

# **Einfluss des Versicherungs- Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 62**

**bast**

# **Einfluss des Versicherungs- Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit**

von

Gert Rüter  
Hartmut Zoppke  
Peter Bach  
Nils Carstengerdes

Institut für Fahrzeugtechnik  
an der Fachhochschule Trier

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 62**

**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 82.223/2002:**  
Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests  
auf die Belange der passiven Sicherheit

Projektbetreuung  
Oliver Zander

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

**Redaktion**  
Referat Öffentlichkeitsarbeit

**Druck und Verlag**  
Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9307  
ISBN 978-3-86509-666-1

Bergisch Gladbach, April 2007

## Kurzfassung – Abstract

### Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit

Es ist zu beobachten, dass trotz einer Abnahme der Zahl der Verletzungen und der Verletzungsschwere der Insassen bei Pkw-Unfällen Halswirbelsäulen-(HWS)-Distorsionen, speziell im unteren Geschwindigkeitsbereich, häufiger auftreten. Neben anderen Faktoren werden auch veränderte Beschleunigungs- und Verzögerungsimpulse, die im Crashfall auf die Insassen wirken, als möglicherweise ursächlich für die Entstehung von HWS-Distorsionen angesehen.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, welchen Einfluss konstruktive Veränderungen, die durch Versicherungs-Einstufungstests bedingt werden, auf die Beschleunigungs- und Verzögerungsimpulse im Fahrzeuginnenraum haben. Versuche zum Fußgängerschutz wurden einvernehmend nicht durchgeführt, da die Fahrzeuge noch nicht konsequent nach Fußgängerschutzkriterien konzipiert werden. Die Untersuchungsmethode lässt sich gliedern in

- Analyse von internationalen Versicherungssystemen und Analyse der aus den Versicherungseinstufungstests resultierenden Veränderungen von Fahrzeugstrukturen,
- Durchführung und Analyse von eigenen Aufprallversuchen mit Fahrzeugteilstrukturen und vergleichende Analyse von Vollfahrzeugversuchen der Versicherungswirtschaft,
- Zusammenführen der getätigten Schritte.

Bei der Ersteinstuung eines Pkw in die Vollversicherung dient der Versicherungseinstufungstest des RCAR/AZT (Prüfgeschwindigkeit 15 km/h) zur Bestimmung der Schadenshöhe und damit zur Einstufung in eine Typklasse. In vielen weiteren Staaten dienen dieser oder ähnliche Tests zur Bewertung der Reparaturfreundlichkeit von Pkw.

Um bei einem Versicherungseinstufungstest den Schaden möglichst gering zu halten, haben nahezu alle Neufahrzeuge Querträgersysteme mit kostenarm wechselbaren Absorptionselementen, die die Crashenergie gezielt auf kurzem Weg aufnehmen. Durch die neue EG-Richtlinie 2003/102/EG zum Fußgängerschutz müssen zukünftig hinter der Stoßfängeraußenhaut und vor dem massiven Querträger weiche Schäume untergebracht werden. Der Bauraum für Querträger und Energieabsorptionsele-

mente wird dadurch weiter eingeschränkt. Diese Anforderungen veranlassen die Hersteller dazu, die Energieabsorptionselemente steifer zu gestalten, um einen effektiven Energieabbau bei kurzen Stopplängen zu gewährleisten. Durch diese Maßnahmen wird zwar der Insassenschutz bei Frontalaufprallen im Hochgeschwindigkeitsbereich verbessert, es werden aber zugleich höhere Innenraumverzögerungen (schnellerer Anstieg, höhere mittlere Verzögerung) bei Crashes im gesamten Geschwindigkeitsbereich erzeugt.

Eine durchgeführte Korrelation zwischen konstruktiven Veränderungen am Fahrzeug und empirisch bestimmten Verzögerungsverläufen zeigte, dass eine günstigere Einstufung in der Fahrzeugvollversicherung nicht zwangsläufig höhere Verzögerungsimpulse für den Innenraum bedingen muss. Bei der Analyse von 172 Crashversuchen des Allianz-Zentrums für Technik mit Neufahrzeugen aus den Jahren 1992 bis 2003 zeichnen sich aber statistisch bedeutsame Änderungen in den Verzögerungsverläufen über die Prüffahre ab:

- Anstieg der Verzögerung wird steiler ↑,
- Mittelwert der Verzögerung wird größer ↑,
- Zeitdauer bis zum Auftreten der maximalen Verzögerung wird kürzer ↓,
- dynamische Gesamtdeformation wird kleiner ↓.

Die steife Auslegung der für den Versicherungseinstufungstest relevanten Crashteile verbessert den Insassenschutz bei Hochgeschwindigkeitscrashes.

Wenn es sich aber durch weitere Untersuchungen bestätigt, dass höhere Verzögerungs- bzw. Beschleunigungsimpulse die Auftretenswahrscheinlichkeit von HWS-Verletzungen im Niedriggeschwindigkeitsbereich vergrößern, so sollten gezielt Maßnahmen zur Verringerung dieser Verletzungsrisiken ergriffen werden. Dazu gehören die weitere Optimierung der Sitzstrukturen einschließlich der Kopfstützen und die Entwicklung adaptiver Crashstrukturen, die dem Crashfall angepasste Kraft-Weg-Kennlinien ermöglichen.

Der Originalbericht enthält als Anlagen die Darstellungen der am IFT durchgeführten Versuche mit den wichtigsten Kenndaten und die Beschreibung der Testprozedur nach RCAR (1999). 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 zur Information des Lesers beibehalten.

### **Influence of the grading tests for insurance on the interests of passive safety**

Despite the reduction of the number of injuries and the severity of injuries to passengers in car accidents, it can be noted that cervical spine distortions occur more often, especially in the low speed range. Among other factors, modified acceleration and deceleration impulses that take effect on the passengers in the case of a crash are seen as possible causes for the occurrence of cervical spine distortions.

In the paper at hand, the influence of constructive modifications on acceleration and deceleration impulses in the passenger compartment due to insurance classification tests is explored. It was agreed not to conduct experiments on pedestrian safety, as the vehicles have not yet been consequently designed according to pedestrian safety criteria. The research method can be divided into:

- the analysis of international insurance systems and the analysis of modifications of vehicle structure resulting from insurance classification tests;
- the implementation and analysis of own collision experiments with vehicle part structures and a comparison analysis with whole vehicle experiments conducted by the insurance industry;
- the consolidation of these steps.

For the initial classification of a car in the full value insurance the insurance classification test by RCAR/AZT (test speed 15 km/h) is used in order to determine the amount of damage and therefore classify the car to a type class. In many other countries this test or similar tests serve to evaluate the repair-friendliness of cars.

In order to keep the damage as low as possible during an insurance classification test, almost all new cars have cross member systems with inexpensive exchangeable absorption elements that absorb the crash energy specifically after shorter distances. According to the new EC guideline 2003/102/EC on pedestrian safety, soft foams are to be placed behind the exterior bumper skin and in front of the massive cross member in the future. The constructed space for cross members and energy absorption elements is therefore even more restricted. These requirements lead the manufacturers into designing stiffer energy

absorption elements in order to guarantee effective energy reduction for shorter braking distances. Due to these modifications, passenger safety in head-on collisions at high speed levels has indeed improved, but at the same time a higher passenger compartment deceleration (faster rising, higher mean deceleration) in crashes within the whole speed range is produced.

A correlation between constructive modifications on the vehicle and empirically defined deceleration processes showed that a low priced classification in the full value insurance does not inevitably involve higher deceleration impulses in the passenger compartment. However, the analysis of 172 crash tests with new cars by the Allianz-Zentrum für Technik (Allianz Center for Technology) between 1992 and 2003 showed statistically significant changes in the deceleration processes over the years:

- the increase of the deceleration is more steep ↑;
- the mean of the deceleration is larger ↑;
- the time length until the maximum deceleration occurs is shorter ↓;
- the dynamic total deformation is smaller ↓.

The stiff design of the crash parts relevant for the insurance classification test improves passenger safety in high speed crashes.

However, if it is confirmed by further testings that higher deceleration and acceleration impulses increase the possibility of cervical spine injuries in the low speed range, specific measures should be taken in order to decrease this risk of injury. For this, further improvement of seat structures including head rests is needed as well as the development of adaptive crash structures that allow for force-distance-characteristics adaptable to the type of crash.

The original report includes the representations of the tests conducted on the IFT with the most important characteristic data and the description of the testing procedure according to RCAR (1999). The reproduction of these appendices was rejected in the present publication. They are available at the Federal Highway Research Institute and can be viewed there. References to the appendices have been maintained in the report for the reader's information.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	7	<b>6</b>	<b>Versuche</b> .....	47
<b>2</b>	<b>Versicherungssysteme</b> .....	10	6.1	Institut für Fahrzeugtechnik Trier .....	47
2.1	Deutschland .....	10	6.1.1	Grundlegende Überlegungen .....	47
2.1.1	Typklassenverzeichnis .....	12	6.1.2	Versuchsaufbau .....	47
2.2	Andere Länder .....	14	6.1.3	Versuchsdurchführung .....	49
2.2.1	Europa .....	14	6.2	Allianz-Zentrum für Technik .....	50
2.2.2	Nordamerika .....	15	6.3	Digitalisierung von Beschleunigungsverläufen .....	52
2.2.3	Mittel- und Südamerika .....	15	<b>7</b>	<b>Auswertung</b> .....	52
2.2.4	Asiatische Länder .....	15	7.1	IFT-Versuche .....	52
2.2.5	Australien .....	16	7.1.1	Reproduzierbarkeit der Versuche mit dem Ersatzmodell .....	53
2.3	Zusammenfassung .....	16	7.1.2	Vergleich IFT-Vollfahrzeug- mit AZT-Vollfahrzeugversuchen .....	54
<b>3</b>	<b>Tests der Versicherungs- wirtschaft</b> .....	17	7.1.3	Vergleich IFT-Ersatzmodell mit AZT-Vollfahrzeug (Front) .....	57
3.1	RCAR/AZT .....	17	7.1.4	Vergleich IFT-Ersatzmodell mit AZT-Vollfahrzeug (Heck) .....	57
3.2	IIHS .....	20	7.1.5	Vergleich IFT-Karosserie Citroën Xsara Picasso mit AZT- Vollfahrzeug .....	58
3.3	Zusammenfassung .....	21	7.1.6	Vergleich von Fahrzeug- generationen .....	58
<b>4</b>	<b>Fahrzeugstrukturen</b> .....	21	7.1.7	Vergleich der Generationen (Front) .....	60
4.1	Genereller Aufbau .....	21	7.1.8	Vergleich der Generationen (Heck) .....	62
4.1.1	Vorderwagen .....	23	7.1.9	Vergleich Barrierewinkel 0° mit 10° .....	63
4.1.2	Hinterwagen .....	26	7.1.10	Einfluss der Fahrzeugmasse .....	65
4.2	Querträgersysteme .....	26	7.1.11	Vergleich der US-Version mit der Europa-Version des VW Golf IV .....	65
4.2.1	Anforderungen .....	26	7.2	AZT-Versuche .....	66
4.2.2	Querträger .....	28	7.2.1	Frontversuche .....	67
4.2.3	Energieabsorptionselemente .....	29	7.2.2	Heckversuche .....	69
4.2.4	Bestand .....	32	7.3	Statistische Betrachtung .....	71
4.2.5	Stoßfängeraußenhäute .....	33	7.3.1	Ausgangsbasis .....	71
4.3	Vergleich von Fahrzeug- strukturen .....	34	7.3.2	Deskriptive Ergebnisse .....	72
4.3.1	Peugeot 306/307 .....	34	7.3.3	Prüfung auf Signifikanz .....	74
4.3.2	Audi A3 .....	36	<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	76
4.4	Deformationseigenschaften .....	37	<b>9</b>	<b>Literatur</b> .....	79
4.4.1	Allgemeines .....	37			
4.4.2	Fußgängerschutz .....	38			
4.4.3	RCAR/AZT-Test .....	39			
4.4.4	IIHS-Low-Speed Crashtest .....	41			
4.4.5	Zukünftige Ansätze .....	42			
4.5	Zusammenfassung .....	43			
<b>5</b>	<b>Charakterisierung von Deformationseigenschaften</b> .....	44			

## Begriffsbestimmungen

AZT	Abk. für Allianz-Zentrum für Technik. Forschungsinstitut der Allianz Versicherungs-AG im Bereich Fahrzeug- und Industrieteknik.		Diebstahlsicherheit erarbeitet. Mitglieder sind u. a. das Allianz-Zentrum für Technik (D) und THATCHAM (GB).
EES	Abk. für Energy Equivalent Speed. Aufprallgeschwindigkeit bei Straßenverkehrsunfällen.	SPSS	Abk. für Superior Performing Statistical Software. Programmpaket zur statistischen Analyse von Daten.
FMVSS	Abk. für Federal Motor Vehicle Safety Standards. Gesetzliche Fahrzeugsicherheitsstandards der USA.	TSN	Abk. für Typschlüsselnummer. Dies ist ein Code, der den Typ eines Kraftfahrzeugs oder Anhängers bezeichnet.
GDV	Abk. für Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft. Dem Verband gehören 455 Versicherungsunternehmen aus verschiedensten Bereichen an, darunter 40 Zweigniederlassungen ausländischer Versicherungsunternehmen und 6 Unternehmen mit Sitz im Ausland.		
HSN	Abk. für Herstellerschlüsselnummer. Dies ist ein vierstelliger Code, der den Hersteller eines Kraftfahrzeugs oder Anhängers bezeichnet. Dieser Code wird vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) vergeben, wenn ein Fahrzeughersteller Inhaber einer Allgemeinen Betriebserlaubnis oder EG-Typgenehmigung ist.		
HWS	Abk. für Halswirbelsäule		
IDL	Abk. für Interactive Data Language. Programm zur visuellen Datenanalyse und Datenverarbeitung im wissenschaftlichen Bereich.		
IIHS	Abk. für Insurance Institute for Highway Safety, gemeinnütziges, US-amerikanisches Institut, das von der Versicherungswirtschaft gegründet wurde. Ziel der Arbeit ist die Minderung der Zahl der Kraftfahrzeugunfälle und deren Folgen, d. h. Senkung der Verletztenrate und der Sachschäden.		
RCAR	Abk. für Research Council for Automobile Repairs. Internationale Vereinigung aus versicherungsnahen Forschungsinstituten, deren Ziel die Minderung der Schadenkosten für die Versicherungswirtschaft im Bereich Pkw ist. Es werden Vorschläge zur Schadensreduzierung, zur Erhöhung der Reparaturfreundlichkeit und		

## 1 Einleitung

Die Verletzungsschwere bei Pkw-Unfällen hat im Laufe der letzten Jahrzehnte in ihrer Gesamtheit abgenommen. Dies scheint jedoch nicht für die Auftretenswahrscheinlichkeit von Halswirbelsäulen-Distorsionen (HWS-Distorsionen) zu gelten (vgl. hierzu RICHTER, OTTE, BLAUTH, POHLEMANN & TSCHERNE, 2000 [47]; RICHTER, OTTE & BLAUTH, 1999 [46]). Als Grund für die grundsätzliche Abnahme an schweren Verletzungen ist eine bessere passive Sicherheit der Fahrzeuge zu nennen. Die verbesserten Rückhaltesysteme in Pkw könnten nach Ansicht von RICHTER et al. (1999) [46] jedoch auch mit für die steigende Zahl an diagnostizierten HWS-Distorsionen bei Unfallopfern verantwortlich sein. Die Autoren begründen dies mit – insbesondere bei Frontalzusammenstößen auftretenden – größeren Bewegungen und damit auch Belastungen des nicht fixierten Halses und Kopfes im Vergleich zu dem gut stabilisierten Torso. Die volkswirtschaftlichen Kosten von HWS-Distorsionen sind ebenfalls nicht zu vernachlässigen. So berichtet der Status Report des IIHS vom 22. Mai 1999 [30], dass diese Verletzungen ca. 30-40 % aller Schadensansprüche der Autoversicherer ausmachen und Kosten von 7 Milliarden Dollar pro Jahr verursachen. Auch in Europa sind die durch diese Verletzung verursachten Kosten enorm. RICHTER et al. (1999) [46] und RICHTER et al. (2000) [47] erwähnen Kosten von 10 Milliarden Euro pro Jahr.

Bevor im weiteren Verlauf die Faktoren diskutiert werden, die einen Einfluss auf die Entstehung und Schwere von HWS-Distorsionen haben, soll zunächst grundsätzlich auf die Entstehung dieses Störungsbildes eingegangen werden.

### Definition und Entstehung einer HWS-Distorsion

Gemäß RICHTER et al. (1999) [46] und RICHTER et al. (2000) [47] werden HWS-Distorsionen als reine Weichteilverletzungen ohne nachweisbare diskoligamentäre Instabilität definiert. Sie müssen dabei nach der „Abbreviated Injury Scale“ als leichte Verletzung (mit Grad 1) bewertet werden. Sie entstehen häufig durch einen Heckaufprall, bei dem das Fahrzeug nach vorne beschleunigt wird. Der Sitz wird dadurch gegen den Torso des Fahrers gedrückt und beschleunigt diesen ebenfalls nach vorne. Durch die fehlende Fixierung des Halses und Kopfes resultiert eine Verzögerung der Bewe-

gung gegenüber dem Torso. Zunächst wirkt keine Beschleunigung auf den Kopf ein, sodass er statisch im Raum bleibt. Das Ergebnis ist eine erzwungene Dehnung des Halsbereichs. Hierdurch verändert sich die Form des Genicks, das zuerst eine S-Form annimmt und sich nach hinten biegt. Wenn die durch die Überdehnung auftretenden Kräfte die Trägheit des Kopfes schließlich überwinden und diesen nach vorne beschleunigen, bewegt sich der Kopf über die Position des Torsos hinaus nach vorne. Diese Bewegung ähnelt in ihrer extremen Form einem Peitschenschlag („Whiplash“, der englische Begriff für das Halswirbelsäulentrauma).

Wichtig scheint jedoch nicht nur die Stärke der Überdehnung des Nackens zu sein, sondern auch wie plötzlich der Hals die S-Form annimmt (vgl. hierzu IIHS, 1999 [30]).

### Beeinflussende Faktoren für das Auftreten von HWS-Distorsionen

Grundsätzlich scheint es viele Faktoren zu geben, die einen Einfluss auf die Auftretenswahrscheinlichkeit und die Schwere von HWS-Distorsionen haben. TUCKER (1995) [58] nennt als Beispiele die Kopfstützen, die Position des Kopfes zum Zeitpunkt des Zusammenstoßes, die Kenntnis des nahenden Zusammenstoßes (Anspannung der Muskeln usw.), gesundheitliche Vorbelastungen der Insassen und die Steifigkeit der Rückenlehne des Sitzes. Natürlich spielen auch die in den Unfall verwickelten Fahrzeugtypen, die Geschwindigkeit der Fahrzeuge, die Art und der Winkel des Zusammenpralls, gegebenenfalls zusätzliche Zusammenstöße, der Winkel der Rückenlehne und vieles mehr eine Rolle. Interessant ist jedoch, dass auch das Anlegen eines Gurtes als eher negativ für das Auftreten von HWS-Distorsionen angesehen wird. Begründet wird dies mit den Eigenschaften eines Gurtes, der zwar den Torso fixiert, nicht aber den Hals und Kopf. Diese erfahren somit eine starke Bewegung nach vorne und sind einer höheren Belastung ausgesetzt als der Rest des Körpers.

In einem Online-Artikel von FREEMAN (2005) [19] wird ebenfalls eine Vielzahl an Einflussfaktoren auf die Schwere von HWS-Distorsionen genannt. Hierunter fallen auf Seiten der betroffenen Insassen z. B. das Alter, ihr Geschlecht (Frauen sind häufiger als Männer betroffen), ihre Größe, ob sie ihren Kopf während des Zusammenpralls gedreht haben oder sich des Zusammenstoßes bewusst waren. Auf Seiten des Fahrzeugs werden kleinere Fahrzeuge



als nachteilig angesehen und die Steifigkeit des Fahrzeugs selbst wird diskutiert. So absorbieren steifere Fahrzeuge bei Unfällen mit geringen Geschwindigkeiten nicht genügend Energie und leiten die Kräfte stärker an die Insassen weiter – dies kann dann zum vermehrten Auftreten von HWS-Distorsionen führen. Der Konstruktion der Sitze und Kopfstützen wird ebenfalls viel Aufmerksamkeit geschenkt. Dieser Faktor scheint deswegen besonders wichtig und wird häufig betont, weil die Kopfstütze in vielen Fällen nicht richtig eingestellt wird und sich viel zu tief befindet.

VIANO (2003a [59], 2003b [60], 2003c [61]) weist ebenfalls auf den Einfluss von Sitzeigenschaften auf die Entstehung von HWS-Distorsionen hin. Verglichen wurden hierbei mehrere nachgiebige und feste Sitze und es wurde festgestellt, dass die steiferen Sitze zu größeren Kopf-Torso Beschleunigungen und größeren Verschiebungen des Nackens führten. Hierbei schienen die steiferen Sitze insbesondere für Frauen von Nachteil zu sein. Der Autor führt auch das erhöhte Aufkommen von HWS-Distorsionen über die letzten Jahrzehnte unter anderem auf den Trend zurück, die Steifigkeit der Sitze zu erhöhen. Da der Sitz dann jedoch nicht genügend nachgibt, erhöht sich die Belastung des Halsbereichs. Er empfiehlt daher so genannte „high-retention seats“, die einen steifen Rahmen als Rückhalt haben, der gleichzeitig nachgiebig gelagert ist. Die Gefahr von HWS-Distorsionen kann somit reduziert werden.

Auch SIEGMUND, HEINRICHS, CHIMICH, De MARCO und BRAULT (2005) [54] sind der Ansicht, dass bessere Stoßstangen und Sitze das Risiko von HWS-Distorsionen reduzieren könnten. Die Autoren untersuchten verschiedene Eigenschaften des Kollisionsimpulses des Fahrzeugs bei einem Heckaufprall. Zu den variierten Eigenschaften gehörten unter anderem die Spitzenbeschleunigung (1,3-4,4 g), die Geschwindigkeitsänderung (3-11 km/h) und die Dauer (52-180 ms). SIEGMUND et al. (2005) [54] schlussfolgern aufgrund der Ergebnisse, dass sowohl Querträger als auch Sitze so konstruiert sein müssten, dass der Kollisionsimpuls verlängert wird. Dadurch würde die durchschnittliche Fahrzeug- und Insassenbeschleunigung für eine gegebene Geschwindigkeitsveränderung reduziert.

KULLGREN, KRAFFT, NYGREN und TINGVALL (2000) [35] führten Untersuchungen an 187 ange-schnallten Versuchspersonen bei 143 Frontalkolli-

sionen durch, bei denen ebenfalls der Impuls des Zusammenstoßes erfasst wurde. Entgegen der herkömmlichen Meinung, dass HWS-Distorsionen nur bei Heckkollisionen auftreten, entsteht dieses Störungsbild zu fast 1/3 bei Frontalkollisionen (vgl. hierzu auch RICHTER et al., 1999 [46]; RICHTER et al., 2000 [47]). Die Studie ergab, dass die Form des Impulses das Risiko langfristiger Verletzungen des Nackens beeinflusste. Die Fahrzeugbeschleunigung im mittleren und letzten Drittel des Impulses schien dabei sehr wichtig zu sein. Aber auch die Geschwindigkeitsänderung, die mittlere Beschleunigung und die Spitzenbeschleunigung beeinflussten das Verletzungsrisiko.

Die Form des Beschleunigungsimpulses war auch ein Untersuchungsgegenstand der Studie von KETTLER, FRUTH, HARTWIG, CLAES und WILKE (2004) [32]. Die Autoren variierten in 3 Experimenten die Geschwindigkeit des Anstiegs des Impulses bei Seiten-Kollisionen. Die Dauer des Beschleunigungsimpulses war dabei immer gleich, bei Experiment 1 hatte der Beschleunigungsimpuls jedoch einen schnellen Anstieg bis zum Maximalwert und dann einen schnellen Abfall (Bedingung schnell-schnell), in Experiment 2 einen langsamen Anstieg und danach einen schnellen Abfall (Bedingung langsam-schnell) und in Experiment 3 einen schnellen Anstieg und anschließend einen langsamen Abfall (Bedingung schnell-langsam). KETTLER et al. (2004) [32] berichten, dass bei Experiment 2 Verletzungen erst bei signifikant höheren Spitzenbeschleunigungen auftraten im Vergleich zu den Bedingungen der beiden anderen Experimente. Bei der durchschnittlichen Beschleunigung und der Geschwindigkeitsänderung gab es jedoch keine Unterschiede zwischen den variierten Bedingungen.

In einem Experiment, das die Auswirkungen verschiedener Parameter auf die Schwere der Verletzungen bei Heckkollisionen untersuchte, stellten auch KRAFFT, KULLGREN, TINGVALL, BOSTROM und FREDRIKSSON (2000) [33] fest, dass die beiden Unfälle, bei denen langfristig behindernde Nackenverletzungen auftraten, mit den höchsten Spitzenbeschleunigungen (15 und 13 g) verbunden waren, aber nicht mit der größten Geschwindigkeitsveränderung.

Wie auch in den Artikeln von RICHTER und Kollegen (1999 [46]; 2000 [47]) berichtet wird, so weist auch TUCKER (1995) [58] auf verschiedene Studien hin, die zeigen konnten, dass bereits bei Kollisions-

sionen mit niedrigen Geschwindigkeiten HWS-Distorsionen auftreten können. TUCKER (1995) [58] erwähnt Untersuchungen, die nachweisen konnten, dass ein Heckaufprall mit einer Geschwindigkeit von 8 Meilen pro Stunde (ca. 13 Kilometer pro Stunde) zu einer 2-g-Beschleunigung des Fahrzeugs führt, der Kopf der Insassen aber innerhalb von 250 Millisekunden mit 5 g belastet wird. Der Hals und Nacken der Insassen erfahren also höhere Belastungen als das Fahrzeug selber. Die größten Überdehnungen des Nackens sollen gemäß den berichteten Studien bei niedrigen oder mittleren Geschwindigkeiten auftreten. Dies auch, weil bei niedrigen Geschwindigkeiten die Deformation des Fahrzeugs gering ist – und damit die Kräfte unmittelbar an die Insassen weitergeleitet werden (vgl. hierzu auch FARR, 2002 [18]).

HWS-Verletzungen treten zwar signifikant häufiger bei Heckkollisionen auf (60 % der verletzten und angeschnallten Insassen bei Heckkollisionen erleiden solche Verletzungen, bei anderen Arten von Zusammenstößen nur 30 % der Insassen; vgl. RICHTER et al., 1999 [46], und RICHTER et al., 2000 [47]), aber auch bei anderen Anprallrichtungen können HWS-Distorsionen entstehen. Bei seitlichen Kollisionen können mangelhafte Sitze oder fehlerhafte Einstellungen der Kopfstützen aufgrund der Anprallrichtung jedoch nicht in gleichem Maße als Erklärung für die auftretenden Verletzungen angesehen werden.

An dieser Stelle soll kurz auf die Rechtsprechung und die Ansicht der Versicherungsunternehmen eingegangen werden. Es wird dort häufig bestritten, dass bei niedrigen Geschwindigkeiten Verletzungen der HWS auftreten, wenn nicht schon Vorschäden bestanden haben (vgl. z. B. Allianz Versicherungs-AG, 1996 [3]). So entschied das Landgericht Berlin am 20.11.2000 unter der Aktennummer 58 S 7/00, dass bei einer plötzlichen Veränderung der Geschwindigkeit von weniger als 10 km/h das Auftreten eines HWS-Traumas grundsätzlich ausgeschlossen ist. Ausnahmen von diesem Grundsatz sind nur bei Vorschäden der Halswirbelsäule möglich und wenn sich die betroffene Person zum Zeitpunkt der Kollision nicht in der üblichen Sitzposition befand. Gestützt wird diese Regelung z. B. von der Studie von CASTRO et al. (1997) [13], die eine Unbedenklichkeitsgrenze von 10 bis 15 km/h ermittelten. Dies gilt für den Fall eines Heckaufpralls. Das Amtsgericht Aachen entschied jedoch am 07.09.2000 unter der Aktennummer 6 C 315/99, dass bei einem seitlichen Aufprall auch geringere

Geschwindigkeiten Verletzungen der Halswirbelsäule verursachen können. Gemäß RICHTER et al. (1999) [46] und RICHTER et al. (2000) [47] betrug die Geschwindigkeitsänderung bei fast einem Viertel der von ihm und seinen Kollegen untersuchten Unfälle weniger als 10 km/h. Die gestiegene Anzahl an HWS-Distorsionen wird von den Autoren in diesem Zusammenhang auf mehrere Gründe zurückgeführt. Zum einen kann ein sensibilisiertes Bewusstsein gegenüber dieser Störung eine Rolle spielen, zum anderen ist, insbesondere bei leichten Unfällen, möglicherweise eine gesteigerte Empfindlichkeit der Betroffenen die Ursache für die zunehmende Häufigkeit der HWS-Verletzungen. Obwohl die Versicherungsunternehmen häufig argumentieren, dass eine Ursache für die steigende Zahl an HWS-Traumata die Erlangung von Schadensersatz sei, konnten RICHTER et al. (1999) [46] und RICHTER et al. (2000) [47] in ihren Untersuchungen diese Vermutung nicht bestätigen. Die Verletzten ohne Schadensersatzansprüche zeigten keine Unterschiede in Bezug auf die Unfallrahmenbedingungen und Beschwerdeshäufigkeit im Vergleich zu den Personen, die Schadensersatzansprüche gestellt haben. Interessanterweise war in der Gruppe der Personen mit Schadensersatzansprüchen sogar eine tendenziell kürzere Beschwerdedauer zu beobachten und dies war sogar unabhängig davon, ob tatsächlich Schadensersatz gezahlt wurde. Es gab ebenfalls keine Unterschiede bezüglich der Unfallrahmenbedingungen oder der Unfallfolgen zwischen den Personen, die Schadensersatzansprüche gestellt und erhalten haben, und solchen, bei denen eine Zahlung verweigert wurde. Die Autoren zweifeln daher die Bedeutung von Schadensersatzansprüchen für die hohe Zahl an HWS-Verletzungen an.

### Schlussfolgerungen

Obwohl in vielen Untersuchungen die Konstruktion der Sitze und die (mangelhafte) Einstellung der Kopfstützen als ausschlaggebende Faktoren für die Entstehung von HWS-Distorsionen angesehen werden, so ist doch von einem multifaktoriell bedingten Geschehen auszugehen. Auch die Anprallrichtung und der Beschleunigungsimpuls spielen eine Rolle.

Aus Untersuchungen geht hervor, dass ein Einflussfaktor – neben der Spitzenbeschleunigung – der Verlauf des Beschleunigungsimpulses ist. So scheint ein schneller Anstieg der Beschleunigung mit einem größeren HWS-Verletzungsrisiko verbun-

den zu sein. Eine stärkere Verformung der Karosserie und damit verbundene geringere Verzögerungen bei niedrigen Kollisionsgeschwindigkeiten (bis 20 km/h) sind für die Insassen bezüglich HWS-Verletzungen dagegen von Vorteil.

Eine stärkere Verformung der Karosserie kann jedoch im Gegenzug die Reparaturkosten erhöhen (vgl. zu diesem Aspekt auch FARR, 2000 [18]), da an der Fahrzeugstruktur mehr Teile beschädigt werden. Da aber absehbar günstige Reparaturkosten bei Fahrzeugmodellen die Kaufentscheidung der Verbraucher positiv beeinflussen, sind Fahrzeughersteller bemüht, die Fahrzeuge so zu optimieren, dass sie reparaturfreundlich sind.

Aus den genannten Aspekten leitet sich die Aufgabenstellung ab, konstruktive Veränderungen, die durch den Versicherungseinstufungstest bedingt werden, zu untersuchen. Mit Hilfe des Versicherungseinstufungstests wird nämlich die Typklasse eines neuen Modells festgelegt. Eine reparaturfreundliche Karosserie mit niedrigen Reparaturkosten führt zu einer günstigen Typklasse. Es wird dann betrachtet, welchen Einfluss die konstruktiven Veränderungen auf die Beschleunigungs- und Verzögerungsimpulse des Fahrzeuginnenraums im Crashfall haben.

## 2 Versicherungssysteme

In diesem Kapitel wird zunächst aufgezeigt, welche Faktoren die Höhe von Pkw-Versicherungsprämien in verschiedenen Ländern beeinflussen. Anhand des deutschen Typklassenverzeichnisses werden Typklassen von Fahrzeugen in der Fahrzeugvollversicherung auf Änderungen hin untersucht.

### 2.1 Deutschland

In Deutschland spielen die Haftpflichtversicherung und Kaskoversicherung bei der Fahrzeugversicherung eine maßgebliche Rolle.

Die Kfz-Haftpflichtversicherung ist eine Pflichtversicherung, die für einen vom Versicherten verursachten Schaden bei einem Verkehrsunfall aufkommt. Es wird nicht der eigene Schaden beglichen, sondern nur der Schaden, der bei einem anderen entsteht. Die Kaskoversicherung ist eine freiwillige Versicherung gegen Schäden am Fahrzeug des Versicherten. Es wird zwischen Teilkasko und Vollkasko unterschieden. Die Teilkaskoversicherung

kommt für Schäden wie Diebstahl, Brand, Glasbruch und Wildschaden auf. Die Vollkaskoversicherung deckt zusätzlich Schäden durch selbst verschuldete Unfälle und Vandalismus ab.

Die Fahrzeugmodelle werden für die Versicherungen in unterschiedliche Typklassen eingeteilt, aus denen die Versicherer die Beiträge für die Versicherten berechnen.

Die Typklassenverzeichnisse für Haftpflicht-, Voll- und Teilversicherung werden von einem unabhängigen Treuhänder, der PwC (Deutsche Revision Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft) verwaltet. Die Klassifizierungskommission, die aus Delegierten des KBA (Krafftahrtbundesamt), des GDV (Gesamtverband der Deutschen Versicherer) und technischen Sachverständigen der Versicherungswirtschaft besteht, unterstützt und berät die Treuhandgesellschaft. Der GDV erarbeitet anhand aktueller Schadensstatistiken Vorschläge zur Umstufung von Fahrzeugen. Diese werden der Treuhandgesellschaft zur Überprüfung vorgelegt und anschließend in der Kommission beraten. Die Treuhandgesellschaft nimmt daraufhin die Ein- und Umstufungen in dem Typklassenverzeichnis vor. Jeweils am 1. Oktober eines Jahres leitet der GDV das neue Verzeichnis an die Versicherer weiter.

Die Ersteinstufungen neuer Modelle werden unverzüglich vom GDV in Form von Ergänzungen an die Versicherer weitergegeben. Bis 1996 war die Leistung eines Pkw Haupteinstufungskriterium für die Versicherungen. Seit diesem Zeitpunkt wird die Einstufung maßgeblich aus der Schadenshäufigkeit und der Schadenshöhe des betrachteten Modells bestimmt. Auf die Berechnung für die Ersteinstufung und die Umstufung in der Fahrzeugvollversicherung wird im Folgenden eingegangen.

Die Fahrzeugvollversicherung besteht aus 25 Typklassen, die Fahrzeugteilversicherung unterteilt sich in 24 Typklassen. Die Zuordnung einzelner Modelle zu den einzelnen Typklassen erfolgt über den Schadenbedarf SB, der in Indexpunkten ausgedrückt und für jedes Fahrzeug aus der Schadenhöhe und der Schadenshäufigkeit jährlich neu berechnet wird.

Dieses System gilt in Deutschland ausschließlich für Pkw, bei Lkw und Bussen sind für die Versicherungseinstufung lediglich das Gewicht und der geplante Einsatzbereich (Nah- oder Fernverkehr) maßgebend. Die Haftpflichtversicherung ist hier, genau wie bei Pkw, eine Pflichtversicherung.

Jede Typklasse besitzt eine festgelegte Bandbreite an SB-Werten (Indexgrenzen). Bei Über- bzw. Unterschreitung der Grenzen ist eine Umstufung des Fahrzeugs vorzunehmen.

Fahrzeuge, die in Deutschland vertrieben werden, erhalten vom KBA eine Hersteller- und Typschlüsselnummer (Abk.: HSN und TSN). Fahrzeuge, die sich vom Aufbau nicht wesentlich unterscheiden, werden von der Versicherungswirtschaft über die Schlüsselnummern so genannten Konstruktionsgruppen zugeordnet (z. B. wenn Fahrzeuge baugleich sind, sich aber in der Leistung unterscheiden). Wenn es möglich ist, ein neues Pkw-Modell einer bereits existierenden Konstruktionsgruppe zuzuordnen, übernimmt das neu einzustufende Fahrzeug den SB-Wert dieser Gruppe (z. B. bei dem Facelift eines Modells).

Neufahrzeuge, die keiner bestehenden Konstruktionsgruppe zugeordnet werden können, bilden eine neue Gruppe (z. B. Nachfolgemodell). Die Index-Werte für Schadenshäufigkeit, Schadendurchschnitt oder Schadenbedarf werden neu ermittelt.

Der SB-Wert der Pkw-Vollkaskoversicherung eines Fahrzeugtyps errechnet sich in diesem Fall zum einen aus dem Anteil des Schadendurchschnitts des jeweiligen Fahrzeugtyps am Schadendurchschnitt aller Fahrzeuge (SD-Wert). Zum anderen wird beim SB-Wert der Anteil der Schadenshäufigkeit (in %) des einzelnen Fahrzeugs an der Schadenshäufigkeit des Gesamtbestands berücksichtigt (SH-Wert). Beide Werte werden miteinander multipliziert und ergeben so den Schadenbedarfsindex (SB-Wert).

Die Schadenshäufigkeit SH wird in erster Linie durch die Fahrerpopulation bestimmt. Höher motorisierte Fahrzeuge wie ein Golf IV GTI (110 kW) werden in der Regel von Fahrern mit einer höheren Risikobereitschaft gefahren. Die Versicherer registrieren bei diesem Fahrzeug mehr Unfälle bezogen auf dessen Bestand als beispielsweise beim Basismodell mit 55 kW Motorleistung. Folglich ist beim Golf IV GTI der SH-Wert höher, der direkt in die Typklassenbestimmung mit eingeht.

Der Schadendurchschnitt SD wird von den durch Unfälle auftretenden Kosten bestimmt. Hier fließt an erster Stelle die Konstruktion der Fahrzeuge mit ein. Die Reparaturfreundlichkeit der Karosserie und die Zahl der beschädigten Teile sind maßgebend. Der Schaden, der in Kaskofällen durch Werkstätten

behooben wird, setzt sich aus den Ersatzteilkosten und den Kosten für die anfallende Arbeitszeit zusammen. Hier kann der Automobilhersteller durch seine Preispolitik bei den Ersatzteilen Einfluss nehmen.

Bei der Ersteinstufung in die Fahrzeugvollversicherung wird die Schadenshäufigkeit (SH-Wert) weitestgehend vom vergleichbaren Vorgängermodell übernommen. Befindet sich schließlich eine ausreichende Anzahl an Fahrzeugen im Verkehr, so kann die Schadenshäufigkeit für das neue Fahrzeug aus seinem Bestand heraus bestimmt werden. Eine erforderliche Umstufung erfolgt zum 1. Oktober jeden Jahres.

Die Schadenhöhe für ein neu einzustufendes Fahrzeug wird nicht vom Vorgänger übernommen, sondern aus dem Typschadentest bzw. RCAR/AZT-Crashreparaturtest heraus bestimmt. Auf die Prüfvorschrift wird im Abschnitt 3.1 näher eingegangen.

Der sich aus diesem Test ergebende Schaden, der sich anteilig aus einem Front-, Heck- und Seitenschaden zusammensetzt, wird in Relation zu dem Gesamtschadendurchschnitt gebracht, woraus der SD-Wert für das neu einzustufende Fahrzeug resultiert. Zu dem Schadendurchschnittswert SD wird ein Korrekturfaktor mit eingebunden, der die Leistung des Fahrzeugs berücksichtigt. Hieraus errechnet sich der Wert für die Schadenhöhe, der zusammen mit dem Wert für die Schadenshäufigkeit den Schadenbedarfsindex (SB-Wert) für das neu einzustufende Fahrzeug ergibt. Befinden sich ausreichend Fahrzeuge im Verkehr, so kann der Schadendurchschnitt aus dem Bestand heraus ermittelt werden.

Mit dem ermittelten Schadenbedarfsindex wird die Typklasse für die Beitragsrechnung bestimmt. Diese ist für eine bestimmte Schlüsselnummer bei allen Versicherungsgesellschaften gleich. In der Beitragsberechnung der Haftpflicht-, Voll- und Teilkaskoversicherung werden zusätzlich Faktoren, wie die Regionalklasse, mit berücksichtigt. Auf diese Berechnung haben die Unfallstatistik der jeweiligen Region, die Fahrweise von Fahrern mit spezifischen amtlichen Kennzeichen, die vorhandenen Straßenverhältnisse, die Zahl der zugelassenen Fahrzeuge und die Zusammensetzung der zugelassenen Fahrzeuge Einfluss.

Bei der Fahrzeugteilversicherung spielt der Typschadentest keine Rolle, da keine Typschadentestberechnung möglich ist. Bei einer Fahrzeugerteil-

stufung wird der statistisch gesicherte Schadenbedarfsindex SB des Vorgängermodells herangezogen. Ist kein vergleichbares Vorgängermodell vorhanden, so wird der Mittelwert aus vergleichbaren Konkurrenzmodellen gebildet.

### 2.1.1 Typklassenverzeichnis

Anhand des Typklassenverzeichnisses für die Kraftfahrzeugversicherung (gültig für den Zeitraum 1. Oktober 2004 bis 30. September 2005) wird untersucht, ob sich bei einem Modellwechsel erkennbare Veränderungen in der Fahrzeugvollversicherung ergeben. In einer Vorauswahl werden alle Modelle der derzeit auf dem deutschen Markt am stärksten vertretenen Fahrzeughersteller ermittelt. Die 10 zulassungsstärksten Fahrzeughersteller sind in Tabelle 2.1 aufgeführt und haben einen Anteil von ca. 80 % am Gesamtfahrzeugbestand.

Von diesen Herstellern werden die Modelle auf ihre Versicherungseinstufung hin untersucht.

Es zeigt sich, dass vergleichbare Modelle von unterschiedlichen Herstellern, die einem Segment angehören, auch ähnliche Typklassen besitzen. So liegen die Typklassen der Segmente Mini, Kleinwagen bis untere Mittelklasse, zu denen Fahrzeuge wie VW Lupo, Audi A2, und Ford Focus gehören, in einem Bereich von 11 bis 18. Fahrzeuge der Segmente Mittelklasse, obere Mittelklasse und Oberklasse decken im Durchschnitt einen Typklassenbereich zwischen 17 und 28 ab. Fahrzeuge dieser Segmente sind Opel Vectra, Audi A6, und BMW 7er. Nicht in die genannten Bereiche fallen die jeweiligen Spitzenvarianten der einzelnen Fahrzeugmodelle. Die Spitzenvarianten mit überdurchschnittlicher Leistung wie VW Lupo GTI oder Ford Focus RS haben deutlich höhere Typklassen als die Basismotorisierung, was hauptsächlich auf die höhere Schadenshäufigkeit

Rang	Hersteller	Anteil [%]
1	Volkswagen	18,6
2	Opel	10,4
3	Mercedes-Benz	10,3
4	BMW, Mini	8,7
5	Audi	7,4
6	Ford	7,4
7	Renault	5,0
8	Toyota, Lexus	4,0
9	Peugeot	3,5
10	Skoda	3,1
Summe		78,4

Tab. 2.1: Anteil der Automobilhersteller am Bestand an Pkw, Stand Januar 2006, nach KBA

durch die risikobereite Fahrerpopulation zurückzuführen ist. Das Modell Ford Focus (Modell 1998-2004) hat in der Basismotorisierung 55 kW eine Typklasse von 13 und in der Motorisierung mit 74 kW eine Typklasse von 15. Das Spitzenmodell Focus RS mit einer Leistung von 163 kW hat jedoch eine Typklasse von 29. Generell zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen einem Basismodell und dem geringfügig höher motorisierten Modell eher gering ausfallen oder zum Teil gleich sind. Die Unterschiede betragen meistens 0-3 Klassen.

Der Aufbau eines Modells, d. h. Stufenheck- oder Fließheckausführung, spielt bei der Vielzahl der Fahrzeuge keine Rolle. Deutliche Unterschiede zeigen sich zum Teil bei einem Vergleich zwischen Stufenheck-/Fließheckausführung und Kombiausführung. Die Mercedes-Benz E-Klasse W211 mit 165 kW, Baujahr ab 2001, hat als Fließheckversion eine Einstufung von 24. Die entsprechende Kombiversion hat eine Typklasse von 27. Es gibt auch einige Beispiele, bei dem die Kombiversion eine günstigere Klasse erzielt. Generell zeigt sich aber, dass bei einem Unterschied zwischen Stufenheck- bzw. Fließheckversion zu der Kombiversion die Kombiversion eher ungünstig eingestuft ist und dies ein Klassenunterschied von bis zu 4 Klassen bedeuten kann. Umgekehrt, falls eine Kombiversion günstiger eingestuft wird, macht der Unterschied nicht mehr als 2 Klassen aus. Die Ursache kann darin gesehen werden, dass Kombifahrzeuge häufiger als Geschäftswagen und zum Transport von Ladung eingesetzt werden. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung.

Einige Modelle, wie z. B. BMW 3er und Opel Astra, sind neben einer Stufenheck- und Kombiversion auch als Cabriolet und Coupé verfügbar. Besonders Cabriolets haben meist eine höhere Einstufung in der Vollkaskoklasse als die Stufenheckversionen bei gleicher Motorisierung. Das Modell BMW 3er, Baujahr 1998-2005, besitzt mit einer 125-kW-Motorisierung als Stufenheckversion die Klasse 21. Als Coupé und Cabriolet beträgt die Klasse jedoch 23. Insgesamt werden Unterschiede bis zu 4 Klassen deutlich. Dies liegt daran, dass Cabriolets mit ihrem Stoffverdeck häufiger mutwillig beschädigt werden.

Unterschiede bestehen auch zwischen gleichen Fahrzeugmodellen, die mit Benzinmotor oder Dieselmotor ausgestattet sind. Nahezu alle Fahrzeuge mit Dieselmotor haben im Vergleich zu einem Fahrzeug mit Benzinmotor und ähnlicher Leistung eine höhere Klasse. Die Mercedes-Benz A-Klasse W168, Baujahr 1997-2004, besitzt als Dieselsonversion mit 44

und 55 kW die Klasse 16. Die Benzinversion mit 60 kW Leistung hat im Gegensatz dazu eine Klasse von 13. Andere Modelle zeigen, dass dieser Unterschied bis zu 5 Klassen bedeuten kann. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Fahrzeuge mit Dieselmotor häufiger für Langstrecken eingesetzt werden. Sie erzielen in der Regel höhere Laufleistungen und damit steigt die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls in einem bestimmten Zeitraum im Vergleich zu einem Modell mit durchschnittlich geringerer Laufleistung.

Fahrzeugmodelle, die 20 Jahre und älter sind, haben sehr häufig die bestmögliche Einstufung mit 10 Punkten. Dies ist bei Modellen wie dem Audi 80, Baujahr 1977 bis 1986, damit zu begründen, dass diese Fahrzeuge von deren Haltern nicht mehr vollkaskoversichert werden, da die Fahrzeuge keinen nennenswerten Wert besitzen. Eine Kaskoversicherung ist bei diesen Fahrzeugen nicht sinnvoll.

Um Hinweise in dem Typklassenverzeichnis zu finden, die darauf hindeuten, dass sich die Einstufung von alten zu neueren Modellen positiv entwickelt

hat, wird die Zahl der Fahrzeuge weiter eingeschränkt. Es werden die Fahrzeugmodelle betrachtet, bei denen in den letzten 2-3 Jahren ein Modellwechsel stattgefunden hat.

Es wird darauf geachtet, dass ein aktuelles Fahrzeug einen vergleichbaren Vorgänger besitzt, der nach Möglichkeit die gleiche Antriebsleistung und Kraftstoffart besitzt. Die Fahrzeuge sollen keine Spitzenmotorisierung besitzen, sondern sich stark an Basismodellen orientieren. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist, dass die Fahrzeuge einen gleichen Aufbau besitzen. Mit diesen Auswahlkriterien soll gewährleistet werden, dass die Schadenshäufigkeit, die von der Fahrerpopulation bestimmt wird, zwischen Vorgänger und Nachfolger in etwa gleich ist. Damit soll nur der Schadensdurchschnitt der einzelnen Modelle eine Rolle spielen, der stark von der Konstruktion abhängig ist.

