutigen Standard-Crash-Tests zu berücksichtigen. Zur Vermeidung der Probleme bei Unterfahung sollte die Airbagabstimmung in Zukunft zusätzlich auch im Rahmen von Unterfahrttests vorgenommen werden.

5.1 Rückrufaktionen wegen Funktionsstörungen der Airbagtechnik

Eine nachträgliche Mängelbeseitigung an Fahrzeugen wird in Deutschland auf unterschiedlichste Weise durchgeführt. Am häufigsten erfolgen Nacharbeiten im Rahmen der üblichen Inspektionen. Nur in besonderen Fällen werden die Kunden von Herstellern angeschrieben und außerplanmäßig in die Werkstatt gebeten. Es obliegt dem Hersteller in Eigenverantwortung, ob er hierbei zusätzlich eine Information über die Medien verbreitet.

Die Auflistung aller dem ADAC bekannt gewordener Rückrufe im Zeitraum 1995 bis 2001 (Anhang 5-1), die in Verbindung mit Airbagproblemen stehen, erhebt somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die Auflistung erfolgte nach Hersteller und Zeitraum des Rückrufes und beinhaltet neben einer kurzen Beschreibung der Defektursache auch Angaben über den jeweiligen Fahrzeugtyp, Bauzeitraum und so weit vorhanden Anzahl der betroffenen Fahrzeuge.

Die Aufstellung (Tabelle 5-1) zeigt, dass bis jetzt die meisten Umrüstaktionen wegen möglicher Airbag-Fehlauflösung der Frontairbags durch elektrostatische Entladung (fehlende Masseverbindung am Gasgenerator) und wegen Airbagfrühauslösung, bedingt durch zu niedrige Auslöseschwellen bzw.

Airbag-Rückrufe von 1995 – 2001 Insgesamt 42 Meldungen = 100 %	
Probleme	relative Häufigkeit
Auslösung durch elektrostatische Entladung	26 %
Nicht-Auslösung durch Stromkreisunterbrechung (Kabel, Steckverbindung usw.)	22 %
Auslösung durch zu sensible Sensorik (z. B. Schlag gegen Unterboden)	19 %
Auslösung durch Defekt (Feuchtigkeit) im Steuergerät	19 %
Sonstiges	14 %

Tab. 5-1: Airbag-Rückrufe

zu sensibler Sensorik (vor allem Seitenairbag), erfolgten.

Bei den anderen Umrüstaktionen (z. B. wegen Airbagsteuergerät-Defekt, Quetschung eines Stromkabels usw.) wurde der Defekt durch das Aufleuchten der Airbagkontrollleuchte signalisiert. Nur in einem Fall (Firma Opel; Zeitraum: 2/95) wurde eine nicht ordnungsgemäße elektrische Steckverbindung zum Gasgenerator durch die Kontrolllampe nicht angezeigt. Die Airbagfunktion war in diesem Fall jedoch gestört.

Bei den Problemfällen mit Feuchtigkeit im Airbagsteuergerät war die Ursache häufig das Austreten von Kühflüssigkeit am Heizungswärmetauscher.

Insgesamt lässt sich aus Erfahrungen bei der Bearbeitung von Rückrufen ableiten, dass die Fahrzeughersteller bei Problemen mit Airbags deutlich sensibler reagieren als bei anderen Defekten und es werden häufig neben üblichen Kunden-Anschreibeaktionen auch entsprechende Pressemitteilungen veröffentlicht.

5.2 Fahrversuche zur Vermeidung von Fehlauflösungen (Misuse-Tests)

Im Rahmen dieses Projekts wurden zum einen den Herstellern gewisse Problemfälle mit Airbags zur Stellungnahme übermittelt (siehe Kapitel 4.7) und zum anderen aber auch über bestehende Tests zur Absicherung von Airbagfrüh- bzw. Fehlauflösungen (Misuse-Test) gesprochen und diskutiert. Die Recherche ergab, dass viele Hersteller eigene

Misuse-Tests durchführen (Tabelle 5-2), die vor allem auf Grund von bekannt gewordenen Realfällen nachgestellt werden. Insbesondere die Firmen, die eigene Unfallforschungsabteilungen besitzen, haben sich in speziellen Arbeitsgruppen organisiert, in denen bestimmte Konfigurationen zu Misuse-Tests abgestimmt werden.

Ziel ist es hierbei, durch zahlreiche fahrdynamische Tests, die häufig auch Extremsituationen darstellen, eventuelle Fehlfunktionen der Airbagauslösung zu überprüfen. Geeignete Maßnahmen, wie z. B. geschützte Positionen der Sensoren oder eine unempfindlichere Abstimmung der Auslöseschwelle, sollen sicherstellen, dass entsprechende Fälle verhindert werden. Vor allem wegen der Problematik von ungünstigen Schwingungsübertragungen in Fahrzeugkarosserien (z. B. Prellschlag) erscheinen diese Tests als unumgänglich und sollten deshalb von allen Herstellern durchgeführt und nachgewiesen werden.

Tabelle 5-2 zeigt exemplarisch, welche umfangreichen Tests bereits im Lastenheft von einigen Fahrzeugherstellern enthalten sind. Nach Auskunft der Hersteller werden diese Versuche laufend ergänzt, sobald sich weitere Erkenntnisse aus Realfällen ergeben.

Als Beispiel ist in Bild 5-1 ein Versuch abgebildet, der eine Airbagfehlauflösung infolge harter Schläge auf den Fahrzeugboden absichern soll. Das Fahrzeug wird hierbei von einer hohen Kante (z. B. Bordstein) gerollt, sodass es zu einem massiven Schlag auf den Fahrzeugschweller kommt.

Prüfprogramm Fahrversuch zu Elektronikkomponenten der passiven Sicherheit					
Versuchsart	Einzelprüfungen				
sportliche Fahrweise	Nürburgring	Fluchtwenden			
ungebremste Fahrmanöver	Schlaglöcher unterschiedliche Tiefen und Formen 20 km/h - 80 km/h	Bordsteine Anfahrwinkel 15° Höhe 140 mm 20 km/h - 80 km/h	Bahnübergang gepflastert 20 km/h - 80 km/h	Schwellen Stahl Höhe 80 mm 20 km/h - 80 km/h	Wildunfall
gebremste Fahrmanöver	Schlaglöcher unterschiedliche Tiefen und Formen 20 km/h - 80 km/h	Bordsteine Anfahrwinkel 15° Höhe 100/140 mm 20 km/h - 80 km/h	Bahnübergang gepflastert 20 km/h - 80 km/h	Schwellen Stahl Höhe 80 mm 20 km/h - 80 km/h	Bordstein Anrampelversuch 10 km/h
Überfahrt loser Hindernisse	Kanholz 10 x 10 cm	Metallteile			
Standversuche (Werkstatt)	Tür-Zuschlagversuche	Sitzausbau	Hammerschläge Unterboden		
Zusatzuntersuchung 4x4-Fahrzeuge	off-road-Betrieb	Querrinne 400 mm Tiefe	Rampe 450 mm Höhe	Abschleppen	
Zusatzuntersuchung Cabrio	Steigungshügel	Sprunghügel	Steilwandkurve		Bordstein Anrampelversuch 10 km/h
Funktionsdauererprobung	Hitzeerprobung	Kälteerprobung	Dauerlauf		

Tab. 5-2: Misuse-Tests eines Fahrzeugherstellers

Des Weiteren werden die Fahrzeuge extremen fahrdynamischen Tests unterzogen, wie zum Beispiel beim Überfahren von Schwellen. Dabei werden die Fahrzeuge ungebremst und gebremst mit verschie-



Bild 5-1: Aufsetzen auf Schweller



Bild 5-2: Schwellenüberfahung



Bild 5-3: Sprunghügel-Test

denen Geschwindigkeiten über die Hindernisse gefahren (Bild 5-2).

Zum Teil werden Fahrzeuge über die normalen Belastungen hinaus getestet um auch bei ganz speziellen Beanspruchungen wie z. B. extremes Einfedern des Fahrzeugs (Sprunghügel-Test, Bild 5-3) jegliche Art von Fehlauflösung der Airbags zu vermeiden.

Neben den zahlreichen fahrdynamischen Misuse-Tests werden Airbagsysteme auch vom Hersteller gegen Fehlauflösungen auf Grund von nicht ausreichender elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) geprüft. Seit 01.01.96 ist hierfür auch die Richtlinie 95/54/EG für neue Fahrzeugzulassungen gültig.

In einer Untersuchung zur Sicherheit von Airbagsystemen gegen Fehlauflösungen auf Grund nicht ausreichender elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) vom TÜV-Rheinland [TÜV-Rheinland, 1999] wird bestätigt, dass auch Airbagsysteme, die vor dem Erlass dieser Richtlinie in Fahrzeuge eingebaut wurden, keine entsprechende Störanfälligkeit aufwiesen.

5.3 Standard-Crash-Tests zur Airbagabstimmung bezüglich Auslösung, Timing, Aggressivität

Die wichtigsten Crash-Tests für die Airbagabstimmung sind in Tabelle 5-3 zusammengefasst. Hier sind auch die wesentlichen airbag-relevanten Kriterien und Grenzwerte eingetragen.

Die Minimalanforderungen an ein Airbagsystem werden durch die europäische Front- und Seiten-Crash-Norm bestimmt [EWG/ECE R-94/95]. Sie gilt seit 1998 für alle neu auf den europäischen Markt kommenden Fahrzeugmodelle und schreibt u. a. Grenzwerte für die Kopf- und Brustbelastungen vor.

Ein wichtiger Test für die Airbagabstimmung ist auch der AZT-Test der Autoversicherer [Eurotax International AG]. Da nach diesem Test die Reparaturkosten für die Kaskoklasseneinstufung erfolgt, ist es wichtig, dass bei diesem Test sicher keine Airbag ausgelöst wird.

Die wichtigsten Tests sind heute zweifelsohne die EuroNCAP-Front-, Seiten- und Pole-Tests aus dem europäischen Verbraucherschutz Crash-Test-Programm [Euro NCAP TP, 2001]. Im Gegensatz zu den Norm-Crash-Tests, bei denen nur zwischen

	EU-Norm Frontcrash	EU-Norm Seitencrash	AZT-Test	Euro NCAP Frontcrash	Euro NCAP Seitencrash	Euro NCAP Pole Test
Testkonfiguration						
Aufprallgeschwindigkeit	56 km/h	50 km/h	15 km/h	64 km/h	50 km/h	29 km/h
Aufprallhindernis	fix. EU Front Barriere	mob. EU Seiten Barriere	starre Wand	fix. EU Front Barriere	mob. EU Seiten Barriere	fix. Pole 10
Überdeckung	40 %	Barriere Mitte = R Punkt	30 %	40 %	Barrieremitte = R Punkt	Pole Mitte = Kopfmitte
airbag-relevante Kriterien	Grenzwerte	Grenzwerte	kein Airbag darf sich öffnen	untere/obere Grenzwerte	untere/obere Grenzwerte	Grenzwert
HIC ₃₆ (wenn $a_{max} > 80$ g)	1000	1000		650 ... 1000	650 ... 1000	1000
a_{head} res 3 ms (wenn $a_{max} > 80$ g)				72 ... 88 g	72 ... 88 g	
F_{neck} tension 0 msec				2,7 ... 3,3 kN		
35 msec				2,3 ... 2,9 kN		
> 60 msec				1,1 ... 1,1 kN		
F_{neck} shear 0 msec				1,9 ... 3,1 kN		
25 – 35 msec				1,2 ... 1,5 kN		
> 45 msec				1,1 ... 1,1 kN		
M_{neck} extension 42 ... 57 Nm						
Brust Eindrückung	50 mm	42 mm		22 ... 50 mm	22... 42 mm	
Viscous Criterion		1,0 m/s		0,5 ... 1,0 m/s	0,32 ... 1,0 m/s	
Abdomen		2,5 kN			1,0 ... 2,5 kN	
Pubic Symphysis		6,0 kN			3,0 ... 6,0 kN	
Modifier Instabiler Kopfkontakt				0 ... -1 Punkt		
Head Bottoming Out				0 ... -1 Punkt	0 ... -1 Punkt	
Lenkrad/Brustkontakt				0 ... -1 Punkt		

Tab. 5-3: Standard-Crash-Tests zur Airbagabstimmung bezüglich Auslösung, Timing, Aggressivität

bestanden und nicht bestanden differenziert wird, gibt es bei Euro NCAP ein Ratingsystem, mit dem auf der Basis der Testergebnisse eine Gesamtbeurteilung der Fahrzeugsicherheit erfolgt. Für jedes Messkriterium ist ein unterer und ein oberer Grenzwert definiert. Liegt ein Messwert niedriger als der untere Grenzwert, so werden für den entsprechenden Körperteil 4 Punkte vergeben, liegt er über dem oberen Grenzwert, so gibt es hier nur 0 Punkte. Zwischen den Grenzwerten ist ein Sliding Scale, d. h. ein linearer Zusammenhang zwischen Messwert und Punktezahl, vorhanden. Sind in der europäischen Norm Grenzwerte festgelegt, so entsprechen diese in der Regel den oberen Grenzwerten bei Euro NCAP. Zusätzlich zu den Messwerten erfolgt eine subjektive Beurteilung des Airbag-Verhaltens mit Hilfe so genannter Modifier (Euro NCAP AP, 2001).