In Tabelle 2.2 ist ein Auszug der untersuchten Modelle mit Angabe der Leistung in kW und der entsprechenden Typklasse in der Fahrzeugvollversi-

Marke	Vorgänger				Nachfolger				Änd VK
	Modell	Leistung kW	Baujahr	VK	Modell	Leistung kW	Baujahr	VK	
Audi	A4 1.8T (B5)	110	94-01	20	A4 1.8T (8E)	110	ab 00	18	-2
Audi	A6 1.9 TDi (4B)	96	97-03	22	A6 2.0 TDi (4F)	100	ab 03	21	-1
Audi	A8 3.7 Quattro (D2)	191	94-02	29	A8 3.7 Quattro (4E)	206	ab 02	27	-2
BMW	320i (E46)	110	98-03	19	320i (E90)	110	ab 03	16	-3
BMW	525i (E39)	141	96-03	21	525i (E60)	141	ab 03	23	2
BMW	750i (E38)	240	94-01	28	745i (E65)	245	ab 01	29	1
Fiat	Punto 55 (176)	40	93-00	16	Punto 1.2 (188)	44	ab 99	16	0
Ford	Fiesta 1.3 (JAS)	44	96-02	15	Fiesta 1.3 (JD3)	44	ab 02	14	-1
Ford	Focus 1.4 (DFW)	55	98-03	13	Focus 1.4 (DB3)	59	ab 04	12	-1
Ford	Mondeo Turnier 1.8	85	93-00	18	Mondeo Turnier 1.8	81	ab 00	16	-2
MB	A160 CDI (W168)	55	97-03	16	A160CDI (W169)	60	ab 04	16	0
MB	C180 T (W202)	95	96-00	20	C180 (W203)	95	ab 00	18	-2
MB	E200 CDI (W210)	100	95-02	25	E220 CDI (W211)	110	ab 01	23	-2
MB	600 SE (W140)	290	91-98	29	S 600 (W220)	270	98-05	33	4
Opel	Corsa 1.2 (B)	48	92-00	16	Corsa 1.2 (C)	55	ab 00	16	0
Opel	Astra 1.4 (G-Caravan)	66	98-03	16	Astra 1.4 (H-Caravan)	66	ab 03	14	-2
Opel	Vectra 1.6 (B-CC)	66	95-02	15	Vectra 1.6 (C-CC)	74	ab 04	18	3
Peugeot	206 1.4 HDi (2 8HX)	50	98-03	20	206 1.4 HDi (2 8HZ)	50	ab 04	20	0
Peugeot	306 2.0 HDi (7 RHY)	66	93-01	20	307 2.0 HDi (3 RHY)	66	ab 01	17	-3
Renault	Twingo 1.2 (C06)	43	93-03	15	Twingo 1.2 (C06)	44	ab 04	15	0
Renault	Megane 1.6 (BA-FLH)	79	96-03	19	Megane 1.6 (M-3T)	77	ab 03	15	-4
Renault	Laguna 1.6 (B56)	79	98-01	18	Laguna 1.6 (G)	77	ab 03	18	0
Seat	Ibiza 1.4 (6K)	55	96-01	18	Ibiza 1.4 (6L)	55	ab 02	18	0
Toyota	Corolla 1.4 (E11-STH)	71	99-02	17	Corolla 1.4 (E12J-STH)	71	ab 03	15	-2
Toyota	Avensis 2.0 (T22-STH)	110	98-01	18	Avensis 2.0 (T25-STH)	110	ab 02	18	0
VW	Polo 1.4 (6N)	40	94-01	15	Polo 1.2 (9N)	40	ab 01	14	-1
VW	Golf IV 1.9 TDi	66	97-03	17	Golf V 1.9 TDi	66	ab 03	17	0
VW	Passat 1.9 TDi (3B)	110	96-00	18	Passat 2.0 TDi (3C)	110	ab 04	17	-1

**Tab. 2.2:** Typklassen in der deutschen Fahrzeugvollversicherung VK, gültig für den Zeitraum 01.10.2004 bis 30.09.2005, für ausgewählte Modelle, jeweils aktuelles und Vorgängermodell, mit Veränderung zum Vorgänger, grau hinterlegt die Modelle, die in der Einstufung günstiger geworden sind (aus Typklassenverzeichnis (2004) [21])

cherung, abgekürzt mit VK, aufgeführt. Diese Modellpaare sollen repräsentativ für alle untersuchten Vorgänger/Nachfolger-Kombinationen stehen. In der letzten Spalte ist die Veränderung der Typklasse im Vergleich zum entsprechenden Vorgängermodell aufgelistet. Hier zeigt sich, dass 15 der 28 Fahrzeuge (54 %) in der Einstufung günstiger geworden sind. Die Einstufung ist sehr häufig um 1 bis 2 Klassen günstiger geworden. Bei den französischen Fabrikaten von Peugeot und Renault beträgt die Verbesserung 3 bzw. 4 Klassen. Bei 9 Fahrzeugen der Tabelle 2.2 hat sich die Einstufung jedoch nicht geändert (32 %). 4 Nachfolgemodelle wurden höher eingestuft (14 %). Bei dieser Untersuchung zeigt sich zumindest tendenziell, dass die Nachfolgemodelle günstiger eingestuft werden.

Der Volkswagenkonzern verfolgt das Plattformkonzept, bei dem verschiedene Marken auf die gleichen Plattformen zurückgreifen können. In Tabelle 2.3 sind die Modelle der Plattformen Golf IV und Golf V zum Vergleich aufgeführt. Die Modelle wurden so gewählt, dass sie die gleiche Motorisierung besitzen.

Die hier aufgeführten Benzinversionen des Golf IV und V mit 74 bzw. 75 kW besitzen die Typklasse 15. Wie auch aus Tabelle 2.2, in der die Dieselsonversionen mit 66 kW aufgeführt sind, hervorgeht, sind keine Unterschiede zwischen Vorgänger und Nachfolger ersichtlich. Absolut befindet sich die Einstufung bei der Dieselsonversion jedoch bei 17. Unverändert ist auch die Einstufung des Modells Audi A3. Um zwei Klassen günstiger geworden ist das Modell Leon. Zwischen den betrachteten Fahrzeugen ist dennoch kein nennenswerter Unterschied feststellbar.

Marke	Modell	Leistung kW	VK
Plattform Volkswagen Golf IV			
VW	Golf IV 1.6 (1J)	74	15
Audi	A3 1.6 (8L)	74	17
Seat	Leon 1.6 (1M)	77	17
VW	New Beetle 1.6 (9C)	74	14
Plattform Volkswagen Golf V			
VW	Golf V 1.6 (1K)	75	15
Audi	A3 1.6 (8P)	75	17
Seat	Leon 1.6 (1P)	75	15
VW	Touran 1.6 (1T)	75	14

**Tab. 2.3:** Typklassen in der deutschen Fahrzeugvollversicherung VK der Plattformen Volkswagen Golf IV und Volkswagen Golf V (Stand 10/2004)

## 2.2 Andere Länder

Eine detaillierte Übersicht über die Versicherungssysteme verschiedener Länder wurde im Rahmen dieses Projekts nicht erstellt, da die dazu nötigen Informationen sehr aufwändig erarbeitet werden müssen und eine solche Untersuchung nicht Hauptbestandteil der vorliegenden Studie ist.

In der nachfolgenden Betrachtung wird in erster Linie kurz auf die Anwendung und Bedeutung von Crashreparaturtests in anderen Ländern eingegangen.

Es wird deutlich, dass der RCAR-Test von sehr vielen Institutionen und Forschungseinrichtungen in Europa, Amerika, Asien und Australien angewendet wird. Inwieweit nun dieser Test im Einzelfall als Verbrauchertest oder zur Versicherungseinstufung herangezogen wird (so wie z. B. in Deutschland), konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht geklärt werden.

Generell wird dennoch die hohe Bedeutung dieser Tests für die Fahrzeughersteller deutlich.

### 2.2.1 Europa

#### Großbritannien

Das englische Fahrzeugversicherungssystem ist dem deutschen System ähnlich. Seit 1992 werden Fahrzeuge zu Gruppen zusammengeschlossen, die dann in Typklassen eingestuft werden. Anhand dieser Typklassen können die Versicherungsbeiträge für private Pkw und leichte Nutzfahrzeuge festgelegt werden, es ist jedoch nicht gesetzlich vorgeschrieben. Die britischen Versicherungsunternehmen nutzen jedoch zum größten Teil das beschriebene System und folgen somit den Vorschlägen der Association of British Insurers (ABI).

Die technische Betreuung bei der Einteilung der Klassen wird vom „Motor Insurance Repair Research Centre“ (auch „Thatcham“ genannt) durchgeführt. Dieses Institut gibt ca. 70 % der zur Festlegung der Klassen benötigten Informationen an die ABI weiter. Thatcham führt ähnlich dem AZT (Allianz-Zentrum für Technik in München) den international anerkannten RCAR-Crashtest durch. Hierbei wird das beschädigte Fahrzeug auf Schäden untersucht und wieder instand gesetzt. Die Höhe der Schäden wird mit Hilfe speziell hierfür entwickelter Reparaturzeittafeln und den entstandenen Ersatzteilkosten ermittelt.

Die Tests dienen dazu, Reparaturkosten in Zukunft zu senken und gleichzeitig hohe Sicherheits- und Qualitätsstandards aufrechtzuerhalten.

Weitere Einflüsse auf die Fahrzeugeinstufung sind der Fahrzeugneupreis, die Leistung des Fahrzeugs, die Verfügbarkeit einer Ersatzkarosserie und der serienmäßige Diebstahlschutz. Nicht beachtet wird hingegen die Unfallhäufigkeit eines bestimmten Fahrzeugtyps oder innerhalb einer bestimmten Fahrzeuggruppe (nach ROBERTS, 2000, [48]).

### **Weitere europäische Länder (Frankreich, Spanien, Italien, Schweden, Norwegen, Finnland)**

In den genannten europäischen Ländern werden Instandsetzungskosten für Fahrzeuge durch den RCAR-Test ermittelt. Diese Daten werden den Versicherungsgesellschaften übermittelt. Die Reparaturkosten sind Bestandteil der Bewertung der Versicherer bezüglich der Höhe von Versicherungsprämien.

## **2.2.2 Nordamerika**

### **USA**

In den meisten Staaten der USA ist der Abschluss einer Kfz-Haftpflichtversicherung verpflichtend. In einigen Staaten genügt es, zur Zulassung eines Fahrzeugs nachzuweisen, dass „ausreichend Vermögen“ zur Schadensregulierung vorhanden ist. Die Festlegung der Prämien erfolgt durch die Versicherungsgesellschaften, dabei sind die Faktoren Fahrvergangenheit, Autotyp (u. a. Reparaturkosten), Wohnort, Familienstand, Alter, Geschlecht und Vermögen bzw. Bonität des Halters maßgebend. In den USA spielt daher die Höhe der Kosten bei Fahrzeugreparaturen für die Versicherer eine Rolle. Das Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) führt eine Reihe unterschiedlicher Low-Speed-Crashtests bei Geschwindigkeiten von 5 Meilen pro Stunde durch. Ein Test wird mit einer flachen Barriere jeweils gerade von hinten und vorne mit der Aufprallgeschwindigkeit von ca. 8 km/h durchgeführt. Ein weiterer Test erfolgt mit einer flachen um 30° gedrehten Barriere auf die Seite rechts vorne. Zusätzlich wird ein Pfahlaufprall mittig hinten praktiziert. Mit Hilfe dieser Crashtests werden die Reparaturkosten ermittelt, diese werden dann teilweise von den Versicherungsgesellschaften benutzt, um Versicherungsbeiträge festzulegen. Es gibt jedoch kein einheitliches System wie in Deutschland. Weiterhin werden die Ergebnisse, d. h. die entstande-

nen Reparaturkosten bei der Prüfung von Fahrzeugen des amerikanischen Markts, veröffentlicht. Verbraucher können in Veröffentlichungen des IIHS vergleichen, welche Fahrzeuge geringe Kosten und welche hohe Kosten bei einer Reparatur verursachen.

### **Kanada**

In Kanada sind drei Institute als Mitglieder des RCAR aufgeführt. In British Columbia ist die Insurance Corporation of B.C. Research and Training Center ansässig. Es handelt sich hierbei um ein Institut, welches von den Versicherungsgesellschaften aus British Columbia betrieben wird. Es werden Versuche nach den RCAR-Vorschriften durchgeführt, die als Ziel haben, zur Reduktion der Reparaturkosten beizutragen. Als weitere Forschungsinstitute bezüglich RCAR sind zu nennen: The Manitoba Public Insurance Corporation Physical Damage Centre (betrieben von The Manitoba Public Insurance Corporation, Shareholder: Provincial Government Crown Corporation) und das Vehicle Information Centre (VIC). Das VIC gehört dem Insurance Bureau of Canada an. Beide Institutionen beschäftigen sich mit Reparaturkosten von Fahrzeugen und führen dementsprechend RCAR-Versuche durch. Das VIC arbeitet besonders eng mit Fahrzeugherstellern bzw. Importeuren zusammen.

## **2.2.3 Mittel- und Südamerika**

### **Mexiko, Argentinien, Brasilien, Kolumbien**

In Mexiko und den südamerikanischen Ländern Argentinien, Brasilien und Kolumbien ist die versicherungsnahe Organisation CESVI (Centro de Experimentación y Seguridad Vial) tätig, die Mitglied des RCAR ist und Schadensanalysen auf Basis des RCAR-Tests durchführt.

## **2.2.4 Asiatische Länder**

### **Japan**

In Japan ist folgendes Mitglied von RCAR ansässig: The Jiken Center Co., Ltd. Teilhaber daran sind japanische Versicherungen. Auch hier wird auf günstige Reparaturmöglichkeiten von Pkw Wert gelegt. Das Center führt auch Tests nach der RCAR-Richtlinie durch. Es findet eine enge Zusammenarbeit mit diversen Herstellern und Versicherungen statt. Die Zusammenarbeit mit Fahrzeugherstellern und



die Entwicklung neuer Reparaturmethoden dienen letztlich auch dazu, günstigere Fahrzeugversicherungen zu ermöglichen.

## Korea

Das Korea Automobile Insurance Repair Research and Training Center (KART) mit Sitz in Seoul ist Mitglied des RCAR, es werden ähnlich dem AZT diverse Untersuchungen und Analysen bezüglich Reparaturkosten bei Fahrzeugen durchgeführt. Das KART gehört zum Korea Insurance Development Institute (KIDI). Als Shareholder werden die Versicherungsgesellschaften Koreas angegeben. Das KART ist Herausgeber einer offiziellen Richtlinie für Fahrzeugeinstufungen in Korea. Die Versicherer benutzen die Empfehlung des KART zur Festlegung der Versicherungsprämien von Automobilen.

### 2.2.5 Australien

Eine Vereinigung der australischen Versicherungsgesellschaften (Insurance Australia Group, IAG) unterhält das Technical Research Centre. Das IAG, Mitglied des RCAR, führt Untersuchungen zu Reparaturkosten an Pkw durch. Das Forschungszentrum spricht Empfehlungen aus, welche bei der Einstufung der Pkw durch die Versicherungsgesellschaften berücksichtigt werden.

Das IAG veröffentlicht zudem im Internet die Ergebnisse der RCAR-Crashreparaturtests für verschiedene Fahrzeugklassen in Form der Reparaturkosten. Kunden können so direkt einsehen, welche Fahrzeuge des australischen Marktes geringe Reparaturkosten und welche hohe Reparaturkosten verursachen.

## 2.3 Zusammenfassung

In Deutschland werden die Prämien in den Pkw-Versicherungen (Teilkasko-, Vollkasko- und Haftpflichtversicherung) durch Zuordnung der Pkw-Modelle in Typklassen bestimmt. Bis 1996 war die Leistung eines Pkw Haupteinstufungskriterium für die Versicherungen. Von diesem Zeitpunkt an wird die Zuordnung in die Typklassen hauptsächlich von zwei Einflussgrößen bestimmt, nämlich der Schadenshäufigkeit und der Schadenshöhe. Bei der Fahrzeugvollversicherung, die für Schäden am eigenen Fahrzeug aufkommt, existieren insgesamt 25 Typklassen. Schadenshöhe und Schadenshäufigkeit eines bestimmten Pkw-Modells, die aus der

Datenbasis der Versicherer ermittelt werden, werden auf den Gesamtschadensdurchschnitt und die Gesamtschadenshäufigkeit des gesamten Fahrzeugbestands normiert. Die sich hieraus ergebenden Faktoren werden multipliziert und ergeben einen Index-Wert, der einer bestimmten Typklasse zugeordnet wird. Jedes Jahr wird anhand der Datenbasis geprüft, ob eine Umstufung in eine andere Typklasse erforderlich ist. Dieses System reguliert sich selbst, d. h., damit ein Fahrzeugmodell in der Einstufung besonders gut abschneidet, müssen Schadensdurchschnitt und Schadenshäufigkeit stets unter dem Durchschnitt aller Fahrzeugmodelle liegen. Bei der Ersteinstufung eines Pkw-Modells wird die Schadenshäufigkeit weitestgehend von einem vergleichbaren Vorgängermodell übernommen. Die Schadenshöhe wird direkt mit dem Typschadentest nach RCAR/AZT bestimmt und auf den Gesamtschadensdurchschnitt normiert. Großbritannien hat ein vergleichbares Typklassensystem wie Deutschland. Auch hier dient der Typschadentest nach RCAR/AZT direkt zur Einstufung von Pkw in die Fahrzeugvollversicherung. In vielen weiteren Ländern dient dieser Test nicht direkt zur Prämienbestimmung, dennoch ziehen versicherungsnahe Institute den Test zur Bewertung der Reparaturfreundlichkeit von Pkw heran. Die Ergebnisse werden, wie z. B. in Australien, veröffentlicht und so Verbrauchern zur Verfügung gestellt. In den USA wird ein Crashreparaturtest des Versicherungsinstituts IIHS durchgeführt, dessen Ergebnisse in Form der entstandenen Reparaturkosten veröffentlicht werden.

Die Versicherungswirtschaft hat zum Ziel, die Schadenszahlungen an die Versicherungsnehmer zu senken. Dies wird dadurch erreicht, dass entweder Einfluss auf die Schadenshäufigkeit (bestimmt durch die Fahrerpopulation) oder Einfluss auf die Schadenshöhe genommen wird. Die Schadenszahlungen resultieren hauptsächlich aus Unfällen, die sich im unteren Geschwindigkeitsbereich ereignen (70-80 % der Frontalunfälle Pkw gegen Pkw ereignen sich in einem Geschwindigkeitsbereich von unter 25 km/h). Ein sinnvoller Ansatz ist daher, Crashtests (z. B. nach RCAR/AZT) durchzuführen, die das reale Unfallgeschehen wiedergeben, um anschließend Schadenanalysen anzustellen. Hieraus lassen sich konstruktive Vorschläge zur Minderung von Schäden und zur Senkung des Reparaturaufwands entwickeln. Werden diese Vorschläge den Fahrzeugherstellern zur Verfügung gestellt und konstruktiv umgesetzt, so wirken diese Vorschläge letztlich auf

die Versicherungen positiv zurück, da Ersatzansprüche sinken. Diese Anstrengungen der Versicherungswirtschaft werden nicht nur in Deutschland unternommen, sondern auch in vielen anderen Ländern. Tendenziell ist bei Betrachtung des deutschen Typklassenverzeichnisses ersichtlich, dass die in den letzten Jahren neu auf dem Markt platzierten Pkw-Modelle günstiger eingestuft werden als entsprechende Vorgängermodelle. Inwieweit dies tatsächlich auf eine geänderte Konstruktion zurückgeführt werden kann, lässt sich alleine durch das Typklassenverzeichnis nicht klären, da zwei Faktoren, Schadenshöhe und Schadenshäufigkeit, die Typklasse maßgeblich bestimmen. In der Untersuchung wurde versucht, letzteren Einfluss zu eliminieren (Wahl gleicher/ähnlicher Motorisierung, gleicher Aufbau). Dennoch ist die Aussage, dass neue Fahrzeuge aufgrund einer möglichen geänderten Konstruktion günstiger eingestuft werden, mit einem zu hohen Unsicherheitsfaktor behaftet.

### 3 Tests der Versicherungswirtschaft

#### 3.1 RCAR/AZT

Der Typschadentest oder Crashreparaturtest wird seit 1985 in Deutschland angewendet und wurde auf Anregung der Versicherungsgesellschaften entwickelt. An dessen Entwicklung bestand internationales Interesse, sodass 1972 ein Forschungsrat für Automobilreparaturen gegründet wurde, nämlich der Research Council for Automobile Repairs (RCAR). Dieser Rat ist eine internationale Vereinigung von Forschungsinstituten, die der Versicherungswirtschaft angegliedert sind. Der Test wurde in großen Teilen durch das Allianz-Zentrum für Technik (AZT) mitentwickelt. Der Test dient zur Bewertung der Reparaturfreundlichkeit von Pkw in einer Vielzahl von Ländern und wird von Versicherungsgesellschaften in Deutschland und England zur Typklasseneinstufung von neuen Fahrzeugmodellen herangezogen.

Die Prüfvorschrift des RCAR („The Procedure for Conducting a Low Speed 15 km/h Offset Insurance Crash Test to Determine the Damageability and Repairability Features of Motor Vehicles“, Stand: Januar 1999) beinhaltet einen Front- und einen Heckcrashtest. Der Schaden aus einem Seitencrashtest, der in der deutschen Typschadenberechnung für die Ersteinstufung von Pkw (s. Abschnitt

2.1) benötigt wird, fließt hierin als ein theoretischer Seitenschaden mit ein, d. h. als eine Abschnittsreparatur eines Schwellers und eine Erneuerung der Fahrertür. Das Allianz-Zentrum für Technik hat einen Seitencrashtest entwickelt und führt hierzu Versuche durch. Eine Versuchsbeschreibung befindet sich im Anhang. Diese Seitencrashtests haben für die vorliegende Untersuchung keine Bedeutung, sodass nicht weiter darauf eingegangen wird.

Bei dem Frontcrashtest nach RCAR/AZT wird das Fahrzeug mit 40%iger Überdeckung (+/-25 mm) gegen eine starre Barriere gefahren. Die Prüfungsgeschwindigkeit beträgt 15 km/h mit einer Toleranz von 1 km/h nach oben (15 + 1 km/h).

Diese Parameter bilden das reale Unfallgeschehen ab, was nach ANSELM (1997) [5] verschiedene Untersuchungen zeigen konnten.

Die Prüfmasse setzt sich aus dem Leergewicht und einer zusätzlichen Masse von 75 kg (entsprechend einem 50%-Mann-Dummy), zusammen. Das Testfahrzeug sollte unfallfrei und repräsentativ für die Serienproduktion sein (üblicherweise das meist verkaufte Modell). Weiterhin sollten alle Ausstattungsmerkmale, die gewöhnlich vom Kunden verlangt werden, im Fahrzeug vorhanden sein. Genauere Angaben über die Auswahl des Fahrzeugs konnten in der Versuchsbeschreibung nicht gefunden werden. Eine Darstellung des Versuchsaufbaus befindet sich in Bild 3.1.

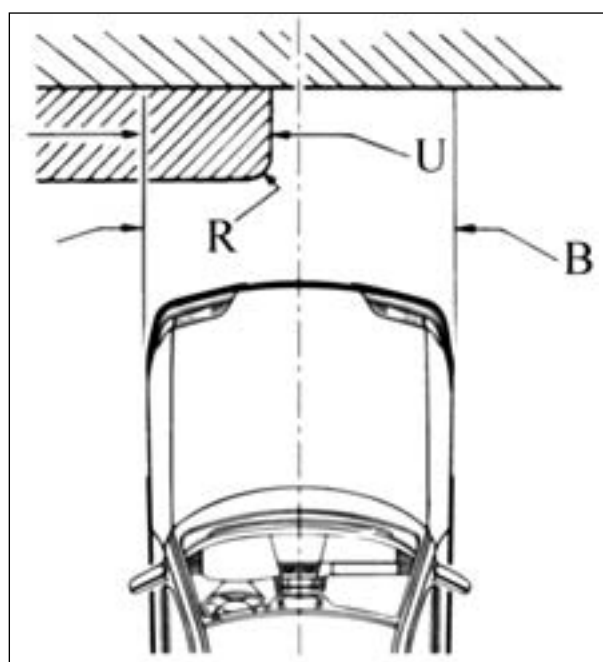


Bild 3.1: Starre Barriere m. Testfahrzeug im Frontversuch, aus RCAR (1999) [45]

Hierbei ist  $U$  = Anteil der Überdeckung, gemessen an der Fahrzeugbreite (40 %),  $B$  = Fahrzeugbreite,  $R$  = Radius der starren Barriere (150 mm).

Bei dem Heckversuch nach den RCAR-Bestimmungen wird das stehende Fahrzeug von einer mobilen Barriere (Masse 1.000 kg) mit 15 + 1 km/h getroffen. Optional ist aber auch eine zweite Versuchsmethode zulässig. Hierbei wird das Fahrzeug rückwärts gegen die Barriere, die jetzt als starr betrachtet wird, gefahren. In beiden Fällen beträgt die Überdeckung wie beim Frontversuch 40 %. In Bild 3.2 ist die Versuchskonfiguration mit der mobilen Barriere aufgeführt.

Wird das Fahrzeug im Hecktest gegen die starre Barriere gefahren, so beträgt die Geschwindigkeit nicht 15 + 1 km/h, sondern entspricht einer Geschwindigkeit gemäß der Gleichung

$$v = 15 \text{ km/h} \cdot \sqrt{\frac{1000 \text{ kg}}{1000 \text{ kg} + m_1}} + 1 \text{ km/h},$$

wobei  $m_1$  das Testgewicht des Fahrzeugs ist.

Diese Gleichung kommt wie folgt zustande:

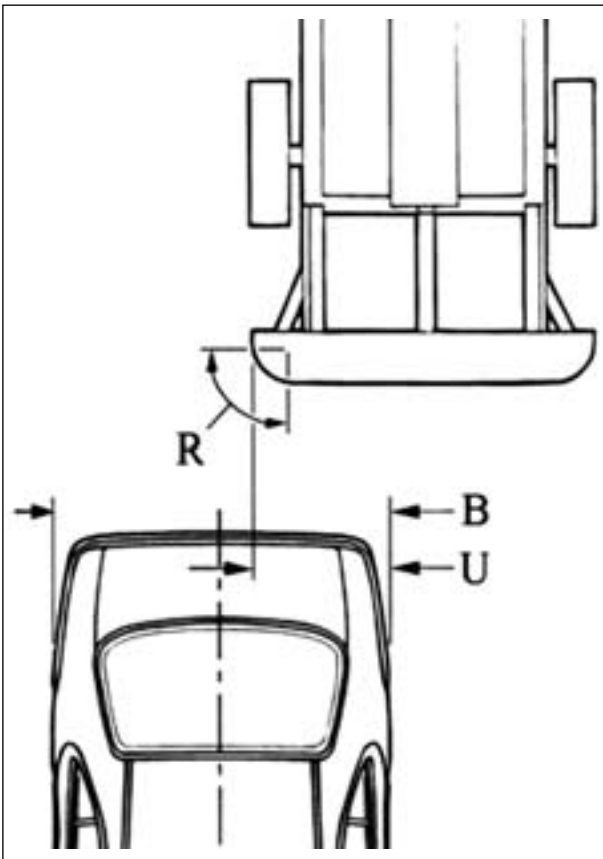


Bild 3.2: Mobile Barriere (oben) mit Testfahrzeug (unten), RCAR (1999) [45]

Der Aufprall der mobilen Barriere auf das Heck des stehenden Fahrzeugs wird als unelastischer Stoß angesehen.

Hierbei gelten die Sätze der Energie- und Impulserhaltung. Beim unelastischen Stoß wird ein Teil der Energie in innere Energie  $U$  umgewandelt. In der vorliegenden Betrachtung wird davon ausgegangen, dass diese Energie  $U$  maximal wird. Das ist dann der Fall, wenn die Geschwindigkeiten der mobilen Barriere und des Fahrzeugs nach dem Stoß gleich sind.

In den nachfolgenden Gleichungen beschreibt  $m$  die Prüfmasse [kg],  $v$  die Geschwindigkeit [m/s],  $p$  den Impuls [kg m/s],  $E$  die kinetische Energie [Nm] und  $U$  die innere Energie bzw. die verzehrte Verformungsarbeit der Struktur [Nm]. Die Indizes 1 und 2 kennzeichnen das Testobjekt bzw. das Fahrzeug (1) und die mobile Barriere (2).

Vor dem Stoß besitzt das Fahrzeug die Geschwindigkeit  $v_1 = 0$  und die mobile Barriere die Geschwindigkeit  $v_2 = 15 \text{ km/h}$ . Nach dem Stoß sind aus der Annahme heraus beide Geschwindigkeiten gleich, d. h.

$$v_1' = v_2'.$$

Damit gilt vor dem Stoß

$$p = m_2 \cdot v_2$$

sowie

$$E = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2$$

und nach dem Stoß

$$p' = (m_1 + m_2) \cdot v_2'$$

sowie

$$E' = \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2) \cdot v_2'^2 + U.$$

Dadurch, dass die Barriere und das Fahrzeug nach dem Stoß die gleiche Geschwindigkeit besitzen (sie „kleben“ sozusagen aneinander), wird – ohne den Beweis an dieser Stelle zu führen – die verzehrte Energie  $U$  maximal.

Durch Gleichsetzen der Impulse ( $p$  mit  $p'$ ) und Energien ( $E$  mit  $E'$ ) folgt

$$m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v_2' \quad *$$

und

$$\frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2) \cdot v_2'^2 + U^{**}$$

Gleichung \* nach  $v_2'$  aufgelöst und in Gleichung \*\* eingesetzt resultiert in

$$\frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2) \cdot \left( \frac{m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} \right)^2 + U$$

Die beim unelastischen Stoß maximal verzehrte Energie  $U$  durch die Struktur lautet damit

$$U = \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2) \cdot \left( \frac{m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} \right)^2 - \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2$$

$$U = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \right) \cdot v_2^2$$

Für den ebenfalls nach RCAR zulässigen Aufprallversuch zur Schadensermittlung, bei dem der Pkw mit der Masse  $m_1$  entgegen der Fahrtrichtung gegen eine starre Barriere fährt, kann beim Crash maximal die kinetische Energie des Fahrzeugs vor dem Anprall durch die Struktur absorbiert werden. Dies bedeutet, dass

$$U = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v^2$$

ist.  $v$  ist in diesem Fall die Geschwindigkeit der Masse  $m_1$  (des Pkw) vor dem Stoß bei dem Anprallversuch des Pkw gegen die starre Barriere.

Aus der Gleichsetzung der letzten beiden Gleichungen und dem Auflösen nach Geschwindigkeit  $v$  resultiert:

$$v = v_2 \cdot \sqrt{\frac{m_2}{m_2 + m_1}}$$

Mit der Masse des Stoßwagens  $m_2$  von 1.000 kg und der Geschwindigkeit  $v_2$  von 4,167 m/s bzw. 15 km/h (beide Parameter sind nach RCAR definiert) gilt eine Gleichung für die Geschwindigkeit beim Heckanprall des Fahrzeugs gegen die starre Barriere von:

$$v = 15 \text{ km/h} \cdot \sqrt{\frac{1000 \text{ kg}}{1000 \text{ kg} + m_1}}$$

Diese Geschwindigkeit  $v$  gewährleistet, dass unter Annahme unelastischer Stöße bei dem Heckanprall

des Pkw gegen die starre Barriere die gleiche Energie umgesetzt wird wie bei dem Anprall der mobilen Barriere gegen das Heck des Pkw.

Nach den Versuchen wird der entstandene Schaden dokumentiert. Für die Kalkulation zur Typklasseneinstufung in Deutschland (s. hierzu Abschnitt 2.1) werden die Reparaturkosten bestimmt, die sich aus den Ersatzteilkosten, Lackierarbeiten und Karosseriearbeiten zusammensetzen. Hierfür nötige Stundenverrechnungssätze werden vom GDV vorgegeben.

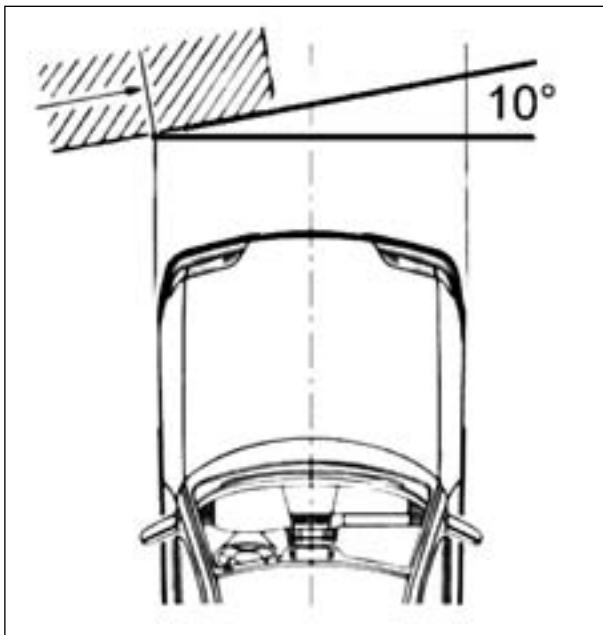
Nähere Einzelheiten bezüglich der RCAR/AZT-Testprozedur befinden sich im Anhang (Abschnitt 11.1.39).

Auf der RCAR-Jahrestagung 2003 in Sydney wurde eine Modifikation der Front- und Heckversuche verabschiedet. Den Mitgliedern des RCAR bleibt es überlassen, ob überhaupt oder zu welchem Zeitpunkt die neue Prüfvorschrift in den Institutionen zum Einsatz kommt. Nach Angaben des Allianz-Zentrums für Technik (Allianz (2003) [4]), einem Mitglied des RCAR, wird dieser neue Test bereits seit 2003 eingesetzt, um Fahrzeugherstellern frühzeitig erste Ergebnisse unter den veränderten Bedingungen zur Verfügung zu stellen.

Nach Beschluss des GDV (D) und Thatcham (GB) wird diese neue Konfiguration ab dem 01.01.2006 auch zur Typklasseneinstufung in Deutschland und England herangezogen.

Hauptmerkmal der Modifikation ist der Anprallwinkel bzw. der Barrierewinkel, der von 0° auf 10° angehoben wird. Die Versuchsparameter Geschwindigkeit und Überdeckung bleiben beim Front- und beim Heckversuch unverändert. Zusätzlich wird jedoch die Masse der mobilen Barriere im Heckversuch von 1.000 kg auf 1.400 kg erhöht.

Diese Änderung wurde damit begründet, dass Hersteller ihre Fahrzeuge konsequent auf den bestehenden Test hin optimiert haben und dass durch Versuche festgestellt wird, dass es bei geringfügigen Abweichungen von der Testkonstellation teilweise zum Versagen der energieabsorbierenden Elemente (wie z. B. Crashbox, Pralldämpfer, siehe hierzu Abschnitt 4.2.3) und, damit verbunden, erheblich höheren Reparaturkosten kommt. Das reale Unfallgeschehen kann mit diesem Test damit nicht mehr ausreichend angenähert werden. Die veränderte Konstellation soll nach Allianz (2003) [4] daher näher am realen Unfallgeschehen liegen. Die



**Bild 3.3:** Modifizierter RCAR/AZT-Frontversuch mit 10° Barrierewinkel

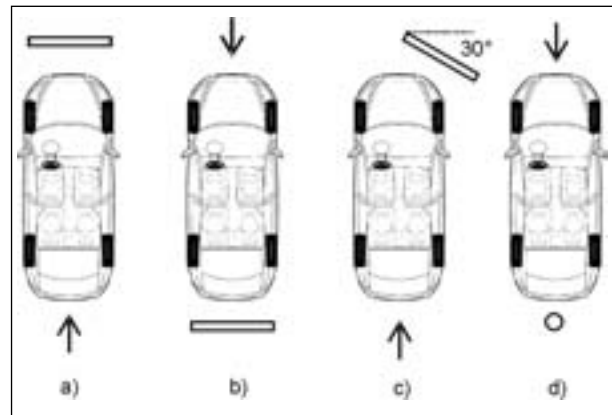
neue Konfiguration ist für den Frontversuch schematisch in Bild 3.3 dargestellt.

### 3.2 IIHS

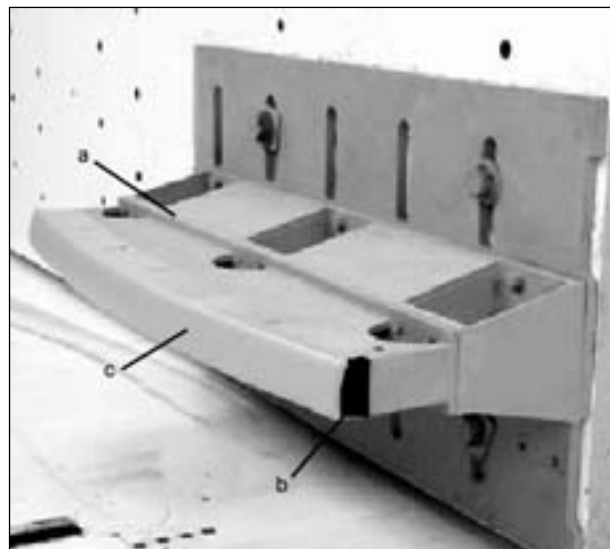
Das Versuchsprotokoll des Low-Speed-Crashtests des Insurance Institute for Highway Safety (2002) [28] beschreibt insgesamt 4 Versuche, bei denen die Prüfgeschwindigkeit jeweils 5 Meilen pro Stunde (ca. 8 Kilometer pro Stunde) beträgt:

- Das Fahrzeug rollt in Fahrtrichtung mit einem Winkel von 0° gegen eine Barriere (s. Bild 3.4, Pos. a).
- Das Fahrzeug rollt entgegen der Fahrtrichtung mit einem Winkel von 0° gegen eine Barriere (s. Bild 3.4, Pos. b).
- Das Fahrzeug rollt in Fahrtrichtung mit der rechten Seite gegen eine um 30° geneigte Barriere (s. Bild 3.4, Pos. c).
- Das Fahrzeug rollt entgegen der Fahrtrichtung mittig auf einen Poller (s. Bild 3.4, Pos. d).

Die Barriere für Versuch a) und b) besteht aus verstärktem Beton, auf dem ein 8 cm dickes Stahlband montiert ist. Auf diesem Band befindet sich eine 2 cm dicke Holzplatte. Einen ähnlichen Aufbau besitzt auch die Barriere des Versuchs c). Der Poller aus Versuch d) ist starr im Boden fixiert und besteht aus einem 18 cm dicken massiven Stahlzylinder.



**Bild 3.4:** Testspezifikationen des Low-Speed-Crashtests nach IIHS



**Bild 3.5:** Stoßfänger für den „neuen“ IIHS Low-Speed-Crash-Test, nach IIHS (2005) [27]

Wird ein Fahrzeugmodell nach diesen Low-Speed Testbedingungen geprüft, so werden zwei Fahrzeuge des gleichen Modells benötigt. Versuch a) und b) sowie Versuch c) und d) werden jeweils mit einem Fahrzeug durchgeführt.

Nach den einzelnen Versuchen werden die entstandenen Schäden festgehalten und die Reparaturkosten bestimmt. Leichte, nach außen hin sichtbare Schäden werden bei Bestimmung der Reparaturkosten nicht mit berücksichtigt. Hierzu zählen Schäden wie z. B. eine plastische Eindellung der Stoßfängeraußenhaut von nicht mehr als 1 cm oder leichte Lochleibungseffekte an Befestigungsstellen. Weist ein Fahrzeug nach einem Versuch nur leichte Schäden auf, so wird „no damage“, „kein Schaden“, registriert.

Die Testspezifikationen nach IIHS befinden sich zum Zeitpunkt der Fertigstellung der vorliegenden

Arbeit in der Überarbeitung. Vorgesehen ist in Zukunft der Anprall des Fahrzeugs gegen einen starren Stoßfänger aus Stahl (s. hierzu Bild 3.5, Pos. a), der von einem Energieabsorber (Pos. b) und einer Außenhaut (Pos. c) aus Polypropylen-Kunststoff überzogen ist.

Wie auch bei der Umstellung des RCAR/AZT-Tests soll hierdurch eine bessere Annäherung an das reale Unfallgeschehen erfolgen.

### 3.3 Zusammenfassung

Maßgebliche Tests zur Beurteilung der Reparaturfreundlichkeit eines Pkw sind der Crashreparaturtest des RCAR/AZT und der Low-Speed-Crashtest des US-amerikanischen IIHS. Beide sollten möglichst nahe das reale Unfallgeschehen wiedergeben. In der RCAR/AZT-Testprozedur werden ein Front- und ein Heckcrashtest beschrieben, bei dem das Fahrzeug mit 15 km/h gegen eine starre Barriere mit 40 % Überdeckungsgrad fährt. Im Heckbereich wird das Fahrzeug von einer mobilen Barriere mit 15 km/h bei einem Überdeckungsgrad von 40 % getroffen. Die IIHS-Testprozedur beschreibt vier Tests, zwei Frontalaufpralle gegen eine starre Barriere im Front- und Heckbereich, einen Frontalaufprall im Frontbereich unter 30° Barrierewinkel und einen Pfahlanprall im Heck. Alle Versuche werden bei einer Geschwindigkeit von 8 km/h durchgeführt. Es wird festgestellt, dass die energieabsorbierenden Elemente der Stoßfängersysteme bei geringfügigen Abweichungen von der Testkonstellation teilweise versagen und es so zu einem erheblich höheren Reparaturaufwand kommt. Daher werden beide Tests, der RCAR/AZT-Test und der IIHS-Test, modifiziert. Das reale Unfallgeschehen soll so wieder besser abgebildet werden.

## 4 Fahrzeugstrukturen

### 4.1 Genereller Aufbau

Im Laufe der Entwicklung im Automobilbau sind drei grundlegende Konstruktionsprinzipien von Karosserien in der Großserienfertigung zu nennen: Von den ersten Anfängen bis Mitte des 20. Jahrhunderts war das Chassis-Prinzip vorherrschend, bei dem die Karosserie und das Fahrgestell voneinander unabhängige Einheiten gebildet haben. Für den Nutzfahrzeugbau ist diese Bauweise auch heute noch kennzeichnend. In einer Übergangsphase

kam die mittragende Pkw-Karosserie zum Zuge, bei der jeweils der hintere und der vordere Karosserieteil als Chassis konstruiert waren. Die als selbsttragendes Element ausgeführte Fahrgastzelle lag zwischen den Chassis-Teilen. Bei modernen Pkw-Karosserien kommt in der Großserienfertigung nahezu ausschließlich eine vollständig selbsttragende Bauweise aus miteinander verschweißten Stahlpressteilen zum Einsatz, da sich hierdurch am wirkungsvollsten Ansätze zur Erhöhung der passiven Sicherheit mit gleichzeitiger Gewichts- und Kostenreduzierung umsetzen lassen (ANSELM, 1997 [5]). Weiteres Ziel der Hersteller ist die Erhöhung der Torsionssteifigkeit.

Mit dem „Space-Frame“-Konzept von Audi wird versucht, diesem Zielkonflikt auf eine andere Weise zu begegnen. Hierbei werden Strangpressprofile aus einer Aluminiumlegierung mit Druckgussknoten zu einem räumlichen Fachwerk verbunden, das anschließend mit Außenhautteilen beplankt wird. Umgesetzt wurde dieses Konzept in der Großserienfertigung erstmals mit dem Oberklassemodell A8, das seit 1994 angeboten wird und von dem pro Jahr im Mittel nur 3-4 Tausend Einheiten produziert werden. Ab 1999 kam das Kleinwagenmodell A2 hinzu, das eine vergleichsweise hohe Stückzahl von ca. 40 bis 50 Tausend pro Jahr (WELO & HOLTE, 2005 [65]) erzielte. Im Juli 2005 wurde die Produktion des A2 jedoch eingestellt. Weitere Fahrzeuge mit einem Space-Frame-Konzept in Aluminiumbauweise sind zum Beispiel die Fahrzeuge Lotus Elise, BMW Z8, Jaguar XJ und Aston Martin DB 9 sowie Fahrzeuge von Rollce Royce.

Der Werkstoff Aluminium hat – werden Leichtbaugütegrade herangezogen – im Vergleich zu Stahl in etwa das gleiche spezifische Elastizitätsmodul ( $E/\rho$ ) und eine bis zum Faktor 3 höhere spezifische Festigkeit ( $R/\rho$ ). Damit erscheint der Werkstoff gerade für festigkeitsrelevante Crashstrukturen interessant. Bei gleichen Massen lassen sich demnach viel höhere Energien absorbieren. Ein weiterer Vorteil von Aluminium liegt in der günstigen Werkzeuggestaltung für Strangpressprofile im Gegensatz zu Stahltiefziehwerkzeugen. Nachteile liegen bei Aluminium im Vergleich zu Stahl in der aufwändigeren Fertigungs- und Fügetechnik und in dem höheren Primärenergieverbrauch (ca. Faktor 5, nach ADAM, 1995 [1]). Zudem ist der Reparaturaufwand bei Aluminiumtragstrukturen höher. Aus Kostengründen findet daher die Vollaluminiumbauweise in der Großserienfertigung keine Anwendung, wenn Einheiten von Einhunderttausend pro Jahr und

mehr berücksichtigt werden sollen. Diese Gründe hat auch die Firma Audi dazu veranlasst, das Modell A2 im Jahr 2005 einzustellen.

Durch die geringen Werkzeugkosten sind solche Strukturen jedoch für die genannten Kleinserien interessant, da der Faktor der geringen Werkzeugkosten hier positiv Einfluss nimmt. Auch erhöhte Mehrkosten spielen keine allzu große Rolle, da kleinere Serien häufig von Sportwagen und Oberklassefahrzeugen (wie Aston Martin oder Rollce Royce) dominiert werden.

Im Bereich der Karosserieanbauteile wie Motorhauben, Türen oder Querträger gewinnt der Werkstoff Aluminium als Leichtbauwerkstoff in der Serienfertigung von Stahlkarosserien jedoch immer mehr an Bedeutung. Sehr häufig werden Karosserieteile aus Druckgussprofilen, Strangpressprofilen oder Blechen gefertigt, um Gewicht zu reduzieren.

Beispiele sind

- Audi A6 C5 (Modell 1997-2005): Motorhaube, Türrahmen, Querträger.
- BMW 3er E46 (Modell 1998-2005): Frontendmodul, Querträger.
- Mercedes-Benz E-Klasse W211 (Modell ab 2002): Frontendmodul, Motorhaube, Heckklappe, Kotflügel, Querträger, Rückwand.
- Mercedes-Benz S-Klasse W221 (Modell ab 2005): Motordeckel, Heckdeckel, Querträger Front/Heck, Rückwand, Türaußenhäute.

Weiterhin werden Aluminiumlegierungen verstärkt im Bereich Antriebsstrang eingesetzt. Beispielsweise hat dieser Werkstoff bei Zylinderblöcken und Kurbelgehäusen Grauguss fast vollständig substituiert. Auch komplette Achsen werden bereits aus Aluminium-Gussteilen gefertigt (Mercedes-Benz S-Klasse W220, ab 1998).

Neben Aluminium finden sich immer häufiger Kunststoffbauteile mit oder ohne Faserverstärkungen bei nicht tragenden Karosserieteilen und im Antriebsstrang. Gründe liegen in der sehr hohen Gewichtersparnis gegenüber Stahlteilen (bis 50 % gegenüber Stahlblech) und der fast unbegrenzten Formgebungsvielfalt. Bei Außenhautteilen liegen die Vorteile besonders in der Unempfindlichkeit bei Bagatellunfällen und der Möglichkeit der Einfärbung, was eine Lackierung unnötig macht (HUTMANN & KALKE, 1998 [26]). Für Stoßfänger-

außenhäute ist Kunststoff als Werkstoff notwendig geworden, gerade im Hinblick auf die gesetzlich vorgeschriebenen Crashversuche bei niedrigen Geschwindigkeiten, bei denen die Fahrtüchtigkeit des Fahrzeugs bei Bagatellunfällen zwischen 4 und 8 km/h gewährleistet sein muss (siehe hierzu den Standard UN/ECE-R42 oder den „Bumper Standard“ nach FMVSS 215). Beispiele für die Verwendung von Kunststoff für Karosserieteile sind im Folgenden aufgeführt. Ausgenommen sind hierbei die bei allen Pkw ohnehin aus Kunststoff gefertigten Stoßfängeraußenhäute.

- BMW 3er E46 (Modell 1998-2005): Querträger Heck.
- MCC Smart: Außenhaut.
- Mercedes-Benz A-Klasse W168 (Modell 1997-2004): Kotflügel, Heckklappe, Reserveradmulde.
- Mercedes-Benz S-Klasse W220 (Modell ab 2005): Reserveradmulde.
- Volkswagen Pheaton: Kotflügel, Reserveradmulde.