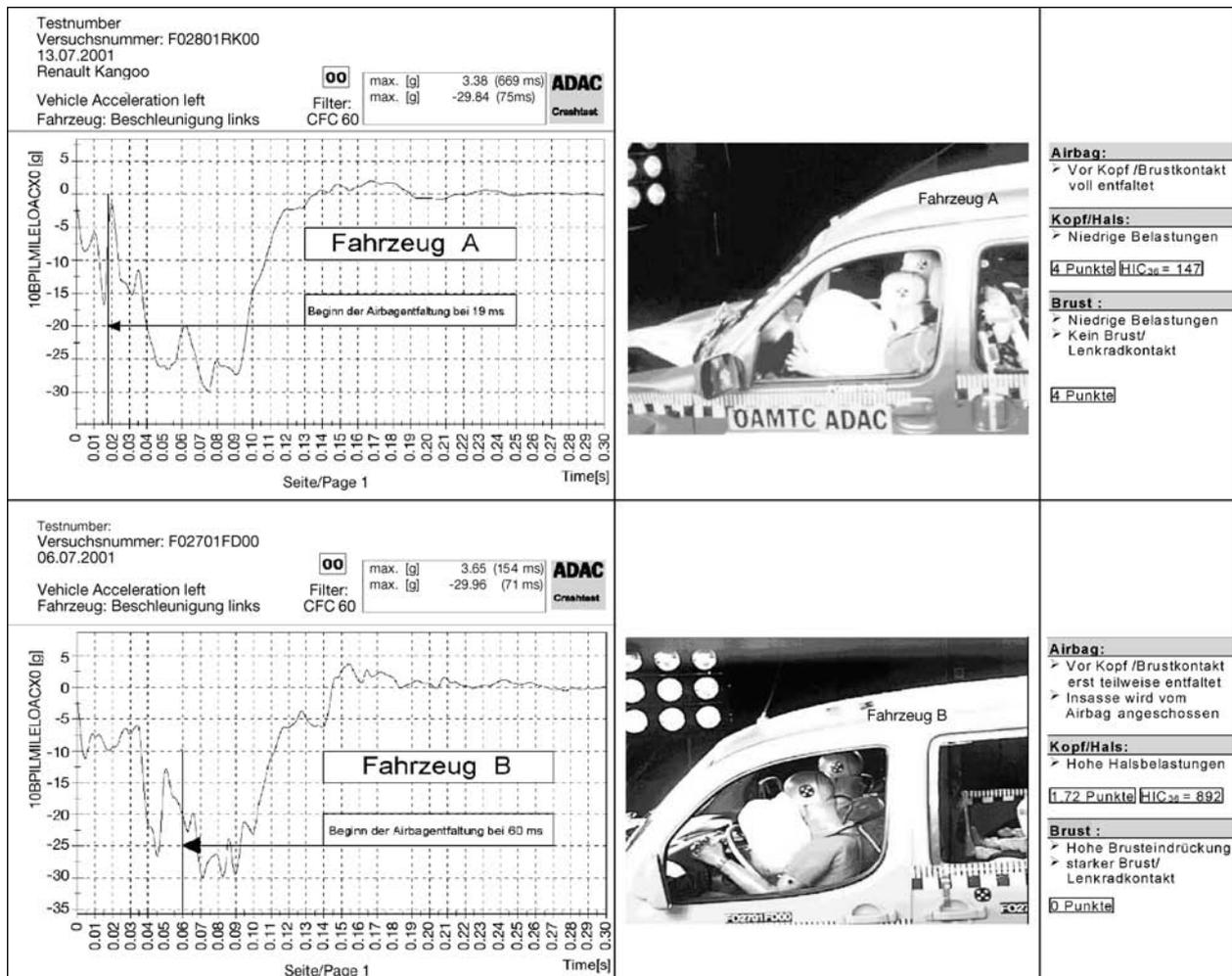
Die Wirkung einer guten und einer schlechten Airbag-Abstimmung soll anhand Tabelle 5-4 erläutert werden. Hier sind die airbag-relevanten Ergebnisse aus einem Euro-NCAP-Front-Vergleichs-Crash zwischen 2 Großraumkombis der unteren Mittelklasse gegenübergestellt (ADAC motorwelt, September 2001). Bei beiden Fahrzeugen liegen die HIC-Werte

für den Fahrer deutlich unter 1.000. Die EU-Norm ist daher bei beiden Fahrzeugen sicher erfüllt.

Beim ersten Fahrzeug erfolgt die Airbagauslösung bei 19 msec nach Aufprallbeginn und damit so rechtzeitig, dass der Airbag voll entfaltet ist, bevor er Kontakt mit dem Kopf und der Brust des Fahrers hat. Die Folge sind niedrige Belastung für alle airbag-relevanten Körperteile und damit volle Punktezahlen für Kopf, Hals und Brust.

Im Gegensatz dazu löst der Airbag des zweiten Fahrzeugs erst nach 60 msec aus. Kopf und Brust erreichen den Airbag bereits in der Entfaltungsphase. Die Abstützung dieser Körperteile ist aggressiv und instabil, es kommt zu einer Verschiebung quer zum Lenkrad mit hoher Hals- und Brustbelastung und intensivem Kontakt zwischen Brust und Lenkrad. Der Fahrer erreicht für den Kopf/Halsbereich nur 1,72 und für den Brustbereich nur 0 Punkte. Zur Vermeidung dieses offensichtlichen Verletzungsrisikos müsste die Airbag-Öffnungszeit beim zweiten Fahrzeug deutlich früher erfolgen.

Auf Grund von Erfahrungen wird vermutet, dass ein derartiges Airbagverhalten im Euro-NCAP-Crash



Tab. 5-4 : Vergleich zwischen gutem und schlechtem Airbagtiming beim Euro-NCAP-Front-Crash

beim Realfall eher noch gravierendere Auswirkungen auf das Verletzungsrisiko haben kann. Statt einer Spätauslösung könnte der Airbag u. U. gar nicht auslösen und somit der Fahrer ungeschützt auf das Lenkrad prallen. Eine sorgfältige Airbagabstimmung im Euro-NCAP-Crash ist eine wichtige Voraussetzung für eine gute Schutzwirkung im Real-Crash.

5.4 Unterfahrttests zur Untersuchung/ Verbesserung des Airbagverhaltens bei Längsträgerüberfahung

Die Auswertung des Airbagmaterials zeigt, dass Unfälle, bei denen die Längsträger des Pkw überfahren werden, einen besonderen Problemschwerpunkt darstellen. Aus speziellen Pkw/Lkw-Unfalluntersuchungen (BÄUMLER & LANGWIEDER, 1996) ist bekannt, dass das Risiko, bei diesen Unfällen tödlich verletzt zu werden, dreimal höher ist als bei einer Pkw/Pkw-Kollision.

Das Unterfahren tritt vor allem bei Front-, Seiten- oder Heckkollisionen gegen Nutzfahrzeuge und Geländewagen auf. Bei derartigen Unfällen kann es zu erheblichen Verletzungen der Insassen kommen, da anscheinend oft keine ausreichende Schutzwirkung durch den Airbag gegeben ist. In einigen Fällen erfolgte trotz hoher Unfallschwere gar keine Airbagauslösung.

Es ist anzunehmen, dass durch die Verformung der weichen Vorbaustruktur oberhalb der Längsträger trotz starker Deformationen im Bereich der Insassenzelle kein ausreichender Verzögerungspuls erreicht wird. Der Airbag zündet entweder überhaupt nicht oder zu spät. Mit Hilfe einer Reihe von Crash-Tests mit Längsträgerüberfahung soll die Gültigkeit dieser Annahmen überprüft werden.

Eine weitere Zielsetzung dieser Versuche ist es, ein geeignetes Testverfahren zur Beurteilung und Optimierung des Airbag-Timings bei Unterfahrkollisionen zu entwickeln.

5.4.1 Verlauf der Airbagentfaltung in einem Euro-NCAP-Front-Crash

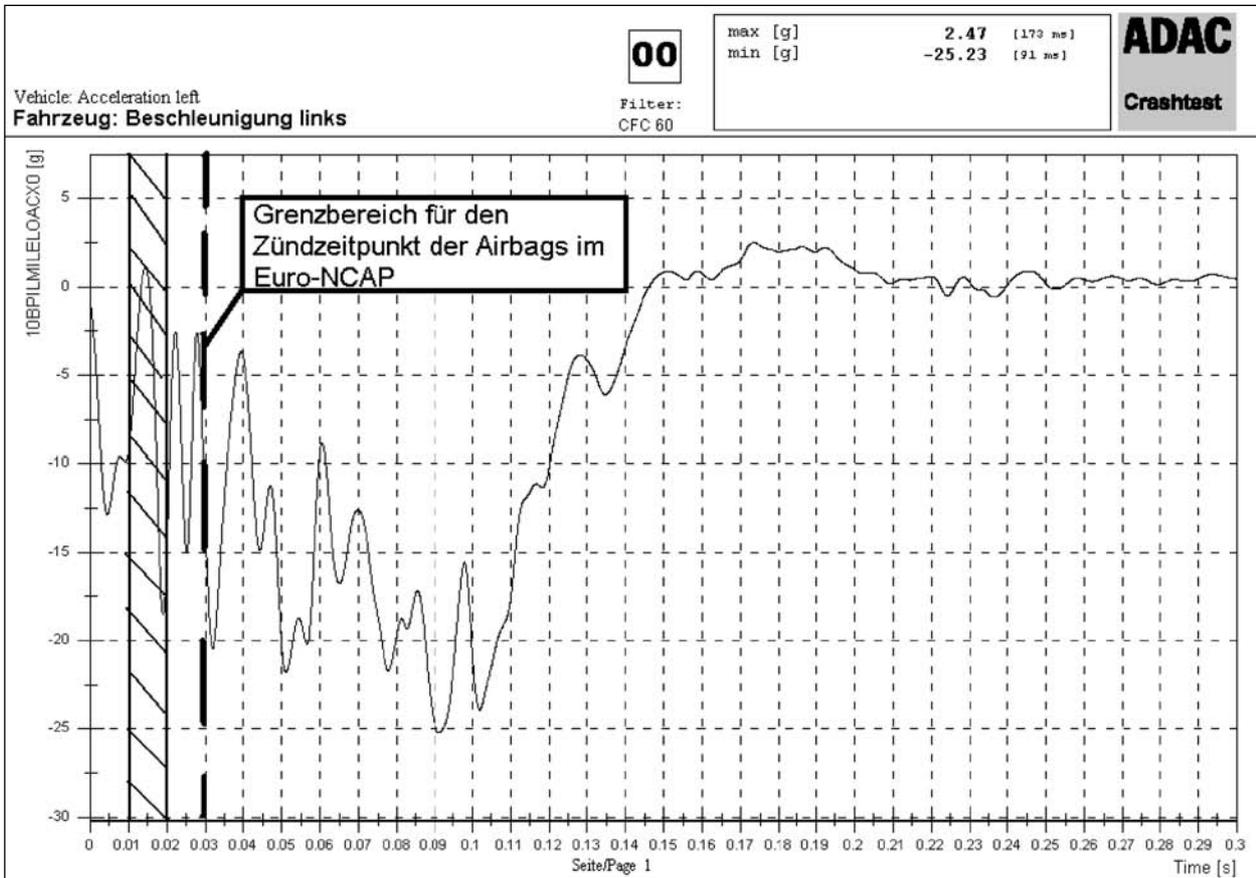


Bild 5-4: Typische Verzögerungskurve aus einem Front-Crash nach Euro-NCAP

	Euro NCAP Front (Referenztest)	Frontales Unterfahren (Vortest)					
Fahrzeug Modell	Skoda Octavia	VW Golf II	VW Golf III	VW Golf II	VW Golf III	VW Golf II	VW Golf III
Überdeckung	40 %	100 %	100 %	40 %	40 %	40 %	40 %
Airbag vorhanden	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja
Aufprallhindernis	Barriere	Lkw Unterfahrschutz*					
Aufprallgeschwindigkeit	64 km/h	45 km/h	50 km/h	40 km/h	40 km/h	50 km/h	50 km/h
Puls ausreichend für Airbagauslösung		ja		nein		ja	
Airbagauslösung	ja		ja		nein		ja
Auslösezeitpunkt nach Aufprall	17 ms		48 ms				80 ms
Max. Airbagentfaltung nach Aufprall	47 ms		78 ms				111 ms
1. Kopfkontakt mit Airbag nach Aufprall	67 ms		73 ms				90 ms
Abstand Kopfairbag bei max. Airbagentfaltung	100 mm		0 mm				-50 mm
Kopfkontakt mit Lenkrad	nein	ja	nein	ja	ja	ja	nein
Statische Frontdeformation	vor A-Säule	500 mm Richtung A-Säule	550 mm Richtung A-Säule	940 mm Richtung A-Säule	598 mm Richtung A-Säule	1.245 mm Richtung B-Säule	753 mm Richtung B-Säule
Beurteilung des Airbagtimings	+		-		-		-

* idealisierter Unterfahrschutz

Tab. 5-5: Durchgeführte Crash-Tests

Bei der Untersuchung der durchgeführten Crash-Tests (Tabelle 5-5) wurde immer der aktuelle Euro-NCAP-Front-Crash als Maßstab für die Bewertung des Airbagverhaltens herangezogen, weil man davon ausgehen kann, dass ein großer Teil der Hersteller seine Airbagsysteme dahingehend optimiert. Die Entscheidung, wann ein Airbag ausgelöst wird, ist sehr komplex; im Wesentlichen ist sie jedoch von der Verzögerung des Fahrzeuges und dem Geschwindigkeitsabbau über der Zeit abhängig.

Bei den durchgeführten Tests wurde das Verhalten des Dummies und der Ablauf der Airbagentfaltung auf der Zeitachse festgehalten und mit dem Euro-NCAP verglichen. Dabei sind folgende markante Punkte von Bedeutung.

Die Auslöseschwelle für die Zündung des Airbag wird bei einem Euro-NCAP-Front-Crash ca. 10 bis max. 30 ms nach dem Beginn der Kollision überschritten (Bild 5-4). Abhängig von Fahrzeugstruktur und Unfallgegner wird das Signal für die Zündung des Airbags nach kurzer Berechnungszeit (parallele Funktionsprüfung des Sensors) freigeschaltet.

Die vollständige Entfaltung des Airbags ist in einem Zeitraum von ca. 20–30 ms nach Erreichen der Auslöseschwelle (Bild 5-5) abgeschlossen, und der Airbag kann seine optimale Schutzfunktion für den Insassen bereitstellen.

Durch den am Fahrzeug anliegenden Verzögerungspuls beginnt der Dummy, eine Vorverlagerung relativ zum Fahrzeug zu absolvieren. Das Maß dieser Vorverlagerung des Dummies wird mit Hilfe einer Simulation (als Vergleich dient 5-Inch-Regel) an dem speziellen Fahrzeug bestimmt und das Airbag-Timing darauf abgeglichen. Ziel dieser Anpassung ist es, dass der Airbag genügend Zeit hat, sich optimal vor dem Insassen zu entfalten.



Bild 5-5: Vollständige Airbagentfaltung nach ca. 20–30 ms

Im Idealfall vergehen, je nach Steifigkeit der Karoseriestructur, bei einem Euro-NCAP-Front-Crash einige Millisekunden bis der Dummy (50%-Mann) auf den aufgeblasenen Airbag trifft (Bild 5-6).

Bei einem gut abgestimmten Airbagsystem wird der Airbag bereits vor dem Beginn der Relativbewegung des Dummies gezündet (Bild 5-7). Das heißt, durch die Trägheit des Dummies beginnt dessen Relativbewegung verzögert.



Bild 5-6: Erstkontakt mit dem Airbag



Bild 5-7: Airbag wird gezündet, Dummy bewegt sich nicht



Bild 5-8: Beginn der Vorverlagerung des Dummies ca. 15 ms nach der Zündung des Airbags

Diese Verzögerung ist im Airbag-Timing kalkuliert und gewährleistet so den optimalen Zeitraum zur Airbagentfaltung (Bild 5-8). Dieser Zeitraum enthält in gewisser Weise eine Sicherheit, sodass auch kleine Personen mit geringerem Abstand zum Lenkrad noch gut vom Airbag geschützt werden.

Das optimale Airbag-Timing zu erreichen ist von großer Bedeutung, da sonst der Zeitraum zwischen Airbagzündung und Vorverlagerung des Dummys negativ verändert wird und der Insasse vom Airbag angeschossen werden kann (Spätauslösung) oder sich der Airbag bereits entlüftet, bevor der Insasse auf ihn aufschlägt (Frühauslösung).

5.4.2 Untersuchung zur Überfahung der Längsträger eines Pkw bei 100 % Überdeckung und einer Kollisionsgeschwindigkeit von 50 km/h (Höhe des Lkw-Unterfahrerschutzes 550 mm nach Norm)

Die Untersuchungen des GDV (siehe Kapitel 4.4.3) belegen, dass das Unterfahren von Lkw meist zu schweren Unfällen mit einem hohen Verletzungsrisiko führt, insbesondere wenn kein Airbagschutz vorhanden ist (Bild 5-9).

5.4.2.1 Versuchsaufbau

Um den Idealfall zu simulieren und homogene Versuchsbedingungen zu schaffen, wurde eine starre Barriere (Best Case) verwendet, womit die Unterfahung aus dem Realfall nachgestellt werden sollte. Der Aufbau dieser starren Barriere (Bild 5-10) entspricht in den Abmessungen den geltenden Normen für Unterfahrerschutzsysteme 70/221/EWG. Die Steifigkeit der Unterfahrerschutzeinrichtung in diesem Versuchsaufbau liegt aber wesentlich über den gebräuchlichen Systemen.

Zur Untersuchung des Airbagverhaltens am Pkw konnten keine originalen Unterfahrerschutzsysteme verwendet werden, da diese keine optimalen Bedingungen für die Airbagauslösung des Pkw bieten.

5.4.2.2 Ergebnisse der Crash-Tests

Bei diesem Test betrug die Testgeschwindigkeit 50 km/h. Das Steuergerät hat den Airbag nach ca. 40 ms gezündet, wodurch dieser den Dummy vor hohen Belastungen (Bild 5-11) schützen konnte. Die Messwerte des Dummys blieben für Kopf und Hals unterhalb der biomechanischen Grenzwerte.

Die Brust eindrückung liegt allerdings mit 37,65 mm bereits im kritischen Bereich.

Bei diesem speziellen Unfallhergang übernimmt der Airbag die wichtige Aufgabe, den Lenkradkontakt zu vermeiden und den Insassen vor Eindringungen in die Fahrgastzelle zu schützen.



Bild 5-9: Unterfahung eines Lkw ohne Auslösung des Airbags und schweren Verletzungen des Fahrers



Bild 5-10: Idealisiertes Lkw-Heckunterfahrerschutzsystem (Abmessungen nach 70/221/EWG)



Bild 5-11: Airbagschutz trotz Unterfahung

Das beweist das Ergebnis aus einem Vortest mit einem Golf II. Bei diesem Test kam es zu einem harten Kontakt des Dummys mit dem Lenkrad (Bild 5-12). Man kann diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer Struktur und Rückhaltesysteme (Golf II ohne Gurtstraffer und Airbag) zwar nicht direkt vergleichen, jedoch ist der Bewegungsablauf der Dummys ähnlich und könnte den „Worst Case“ darstellen.

Zum Zeitpunkt der vollständigen Entfaltung des Airbags ist deutlich zu erkennen, dass der Dummy bereits weit in Vorlage gegangen ist (Bild 5-11).

Der Vergleich dieses Versuchs mit einem Euro-NCAP-Front-Crash in Bezug auf den Zeitraum zwi-



Bild 5-12: Lenkradkontakt im Vortest (Golf II)

schen Airbagzündung und Vorverlagerung des Dummys zeigt, dass sich bei diesem Test bereits Verschiebungen im Airbag-Timing darstellen.

Das kommt dadurch zustande, dass der Dummy zum Zeitpunkt der Airbagzündung durch die verspätete Airbagauslösung bereits in Vorlage gegangen ist. Somit ist der nötige Abstand zwischen Airbag und Dummy zum Zeitpunkt der maximalen Entfaltung des Airbags dezimiert.

Wenn man bedenkt, dass es sich hier um einen idealisierten Versuch handelt, kann man folgende Zusammenhänge zum realen Unfallgeschehen ableiten:

- Die Auslösung des Airbags ist im Vergleich zu einem Euro-NCAP-Front-Crash um ca. 20 ms (Bild 5-13) nach hinten verschoben (Spätauslösung). Die Verschiebung kommt dadurch zustande, dass durch die Überfahung der Längsträger erst am Motor und den Federdomen eine entsprechend starke Verzögerung verursacht wird, die ausreicht, um die Auslösung des Airbags zu erzeugen.
- Im Realfall wird der Auslösezeitpunkt mit hoher Wahrscheinlichkeit noch weiter nach hinten verschoben, da der Unterfahrschutz nachgibt (BÄUMLER & LANGWIEDER, 1996) und somit der Verzögerungspuls noch mehr abgeschwächt wird.

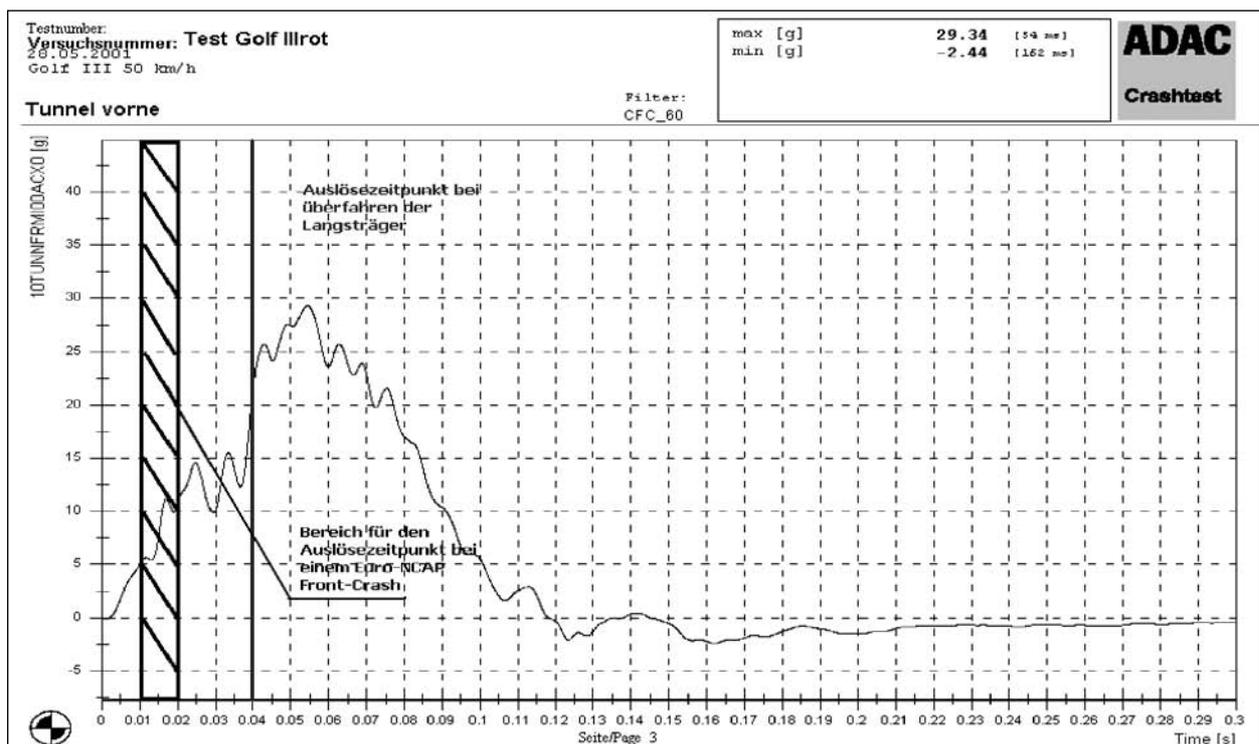


Bild 5-13: Verspätete Auslösung (Längsträgerüberfahung)

- In diesem Test ist bereits zu erkennen, dass es zu Verschiebungen im Airbag-Timing kommt und der Insasse bereits leicht vom Airbag angesprochen wird (Bild 5-14).
- Kleine Personen sind am meisten gefährdet, da sie in der Regel eine nahe Sitzposition zum Lenkrad einnehmen müssen. Der Zeitraum, in dem sich der Airbag entfalten kann, ist dadurch verkürzt.
- In diesem Test ist zu sehen, dass bei einem stabilen Unterfahrschutzsystem eine noch ausreichende Schutzwirkung durch den Airbag (Bild 5-15) gewährleistet werden kann. Die am Dummy gemessenen Werte für die Belastung des Kopfes blieben unterhalb der kritischen Grenzen, und auch die erhöhte Belastung der Brust ist im Vergleich zu einem Euro-NCAP-Front-Crash noch normal.
- Im Realunfall kann es bedingt durch höhere und labilere Lkw-Unterfahrschutzsysteme dazu kommen, dass der Airbag nicht ausgelöst wird,



Bild 5-14: Verspätete Auslösung des Airbags



Bild 5-15: Noch gute Funktion des Airbagsystems bei starrem Unterfahrschutz (Höhe nach 70/221/EWG 550 mm)

denn ein abknickender Unterfahrschutz absorbiert Energie und führt zu einer Abschwächung des Verzögerungspulses beim Pkw.

5.4.2.3 Forderungen

Es konnte bei diesem Versuch festgestellt werden, dass bei optimalen Randbedingungen das Airbagsystem in der Lage ist, auch bei Überfahung der Längsträger noch guten Schutz für den Insassen zu bieten.

Die verspätete Auslösung der Airbags stellt in diesem Test ebenfalls noch kein Problem dar. Es ist jedoch zu erkennen, dass durch zahlreiche Einflüsse, die in der Realität auftreten, eine korrekte Airbagauslösung nicht gewährleistet ist.

Durch die speziell bei dieser Art von Unfällen auftretende Unsicherheit im Airbagsystem sind besonders die Personen gefährdet, die eine nahe Sitzposition zum Lenkrad einnehmen müssen.

In diesem Test ist deutlich zu erkennen, dass ein stabiler Unterfahrschutz die Grundlage für einen guten Schutz des Insassen darstellt. Um die Airbagauslösung des Pkw zuverlässiger zu gestalten und somit das Verletzungsrisiko für den Insassen zu senken, ist eine zusätzliche Sensorik notwendig.

5.4.3 Untersuchung zur Überfahung der Längsträger eines Pkw bei 40 % Überdeckung und einer Kollisionsgeschwindigkeit von 40 km/h (Höhe des Unterfahrschutzes 650 mm)

Bild 5-16 zeigt ein Beispiel aus dem realen Unfallgeschehen, bei dem der Längsträger eines Pkw einseitig überfahren wurde (ca. 40 % Überde-



Bild 5-16: Kollision mit ca. 40 % Überdeckung und schweren Verletzungen des Beifahrers

ckung). Das Fahrzeug war nicht mit einem Airbag ausgestattet, wodurch der Fahrer schwere Verletzungen durch den Kontakt mit dem Lenkrad erlitt.

5.4.3.1 Versuchsaufbau

Um homogene Versuchsbedingungen zu erreichen, kam bei diesem Test wieder eine starre Barriere zum Einsatz (Best Case).

Diese Barriere wurde mit einer 40%igen Überdeckung zum Fahrzeug auf einer Höhe von 650 mm angebracht. Nach den neuesten Untersuchungen des GDV [PADBERG, 2001] ist diese Höhe des Unterfahrschutzes eine häufig vorkommende Konstellation bei derartigen Realunfällen.

Die Barriere soll Hindernisse wie bei Front-, Seiten- oder Heckkollisionen gegen Nutzfahrzeuge und Geländewagen simulieren (Bild 5-17).

5.4.3.2 Ergebnis

Die Aufprallgeschwindigkeit des Fahrzeuges bei diesem Test lag mit 40 km/h in einem Bereich, in dem diese Art von Unfällen in der Realität häufig passieren. Die Fahrzeugdeformation war erheblich, da das Hindernis ca. 60 cm in den Fahrzeugvorbau eindrang, und das Airbagsystem löste den Airbag nicht aus. Die Schutzfunktion vom Gurt reichte bei diesem Versuch gerade noch aus, um höhere Belastungen des Dummys zu verhindern (Bild 5-18).

Dieser Versuch zeigt deutlich einen Grenzfall der Airbagauslösung auf, da sich der Dummy sehr weit vorverlagerte und bereits leichten Kontakt mit dem Lenkrad hatte (Bild 5-19).

Starke Beschädigungen oberhalb des Längsträgers am Fahrzeug und ein starkes Unterfahren sowie ein langer Verzögerungspuls weit unterhalb der Auslöseschwelle (Bild 5-20) waren die typischen Merkmale dieses Tests.