Weiterhin werden hybride Leichtbaustrukturen aus Metall/Faser-Kunststoff-Verbunden als Ersatz für Blechtiefziehteile eingesetzt (z. B. für Frontend-Module, Beispiele: Modell Audi A6 ab 1997, Ford Focus ab 1998). Hierbei werden sehr dünnwandige Tiefziehblechteile mit faserverstärktem Kunststoff umspritzt. Dies ermöglicht eine Gewichtsreduktion bei zunehmender Funktionsintegration (GOTZMANN, 1999, [24]).

Hersteller untersuchen Faserverbundwerkstoffe für crashrelevante Karosseriestrukturen. Diese besitzen gegenüber Stahl oder Aluminiumstrukturen hohe spezifische Energieabsorptionsvermögen (Aluminium 20-30 kJ/kg, Stahl 10 kJ/kg, Faserverbundwerkstoffe bis zu 120 kJ/kg, nach NOHR (2005) [43]), sind jedoch für die Serienanwendung bisher zu kostspielig (s. hierzu weitere Ausführungen im Abschnitt 4.1.1).

Automobil- und Stahlhersteller haben in den letzten Jahren aufgezeigt, dass durch den Einsatz neuer, hochfester Stähle und neuer Fertigungstechniken weiterhin Verbesserungspotenzial (Kosten- und Gewichtsreduktion, Sicherheits- und Steifigkeitsgewinn) in der Stahlbauweise der Rohkarosserie steckt. Mögliche zukünftige Konzepte gingen in

Form von Demonstrationskarossen aus dem Projekt ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body, Laufzeit 1994-2002) hervor, dessen Auftraggeber ein Konsortium aus einer Vielzahl internationaler Stahlproduzenten war. Nachfolgeprojekte sind bereits ange laufen. Mit dem erhöhten Einsatz von hochfesten und höherfesten Stählen sowie der Nutzung neuer Technologien (Tailored Blanks, Tailored Rolled Blanks und Tailored Tubes in Verbindung mit der Laserschweißtechnik) wird aufgezeigt, dass sich das Karosseriegewicht im Vergleich zu einer Referenzkarosserie um 25 % senken und die statische Torsionssteifigkeit um 50 % erhöhen lässt. Die Teilezahl lässt sich bei diesem Beispiel von 135 Blechschalen bei der Referenzkarosserie auf unter 94 senken (WINKELGRUND, 1998 [67]). Es gibt darüber hinaus Ansätze, Fahrzeugstrukturen nahezu komplett aus einer Stahlrahmenstruktur mit Tailored Tubes herzustellen, was die Teilezahl weiter senken würde. Konsequentermaßen wurden Rahmenstrukturen mit den genannten Technologien in der Serienfertigung noch nicht umgesetzt, da der Einsatz bisher mit zu hohen Kosten verbunden ist. Tailored Tubes finden sich beispielsweise nur vereinzelt in Fahrzeugen wieder, wie z. B. beim Fensterrahmen des BMW-3er-Cabrio (auf Basis des BMW E46). Die Technik des Tailored Blanking findet jedoch häufiger bei Tiefziehteilen aktueller Pkw-Strukturen Anwendung (Längsträger, Radhausschalen, Türen, Seitenwände, Bodenblech etc.). Weitere Möglichkeiten zur Realisierung von Stahlleichtbau ist der Einsatz von Hydroforming, bei dem Stahlrohre mit einem Innenhochdruckverfahren umgeformt werden. Die Entwicklungen zeigen dennoch, dass Stahl zumindest mittelfristig im Rohkarosseriebau der dominierende Werkstoff bleiben wird (ADAM, 1995 [1], BAUN, 1999 [7], HUTMANN & KALKE, 1998 [20]).

Trotz der Leichtbaubemühungen bei der Karosseriestruktur und bei Antriebskomponenten durch den Einsatz neuer Materialien und der zunehmenden

Fahrzeug	Leergewicht	davon Rohkarosserie
Golf I	750 kg	194 kg
Golf II	845 kg	200 kg
Golf III	960 kg	209 kg
Golf IV	1.187 kg	-
Golf V	1.300 kg	-

**Tab. 4.1:** Gewichte der Volkswagen-Golf Reihe mit Leergewichten der 3-türigen Basismodelle und zugehörigem Gewicht der Rohkarosserie (Golf I bis III nach MORSECH & SCHWALDAT, 1998 [41])

Integralbauweise stiegen die Fahrzeuggewichte. Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch den stetigen Zuwachs der Komfortausstattung und der zusätzlichen Sicherheitsausstattung Gewichtseinsparungen an der Rohkarosserie überkompensiert werden. Die Rohkarosserie besitzt lediglich einen Gewichtsanteil am Gesamtgewicht von unter 25 %. Als Beispiel wird an dieser Stelle die Golf-Reihe von Volkswagen genannt. In Tabelle 4.1 sind die Gewichte der Rohkarosserie den Fahrzeugleergewichten gegenübergestellt.

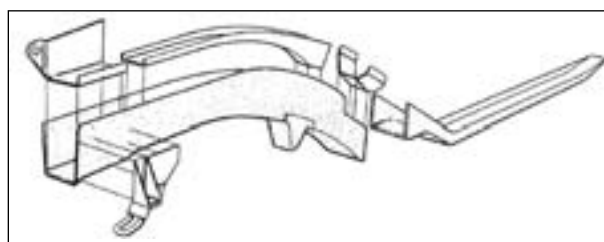
Nach STÄRKER et al. (2005) ist bei dem Fahrzeug Volkswagen Passat (Modell ab 2005) erstmals die Gewichtsspirale zumindest für die Karosseriestruktur durchbrochen worden. Das Gewicht der Stahlkarosserie liegt trotz höherer Steifigkeiten und verbesserter Crashesicherheit unter dem Gewicht des Vorgängermodells.

#### 4.1.1 Vorderwagen

Der Vorderwagen eines Pkw besteht hauptsächlich aus den Radhäusern mit den Federbeinaufnahmen, den beiden Hauptlängsträgern und dem davor liegenden Querträger. Nachfolgend werden hauptsächlich der Längsträger und der davor liegende Querträger näher betrachtet.

Die Längsträger bilden die wichtigsten Bestandteile des Vorderwagens. Als Konstruktionsform werden gerade, einfach gekröpfte und doppelt gekröpfte Längsträger unterschieden (ANSELM, 1997 [5]).

Die Längsträger müssen an die Fahrgastzelle so angebunden werden, dass im Falle einer Kollision der Kraftfluss ungestört an Stirnwand, A-Säule, Bodenblech und Schweller der Fahrgastzelle fließen kann. Die Träger werden hierfür unter dem Fahrzeugboden weitergeführt und mit Querabstützungen versehen. Die Querschnittform der Längsträger kann unterschiedlich gestaltet sein, z. B. sechs- oder achteckig. Meist ist der Querschnitt jedoch rechteckig ausgeführt.



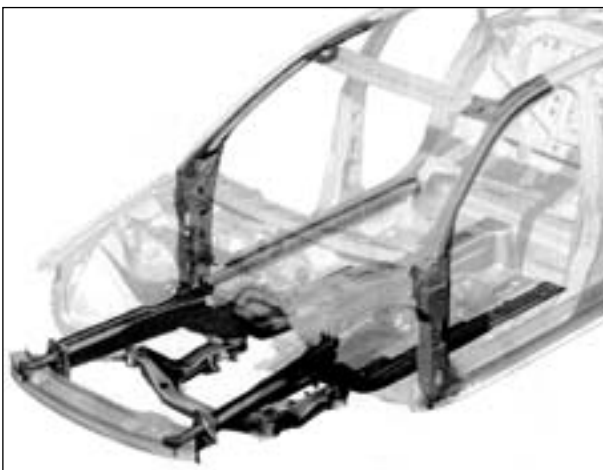
**Bild 4.1:** Einfach gekröpfter Hauptlängsträger aus U-Profilen mit Schließblech in nicht zeitgemäßer Differentialbauweise, aus ADAM (1995) [1]



Bei selbsttragenden Stahlkarosserien bestehen die Träger moderner Fahrzeuge aus gestuftem Stahlblech (s. Bild 4.2), wobei die Bleche zudem unterschiedliche Qualitäten besitzen können. Für die Herstellung werden verschiedene Stahlbleche zugeschnitten, passend angeordnet und mit Laser-, Quetsch- oder Rollnahtschweißen zu einer Platine (Tailored Blanks) verschweißt, die eine Dicke von 1,5 bis 3 mm besitzt (ANSELM, 1997 [5]). Anschließend werden die Platinen zu Schalen tiefgezogen und in einem letzten Schritt mittels der bereits genannten Schweißverfahren zu Hohlprofilen gefügt. In der Vergangenheit wurden die Längsträger aus mehreren Einzelschalen zu einem Längsträger verschweißt und Verstärkungsbleche mussten an den Stellen mit erforderlicher höherer Festigkeit ein- oder angeschweißt werden. Zusammengefasst bietet der Einsatz von Tailored Blanks folgende Vorteile (ANSELM, 1997 [5]):

- Kein Einschweißen von Verstärkungsblechen an den Stellen, an denen dickere Blechdicken erforderlich sind.
- Keine zusätzlichen Materialaufwendungen für Fügeflansche für Punktschweißnähte.
- Geringe Zahl an Einzelteilen.
- Bessere Gestaltung der Deformationseigenschaften und höhere Energieaufnahme.

Die Modelle Audi A2 und Audi A8, die nach dem „Space-Frame“-Konzept aufgebaut sind, besitzen Längsträger aus geraden, nach dem Strangpressverfahren hergestellten Aluminiumhohlprofilen. Diese sind mit einem Gussknoten verschraubt, der Bestandteil der Fahrgastzelle ist. Bei dem Modell



**Bild 4.2:** Vorbau Audi A4, Modell 2000-2004, Längsträger hergestellt aus Tailored Blanks, im Vordergrund: Crashabsorptionselemente zwischen Längsträger und Querträger, aus THEINERT (2000) [57]

A8 sind die Längsträger in jeweils zwei Rohrabschnitte geteilt, die über Gussknoten miteinander verbunden sind.

Neben Stahl und Aluminium als Werkstoff für Längsträgerstrukturen sind auch Faserverbundwerkstoffe denkbar. In Rennsportfahrzeugen oder bei einigen Exoten (z. B. Mercedes-Benz SLR) kommen fast ausschließlich Kohlefaser-Verbundwerkstoffe als Karosseriewerkstoff zum Einsatz.

Die Firma Audi hat beispielsweise Untersuchungen mit Rohren aus Faserverbundwerkstoffen durchgeführt, die als Ersatz für die vorderen beiden Längsträgerabschnitte aus Aluminiumrohren des Modells A8 dienen (DYCKHOFF & HALDENWANGER, 1999 [15]). Mit Aramid- oder Kohlefasern in einer Duroplastermatrix konnten eine höhere Energieabsorption (ca. 10 %) und ein geringeres Gewicht (ca. 40 %) im Vergleich zu den Aluminiumrohren bei Crashversuchen, unter anderem bei einem Axialcrash unter Vollfahrzeugbedingungen, realisiert werden. Bei Mercedes-Benz wurden bereits Versuche mit kompletten Längsträgern aus Faserverbundwerkstoffen im Austausch mit Stahllängsträgern bei einer A-Klasse durchgeführt (NOHR, 2005 [43]). Durch die genannten Versuche konnte die technische Einsatzfähigkeit von Faserverbundwerkstoffen für crashrelevante Strukturen aufgezeigt werden. Das primäre Problem dieser Technik liegt jedoch in den vielfach höheren Kosten (über 2,5fach höhere Kosten im Vergleich zu den Aluminiumrohren im Audi A8, DYCKHOFF & HALDENWANGER, 1999 [15]). Dies lässt die Rechtfertigung eines Einsatzes in der Großserienfertigung schwierig erscheinen.

Wie Bilder 4.3 und 4.4 (Modelle von Audi) sowie Bilder 4.5 und 4.6 (Modelle von Mercedes-Benz) zeigen, finden sich die unterschiedlichen Entwicklungsstrategien der Hersteller sehr häufig in den Modellpaletten wieder.

Bezüglich des Crashverhaltens bei einem Frontalanprall ist wichtig, dass der Energieabbau durch Faltenbeulen bei Aluminium und Stahlträgern sowie Crushing bei Faserverbundwerkstoffen kontrolliert und kontinuierlich vom vorderen in den hinteren Bereich abläuft. Dies wird beispielsweise dadurch erreicht, dass das Widerstandsmoment im Längsträger von vorne nach hinten zunimmt. Dies kann zum einen durch eine konische Form erreicht werden und zum anderen durch eine Blechdickenzunahme, z. B. bei Einsatz von Tailored Blanks.

An den Enden der Längsträger, sowohl im Vorderwagen als auch im Hinterwagen, befindet sich der

Querträger als weiterer Bestandteil des Fahrzeugs. Dieser verbindet im Frontbereich die Längsträger und wird bei heutigen Fahrzeuggenerationen in der Fertigung zusammen mit den Scheinwerfern und Systemkomponenten wie dem Kühler als Frontmodul an die vorderen Längsträger angeschraubt (s. Bild 4.8). Bei vergangenen Fahrzeuggenerationen (bspw. noch bei vielen Modellen der 90er Jahre), wurde der Querträger direkt an die Längsträger angeschweißt. Da die Modulbauweise in der Montage große Vorteile bot, wurden die Querträger als Frontmodul an die Längsträger über Flansche angeschraubt.

Bei Crashes im unteren Geschwindigkeitsbereich, wie z. B. bei dem Crashreparaturtest nach RCAR/AZT, werden bei diesen Fahrzeugen die vorderen Längsträgerabschnitte jedoch stets mit beschädigt. Die Hersteller halten für die Reparatur der Fahrzeuge Längsträgerabschnitte bereit, die dennoch zeit- und kostenintensiv verarbeitet werden müssen (vgl. hierzu Bild 4.7).



**Bild 4.3:** Vorbau Audi A2 (Modell ab 1999) mit Strangpressprofilen als Längsträgerelemente, dahinter liegend: Gussknoten, aus LEITERMANN et al. (1999) [37]



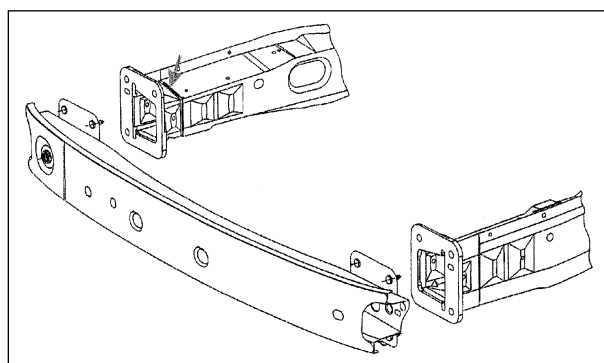
**Bild 4.4:** Vorbau Audi A8 (Modell ab 2002) mit Strangpressprofilen als Längsträgerelemente, Frontmaske transparent abgebildet, aus MAYER et al. (2002) [39]



**Bild 4.5:** Vorderwagen Mercedes-Benz C-Klasse W202 (Modell ab 2000), nach ERNSTBERG et al. (2000) [16]



**Bild 4.6:** Vorbau Mercedes-Benz E-Klasse W211 (Modell ab 2002), nach SCHÖNEBURG et al. (2002) [51]



**Bild 4.7:** Querträger sowie gerade geformte vordere Längsträger mit Reparaturabschnittelementen, Ford Focus Modell 1998, GIAZITZIS, 1999, [22]



**Bild 4.8:** Vorderwagen Skoda Fabia mit Frontmodul und davor liegender Außenhaut, nach BOCKELMANN et al. (2000) [9]

In späteren und zum Teil aktuellen Fahrzeuggenerationen gingen Hersteller dann dazu über, verstärkt Absorptionselemente (wie z. B. Crashbox oder Pralldämpfer, die zwischen Querträger und Längsträger platziert werden) einzusetzen, die gezielt Energie bei leichten Crashbelastungen (d. h. zwischen 8 und 15 km/h) absorbieren und Beschädigungen des Längsträgers weitestgehend verhindern können. Eine geschraubte Montage der Crashabsorptionselemente an den Längsträgern erlaubt eine schnelle und kostengünstige Reparatur.

Die Verschraubung der Komponenten hat zudem den Vorteil, dass z. B. Crashbox, Querträger und Längsträger aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen können. Im Vergleich zu den in der Vergangenheit häufig angeschweißten Querträgern ergeben sich Vorteile in der Montage (Vormontage des Frontmoduls, Einschub des Motors von vorne).

Um Kosten einzusparen, werden zum Teil die gleichen Querträger für verschiedene Modellreihen eingesetzt. Beispielsweise sind die Querträger des Fahrzeugs Opel Zafira (Modell ab 2005) und des Opel Astra (Modell ab 2004) identisch. Die Crashboxen sind jedoch auf die unterschiedlichen Fahrzeugmassen ausgelegt (nach WANKE & KÖNIG, 2005, [64]).

Im Abschnitt 4.2 wird auf die Querträger näher eingegangen, die im Front- als auch im Heckbereich bei der Energieabsorption im unteren Geschwindigkeitsbereich eine wesentliche Rolle spielen.

#### 4.1.2 Hinterwagen

Der Hinterwagen ist im Vergleich zum Vorderwagen einfacher konstruiert. Bei Stufenheckfahrzeugen



**Bild 4.9:** Heck der Mercedes-Benz C-Klasse W202 (Modell ab 2000) nach ERNSTBERG et al. (2000) [16]

besteht er aus den Seitenteilen, einer vorderen Rückwand, einer hinteren Rückwand, dem Bodenblech und dem Heckdeckel. Somit nimmt der Hinterwagen die Form einer Schachtel an, die nach ANSELM (1997) [5] optimale Biege-, Quer- und Torsionsstabilität gewährleistet. In Bild 4.9 ist hierzu der Hinterwagen der Mercedes-Benz C-Klasse abgebildet.

Bei Schrägheckfahrzeugen gleicht der Heckdeckel einer Türkonstruktion, wobei sich die Scharniere am Dach befinden.

Unter dem Bodenblech befinden sich zur Aufnahme und Abstützung des Querträgersystems häufig zwei Längsträger, die ähnlich wie die Motorlängsträger konstruiert sind. In der Karosseriefertigung werden hierzu U-Profile an den Unterboden geschweißt. Häufig weisen nach ANSELM (1997) [5] Kompaktfahrzeuge im Kofferraumbereich aber auch trägerlose Strukturen auf.

Der Kofferraumdeckel oder die Heckklappe schließt in der Regel in Höhe des Heckblechs ab. Vor dem Heckblech befindet sich meistens ein Querträger. Die Stoßstange hängt aus Designgründen nur wenige Zentimeter über.

## 4.2 Querträgersysteme

### 4.2.1 Anforderungen

Die Fahrzeughersteller entwickeln in der Regel selbst keine Querträgersysteme, sondern beauftragen hierfür Zulieferfirmen. Zu diesen Firmen gehören beispielsweise Benteler Automobiltechnik (Lieferant u. a. für Ford, Volkswagen) oder Hydro

Aluminium Structures (Lieferant für z. B. Audi, Opel, Renault). Die Anforderungen an neue Querträgersysteme werden vom Fahrzeughersteller klar definiert und beziehen sich auf das Crashverhalten, die Integration in das Gesamtsystem Fahrzeug (Package) und das Gewicht. Neben diesen technischen Anforderungen gelten die Herstell- bzw. Lieferkosten als die wichtigste Zielvorgabe.

In Bezug auf das Crashverhalten müssen die Hersteller von Stoßfängersystemen unter Vorgabe der Fahrzeughersteller in der Entwicklungsphase eine Vielzahl an Testprozeduren mit berücksichtigen, die aus Pendel-, Barriere- und Pfahltests bestehen. Diesbezüglich werden FEM-Simulationen und Realversuche durchgeführt.

Zu den wichtigen Testprozeduren zählen die Tests im Geschwindigkeitsbereich bis 15 km/h, wie sie von der Versicherungswirtschaft (AZT- bzw. RCAR/AZT-Test, Tests des US-amerikanischen Instituts IIHS) durchgeführt werden. Die Querträgersysteme müssen zudem ihren Beitrag zur Einhaltung gesetzlicher Tests in Bezug auf das Gesamtfahrzeugkonzept leisten. Solche Standards sind zum einen UN/ECE-R42, CMVSS 215 und FMVSS 215, die beim Pkw die Fahrtüchtigkeit nach Crashes bei geringen Kollisionsgeschwindigkeiten, d. h. zwischen ca. 4 und 8 km/h, gewährleisten. Zum anderen sind dies gesetzlich vorgeschriebene Prüfungen in Bezug auf Fußgängerschutz (2003/102/EG) und Insassenschutz bei Crashes im Geschwindigkeitsbereich bis 64 km/h (wie z. B. UN/ECE-R94, FMVSS 208, CMVSS 208). Eine Optimierung der Stoßfängersysteme hin zu diesen Anforderungen ist zum Teil so verschieden, dass die Systeme je nach Ländereinsatz (z. B. USA, Europa, Japan) unterschiedlich ausfallen.

Die Realversuche zur Absicherung von Simulationsergebnissen können zum Teil erst in einer späten Phase der Entwicklung bei der Ganzfahrzeugprobung durchgeführt werden.

In der Vorentwicklung werden sehr häufig Komponententests durchgeführt. In Bezug auf den Typschadentest (nach RCAR/AZT, s. hierzu Abschnitt 3.1) zur Typklasseneinstufung werden zum Beispiel die Querträgersysteme an einem starren Schlitten oder Wagen befestigt, der das spätere Gesamtfahrzeug repräsentiert.

Auf Wunsch der Fahrzeughersteller sollen Querträgersysteme im Falle eines Crashes ein hohes Energieabsorptionsvermögen aufweisen, was eine mög-

lichst konstante Kraft-über-Weg-Kennlinie auf einem hohen Niveau erfordert. Gerade bei der Auslegung kompakter Fahrzeuge, z. B. für den europäischen und japanischen Markt, steht wenig Deformationsraum zur Verfügung und der Deformationsweg muss sehr kurz sein.

Die Querträger müssen nach Wunsch der Fahrzeughersteller eine definierte Biegesteifigkeit aufweisen, sodass z. B. bei einem mittigen Pfahlanprall (vgl. IIHS-Testspezifikation d nach Bild 3.4) die Kräfte in die Längsträger geleitet werden und der Querträger nicht sofort einknickt. Auch bei einem Crash mit einem Überdeckungsgrad von z. B. 40 %, bei dem nur ein Längsträger direkt getroffen wird, soll die Last zusätzlich in den gegenüberliegenden Längsträger geleitet werden. Die äußere Kontaktfläche soll ein Mindestmaß nicht unterschreiten, um die Aggressivität bei Crashversuchen mit deformierbaren Barrieren (wie z. B. EuroNCAP mit 64 km/h Anprallgeschwindigkeit und 40 % Überdeckungsgrad) herabzusetzen, d. h., um ein zu tiefes Eindringen der Struktur in die Barriere zu verhindern.

Bei der Durchführung des RCAR/AZT-Tests ist erwünscht, dass kein Airbag oder Gurtstraffer ausgelöst wird, da hierdurch nach BRÜCK (1999) [12] die Reparaturkosten um ca. 30 % steigen. Die Schwelle zum Auslösen der Frontairbags muss demnach über dem Verzögerungsverlauf liegen, der durch den RCAR/AZT-Test hervorgerufen wird. Die Schwelle darf aber nicht zu hoch über der Belastung liegen, da bei einem Crashtest gegen eine weiche, deformierbare Barriere (z. B. Crashtest mit 40 % Überdeckungsgrad bei 40 km/h nach FMVSS 208) der Airbag verspätet auslösen kann.

Zu einem Querträgersystem zählt in dieser Studie nicht nur der eigentliche Querträger, sondern zusätzlich die Energieabsorptionselemente, die zwischen Querträger und Längsträgern angebracht werden. Durch die Forderungen nach günstigen Reparaturkosten, gerade im Hinblick auf den RCAR/AZT-Test, haben sich diese Energieabsorptionselemente (z. B. Pralldämpfer, Crashboxen) als sehr wirkungsvoll erwiesen. Im Falle eines Crashes bei Geschwindigkeiten bis 15 km/h kann durch diese Maßnahme eine Beschädigung der Längsträgerstruktur vermieden werden.

Die Auslegung in Bezug auf das Crashverhalten wird allgemein dadurch erschwert, dass Prüfverfahren stets Veränderungen unterliegen. In einem Änderungsprozess befindet sich zum einen

der Versicherungseinstufungstest nach AZT bzw. RCAR, der in Deutschland und in England zur Typklasseneinstufung herangezogen wird (s. hierzu Abschnitt 3.1). Weiterhin werden die Bestimmungen des Tests nach IIHS umgestellt (s. hierzu Abschnitt 3.2). Im Hochgeschwindigkeitsbereich wird beispielsweise die Prüfgeschwindigkeit nach FMVSS 208 zukünftig von 48 km/h auf 56 km/h angehoben.

In Bezug auf das Packaging, d. h. die Einbindung des Querträgersystems in das Gesamtkonzept Front- oder Heckmodul, sind die Spielräume durch die Vorgaben der Fahrzeughersteller stark begrenzt. Äußere Designvorgaben des Fahrzeugs bestimmen die Form des Querträgers. Bei einer runden Form der Stoßfängeraußenhaut über die Fahrzeugbreite muss sich auch der Stoßfänger dieser Form anpassen. Vorgegeben ist auch die Lage der Anschlussstellen am Längsträger. Zusammengefasst nehmen

- Längsträgeranschlussstellen,
- die Stoßfängeraußenhaut,
- Kühler,
- der Rahmen des Frontmoduls,
- Hauptscheinwerfer sowie Nebelscheinwerfer
- und ggf. die Signalhupe

Einfluss auf die Integration des Querträgers. In den letzten Jahren hat die Zahl der zusätzlichen Funktionen im Auto zugenommen, wodurch der Bauraum zusätzlich beeinflusst und beschränkt wird. In diesem Zusammenhang können Komponenten erwähnt werden wie z. B.

- die Scheinwerferreinigungsanlage,
- Einparksensoren
- und Abstandssensoren,

die mit in die Stoßfängeraußenhaut integriert werden.

Verschraubungen für Abschleppösen werden in der Regel in die Querträger integriert und müssen vom Fahrzeughersteller definierte Mindestbelastungsgrenzen erfüllen.

Weitere wichtige Bestandteile des Anforderungskatalogs der Fahrzeughersteller bezüglich der Querträgersysteme sind die Massen und die Herstell- bzw. Lieferkosten. Fahrzeughersteller sind bemüht,

die zusätzlichen Massen (wie z. B. Sicherheits- und Komfortelemente) im Fahrzeug durch Leichtbaumaßnahmen an der Karosserie teilweise zu kompensieren. Zur Rohkarosserie, an der Leichtbaumaßnahmen durch neue Werkstoffe und Fertigungstechniken vorangetrieben werden, gehört auch das Stoßfängersystem. In diesem Zusammenhang wird nicht nur die Gesamtfahrzeugmasse in Betracht gezogen, sondern auch die Achslastverteilung. Durch eine höhere Gewichtseinsparung an der Vorderachse im Vergleich zur Hinterachse wird die Fahrdynamik durch eine gleichmäßigere Lastverteilung positiv beeinflusst.

Die Kosten für Entwicklung und Fertigung sind im harten Wettbewerb der Fahrzeughersteller zu einem der entscheidenden Faktoren geworden. Sehr geringe Kostenvorgaben sind daher wichtiger Bestandteil der Anforderungen des Fahrzeugherstellers an den Zulieferer der Querträgersysteme. Häufig fällt die Wahl der Fahrzeughersteller auf das kostengünstigste System, auch wenn es technisch gesehen nur eine suboptimale Lösung darstellt.

#### 4.2.2 Querträger

KRÖNING (2005) [34] unterscheidet Querträger (QT) in

- warmgepresste QT,
- kaltgepresste QT,
- QT aus Tailor Rolled Blanks (TRB),
- gewalzte QT,
- QT durch Innenhochdruckumformung,
- extrudierte QT aus Aluminium,
- QT aus Magnesium,
- QT aus Kunststoff oder Hybridstrukturen.

Bei der Warmumformung, Kaltumformung, dem Einsatz von Tailor Rolled Blanks, dem Walzen und dem Innenhochdruckumformen werden Stähle verwendet. Querträger aus Aluminium bestehen in der Regel aus Extrusionsprofilen (in Strangpresstechnik) mit einer oder mehreren Kammern.

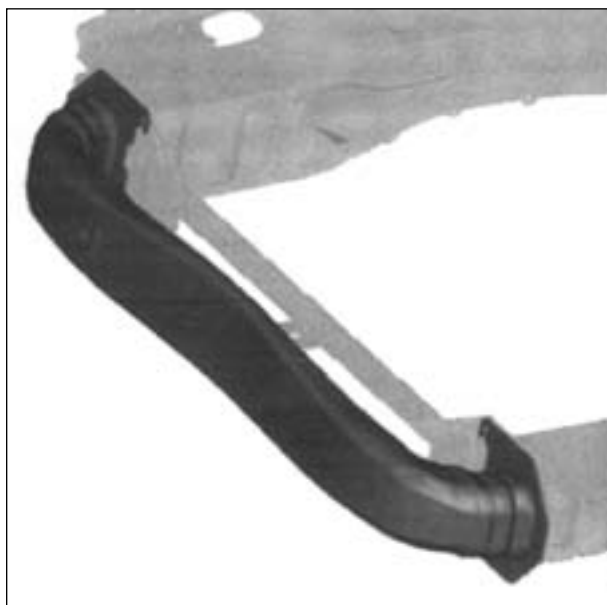
Tailored Rolled Blanking bedeutet, dass durch flexibles Walzen eines Stahlbleches unterschiedliche Materialdicken und Festigkeiten mit weichen und belastungsgerechten Blechdickenübergängen erzeugt werden. Damit lassen sich höhere Festigkeiten punktuell an die Stellen bringen, an denen sie benötigt werden.

Beim Innenhochdruckumformen wird ein rohrförmiges Werkstück durch Innendruck aufgeweitet und gleichzeitig durch eine Axialkraft gestaucht. Das Halbzeug befindet sich vor dem Aufweiten in einem geschlossenen Werkzeug und nimmt durch den Innendruck die Form der Werkzeugkontur an. Ein Beispiel für einen Querträger, der nach dem Innenhochdruckverfahren hergestellt wird, ist in Bild 4.10 dargestellt.

Als Werkstoff für Querträger sind Stahl und Aluminium dominierend. Die Anforderungen an die Systeme lassen den Drang zu hochfesten Werkstoffen erkennen (bei Stahlquerträgern werden mit Warmformstählen Zugfestigkeiten über  $1.300 \text{ N/mm}^2$  erreicht). Durch die hochfesten Warmformstähle lassen sich höhere Leichtbaugrade erzielen und das Gewicht der Systeme wird reduziert.

Wie Untersuchungen zeigen, werden bei einigen Fahrzeugmodellen aber auch Kunststoffe eingesetzt. Materialien wie Magnesium oder Hybridstrukturen (Kombinationen aus Metall und Kunststoff) befinden sich in der Erprobung (nach KRÖNING, 2005, [34]).

Kunststoffquerträger finden sich sehr selten. So findet sich bei älteren Peugeot- und Citroënmodellen diese Variante eines Querträgers. Im vorderen Bereich des Xsara Picasso wird beispielsweise ein Kunststoffquerträger aus Polypropylen mit 30 % Glasfaseranteil eingesetzt.



**Bild 4.10:** Vorderer Querträger durch Innenhochdruckverfahren hergestellt, angeflanscht an die Längsträger, Ford Mondeo Modell 2004 nach STICHWEH (2002) [55]

### 4.2.3 Energieabsorptionselemente

Nahezu jeder Hersteller setzt bei den Fahrzeugen Energieabsorptionselemente im Vorderwagen und im Hinterwagenbereich ein. Die Elemente absorbieren gezielt die Energie, die aus Crashbelastungen mit geringen Aufprallgeschwindigkeiten resultiert (z. B. Pkw-Pkw-Anpralle bis ca.  $15 \text{ km/h}$ , Fußgängerunfälle). Solche Energieabsorptionselemente sind:

- Schaumstoffelemente,
- strukturierte Kunststoffelemente,
- Crashbox, Stülprohr etc.,
- Pralldämpfer.

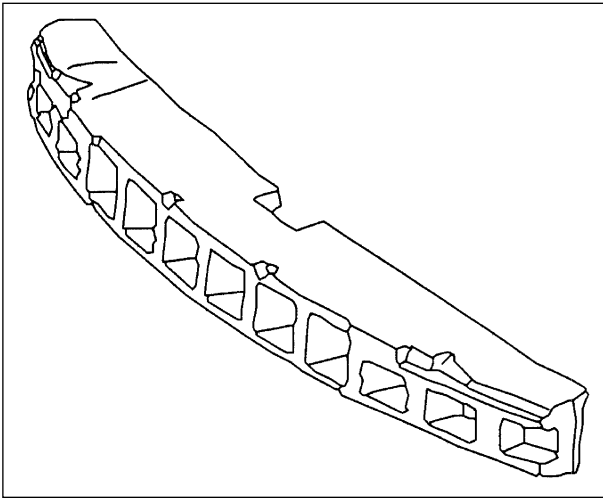
In der Vergangenheit haben Fahrzeughersteller bei einigen Fahrzeugmodellen Schaumstoffelemente zwischen Stoßfängeraußenhaut und Querträger vorgesehen. Der Zweck liegt in der Erhöhung der passiven Sicherheit von Fußgängern und in der Vermeidung von Bagatellschäden (durch „Parkrempler“, z. B. bis  $4 \text{ km/h}$  Aufprallgeschwindigkeit). Durch die ab dem 01.10.2005 gültige Gesetzesvorgabe (Richtlinie 2003/102/EG) hat der Fußgängerschutz eine hohe Bedeutung erlangt. Um die geforderten Prüfungen in der Richtlinie erfüllen zu können, müssen Hersteller die Fahrzeugfront sehr weich gestalten, was sich effektiv durch Elemente aus geschäumtem Kunststoff erzielen lässt. Die Schäume zum Fußgängerschutz sind im Vergleich zu Schäumen von Vorgängermodellen, die nicht auf diese Richtlinie hin ausgelegt wurden, weicher und dicker, was Tabelle 4.2 am Beispiel der Schäume des Volkswagen Golf IV/V aufzeigt. Diese Elemente bestehen jeweils aus schwarz eingefärbtem Polypropylenschaumstoff.

In Bild 4.11 ist der Schaumstoff des Volkswagen Golf V abgebildet. Der Schaumstoff besitzt Hohlräume, die zusätzliche Nachgiebigkeit bieten.

Darstellungen für integrierte Elemente in Fahrzeugfronten finden sich in den Bildern 4.5, 4.6 und 4.18. Im Heckbereich werden von einigen Fahrzeugherstellern ebenfalls Energieabsorptionselemente eingesetzt, die zur Vermeidung von Bagatellschäden

Fahrzeug	Dicke [mm]	Masse [kg]	Dichte* [kg/m <sup>3</sup> ]
VW Golf IV	40	0,52	ca. 60
VW Golf V	60	0,11	ca. 20
*experimentell bestimmt			

**Tab. 4.2:** Materialeigenschaften zweier Schaumstoffelemente



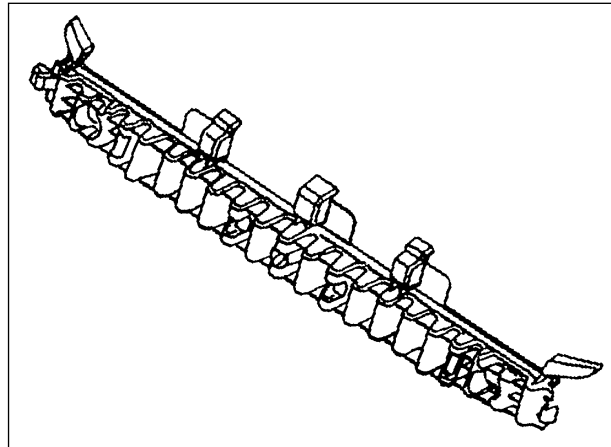
**Bild 4.11:** Energieabsorptionselement aus Polypropylen-Schaumstoff des Volkswagen Golf V, nach Volkswagen (2005) [62]

dienen. Die Schaumstoffe sind in der Regel geschlossenzellig (keine Wassereinlagerung) und einteilig, zweiteilig oder dreiteilig ausgeführt.

Kunststoffelemente, wie z. B. Hohlkörper mit Verstärkungsrippen, die im Spritzgussverfahren hergestellt werden, dienen wie Schaumstoffelemente zur Vermeidung von Bagatellschäden und zum Fußgängerschutz. Diese Elemente sind entweder bereits in der Stoßfängeraußenhaut mit integriert oder werden separat an die Fahrzeugstruktur (Querträger) angebracht. In Bild 4.12 ist hierzu ein Kunststoffelement des Fahrzeugs Peugeot 307 dargestellt, das im Frontbereich zwischen Querträger und Außenhaut platziert wird. Wie SCHULER et al. (2003) [52] aufzeigen, können mit solchen Energieabsorptionselementen, hergestellt im Spritzgussverfahren aus Polycarbonatkunststoff, die Anforderungen bezüglich des Fußgängerschutzes (Richtlinie 2003/102/EG) und Pendelschlagtests der „Bumper Standards“ (FMVSS 215, CMVSS 215) bei bis zu 5 Meilen pro Stunde erfüllt werden.

Für eine hohe Energieabsorption und damit zur Vermeidung von Strukturschäden, wie sie z. B. durch den RCAR/AZT-Test (über 8 km/h Anprallgeschwindigkeit) entstehen, sind die vorgestellten Schaumstoffelemente und strukturierten Kunststoffelemente aufgrund geringer Festigkeiten und Steifigkeiten nicht geeignet. Wirkungsvoll erweisen sich hierzu Elemente, die zwischen Querträger und Längsträger platziert werden und die über ein höheres Energieabsorptionsvermögen verfügen.

Hierfür existieren in den Fahrzeugen verschiedene Systeme zum Energieabbau, deren gemeinsames



**Bild 4.12:** Energieabsorptionselement hergestellt im Spritzgussverfahren des Peugeot 307, nach Peugeot (2005) [42]

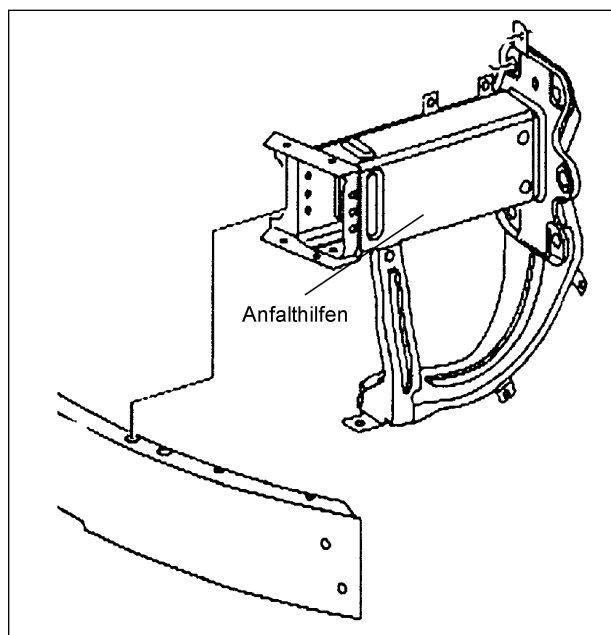
Prinzip in der Umformung von metallischen Werkstoffen (Aluminium oder Stahl) liegt.

Wie auch bei der eigentlichen Längsträgerstruktur kann ein Absorptionselement die Energie durch regelmäßiges Faltenbeulen abbauen. Hierzu werden z. B. Blechschalen zu einem Kastenprofil zusammengesetzt. Diese so genannten Crashboxen werden dann häufig mit an den Querträger angeschweißt. Bei einer Beschädigung wird das System vom Längsträger gelöst (Schraubverbindung) und ersetzt. Diese Systeme (Querträger mit Crashbox) finden sich in Stahlausführung (wie z. B. Volkswagen Golf V, Modell ab 2003) oder Aluminiumausführung (wie z. B. Mercedes-Benz A-Klasse W168, Modell 1997-2004). Werden die Werkstoffe kombiniert, d. h., der Querträger besteht aus Aluminium und die Crashboxen aus Stahl, so werden die Komponenten miteinander verschraubt (vgl. Bild 4.13, Mercedes-Benz E-Klasse W211).

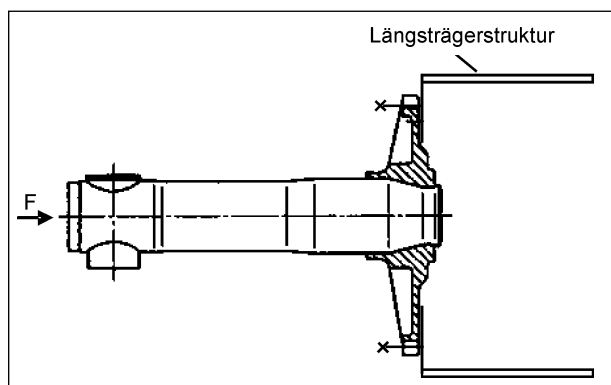
Die Crashboxen besitzen sehr häufig Anfalhilfen (so wie in Bild 4.13 dargestellt), um das Faltenbeulen gezielt zu initiieren und die maximale Traglast zu minimieren.

Im Gegensatz zu den Pralldämpfern, die prinzipiell wie Stoßdämpfer arbeiten und zum Teil vollständig reversibel sind, ist eine Vielzahl an mechanischen Systemen denkbar, die Energie durch Umformarbeit abbauen. Durch die Faltung weist die Kraft-Weg-Kennlinie bei einer Deformation ein periodisch wechselndes Verhalten auf.

Des Weiteren kann die Energie über die Stauchung eines Rundrohres abgebaut werden. Hierzu ist in Bild 4.14 ein Beispiel der Firma Suspa aufgeführt. Das Rohr wird durch eine Matrize geschoben und



**Bild 4.13:** Crashbox der Mercedes-Benz E-Klasse W211 aus Stahl (Modell ab 2002) mit Aluminiumquerträger im Vordergrund, nach Mercedes-Benz (2005) [40]

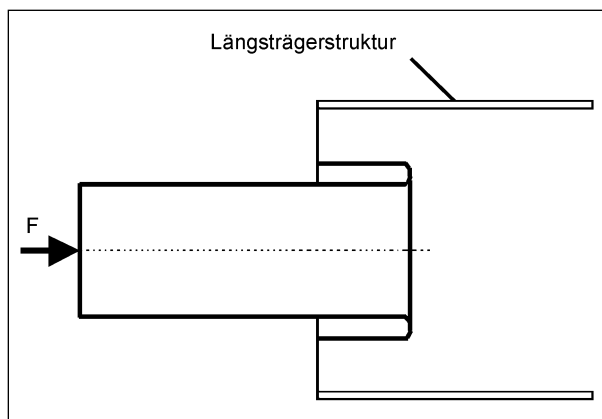


**Bild 4.14:** Beispiel für Typschadenhalter der Firma Suspa, angeflanscht an den Längsträger, nach BRÜCK (1999) [12]

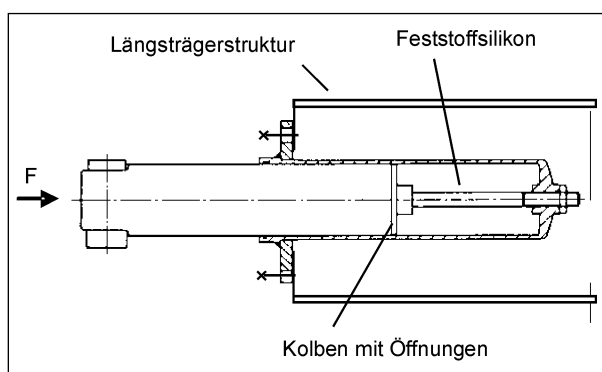
dabei verjüngt. Ein Beispiel hierfür ist der Volkswagen Passat (Modell 1996 bis 2005). Die Kraft-Weg-Kennlinien solcher Systeme sind relativ konstant.

Neben einer Stauchung werden auch Systeme eingesetzt, die Energie durch Scherung absorbieren. Bei dem Fahrzeug Audi A6 (Modell ab 2004) wird ein rechteckförmiges Blechrohr mittig aufgeschnitten. Ähnlich wie bei der Stauchung lassen sich so nahezu konstante Kraft-Weg-Kennlinien erzeugen. Nach HABERER (2000) [25] liegt bei der Scherbox des Audi A4 (Modell 2001 bis 2004) das Kraftniveau bei ca. 65 kN. Der maximale Deformationsweg beträgt ca. 90 mm.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Stülpung eines Rundrohres, so wie in Bild 4.15 prinzipiell



**Bild 4.15:** Prinzip für ein Stülprohr zu Energieabsorption



**Bild 4.16:** Beispiel für einen reversiblen Pralldämpfer der Firma Suspa, angeflanscht an den Längsträger, nach BRÜCK (1999) [12]

dargestellt. Das Fahrzeug Audi A3 (Modell 1996-2003) ist im Frontbereich beispielsweise mit einem solchen System ausgestattet.

Die bisherigen Lösungen absorbieren die Energie durch eine irreversible Umformung. Reversible Crashabsorber sind in der Lage, die Energie aus einer Crashbelastung bis zu einer gewissen Grenze vollständig zu verzehren und ohne plastische Verformungen wieder die Ursprungsform anzunehmen. Diese Elemente werden wie Crashboxen zwischen Querträger und Längsträger vorgesehen. In den Systemen werden Feststoffsilikon, Gase und/oder Flüssigkeiten verwendet. Ein Beispiel eines reversiblen Pralldämpfers der Firma Suspa ist in Bild 4.16 zu erkennen. In einer Kammer befindet sich Feststoffsilikon, das bei Crashbelastung durch Öffnungen in dem Kolben gedrückt wird. Bei Entlastung nimmt der Dämpfer wieder seine Ursprungsform an. Mittels Schrauben wird der Dämpfer an den Längsträger angeflanscht. Der hier abgebildete Dämpfer ist bis 15 km/h (Anforderungen des RCAR/AZT-Tests) reversibel. Ein System, das bis zu dieser Geschwindigkeit vollständig reversibel



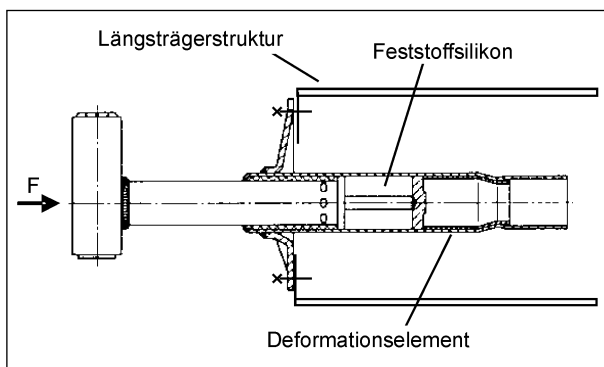
arbeitet, wurde bisher nur im Fahrzeug Audi A8 eingesetzt (Modell 1994 bis 2002).

Bauraum wird bei diesen eher aufwändigen Systemen dadurch eingespart, dass das Außenrohr des zylinderförmigen Dämpfers im Hohlraum des Längsträgers liegt.

Die übrigen Fahrzeuge, die bei dieser Untersuchung betrachtet wurden und mit Pralldämpfern ausgestattet sind, besitzen Systeme mit reversiblen und irreversiblen Anteil. Beispiele hierfür sind die US-Versionen des VW New Beetle und VW Golf IV (Heck) sowie BMW 3er (Modell 1998 bis 2005) Die Pralldämpfer sind bis ca. 8 km/h Aufprallgeschwindigkeit (gegen eine starre Barriere, abhängig vom Gewicht des Fahrzeugs) vollständig reversibel.

Treten höhere Belastungen auf, z. B. durch eine höhere Geschwindigkeit, so wird nach Ausschöpfung der reversiblen Wegstrecke ein innen liegender Ring in den hinteren Bereich geschoben, der das Außenrohr aufweitet und irreversibel verformt (s. hierzu Bild 4.17, reversibler Pralldämpfer der Firma Suspa mit zusätzlichem Deformationselement).

Neben den vorgestellten Systemen mit Feststoffsilikon setzt z. B. die Firma ZF Boge Pralldämpfer mit einer Gas- und Flüssigkeitsfüllung ein. Eine Hydraulikkammer und ein mit Druckgas gefüllter Gasraum sind durch einen verschiebbaren Kolben getrennt. Kommt es zur Verschiebung des Kolbens, so wirken die geschwindigkeitsabhängige Dämpfung des Öls (das durch eine Drosselbohrung strömen muss) und die progressiv ansteigende Federkraft durch die Gaskompression. Der Gasdruck lässt den Dämpfer nach dem Anprall wieder in die Ausgangslage zurückfahren.



**Bild 4.17:** Beispiel für einen reversiblen Pralldämpfer der Firma Suspa mit zusätzlichem Deformationselement, angeflanscht an den Längsträger, nach BRÜCK (1999) [12]

Neben der Reversibilität bis zu einer gewissen Geschwindigkeitsgrenze liegen die Vorteile dieser Systeme in der mit der Aufprallgeschwindigkeit progressiv steigenden Kraft-Weg-Kennlinie. Bei „Parkremplern“ wird das Fahrzeug sanft abgefangen. Bei höheren Crashgeschwindigkeiten, wie z. B. 15 km/h, kann bereits in der Anfangsphase des Crashes nennenswert Energie absorbiert werden. Nach Meinung der Autoren dieser Studie kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei Crashes im Hochgeschwindigkeitsbereich (bspw. 64 km/h) die Systeme nicht mehr wie gefordert funktionieren. Die Feststoffe und Flüssigkeiten im Dämpfersystem sind zu träge und wirken wie starre Körper. Nur der irreversible Anteil der Dämpfer trägt dann zur Energieabsorption bei.

Pralldämpfer sind im Vergleich zu einfachen Faltröhren in der Fertigung sehr aufwändig (höhere Einzelteilzahl, Präzisionsflächen, um Dichtigkeit zu gewährleisten) und damit in der Herstellung teurer. Beispiele für Herstellkosten konnten im Rahmen dieser Studie nicht ermittelt werden, die Höhe der Ersatzteilkosten lässt jedoch darauf schließen. Ein Pralldämpfer, wie er im VW New Beetle und im Heck des VW Golf IV eingesetzt wird, kostet als Ersatzteil ca. 100 Euro. Viele Querträger aus Stahl mit bereits integrierten Crashboxen liegen auf dem gleichen preislichen Niveau.

Pralldämpfer sind für eine Belastungsrichtung ausgelegt. Durch den veränderten RCAR/AZT-Test (s. hierzu Abschnitt 3.1) wird es notwendig sein, die Systeme den neuen Testbedingungen anzupassen und die Dämpfer in einem Winkel von  $10^\circ$  zur Fahrzeuglängsachse einzubauen.

#### 4.2.4 Bestand

Eine Betrachtung von 20 aktuellen Modellen bekannter Hersteller, die auf dem deutschen Markt angeboten werden, zeigt, dass im Frontbereich 9 Fahrzeuge einen Querträger aus Aluminium-Extrusionsprofilen und 9 Fahrzeuge einen Querträger aus tiefgezogenem oder gewalztem Stahlblech haben. 2 Fahrzeuge haben einen durch das Innenhochdruckverfahren umgeformten Querträger. Eine Übersicht zu Querträgersystemen im Front- und Heckbereich findet sich in Tabelle 4.3.

Unter den betrachteten Modellen befinden sich z. B. Fahrzeuge der Hersteller Audi, BMW, Ford, Mercedes-Benz, Opel und Volkswagen. Anhand der Zulassungszahlen des Jahres 2004 haben

diese Modelle einen Marktanteil von ca. 40 %. Als Beispiele befinden sich hierunter die Modelle VW Golf V, BMW der 3er und 5er Reihe, Opel Astra, Mercedes-Benz A-, C- und E-Klasse.

Diese Übersicht zeigt, dass als Werkstoffe hauptsächlich Stahl und Aluminium (Aluminiumlegierungen) eingesetzt werden. Querträger aus Kunststoff finden sich unter den betrachteten Modellen nicht. Beispielsweise besitzt jedoch der Vorgänger des 3er BMW (Modell E46, Baujahr 1998 bis 2005) einen Heckquerträger aus glasfaserverstärktem Kunststoff. Ein weiteres bekanntes Beispiel für Kunststoffquerträger sind die Front- und Heckträger des Citroën Xsara Picasso.

Als Energieabsorptionselement finden sich bei den Modellen von BMW (3er E46, 5er E39, 7er E38) im Front- als auch im Heckbereich Pralldämpfer. Bei Betrachtung der Nachfolgenerationen (3er E90, 5er E60 und 7er E65) werden nun Crashboxen aus Stahl eingesetzt. Dieses Beispiel soll aufzeigen, dass der Großteil der Hersteller (wie z. B. Audi, Opel, Mercedes-Benz und Volkswagen) dazu übergegangen ist, bei aktuellen Modellen Crashboxen als Energieabsorptionselement einzusetzen. Bei den Vorgängermodellen fanden sich zum Teil entweder keine solchen Energieabsorptionselemente oder die Elemente waren Stülprohre sowie Pralldämpfer. Diese Strategie wird von Seiten der Autoren damit begründet, dass Crashboxen kostengünstiger als andere Systeme sind.

Als Besonderheit ist an dieser Stelle das Fahrzeugmodell Honda CRV zu nennen, das im Frontbereich keinen Querträger, sondern nur an die Längsträger angeschlossene Crashboxen besitzt. Dies führt nach Meinung der Autoren zu massiven Problemen im Bereich Partnerschutz, da bei einem Seitencrash die Längsträger tief in den Fahrgastraum des gegnerischen Fahrzeugs eindringen können.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass sich bei neueren Modellen Crashboxen (neben anderen Systemen wie z. B. Pralldämpfern, Stülprohren) als

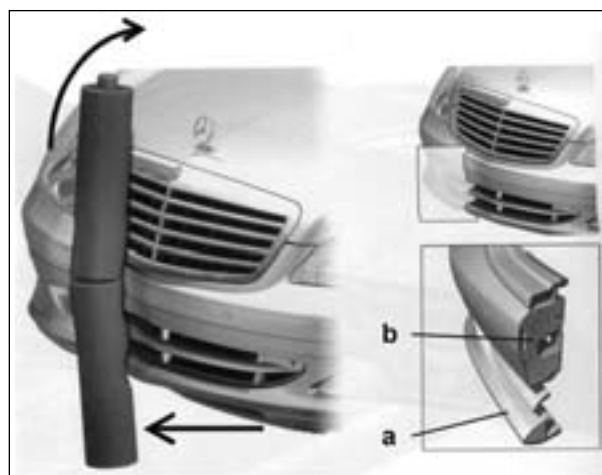
Querträger	Front	Heck
QT aus Tiefziehblech (Stahl)	9	10
Extrusionsprofil (Aluminium)	9	8
QT hergestellt nach dem Innenhochdruckverfahren (Stahl)	2	2
Summe	20	20

**Tab. 4.3:** Querträgersysteme von 20 aktuellen Fahrzeugmodellen des deutschen Marktes

leicht auswechselbare und kostengünstige Energieabsorptionselemente durchgesetzt haben. Diese werden zusammen mit einem biegesteifen Querträger (z. B. warm- oder kaltgepresstes Stahlblech) als ein Bauteil an die Längsträger angeflanscht. Eine weitere verbreitete Lösung sind Stahlcrashboxen, die an ein ebenfalls sehr biegesteifes Aluminium-Strangpressprofil angeschraubt werden. Systeme ohne Querträger oder Crashboxen, so wie bei älteren Fahrzeuggenerationen häufig üblich, sind kaum mehr zu finden.

#### 4.2.5 Stoßfängeraußenhüte

Stoßfängeraußenhüte sind Designelemente und zudem Funktionsträger für Einparksensoren, Düsen der Scheinwerferreinigungsanlage und Abstandssensoren. Darüber hinaus tragen die Außenhüte immer mehr zur Einhaltung gesetzlicher Anforderungen bei. Bei der Beinprüfung zum Fußgängerschutz (Richtlinie 2003/102/EG) mit dem Prüfkörper dürfen ein definierter Knie-Biegewinkel, Knie-Scherversatz und eine Beschleunigung in Bewegungsrichtung nicht überschritten werden. Der Beinprüfkörper ist ein frei fliegender Impaktor, der mit 40 km/h auf die Fahrzeugfront geschossen wird. Damit dies realisiert werden kann, wird ein Teil der kinetischen Energie des Prüfkörpers in Rotationsenergie umgewandelt. An der Unterseite der Stoßfängeraußenhaut wird eine versteifte Lippe vorgezogen (s. Bild 4.18, a), sodass der Absorptionsschaum (b) kinetische Energie aufnimmt, der Prüfkörper aber nur leicht abknickt und sich über die Motorhaube hinweg dreht (Bild 4.18 links).



**Bild 4.18:** Beinaufprall-Impaktorprüfung nach Richtlinie 2003/102/EG (links) sowie Maßnahmen am Stoßfänger (rechts) nach BREITLING & BREUER (2005) [11]

Die Lippe wird, da der Kunststoff der Außenhaut weich ist, durch einen Bügel aus Stahl verstärkt. Dieses System findet sich bei einer Vielzahl an neuen Modellen, wie z. B. bei Volkswagen (Golf, Passat), dem Opel Astra oder der Mercedes-Benz S-Klasse aus dem Modelljahr 2005.

Die Außenhäute bestehen fast ausschließlich aus bestimmten Polymeren, die in Wagenfarbe lackiert sind. Die Anteile bestimmter Polymere am Gewicht der Stoßfängeraußenhäute sind in Tabelle 4.4 aufgelistet. Die Anteile wurden – da diesbezüglich noch keine genauen Untersuchungsergebnisse vorliegen – in der Studie von STOLZENBERG & WOIDASKY (2003) [56] geschätzt.

Die Kunststoffmischung PP/EPDM (Polypropylen mit Polymerkautschuk) findet sich demnach mit 24 % Anteil am häufigsten, EPDM liegt in dieser Mischung jedoch nur in geringen Anteilen vor. PP/EPDM besitzt nahezu die für reines PP typischen physikalischen Eigenschaften. Die Kerbschlagzähigkeit ist trotz der geringen EPDM-Zugaben jedoch um ein Vielfaches höher. Beispielsweise hat eine Mischung aus 90 % PP und 10 % EPDM ein Biege-E-Modul (Bestimmung nach DIN 53 452) von  $1.800 \text{ N/mm}^2$  (im Vergleich dazu: PP homopolymer:  $1.900 \text{ N/mm}^2$ ), die Kerbschlagzähigkeit bei einer Temperatur von  $23 \text{ °C}$  beträgt jedoch  $129 \text{ J/m}$  (im Vergleich dazu: PP homopolymer:  $40 \text{ J/m}$ ). Die Dichte des EPDM/PP-Blends liegt bei ca.  $0,9 \text{ g/cm}^3$  (vgl. DOMININGHAUS, 1988, [14]). Verschiedene Eigenschaften der Mischung werden mit Hilfe von Talkum, das als Füllstoff zugegeben wird, verbessert. So wird beispielsweise die Steifigkeit erhöht. Aber auch die Formbeständigkeit bei Wärme und die Maßhaltigkeit werden dadurch angehoben.

Da die Dicke der Außenhäute ca. 2 mm beträgt, sind sie sehr nachgiebig und absorbieren bei einem Crash, wie z. B. bei dem RCAR/AZT-Crashreparaturtest, nur wenig Energie.

Die Außenhäute werden an das Frontmodul geschraubt. Im Bereich der Kotflügel liegen sehr häufig Steckverbindungen vor, damit sich bei einer leichten Kollision die Außenhaut von der Karosserie lösen kann und keine Beschädigungen an der Karosserie auftreten. Bei einem Test nach RCAR/AZT ( $15 \text{ km/h}$  Anprallgeschwindigkeit) wird die Außenhaut so beschädigt, dass nach BRÜCK (1999) [12] ein Austausch erforderlich ist. Bei dem Low-Speed-Crashtest nach IIHS (ca.  $8 \text{ km/h}$  Anprallgeschwindigkeit) ist ein Austausch der Außenhäute nach dem Crashversuch nicht immer erforderlich, was

Polymer	Anteil (%)
PP/EPDM unlackiert	24,0
PP/EPDM teillackiert	17,0
SMC	17,0
PC/PBT	12,0
PP/EPDM T20	9,0
PP/EPDM lackiert	6,0
PP/EPDM teillackiert/unlack. m. Schaum	6,0
PP/EPDM T unlackiert	5,0
PC/PET	3,3
PUR-RIM	0,5
PUR-RRIM	0,2
Summe	100,0

**Tab. 4.4:** Geschätzte Gewichtsprozente der Kunststoffe von Stoßfängeraußenhäuten heutiger Kraftfahrzeuge nach STOLZENBERG & WOIDASKY (2003) [56]

Veröffentlichungen des IIHS zeigen (vgl. z. B. IIHS, 2002b, [29]).

Wie auch bei den Crashabsorptionselementen (Pralldämpfer bei US-Version, Crashboxen bei Europa-Version eines Pkw), existieren bei den Außenhäuten der Fahrzeuge zum Teil unterschiedliche Ausführungen, um den unterschiedlichen Anforderungen (USA: FMVSS 215 „Bumper Standard“, Europa: RCAR/AZT) zu genügen. Beispielsweise haben US-Fahrzeugversionen der Hersteller Volvo und Audi zum Teil voluminösere Außenhäute.

Für die Zukunft ist denkbar, dass die Außenverkleidung aus einem einzigen geschäumten Kunststoffelement besteht (Außenhaut und Schaumelement), wobei die äußere Haut zur Formgebung und für den Zusammenhalt eine höhere Dichte aufweist.

### 4.3 Vergleich von Fahrzeugstrukturen

Im Abschnitt 2.1.1 wird eine Reihe von Fahrzeugen aufgeführt, die bei einem Modellwechsel in der Typklasse auffällig geworden sind, wie z. B. der Vergleich Peugeot 306 mit Peugeot 307 in Tabelle 2.2 zeigt. Durch Vergleiche des konstruktiven Aufbaus des Vorder- und Hinterwagens der Modelle mit ihrem entsprechenden Vorgänger wird der Frage nachgegangen, inwieweit sich die günstigere Einstufung durch eine reparaturfreundlichere Konstruktion erklären lässt.

#### 4.3.1 Peugeot 306/307

Dieses Modell ist bei einer vergleichbaren Motorisierung um 3 Typklassen in der Fahrzeugvollversicherung gefallen, wie Tabelle 2.2 zeigt.

In Bild 4.19 sind die wesentlichen Teile der Fahrzeugfront des Peugeot 306 (Baujahr 1993 bis 2000) für die Crashabsorption dargestellt, nämlich Stoßfängeraußenhaut (a) und Abschlussblech. In die Innenseite der Kunststoffaußenhaut ist ein mit Rippen verstärkter Kunststoffhohlkörper integriert, der direkt an die Längsträger (hier nicht abgebildet) geschraubt wird. Zwischen Hohlkörper und Längsträger wird das Abschlussblech angeschraubt. Dieses Fahrzeug besitzt keinen versteifenden Querträger aus metallischem Werkstoff.

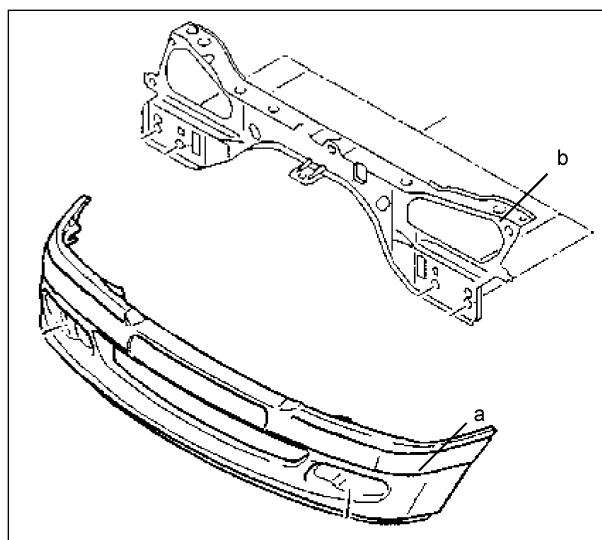
Die Energieabsorptionseigenschaft der Außenhaut mit zusätzlichem Absorptionselement aus Kunststoff ist sehr begrenzt, was ein am IFT durchgeführter Versuch (Versuch 35, s. hierzu Abschnitt 6.1) aufzeigt. Bei dem Typschadentest (RCAR/AZT-Test) mit 15 km/h Aufprallgeschwindigkeit wird der Längsträger mit beschädigt, sodass eine aufwändige Abschnittsreparatur der vorderen Längsträger notwendig wird. Das Absorptionselement in der Außenhaut dient nur zur Vermeidung von Bagatellschäden.

Im Vergleich hierzu ist in Bild 4.20 die Front des Peugeot 307 (Baujahr ab 2000) dargestellt. Hinter der Außenhaut (a) befindet sich ein zweiteilig ausgeführtes Absorptionselement aus Schaumstoff (b). Dieses Absorptionselement dient zum Fußgängerschutz (s. Prüfungen nach EuroNCAP, europäische Richtlinie 2003/102/EG).

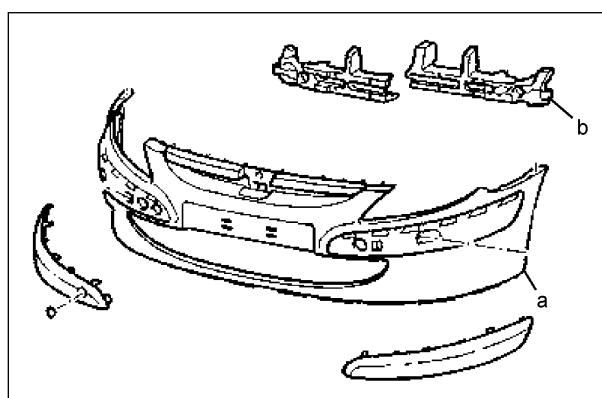
Hinter diesem Absorptionselement folgt ein Querträger (s. hierzu Bild 4.21) aus tiefgezogenem Stahlblech (a), an dem Crashboxen mit Falthilfen (b) angeschweißt sind. Die Crashboxen bestehen jeweils aus zwei miteinander verschweißten Stahlblechschalen.

Das in Bild 4.21 dargestellte Querträgersystem kann bei dem RCAR/AZT-Test die Gesamtenergie aufnehmen, was ein Crashversuch zeigt (IFT-Versuch 33, s. hierzu Abschnitt 6.1). Eine Beschädigung des Längsträgers am Realfahrzeug unter RCAR/AZT-Testbedingungen wird nicht erwartet. Eine Reparatur gestaltet sich bei dem Fahrzeug Peugeot 307 demnach wesentlich günstiger als bei dem Vorgängermodell Peugeot 306.

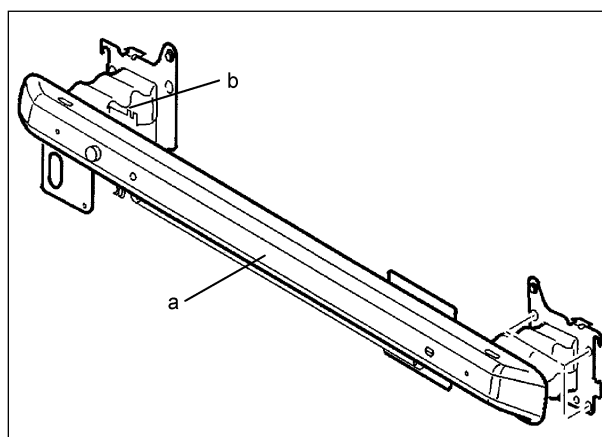
Auch im Heckbereich haben sich bei dem Modellwechsel große Änderungen ergeben. Das Modell Peugeot 306 besitzt im Heck keinen versteifenden Querträger. Hinter dem Heckanschlussblech befindet sich die Stoßfängeraußenhaut aus Kunststoff. Bei einem Heckanprall kommt es zur deutlichen Deformation der Seitenwände und dem Bodenblech.



**Bild 4.19:** Front des Peugeot 306 mit verstärkter Außenhaut und Abschlussblech, nach Peugeot (2005) [42]



**Bild 4.20:** Front Peugeot 307 mit Stoßfängeraußenhaut (a) und Schaumstoffelementen (b), nach Peugeot (2005) [42]



**Bild 4.21:** Vorderer Querträger (a) mit integrierten Crashboxen (b) des Peugeot 307, nach Peugeot (2005) [42]

Im Vergleich hierzu besitzt das Modell Peugeot 307 einen Heckquerträger aus tiefgezogenem Stahlblech mit angeschweißten Crashboxen, der an die hinteren Längsträger angeflanscht wird. Wie ein

Versuch mit diesem Querträgersystem zeigt, kann hierdurch ein Großteil der Energie beim RCAR/AZT-Test aufgenommen werden (IFT-Versuch 34, s. hierzu Abschnitt 6.1).

Insgesamt lässt der Vergleich der beiden Fahrzeuge erkennen, dass deutliche Maßnahmen vom Hersteller in Richtung Kaskoeinstufung und Fußgängerschutz unternommen wurden. Demnach lässt sich die niedrigere Kaskoeinstufung des Modells Peugeot 307 im Vergleich zu dem Modell Peugeot 306 durch die günstigeren Reparaturmöglichkeiten erklären.

Ähnlich wie bei Peugeot wurden beim Generationswechsel des Renault Mégane vergleichbare Änderungen vorgenommen. Das Modell Baujahr 1996 bis 2002 weist teils gleiche Konstruktionsmerkmale bei wesentlichen Bauteilen im Front- und Heckbereich auf wie der Peugeot 306. Dies bedeutet, dass im Front- und Heckbereich kein Querträger mit Energieabsorptionselementen vorhanden ist. Im Gegensatz dazu besitzt der Renault Mégane ab Baujahr 2002 wie der Peugeot 307 Front- und Heckträger mit integrierten Crashboxen, die an die Längsträger angeflanscht werden. Die Einstufung hat sich um 4 Klassen verbessert.

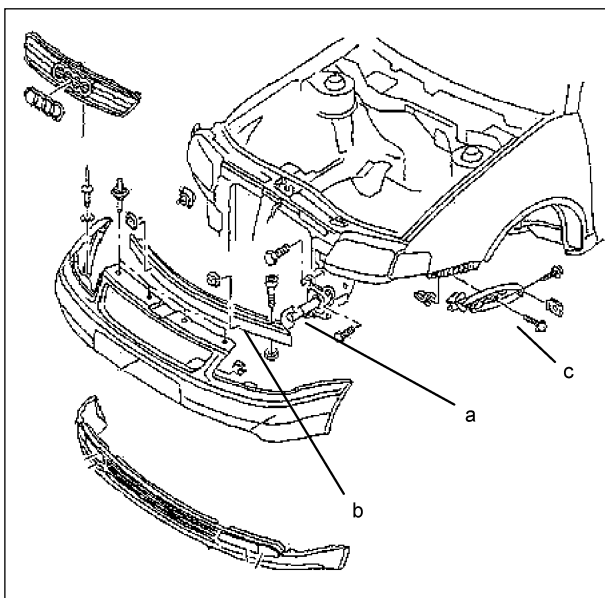
#### 4.3.2 Audi A3

Die Basismodelle des Audi A3 (Audi A3 mit 1,6-Liter-Benzinmotor, Modell 1996 bis 2003, 74 kW und

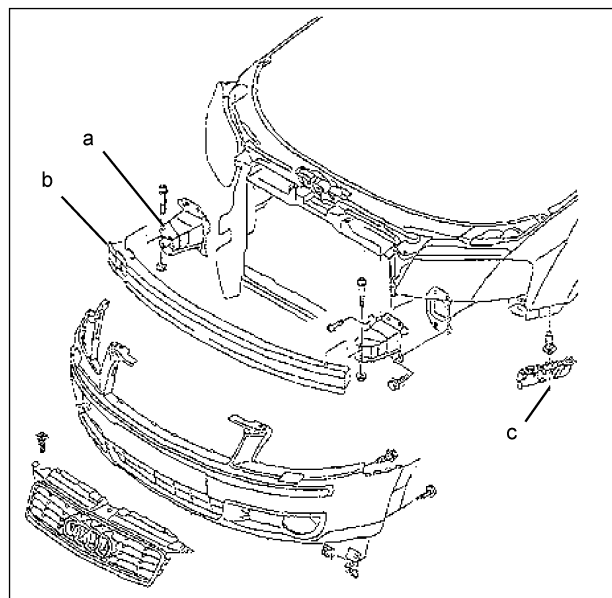
Audi A3 mit 1,6-Liter-Benzinmotor, Modell ab 2003, 75 kW) besitzen beide eine Typklasse von 17 (nach GDV, 2004, [21]). Wird der konstruktive Aufbau der Fahrzeuge betrachtet, so besitzen beide Modelle bereits ein Querträgersystem mit Energieabsorptionselementen. In Bild 4.22 ist die Struktur des Modells 1996 bis 2003 und in Bild 4.23 die Struktur des Modells ab 2003 aufgeführt. Beide Modelle besitzen im Frontbereich einen Querträger aus einem Aluminium-Strangpressprofil. Bei dem Modell 1996 bis 2003 dient ein Stülprohr (Aluminium) als Absorptionselement. Bei dem neueren Modell kommen Crashboxen aus Stahl zur Anwendung.

Die Energieabsorptionselemente (jeweils Position a auf Bild 4.22 und Bild 4.23) sind mittels Schrauben an die Längsträger angeflanscht. Jeweils ein Bolzen verbindet Querträger (jeweils Position b auf Bild 4.22 und Bild 4.23) und Energieabsorptionselemente. Beide Modelle besitzen an den Kotflügeln Kunststoffschienen (jeweils Position c auf Bild 4.22 und Bild 4.23), die die Stoßfängeraußenhäute mit tragen. Bei einem frontalen Anstoß löst sich an diesen Stellen die Außenhaut und eine Beschädigung der Kotflügel kann vermieden werden.

Prinzipiell haben sich keine markanten Änderungen im Aufbau des Vorderwagens ergeben. Beide Modelle besitzen Energieabsorptionselemente, die eine Beschädigung der Längsträger verhindern können.



**Bild 4.22:** Front Audi A3 (Modell 1996 bis 2003) mit Stülprohr (a), Querträger als Aluminium-Strangpressprofil (b) und Befestigung Stoßfängeraußenhaut, nach Audi (2005) [6]



**Bild 4.23:** Front Audi A3 (Modell ab 2003) mit Crashbox (a), Querträger als Aluminium-Strangpressprofil (b) und Befestigung Stoßfängeraußenhaut, nach Audi (2005) [6]

Die Betrachtung des Hinterwagens zeigt ebenfalls bei beiden Modellen einen ähnlichen Aufbau (ohne Abbildung). Die Fahrzeuge sind mit Querträgern aus Aluminium-Strangpressprofil (Mehrkammerprofil) ausgerüstet, die an die hinteren Längsträger angeschraubt werden. Zusätzliche Crashabsorptionselemente sind nicht vorhanden. Es wird davon ausgegangen, dass bei einem RCAR/AZT-Test die Querträger in der Lage sind, die Energie nahezu vollständig zu absorbieren.

Die Einstufung des Audi A3 hat sich nicht geändert, was sich auch durch den prinzipiell unveränderten Aufbau erklären lässt.

Tendenziell zeigt sich, dass Modelle deutscher Hersteller (wie z. B. Audi, BMW, Volkswagen) in älteren Fahrzeuggenerationen reparaturfreundlichere Karosserien besaßen als Modelle anderer Hersteller. Der Grund hierfür könnte sein, dass seit 1996 die Schadenhöhe in Deutschland anteilig zur Bestimmung der Versicherungsprämie beiträgt.

## 4.4 Deformationseigenschaften

### 4.4.1 Allgemeines

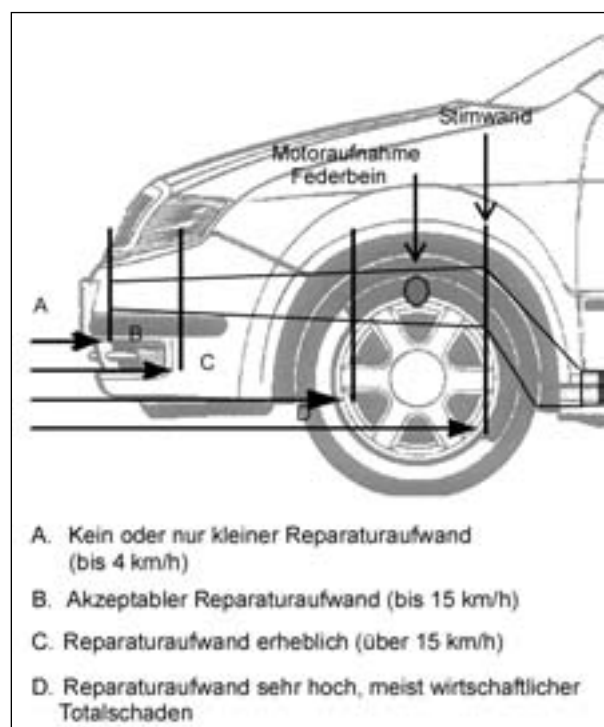
Bei einem Frontalanprall eines Pkw mit einer Masse von 1.500 kg und 48 km/h auf ein starres Hindernis, so wie derzeit von der Prüfvorschrift nach FMVSS 208 gefordert wird, muss die Struktur eine Energie von ca. 133 KJ absorbieren. Eine Betrachtung nach ANSELM (1997) [5] zeigt, dass die Vorderwagenstruktur davon ungefähr 79 % aufnimmt. 12 % werden von den Antriebsaggregaten und 9 % von der Spritzwand verzehrt. In der Vorderwagenstruktur verteilt sich die Energieaufnahme zu 72 % auf die Längsträger, zu 22 % auf die Radkästen und zu 6 % auf die Kotflügel.

Die Fahrgastzelle soll bei einem solch schweren Anprall nach Möglichkeit nicht nennenswert verformt werden und dient zum Erhalt des Überlebensraums für die Insassen. Im Zusammenspiel der Struktur mit weiteren sicherheitstechnischen Komponenten wie Kopfstützen, Sicherheitsgurten und Airbags wurde in der Vergangenheit ein Sicherheitsstandard geschaffen, der ein Überleben für die Insassen bei Unfällen über 50 km/h ermöglicht.

Die Deformation der Vorderwagenstruktur und speziell der Längsträger hat demnach so zu erfolgen, dass die biomechanischen Grenzwerte für die Insassen nicht überschritten werden. Als Verfor-

mungsweg zum Energieabbau steht die komplette Vorbaulänge inklusive der Stirnwandverformung zur Verfügung. Hiervon muss aber je nach Fahrzeug die Länge des quer oder längs eingebauten Motorblocks abgezogen werden. Bei einigen Fahrzeugen kann sich der Motorblock bei einem schweren Anprall an der Stirnwand abstützen und unter den Unterboden der Fahrgastzelle gleiten, was zusätzlich Energie verzehrt und Deformationsweg liefert.

In Bild 4.24 sind die Beschädigungsstufen der Vorderwagenstruktur für unterschiedliche Geschwindigkeiten schematisch aufgezeigt. Bei einem Crash bis zu 4 km/h sollen keine Beschädigungen an der Struktur auftreten. Die Energie soll durch die Stoßfänger Außenhaut und darunterliegenden Absorptionselemente, wie z. B. Schäume, aufgenommen werden. Die Vorschrift ECE-R42 lässt kleine Beschädigungen, wie ein Lösen von Schnappverbindungen oder das Auftreten von Lochleibung an der Außenhaut, zu. Bei Geschwindigkeiten bis 15 km/h ist der Reparaturaufwand akzeptabel, d. h., Querträger, Absorptionselemente (z. B. Pralldämpfer, Crashbox) und/oder vordere Längsträgerabschnitte werden beschädigt. Bei Geschwindigkeiten über 15 km/h wird der Längsträger erheblich geschädigt und es kommt zusätzlich zur Deformation der Radhäuser und der Motorhaube. Bei Frontalan-



**Bild 4.24:** Beschädigungsstufen eines Längsträgers, nach ANSELM (1997) [5]

prallen mit noch höheren Geschwindigkeiten kann sich die Deformation bis in die Stirnwand erstrecken (wie z. B. bei einem 50-km/h-Crashtest), sodass ein wirtschaftlicher Totschaden vorliegt.

Damit eine hohe Crashesicherheit für die Fahrgastzelle unter Berücksichtigung der steigenden Anforderungen der Testprozeduren (wie z. B. Crash bei 40 % Überdeckung mit 64 km/h, EuroNCAP) gewährleistet wird, sollte die Struktur nach Möglichkeit von Beginn an hohe Crashlasten aufnehmen, d. h., auch die für den Crashreparaturtest relevanten Teile müssen bereits sehr steif ausgelegt sein. Dadurch lässt sich in der Crashphase frühzeitig Energie abbauen.

Um das Deformationsverhalten der Längsträger bei Kollisionen nicht negativ zu beeinflussen, sollte die Abschleppöse mit einem Gewinde versehen und gegebenenfalls in den Längsträger eingeschraubt werden. Ist die Abschleppöse mit dem Längsträger fest verbunden, beispielsweise verschweißt, so kann im ungünstigsten Fall während eines Aufpralls über den Abschlepphaken ein Moment in den Längsträger geleitet werden, welches zum Biegeversagen des Trägers führen kann.

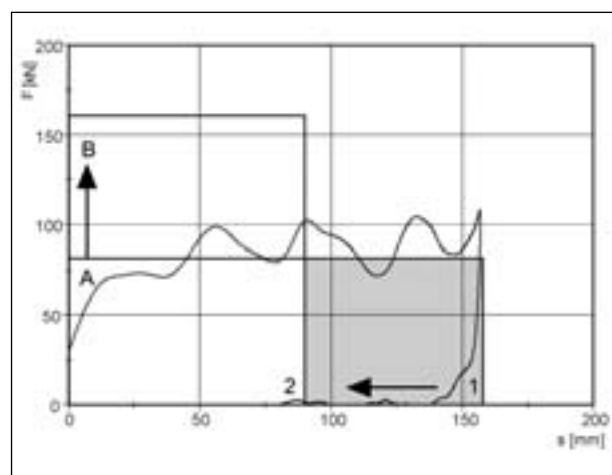
#### 4.4.2 Fußgängerschutz

Die gesetzliche Vorgabe bezüglich des Fußgängerschutzes, die Richtlinie 2003/102/EG, wurde am 06.12.2003 im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht. Die hierin beschriebene 1. Phase gilt seit dem 01.10.2005 und veranlasst die Hersteller, den Bauraum für die Querträgersysteme weiter zu begrenzen. Damit die Fahrzeuge die Anforderungen mit dem Beinimpaktor (Legform) im Frontbereich erfüllen, müssen die Hersteller weiche Energieabsorptionselemente zwischen Querträger und Stoßfänger Außenhaut vorsehen (am Beispiel des Golf V ca. 60 mm nach SCHULER et al. (2003) [52] z. B. 70 mm). Bei der Prüfung zum Fußgängerschutz, bei dem der Beinimpaktor mit einer Masse von 13,4 kg und einer Geschwindigkeit von 40 km/h auf die Fahrzeugfront trifft, absorbiert der Schaum eine maximale Energie von 830 J.

Bei einem Aufprall des Fahrzeugs gegen eine starre Barriere, wie z. B. beim RCAR/AZT-Test, spricht das Fahrzeug durch die weichen Energieabsorptionselemente im Frontbereich für die Fußgängerschutzanforderungen recht spät an und die Barriere dringt tief in die Struktur ein. Bei einer angenommenen Pkw-Prüfmasse  $m$  von z. B. 1.500 kg muss die Struktur eine Energie von maximal 13.000 J aufnehmen.

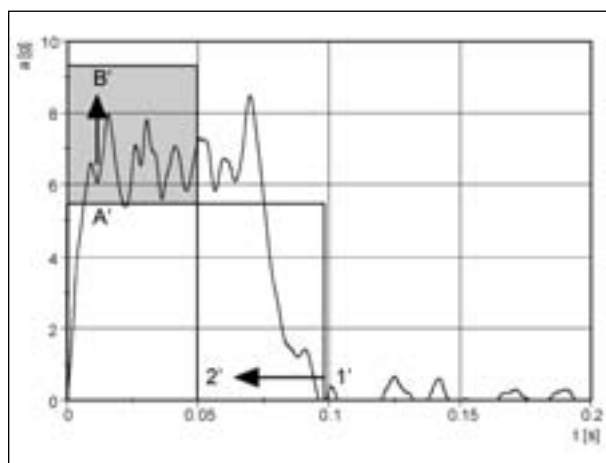
Durch den erforderlichen Bauraum für die Erfüllung der Auftreffprüfung mit dem Beinprüfkörper wird Weg für eine effektive Energieabsorption (d. h. damit ein schnelles Ansprechen der Struktur auf die Crashbelastung) bei einem Anprall des Fahrzeugs gegen ein Hindernis vergeben. Dies widerspricht dem Ziel, z. B. bei einem Crashreparaturtest so wenige Teile wie möglich zu beschädigen. Scheinwerfer, Kotflügel und Motordeckel können aus Designgründen nicht nach hinten versetzt werden und so steigt die Gefahr einer Beschädigung.

Die vorangehende Überlegung zeigt auf, dass die Anforderungen an Querträgersysteme steigen, um die Effekte durch den Fußgängerschutz (weiche Deformationselemente im Frontbereich) zu kompensieren. Die Systeme müssen auf einem kürzeren Weg die Energie abbauen, da ansonsten die Gesamtdeformation zu groß wird. An einem Beispiel soll die damit verbundene Auswirkung auf den Innenraum bei einem Crash erklärt werden. In einer Frontstruktur eines Fahrzeugs der Masse  $m$ , das sich mit der Geschwindigkeit  $v$  frontal auf eine starre Barriere zu bewegt, befinden sich Crashboxen. Es wird nun angenommen, dass die Crashboxen die Crashenergie nahezu vollständig absorbieren. Bei dem Crashvorgang resultiert der in Bild 4.25 dargestellte Kraft-Weg-Verlauf. Wird dieser Verlauf mit einem rechteckförmigen Verlauf angenähert, so stellt die Höhe des Rechtecks (A) die mittlere Crashlast dar. Angenommen, der Deformationsweg  $s$  soll verkleinert werden (1 nach 2), so muss die mittlere Crashlast angehoben werden (von A nach B). Dies kann im Fall der Crashbox durch Anhebung der Querschnittfläche und der Wandstärke erreicht werden.



**Bild 4.25:** Realer Kraft-Weg-Verlauf einer Crashstruktur, Rechteckflächen stellen maximalen Wirkungsgrad dar

Aus der mittleren Crashlast resultiert eine mittlere Verzögerung des Fahrzeugs (s. Bild 4.26, A'), wobei die Werte über die Masse gekoppelt sind. Deformationsweg und mittlere Verzögerung stehen so in einem proportionalen Verhältnis. Wird beispielsweise der Deformationsweg um die Hälfte reduziert, so steigt die mittlere Verzögerung auf das Doppelte an. Ebenso verkürzt sich die Zeit der Verzögerung. Diese wird um die Hälfte reduziert. Dieses Beispiel soll aufzeigen, dass eine Reduzierung des Deformationswegs stets mit einer Anhebung der mittleren Verzögerung und einer Verkürzung der Verzögerungsdauer verbunden ist.



**Bild 4.26:** Realer Verzögerungs-Zeit-Verlauf einer Crashstruktur, Rechteckflächen stellen maximalen Wirkungsgrad dar

#### 4.4.3 RCAR/AZT-Test

Die Hauptkostenfaktoren für die Instandsetzung nach Durchführung des RCAR/AZT-Crashtests sind in Tabelle 4.5 aufgeführt. Hierbei wird zwischen einem aktuellen Modell und dessen Vorgänger unterschieden, wobei die Ergebnisse aus im Umfeld dieser Studie durchgeführten Untersuchungen stammen (vgl. SCHNEIDER, 2004 [50] und GLÜCK 2005, [23]).

Wie erkennbar ist, treten bei dem aktuellen Modell (besitzt Querträger mit Crashboxen, die an die Längsträger angeflanscht sind) im Vergleich zum Vorgänger keine Beschädigungen am Kotflügel auf. Des Weiteren entfällt eine aufwändige Abschnittsreparatur des linken Längsträgers.

Wirkungsvoll lässt sich demnach die Zahl der Reparaturarbeiten senken, wenn die Längsträger nicht mit beschädigt werden und keine aufwändigen Schweißarbeiten erforderlich werden, was sich z. B. durch Energieabsorptionselemente wie Crashboxen erzielen lässt, die schnell lösbare Schraubverbindungen besitzen. Bei den meisten Fahrzeugmodellen wurde bis in die 90er Jahre der Querträger direkt an die Längsträger angeschweißt und hat somit zur Biege- und Torsionssteifigkeit der Gesamtfahrzeugstruktur beigetragen. Ein Beispiel hierfür ist die Mercedes-Benz E-Klasse W210 (Modell 1995-2001). Diese Konstruktionsweise kann aber Vorteile im Crashmanagement haben. Bei

	Karosseriearbeiten	Ersatzteilkosten	Lackierarbeiten
aktuelles Modell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorhaube erneuern</li> <li>• Querträger erneuern</li> <li>• Stoßfängeraußenhaut erneuern</li> <li>• Richtbank aufrüsten und Fahrzeug prüfen</li> </ul> <p>(ca. 90 % der Arbeitskosten)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorhaube</li> <li>• Stoßfängeraußenhaut</li> <li>• Querträger</li> <li>• Schlossträger</li> </ul> <p>(ca. 75 % der Ersatzteilkosten)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorbereitungszeit</li> <li>• Motorhaube lackieren</li> <li>• Stoßfängeraußenhaut lackieren</li> </ul> <p>(ca. 75 % der Arbeitskosten für Lackieren)</p>
vergleichbares Vorgängermodell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorhaube erneuern</li> <li>• Querträger erneuern</li> <li>• Längsträgerabschnitt vorne links erneuern</li> <li>• Stoßfängeraußenhaut erneuern</li> <li>• Kotflügel vorne links erneuern</li> <li>• Scheinwerfer links erneuern</li> </ul> <p>(ca. 80 % der Arbeitskosten)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorhaube</li> <li>• Querträger</li> <li>• Stoßfängeraußenhaut</li> <li>• Schlossträger</li> <li>• Scheinwerfer links</li> </ul> <p>(ca. 70 % der Ersatzteilkosten)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorbereitungszeit</li> <li>• Motorhaube lackieren</li> <li>• Stoßfängeraußenhaut lackieren</li> <li>• Kotflügel vorne links lackieren</li> </ul> <p>ca. 75 % der Arbeitskosten für Lackieren)</p>

**Tab. 4.5:** Hauptkostenfaktoren für die Instandsetzung nach einem RCAR/AZT-Test im Frontbereich für ein aktuelles Pkw-Modell und ein entsprechendes Vorgängermodell



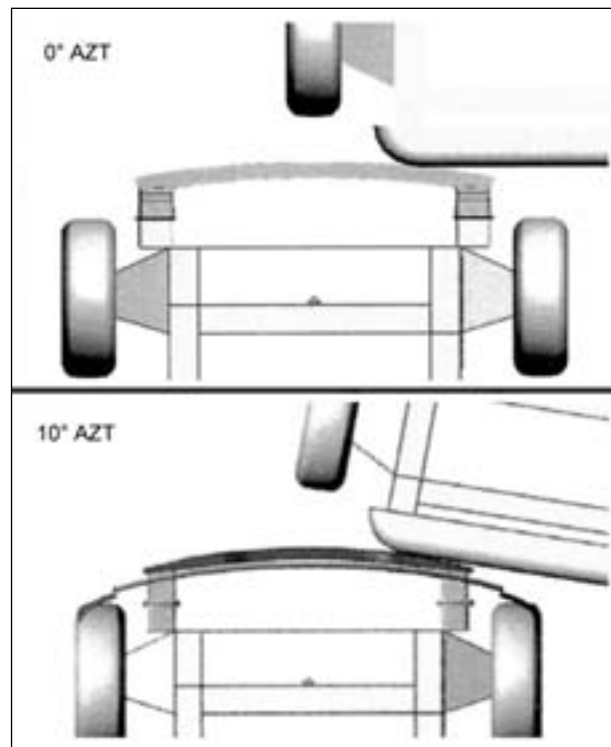
einem Crash mit einer nur teilweisen Überdeckung (z. B. 40 % Überdeckung) werden die Kräfte auf den gegenüberliegenden, vom Hindernis nicht getroffenen, Längsträger gut übertragen. Durch die Verschraubung einer Querträgerstruktur mit Pralldämpfern an die Längsträger lassen sich Kräfte bedeutend schlechter auf den gegenüberliegenden Längsträger übertragen.

Im Heckbereich kann häufig auf ein Energieabsorptionselement verzichtet werden, da Querträger die Energie absorbieren können. Durch den Anprall mit dem Stoßwagen wirken in der Regel geringe Lasten auf das System. Beispielsweise besitzt das Fahrzeug Audi A3 (Modell 1996-2003) im Heckbereich ein Aluminium-Mehrkammerhohlprofil, das für die Energieabsorption ausreicht.

Neben der Einbindung von Energieabsorptionselementen wie Crashboxen hat auch die Summe kleiner, konstruktiver Details einen erheblichen Einfluss auf den Reparaturaufwand. Werden z. B. Sollbruchstellen an den Aufnahmestellen von Aggregaten wie Kühler und Klimakondensator vorgesehen, muss bei einem Crash nicht das gesamte System, sondern nur die Halterung repariert werden. Das Gleiche gilt auch für die Halterungen von Scheinwerfern. Weiterhin kann durch Lösen von Steckverbindungen beim Crash, z. B. im seitlichen Bereich der Stoßfängeräußenhaut, eine Beschädigung des Kotflügels vermieden werden. Daneben gibt es zahlreiche weitere Details. Hierzu werden z. B. in der Veröffentlichung RCAR (1995) [44] Empfehlungen aufgeführt, die aus Erfahrungen mit dem Crashreparaturtest stammen.

Die Maßnahmen zur Gestaltung einer reparaturfreundlichen Karosserie haben die Fahrzeughersteller in den vergangenen Jahren so umgesetzt, dass die durchschnittlichen Reparaturkosten durch den RCAR/AZT-Test über die Jahre gesenkt werden konnten. Als Beispiel wird hierzu in der "Welt am Sonntag" (2001) [66] das Modell Audi A2 (Baujahr 1999-2005) genannt, bei dem die Reparaturkosten ca. 2.000 Euro betragen. Damit liegen diese Kosten weit unter den durchschnittlichen Reparaturkosten für Klein- und Kompaktwagen der Baujahre 1994 bis 1997 (3.700 Euro).

Die vorangehende Betrachtung zeigt, dass das Ziel einer günstigen Versicherungseinstufung durch den Einsatz von Energieabsorptionselementen und weiteren Maßnahmen zur Reduzierung der Reparaturkosten (wie z. B. lösbare Verbindungen) erreicht werden kann.



**Bild 4.27:** Vergleich Hecktest RCAR/AZT mit Stoßwagen, nach „alter“ Vorschrift mit 0° und nach „neuer“ Vorschrift mit 10° Anprallwinkel, nach KRÖNING (2005) [34]

Im Fall des modifizierten („neuen“) RCAR/AZT-Tests, der ab 01.01.2006 für alle Neufahrzeuge bei der Typklasseneinstufung in Deutschland und England herangezogen wird, fährt das Fahrzeug in einem Winkel von 10° gegen eine starre Barriere. Im Heckbereich wird das stehende Fahrzeug mit der mobilen Barriere ebenfalls in einem Winkel von 10° getroffen. Ein Vergleich ist in Bild 4.27 dargestellt. Der Stoßwagen für den Heckversuch besitzt nun nicht mehr eine Masse von 1.000 kg, sondern von 1.400 kg. Die Geschwindigkeit und der Überdeckungsgrad betragen im Test weiterhin 15 + 1 km/h und 40 %. Nähere Erläuterungen hierzu befinden sich in Abschnitt 3.1. Die Änderung der Testprozedur wurde vorgenommen, da laut Allianz (2003) [4] das reale Unfallgeschehen nicht mehr ausreichend abgebildet wurde. Versuche haben gezeigt, dass die Querträgersysteme so weit optimiert wurden, dass bei leichten Änderungen der Testprozedur die energieabsorbierenden Elemente versagten und erheblich höhere Reparaturkosten entstanden.

Die neue „verschärfte“ RCAR/AZT-Testprozedur, veranlasst die Fahrzeughersteller und Zulieferer, entsprechende konstruktive Anpassungen vorzunehmen. Dadurch, dass z. B. der Stoßwagen im Heckbereich schräg anprallt und so direkt auf die



**Bild 4.28:** Crashbox Opel Astra H (Modell ab 2004), möglicherweise bereits ausgelegt für RCAR/AZT-10°-Barriere-test

Crashbox trifft, steigen die Anforderungen bezüglich der Energieabsorption. Bei dem Test unter 0° Anprallwinkel baut der Querträger ein Teil der Energie durch Biegung ab, während die Energie bei dem 10°-Test fast ausschließlich durch den Energieabsorber, z. B. die Crashbox, aufgenommen wird. Dieser Sachverhalt lässt darauf schließen, dass die Energieabsorber steifer werden müssen, um die Deformationstiefe nicht ansteigen zu lassen.