Während es in einem Vortest mit einem Golf II ohne Airbag (Bild 5-21) zu einem deutlichen Lenkradkontakt kam, blieben die Belastungen für den Dummy bei diesem Test (Golf III; Airbag nicht ausgelöst) gering.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Testkonfiguration von Sitzposition und Dummygröße (50%-Mann) einen noch günstigen Fall darstellt, können folgende Zusammenhänge für das reale Unfallgeschehen abgeleitet werden:

- Bei starker Deformation, insbesondere bei Intrusion der Insassenzelle, ist der Airbagschutz für den Insassen unbedingt erforderlich. In Bild 5-21 ist zu erkennen, dass bei einem Fahrzeug mit weniger steifer Karosserie (Golf II) und gleichen Versuchsbedingungen eine deutlich höhere Deformation stattfindet und auch die Belastungen für den Insassen deutlich ansteigen. Wenn ein Neufahrzeug mit einem schlecht abgestimmten Airbagsystem (wie in Kap. 5.3) diesen Versuch absolvieren müsste, so käme es zu noch höheren Belastungen des Insassen durch Fehler im Airbagtiming, oder der Airbag würde sogar nicht auslösen.
- Kleine Personen sind wegen der meist nahen Sitzposition zum Lenkrad besonders gefährdet, wenn der Airbag nicht oder zu spät aktiviert

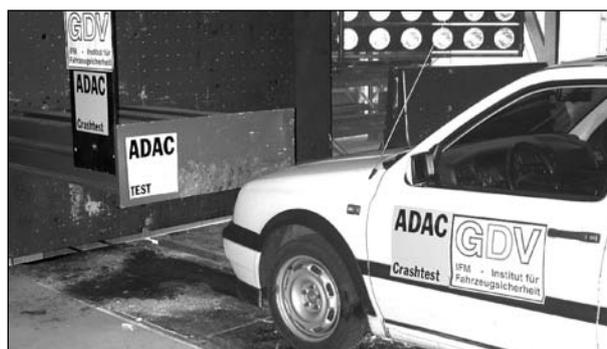


Bild 5-17: Versuchsaufbau Unterfahrung mit 40 % Überdeckung und 650 mm Überfahrhöhe sowie eingefedertem Fahrzeug



Bild 5-18: Keine Auslösung des Airbags bei 40 km/h und 40 % Überdeckung



Bild 5-19: Leichter Lenkradkontakt; Airbag löste nicht aus



Bild 5-20: Langer Verzögerungspuls



Bild 5-21: Heftiger Lenkradkontakt im Vortest (Golf II)

wird. Untersuchungen des Department of Transportation in Kanada zeigen, dass es schon bei normalen Offset-Crashes zu Problemen im Zusammenhang mit der Insassengröße und der Airbagentfaltung kommen kann [Department of Transportation, 2000].

- Auch bei diesem Test wird deutlich, dass ein stabiles Unterfahrtschutzsystem am Lkw grundlegende Voraussetzung ist, um dem Insassen des auffahrenden Pkw überhaupt eine Airbag-Schutzwirkung zu bieten. Der in der Realität abknickende Unterfahrtschutz bewirkt, dass auch

bei höheren Kollisionsgeschwindigkeiten entweder kein Airbag gezündet oder nicht zeitoptimal ausgelöst wird.

5.4.3.3 Forderungen

Zusätzlich zur Zentralsensorik muss eine zusätzliche Sensorik am Fahrzeug frühzeitig eine derartig starke Beschädigung oberhalb der Längsträger erfassen und den Airbag auch ohne direkte Beteiligung des Längsträgers, möglichst in Abhängigkeit der Sitzposition des Fahrers (z. B. Erkennung der Sitzlängsverstellung), zünden.

5.4.4 Untersuchung zur Überfahung der Längsträger eines Pkw mit 40 % Überdeckung und einer Kollisionsgeschwindigkeit von 50 km/h (Höhe des Unterfahrtschutzes 650 mm)

Diesem Versuch sind die gleichen Versuchsbedingungen zugrunde gelegt wie in dem unter Abschnitt 5.4.3 beschriebenen Test.

5.4.4.1 Versuchsaufbau

Diesem Versuch diente ebenfalls eine starre Barriere (Best Case), um die Unterfahung eines Lkw nachzustellen. Die Kollisionsgeschwindigkeit ist im

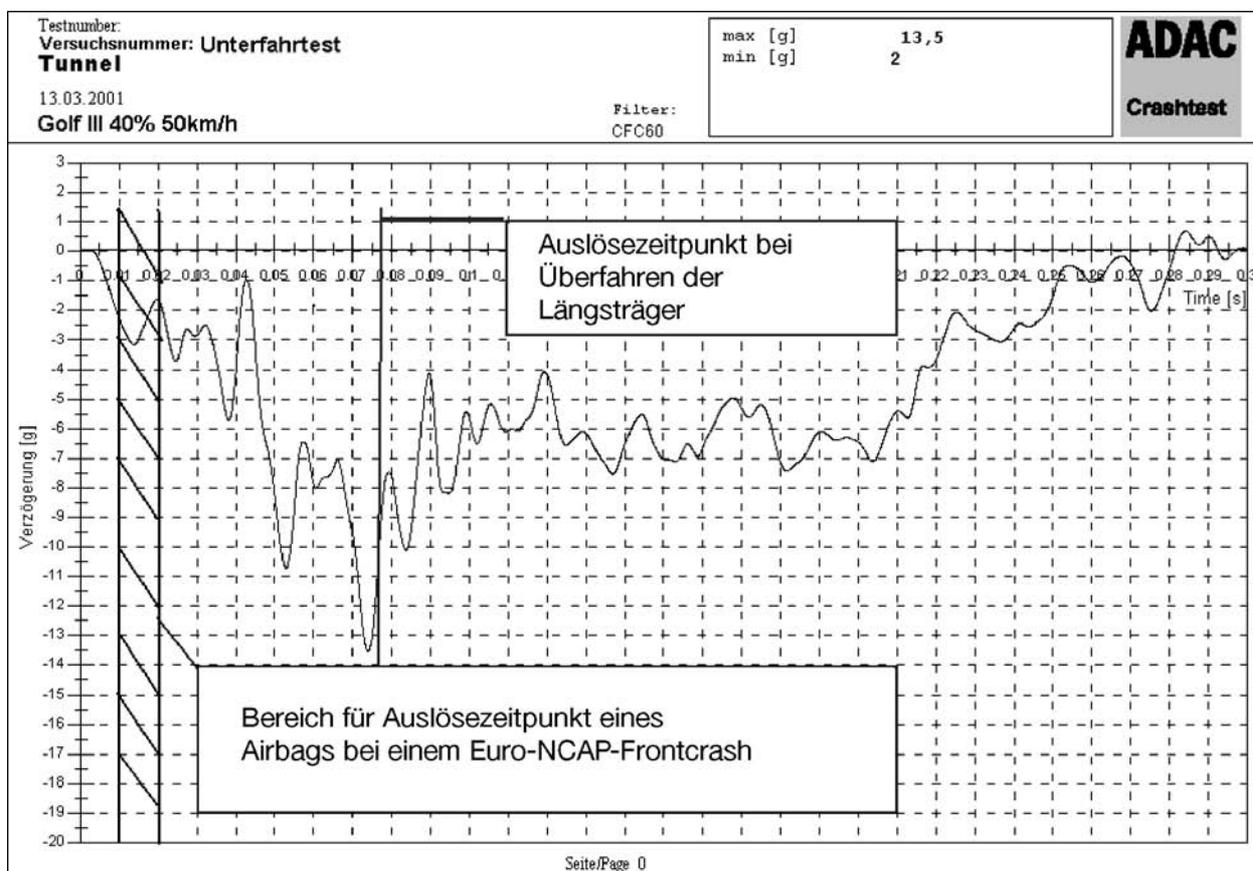


Bild 5-22: Verzögerungspuls mit kurzzeitigem Anstieg oberhalb der Auslöseschwelle



Bild 5-23: Airbagauslösung nach 80 ms (40 % Überdeckung, 50 km/h)



Bild 5-24: Starkes Unterfahren

Vergleich zum vorangegangenen Test 10 km/h höher und lag somit bei 50 km/h.

5.4.4.2 Ergebnis

Bei diesem Test löste das Airbagsystem des Golf III, im Vergleich zu einem Front-Crash nach Euro-NCAP, extrem spät aus (80 ms; bei Euro-NCAP max. 30 ms, siehe Bild 5-4).

Die Deformationszone oberhalb der Längsträger des Fahrzeuges wurde fast vollständig aufge-

braucht (Bild 5-23), und infolge der starken Unterfahrt (Bild 5-24) ist das Hindernis bereits an der Insassenzelle angelangt, als der Airbag gezündet wurde. Auch bei diesem Versuch war ein sehr lang anhaltender Verzögerungspuls zu erkennen. Der erste auftretende Spitzenwert (im Bereich der Auslöseschwelle) hatte nur einen geringen Anstieg und war von kurzer Dauer (50 ms/10 g, siehe Bild 5-22).

Auch bei diesem idealisierten Test konnten Zusammenhänge zum realen Unfallgeschehen abgeleitet werden:



Bild 5-25: Dummy wird vom Airbag angeschossen

- Bedenkt man, dass dieser kurze Verzögerungspuls durch einen weicheren Unfallgegner absorbiert werden könnte, kann man davon ausgehen, dass der Airbag im Realfall zu spät oder eventuell gar nicht ausgelöst wird. Außerdem ist festzuhalten, dass sich hier das Airbag-timing im Vergleich zu Euro-NCAP-Tests noch stärker verschoben hat. Das heißt, auch bei diesem Test ist zu sehen, dass der Dummy von Beginn des Crashes an sich in Vorlage begeben. Dadurch reicht die Zeitspanne, die der Airbag benötigt, um sich voll zu entfalten, nicht mehr aus, und der Dummy wird bereits vom Airbag angeschossen (Bild 5-25). Im schlechtesten Fall kann es dadurch zu schweren Verletzungen im Kopf-Halsbereich kommen, was durch das eindringende Armaturenbrett, wie in diesem Test zu sehen, noch begünstigt werden kann.
- Dadurch, dass sich der Airbag gerade noch zwischen Lenkrad und Dummy zwängen kann, werden auch bei diesem Versuch keine höheren Belastungen registriert. Es kann jedoch nicht von einer optimalen Schutzwirkung des Airbags ausgegangen werden, da der Sack sehr instabil ist und es dadurch auch zum Durchschlagen des Airbags kommen kann (Bild 5-26).
- Kleine Personen mit naher Sitzposition zum Lenkrad sind sehr stark gefährdet, da sie entweder vom Airbag angeschossen werden oder durch den Kontakt mit dem Lenkrad gefährdet werden.
- Auch in diesem Test war ein sehr lange anhaltender Verzögerungspuls zu erkennen. Der erste auftretende Spitzenwert (Auslöseschwelle) hatte nur einen geringen Anstieg und war



Bild 5-26: Tiefes Eintauchen in den Airbag

von kurzer Dauer. Dieser kurze Anstieg kann im Realfall vom Unfallgegner oder einem kollabierenden Unterfahrschutzsystem absorbiert werden. Das könnte im schlechtesten Fall dazu führen, dass der Airbag nicht ausgelöst wird oder das Airbag-Timing sehr ungünstig ist.

5.4.4.3 Forderungen

- Dieser Test zeigt auf, dass es bei einem derartigen Unfall notwendig ist, die Airbags früher zu zünden, um den Insassen optimal zu schützen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit stößt die heutige Sensorik bei dieser Unfallkonstellation an ihre Grenzen. Somit wird die Forderung nach zusätzlichen Sensoren am Fahrzeug, die frühzeitig eine derartig starke Beschädigung erfassen und den Airbag auch ohne Beteiligung des Längsträgers zünden können, nochmals verstärkt.
- Es muss gewährleistet werden, dass auch bei dieser Art von Unfällen ein ausreichender Zeitraum für die Airbagentfaltung vorhanden ist, sodass auch vor allem kleinere Personen keinem erhöhten Verletzungsrisiko ausgesetzt sind.

5.5 Vergleich eines Front-Offset-Tests nach Euro-NCAP mit Front-Offset-Tests mit Unterfahring

Um den Ablauf des Auslösevorgangs eines Airbagsystems zu verdeutlichen, wurden die Verzögerungskurven eines Euro-NCAP-Tests und die eines Unterfahringtests miteinander verglichen (Bild 5-27).

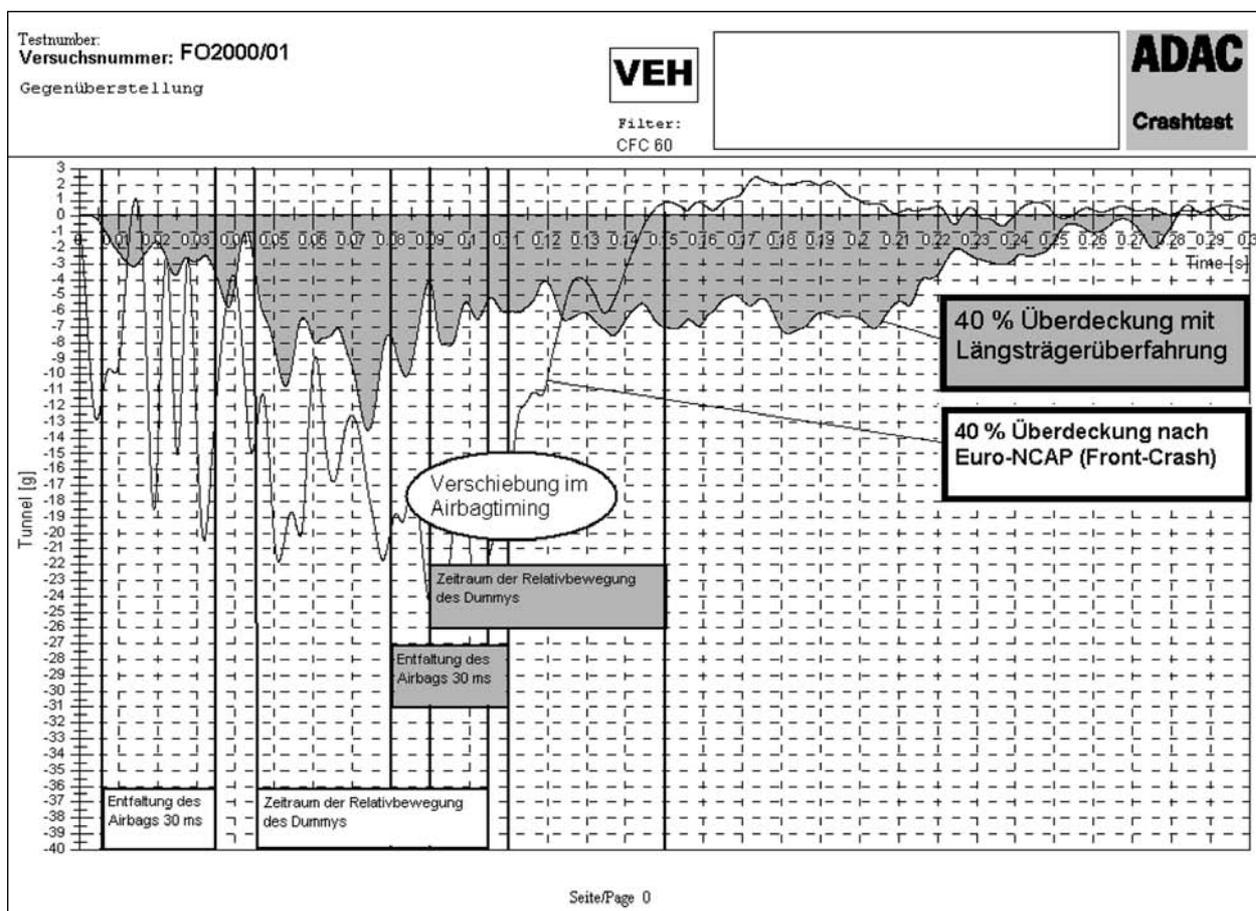


Bild 5-27: Vergleich der Verzögerungskurven eines Euro-NCAP-Front-Crashes mit einer Lkw-Unterfahung

Die Auswertungen der Videosequenzen zeigen, dass in keinem Unterfahrtest ein optimales Airbag-Timing (Vorverlagerung und Airbagauslösung) erreicht wurde. Der Ablauf eines Crashes nach Auslösung des Airbags funktioniert im Wesentlichen immer gleich. Nachdem die Auslösentscheidung getroffen ist, wird der Airbag gezündet und entfaltet sich in einer Zeitspanne von ca. 30 ms. Dabei werden Pulsspitzen des Verzögerungsverlaufs, die geringfügig unter der Auslöseschwelle liegen, vom Steuergerät nicht berücksichtigt. Diese Pulsspitzen verursachen jedoch bereits eine Vorverlagerung des Insassen.

Nach der Erteilung des Zündbefehls durch das Steuergerät wird davon ausgegangen, dass sich der Insasse bedingt durch die Verzögerung in einem ganz bestimmten Maß nach vorne verlagert (5-Inch-Regel).

Diese Regel besagt, dass sich der Insasse nach Erreichen der Auslöseschwelle 12 cm nach vorne verlagert und das Airbag-Timing darauf abgestimmt wird.

Das bedeutet, dass der Airbag im Zeitraum der Vorverlagerung des Insassen vollständig vor diesem aufgeblasen sein muss.

Die Versuche dieses Forschungsprojektes haben jedoch deutlich gezeigt, dass durch den im Vorfeld lange Zeit anliegenden Verzögerungspuls und die damit verbundene Vorverlagerung des Insassen (Bild 5-28) das Airbag-Timing ungünstig beeinflusst wird. Im Euro-NCAP-Crash überwindet der Dummy zuerst seine eigene Trägheit, bevor er sich nach vorne verlagert. Dieser Zeitraum ist im Airbagtiming einkalkuliert. In den Crash-Tests mit Überfahung der Längsträger fällt dieser Zeitraum jedoch weg, da der Dummy seine Trägheit durch den länger anliegenden Verzögerungspuls bereits im Vorfeld der Airbagzündung überwunden hat (Bild 5-28). Somit verkürzt sich die Zeit, in der sich der Airbag entfalten kann.

Mit zunehmender Kollisionsgeschwindigkeit verstärkt sich sogar dieser Effekt.

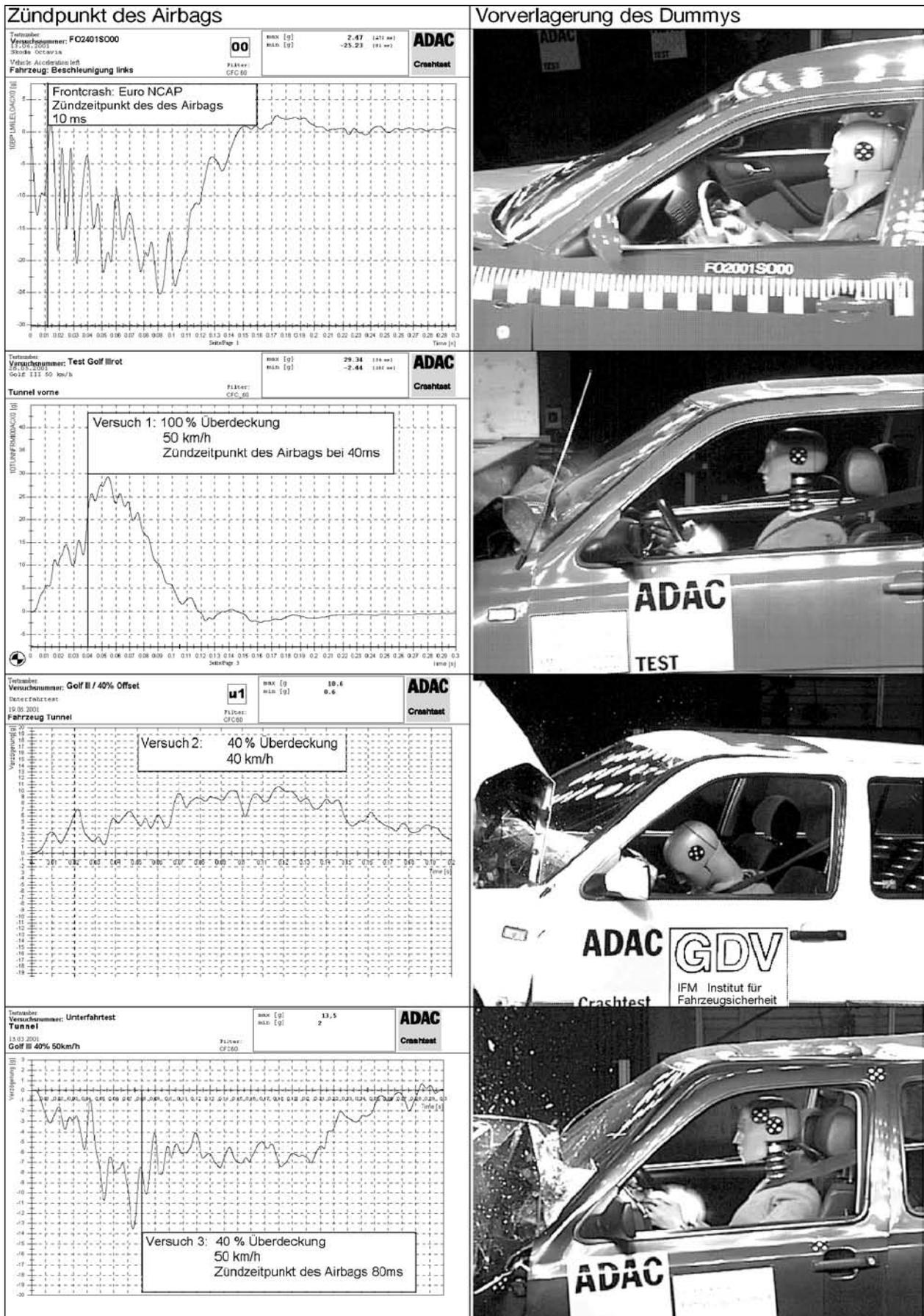


Bild 5-28: Airbagzündung und Vorverlagerung im Vergleich

6 Vorschläge für verbesserte und zukünftige Airbag-Systeme

Anhand der in Kapitel 4.4 „Beschreibung und Diskussion der Problemfälle“ sowie der im Kapitel 5 „Maßnahmen zur Beseitigung bzw. Vermeidung von Problemfällen“ aufgedeckten Ursachen der Probleme mit Airbags sind nachfolgend Vorschläge für die Weiterentwicklung der Airbag-Technologie beschrieben.

6.1 Maßnahmen zur Reduzierung von Verletzungen durch den Airbag

Die durchweg positiven Erfahrungen mit Airbags werden jedoch durch vereinzelte Fälle getrübt, bei denen es vor allem bei Unfällen mit geringerer Schwere zu airbaginduzierten Verletzungen wie z. B. leichten Verbrennungen, Handverletzungen beim Beifahrer, Gehörbeeinträchtigungen usw. kam.

Zum einen könnten diese Verletzungen durch eine individuell angepasste Auslöseschwelle und zum anderen aber auch durch „smarte Systeme“ verhindert bzw. reduziert werden. Folgende Punkte sind hierbei zu berücksichtigen:

- Die Entlüftungsöffnungen von Airbagsystemen müssen generell so positioniert sein, dass beim Ausströmen des Gases auf keinen Fall menschliche Körperteile direkt beaufschlagt sind. Vorzugsweise sollte das ausströmende Gas nach vorne oder in eine gekapselte Lenksäule geleitet werden.
- Zur Reduzierung der Verbrennungsverletzungen ist es nötig, die Temperatur des Verbrennungsgases zu reduzieren oder so genannte Hybrid-Generator einzusetzen.
- Die Austrittsöffnung des Beifahrerfrontairbags sollte so gestaltet sein, dass auf keinen Fall Verletzungen an den Händen bei einer Abstützreaktion entstehen können (kein front-mounting). Vorzugsweise sollten Konstruktionen zum Einsatz kommen, bei denen die Airbag-Abdeckung im oberen Bereich des Armaturenbretts liegt.
- Eine Reduzierung der Verletzungen in Folge einer nahen Sitzposition zum Airbag kann nur dadurch gewährleistet werden, dass eine so genannte Out-of-Position-Erkennung eingesetzt wird, die entsprechend die Airbag-Auslösung steuert. Entscheidend hierbei ist, dass vor allem die Sitzposition des Fahrers (Sitzlängsverstellung) erfasst wird.

- Da für Kinder – gesichert in rückwärts gerichteten Kindersitzen auf dem Beifahrersitz – eine Airbag-Auslösung ein erhebliches Verletzungsrisiko darstellt, sollte der Beifahrer-Airbag mit Hilfe eines automatischen Erkennungssystems zuverlässig deaktiviert werden. Damit es aber hierbei zu keiner Fehlbedienungen kommt, ist ein System gefordert, das alle Kindersitze erkennt und nicht nur, wie zur Zeit herstellerspezifisch ausgelegt ist.
- Im vorliegenden Unfallmaterial wird deutlich, dass in vielen Fällen der Beifahrer-Airbag auslöste, obwohl der Beifahrerplatz unbesetzt war. Da in diesen Fällen eine höhere Belastung durch die Airbag-Auslösung (z. B. Geräuschbeeinträchtigung) nicht ausgeschlossen werden kann, sollten unbedingt Systeme zur Sitzbelegungserkennung eingesetzt werden.
- Die Schutzwirkung eines Airbags kann vor allem dadurch optimiert werden, indem die Airbag-Auslösung entsprechend der Unfallschwere gesteuert wird. Vor allem bei Unfällen mit geringer Schwere muss verhindert werden, dass Verletzungen bedingt durch die Airbag-Auslösung in den Vordergrund treten. Aus diesem Grund sind Airbag-Systeme gefordert, die eine angepasste Auslösung gewährleisten (z. B. mehrstufig).

6.2 Maßnahmen zur besseren Unfallschwere-Erfassung und adaptiven Airbag-Steuerung

Die Erkenntnisse aus diesem Projekt zeigen auf, dass es in Einzelfällen zu Airbagfrüh- bzw. -fehlauslösungen kommt. Da künftig so weit wie möglich diese Fälle ausgeschlossen werden müssen, liegt es nahe, die Unfallerkennung zu verbessern. Neben der exakten Analyse von entsprechenden Realunfällen durch den Hersteller sollten vor allem Mehrsensortechniken verstärkt eingesetzt werden, da nur dadurch eine exakte Interpretation eines Unfalles möglich ist (Problem: Schwingungsübertragung in Fahrzeugkarosserie). Folgende technische Möglichkeiten bieten sich an.