Bezüglich der Krafteinleitung bei einem 10°-Anprall wird vermutet, dass von den Herstellern bereits konstruktive Maßnahmen ergriffen wurden. In Bild 4.28 ist hierzu beispielsweise die rechte Crashbox des Fahrzeugs Opel Astra H (Modell ab 2004) dargestellt.

#### 4.4.4 IIHS-Low-Speed-Crashtest

Fahrzeuge amerikanischer Marken wie z. B. General Motors oder Chrysler werden vorwiegend nur auf dem amerikanischen Markt vertrieben. Die Notwendigkeit, dass diese Fahrzeuge den für den europäischen Markt wichtigen RCAR/AZT-Test mit guten Resultaten, d. h. geringen Reparaturkosten und günstigen Kaskoklassen, absolvieren, entfällt. Wichtiger für diese Fahrzeuge ist die Auslegung bezüglich des IIHS-Tests und des gesetzlich vorgeschriebenen „Bumper Standard“ nach FMVSS. Modelle europäischer Hersteller, die für den europäischen und amerikanischen Markt bestimmt sind, sollen nach Möglichkeit gute Resultate in beiden Tests erzielen.

Volkswagen und BMW gingen dazu über, verschiedene Stoßfängersysteme für die beiden Märkte zu entwickeln. Als ein Beispiel sei an dieser Stelle das Modell New Beetle von Volkswagen genannt. Die US-Version besitzt im Gegensatz zu der europäi-

	US Version	Europa Version
Front	2.389 \$	3.217 \$
Heck	2.733 \$	3.940 \$
Gesamt	5.122 \$	7.157 \$

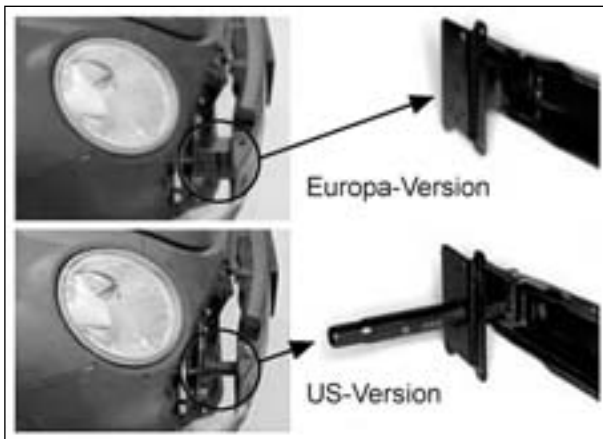
**Tab. 4.6:** Schadenssummen in US-Dollar [\$] für den US New Beetle und den europäischen New Beetle nach IIHS 20-Meilen-Test (2002 b) [29]

schen Version sowohl im Front- als auch im Heckbereich reversible Crashabsorber (Pralldämpfer) zwischen dem Stahlquerträger und dem Längsträger. Die europäische Version besitzt demgegenüber einen Stahlquerträger mit integrierten Crashboxen. Bis auf die Querträger mit den dazugehörigen Absorptionselementen (Pralldämpfer und Crashbox) sind die Fahrzeuge für die unterschiedlichen Märkte identisch.

Bei dem Low-Speed-Crashtest des IIHS wird der US New Beetle mit Bestnoten bewertet und ist nach IIHS (2002b) [29] bis dahin eines der am besten getesteten Fahrzeuge. Bei zwei der vier vorgeschriebenen Tests innerhalb der Low-Speed-Crashtest-Prozedur (s. hierzu Abschnitt 3.2) wurde kein Schaden registriert.

In IIHS (2002b) [29] wird ein Vergleichstest zwischen dem US New Beetle und dem europäischen New Beetle beschrieben, bei dem die Fahrzeuge jeweils mit 20 Meilen pro Stunde im Front- und Heckbereich getestet wurden. Bei dem europäischen New Beetle wird ein Gesamtschaden von 7.157 US-Dollar festgestellt, bei dem US New Beetle betrug der Schaden unter gleichen Testbedingungen nur 5.122 US-Dollar. Sehr große Unterschiede ergeben sich insbesondere im Heckbereich, hier liegen die Summen bei 3.940 US-Dollar im Vergleich zu 2.733 US-Dollar.

Der Grund für die unterschiedlichen Schadenssummen bei dem Low-Speed-Crashtest und dem Test bei 20 mph liegen nach IIHS (2002b) [29] in den unterschiedlichen Crashabsorbern. Die hydraulischen Pralldämpfer sind bei einem Crash von 5 Meilen pro Stunde vollständig reversibel und verringern auch bei höheren Crashgeschwindigkeiten den Schaden. In Bild 4.29 ist der Unterschied zwischen europäischer Version und US-Version dargestellt. Nach IIHS (2002 b) [29] sind auf dem amerikanischen Markt nur sehr wenige Fahrzeuge mit hydraulischen Pralldämpfern ausgerüstet. Es werden die Fahrzeuge Audi A4, Audi A6, BMW 3er, BMW 5er, BMW X5 (nur im Heckbereich), Volkswagen Passat und Volkswagen Golf (nur Heck) genannt.



**Bild 4.29:** Vergleich des Frontquerträgersystems der europäischen und der US-Version des Volkswagen New Beetle, aus IIHS (2002b) [29]

Daneben ist der Cadillac CTS das einzige weitere Fahrzeug, das bisher auf dem amerikanischen Markt mit Pralldämpfern ausgestattet ist. Aufgrund der sehr guten Energieabsorption wird in IIHS (2002b) [29] der Einsatz von Pralldämpfern in Fahrzeugen empfohlen.

Da die Europa-Version und die US-Version des New Beetle bis auf die Querträgersysteme einen identischen Aufbau besitzen, resultieren die geringen Reparaturkosten im Front- und Heckbereich aus einer geringeren Deformationstiefe. Da die Fahrzeuge im Vergleichstest zudem die gleichen Massen besitzen, kann bei dem US-Modell von einer höheren mittleren Crashlast und damit einer höheren mittleren Verzögerung auf die Gesamtstruktur ausgegangen werden.

Nach KRÖNING (2005) [34] stellt der „alte“ IIHS-Test für die Stoßfängerentwicklung bereits höhere Anforderungen an das Stoßfängersystem als der RCAR/AZT-Test. Es kann davon ausgegangen werden, dass der „neue“ IIHS-Test diese Anforderungen noch übertreffen wird.

Ziel der Hersteller wird dennoch sein, ein Stoßfängersystem anzubieten, das den Anforderungen verschiedener Märkte (wie z. B. USA, Europa und Japan) genügt. Solange es jedoch einen gesamtwirtschaftlichen Vorteil für die Hersteller darstellt, unterschiedliche Querträgersysteme für diese Märkte bereitzuhalten, werden sich weiterhin Beispiele wie der Volkswagen New Beetle finden.

#### 4.4.5 Zukünftige Ansätze

Nach WELO & HOLTHE (2005) [65] werden in Zukunft zusätzliche Lastpfade zur Energieabsorption

in Frontstrukturen („Substructures“) eine Rolle spielen. Unter dem eigentlichen Hauptquerträger wird ein zweites Querträgersystem mit Energieabsorptionselementen angebracht. Bei einem Crash wird die Kraft in eine zusätzliche Längsträgerebene geleitet. Daraus resultiert eine höhere Steifigkeit und die Energie wird auf einem kürzeren Weg abgebaut. Dies ist laut WELO & HOLTHE (2005) [65] notwendig, da durch die Maßnahmen zur Erfüllung der Fußgängerschutzanforderungen in der Front Deformationsraum verloren geht. Die größere Kontaktfläche hat weiter eine Erhöhung der Kompatibilität zum Vorteil, da sich das Fahrzeug nicht so stark in einen Gegner hineinschneidet (die Aggressivität nimmt ab).

LANART et al. (2002) [36] zeigen die Möglichkeit auf, durch Crashboxen, gefüllt mit Aluminiumschaum, die Eigenschaften von Absorptionselementen signifikant zu verbessern. Ein experimenteller Vergleich solcher Crashboxen mit Standardcrashboxen zeigte, dass der Deformationsweg im 16-km/h-Bereich um 55 mm (von ca. 135 mm auf 80 mm) gesenkt werden konnte. Das mittlere Kraftniveau stieg dabei von 20 kN auf ca. 70 kN. Unter der Angabe der verwendeten Prüfmasse lassen sich die damit verbundenen mittleren Verzögerungen berechnen, die von 3,5 g auf 12 g ansteigen. Nach Angaben von LANART et al. (2002) [36] ließen sich mit solchen Crashboxen Reparaturtests sogar bis 20 km/h Aufprallgeschwindigkeit bestehen. Nach Angaben von KRÖNING (2005) [34] werden mit Aluminiumschaum verstärkte Querträgersysteme in Zukunft Anwendung finden. Im Rahmen dieser Studie konnten jedoch keine Fahrzeuge gefunden werden, die bereits mit solchen Crashboxen oder Querträgern ausgestattet sind.

Ein sehr gutes Energieabsorptionsvermögen (hohes, konstantes Kraftniveau und geringe Deformationswege) bei gleichzeitig geringem Gewicht im Vergleich zu Werkstoffen wie Stahl und Aluminium versprechen Energieabsorber aus Faserverbundwerkstoffen, wie z. B. Kohlefasermatten in einer Epoxidharzmatrix. In der Entwicklung befinden sich nach KRÖNING (2005) [34] ebenfalls hybride Strukturen, die eine Kombination aus Metall- und Kunststoffelementen bilden.

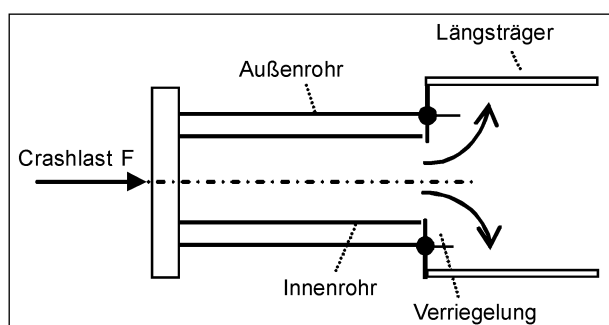
Denkbar ist nach NOHR (2005) [43] eine Vorrichtung, die bei einem drohenden Crash das Stoßfängersystem inklusive Außenhaut nach vorne schnellen lässt, um so zusätzlichen Deformationsweg zu schaffen. Die Steuerung des Systems soll über Precrash-Sensoren erfolgen.

Bisher werden die Crashboxen an die Längsträger angeflanscht. Nach KRÖNING (2005) [34] arbeiten die Hersteller von Querträgersystemen an flanschplattenlosen Systemen, was zusätzlichen Bauraum und eine einfachere Montage bieten soll.

Um dem Zielkonflikt zu begegnen, bei leichten Crashes (z. B. Unfälle mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern, Crashes unter 15 km/h gegen eine starre Barriere) eher „weiche“ Kraft-Weg-Kennlinien im Frontbereich zu haben und bei schweren Crashes eher „harte“ Kennlinien, müssen sich die Energieabsorptionselemente der Unfallschwere anpassen. Die Steuerung solcher adaptiven Absorptionselemente könnte mit Hilfe der Informationen der Precrash-Sensorik erfolgen. Precrash-Sensoren werden in Zukunft ohnehin im Bereich der aktiven und passiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen eine wesentliche Rolle spielen. Beispielsweise befinden sich Kontaktsensoren in der Untersuchung, die zwischen Stoßfängeraußenhaut und Schaumelementen platziert werden und zur Steuerung von aktiven Motorhauben dienen. Entwicklerfirmen solcher Kontaktsensoren sind z. B. Advanced Car Technology Systems (ACTS), Bosch, International Electronics & Engineering (IEE), Kinotex und Siemens Restraint Systems. Durch die genannte Maßnahme ist eine Möglichkeit gegeben, die zukünftigen Anforderungen der Richtlinie zum Fußgängerschutz (Kopfaufprall auf die Motorhaube) zu erfüllen.

Bei Crashes im unteren Geschwindigkeitsbereich (wie z. B. RCAR/AZT-Test) stellen sich durch die adaptiven Systeme „sanftere“ Verzögerungsverläufe ein. Dem Ziel geringer Reparaturkosten kann dann weiterhin damit begegnet werden, konsequent die bisherigen Detaillösungen fortzusetzen, wie z. B. lösbare Halterungen von Systemkomponenten, verschiebbar befestigte Außenhäute etc.

NOHR (2005) [43] schlägt bereits ein Prinzip einer schaltbaren Crashbox vor (vgl. Bild 4.30). Sie be-



**Bild 4.30:** Prinzip einer schaltbaren Crashbox im Längsschnitt nach NOHR (2005) [43]

steht aus zwei ineinandergesetzten Faltröhren. Je nach Crashfall sind entweder beide Rohre oder nur ein Rohr am Energieabbau beteiligt. Am Innenrohr ist hierzu eine Verriegelung angebracht. Bei einem schweren Aufprall im Frontbereich ist das Innenrohr zugeschaltet. Bei einem leichten Anprall, wie z. B. bei Kontakt mit einem ungeschützten Verkehrsteilnehmer, ist nur das Außenrohr an der Energieabsorption beteiligt.

## 4.5 Zusammenfassung

Insgesamt befindet sich die passive Sicherheit von Pkw auf einem sehr hohen Niveau. Ziel der Hersteller ist dennoch, dieses Niveau bei gleichzeitiger Reduzierung des Karosseriegewichts weiter zu erhöhen. Durch Leichtbaubemühungen im Karosseriebau konnte die Zunahme der Gesamtmasse der Fahrzeuge, bedingt durch wachsende Sicherheits- und Komfortausstattungen, zum Teil kompensiert werden.

Bei der Auslegung von Querträgersystemen ist der Wunsch der Fahrzeughersteller hoch, die Reparaturkosten so gering wie möglich zu halten, um Käuferanreize zu schaffen. Dazu trägt bei, dass in einigen Ländern, wie z. B. Australien und den USA, Ergebnisse aus Crashreparaturtests (RCAR/AZT-Testergebnisse in Australien, IIHS-Testergebnisse in USA) veröffentlicht und vergleichend gegenübergestellt werden. In Deutschland können Verbraucher bei vergleichender Betrachtung der Typklassen der Modelle im Typklassenverzeichnis Unterschiede feststellen, die die Höhe der Versicherungsprämie beeinflussen. In der Entwicklung wird sich bei der Auslegung maßgebend an Crashreparaturtests, wie dem RCAR/AZT-Test und dem Low-Speed-Crashtest des IIHS, orientiert. Durch konstruktive Maßnahmen, wie z. B. an die Längsträger angeschraubte Querträgersysteme mit Crashabsorptionselementen, konnten Fahrzeughersteller bei einem Generationswechsel eines Modells die durchschnittlichen Reparaturkosten deutlich senken.

Eine Anpassung der Stoßfängersysteme hin zu den unterschiedlichen Anforderungen des RCAR/AZT-Tests und des IIHS-Tests gestaltet sich zum Teil so verschieden, dass je nach Ländereinsatz (z. B. USA, Europa) unterschiedliche Systeme eingesetzt werden. In Fahrzeugen, die für den amerikanischen Markt bestimmt sind, werden teilweise andere Energieabsorptionselemente eingesetzt als für

Fahrzeuge des gleichen Modells, die auf dem europäischen Markt angeboten werden.

Versuche der Versicherungswirtschaft haben gezeigt, dass die Querträgersysteme zum Teil so weit optimiert wurden, dass bei leichter Abänderung der Testprozedur die Energieabsorptionselemente versagen können und so erheblich höhere Reparaturkosten entstehen. Dies wurde als Anlass genommen, den RCAR/AZT-Test verschärft abzuändern. Auch der IIHS-Test wird modifiziert.

Neben den Anforderungen bezüglich der Reparaturfreundlichkeit haben viele weitere Faktoren Einfluss auf die Konstruktion der Querträgersysteme. In Bezug auf die Erfüllung gesetzlich vorgeschriebener Sicherheitsstandards müssen Crashprüfungen im unteren Geschwindigkeitsbereich (ab 3 km/h) mit betrachtet werden, um die Fahrtüchtigkeit nachzuweisen. Weiterhin leisten die Querträgersysteme ihren Beitrag bei der Bewertung des Insassenschutzes bei Crashversuchen im Hochgeschwindigkeitsbereich (bis 64 km/h).

Durch die europäische Richtlinie zum Fußgängerschutz (2003/102/EG), die ab dem 01.10.2005 für alle neuen Modelle gilt, müssen unter der Stoßfänger- und vordere Stoßfängergeräußenhaut und vor dem massiven Querträger weiche, ausreichend dicke Energieabsorptionselemente untergebracht werden. Diese dienen zum Erfüllen der Typprüfung mit dem Beinimpaktor. Dadurch spricht die Struktur des Fahrzeugs bei einem harten Anprall (wie z. B. bei dem Crashreparaturtest nach RCAR/AZT) gegen ein Hindernis später an. Bei diesem verzögerten Ansprechen hat sich das Fahrzeug bereits deformiert, ohne dass nennenswert Crashenergie absorbiert wurde. Der wesentliche Energieabbau erfolgt durch das hinter dem weichen Absorptionselement liegende Querträgersystem. Dieses muss gegenüber vorangehenden Querträgersystemen auf kürzerem Weg diese Energie abbauen, da ansonsten die Gesamtdeformation zu groß wird und es zu kostenintensiven Beschädigungen an der Struktur kommen kann. Um den Deformationsweg der massiven Absorptionselemente zu senken, muss das Kraftniveau auf die am Energieabbau beteiligten Elemente steigen. Damit steigt auch die mittlere Verzögerung des Gesamtfahrzeugs.

Um die Energieabsorption von Querträgersystemen bei z. B. Crashreparaturtests noch effektiver zu gestalten, wird an verschiedenen Lösungsansätzen gearbeitet, wie z. B. Crashboxen gefüllt mit Alumin-

umschaum oder zusätzlichen Lastpfaden im Frontbereich.

Bei Berücksichtigung aller aufgezeigten Faktoren, die auf die Auslegung von Querträgersystemen wirken, kann erwartet werden, dass im Crashfall die mittleren Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsverläufe steigen bzw. bereits gestiegen sind.

Diese Hypothese soll anhand von empirisch bestimmten Daten bestätigt werden.

## 5 Charakterisierung von Deformationseigenschaften

Die folgende Darstellung soll dazu dienen, das Verhalten von Vorder- und Hinterwagenstrukturen bei Crashbelastungen im unteren Geschwindigkeitsbereich zu charakterisieren. Hierzu werden Kennwerte bestimmt, die bei der Auswertung Aufschluss darüber geben sollen, ob und wie sich die Fahrzeugstrukturen bezüglich der Deformationseigenschaften bei Crashes im unteren Geschwindigkeitsbereich (bei ca. 15 km/h) geändert haben.

Hierzu werden folgende Größen messtechnisch erfasst:

- Beschleunigung bzw. Verzögerung als Funktion der Zeit,
- Weg als Funktion der Zeit,
- Geschwindigkeit vor dem Aufprall,
- Testgewicht.

Die gewonnenen Messdaten werden mit der Datenauswertesoftware DIAdem der Firma National Instruments bearbeitet. Nach SAE J211 sind die Verzögerungsverläufe mit einer Kanal-Frequenzklasse (CFC – Channel Frequency Class) von 60 Hz zu filtern. Damit werden Schwingungsanteile (das Signal wird Fourier-transformiert) oberhalb 60 Hz aus dem Signal entfernt. Diese Filterung stellt einen Standard bei Crashuntersuchungen von Fahrzeugstrukturen dar.

Die Gesamtfahrzeugverzögerung wird über die Sitzgestelle und die weichen Sitzlehnen auf die Insassen und schließlich auf den Kopf übertragen.

Wird die Anregung des Körpers durch den Sitz mit weichem Sitzpolster zwischen Rücken und Rückenlehne betrachtet, so findet sich eine empirisch bestimmte Eigenkreisfrequenz von 5 Hz (WALLENTOWITZ, 1997 [63]).

Bei Betrachtung von Kurven gleicher Wahrnehmungsstärke für die Vertikalbeschleunigung des menschlichen Kopfes nach VDI-Richtlinie 2057 zeigt sich, dass der Mensch Frequenzen unter 10 Hz am intensivsten wahrnimmt. Die Wirbelsäule besitzt in horizontaler Richtung eine geringere Steifigkeit als in vertikaler Richtung. Damit liegen die Frequenzen für eine hohe Wahrnehmung bei horizontaler Anregung noch unter den Frequenzen für eine vertikale Anregung.

Durch die genannten Aspekte wird vorgeschlagen, empirisch bestimmte Verzögerungsverläufe nicht nur mit 60 Hz zu filtern (CFC 60), sondern zusätzlich mit 10 Hz (CFC 10). Beide Verläufe, die sich aus einem Verzögerungsverlauf ergeben, sind in Bild 5.1 dargestellt.

Der Kurvenverlauf bei einer Filterung mit 60 Hz weist viele Sprünge auf, sodass ein sinnvoller, optischer Vergleich – besonders bei den Gradienten – nur schwer gemacht werden kann. Die 10 Hz-Filterungen hingegen weisen einen deutlicheren Verlauf auf, sodass z. B. Steigungen durch Anlegen einer Tangente grafisch leicht bestimmt werden können.

Die aus den Bildern 5.1 bis 5.4 ermittelten Kennwerte, die schließlich bewertet werden sollen, lauten wie folgt:

1. Aus dem  $a(t)$  – Verlauf:

- Verzögerungserstanstieg ( $grad_{aA}$ ) [dg/dt] (aus dem CFC-10-Signal),
- Verzögerungsabfall ( $grad_{aE}$ ) [dg/dt] (aus dem CFC-10-Signal),
- maximal auftretende Verzögerung ( $a_{max}$ ) [g],
- Zeit bis  $a_{max}$  [s],
- mittleres Verzögerungsniveau ( $a_{mn}$ ) in der Niveauzeit  $t_N$  [g],
- mittlere Verzögerung ( $a_m$ ) in der Gesamtzeit  $t_M$  [g],
- dynamische Deformationstiefe [mm].

2. Aus dem  $F(s)$ -Verlauf:

- maximale Kraft  $F_{max}$  (entspricht der maximalen Kraft im Kraft-Weg-Verlauf) [kN].

3. Aus dem  $E(s)$ -Verlauf:

- maximale Energie  $E_{max}$  [J]

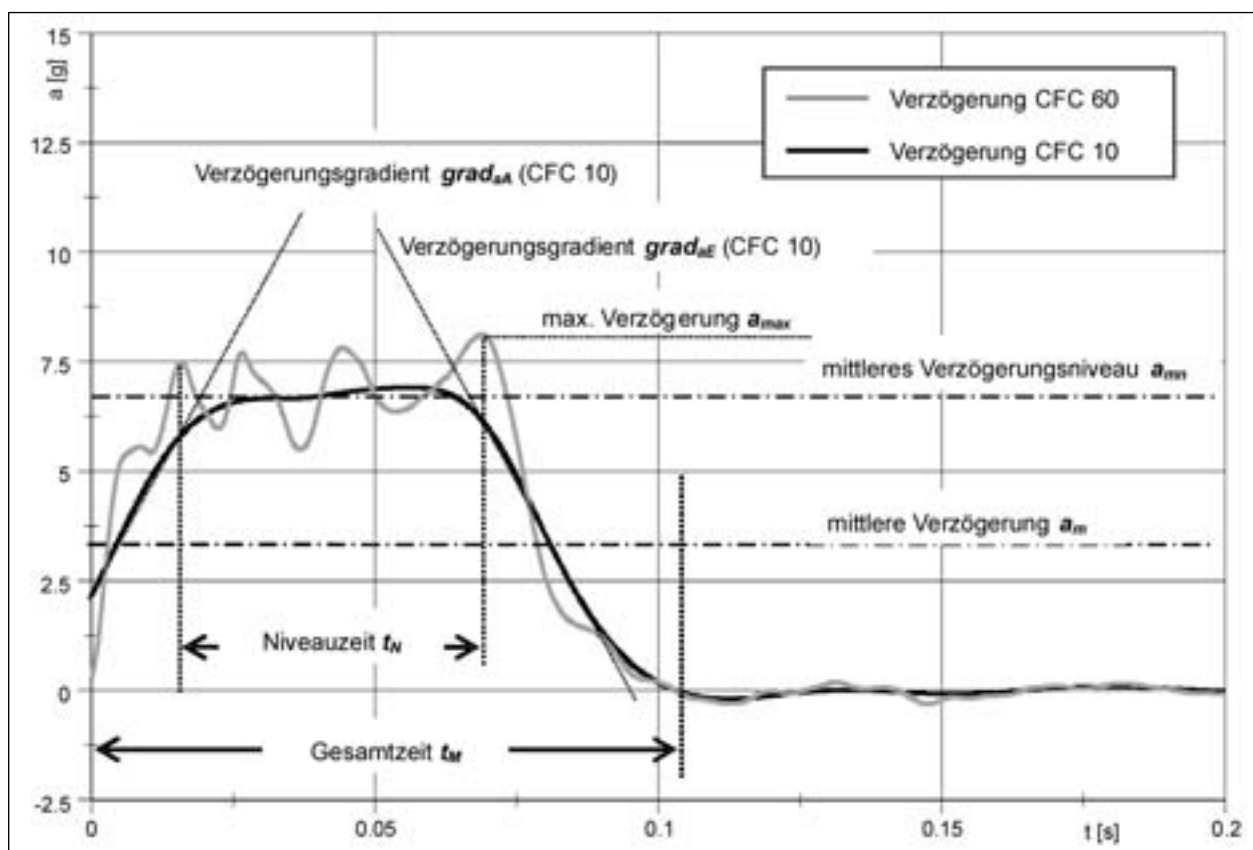
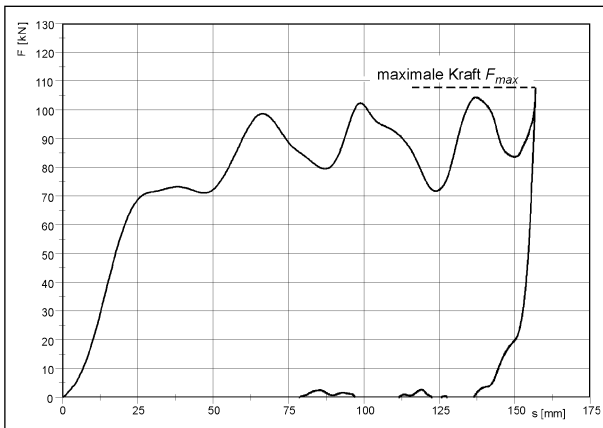
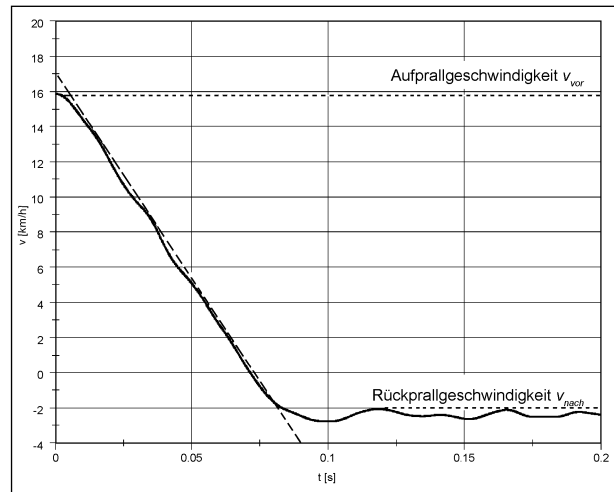


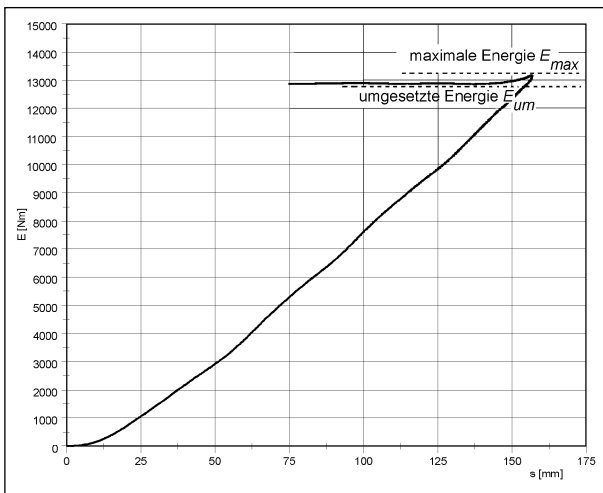
Bild 5.1: Exemplarischer Verzögerungsverlauf  $a(t)$  über der Zeit mit Kenndaten



**Bild 5.2:** Exemplarischer Kraftverlauf über dem Weg  $F(s)$  mit Kenndaten



**Bild 5.4:** Exemplarischer Geschwindigkeitsverlauf über der Zeit  $v(t)$  mit Kenndaten für einen Frontversuch



**Bild 5.3:** Exemplarischer Energieverlauf über dem Weg  $E(s)$  mit Kenndaten

- umgesetzte Energie  $E_{um}$  [J].
- 4. aus dem  $v(t)$ -Verlauf:
  - Rückprallgeschwindigkeit  $v_{nach}$  [km/h]
  - Geschwindigkeitsgradient  $grad_v$  [dv/dt].

Der Verzögerungsgradient  $grad_{aA}$  (Verzögerungserstanstieg) ist die Steigung der Verzögerung des Erstanstiegs direkt nach dem Erstkontakt des Prüfkörpers (Fahrzeug, nur Querträger) mit dem Hindernis. Der Verzögerungsabfall stellt die negative Steigung am Ende des Verzögerungsverlaufes dar. Der Abfall wird stets positiv angegeben. Beide Werte werden aus dem mit 10-Hz-gefilterten Signal (CFC-10-Signal) bestimmt. Die Einheit der Gradienten ist Erdbeschleunigung pro Zeit (g/s).

Die maximale Verzögerung  $a_{max}$  ist die maximale Verzögerung, die im  $a(t)$ -Verlauf auftritt. Bei den im Rahmen der Untersuchung durchgeführten Versuchen am Ersatzmodell, bei dem nur der Querträger

crashgetestet wird, hat sich gezeigt, dass das Maximum nicht zwangsläufig zu Beginn auftritt. Die vorgebaute weiche Struktur aus Stoßfängeraußenhaut und ggf. Schaumelementen verzögert zunächst schwach. Erst danach werden durch den viel steiferen Querträger und die Crashboxen höhere Verzögerungen erreicht. Deshalb wird zur weiteren Unterscheidung die Zeit ausgelesen, an der die Maximalverzögerung erreicht wird.

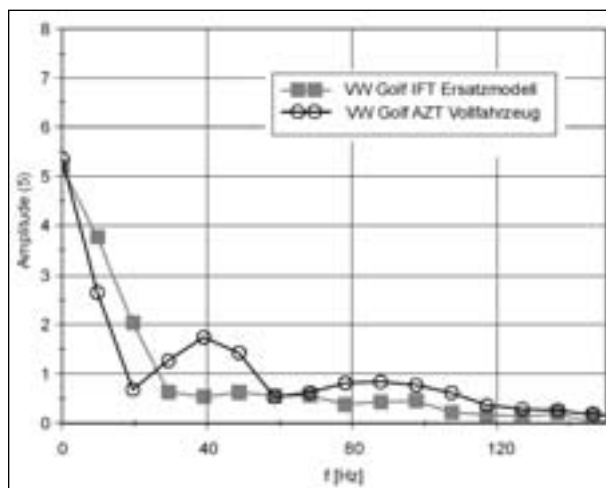
Das mittlere Verzögerungsniveau  $a_{mn}$  ist der arithmetische Mittelwert aus der Verzögerung, die in der Niveauezeit auftritt. Während des Versagens der Querträger- und Crashboxstruktur ist ein bestimmtes Niveau zu erwarten, um das der  $a(t)$ -Verlauf pendelt.

Die mittlere Verzögerung  $a_m$  ist der arithmetische Mittelwert aus der gesamten Verzögerung.

Die maximale Energie, die bei maximalem Weg  $s$  (Deformationstiefe) auftritt, ergibt sich aus dem Integral der Kraft  $F$  über dem Weg. Diese muss der kinetischen Energie des Fahrzeugs vor dem Erstkontakt entsprechen. Hierdurch wird eine Kontrollmöglichkeit über die Richtigkeit der Messergebnisse gegeben.

Wie bereits in der Einleitung dieser Studie dargestellt wird, konnte bisher nicht geklärt werden, welche Faktoren für die Entstehung von HWS-Distorsionen verantwortlich sind. Bei der Auswertung der Ergebnisse dieser Studie wird sich maßgeblich an dem Verzögerungsverlauf orientiert.

Die Versuchsdaten werden aus den im Rahmen des Projekts durchgeführten Versuchen an der FH Trier ermittelt (s. hierzu Kapitel 6). Bei diesen Ver-



**Bild 5.5:** Beispiel der Frequenzanalyse, Vergleich Golf-V-IFT-Versuch und Golf-V-AZT-Versuch

suchen werden alle Daten erfasst, die zur Erstellung der zuvor präsentierten Diagramme nötig sind ( $a(t)$ -,  $v(t)$ -,  $s(t)$ -Verläufe). Weiterhin werden die vom AZT/Eurotax veröffentlichten Daten ( $a(t)$ -Verläufe, Näheres hierzu in Abschnitt 6.2) herangezogen.

Eine weitere Möglichkeit zur Auswertung wurde darin gesehen, das Signalspektrum der Verzögerungsverläufe nach Auffälligkeiten zu untersuchen. Die Betrachtung der durchgeführten Versuche am IFT und der Versuche des AZT führt jedoch zu keinem nennenswerten Ergebnis.

## 6 Versuche

Zur Untersuchung des Crashverhaltens von Front- und Heckstrukturen an Pkw im niederen Geschwindigkeitsbereich werden im Rahmen dieser Untersuchung auf einem Schlittenprüfstand Versuche mit einem Ersatzmodell durchgeführt. Weiterhin werden Versuchsdaten der Versicherungswirtschaft herangezogen.

### 6.1 Institut für Fahrzeugtechnik Trier

#### 6.1.1 Grundlegende Überlegungen

Die Versicherungswirtschaft führt in Deutschland den Typschadentest oder Versicherungseinstufungstest durch, um aus dem entstandenen Reparaturaufwand die Typschadenberechnung für die Erststufung neuer Pkw-Modelle durchführen zu können. Die Testprozedur wird im Anhang beschrieben und verlangt die Prüfung von Vollfahrzeugen.

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche werden die Pkw-Modelle auf die Komponenten reduziert, die bei dem Crashverhalten in Bezug auf den Typschadentest die maßgebende Rolle spielen, nämlich Querträger und Crashbox bzw. Längsträgerabschnitt. Bei einigen Fahrzeugen, besonders bei älteren Modellen, die über keine Crashbox oder ähnliche Deformationselemente zwischen Querträger und Längsträger verfügen, wird der vordere Längsträgerabschnitt mit in die Betrachtung einbezogen. Die Stoßfängeraußenhaut besteht aus weichem, nachgiebigem Kunststoff und ist an vielen Stellen, z. B. an den Kotflügeln, an die Karosserie gesteckt. Bei dem Versicherungseinstufungstest wird die Außenhaut beschädigt, nimmt aber im Vergleich zu den Energieabsorptionselementen wenig Energie auf. Karosserieteile wie Motorhaube und Anbauteile (wie z. B. Stoßfängeraußenhaut mit Rammschutzleisten, Kühler und Kühlergrill) werden deshalb bewusst nicht mit berücksichtigt.

Dieser Ansatz wird gewählt, da in den Entwicklungsprozessen von Querträgerstrukturen ebenfalls Komponententests durchgeführt werden (z. B. nach KRÖNING (2005) [34], bereits in Abschnitt 4.2.1 erwähnt). Durch die Verwendung eines Ersatzmodells ist der Kosten- und Zeitaufwand im Vergleich zu Vollfahrzeugversuchen sehr viel kleiner. Pro Versuch mit einem Ersatzmodell entsteht ein Schaden von ca. 200 Euro, der sich lediglich aus den Kosten von Querträger und Crashboxen zusammensetzt. Der Frontschaden an einem Vollfahrzeug unter RCAR/AZT-Versuchsbedingungen beläuft sich mit Ersatzteilkosten, Karosserie- und Lackierarbeiten auf ca. 2.000 Euro und mehr (nach Beispielen aus BRÜCK (1999) [12]).

#### 6.1.2 Versuchsaufbau

Die Versuche werden auf dem Schlittenprüfstand der Fachhochschule Trier durchgeführt.

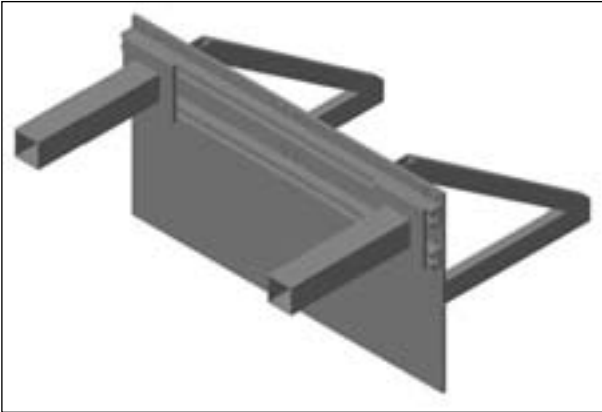
Als Aufnahme für die Querträger dient ein Prallbock aus Stahl (s. Bild 6.1), der auf den Schlitten der Craschanlage montiert wird. Die Querträgeraufnahme wurde so konstruiert, dass eine Verstellung der Querträgerposition in Querrichtung möglich ist.

Die starre Barriere (s. Bild 6.2) wird nach den Anforderungen der RCAR/AZT-Prüfvorschrift konstruiert und an einer 80 Tonnen schweren Bremse fixiert. Die Barriere lässt sich horizontal sowie vertikal beliebig positionieren. Die Anordnung ist in Bild 6.3 zu sehen.

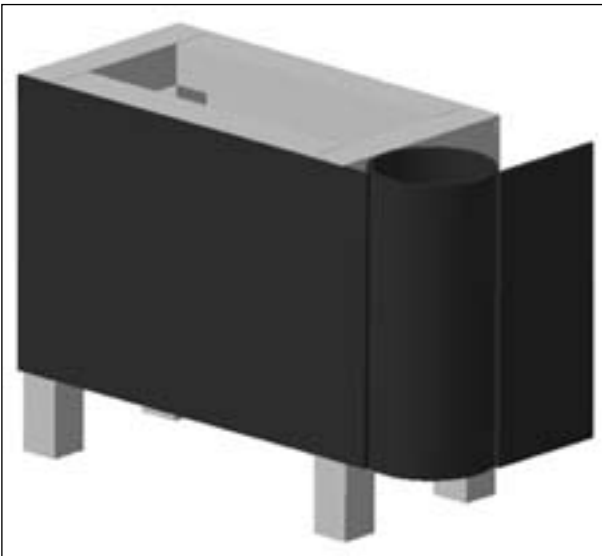


Der Prüfschlitten wird über ein Fallgewicht auf die erforderliche Geschwindigkeit beschleunigt.

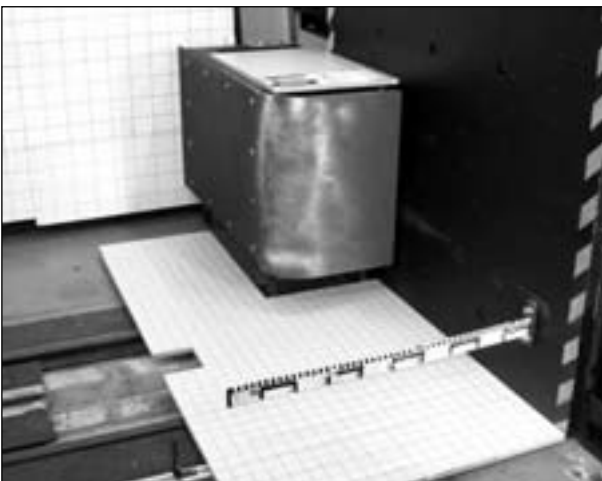
Der Schlitten wird mit Massen in Form von Stahlplatten bestückt, um die erforderliche Testmasse zu



**Bild 6.1:** Aufnahme der Querträger für die Montage auf den Prüfschlitten als CAD-Modell



**Bild 6.2:** Starre Barriere in CAD

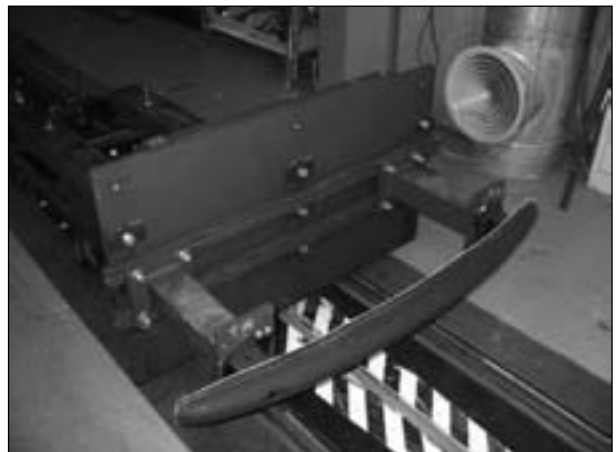


**Bild 6.3:** Versuchsaufbau mit Aufprallbarriere

erzielen. Eine Abhebesicherung verhindert vertikale Bewegungen des Schlittens und ein Herauspringen aus der Bahn. Beschleunigungen werden von insgesamt drei piezoresistiven Sensoren im Schwerpunkt des Prüfschlittens erfasst. Bei der späteren Auswertung wird jedoch stets auf den gleichen Sensor der Firma Endevco (Typ 2270, Seriennummer CC12) zurückgegriffen. Ein laseroptischer Wegsensor dient zur Messung der Weginformation des Schlittens über die Zeit. In Bild 6.4 ist der Schlitten mit Zusatzmassen zur Erzielung des Testgewichts zu erkennen.



**Bild 6.4:** Versuchsaufbau (Vordergrund: Prüfschlitten bestückt mit Zusatzgewichten, Prallbarriere, Datenerfassungstechnik; Hintergrund: Aufprallbarriere)



**Bild 6.5:** Heckquerträger VW Golf IV

Die Querträgersysteme werden über Schrauben an eine Adapterplatte angeflanscht, die die entsprechenden Lochbilder trägt.

### 6.1.3 Versuchsdurchführung

Vor und nach jedem Versuch werden Fotos zur Dokumentation erstellt. Für die Versuche selbst werden zwei Hochgeschwindigkeitskameras herangezogen, die den Crash aus der Seitenansicht und aus der Draufsicht wiedergeben. Weiterhin wird die Form der Querträger vor und nach dem Versuch vermessen. Dazu wird der Abstand von der Außenkante zur Anflanschfläche ermittelt, um so die Verformung qualitativ dokumentieren zu können.

Die Frontversuche werden in Bezug auf die RCAR/AZT-Testprozedur mit der starren Barriere in 0°-Stellung durchgeführt (s. hierzu RCAR, 1999 [45]). Dadurch lassen sich Versuchsergebnisse mit den Ergebnissen anderer Institute, z. B. AZT, vergleichen. Die geänderten Testbedingungen mit 10° Schrägungswinkel, die für die Versicherungseinstufung ab dem 01.01.2006 herangezogen werden, finden bei insgesamt 4 Versuchen Anwendung. Die Heckversuche wurden nicht mit der mobilen Barriere durchgeführt, sondern wie nach der Prüfvorschrift zulässig mit der starren Barriere.

Insgesamt wurden 53 Versuche durchgeführt, hierunter 28 Heck- und 25 Frontversuche. Die Fahrzeuge wurden so ausgewählt, dass sie zu den meistverkauften Fahrzeugen auf dem deutschen Markt gehören und auch entsprechende Vorgänger besitzen. Weiterhin wurde darauf geachtet, dass bei dem Modell im Vergleich zum Nachfolger eine Verbesserung in der Einstufung erzielt wurde (s. hierzu Tabelle 2.2 in Abschnitt 2.1.1). Daher fanden die meisten Versuche mit den folgenden Fahrzeugen statt: Audi A3, BMW 3er, Ford Focus, Opel Astra, Mercedes-Benz A-Klasse und VW Golf.

Mit in die Versuchsreihen aufgenommen wurden zwei Vollfahrzeugversuche (Versuch 36 und Versuch 39) sowie zwei Versuche mit einer Rohkarosserie (Versuche 6 und 7). Das verwendete Fahrzeug war ein Ford Focus Modell 2000 und die Rohkarosserie ein Citroën Xsara Picasso. Diese wurden von der Fachhochschule Trier, Institut für Fahrzeugtechnik, für dieses Projekt zur Verfügung gestellt. Im Projekt entstanden daher keine zusätzlichen Kosten.

Die Rohkarosserie wurde in der Mitte geteilt. Die beiden Hälften, d. h. Front- und Heckteile, wurden je-

lfd.Nr.	Fahrzeug	Art
1	VW Golf IV	Heck
2	VW Golf V	Heck
3	VW Golf V	Front
4	VW Golf IV	Front
5	VW Golf IV US Modell	Heck
6	Citroën Xsara Picasso, mit Karosserie	Front
7	Citroën Xsara Picasso, mit Karosserie	Heck
8	Citroën Xsara Picasso (ab 1999)	Heck
9	Audi A3 (8P ab 2002)	Heck
10	Audi A3 (8P ab 2002)	Front
11	Seat Altea (5P ab 2004)	Front
12	Citroën Xsara Picasso (ab 1999)	Front
13	VW Touran (1T ab 2002)	Front
14	Seat Leon (1M ab 1999)	Front
15	Seat Leon (1M ab 1999)	Heck
16	VW Golf IV	Heck
17	VW Golf IV	Heck
18	VW Golf IV US Modell V2	Heck
19	Seat Altea (5P ab 2004)	Heck
20	VW Touran (1T ab 2002)	Heck
21	VW New Beetle (9C ab 1998)	Front
22	VW New Beetle (9C ab 1998)	Heck
23	Audi A3 (8L 1996-2002)	Front
24	Audi A3 (8L 1996-2002)	Heck
25	Ford Focus (DBW 1998-2003)	Front 10°
26	Ford Focus (DBW 1998-2003)	Heck 10°
27	Ford Focus (DB3 ab 2004)	Front 10°
28	Ford Focus (DB3 ab 2004)	Heck 10°
29	Ford Focus (DB3 ab 2004)	Heck
30	Ford Focus (DB3 ab 2004)	Front
31	Ford Focus (DBW 1998-2004)	Front
32	Ford Focus (DBW 1998-2004)	Heck
33	Peugeot 307 (3RHY ab 2001)	Front
34	Peugeot 307 (3RHY ab 2001)	Heck
35	Peugeot 306 (7RHY 1993-2001)	Front
36	Ford Focus alt (DFW) - Ganzfahrzeug	Front
37	A-Klasse (W169 ab 2004)	Front
38	A-Klasse (W168 1997-2004)	Front
39	Ford Focus alt (DFW) - Ganzfahrzeug	Heck
40	A-Klasse (W168 1997-2004)	Heck
41	Ford Focus (DBW 1998-2004)	Heck
42	BMW 3er (E46 1998-2004)	Heck
43	Opel Astra (G 1998-2004)	Heck
44	VW Golf III	Heck
45	BMW 3er (E46 1998-2004)	Front
46	BMW 3er (E90 ab 2004)	Front
47	BMW 3er (E90 ab 2004)	Heck
48	A-Klasse (W169 ab 2004)	Heck
49	Opel Astra (H ab 2004)	Heck
50	Opel Astra (H ab 2004)	Front
51	Opel Astra (G 1998-2004)	Front
52	Ford Focus (DBW 1998-2004)	Front
53	VW Golf III	Front

Tab. 6.1: Übersicht der durchgeführten Versuche der Querträgersysteme Front/Heck

weils auf einem Gestell befestigt, das schließlich auf den Prüfschlitten montiert wurde. Das Beschleunigungssignal wurde von dem Sensor des Prüfschlittens erfasst.

Die Vorbereitung und Durchführung der Ganzfahrzeugversuche (Versuch 36 und 39) richteten sich nach den Bestimmungen der RCAR-Testprozedur (s. Bild 6.7). Im Heckbereich wurde das Fahrzeug nicht von der mobilen Barriere getroffen, sondern rückwärts gegen die starre Barriere gefahren.