6.2.1 Unfallschwere-Erfassung durch Mehrsensortechnik (Up-Front-Sensorik)

Aus der Analyse der Realunfälle und auch aus den durchgeführten Aufpralltests wird deutlich, dass die heute am häufigsten verwendete Airbagtechnik mit Zentralsensorik bei gewissen Unfallkonstellationen

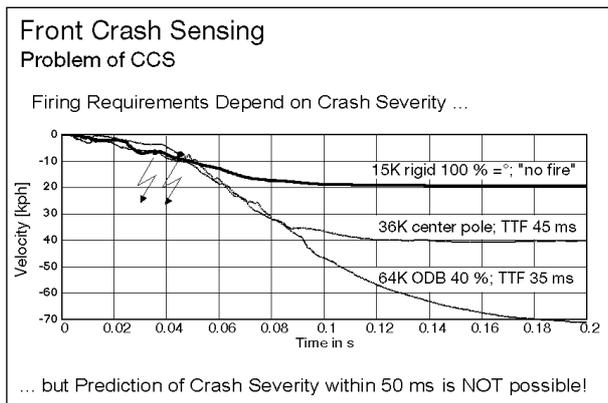


Bild 6-1: Typische Signalverläufe verschiedener Front-Crashes [VDI 09-99, Bosch]

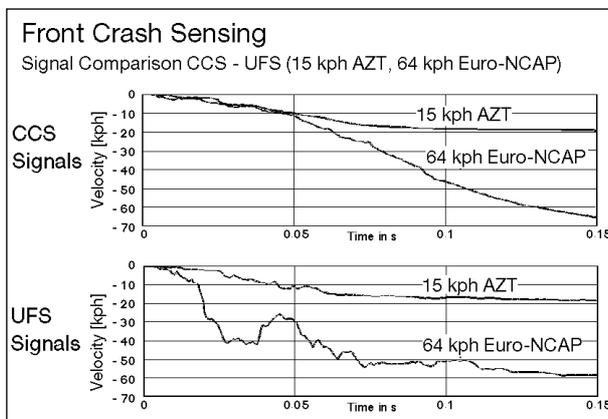


Bild 6-2: Vergleich von typischen Kurvenverläufen verschiedener Front-Crashes mit und ohne Up-Front-Sensorik, Präsentation VDI 09-99, Bosch

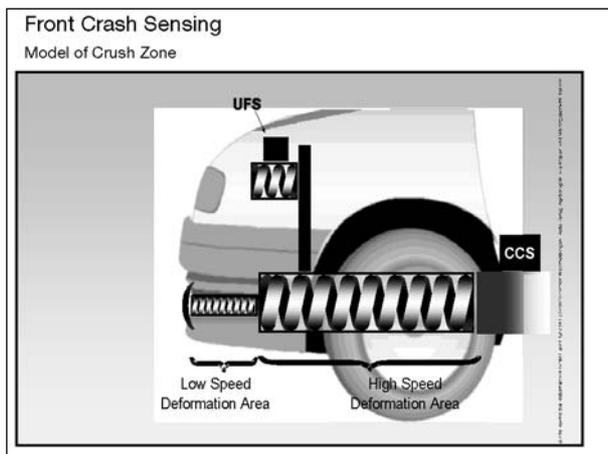


Bild 6-3: Up-Front-Sensorik oberhalb der Längsträger

tionen an ihre Grenzen stößt. Da die gemessenen Signale innerhalb der ersten 50 ms keine ausreichende Differenzierung der einzelnen Crash-Typen (Bild 6-1) zulassen, kann der optimale Zeitpunkt zur Airbagauslösung nur bei einem standardisierten Crash gefunden werden. Außerdem ist die Einführung der zweistufigen Airbagtechnik mit dieser Sensorik schwer möglich (LANG, 1999).

Die Anforderungen an den Auslösezeitpunkt von Airbags und Gurtstraffern werden in Front-Crashes von der Crash-Schwere abgeleitet. Die Crash-Schwere wird bestimmt aus der relativen Aufprallgeschwindigkeit v_{Close} und dem Crash-Typ. Der Crash-Typ drückt hier das Maß der Aggressivität des Hindernisses aus und umfasst einerseits die Crash-Konstellation (senkrecht, schräg, versetzt, zentrisch) und andererseits die Beschaffenheit des Hindernisses (Masse, Steifigkeit). Mit zunehmender Aggressivität des Hindernisses verringert sich die relative Aufprallgeschwindigkeit, bei der die erste bzw. zweite Airbagstufe für den angegurteten und nicht angegurteten Insassen ausgelöst werden muss (LANG, 1999).

Der optimale Auslösezeitpunkt für die jeweilige Airbagstufe ergibt sich unter Berücksichtigung der Aufblaszeit des Airbags und aus der Vorverlagerung der Insassen [MEHLER, 1999].

Mit Hilfe der zusätzlichen Beschleunigungssensoren bei dieser Technik ist es möglich, die Auslöseentscheidung genauer und auch früher zu bestimmen.

Das heißt, dass die im Steuergerät aufgenommen Signale, durch die Up-Front-Sensorik (Bild 6-2) eher differenziert werden können.

Somit soll es auch möglich sein, die Problematik des Airbag-Timings die in den durchgeführten Aufpralltests mit Längsträgerüberfahrung in Erscheinung trat, zu optimieren. Wenn der Up-Front-Sensor eine erhöhte Verzögerung wahrnimmt, wird das Steuergerät sensibilisiert, sodass die Auslöseschwelle entsprechend der Crash-Schwere besser angeglichen werden kann.

Durch die Erfassung der Deformation oberhalb der Längsträger des Fahrzeuges soll die Unsicherheit bei der Airbagauslösung von Fahrzeugen mit Zentralsensoren beseitigt werden (Bild 6-3).

6.2.2 Systeme zur frühzeitigen Detektierung von Fahrzeugüberschlägen

Die Auswertung in diesem Projekt verdeutlicht, dass bei einer relativ großen Anzahl von Unfällen mit Fahrzeugüberschlag die Airbagsysteme nicht aktiviert wurden. In vielen Fällen wäre jedoch ein entsprechender Schutz notwendig gewesen.

Die bisherigen Airbagsysteme weisen noch keine spezielle Sensierung für Überschläge auf und lösen nur dann aus, wenn durch einen relativ harten

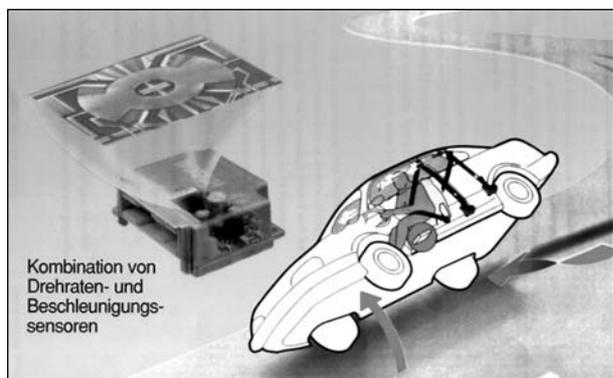


Bild 6-4: Rolloversensierung von Bosch

seitlichen Anstoß die Auslöseschwelle für die seitlichen Airbags erreicht wird.

Mit Hilfe eines Drehratensensors und zwei zusätzlichen Beschleunigungssensoren wurde von der Firma Bosch ein System entwickelt, dessen Konzept auf der Information dieser im zentralen Airbagsteuergerät (Bild 6-4) integrierten Sensoren basiert. Der Drehratensensor ermittelt nach dem Kreiselpinzip die Rotationsgeschwindigkeit um die Fahrzeuglängsachse; und Beschleunigungssensoren messen zusätzlich die Fahrzeugbeschleunigung in Quer- und Aufwärtsrichtung [Presseinformation Bosch, 8/00].

6.2.3 Adaptives Rückhaltesystem

Das adaptive Rückhaltesystem soll gewährleisten, dass die Airbag- und Gurtstrafferaktivierung individuell auf die Unfallschwere und die Insassenposition abgestimmt wird. In kürzester Zeit müssen hierzu die Aufprallintensität des Fahrzeuges, die Sitzposition von Fahrer und Beifahrer sowie die Benutzung der Sicherheitsgurte von dem System erfasst werden.

Dazu gehört als integrierter Bestandteil die Erkennung der Sitzbelegung.

Über Ultraschallsensoren, die in der A- und B-Säule sowie im Dach untergebracht sind, wird die aktuelle Position der Insassen ermittelt (Bild 6-5). Sobald sich der Beifahrer zu weit nach vorne verlagert, wird der Airbag abgeschaltet. Wenn der Beifahrer wieder außerhalb des kritischen Bereiches sitzt, ist der Airbag automatisch aktiv [Presseinformation Jaguar, 8/00]. Beim Fahrer wird die Sitzposition über die Sitzschiene erfasst. Mit diesem System soll das Risiko einer fehlerhaften Airbagauslösung reduziert und auch die Gefährdung kleiner Personen durch den Airbag abgestellt werden können.



Bild 6-5: Radarsensoren im Fahrzeug, um die Insassenpositionen zu erkennen, Presseinformation Jaguar

Ein alternatives System wurde von der Firma Siemens in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut entwickelt. Dabei handelt es sich um ein Gerät, welches mittels Laserimpulsen Informationen wie Abstand, Größe und Position des Insassen erkennen kann. Diese Informationen werden durch einen CMOS-Bildwandler erfasst und an das Steuergerät weitergegeben. Sobald der Insasse eine ungünstige Position zum Airbag hat, wird die Airbagentfaltung angemessen gesteuert (RÖTHLEIN, 2001).

Da bei den durchgeführten Aufpralltests ebenfalls deutlich wurde, dass die Position der Insassen vor dem Airbag eine ganz wesentliche Auswirkung auf die Wirkung des Airbagsystems hat, besteht grundsätzlich die Forderung nach adaptiven Rückhaltesystemen.

6.2.4 Pre-Crash-Sensierung

Als eine weitere Möglichkeit, zusätzliche Crash-Informationen für die Auslöseentscheidung zu erhalten, werden auf Radar basierende Pre-Crash-Sensoren zur Zeit entwickelt. Die für die Crash-Sensierung relevanten Eigenschaften eines bevorstehenden Crashes werden ermittelt und an das Airbagsteuergerät übertragen. Zwar hat sich der Begriff „Pre-Crash-Sensierung“ am Markt eingepreßt, jedoch wird zumindest in der ersten Generation dieser Sensoren die Auslöseentscheidung nicht vor dem eigentlichen Crash gefällt. Vielmehr gewinnt die Auslöseentscheidung der Rückhaltemittel weiter an Robustheit und Flexibilität durch die Messung der Relativgeschwindigkeit und der momentanen Distanz eines Objektes, das sich auf Kollisionskurs mit dem eigenen Fahrzeug befindet (MEHLER, 1999).

7 Vorschläge zur Verbesserung von Regelungen der passiven Sicherheit von Pkw

Aus den Erkenntnissen dieser Projektarbeit lassen sich anhand der Problemfelder folgende Vorschläge zur Verbesserung von Regelungen der passiven Sicherheit ableiten.

7.1 Problem „Lkw-Unterfahrung“

Aus der Unfallforschung [LANGWIEDER, 2000] ist bekannt, dass es zu zahlreichen Unfällen mit tödlichen Verletzungen kommt, wenn ein Pkw auf das Unterfahrschutzsystem eines Lkw-Hecks auffährt, da diese zu instabil sind. Dadurch, dass der Unterfahrschutz schon bei geringen Kollisionsgeschwindigkeiten kollabiert, wird dem Insassen jegliche Überlebenschance genommen, weil das Fahrzeug unter die Ladefläche des Lkw rutscht und somit das Fahrzeugdach weggerissen wird.

Die vorangegangenen Versuche haben eindeutig gezeigt, dass die nach Richtlinie 70/221/EWG vorgeschriebenen Lkw-Unterfahrschutzsysteme mit einer Mindesthöhe von 550 mm bereits einen ausreichenden Schutz für Pkw-Insassen bieten, wenn die Konstruktion eine entsprechende Stabilität aufweist. Nur dadurch kann gewährleistet werden, dass es zu keiner extremen Unterfahrung kommt und die Airbagsysteme noch in einem akzeptablen Zeitfenster auslösen können.

Auch wenn eine weitere Reduzierung der geforderten Höhe von Unterfahrschutzeinrichtungen noch günstigere Bedingungen der Kompatibilität bei Lkw/Pkw-Unfällen darstellt, sollte die Richtlinie 70/221/EWG in erster Linie hinsichtlich der Stabilität dieser Systeme verbessert werden, um das Verletzungsrisiko für die Insassen zu senken.

7.2 Problem „Airbag-Fehlauslösung und Verletzungsrisiko“

Die Ergebnisse dieses Projektes zeigen auf, dass es neben der großen Schutzwirkung von Airbags bei schweren Kollisionen leider auch in Einzelfällen zu Problemen kommen kann. Es wurden einige Fälle ermittelt, bei denen der Airbag entweder bei zu geringer Unfallschwere oder ohne Kollision auslöste. Diese Problemfälle sind jedoch, wie diese Untersuchung zeigt, sehr vielschichtig. Es dürfte

somit ausgeschlossen werden, dass durch gesetzlich vorgeschriebene Tests (Misuse-Tests) alle Problemfelder abgedeckt werden können. Aus diesem Grund erscheint es in diesem Bereich zweckmäßiger zu sein, die Verantwortung beim Fahrzeughersteller zu belassen, der durch eigene Versuche mögliche Airbag-Fehlauslösefälle verhindern muss. Ein Nachweis von Misuse-Tests sollte jedoch obligatorisch sein.

In den USA existiert aber bereits eine Zulassungsvorschrift, wonach ab dem Modelljahr 2004 spezielle Tests zum Schutz von korrekt und ungünstig zum Airbag platzierten Personen durchgeführt werden müssen (FMVSS 208 „Occupant Crash Protection“). Unter anderem sind hierbei neben Crash-Tests auch statische und dynamische Tests mit Kinder-Dummys und dem 5-%-Frau-Dummy in „out of position“ (OOP) definiert, die den Nachweis erbringen müssen, dass Insassen in OOP durch Airbags nicht beeinträchtigt werden.

Zur Erfüllung dieser Vorschrift werden Systeme zur Erkennung der Position des Insassen sowie mehrstufige Airbagsysteme notwendig sein. Da diese Systeme bewirken, dass das Verletzungsrisiko bei Airbagfrüh- oder Fehlauslösungen deutlich niedriger liegt, da in diesen Fällen nur die weniger aggressive erste Auslösestufe aktiviert wird, wird vorgeschlagen, zumindest die Prüfungen zur Minimierung der Risiken durch Airbags (Suppression und Low Risk Deployment) aus der FMVSS 208 für Europa zu übernehmen.

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Einführung der Airbagtechnologie als zusätzliches Rückhaltesystem zum Sicherheitsgurt hat die Insassensicherheit in den Autos nachhaltig verbessert. Obwohl diese Technologie nun schon seit über 10 Jahren serienmäßig verbaut wird, berichten die Verbraucher bis heute aber auch immer wieder über Probleme mit Airbags. Ziel dieser Arbeit ist es, geeignetes Datenmaterial aus dem realen Unfallgeschehen zu sammeln und daraus zum einen aktuelle Aussagen zur Schutzwirkung der Airbagtechnologie zu gewinnen, zum anderen aber auch, Art, Häufigkeit und Ursachen der Probleme kennen zu lernen. Aus den Ergebnissen sollen Vorschläge für weitere Verbesserungen abgeleitet werden.

Beschaffung des Datenmaterials

Zur Gewinnung des erforderlichen Datenmaterials wurden nachfolgende Umfragen durchgeführt:

1. Europaweite Umfrage beim Verbraucher über Unfälle mit Airbagfahrzeugen. Sie erfolgte im Frühjahr 2000 über die Clubzeitschriften der europäischen Automobilclubs.
2. Erweiterung der Datenbasis durch zusätzliches Airbagmaterial der Versicherer.
3. Umfrage bei Rettungsinstitutionen über Probleme mit Airbags während der Rettungsarbeiten.
4. Umfrage beim Fahrzeughersteller über Ausrüstungsquoten und Stand der Airbagtechnologie
5. Umfrage beim Fahrzeughersteller zu den festgestellten Problemfällen.

Airbagausrüstungsquoten und Stand der Airbagtechnologie

Die Herstellerumfrage ergab, dass beim Modelljahrgang 2001 96 % der auf dem europäischen Markt angebotenen Fahrzeuge serienmäßig mit Fahrerairbag ausgestattet sind. 93 % haben einen Beifahrerairbag und bei 75 % ist auch der Seitenairbag serienmäßig.

Bezogen auf den Fahrzeugbestand sind heute 65 % aller Pkw mit Airbags ausgestattet, im Jahr 2015 werden es praktisch 100 % sein.

Ein direkter Vergleich der Airbagauslöseschwellen bei den verschiedenen Fahrzeugmodellen ist anhand der Herstellerangaben nicht möglich. Offensichtlich handelt es sich hier um Daten, die grundsätzlich nicht an Dritte weitergegeben werden.

Durch geeignete Maßnahmen wird die Airbagaggressivität weiter reduziert: Die Beifahrer-Airbagaustrittsöffnungen sind jetzt häufig nach oben gerichtet (Top Mounting), um die Verletzungsgefahr beim Abstützen mit den Händen zu vermindern. Auch mehrstufige Airbagsysteme sowie Hybrid-Gas-Generatoren (Kaltgas) für Beifahrer- und Seitenairbags kommen bereits zum Einsatz.

Mit der Zielsetzung, die Unfallschwere noch genauer zu detektieren, gehen mehrere Hersteller von der Zentralsensorik zur Mehrsensortechnik über. Eine Belegungserkennung am Beifahrersitz gibt es nur bei allen BMW- und Mercedes-Modellen. Ein System mit umfassender Positionserkennung (Out-of-Position-Erkennung) gibt es als Einziges im Ja-

guar XK, und zwar auf der Basis von Ultraschall- und Sitzpositionssensoren.

Für die Kindersicherung auf dem Beifahrersitz in Fahrzeugen mit Beifahrer-Airbags gibt es sehr unterschiedliche Verfahren und Vorgaben der Hersteller. So untersagen 15 Hersteller generell die Nutzung des Beifahrersitzes für Kinder. 9 Hersteller bieten für die Nutzung von rückwärts gerichteten Kindersitzen eine permanente Deaktivierung des Beifahrer-Airbags durch ihre Vertragswerkstätten an. 4 Hersteller setzen zur Deaktivierung einen Schlüsselschalter ein. Bei 5 Herstellern erfolgt die Deaktivierung automatisch durch einen Transponder, dabei werden aber bis heute nur Kindersitze des jeweiligen Fahrzeugherstellers erkannt. Jede der angebotenen Deaktivierungslösungen besitzt ihre spezifischen Nachteile. So liegt beispielsweise beim System Schlüsselschalter eine große Verantwortung beim Fahrer, dass er die Deaktivierung auch wirklich vornimmt, wenn ein Kind auf dem Beifahrersitz in einem rückwärts gerichteten Kindersitz transportiert wird. Eine wirklich sichere Lösung wäre die Erkennung jedes rückwärts gerichteten Kindersitzmodells auf dem Beifahrersitz. Sie wird aber bis heute noch nicht angeboten.

Fazit

Die Airbagtechnologie besitzt offenbar noch ein großes Entwicklungspotenzial. Es kommen laufend Erweiterungen und Verbesserungen auf den Markt. Das Problem Airbag-Deaktivierung in Zusammenhang mit rückwärts gerichteten Kindersitzen auf dem Beifahrersitz ist noch nicht befriedigend gelöst.

Beschreibung des Airbagunfalldatenmaterials

Aus der europaweiten Umfrage sowie dem zusätzlichen Airbagmaterial der Versicherer ergeben sich insgesamt 692 auswertbare Fälle. Etwa 92 % davon beziehen sich auf Unfälle in den Jahren 1997–2000. Das dieser Arbeit zugrunde liegende Datenmaterial ist demnach sehr aktuell.

Bei 78 Fällen gab es Probleme mit der Airbagauslösung, bei 92 Fällen Probleme mit der Airbagaggressivität. Dieser hohe Anteil an Problemfällen ist damit zu begründen, dass bei derartigen Umfragen vom Verbraucher überproportional die Problemfälle gemeldet werden.

45 % der Unfälle mit Airbagfahrzeugen erfolgten auf Außerortsstraßen, 31 % innerorts und 25 % auf

der Autobahn. Die Verteilung entspricht in erster Näherung europaweit der Verteilung der Fahrleistungen auf die einzelnen Straßentypen.

Unfallgegner der Airbagfahrzeuge waren zu 57 % Pkw, 16 % feste Hindernisse, 15 % Lkw bzw. Busse. 72 % aller Airbagfahrzeuge lagen im Baujahr zwischen 1996 und 2000. Das Datenmaterial enthält somit einen hohen Anteil von neuen Fahrzeugen. 100 % der Fahrzeuge waren mit Fahrerairbag ausgestattet, 81 % mit Beifahrerairbag und 14 % mit Seiten-Kopfairbag. 82 % hatten einen hohen Beschädigungsgrad von schwer bis total. Die Beschädigungen beziehen sich zu 82 % auf die Fahrzeugfront, 6 % auf die Fahrzeugseite. 10 % wurden durch Überschlag beschädigt.

Die Sicherungsquote lag sowohl beim Fahrer als auch beim Beifahrer und bei den Fondinsassen bei 97 %. Aus dem Untersuchungsmaterial lässt sich somit nicht die Befürchtung stützen, dass sich die Angurtmoral angesichts des Vorhandenseins des Airbags reduziert. Bei allen Unfällen mit Kindern waren die Kinder gesichert, in 96 % der Fälle in Kindersitzen. Das Datenmaterial beinhaltet Unfälle mit insgesamt 15 Getöteten: 7 Fahrer, 7 Beifahrer und 1 Rücksitzinsasse starben an den erlittenen Verletzungen.

Fazit

Das Datenmaterial ist in den meisten Fällen sehr aktuell. Es beinhaltet überwiegend schwere Unfälle und einen überproportionalen Anteil von Problemfällen.

Schutzpotenzial der Airbagtechnologie

Mit Hilfe des Unfalldatenmaterials lässt sich die hohe Airbagschutzwirkung nicht nur für den Fahrer, sondern erstmalig auch für den Beifahrer bestätigen. Bei schweren Frontalkollisionen ist der Anteil an schweren bis tödlichen Verletzungen sowohl für den Fahrer als auch für den Beifahrer um gut 20 % niedriger als bei vergleichbaren Unfällen ohne Airbags.

Beim angegurteten und durch Airbag geschützten Fahrer und Beifahrer traten die häufigsten schweren Verletzungen an den unteren Extremitäten und im Brustkorbbereich auf. Die Kopfverletzungen stehen erst an dritter Stelle.

Problemfälle mit dem Airbag während der Rettungsarbeiten wurden nicht gefunden.

Fälle mit größeren Problemen für Brillenträger und Raucher im Zusammenhang mit Airbags wurden ebenfalls nicht gefunden.

Thorax- und Kopfairbags zeigen in Einzelfällen eine gute Schutzwirkung. Wegen der geringen Fallzahlen ist aber noch keine allgemein gültige Aussage möglich.

Fazit

Erstmals lässt sich die hohe Schutzwirkung auch für den Beifahrer-Airbag bestätigen.

Aus den Verletzungsmustern lässt sich ableiten, dass sich die Häufigkeit von schweren Verletzungen wahrscheinlich weiterreduzieren ließe, wenn das Airbag-/Gurt-Rückhaltesystem in Hinblick auf Becken- und Brustrückhaltung weiter optimiert würde. Dabei geht es insbesondere um die Vermeidung eines aggressiven Knieaufpralls auf das Armaturenbrett und um eine Begrenzung der Brustbelastung. Es geht hier insbesondere um das Zusammenwirken von Airbag und Gurtkraftbegrenzer.

Airbagproblemfälle im Zusammenhang mit der Airbagauslösung

Hier ist zunächst auffällig, dass bei 65 Fällen, bei denen die Airbags wegen der geringen Unfallschwere folgerichtig nicht aktiviert wurden, die Befragten eine Airbagauslösung erwartet hatten. Hier liegt eine falsche Erwartungshaltung beim Verbraucher vor, die durch entsprechende Beratung, z. B. bei der Fahrzeugübergabe, korrigiert werden könnte.

Unter den 692 ausgewerteten Fällen finden sich aber auch 78 tatsächliche Problemfälle im Zusammenhang mit der Airbagauslösung. Obwohl dies absolut gesehen sicherlich sehr kleine Zahlen sind, kommt ihnen trotzdem eine große Bedeutung zu, da es sich hier um das Versagen eines Sicherheitssystems handelt.

In 54 Fällen erfolgte eine Fehlauflösung ohne äußere Krafteinwirkung bzw. eine ungerechtfertigte Auslösung bei geringer Unfallschwere. Bei diesen Fällen traten meistens nur leichte Verletzungen auf und es wurden keine schweren Folgeunfälle gemeldet. Auffallend häufig trat das Problem „Ungerechtfertigte Auslösung“ bei geringer Unfallschwere bei Seitenairbags und bei Seiten-Kopfairbags auf.

Als Ursachen für diese Probleme kommen elektrostatische Entladung, aber auch Schläge gegen den Unterboden oder gegen die Karosserie mit entsprechender Fehlinterpretation seitens der Sensorik in Frage. Zur Vermeidung dieser Probleme ist zum einen auf eine verlässliche Masseverbindung zum Gasgenerator zu achten, und zum anderen muss die Sensortechnik in Hinblick auf die Unfallschwereerkennung weiter verfeinert werden. Um die Robustheit der Airbagsysteme gegenüber Fehlauflösungen zu erproben, wird eine ganze Reihe von Misuse-Tests vorgeschlagen.

In 24 Fällen lösten die Airbags trotz hoher Unfallschwere nicht aus. Mögliche Ursachen sind Stromkreisunterbrechungen durch fehlerhafte Kabel und Steckverbindungen, aber auch das Überfahren der Längsträger mit der Folge, dass die Sensorik die Unfallschwere nicht erkannte. Das Problem Überfahren von Längsträgern zeigt sich auch im Datenmaterial Unterfahrung von Lkw und Leitplanken. Hier wurden 25 Fälle untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass auch bei starker Fahrgastzellendeformation der Airbag einen zusätzlichen Schutz zum Gurt bildet und deshalb unbedingt aktiviert werden müsste. Die Tatsache, dass bei den meisten dieser Fälle der Airbag nicht aufging und dadurch eine erhöhte Verletzungsschwere auftrat, zeigt, dass hier ein deutliches Verbesserungspotenzial vorhanden ist. Dabei geht es nicht nur um Nichtauslösung, sondern auch um zu spätes Auslösen. Beides muss durch verbesserte Airbagsensorik, z. B. mit Mehrsensortechnik, gelöst werden. Um diese Problemfälle in Zukunft besser analysieren zu können, ist für die Zukunft eine größere Transparenz der gespeicherten Daten im Airbag-Steuergerät zu fordern.

Zur Abstimmung dieser Sensorik sollten nicht nur die heutigen Standard-Crash-Tests, sondern darüber hinaus noch spezielle Unterfahrttests mit gezielter Längsträgerüberfahrung durchgeführt werden. Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit auch ein Unterfahrttest entwickelt und erprobt. Ein Vergleich erster Testergebnisse mit dem Realunfallgeschehen zeigt, dass ein zu spätes Airbagtiming im Test zu einer Nichtauslösung im Real-Crash führen kann, insbesondere wenn beim Real-Crash der Unterfahrtschutz nachgibt. Demnach kommt einem optimalen Airbagtiming auch beim Unterfahrttest eine große Bedeutung zu.

Eine wichtige Voraussetzung für eine sichere Airbagauslösung beim Unterfahren sind stabilere Unter-

fahrtschutz-Einrichtungen bei den Nutzfahrzeugen, die im Stande sind, ohne wegzuklappen, ausreichend große Kräfte zur Airbagauslösung zu erzeugen. Der entwickelte Testaufbau kann auch zum Stabilitätsnachweis von Unterfahrtschutzsystemen eingesetzt werden.

Es wurden auch 63 Unfälle mit Überschlag untersucht. Schwere Verletzungen gab es gleichermaßen bei Airbagaktivierung und bei Nicht-Aktivierung. Es wird vermutet, dass Verletzungsmechanismen auftreten, die mit den heutigen Airbagsystemen nicht oder nur unzureichend abzumildern sind. Angesichts der beachtlichen Häufigkeit und des hohen Verletzungsrisikos muss das Thema Überschlag in Zukunft weiter erforscht werden.

Fazit

Angesichts der Häufigkeit der Problemfälle im Zusammenhang mit der Airbagauslösung muss die Sensortechnik weiter verfeinert werden. Zur Systemabstimmung sollten zusätzlich zu den heutigen Standardtests auch umfangreiche Misuse-Tests, aber auch mindestens ein Unterfahrtschutztest durchgeführt werden.

Die Stabilität der Unterfahrtschutzeinrichtungen an Nutzfahrzeugen ist zu erhöhen. Über die Wirksamkeit von Airbagsystemen beim Überschlag muss weiter geforscht werden.

Airbagproblemfälle im Zusammenhang mit der Airbag-Aggressivität

Unter den 692 ausgewerteten Fällen finden sich 92 Problemfälle mit Airbagaggressivität. Am häufigsten sind Gehörschäden mit 57 Fällen und Brandverletzungen mit 40 Fällen. Gehörschäden sind insbesondere bei Airbag-Fehlauflösungen nicht akzeptabel (16 Fälle). Gehörschäden traten besonders dann auf, wenn beide Frontairbags aktiviert wurden. Die Auslösung eines Seiten- oder eines Kopf-Seitenairbags bewirkte in keinem Fall einen bleibenden Gehörschaden. Eine Schallpegelreduzierung bei der Airbagentfaltung, mehrstufige Airbagauslösung sowie eine Sitzbelegungserkennung auf dem Beifahrersitz können die Gehörschäden reduzieren.