Aufgrund der Konfiguration der Crashbahn musste bei den Versuchen der Ford Focus durch Zapfen entlang einer Schiene geführt werden, d. h., in der Crashphase wurde kein Gieren des Fahrzeugs zugelassen. Dies stellt einen Unterschied zu den RCAR/AZT-Bestimmungen und damit zu den Versuchen der Versicherungswirtschaft dar. Auf Bildern der AZT-Versuche (s. hierzu Bild 6.8 in Abschnitt 6.2) ist zu erkennen, dass die Fahrzeuglängsachse



**Bild 6.6:** Frontteil der Rohkarosserie Citroën Xsara Picasso mit einem Querträger aus Kunststoff



**Bild 6.7:** Vollfahrzeug Ford-Focus-Front (Versuchsnummer 36) nach Versuch mit Beschädigungen

nach den Versuchen um ca. 5° von der ursprünglichen Orientierung in Fahrtrichtung abweicht.

Zwei Beschleunigungsaufnehmer wurden jeweils an den beiden Gurtbefestigungspunkten der Schweller (Fahrer- und Beifahrerseite) appliziert.

Der Fehler der Beschleunigungsmessung setzt sich zusammen aus dem Fehler des Beschleunigungssensors und des Messsystems. Der Fehler des Beschleunigungssensors der Firma Endevco wird mit 1,53 % vom Messwert angenommen (wurde bei der Kalibrierung ermittelt). Der Fehler des Messsystems Kayser-Threde MINIDAU® für den vorliegenden Messbereich wird mit maximal 0,4 % angenommen (errechnet sich aus mehreren Fehlern, wie z. B. Gain-, Brückenversorgungs-, Quantisierungs- und Linearitätsfehler). Als Gesamtfehler wird daher ein Wert von 1,75 % vom Messwert angenommen.

## 6.2 Allianz-Zentrum für Technik

Das Allianz-Zentrum für Technik, kurz AZT, ist ein Forschungsinstitut der Allianz Versicherungs-AG. Es verfolgt das primäre Ziel, Schadensfälle im Industrie- und Kfz-Bereich zu analysieren. Gewonnene Erkenntnisse werden den Unternehmen zur Verfügung gestellt, die diese dann in ihren Produkten umsetzen. Damit sollen die Zahl der Schadenfälle und die Schadenhöhe reduziert werden.

Im Kfz-Bereich führt das AZT Crashreparaturtests nach der RCAR/AZT-Testprozedur durch, um den entstandenen Schaden zu ermitteln und daraus neue Reparaturmethoden zu entwickeln.

Neben der AZT-eigenen Schadenanalyse werden Testberichte der einzelnen Versuche in der Reihe „Crashtest“ in Form von jährlichen Ergänzungslieferungen veröffentlicht, die von der Eurotax Schwacke GmbH, Maintal, bezogen werden können. Diese Reihe soll Schadensgutachter bei der Unfallrekonstruktion unterstützen. Mit den Schäden an einem Fahrzeug lässt sich z. B. über das EES (Energy-Equivalent-Speed)-Verfahren die Kollisionsgeschwindigkeit (z. B. bei Pkw gegen Pkw) abschätzen. Ein Testbericht eines Versuchs beinhaltet in der Regel zwei Schadensbilder und zwei Beschleunigungsverläufe der Fahrzeugstruktur. Weiterhin werden die Masse des Fahrzeugs, die Ist-Prüfgeschwindigkeit und die dynamische Gesamtdelamination angegeben. Die Daten werden nur in Papierform veröffentlicht, eine digitale Version ist nicht verfügbar.

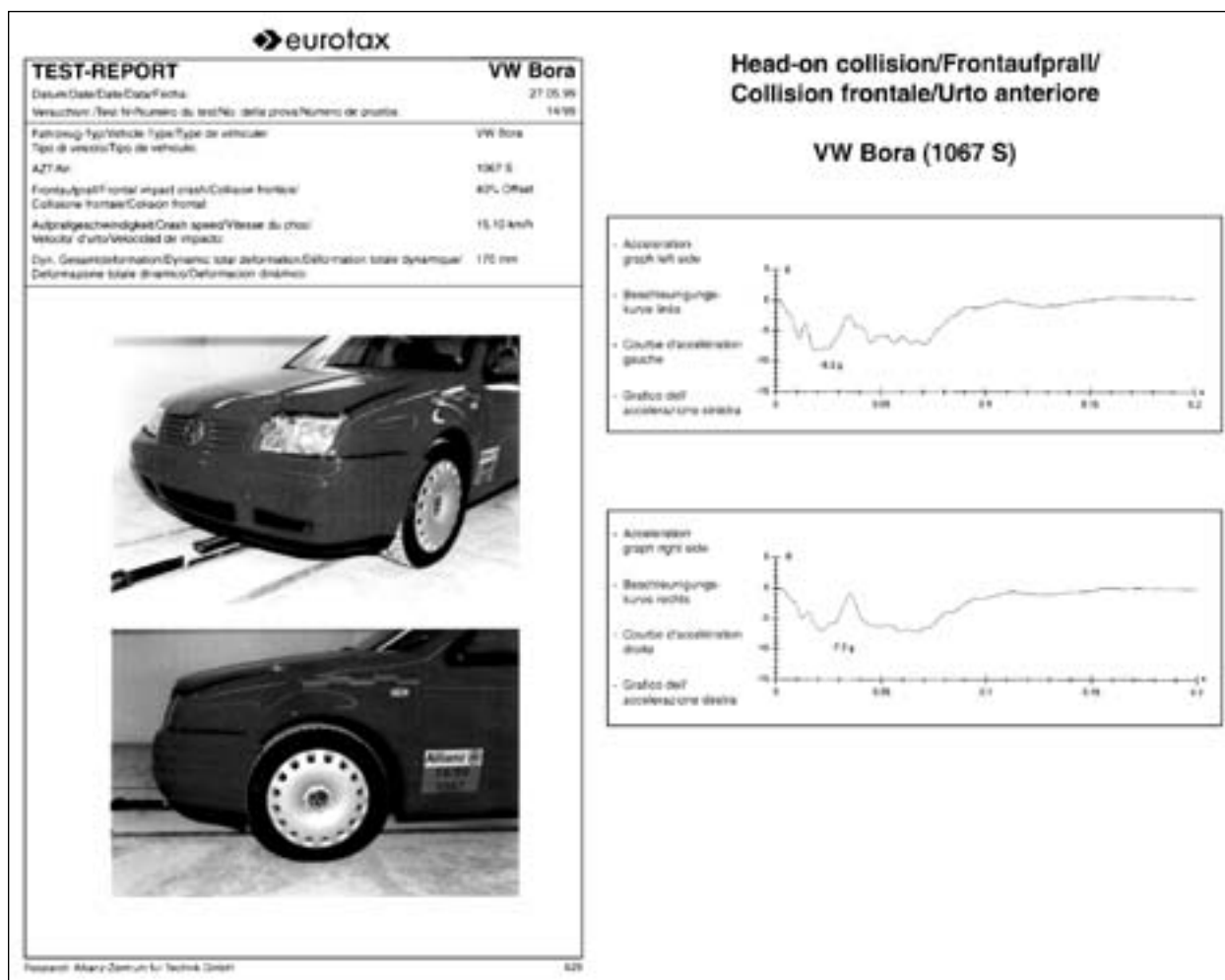
Die beiden Graphen zu jedem Testbericht stammen von Beschleunigungssensoren, die an den unteren Gurtbefestigungspunkten der Fahrer- und Beifahrerseite angebracht wurden. Die Gurtbefestigungspunkte liegen in der Regel am Seitenschweller, der ein tragendes Teil der Karosserie bildet und eine hohe Steifigkeit besitzt. In den Graphen wird die Beschleunigung in Vielfachen der Erdbeschleunigung mit der Einheit g über der Zeit t dargestellt. Die Verläufe stellen die mit CFC 60 gefilterten Signale der Rohmessdaten dar.

Die getesteten Fahrzeuge werden nach Angabe des AZT willkürlich vom Markt aufgekauft und so gewählt, dass sie in etwa durchschnittlich ausgestattet sind. In einigen Fällen wurden jedoch sehr hoch ausgestattete Modelle gewählt, was zum einen die Heckschriften der Fahrzeuge auf den Bildern der Testberichte verraten und zum anderen anhand der Fahrzeugmasse zu erkennen ist. Beispielsweise wurde 1998 ein Golf IV TDI getestet,

dessen Masse nach Angaben des Testberichts 1.400 kg betragen hat. Das Basismodell mit 1,4-Liter-Benzinmotor hätte unter RCAR-Testbedingungen nur eine Masse von 1.170 kg.

Insgesamt stehen für die vorliegende Untersuchung 172 Testberichte des AZT aus den Veröffentlichungen von EurotaxSchwacke zur Verfügung, die aus den Jahren 1992 bis 2003 stammen und in der Reihe „Crashtest“ von Eurotax Schwacke veröffentlicht wurden. Von den 172 beschriebenen Versuchen sind 100 Frontversuche und 72 Heckversuche. Die Testresultate eines jeden Jahres werden erst gegen Ende des darauffolgenden Jahres veröffentlicht. Zum Zeitpunkt der Beendigung dieser Arbeit standen die Ergebnisse aus dem Jahr 2004 noch nicht zur Verfügung und konnten somit nicht berücksichtigt werden.

Ein Beispiel für einen Testbericht befindet sich in Bild 6.8. Die Testgewichte der Fahrzeuge werden auf separaten Blättern mitgeliefert.



**Bild 6.8:** Beispiel AZT-Daten (VW Bora, Prüfwahr 1999), links: Kurzbeschreibung mit Versuchsdaten, Bilder des Fahrzeugs nach der Versuchsdurchführung, rechts: zwei Beschleunigungskurven für linke und rechte Fahrzeugseite nach Eurotax [17]

Der Anprall mit Teilüberdeckung des Fahrzeugs gegen die starre Barriere beim Frontversuch und der Anprall mit Teilüberdeckung der mobilen Barriere gegen das Fahrzeugheck erfolgen jeweils fahrerseitig. Beim Anprall dreht sich das Fahrzeug jeweils um seine Hochachse. Die Beschleunigungsverläufe der Fahrer- und Beifahrerseite sind durch diesen Umstand verschieden, d. h., die Verläufe der linken Seite sind etwas größer als die der rechten Seite. Für die vorliegende Arbeit werden konsistent nur die Beschleunigungsverläufe der linken Seite (Fahrerseite) aus den einzelnen Testberichten herangezogen.

### 6.3 Digitalisierung von Beschleunigungsverläufen

Die Beschleunigungsverläufe der Versuche des AZT werden nur in Papierform veröffentlicht. Für eine Weiterverarbeitung in EDV-Programmen werden sie daher im Rahmen dieser Arbeit digitalisiert und als  $x,y$ -Wertepaar abgespeichert. Eine genaue Erklärung der „Digitalisierung“ der Verläufe wird von SCHNEIDER (2004) [50] beschrieben.

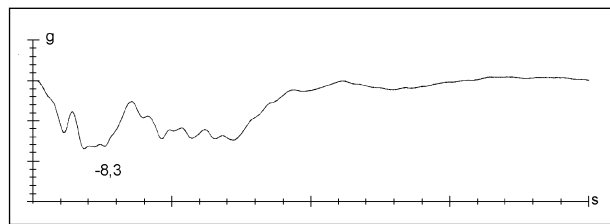
Zum Einsatz kommt das Computerprogramm IDL (Interactive Data Language), das für visuelle Datenanalysen und die damit verbundene Datenverarbeitung verwendet wird. In IDL wurde zunächst eine Routine entwickelt, die Kurvenverläufe aus Graphen einliest und als  $x,y$ -Werte ausgibt.

Hierzu werden die Blätter der Beschleunigungsverläufe als Bilddateien in den Rechner eingelesen und dort abgespeichert. Die Graphen der Beschleunigung Fahrerseite werden dann entlang der Achsen (Zeit als Abszisse, Beschleunigung als Ordinate) zugeschnitten (vgl. Bild 6.9).

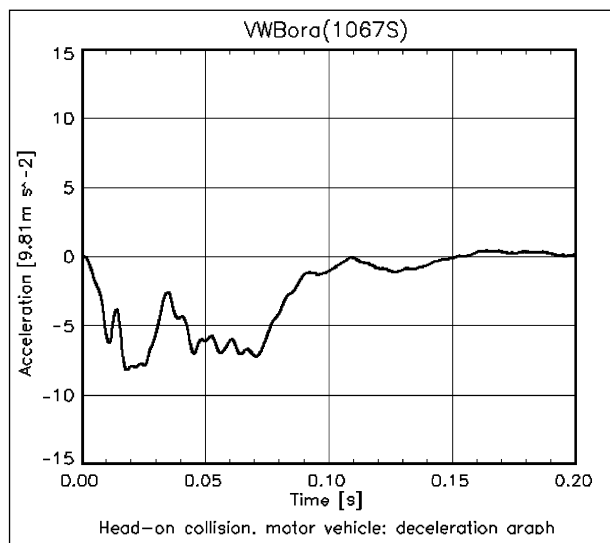
Bei Aufruf der Routine unter IDL werden die Namen der Bilddateien der zu verarbeitenden Verläufe angegeben. Weiterhin wird der Definitions- und Wertebereich des Graphen vorgegeben, die in der Regel [0 s; 0,2 s] bzw. [-5 g; 15 g] betragen.

Das Programm diskretisiert daraufhin den Verlauf und gibt als Ergebnis ein  $x,y$ -Wertepaar mit den Beträgen der Zeit (in s) und der Beschleunigung (in g) als ASCII-Code aus. Die Zeitachse, die stets von 0 bis 0,2 s reicht, wurde in 2.000 Abschnitte diskretisiert, was einer Abtastrate von 10 kHz entspricht.

Zu den Daten im ASCII-Format gibt das Programm ein Kontrollbild aus (vgl. Bild 6.10). Auf diesem Bild, welches bereits mit den Größen der Achsen verse-



**Bild 6.9:** Zugeschnittener Beschleunigungsverlauf der Fahrerseite des AZT-Testberichts VW Bora, 1999, nach Eurotax [17]



**Bild 6.10:** Graphische Ausgabe des IDL-Programms zur Kontrolle des bestimmten Beschleunigungsverlaufs

hen ist, kann die Übereinstimmung der generierten Kurve mit der Originalkurve zunächst visuell überprüft werden. Weiterhin ist durch den errechneten Fehler bei der Bearbeitung jeder Kurve deren Genauigkeit gegeben. Die absoluten Fehler befinden sich in der Größenordnung der Strichstärke und betragen maximal 0,2 g.

Bei allen 172 herangezogenen Verläufen sind die  $x$ -Werte gleich. Daten werden als Textdatei (mit der Dateierweiterung .txt) auf dem Rechner abgespeichert. Anschließend werden sie in das Messdatenanalyseprogramm DIADEM zur Weiterbearbeitung übertragen, da hier auch die Daten aus den eigenen Versuchen weiterverarbeitet werden.

## 7 Auswertung

### 7.1 IFT-Versuche

Im Folgenden werden die Ergebnisse der am Institut für Fahrzeugtechnik der Fachhochschule Trier durchgeführten Versuche aufgeführt.

### 7.1.1 Reproduzierbarkeit der Versuche mit dem Ersatzmodell

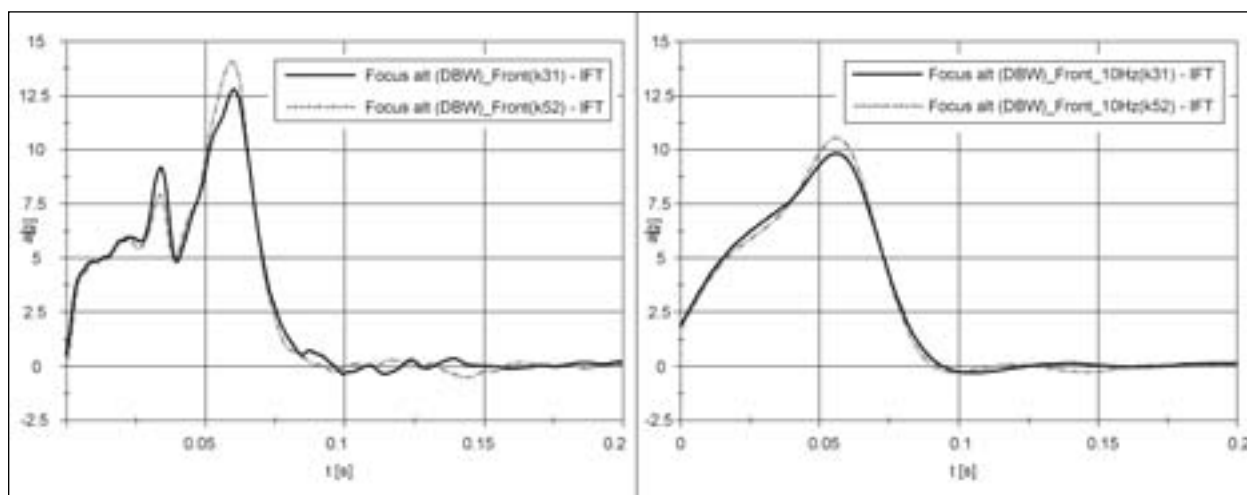
Um die Reproduzierbarkeit der Versuche aufzuzeigen, werden zwei Versuche, ein Fronträger eines Ford Focus (Modell DBW, Baujahr 1998-2004) und ein Heckträger eines Volkswagen Golf IV, unter den gleichen Versuchsbedingungen wiederholt.

Zwischen den Versuchen der beiden Ford-Focus-Träger liegt ein zeitlicher Abstand von mehreren Monaten, bei dem die Prüfvorrichtung auf- und abgebaut wurde. In Bild 7.2 sind die Verzögerungsverläufe der beiden Frontversuche mit dem Ford Focus (Versuch 31 und 52) in einem Diagramm dargestellt. In Bild 7.3 befinden sich die Verläufe der Heckversuche mit dem Querträger des Golf IV. Die Geschwindigkeiten, die bei dem Front- und Heckversuch realisiert wurden, lagen stets innerhalb der

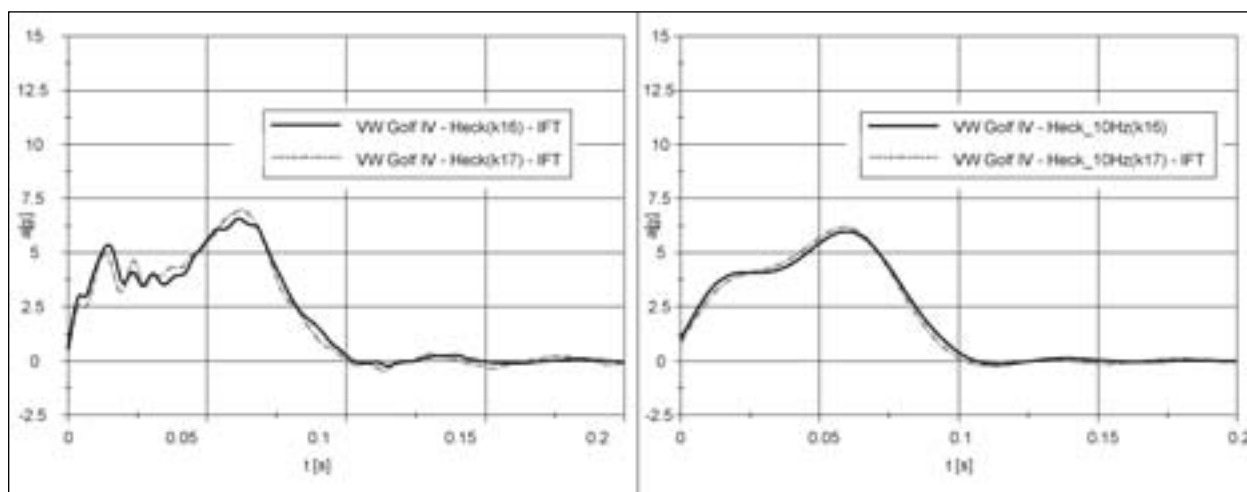
geforderten Toleranz (15 + 1 km/h für Frontversuche, Vergleichsgeschwindigkeit + 1 km/h für Heck-



**Bild 7.1:** Querträger Ford Focus nach Versuchen, oben: Versuch 52, unten: Versuch 31



**Bild 7.2:** Verzögerungsverläufe zur Darstellung der Reproduzierbarkeit (Versuch 31 und Versuch 52) – Frontversuche Ford Focus Modell 1998-2004, links mit 60-Hz-Filterung und rechts mit 10-Hz-Filterung



**Bild 7.3:** Verzögerungsverläufe zur Darstellung der Reproduzierbarkeit (Versuch 16 und Versuch 17) – Heckversuche Golf IV, links mit 60-Hz-Filterung, rechts mit 10-Hz-Filterung

versuche, die Vergleichsgeschwindigkeit wird mittels Formel bestimmt, s. hierzu Kapitel 3). Die Geschwindigkeiten für die Focus-Frontversuche lagen bei 15,45 und 15,70 km/h. Ein qualitativer Vergleich der Verläufe beider Reproduzierversuche lässt auf eine gute Übereinstimmung schließen. Ein optischer Vergleich der Beschädigungen an den Trägern führt zu dem gleichen Ergebnis. In Bild 7.1 sind diesbezüglich die Querträger des Fahrzeugs Ford Focus abgebildet.

Die größten Abweichungen, die sich aus dem mit 60 Hz gefilterten Signal (CFC-60-Signal) ergeben, liegen bei ca. 1,3 g. Bei dem mit 10 Hz gefilterten Signal ergeben sich maximale Abweichungen von ca. 0,6 g. Unter Berücksichtigung der Fehlertoleranzen des Beschleunigungssensors und möglichen Montagetoleranzen kann demnach von der Reproduzierbarkeit der Versuche ausgegangen werden.

### 7.1.2 Vergleich IFT-Vollfahrzeug mit AZT-Vollfahrzeugversuchen

In den Versuchsdaten des AZT finden sich zwei Frontversuche mit dem Modell Ford Focus. Der erste Versuch datiert vom 08.10.1999, AZT-Nummer 1070, und der zweite Versuch vom 05.09.2001, AZT-Nummer 1103. Werden die Verzögerungsverläufe des Beschleunigungssensors der Fahrerseite dem entsprechenden Verlauf des IFT-Versuchs 36 mit dem Vollfahrzeug gegenübergestellt, so zeigen sich zwischen allen drei Versuchen sehr große Ähnlichkeiten (s. Bild 7.4). Die Anfangssteigungen korrelieren bei allen Versuchen sehr gut, was die mit 60 Hz und 10 Hz gefilterten Signale zeigen (s. Bild 7.4). Die größte Abweichung bei einer 10-Hz-

Filterung liegt bei 1,5 g (AZT Nr. 1070 zu IFT Nr. 36). Die Versuche IFT Nr. 36 (Versuch BAST\_k36) und AZT Nr. 1103 weisen untereinander die geringsten Abweichungen auf. Die Prüfmassen sind hierbei nahezu identisch, d. h. 1.310 kg und 1.311 kg, wie in Tabelle 7.1 ersichtlich ist.

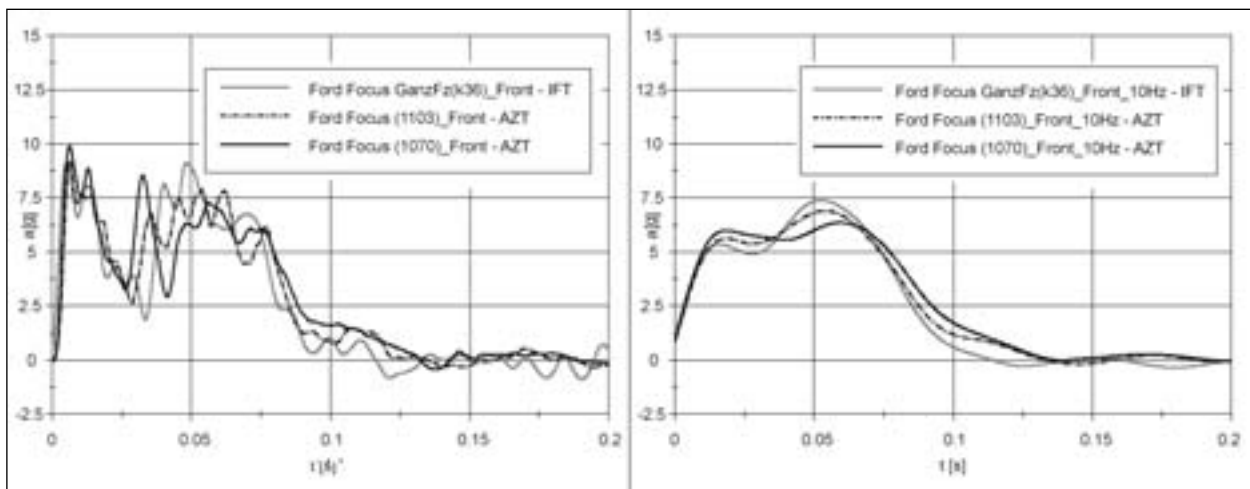
In Bild 7.5 ist die Frontalansicht der Versuche, einmal der Versuch am IFT und einmal der Versuch im AZT (Fahrzeug Nr. 1070), aufgeführt. In Bild 7.6 sind die jeweiligen Draufsichten beider Versuche aufgeführt. Es kann damit gezeigt werden, dass sich die äußerlich sichtbaren Beschädigungen sehr ähnlich sind.

An dieser Stelle wird, wie bereits in Abschnitt 6.1.3, darauf hingewiesen, dass ein Unterschied in der Versuchsdurchführung zwischen dem Vollfahrzeugversuch am IFT und dem des AZT besteht. Das Fahrzeug am IFT wird aus Sicherheitsgründen entlang einer Schiene geführt, sodass Querbewegungen nicht zugelassen werden. Bei allen AZT-Versuchen ist das Fahrzeug ungeführt und ein Gieren wird zugelassen.

Versuch	Testmasse [kg]	Prüfgeschwindigkeit [km/h]
AZT Ford Focus Nr. 1070, Front	1.237*	15,5*
AZT Ford Focus Nr. 1103, Front	1.311*	15,2*
IFT Ford Focus Front, Versuch BAST_k36, Vollfahrzeug	1.310	15,9

\* nach Angaben von Eurotax [17]

**Tab. 7.1:** Versuchskonfigurationen zweier AZT-Versuche und des Ganzfahrzeugversuchs IFT, Modell Ford Focus, Baujahr 1998-2004



**Bild 7.4:** Vergleich der Verzögerungsverläufe eines am IFT getesteten Ganzfahrzeuges (Ford Focus DBW – Versuch 36) mit denen zweier vom AZT getesteten Ganzfahrzeuge (Frontversuche – links mit 60-Hz-Filterung, rechts mit 10-Hz-Filterung)

Trotz der leicht abweichenden Versuchsdurchführungen decken sich die Ergebnisse bezüglich des Verzögerungsverlaufs und der nach außen hin sichtbaren Beschädigungen. Die vom AZT durchgeführten Tests im Frontbereich können versuchs-technisch nachvollzogen werden.

Das Vollfahrzeug Ford Focus wurde im Heckbereich getestet. Werden die Verzögerungsverläufe des IFT (Versuch BAST\_k39) mit denen des AZT (Fahrzeug 1103) verglichen, so zeigen sich größere Unterschiede als bei den Frontversuchen. Die Verläufe beider Versuche sind in Bild 7.7 dargestellt. Bei Betrachtung der mit 60 Hz gefilterten Verläufe zeigt sich, dass das Maximum der Verzögerung bei dem IFT-Versuch zeitlich später auftritt. Zudem sind zwei ausgeprägte Spitzen zu erkennen. Bei Betrachtung der mit 10 Hz gefilterten Signale wird deutlich, dass das IFT-Signal flacher ist und sich über einen größeren Zeitraum erstreckt.

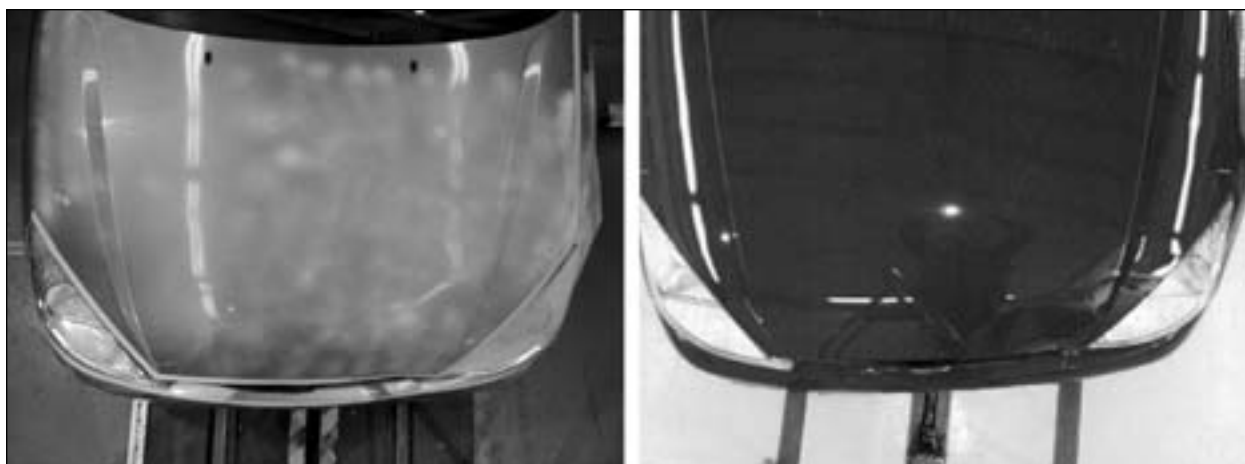
Die Massen der Fahrzeuge sind gleich, jedoch liegen unterschiedliche Prüfbedingungen vor. Das AZT prüft die Fahrzeuge im Heck mit dem Stoßwagen, am IFT wurde das Fahrzeug mit dem Heck voran gegen die Barriere gefahren, was nach der Prüfvorschrift RCAR (1999) [45] zulässig ist. Die Geschwindigkeit für diesen Heckversuch errechnet sich nach der in Abschnitt 3.1 aufgeführten Berechnungsgleichung

$$v = 15 \text{ km/h} \cdot \sqrt{\frac{1.000 \text{ kg}}{1.000 \text{ kg} + m_1}}$$

mit  $m = 1.311 \text{ kg}$  zu  $9,87 \text{ km/h}$ . Als Toleranzbereich wird eine Geschwindigkeit von bis zu  $+ 1 \text{ km/h}$  angegeben. Die Versuchsgeschwindigkeit betrug letztlich  $10,18 \text{ km/h}$ . Das Fahrzeug des AZT wurde im Heck von der  $1.000 \text{ kg}$  schweren Barriere mit einer Geschwindigkeit von  $15,3 \text{ km/h}$  getroffen.



**Bild 7.5:** Fahrzeuge nach durchgeführtem Frontcrash (links IFT-, rechts AZT-Versuch, Nr. 1070 aus Eurotax [17]), Ansicht frontal

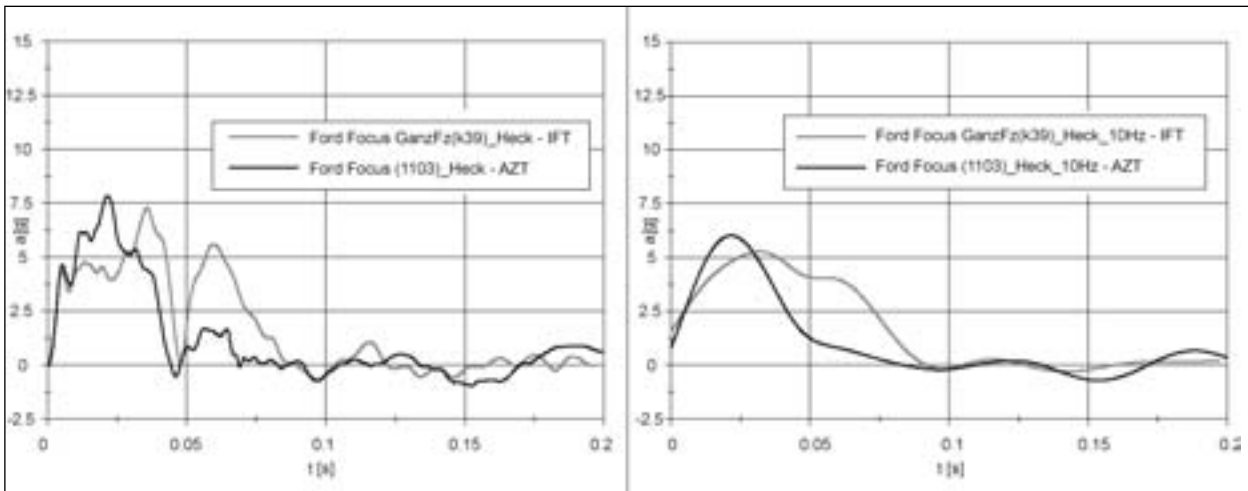


**Bild 7.6:** Fahrzeuge nach durchgeführtem Frontcrash (links IFT-, rechts AZT-Versuch, Nr. 1070 aus Eurotax [17]), Ansicht von oben

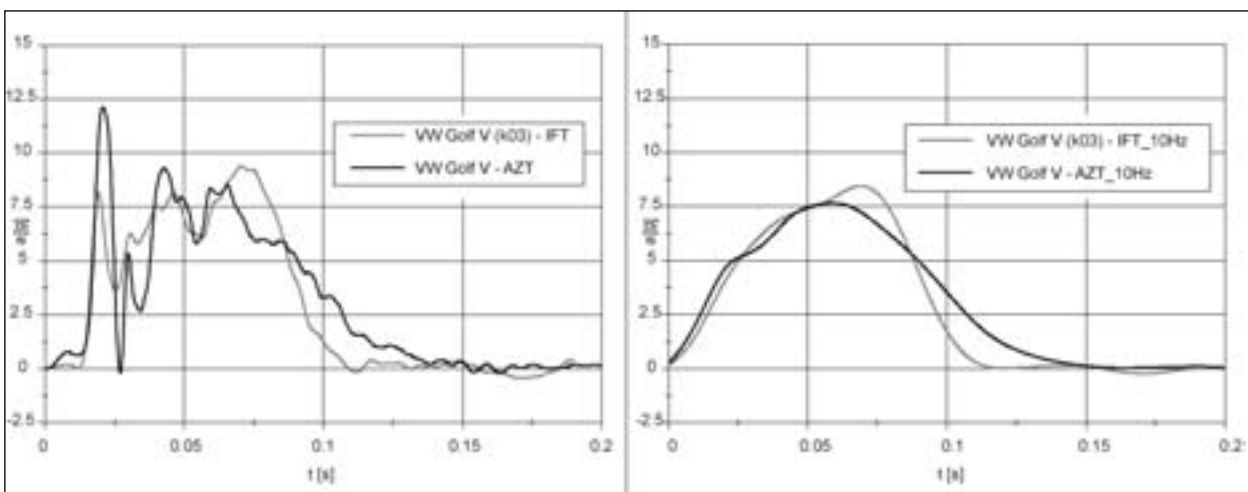


Die Abweichungen im Verzögerungsverlauf der beiden Fahrzeuge werden hauptsächlich auf die un-

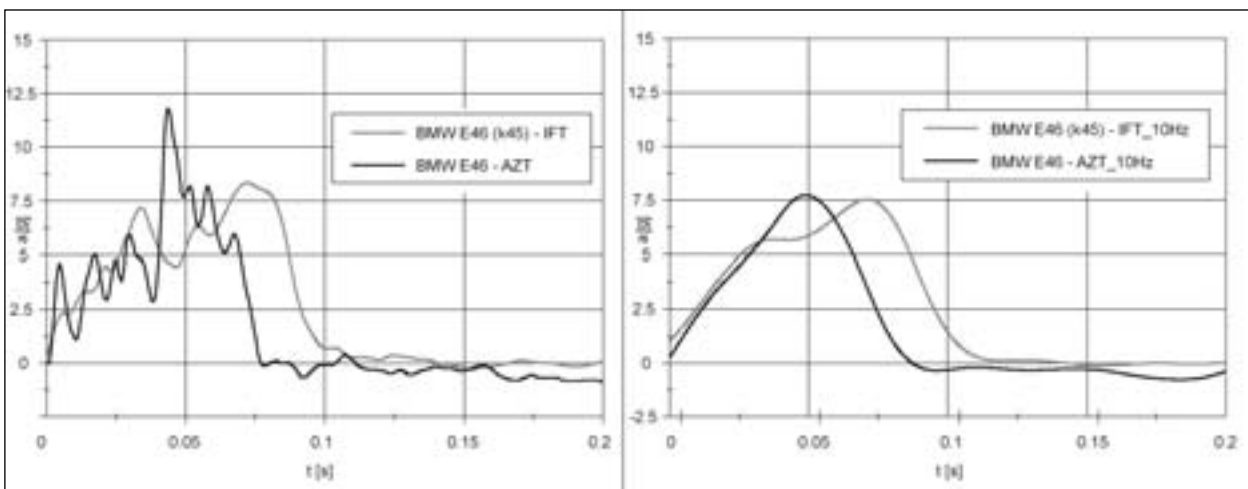
terschiedlichen Versuchsbedingungen zurückgeführt.



**Bild 7.7:** Verzögerungsverläufe eines am IFT getesteten Ganzfahrzeuges (Ford-Focus-Versuch BAST\_k39) und eines vom AZT getesteten Ganzfahrzeuges (Ford Focus Nr. 1103), Heckversuche, links mit 60-Hz-Filterung, rechts mit 10-Hz-Filterung



**Bild 7.8:** Verzögerungsverläufe eines am IFT getesteten Ersatzmodells (VW Golf V, Versuch BAST\_k03) und eines vom AZT getesteten Ganzfahrzeuges (VW Golf V, Nr. 1135), Frontversuche, links mit 60-Hz-Filterung, rechts mit 10-Hz-Filterung



**Bild 7.9:** Verzögerungsverläufe eines am IFT getesteten Ersatzmodells (BMW E46, Nr. BAST\_k45) und eines vom AZT getesteten Ganzfahrzeuges (BMW E46, Nr. 1100), Frontversuche, links mit 60-Hz-Filterung, rechts mit 10-Hz-Filterung

### 7.1.3 Vergleich IFT-Ersatzmodell mit AZT-Vollfahrzeug (Front)

Im Folgenden wird ein Vergleich zwischen den Ersatzmodellen des IFT und den Vollfahrzeugversuchen des AZT angestellt.

In Bild 7.8 sind hierzu Frontversuche mit dem Fahrzeugmodell Volkswagen Golf V aufgeführt. Der IFT-Versuch trägt die Nummer 3 und die AZT-Nummer lautet 1135. Das Modell Golf V besitzt unter der Stoßstange ein Schaumstoffelement, wie bereits in Abschnitt 4.2.3 beschrieben wurde. Dieses Element wurde bei dem IFT-Versuch mit dem Ersatzmodell mit auf dem Querträger berücksichtigt. An den Querträger sind Crashboxen angebracht, die die Crashenergie vollständig absorbieren können.

Bei Betrachtung des CFC-60-Signals zeigen sich Unterschiede in den Spitzen des Verlaufs, d. h., der IFT-Versuch zeigt einen sanfteren Verlauf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei dem Realfahrzeug andere Komponenten am Crash mit beteiligt sind. Im CFC-10-Signal sind die Ähnlichkeiten größer, da sowohl der Erstanstieg des Verlaufs als auch die maximal auftretende Verzögerung in etwa gleich sind. Die Maxima der Verzögerung sind leicht gegeneinander verschoben. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Betrachtung der Verläufe des BMW 3er E46, so wie in Bild 7.9 zu sehen ist.

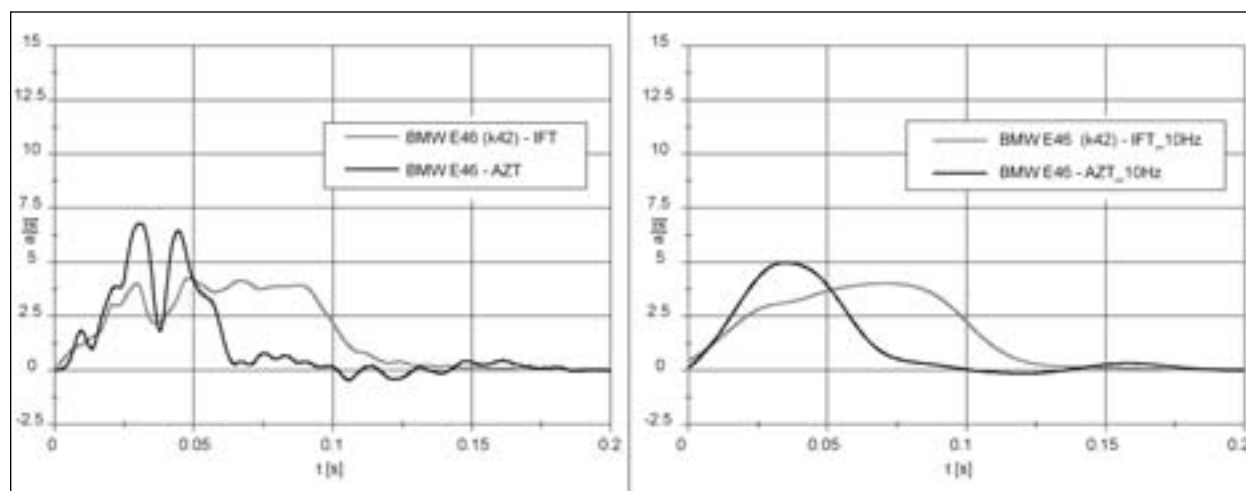
Zusammengefasst lässt sich sagen, dass eine Ähnlichkeit zwischen IFT-Ersatzmodell und AZT-Vollfahrzeug gegeben ist, wenn das Ersatzmodell ein Querträgersystem mit ausgeprägten Energieabsorptionselementen ist, das für die Aufnahme der Crashenergie ausgelegt ist und nicht auf „Block fährt“ (s. hierzu Abschnitt 7.1.6).

### 7.1.4 Vergleich IFT-Ersatzmodell mit AZT-Vollfahrzeug (Heck)

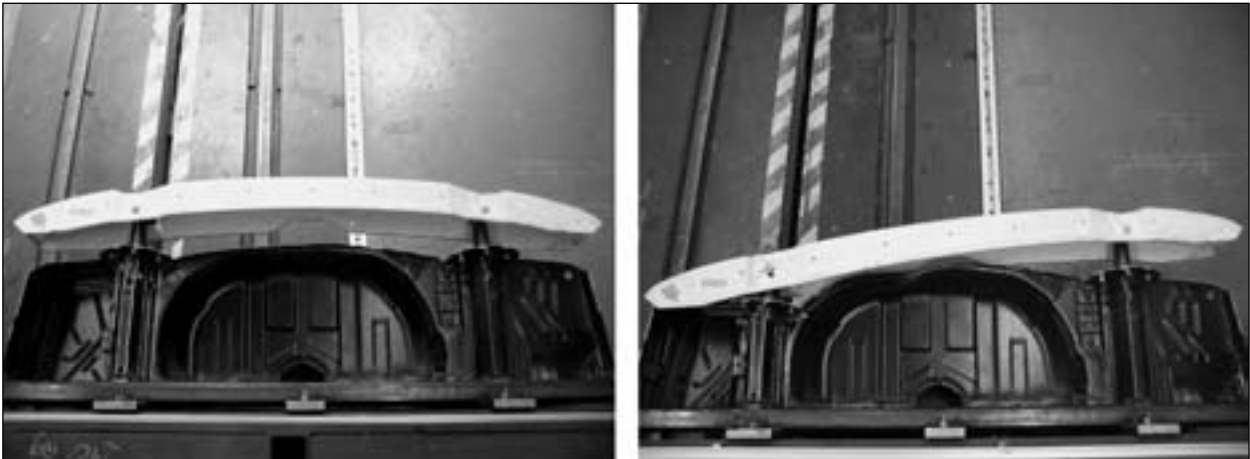
Bezüglich eines Vergleichs des IFT-Ersatzmodells mit dem AZT-Vollfahrzeug für die Heckversuche sind in Bild 7.10 die Verläufe des Fahrzeugs BMW 3er E46 (Modell 1998 bis 2005) aufgeführt. Die hier sichtbaren Unterschiede in den Verläufen zwischen dem IFT-Ersatzmodell und dem AZT-Vollfahrzeug decken sich qualitativ mit den Unterschieden aus dem Vergleich der Vollfahrzeugversuche mit dem Ford Focus (IFT-Versuch Bast\_k45, AZT-Versuch 1103, s. Bild 7.7). Die Unterschiede werden bei Betrachtung der CFC-10-Signale erkennbar. Die Verzögerung des Ersatzmodells erstreckt sich über einen längeren Zeitraum als der Verlauf des Vollfahrzeugs und verläuft zudem flacher.

Im Heckbereich finden sich speziell bei älteren Modellen keine Querträger, die ein ausreichend hohes Energieabsorptionsvermögen in Bezug auf den RCAR/AZT-Test aufweisen. Die Energie wird durch Verformung des hinteren Längsträgers, des Bodenblechs, der Seitenwände und ggf. der Heckklappe mit abgebaut. Im Rahmen der Untersuchung wurde eine Reihe von Tests durchgeführt, bei denen diese Strukturkomponenten zum Teil mit verwendet wurden.

In Bild 7.11 (links) ist das Ersatzmodell des BMW-E46-Versuchs abgebildet. Zu erkennen sind der hintere biegesteife Querträger aus faserverstärktem Kunststoff sowie Pralldämpfer. Zusätzlich wurde das Bodenblech mit den hinteren Längsträgern eingesetzt. Die Pralldämpfer konnten nur einen Teil der Crashenergie absorbieren, sodass der hintere Längsträger mit beschädigt wurde. Im



**Bild 7.10:** Verzögerungsverläufe eines am IFT getesteten Ersatzmodells (BMW E46, Versuch BAST\_k42) und eines vom AZT getesteten Ganzfahrzeuges (BMW E46, Nr. 1100), Heckversuche, links mit 60-Hz-Filterung, rechts mit 10-Hz-Filterung



**Bild 7.11:** Heckversuch BMW 3er E 46 (Modell 1998 bis 2005), Versuch Bast\_k45, links: vor Versuch, rechts: nach Versuch

Realfahrzeug werden an dieser Stelle mehr Teile beschädigt, sodass von einem zu weichen Ersatzmodell gesprochen werden kann.

Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Realität ist bei diesen Ersatzmodellen somit nicht gegeben.

#### 7.1.5 Vergleich IFT-Karosserie Citroën Xsara Picasso mit AZT-Vollfahrzeug

Im Rahmen des Projekts wurde eine Rohkarosserie (ohne Motordeckel) eines Citroën Xsara Picasso auf den Prüfschlitten gespannt und getestet, sowohl im Heckbereich als auch im Frontbereich. Diese Karosserie wurde vom Auftragnehmer des vorliegenden Projekts, dem Institut für Fahrzeugtechnik, kostenlos zur Verfügung gestellt.

An die Karosserie wurden zudem die originalen Querträger aus faserverstärktem Kunststoff angebracht. In Bild 7.12 ist die Front der Karosserie abgebildet. Nähere Einzelheiten zum Versuchsaufbau befinden sich in Abschnitt 6.1.2.

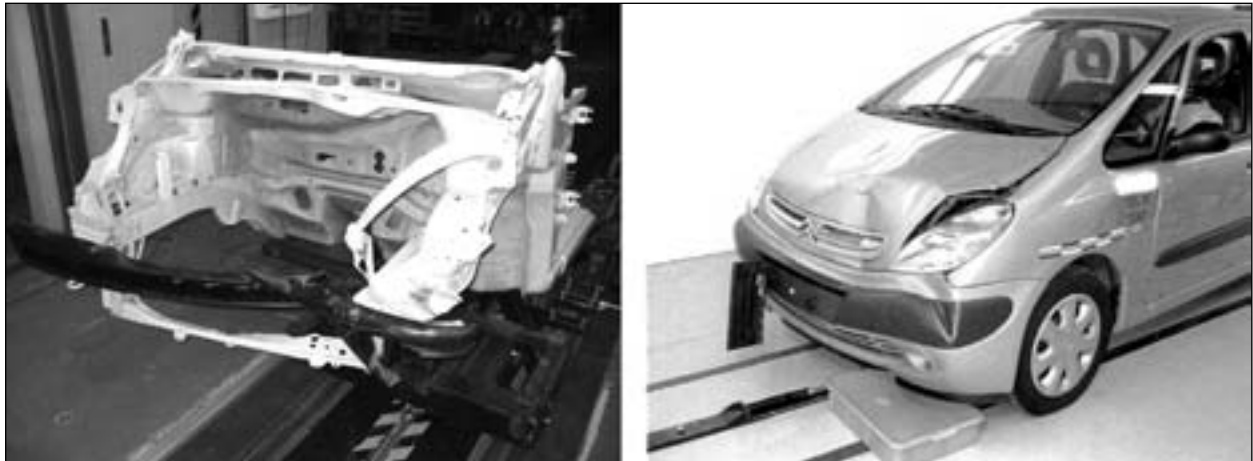
Die Querträger des Citroën Xsara Picasso sind äußerst weich und eignen sich nur zur Abwehr von Bagatellschäden. Für eine signifikante und wirkungsvolle Energieabsorption bei Crashes über ca. 8 km/h sind diese Träger nicht ausgelegt. Der Querträger eignet sich nicht zur Prüfung mit dem IFT-Ersatzmodell unter Einsatz der Prallbarriere (nach z. B. Bild 6.5).

In Bild 7.13 ist der Verzögerungsverlauf des Prüfschlittens aus Versuch 6 (BAST\_k06) dem Verzögerungsverlauf des Vollfahrzeugversuchs nach AZT/Eurotax [14] gegenübergestellt. Das Ersatzmodell unter Verwendung der Rohkarosserie zeigt

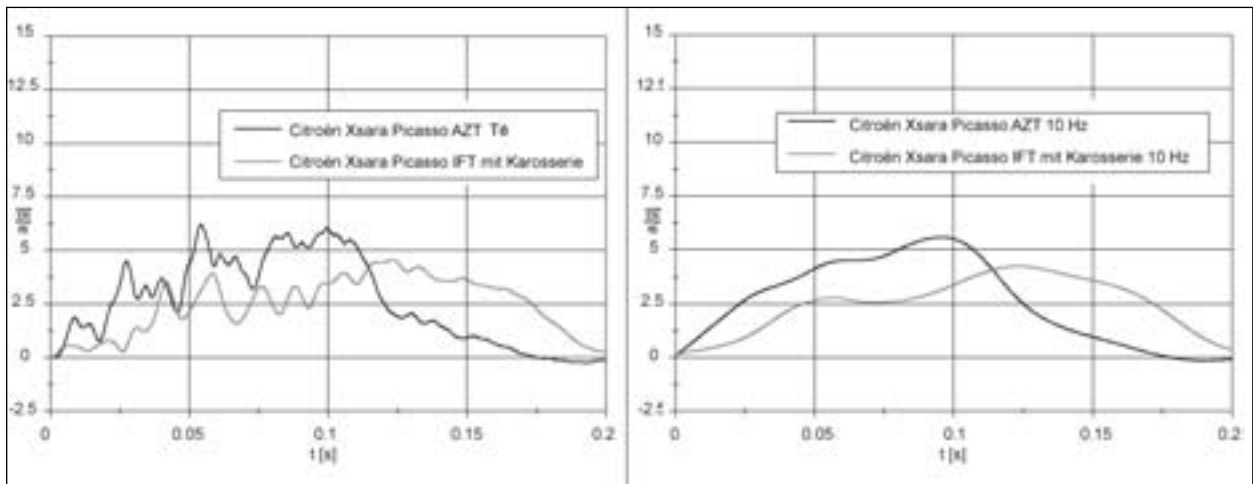
einen deutlich „sanfteren“ Verlauf. Beide Versuche lassen sich nicht miteinander vergleichen. Dies wird damit begründet, dass bei dem Vollfahrzeugversuch insbesondere Anbauteile wie Motordeckel einen Großteil der Energie verzehren (s. Schadensbild Bild 7.12 rechts). Nach Angaben von Eurotax [14] liegt die dynamische Deformationstiefe bei diesem Fahrzeug (AZT-Nummer 1085) bei 280 mm und somit deutlich über dem errechneten Durchschnitt (191,2 mm) aller 100 für diese Untersuchung herangezogenen AZT-Frontversuche. Nur drei weitere Fahrzeuge weisen eine größere dynamische Gesamtdeformation mit bis zu 310 mm auf.

#### 7.1.6 Vergleich von Fahrzeuggenerationen

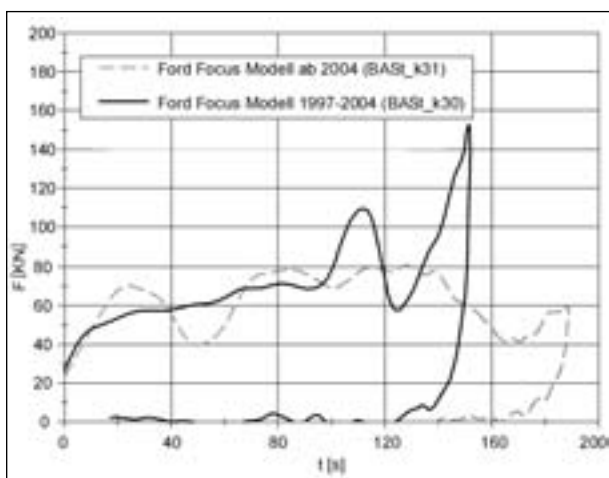
Im Folgenden werden die Verzögerungsverläufe der am IFT durchgeführten Versuche mit Ersatzmodellen moderner Pkw mit denen ihrer Vorgängermodelle verglichen. Bild 7.15 zeigt die Maximalwerte der bestimmten Verzögerung aus dem CFC-60-Signal. Bei den Versuchen wurde auf ein Ersatzmodell zurückgegriffen, das den jeweiligen Querträger mit den dazugehörigen Energieabsorptionselementen (Crashbox, Pralldämpfer etc.) berücksichtigt. Bei einigen Versuchen hat sich gezeigt, dass der durch die Elemente zur Verfügung stehende Deformationsweg zur kontrollierten Energieabsorption nicht ausreicht. Die Crashstrukturen haben sich in der späten Crashphase zu sehr verdichtet, was zu einem erhöhten Kraftanstieg im Kraft-Weg-Verlauf und einer hohen Spitze im Verzögerungsverlauf führt. Bei einem Realfahrzeugversuch würde die Längsträgerstruktur beginnen sich mitzuverformen. Beispielsweise wurden beim Versuch Ford Focus (Modell 1997 bis 2004, Versuch BAST\_k30) neben dem Querträger zusätzlich die Längsträger-



**Bild 7.12:** Karosserie und Fahrzeug nach durchgeführtem Frontcrash (links IFT-, rechts AZT-Versuch, Nr. 1085 aus Eurotax [17])

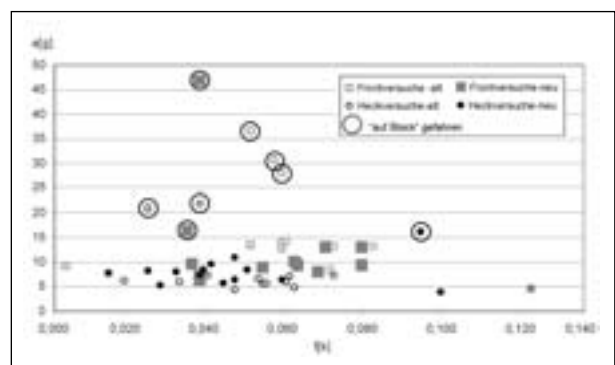


**Bild 7.13:** Verzögerungsverläufe des am IFT getesteten Citroën Xsara Picasso-Ersatzmodells mit Karosserie (Nr. BAST\_k06) und eines vom AZT getesteten Ganzfahrzeugs (Citroën Xsara Picasso, Nr.1085), links mit 60-Hz-Filterung, rechts mit 10-Hz-Filterung, AZT-Verlauf aus Eurotax [17]



**Bild 7.14:** Kraft-über-Weg-Verlauf der Versuche Ford Focus (Modell 1997 bis 2004 und Modell ab 2004)

abschnitte mit verwendet, um ein Auf-„Block fahren“ des Querträgers zu verhindern. Es hat sich jedoch gezeigt, dass sich selbst unter Verwendung der Ab-



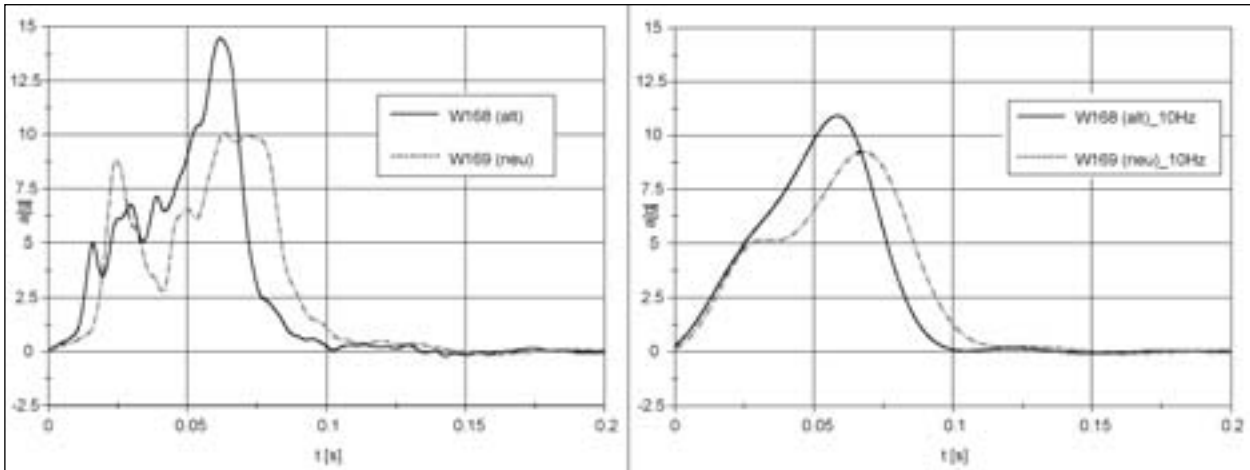
**Bild 7.15:** Maximalwerte der am IFT durchgeführten Versuche, aufgetragen über dem Zeitpunkt des Auftretens

schnittelemente die Struktur sehr stark verdichtet hat. Das Nachfolgemodell hingegen verfügt über ausgeprägte Crashboxen, die die Crashenergie ohne zu hohe Verdichtung aufnehmen können. In Bild 7.14 sind hierzu die Kraft-Weg-Verläufe aufgeführt.

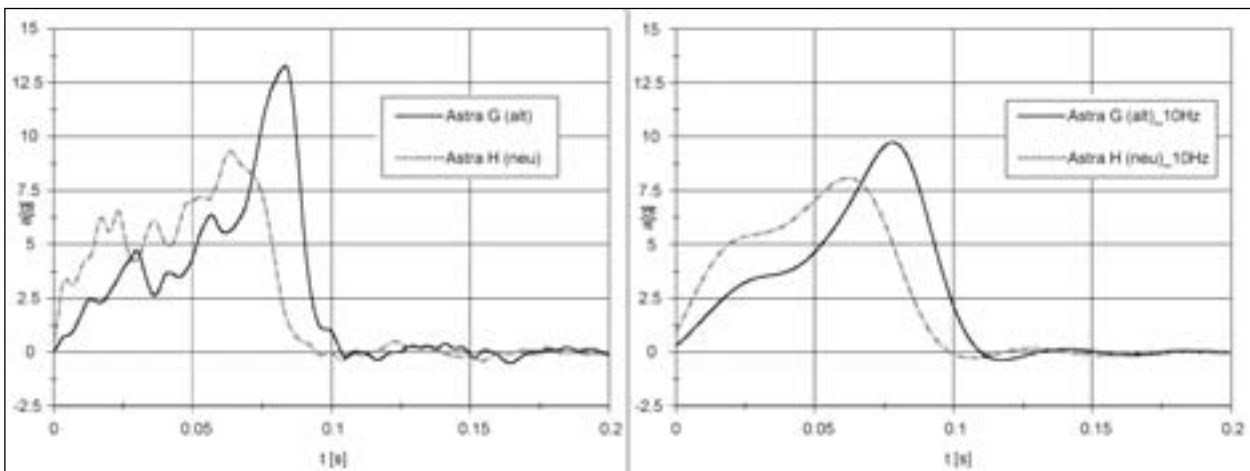
In Bild 7.15 sind alle maximal gemessenen Verzögerungswerte über dem Zeitpunkt ihres Auftretens (nach erstmaligem Kontakt des Systems mit der Barriere) aufgetragen. Die eingekreisten Punkte zeigen die Versuche, bei denen die Struktur „auf Block“ gefahren wurde.

### 7.1.7 Vergleich der Generationen (Front)

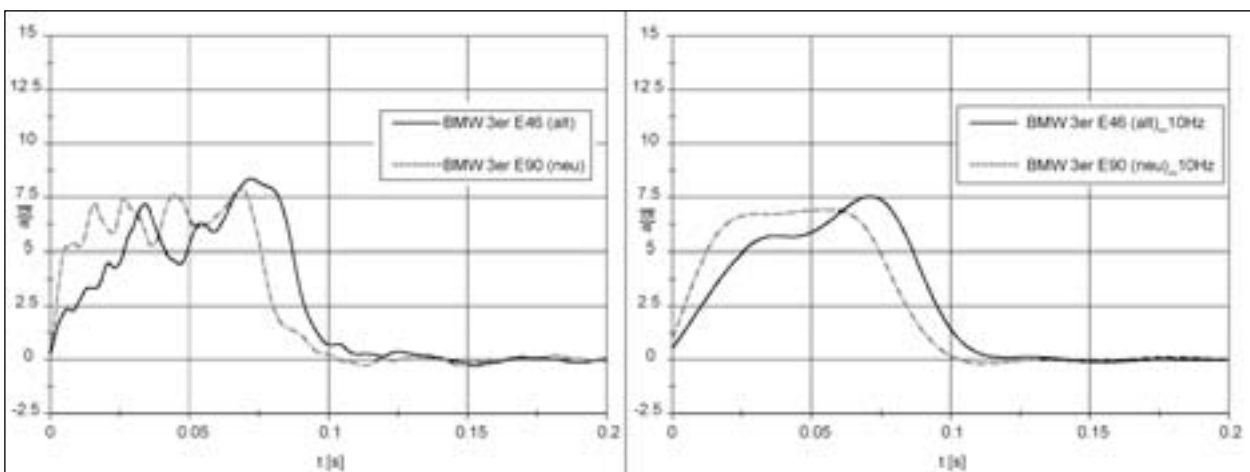
In den Bildern 7.16 bis 7.20 werden Verzögerungsverläufe von getesteten Fahrzeugen mit den Verläufen ihrer Vorgänger aufgeführt. Die Fahrzeuge sind die Modelle Mercedes-Benz A-Klasse,



**Bild 7.16:** Verzögerungsverläufe Frontversuch Mercedes Benz A-Klasse W168 (Modell 1997-2004) und W169 (Modell ab 2004)



**Bild 7.17:** Verzögerungsverläufe Frontversuch Opel Astra G (Modell 1998-2004) und H (Modell ab 2004)



**Bild 7.18:** Verzögerungsverläufe Frontversuch BMW 3er E46 (Modell 1998-2005) und E90 (Modell ab 2005)

Opel Astra, BMW 3er, Ford Focus und Volkswagen Golf.

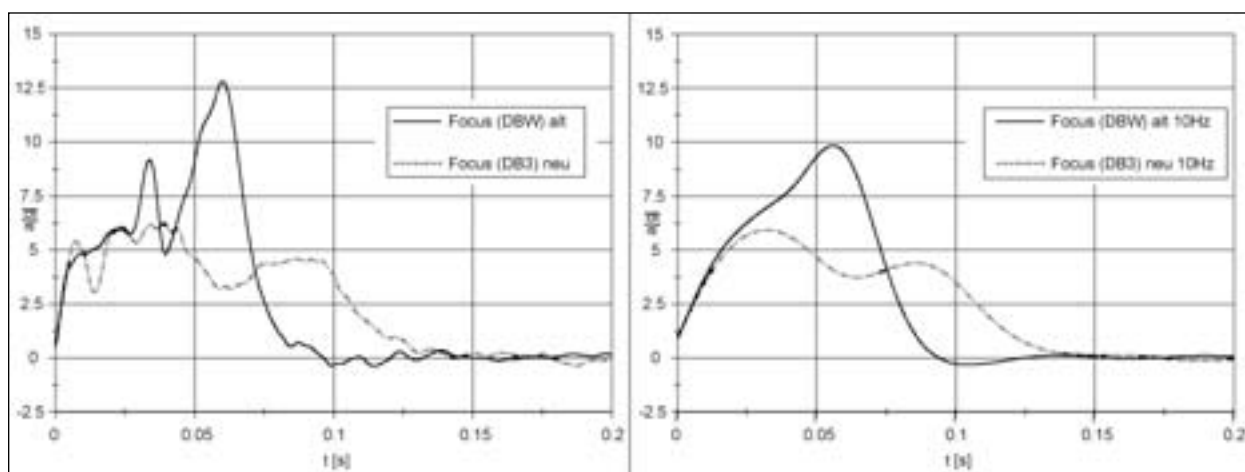
Bei nahezu allen Vorgängermodellen verdichtet sich die Struktur stark, obwohl Energieabsorptionselemente (bei BMW 3er E46 Pralldämpfer, bei allen anderen Fahrzeugen Crashboxen) vorhanden sind. Diese Verdichtung erklärt – im Vergleich zu den Nachfolgemodellen – die höheren Spitzen in der Verzögerung, die zwischen 50 und 100 Millisekunden auftreten (vgl. hierzu Mercedes-Benz A-Klasse (Bild 7.16), Opel Astra (Bild 7.17), BMW 3er (Bild 7.18) und Ford Focus (Bild 7.19)). Dies zeigen auch die Kraft-über-Weg-Verläufe, die eine ähnliche Erscheinung aufweisen wie bereits in Bild 7.14.

Sehr gut vergleichen lassen sich jedoch die Erstanstiege der Verzögerung, die im Bereich bis 25 Millisekunden auftreten (s. hierzu die Definition der Erstanstiege in Kapitel 5). Die Hochgeschwindigkeitsaufnahmen ergeben, dass die Strukturen be-

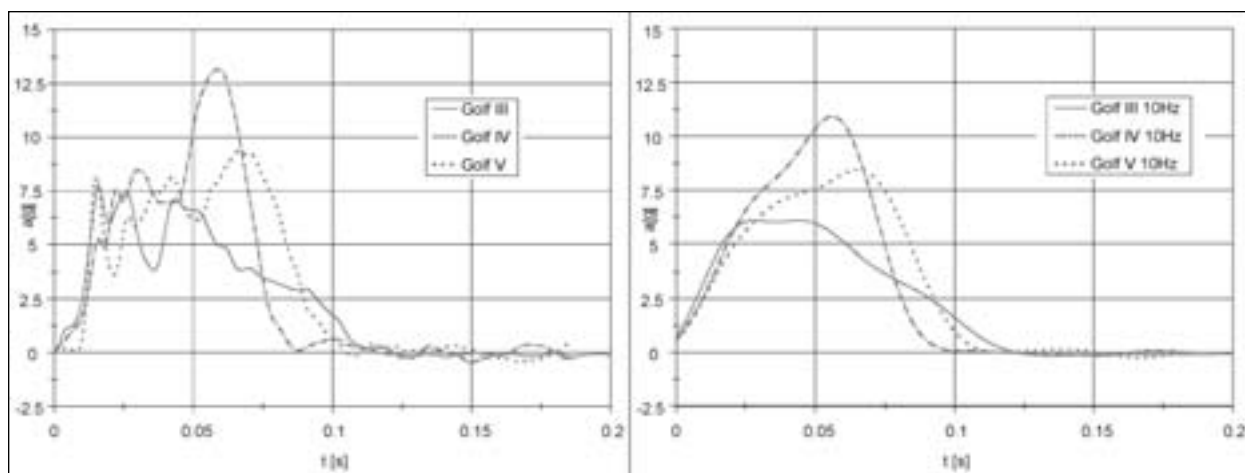
ginnend von vorne nach hinten versagen, d. h. ausgehend vom Kontaktpunkt mit der Barriere. Diese Deformationsphase wird damit als weitestgehend vergleichbar mit der Deformation am Ganzfahrzeug angesehen.

Zu beobachten ist, dass die Anstiege der neuen Modelle tendenziell größer ausfallen. Dies wird besonders deutlich bei den CFC-10-Signalen der Modelle Opel Astra (Bild 7.17) und BMW 3er (Bild 7.18).

Die Versuche Golf III, IV und V zeigen im Erstanstieg keinen Unterschied. Insgesamt lassen sich diese Strukturen jedoch sehr schlecht miteinander vergleichen. Die Struktur des Golf V besitzt ausgeprägte Crashboxen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass bei einem Realfahrzeug keine Beschädigung des Längsträgers aufgetreten wäre. Die Struktur des Golf IV besteht aus einem Querträger mit sehr geringen Energieabsorptionseigen-



**Bild 7.19:** Verzögerungsverläufe Frontversuch Ford Focus DBW (Modell 1998-2004) und DB9 (Modell ab 2004)



**Bild 7.20:** Verzögerungsverläufe Frontversuch Volkswagen Golf III (Modell 1991-1997), Golf IV (Modell 1997-2003) und Golf V (Modell ab 2003)

schaften, d. h., im Verlauf der Crashphase kommt es zu einem erhöhten Kraftanstieg. Das Fahrzeug Golf III musste zusammen mit den vorderen Längsträgerabschnitten geprüft werden, da der Querträger nahezu vernachlässigbare Absorptionseigenschaften aufweist.

### 7.1.8 Vergleich der Generationen (Heck)

Wie bereits in Abschnitt 7.1.4 erwähnt wurde, finden sich im Heckbereich – speziell bei den älteren Modellen – keine Querträger mit Energieabsorptionselementen zur Crashabsorption. Die Energie wird durch Verformung des Bodenblechs und der Seitenwände abgebaut. Im Rahmen der Untersuchungen wurden einige Versuche unter Verwendung dieser Strukturteile durchgeführt. Bei diesen Ersatzmodellen ist die Vergleichbarkeit mit der Realität nicht gegeben. Ähnlich wie bei den Frontversuchen sind ein Vergleich mit Realversuchen und ein Vergleich zwischen einzelnen Ersatzmodel-

len nur möglich, wenn die getesteten Strukturen für die Energieabsorption des RCAR/AZT-Tests ausgelegt sind. Ein Beispiel, bei dem die Querträger die Crashenergie vollständig absorbieren können und davon ausgegangen wird, dass keine wesentlichen Schäden an der Struktur entstehen, ist bei dem Vergleich Audi A3 (Modell 1996 bis 2003 und Modell ab 2003) gegeben. Die Verläufe sind in Bild 7.21 dargestellt. Die Querträger sind vom Aufbau sehr ähnlich (Aluminium-Strangpressprofile) und lassen nach dem Crash zusätzliche Verformungsreserven übrig.

Ein Beispiel für Verläufe, bei dem das Ersatzmodell des Vorgängers hauptsächlich aus Bodenblech und Seitenwänden (also keine ausgeprägten Querträger mit Energieabsorptionselementen) besteht und für das Ersatzmodell des Nachfolgers Querträger mit Crashboxen verwendet wurden, ist in Bild 7.22 dargestellt (Mercedes-Benz A-Klasse, Modell 1997 bis 2004 und Modell ab 2004).

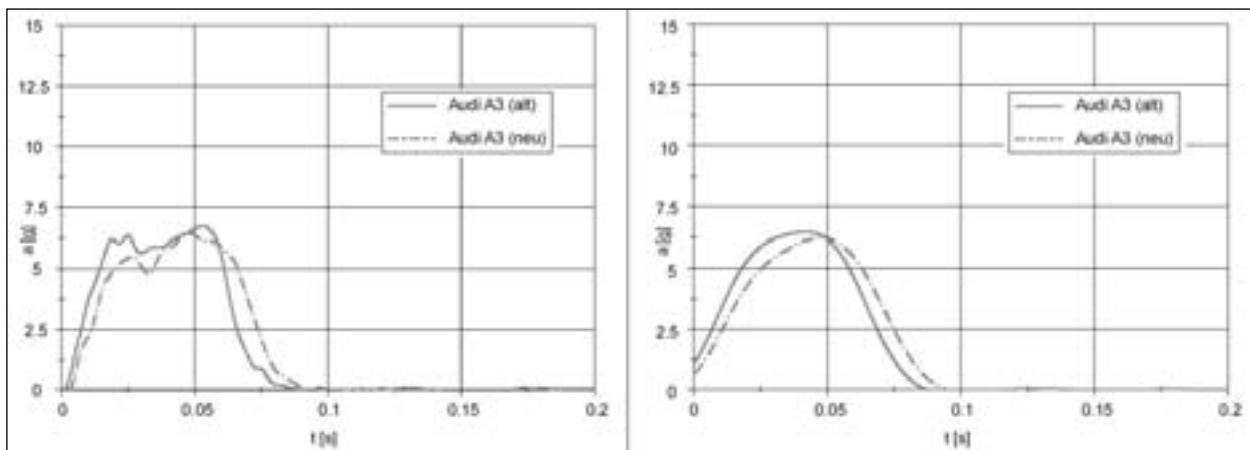


Bild 7.21: Verzögerungsverläufe Heckversuch Audi A3, Modell 1996-2003 und Modell ab 2003

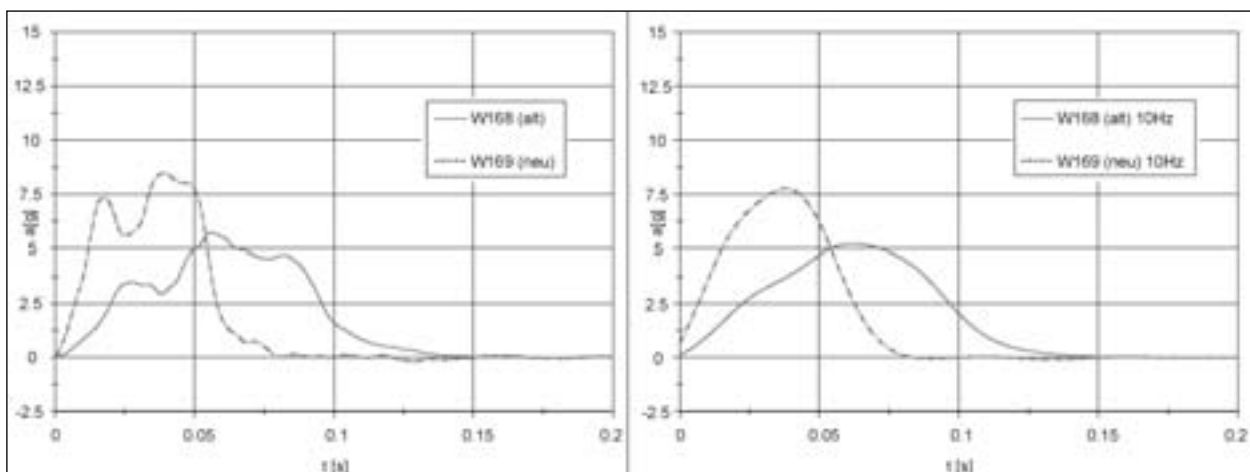


Bild 7.22: Verzögerungsverläufe Heckversuch Mercedes-Benz A-Klasse W168 (Modell 1997-2004) und W169 (Modell ab 2004)

Die geprüfte Struktur ist im Crashfall zu weich, so dass kein Vergleich zwischen Vorgänger und Nachfolger angestellt werden kann.

Hierdurch bedingt kann in Bezug auf die Heckversuche keine Aussage darüber getroffen werden, wie sich die Verläufe bei Vergleich zweier Fahrzeuggenerationen geändert haben.

### 7.1.9 Vergleich Barrierewinkel 0° mit 10°

Seit dem 01.01.2006 wird bei dem Typschadentest für die Versicherungseinstufung von Neufahrzeugen in Deutschland und Großbritannien ein Barrierewinkel von 10° gefordert. Das Allianz-Zentrum für Technik hat diese Änderung bereits ab 2003 für die Tests eingeführt (s. hierzu Abschnitt 3.1). Für die meisten der am IFT durchgeführten Versuche wurde ein Barrierewinkel von 0° gewählt, um eine Vergleichbarkeit zu der Vielzahl an AZT-Versuchen anstellen zu können, von denen Testdaten bis einschließlich 2003 für diese Untersuchung vorliegen.

Insgesamt wurden vier Versuche mit einem Barrierewinkel von 10° durchgeführt, wie der Auszug aus der Liste der Versuche in Tabelle 7.2 zeigt.

In Bild 7.23 sind hierzu die Frontquerträgerstrukturen des Ford Focus, Modell bis 2004 und ab 2004, aufgeführt. Das Modell bis 2004 besitzt keine Energieabsorptionselemente (Crashboxen), sodass für den Versuch die vom Hersteller angebotenen Reparaturabschnittselemente der Längsträger mit geprüft wurden. In Bild 7.24 sind die Verläufe des Frontversuchs für das Fahrzeug Ford Focus (Modell 1998 bis 2004) gegenübergestellt, einmal mit 0° Barrierewinkel und einmal mit 10° Barrierewinkel. Es zeigt sich, dass unter 10° die Spitzen (CFC-

60-Signal) zeitlich früher auftreten. Zudem sind die Maxima der Spitzen geringfügig größer. Bei Betrachtung der Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des 10°-Versuchs wird deutlich, dass der Querträger unkontrollierter kollabiert und dadurch weniger Deformationsarbeit leistet. Die Längsträgerelemente werden zeitlich früher belastet. Der Deformationsweg der Abschnittselemente wird nahezu ausgeschöpft, was die höheren Verzögerungen im Vergleich zu dem 0°-Test erklärt.

In Bild 7.25 sind die Verläufe für das Fahrzeug Ford Focus (Modell ab 2004) unter 0° und 10° aufgeführt. Der Querträger ist sehr biegesteif und kann eine nur sehr kleine Deformationsarbeit leisten. Unter einem Winkel von 10° kommt es zum regelmäßigen Faltenbeulen der belasteten Crashbox. Erst in einer recht späten Phase knickt der Querträger ein. Unter 0°-Testbedingungen knickt der Querträger frühzeitiger ein und Crashboxen deformieren unkontrollierter, was ebenfalls ein Vergleich der Kraft-Weg-Kennlinie zeigt (ohne Abbildung).

lfd.Nr.	Fahrzeug	Art
...	...	...
25	Ford Focus (DBW 1998-2004)	Front 10°
26	Ford Focus (DBW 1998-2004)	Heck 10°
27	Ford Focus (DB3 ab 2004)	Front 10°
28	Ford Focus (DB3 ab 2004)	Heck 10°
29	Ford Focus (DB3 ab 2004)	Heck
30	Ford Focus (DB3 ab 2004)	Front
31	Ford Focus (DBW 1998-2004)	Front
32	Ford Focus (DBW 1998-2004)	Heck
...	...	...

Tab. 7.2: Auszug aus der Liste der Versuche, Versuche 25 bis 32 (BAST\_k25 bis BAST\_k32)



Bild 7.23: Frontquerträgerstruktur Ford Focus, links: Modell 1998 bis 2004, rechts: Modell ab 2004



Bezüglich des Verlaufs des Erstanstiegs der Verzögerung oder der Dauer sind kaum signifikante Unterschiede feststellbar.

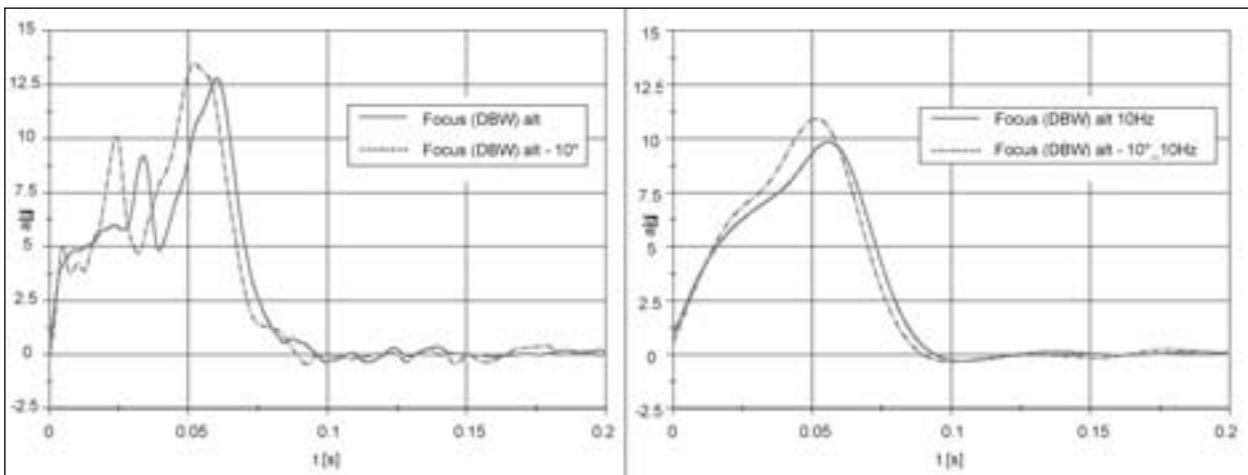
Es kann davon ausgegangen werden, dass das Querträgersystem des Modells ab 2004 für die 10°-Testbedingungen des RCAR/AZT-Tests ausgelegt ist.

Vergleichbar mit dem Frontbereich besitzt das Modell ab 2004 auch im Heckbereich einen biegesteifen Querträger ohne nennenswerte Energieabsorptionseigenschaften. Crashboxen können hier die komplette Energie verzehren. Bei dem Modell bis 2004 liegen im Heckbereich keine Energieabsorptionselemente vor, sodass hintere Längsträger und Seitenwände die Energie absorbieren.

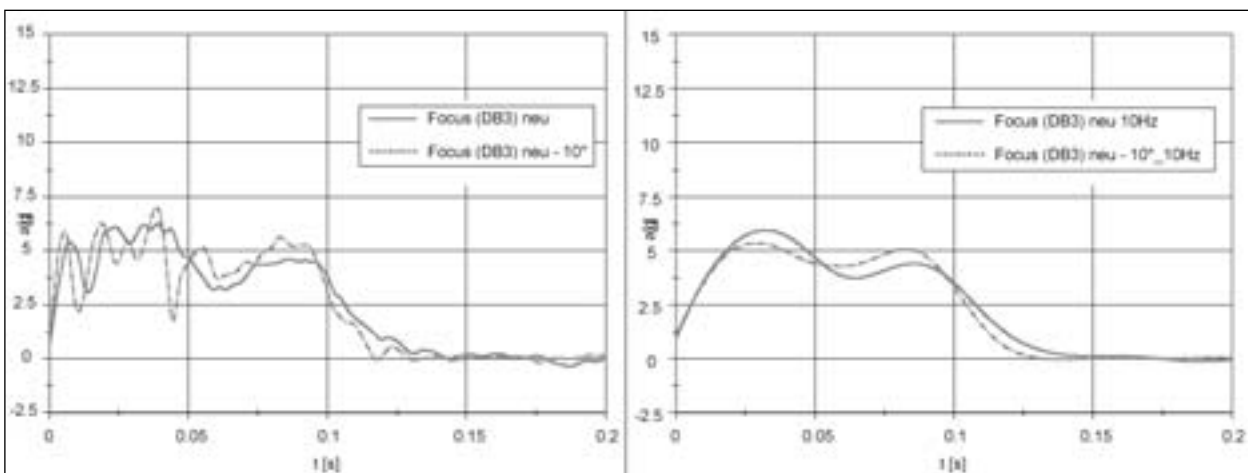
Einen Vergleich der Versuche des Ford Focus, Modell 1998 bis 2004 und Modell ab 2004, wird an die-

ser Stelle nicht durchgeführt, da die Spitzen in der Beschleunigung (vgl. Bild 7.25) auf die in der späten Crashphase weitestgehend ausgeschöpfte Deformationszone zurückgeführt werden können. Dies wird durch die Spitze im Kraft-Weg-Verlauf (ohne Abbildung) deutlich.

Unter den AZT-Versuchen finden sich zwei Frontversuche des Fahrzeugs Opel Meriva aus dem Jahr 2003. Das Fahrzeug wurde einmal unter einem Barrierewinkel von 0° (AZT-Nummer 1129, Versuchsnummer 32/03, Datum 10.07.2003) und ein weiteres Mal mit einem 10°-Barrierewinkel (AZT-Nummer 1129, Versuchsnummer 43/03, Datum 30.07.2003) getestet. Die Verläufe sind jedoch identisch, was auf einen Fehler bei der Veröffentlichung hinweist. Diese AZT-Daten werden in der Untersuchung nicht weiter berücksichtigt. Beim AZT konnten hierüber keine Informationen eingeholt werden.



**Bild 7.24:** Verzögerungsverläufe Frontversuch Ford Focus DBW (Modell 1998-2004) mit Barrierewinkel von 0° („alte“ RCAR-Richtlinie) und 10° („neue“ RCAR-Richtlinie, s. Abschnitt 3.1)



**Bild 7.25:** Verzögerungsverläufe Frontversuch Ford Focus DB3 (Modell ab 2004) mit Barrierewinkel von 0° („alte“ RCAR-Richtlinie) und 10° („neue“ RCAR-Richtlinie, s. Abschnitt 3.1)

### 7.1.10 Einfluss der Fahrzeugmasse

Im Versuch 1 (BAST\_k01) wurde ein Golf-IV-Heckquerträger geprüft, wobei eine Prüfmasse von 1.400 kg angenommen wurde. Diese Masse entspricht der Fahrzeugmasse des Golf IV, der bei AZT am 11.03.1998 (AZT-Nummer 1039S) getestet wurde. Das AZT hat bei diesem Versuch ein hochwertig ausgestattetes Fahrzeug herangezogen. Versuch 16 (BAST\_k16) wurde mit einem Golf-IV-Heckquerträger durchgeführt, wobei die Prüfmasse 1.095 kg betrug. Diese Masse lehnt sich an ein Basismodell des Golf IV an.

Die Verzögerungsverläufe sind in Bild 7.26 dargestellt. Durch die höhere Masse von über 300 kg bei Versuch 1 im Vergleich zu Versuch 16 fällt der Erstanstieg flacher aus und die Zeitdauer der Verzögerung ist größer (ca. 10 Millisekunden). Zudem ist ein geringerer Maximalwert festzustellen (5,1 g zu 6,2 g).

### 7.1.11 Vergleich der US-Version mit der Europa-Version des VW Golf IV

In Versuch 1 und Versuch 5 wurden jeweils zwei Ausführungen des Heckquerträgersystems Golf IV geprüft. Versuch 1 (BAST\_k01) berücksichtigt den Heckquerträger mit Crashbox des in Europa angebotenen Golf-IV-Modells. Versuch 5 (BAST\_k05) berücksichtigt den Heckquerträger der US-amerikanischen Golf-IV-Version mit Pralldämpfern, der speziell für den Low-Speed-Crashtest des IIHS ausgelegt wurde (s. hierzu Abschnitt 3.2). Beide Prüfmassen lagen bei 1.095 kg und die Prüfgeschwindigkeit betrug jeweils 9,90 km/h.

Die Erstanstiege sind bei beiden Versionen vergleichbar, jedoch erzielt die US-Version ein höheres Maximum (7,4 g zu 6,2 g) sowie einen höheren Mittelwert (3,8 g zu 3,5 g). In Abschnitt 4.4.4, wurde ausgehend von den Untersuchungen des IIHS vermutet, dass das System mit den Pralldämpfern ge-

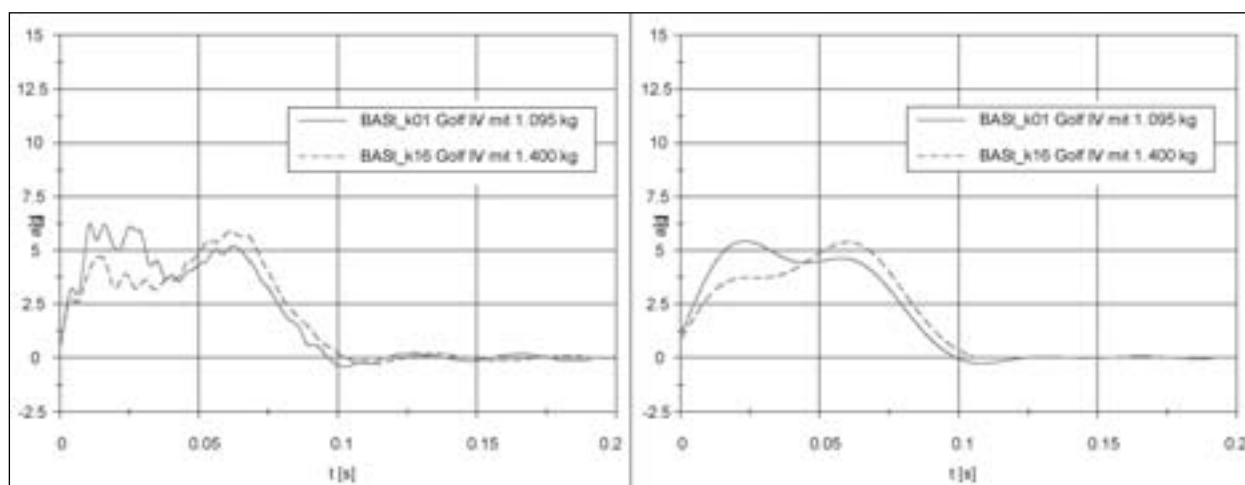


Bild 7.26: Verzögerungsverläufe Heckversuch Golf IV (Modell 1997-2003), Prüfmasse 1.095 kg und 1.400 kg

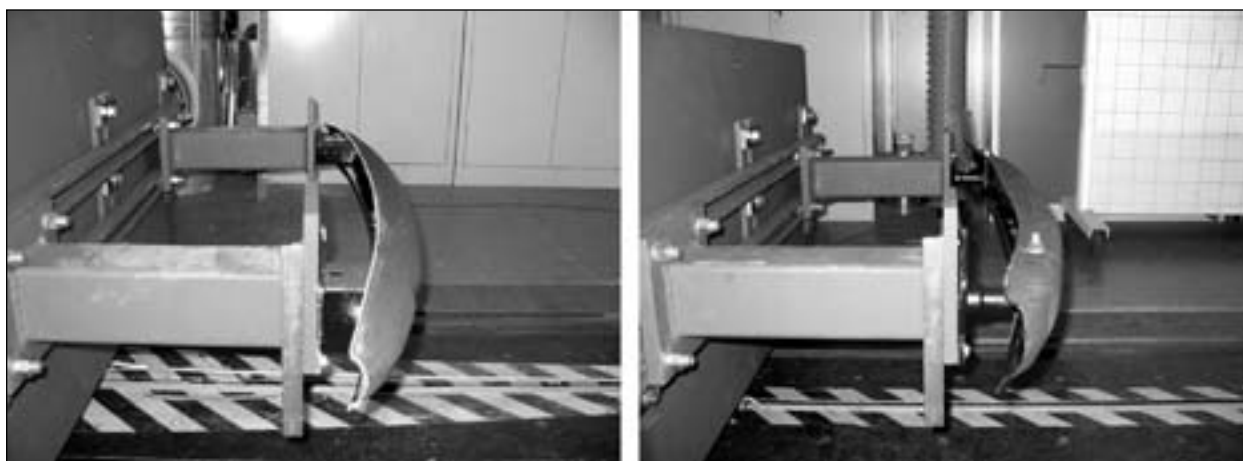
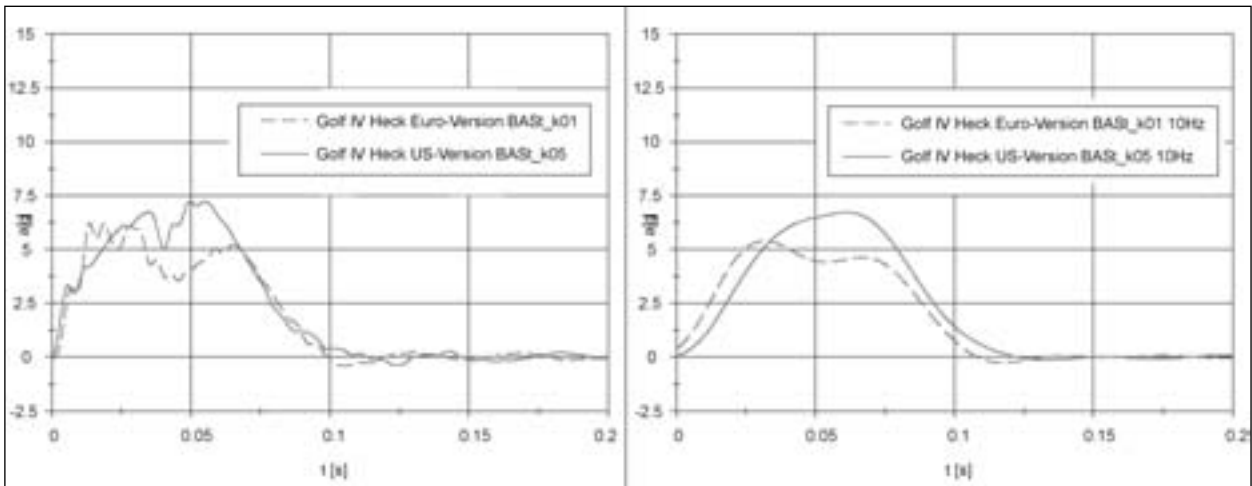


Bild 7.27: Heckquerträgerstruktur Golf IV, links: europäische Version, rechts: US-Version



**Bild 7.28:** Verzögerungsverläufe Heckversuch Golf IV (Modell 1997-2003), Euro-Version mit Crashbox, US-Version mit Pralldämpfer, Prüfmasse jeweils 1.095 kg

ringere Deformationstiefen bei einem Crash erzeugt. Somit steigen auch die mittlere Crashlast und das mittlere Verzögerungsniveau. Diese Vermutung hat sich bei diesem Versuch bestätigt.

## 7.2 AZT-Versuche

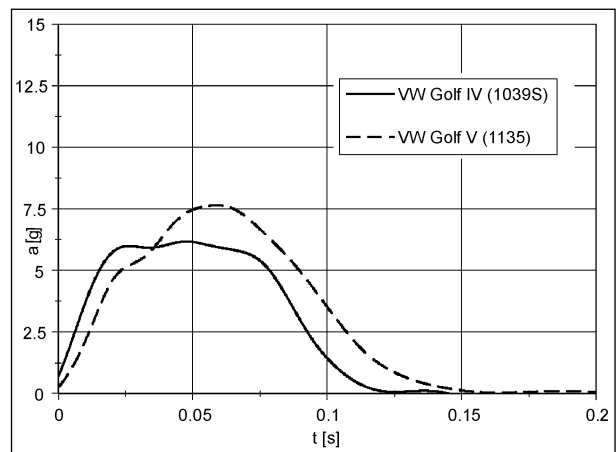
Insgesamt liegen 172 Testberichte des AZT für diese Untersuchung vor.

Unter den getesteten Fahrzeugen befinden sich einige Modelle mit ihrem entsprechenden Vorgänger. Werden diese Verzögerungsverläufe miteinander verglichen, so sind bei den neueren Modellen die Anstiege und Verzögerungsmittelwerte tendenziell höher. In Bild 7.29 sind hierzu die CFC-10-Verläufe des Volkswagen Golf-IV- und Golf-V-Frontversuchs dargestellt. Die Anstiege sind gleich, jedoch leicht verschoben. Dies ist auf das verspätete Ansprechen der Struktur des Golf V zurückzuführen, der mit einem weichen Schaumelement zum Fußgängerschutz ausgestattet ist. Die Verzögerungsmaxima (12,2 g zu 7,8 g) und die Mittelwerte (6,6 g zu 5,9 g) bei den CFC-60-Verläufen unterschieden sich deutlich.

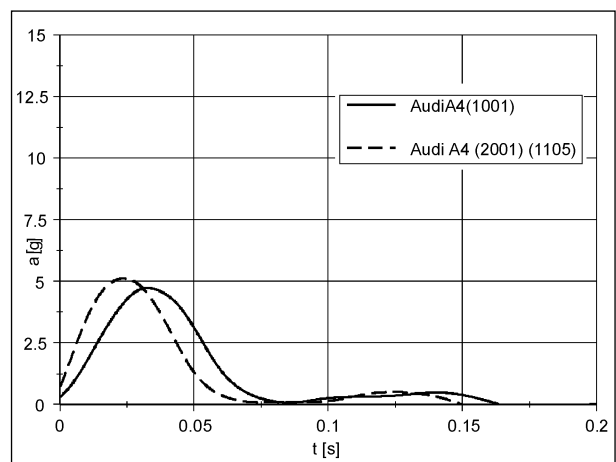
Diese Tendenz trifft nicht nur auf die Frontversuche, sondern auch auf die Heckversuche zu, wie Bild 7.30 am Beispiel des Audi A4 zeigt.

Die nachfolgende Betrachtung soll nun aufzeigen, wie sich die Verzögerungsverläufe in ihrer Gesamtheit verändert haben.

Die vom AZT getesteten Pkw-Modelle reichen von einem Mini wie z. B. einem MCC Smart über Mittelklassefahrzeuge wie dem Opel Vectra bis hin zu



**Bild 7.29:** Verzögerungsverläufe Frontversuch Golf IV und Golf V (CFC-10-Signal)



**Bild 7.30:** Verzögerungsverläufe Heckversuch Audi A4 (Modell) (CFC-10-Signal)

Fahrzeugen der oberen Mittelklasse wie z. B. einem Jaguar S-Type. Um nun die Fahrzeuge besser miteinander vergleichen zu können, werden sie

für diese Untersuchung in zwei Größen- bzw. Massenklassen (Klasse I und II) aufgeteilt. Eine Unterteilung in mehr als zwei Klassen ist nicht sinnvoll, da hierdurch die Stichprobengröße in den einzelnen Klassen zu gering wird.