Durch geeignete Maßnahmen wie z. B. Ausströmöffnung nach vorne oder in eine gekapselte Lenksäule sowie Hybrid-Gasgeneratoren (Kaltgas) sind Brandverletzungen verhinderbar. Zur Vermei-

derung von Handverletzungen bei einem sich am Armaturenbrett abstützenden Beifahrer müssen sich die Klappen des Beifahrer-Airbags nach oben und nicht nach hinten öffnen (top mounting).

Angesichts der insbesondere bei den Unterfahr-Crash-Tests festgestellten Problemen im Zusammenhang mit dem Airbag-Timing wird vorgeschlagen, in Zukunft auch die vorderste Sitzposition mit dem 5%-Dummy in Hinblick auf Airbagaggressivität abzutesten. Hier bietet sich das US-Verfahren nach FMVSS 208 an, und zwar sowohl bezüglich Testkonfiguration als auch bezüglich der Testkriterien.

Fazit

Problemfälle in Zusammenhang mit der Airbagaggressivität sind relativ häufig. Hier liegt ein großes Entwicklungspotenzial für weitere Verbesserungen. Zur Minimierung der Risiken durch Airbags sollte der FMVSS-208-Test mit 5%-Dummy in der vordersten Sitzposition auch für Europa übernommen werden.

Zusammenfassung der Vorschläge für die weitere Verbesserung der Airbag-Systeme

Angesichts der festgestellten Probleme sowie der durchgeführten Crash-Tests werden im Folgenden die wichtigsten Aspekte für die Weiterentwicklung der Airbagtechnologie zusammengefasst:

- Positionierung der Airbag-Entlüftungsöffnungen derart, dass auf keinen Fall menschliche Körperteile direkt beaufschlagt werden.
- Reduktion der Temperatur des austretenden Gases, z. B. durch Hybrid-Gasgeneratoren.
- Mehrstufige Airbagauslösung in Abhängigkeit von der Unfallschwere und der Sitzposition.
- Automatisches Erkennungs- und Airbag-Deaktivierungssystem für alle rückwärts gerichteten Kindersitze auf dem Beifahrersitz.
- Sitzbelegungserkennung auf dem Beifahrersitz.
- Unfallschwereerfassung durch Mehrsensortechnik.
- Systeme zur frühzeitigen Erkennung von Fahrzeugüberschlägen.
- Einführung von adaptiven Rückhaltesystemen mit Abstimmung der Gurtstraffer- und Airbagaktivierung auf die Unfallschwere.

- Pre-Crash-Sensing zur besseren Unfallschwereerkennung und Senkung der Reparaturkosten für die Airbag-Instandsetzung.
- Verbesserung der Robustheitstests zur Vermeidung von Airbag-Fehlauslösungen.
- Einführung eines Unterfahr-Tests.
- Einführung eines Out-of-position-Tests mit 5%-Dummy in der vordersten Sitzposition.

Eine Beurteilung der Airbagtechnologie in Form eines Bonus-Punktesystems bei Verbraucherschutz-Crash-Tests wie z. B. Euro-NCAP könnte dazu beitragen, dass verbesserte Airbagsysteme schnell zum Serieneinsatz kommen.

9 Literaturverzeichnis

Kapitel 3

ADAC Motorwelt, (1996): Bericht 12/96, Diskussion über Airbagprobleme mit Spezialisten in der ADAC-Zentrale

BEAT, W., (2000): Hohmann, ETH Bereich Akustik, Suva, Luzern

KLANNER, W., PAULUS, H., (März 2000): „Probleme mit Airbags unter Berücksichtigung von Produkthaftungsaspekten“, Tagung: Fahrzeugairbags-Meilensteine der Insassensicherheit mit Restrisiko, Haus der Technik, München

LANG, H. P., KNÖDLER, K., KOCHER, P., RÖLLEKE, M., OSWALD, K., (09/1999): „Advanced Crash Sensing with Additional Acceleration Sensors, Radar Sensors and Angular Rate Sensors“, VDI-Bericht 1471 Berlin

LANGWIEDER, K., HUMMEL, Th., MÜLLER, Chr., (Oktober 1997): „Der Airbag im Realunfall: Leistungen und Schwächen-Erkenntnisse aus der Unfallforschung“, VDI-Tagung „Innovativer Insassenschutz im Pkw“, Berlin

LANGWIEDER, K., HUMMEL, Th., MÜLLER, Chr. (Mai 1996): „Experience with Airbag-Equipped Cars in Real life Accidents in Germany“, 15th ESV Conference, Melbourne, Australia

RÖLLEKE, M.: Crash Severity, Advanced Crash Sensing at BOSCH, Robert Bosch GmbH, K8/EES 21.09.00

Kapitel 4

Association for the advancement of automotive medicine (1990): Abbreviated Injury Scale – 1990 Revision. Des Plaines, IL

BÄUMLER, H. & LANGDWIEDER, K. (1996): Höhere Verkehrssicherheit durch kompatible Nutzfahrzeuge. Verband der Schadensversicherer, Büro für Kfz-Technik (heute Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Institut für Fahrzeugsicherheit), München

BÄUMLER, H. & UNGERER, H. (1988): Die Erstellung von Energierastern für den Bug von Personenkraftwagen mit Anwendungsmöglichkeiten für die Unfallforschung. 16. Fachtagung des Münchner Arbeitskreises für Straßen-Fahrzeuge (MAS), München

BURG, H. & ZEIDLER, F. (1980): EES – Ein Hilfsmittel zur Unfallrekonstruktion und dessen Auswirkungen auf die Unfallforschung. Der Verkehrsunfall, Hefte 4, 5 und 6, 1980, Verlag Information Ambs, Kippenheim

HAAS, I. & EVERS, C. (2001): Gurte, Kindersitze, Helme und Schutzkleidung – 2000. Wissenschaftliche Informationen der Bundesanstalt für Straßenwesen, Info 11/01, Bergisch Gladbach

HUK-Verband (1994): Fahrzeugsicherheit 90 – Analyse von Pkw-Unfällen, Grundlagen für künftige Forschungsarbeiten. Büro für Kfz-Technik, München

KANDLER, M., (1999): Sicherheitsanforderungen an einen Lkw-Heckunterfahrerschutz auf Grund einer Analyse von Realunfällen. Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wissenschaft (FH) Dresden

LANGWIEDER, K., HUMMEL, Th. & MÜLLER Chr. (1997): Der Airbag im Realunfall: Leistung und Schwächen – Erkenntnisse aus der Unfallforschung. VDI-Tagung „Innovativer Insassenschutz im Pkw“, Berlin

PADBERG, C., (2001): Analyse von Pkw-Lkw-Frontalkollisionen im Hinblick auf das Reduktionspotenzial von Personen- und Sachschäden durch den Einsatz von Frontunterfahrerschutzeinrichtungen. Diplomarbeit, Fachhochschule München

Kapitel 5

BÄUMLER, H. & LANGWIEDER, K., (1996): „Höhere Verkehrssicherheit durch kompatible Nutzfahrzeuge“, Verband der Schadensversicherer, Büro für Kfz-Technik (heute: GDV, Institut für Fahrzeugsicherheit), München

Department of Transportation (März 2000): National Highway Traffic Safety Administration 49 CFR Parts 571, 585, 587, and 595 Docket No. NHTSA 98-4405; Notice 1RIN 2127-AG70 Federal Motor Vehicle Safety Standards; Occupant Crash Protection

European New Car Assessment Programme (Euro-NCAP), (April 2001): Assessment Protokoll www.euroncap.com

European New Car Assessment Programme (Euro-NCAP), (April 2001): Testing Protokoll April 2001, www.euroncap.com

Eurotax (International) AG: Crashversuche mit Auswertung. CH-8807 Freienbach, www.eurotax.com

FEE Fahrzeugtechnik (1995): EWG/ECE Richtlinie der Europäischen Gemeinschaft für Straßenfahrzeuge, Ordner 8, (ECE 91 ff.), ECE R-94/95, Kirschbaumverlag Bonn

PADBERG, C., (2001): Analyse von Pkw-Lkw-Frontalkollisionen im Hinblick auf das Reduktionspotenzial von Personen- und Sachschäden durch den Einsatz von Frontunterfahrerschutzeinrichtungen. Diplomarbeit, Fachhochschule München

TÜV-Rheinland (1999): Sicherheit von Airbagsystemen gegen Fehlauflösung auf Grund nicht ausreichender elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV), www.butz-stiftung.de

Kapitel 6

LANG, H.-P., KNÖDLER, K., KOCHER, P., RÖLLEKE, M., OSWALD, K., (09/1999): „Advanced Crash Sensing with Additional Acceleration Sensors, Radar Sensors and Angular Rate Sensors“, VDI-Bericht 1471, Berlin

MEHLER, G., LANG, H-P., RÖLLEKE, M., (05/1999): „Aktuelle Entwicklung in der Crash-Sensierung für passive Sicherheitssysteme“, VDI-Forum Mannheim

Presse-Information Jaguar Deutschland GmbH
(2001): „Adaptives Rückhaltesystem ARTS“,
vom 30. August 2000

Presse-Information Robert Bosch GmbH (Oktober
2000): Rolloversensierung von Bosch, Stuttgart

RÖHTLEIN, B. (2001): „Ein Airbag ist kein Schmu-
sekissen“, Süddeutsche Zeitung (10.07.2001)
München

Kapitel 7

LANGWIEDER, K., GWEHNEBERGER, J., BENDE,
J. (GDV-Institut für Fahrzeugsicherheit, (Dezember
2000): „Der Lastkraftwagen im aktuellen Un-
fallgeschehen und Potenziale zur weiteren Er-
höhung der aktiven und passiven Sicherheit“,
Nr. 0015 EU-Symposium 2000 München

NHTSA FMVSS 208 – Occupant sensing

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

1993

- F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw
Faerber, Wobben € 12,50
- F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen
König, Werner, Schuller, Beier, Spann € 13,50
- F 3: Sicherheit von Motorradhelmen
Zellmer € 11,00
- F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typ-
prüfverfahren
Richter, Michelmann
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahr-
zeuge mit Katalysator
Albus € 13,50

1994

- F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz
Bamberg, Zellmer € 11,00
- F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport
Wobben, Zahn € 12,50
- F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttrans-
mission 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
Chmielarz, Siegl
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie
Derkum € 14,00
- F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen
Otte, Schroeder, Eidam, Kraemer € 10,50
- F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Stra-
ßenbedingungen
Schmieder, Bley, Spickermann, von Zettelmann € 11,00

1995

- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern
Damasky € 12,50
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-
Up-Displays
Mutschler € 16,50
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern
Zellmer, Schmid
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern
Zellmer € 12,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen
Sander € 11,50

1996

- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim
Fußgängerunfall – Entwicklung eines Prüfverfahrens
Glaeser € 15,50
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von
Fahrrädern
Heinrich, von der Osten-Sacken
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicher-
heit von Fahrrädern“
Nicklisch € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen
Sagerer, Wartenberg, Schmidt € 12,50
- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen – Problem-
analyse und Verfahrenskonzept
Grunow, Heuser, Krüger, Zangemeister € 17,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne
ABS
Präckel € 14,50
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der
Hauptuntersuchung
Pullwitt € 11,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße
und im Prüfstand
Sander € 13,00
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe
Fach € 14,00

1997

- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzei-
tiger Motorabschaltung
Bugsel, Albus, Sievert € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfall-
forschung in der Pre-Crash-Phase
Berg, Mayer € 19,50

1998

- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zwei-
radkonzeptes
Kalliske, Albus, Faerber € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und
in Fahrradanhängern
Kalliske, Wobben, Nee € 11,50

1999

- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-
Regelsysteme
Schweers € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern
Vötter, Groß, Esser, Born, Flamm, Rieck € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen
Kohlstruck, Wallentowitz € 13,00

2000

- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
Glaeser
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen
Aubel € 13,00

- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen
Faber € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen
Otte € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BASt – Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach € 14,00
- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen
Gaupp, Wobben, Horn, Seemann € 17,00

2001

- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug
Sander, Bugsel, Sievert, Albus € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren
Wallentowitz, Ehmanns, Neunzig, Weilkes, Steinauer, Bölling, Richter, Gaupp € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Krafträdern
van de Sand, Wallentowitz, Schrüllkamp € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat
Afflerbach, Hassel, Schmidt, Sonnborn, Weber € 11,50
- F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes
Friesen, Wallentowitz, Philipps € 12,50

2002

- F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung
Gail, Lorig, Gelau, Heuzeroth, Sievert € 19,50
- F 40: Prüfverfahren für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen
Domsch, Sandkühler, Wallentowitz € 16,50

2003

- F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00
- F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00
- F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall
Nett € 16,50
- F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge
Gail, Pastor, Spiering, Sander, Lorig € 12,00

2004

- F 45: Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten
Steven € 12,50
- F 46: Anforderungen an zukünftige Kraftrad-Bremssysteme zur Steigerung der Fahrsicherheit
Funke, Winner € 12,00
- F 47: Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformationssystemen
Jahn, Oehme, Rösler, Kreams € 13,50

- F 48: Standgeräuschmessung an Motorrädern im Verkehr und bei der Hauptuntersuchung nach § 29 STVZO
Pullwitt, Redmann € 13,50
- F 49: Prüfverfahren für die passive Sicherheit motorisierter Zweiräder
Berg, Rücker, Mattern, Kallieris € 18,00
- F 50: Seitenairbag und Kinderrückhaltesysteme
Gehre, Kramer, Schindler € 14,50
- F 51: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen
Egelhaaf, Berg, Staubach, Lange € 16,50
- F 52: Intelligente Rückhaltesysteme
Schindler, Kühn, Siegler € 16,00
- F 53: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag
Klanner, Ambios, Paulus, Hummel, Langwieder, Köster € 15,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.