Zunächst werden die Pkw-Modelle der AZT-Versuche einzelnen Segmenten zugeordnet und anschließend in die beiden Klassen eingeteilt. Die Segmente richten sich nach der Gruppierung des Kraftfahrt-Bundesamts (KBA). Das KBA ordnet Fahrzeuge in Segmente bzw. Typgruppen ein, um eine bessere statistische Vergleichbarkeit zu schaffen. Nach Angaben des KBA erfolgt die Gruppierung der Modelle anhand optischer, technischer und marktorientierter Merkmale. Die Klassifizierungsmerkmale und die Zuordnung erfolgen in enger Abstimmung mit Vertretern der Automobilindustrie (nach KBA).

Die erste Klasse (Klasse I) wird aus Pkw-Modellen gebildet, die den Segmenten bzw. Typgruppen

1. Mini,
2. Kleinwagen und
3. untere Mittelklasse

entsprechen.

Die zweite Klasse (Klasse II) wird durch Fahrzeuge aus den Segmenten

4. Mittelklasse
5. obere Mittelklasse,
6. Oberklasse,
7. Geländewagen,
8. Cabriolets,
9. Vans und
10. Utilities

gebildet. Modelle der Oberklasse wie Audi A8 oder BMW 7er liegen in dieser Untersuchung nicht vor. Weiterhin sind unter den Testberichten zu Frontversuchen als Cabrio nur Daten des BMW Z3 vorhanden, im Heckbereich sind es Daten des BMW Z3 und des Audi Cabrio. Als Segment Van wurde im Front- als auch im Hecktest nur der Renault Scenic geprüft. Das Segment Utility sind Transporter und Kleintransporter wie z. B. Renault Kangoo, Mercedes-Benz Sprinter oder Volkswagen Caddy. Der einzige Vertreter dieses Segments ist ein Mercedes-Benz Vito. Damit sind hauptsächlich Fahrzeuge der Segmente Mittelklasse und obere Mittelklasse in Klasse II gruppiert.

Für Klasse I ergeben sich 65 Front- und 45 Heckversuche. Für Klasse II sind es 35 Front- und 27 Heckversuche, die sich über die Prüffahre 1988 bis 2003 verteilen. Für das Prüffahr 1988 liegt nur ein einziges Fahrzeug vor. Das in der chronologischen Reihenfolge darauf folgende Fahrzeug stammt aus dem Jahr 1992.

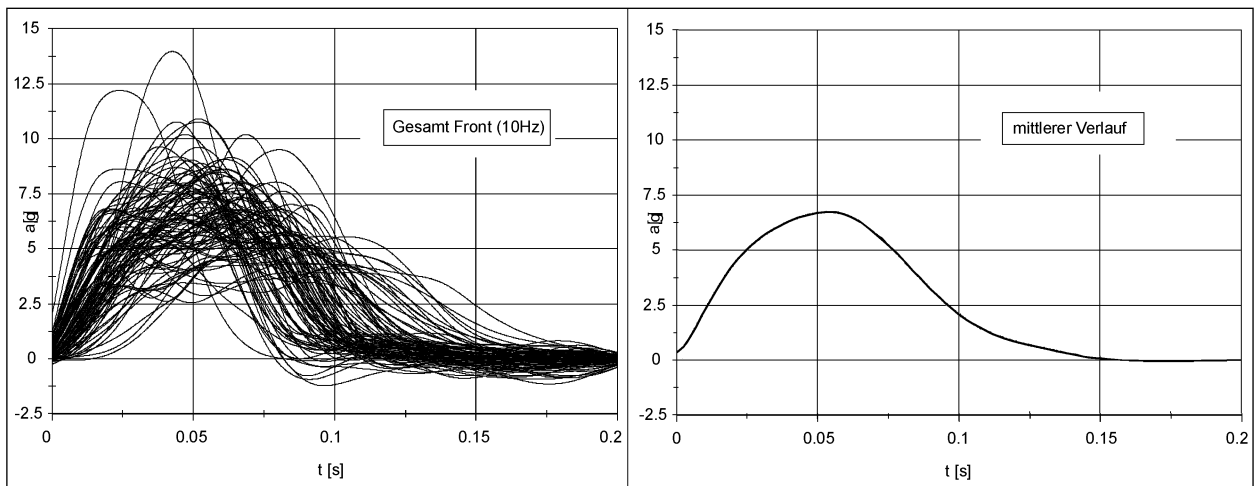
Das AZT testet fast ausschließlich neu auf den Markt kommende Fahrzeuge, sodass das Prüffahr sehr häufig dem Jahr des Produktionsbeginns des jeweiligen Modells entspricht.

Wenn die Stichprobengröße in den einzelnen Prüffahren betrachtet wird, so liegt sie bei der Klasse II Heck teilweise bei nur 1 bis 3 Fahrzeugen. Um die Stichprobengröße im Hinblick auf einen Signifikanztest zu vergrößern, wird der Gesamtzeitraum 1992 bis 2003 in drei Zeiträume gegliedert: bis 1995, 1996 bis 2000 und 2001 bis 2003. Einzelheiten über die einzelnen Stichprobengrößen finden sich in Tabelle 7.7.

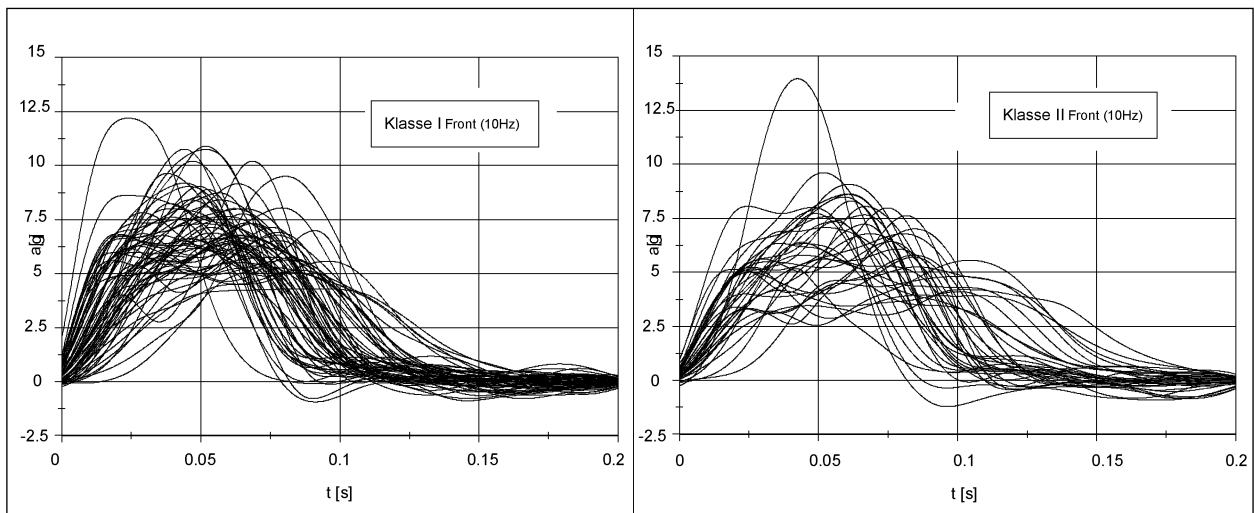
### 7.2.1 Frontversuche

Werden alle AZT-Verzögerungsverläufe aus den Frontversuchen (CFC-10-Signal) gemittelt, so ergibt sich ein Verlauf nach Bild 7.31 (rechts). Werden nun die Klasse I und II getrennt voneinander betrachtet, so zeigen sich qualitative Unterschiede in den Verläufen. In Bild 7.32 sind alle Verläufe der Klasse I (links) und der Klasse II (rechts) dargestellt. Das Fahrzeug mit der größten maximalen Verzögerung in Klasse I ist der MCC Smart. Das Fahrzeug mit der auffallend hohen Verzögerung im rechten Bild ist die Mercedes-Benz C-Klasse (AZT-Nummer 1101, Prüffahr 2001). Während des Versuchs löste der Fahrerairbag aus, was vom Beschleunigungsaufnehmer mit erfasst wurde und in dem CFC-60-Signal zu einem Maximalwert von 18,1 g führt. Für weitere Betrachtungen in der Studie wird dieser Verlauf nicht mit berücksichtigt.

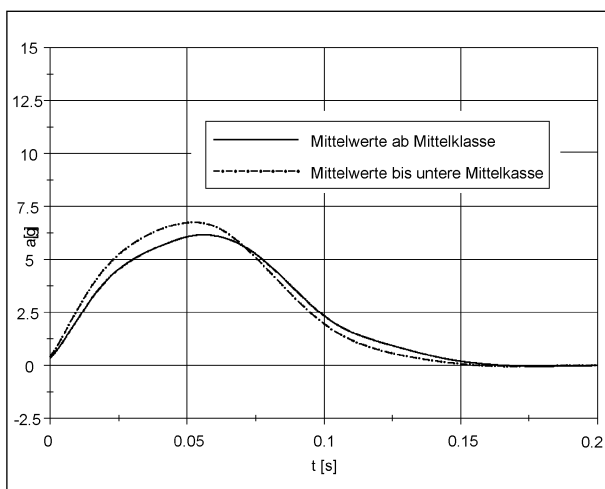
Die gemittelten Verläufe der beiden Klassen werden in Bild 7.33 zusammen aufgeführt. Im Mittel besitzt die Klasse der „kleineren“ Fahrzeuge einen größeren Erstanstieg und ein höheres Maximum. Die Klasse der „größeren“ Fahrzeuge besitzt einen flacheren Anstieg der Verzögerung und ein geringeres Maximum. Zudem ist hier die Dauer der Verzögerung geringfügig größer. Dieses Ergebnis wurde vor der Untersuchung auch erwartet, da von Seiten der Craschauslegung für kleinere Fahrzeuge kürzere Deformationswege gefordert werden.



**Bild 7.31:** Darstellung aller betrachteten Frontversuche des AZT mit 10-Hz-Filterung (links), gemittelter Verlauf (rechts), AZT-Verläufe aus Eurotax [17]



**Bild 7.32:** Alle Frontversuche des AZT mit 10-Hz-Filterung, links: Fahrzeuge bis untere Mittelklasse (Klasse I), rechts: Fahrzeuge ab Mittelklasse (Klasse II), AZT-Verläufe aus Eurotax [17]

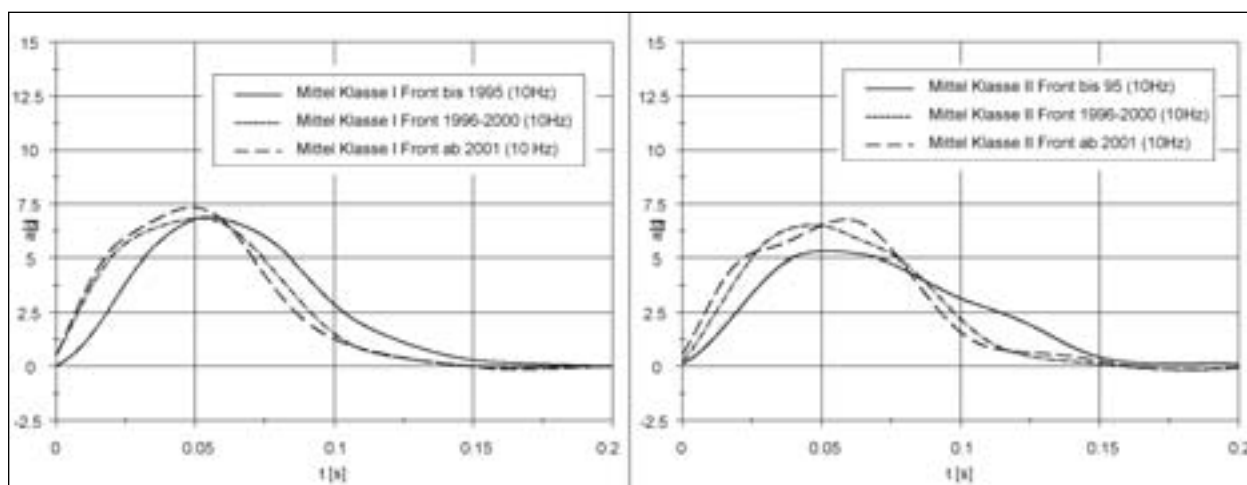


**Bild 7.33:** Mittlere Verläufe der Segmente bis untere Mittelklasse (Klasse I) und ab Mittelklasse (Klasse II), bezogen auf Bild 7.32, AZT-Verläufe aus Eurotax [17]

Werden schließlich Klasse I und Klasse II nach den einzelnen Zeiträumen separiert, so ergeben sich die Verzögerungsverläufe (CFC-10-Signal) nach Bild 7.34. Qualitativ ist zu erkennen, dass über die Zeiträume hinweg für beide Klassen der Erstanstieg deutlich zunimmt.

Aus den Verzögerungsverläufen (CFC-60-Signal) jedes einzelnen Fahrzeugs werden die Kennwerte nach Kapitel 5 bestimmt. In Tabelle 7.3 sind hierzu exemplarisch die maximalen Verzögerungen in absteigender Reihenfolge geordnet. Die maximal auftretenden Verzögerungen bewegen sich in einem Bereich von 6,3 g (Citroën Xsara Picasso) bis 22,8 g (MCC Smart).

Auffällig ist, dass auch bei den anderen bestimmten Kenngrößen (Mittelwert der Verzögerung, Erstanstieg) das Fahrzeug MCC Smart stets auf Rang 1



**Bild 7.34:** Geometrisches Mittel der Verläufe Frontversuche differenziert nach Zeiträumen, bis 1995, 1996-2000, ab 2001, für Klasse I (links) und Klasse II (rechts)

Maximale Verzögerung			
Fahrzeug	Prüfjahr	Wert [g]	Rang
MCC Smart	1999	22,8	1
Suzuki Baleno	1996	19,2	2
VW Polo 9N	2003	19,0	3
Nissan Micra	1993	16,8	4
MB A140	1998	16,8	5
...			
Fiat Punto S	1994	7,2	61
Fiat Barchetta	1997	7,1	62
Renault Mégane	1997	7,1	63
Fiat Punto	2001	6,9	64
Citroën Xsara Picasso	2000	6,3	65

**Tab. 7.3:** Rang 1 bis 5 und 61 bis 65 des Maximalwerts der Verzögerung für Klasse I Front

liegt. Weiterhin lässt sich zeigen, dass Fahrzeuge von Herstellern wie Volkswagen, Opel und Ford tendenziell häufiger in der oberen Hälfte der Rangfolge zu finden sind. Fahrzeuge von Herstellern wie Fiat, Peugeot und Renault liegen häufig auf den unteren Rängen.

Werden die einzelnen Ränge der Kennwerte für jedes Fahrzeug aufsummiert, so resultiert ein Gesamtwert. Ein kleiner Gesamtwert ist hierbei kritisch, d. h. negativ, zu bewerten, da er mit einem größeren Erstanstieg, einer kürzeren Zeit bis zum Auftreten der maximalen Verzögerung usw. verbunden ist. Hieraus ergibt sich die Reihenfolge nach Tabelle 7.3. Das Fahrzeug MCC Smart zeigt von allen Fahrzeugen die kritischsten Werte.

Es lässt sich erkennen, dass die Fahrzeuge der älteren Prüfjahre häufiger auf den unteren Rängen

Fahrzeug	Prüfjahr	Rang
MCC Smart	1999	1
VW New Beetle	1999	2
VW Lupo	1999	3
Opel Agila	2001	4
Skoda Fabia	2000	5
...		
Fiat Punto	2001	61
Seat Cordoba	1995	62
Hyundai Pony	1993	63
Citroën Xsara Picasso	2000	64
Fiat Punto S	1994	65

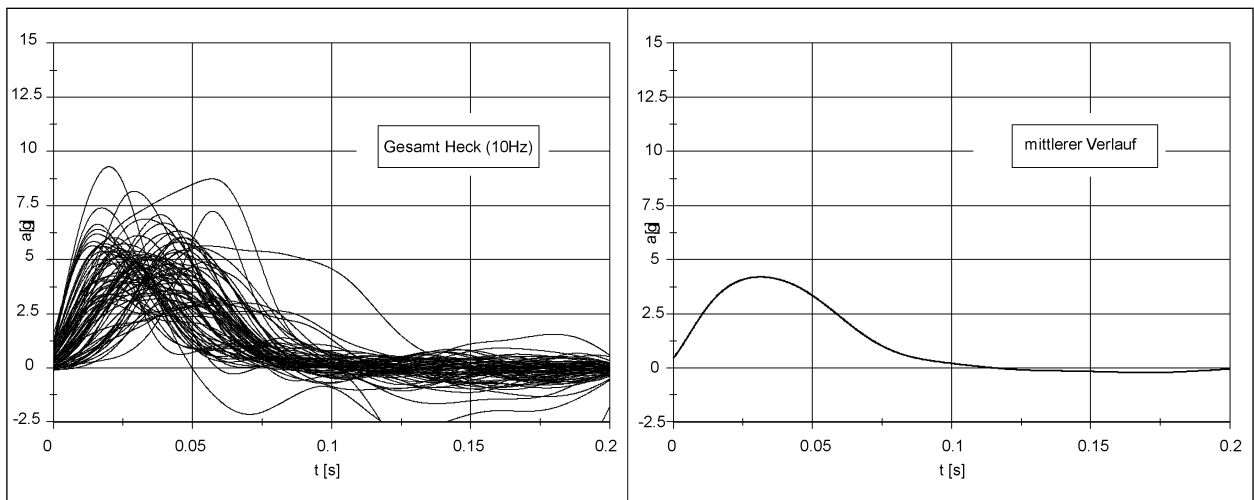
**Tab. 7.4:** Rang 1 bis 5 und 61 bis 65 bestimmt aus allen Kennwerten für Klasse I Front

angesiedelt sind. Weiterhin zeigt sich, dass Fahrzeuge deutscher Hersteller tendenziell auf den oberen Rängen liegen.

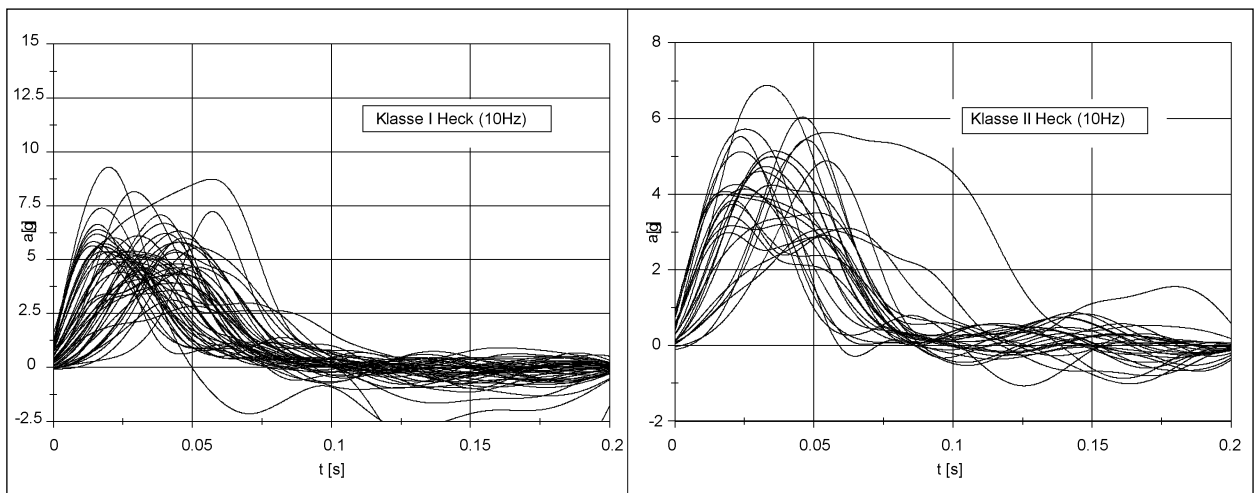
## 7.2.2 Heckversuche

Wird die gleiche Vorgehensweise aus Abschnitt 7.2.1 auf die Heckversuche angewendet (s. Bild 7.35 und Bild 7.36), so resultieren die mittleren Verzögerungen für die Klasse I und II in Bild 7.38. Die Aussagen der Frontversuche lassen sich auch auf die Heckversuche (bezüglich der CFC-10-Signale) übertragen. Der Erstanstieg für die Klasse I ist größer als der der Klasse II. Weiterhin ist ein höheres Maximum bei Klasse I zu verzeichnen.

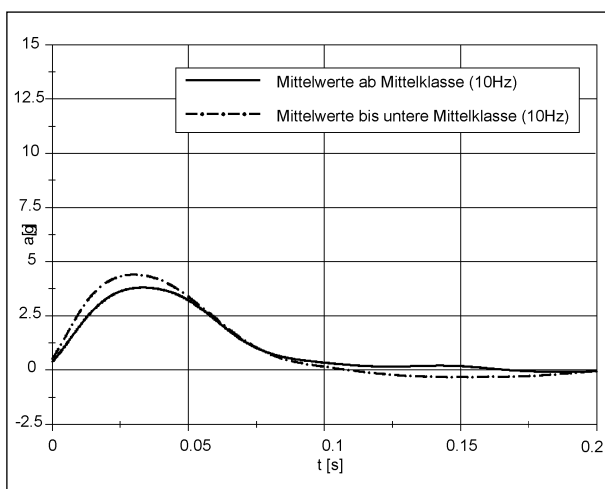
Werden die mittleren Verläufe der Heckversuche nach den einzelnen Jahreszeiträumen (bis 1995, 1996-2000 und ab 2001) aufgelöst, so ergeben sich



**Bild 7.35:** Darstellung aller digitalisierten Heckversuche des AZT mit 10-Hz-Filterung (links), gemittelter Verlauf (rechts), AZT-Verläufe aus Eurotax [17]



**Bild 7.36:** Alle Heckversuche des AZT mit 10-Hz-Filterung, links: Fahrzeuge bis untere Mittelklasse (Klasse I), rechts: Fahrzeuge ab Mittelklasse (Klasse II), AZT-Verläufe aus Eurotax [17]



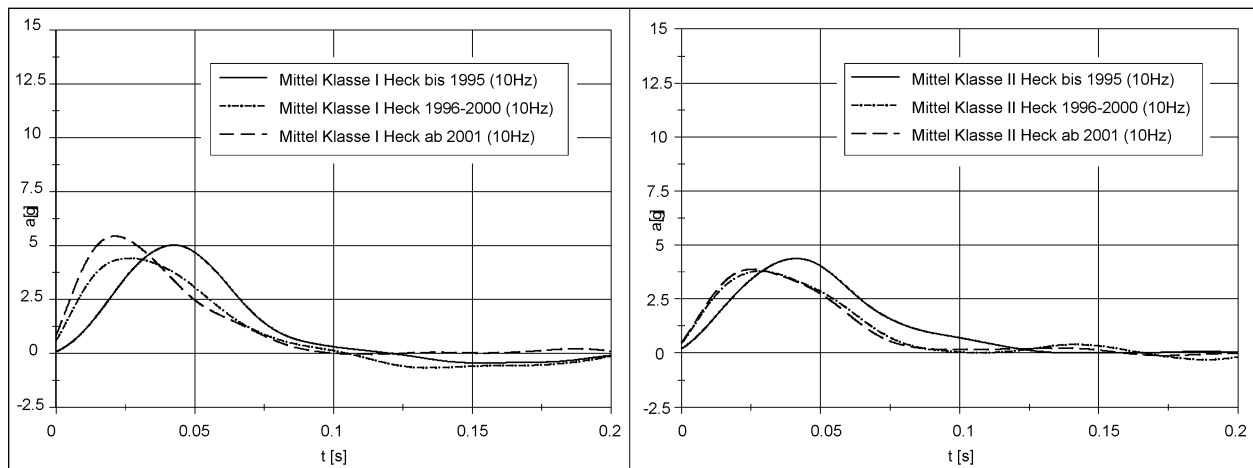
**Bild 7.37:** Mittlere Verläufe der Segmente bis untere Mittelklasse (Klasse I) und ab Mittelklasse (Klasse II), bezogen auf Bild 7.36, AZT-Verläufe aus Eurotax [17]

die Darstellungen in Bild 7.38. Ähnlich zu Bild 7.34 gibt es deutliche Unterschiede in den Erstanstiegen der Verzögerung. Diese sind über die genannten Zeiträume stets gestiegen. Deutlich wird dies zwischen dem Zeitraum bis 1995 und 1996-2000 sowie bis 1995 und ab 2001. Deutlich geringere Unterschiede existieren zwischen den Zeiträumen 1996-2000 und ab 2001.

In Analogie zu Tabelle 7.3 sind in Tabelle 7.5 die auftretenden maximalen Verzögerungen für die Heckversuche der Klasse I dargestellt.

Werden wie für den Frontbereich alle Kennwerte aus den Verläufen in eine Rangfolge gebracht und zu einer Gesamtwertung zusammengeführt, so ergibt sich Tabelle 7.6.

Auch hier liegen der MCC Smart auf Rang 1 und der Volkswagen New Beetle auf Rang 2. Weiterhin



**Bild 7.38:** Geometrisches Mittel der Verläufe Heckversuche differenziert nach Zeiträumen, bis 1995, 1996-2000, ab 2001, für Klasse I (links) und Klasse II (rechts)

Maximale Verzögerung			
Fahrzeug	Prüfjahr	Wert [g]	Rang
Honda Civic LSI	1994	20	1
MCC Smart	1999	19,2	2
VW New Beetle	1999	18,7	3
Fiat Cinquecento	1993	16,6	4
Citroën C3	2002	15	5
...			
Mazda 323 F	1995	6,2	41
Nissan Micra	1998	5,6	42
Hyundai Matrix	2002	5,1	43
Fiat Palio	1999	4,5	44
Citroën Xsara Picasso	2002	4,2	45

**Tab. 7.5:** Rang 1 bis 5 und 41 bis 45 des Maximalwerts der Verzögerung für Klasse I Heck

Fahrzeug	Prüfjahr	Rang
MCC Smart	1999	1
VW New Beetle	1999	2
VW Touran	2003	3
VW Golf V	2003	4
Citroën C3	2002	5
...		
Mitsubishi Colt	1992	41
VW Polo	1999	42
Fiat Palio	1999	43
Citroën Xsara Picasso	2002	44
Mazda 323 F	1995	45

**Tab. 7.6:** Rang 1 bis 5 und 41 bis 45 bestimmt aus allen Kennwerten für Klasse I Heck

zeigt sich, dass Fahrzeuge deutscher Hersteller tendenziell häufiger die oberen Ränge belegen als Fahrzeuge von Herstellern aus anderen Ländern.

### 7.3 Statistische Betrachtung

In dieser Betrachtung werden aus den digitalisierten Verzögerungsverläufen der AZT-Testberichte Kennwerte bestimmt. Durch einen Signifikanztest wird geprüft, ob sich in den letzten Jahren statistisch nachweisbare Veränderungen in den Kennwerten ergeben haben. Als rechnergestütztes Hilfsmittel wird hierzu die statistische Auswertesoftware SPSS (Superior Performing Statistical Software) in der Version 12 herangezogen.

#### 7.3.1 Ausgangsbasis

Aus den 172 AZT-Beschleunigungsverläufen (mit der Beschleunigung  $a$  in Vielfachen der Erdbeschleunigung  $g$  über der Zeit  $t$  in s), die aus den Jahren 1992 bis 2003 vorliegen, werden die Größen bzw. Variablen

- maximale Verzögerung  $a_{max}$ ,
- Zeitdauer bis zum Auftreten der maximalen Verzögerung  $t_{max}$ ,
- gesamte Verzögerungsdauer  $t_{ges}$ ,
- Mittelwert der Verzögerung über der gesamten Verzögerungsdauer  $a_m$ ,
- Dauer des Verzögerungsniveaus  $t_{niveau}$ ,



n	bis 1995	1996-2000	ab 2001	$\Sigma$
Klasse I Front	17	28	20	65
Klasse II Front	10	12	13	35
Klasse I Heck	15	16	14	45
Klasse II Heck	10	8	9	27
$\Sigma$	52	64	56	172

Tab. 7.7: Stichprobengrößen, aufgelöst nach Zeiträumen und Klassen

- Mittelwert der Verzögerung über der Dauer des Verzögerungsniveaus  $a_{niveau}$

ermittelt, die nach Abschnitt 5 definiert wurden. Die Kennwerte

- Erstanstieg der Verzögerung grad  $a_{an}$ ,
- Abfall der Verzögerung grad  $a_{ab}$ ,

werden aus dem jeweiligen mit 10 Hz (CFC 10) gefilterten Signal bestimmt. Weiterhin werden das Testgewicht  $m$  und die dynamische Deformationsstiefe  $s$  als Größen mit in die statistische Betrachtung einbezogen. Beide Größen lassen sich dem Inhaltsverzeichnis der Versuche entnehmen, die der Veröffentlichung der AZT-Versuche (Eurotax [17]) beigelegt ist.

Die Stichprobengrößen von Klasse II Heck, die mit insgesamt 27 Fahrzeugen die kleinste Gruppe darstellt, betragen damit 10 (1988-1995), 8 (1996-2000) und 9 (2001-2003). Die Stichprobengrößen von Klasse I Front, die mit insgesamt 65 Fahrzeugen die größte Gruppe darstellt, betragen 17 (1992-1995), 28 (1996-2000) und 20 (2001-2003). Eine Auflistung der einzelnen Stichprobengrößen befindet sich in Tabelle 7.7.

### 7.3.2 Deskriptive Ergebnisse

Die deskriptiven Ergebnisse zeigen, dass bei den Klassen die Mittelwerte  $m$  der Testgewichte über dem Gesamtzeitraum ansteigen. Für Klasse I, Frontversuche bedeutet dies 1.033,2 kg im Zeitraum bis 1995 und 1.262,8 kg im Zeitraum ab 2001 (s. hierzu Bild 7.39).

Die Mittelwerte der maximalen Verzögerung  $a_{max}$ , die exemplarisch für die Heckversuche in Bild 7.40 dargestellt sind, zeigen einen deutlichen Unterschied zwischen den Klassen I und II. Für Klasse I fällt der Wert von 11,1 g auf 9,9 g ab. Die Werte von Klasse II ändern sich kaum.

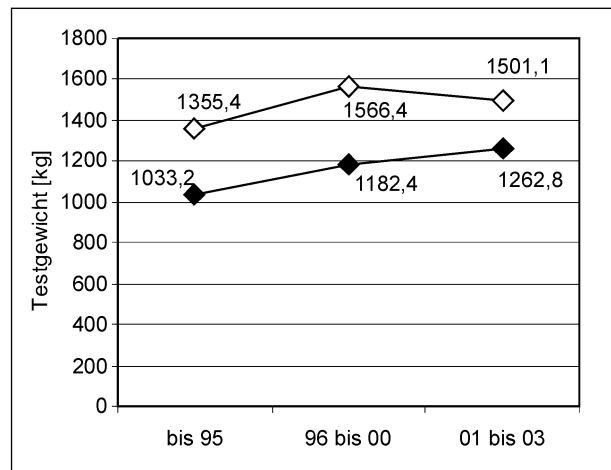


Bild 7.39: Mittelwerte des Testgewichts über die Zeiträume für Klasse I, Frontversuche (schwarz) und Klasse II, Frontversuche (weiß)

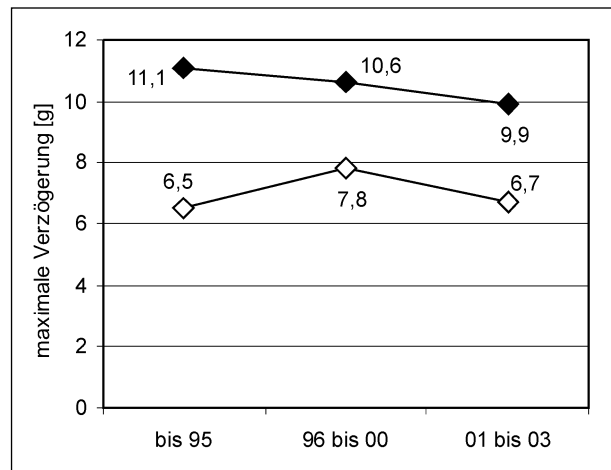
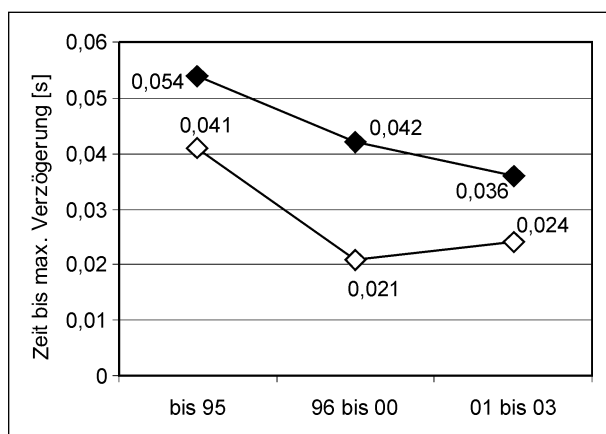


Bild 7.40: Mittelwerte der maximalen Verzögerung über den Zeiträumen für Klasse I, Heckversuche (schwarz) und Klasse II, Heckversuche (weiß)

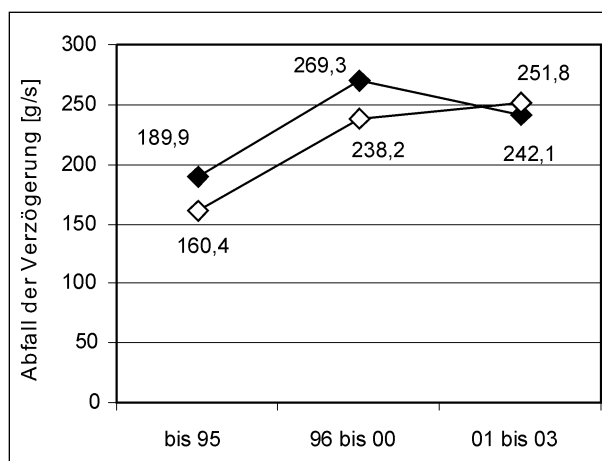
Die Zeiten bis zum Auftreten der maximalen Verzögerung fallen für die Heck- und Frontversuche von Klasse I deutlich ab, so wie in Bild 7.41 dargestellt.

Klar erkennbar ist eine Änderung im Anstieg der Verzögerung für die Klasse I im Heck- als auch im Frontbereich (s. hierzu Bild 7.42). Für die Klasse II ist eine Zunahme im Frontbereich zu erkennen, jedoch nicht im Heckbereich (ohne Abbildung).

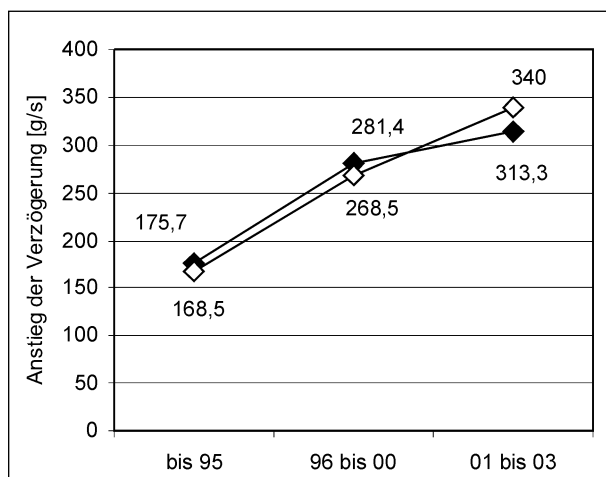
Der Abfall der Verzögerung, der für Klasse I und Klasse II im Frontbereich in Bild 7.43 aufgeführt ist, ändert sich über die Zeiträume hinweg zu größeren Werten. Diese Aussage bezieht sich im Besonderen auf die Zeiträume bis 1995 und 1996 bis 2000. Eine Ausnahme macht hier die Klasse I zwischen den Zeiträumen 1996 bis 2000 und ab 2001. Es ist anzumerken, dass in diesem Diagramm der Betrag der Steigung verwendet wird, d. h., eine Zunahme



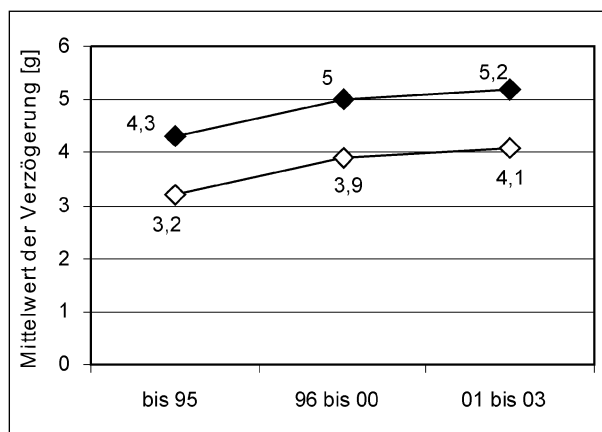
**Bild 7.41:** Mittelwerte der Zeit bis zum Auftreten der maximalen Verzögerung über den Zeiträumen für Klasse I, Frontversuche (schwarz) und Klasse I, Heckversuche (weiß)



**Bild 7.43:** Mittelwerte des Abfalls der Verzögerung über den Zeiträumen für Klasse I, Frontversuche (schwarz) und Klasse II, Heckversuche (weiß)



**Bild 7.42:** Mittelwerte des Anstiegs der Verzögerung über den Zeiträumen für Klasse I, Frontversuche (schwarz) und Klasse I, Heckversuche (weiß)



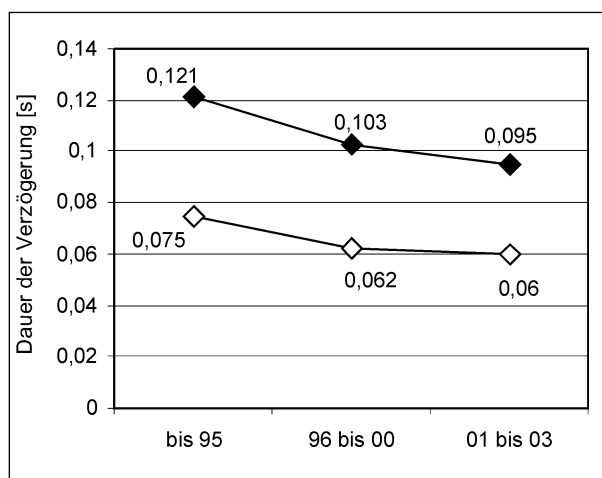
**Bild 7.44:** Mittelwerte des Abfalls der Verzögerung über den Zeiträumen für Klasse I, Frontversuche (schwarz) und Klasse I, Heckversuche (weiß)

bedeutet ein größeres Gefälle im Verzögerungsverlauf.

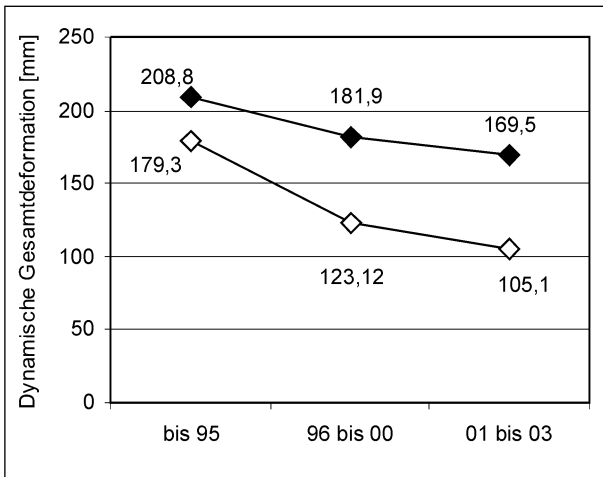
Die gemittelten Werte der Verzögerung der Klasse I für Front und Heck sind in Bild 7.44 dargestellt. Sie steigen über die Zeiträume hinweg deutlich monoton an.

Eine deutliche Veränderung über der Zeit ist auch bei den Mittelwerten der Verzögerungsdauer zu erkennen. Im Front- als auch im Heckbereich nehmen die Zeiten ab (vgl. hierzu Bild 7.45). Zwischen den Zeiträumen bis 1995 und 1995 bis 2000 sind die größten Änderungen festzustellen.

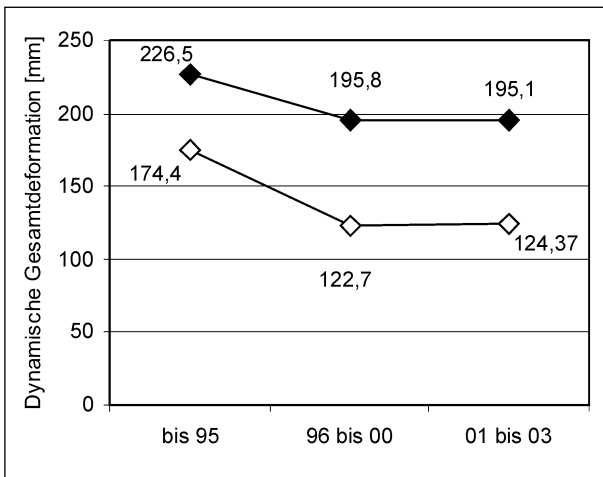
Die Mittelwerte der dynamischen Gesamtdeformationen zeigen einen deutlichen Trend hin zu kürzeren Wegen (s. Bild 7.46 und Bild 7.47). Liegt bei



**Bild 7.45:** Mittelwerte der Dauer der Verzögerung für Klasse I, Frontversuche (schwarz) und Klasse I, Heckversuche (weiß)



**Bild 7.46:** Mittelwerte der dynamischen Gesamtdeformation über den Zeiträumen für Klasse I, Frontversuche (schwarz) und Klasse I, Heckversuche (weiß)



**Bild 7.47:** Mittelwerte der dynamischen Gesamtdeformation über den Zeiträumen für Klasse II, Frontversuche (schwarz) und Klasse II, Heckversuche (weiß)

Klasse I bis 1995 im Frontbereich die Gesamtdeformation bei 208,8 mm, so beträgt der Wert bei den getesteten Fahrzeugen ab 2001 nur noch 169,5 mm. Insgesamt liegt die Gesamtdeformation im Heckbereich um bis zu 80 mm niedriger als im Frontbereich. Ein Vergleich zwischen der Klasse I und II zeigt, dass schwerere Fahrzeuge im Frontals auch im Heckbereich größere Deformationen aufweisen.

### 7.3.3 Prüfung auf Signifikanz

Die Unterschiede bzw. die Änderungen der Mittelwerte der deskriptiven Ergebnisse werden auf ihre Bedeutsamkeit, d. h. Signifikanz, hin überprüft. Dazu wird mit Hilfe von SPSS eine Varianzanalyse für die unabhängigen Variablen durchgeführt, was auch als One Way Analysis of Variance oder F-Test

	F-Wert	df (Zähler, Nenner)	Signifikanz [%]
$m$	10,671	2, 62	0,000*
$a_{max}$	0,200	2, 62	0,819
$t_{max}$	3,531	2, 62	0,035*
$grad_{an}$	6,936	2, 62	0,020*
$grad_{aab}$	4,635	2, 62	0,013*
$t_{ges}$	6,441	2, 62	0,030*
$t_{niveau}$	0,840	2, 61	0,437
$a_m$	4,115	2, 62	0,021*
$a_{niveau}$	0,092	2, 61	0,913
$s_{max}$	4,520	2, 62	0,015*

\* = signifikant, \*\* = tendenziell signifikant

**Tab. 7.8:** Ergebnis des Signifikanztests zwischen den 3 Zeiträumen für Klasse I Frontversuche

	F-Wert	df (Zähler, Nenner)	Signifikanz [%]
$m$	3,981	2, 32	0,029*
$a_{max}$	0,305	2, 32	0,739
$t_{max}$	0,060	2, 32	0,942
$grad_{an}$	2,743	2, 32	0,079**
$grad_{aab}$	3,124	2, 32	0,058**
$t_{ges}$	0,683	2, 32	0,512
$t_{niveau}$	0,269	2, 32	0,766
$a_m$	2,916	2, 32	0,069**
$a_{niveau}$	0,629	2, 32	0,540
$s_{max}$	2,275	2, 31	0,120

\* = signifikant, \*\* = tendenziell signifikant

**Tab. 7.9:** Ergebnis des Signifikanztests zwischen den 3 Zeiträumen für Klasse II Frontversuche

bezeichnet wird. Die Resultate der einzelnen Klassen sind in den Tabelle 7.8 bis Tabelle 7.11 mit F-Wert und der Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  aufgeführt. Als signifikant werden dann die Variablen jeder Klasse bezeichnet, deren Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha \leq 5\%$  ist. Als tendenziell signifikant werden die Variablen bezeichnet, für die  $\alpha \leq 10\%$  ist. Zusammenfassen lassen sich diese Ergebnisse in einer Übersicht, wie Tabelle 7.12 zeigt.

Die Masse ändert sich bei nahezu allen Klassen. Unter Berücksichtigung der deskriptiven Ergebnisse, wie z. B. Bild 7.39 zeigt, nehmen das Testgewicht und damit das Fahrzeuggewicht bedeutsam

	F-Wert	df (Zähler, Nenner)	Signifikanz [%]
$m$	10,575	2, 42	0,000*
$a_{max}$	0,307	2, 42	0,737
$t_{max}$	8,389	2, 42	0,001*
$grad_{an}$	7,937	2, 42	0,001*
$grad_{aab}$	0,643	2, 42	0,531
$t_{ges}$	4,035	2, 42	0,025*
$t_{niveau}$	2,076	2, 38	0,139
$a_m$	2,902	2, 42	0,066**
$a_{niveau}$	0,798	2, 38	0,458
$s_{max}$	17,688	2, 41	0,000*

\* = signifikant, \*\* = tendenziell signifikant

Tab. 7.10: Ergebnis des Signifikanztests zwischen den 3 Zeiträumen für Klasse I Heckversuche

	F-Wert	df (Zähler, Nenner)	Signifikanz [%]
$m$	3,363	2, 24	0,052**
$a_{max}$	1,308	2, 24	0,289
$t_{max}$	5,283	2, 24	0,013*
$grad_{an}$	1,931	2, 24	0,167
$grad_{aab}$	0,309	2, 24	0,737
$t_{ges}$	4,896	2, 24	0,016*
$t_{niveau}$	0,019	2, 24	0,981
$a_m$	0,694	2, 24	0,509
$a_{niveau}$	1,377	2, 24	0,272
$s_{max}$	6,214	2, 23	0,007*

\* = signifikant, \*\* = tendenziell signifikant

Tab. 7.11: Ergebnis des Signifikanztests zwischen den 3 Zeiträumen für Klasse II Heckversuche

zu. Lediglich in der Klasse II Heck, die die kleinsten Stichprobengrößen beinhaltet, wird die Masse nur tendenziell signifikant. Eine Signifikanz dieser Variable wurde im Vorfeld der Untersuchung schon erwartet, da bereits in Abschnitt 4.1 auf die Massenzunahme der neu auf den Markt kommenden Fahrzeugmodelle hingewiesen wurde.

Demgegenüber ändert sich die maximale auftretende Verzögerung, die direkt aus dem Verzögerungsverlauf bestimmt werden kann, bei allen Klassen konsistenterweise nicht.

Die Zeit, die vom Beginn des Verlauf bis zum Auftreten der maximalen Verzögerung vergeht, ist bei

Variablen	Klasse I Front (n = 65)	Klasse II Front (n = 35)	Klasse I Heck (n = 27)	Klasse II Heck (n = 27)
Testgewicht $m$	•	•	•	◦
Maximale Verzögerung $a_{max}$	-	-	-	-
Zeit bis zum auftreten der maximalen Verzögerung $t_{max}$	•	-	•	•
Erstanstieg der Verzögerung grad $a_{an}$	•	◦	•	-
Abfall der Verzögerung grad $a_{ab}$	•	◦	-	-
Gesamte Verzögerungsdauer $t_{ges}$	•	-	•	•
Dauer des Verzögerungsniveaus $t_{niveau}$	-	-	-	-
Mittelwert der Verzögerung über der gesamten Verzögerungsdauer $a_m$	•	◦	◦	-
Mittelwert der Verzögerung über der Dauer des Verzögerungsniveaus $t_{niveau}$	-	-	-	-
Dynamische Gesamtdeformation $s_{max}$	•	-	•	•

• = signifikant auf dem Niveau 5 %,  
◦ = tendenziell signifikant < 10 %, - = nicht signifikant > 10 %

Tab. 7.12: Ergebnis des Signifikanztests der Klassen I und II, aufgeteilt nach Front und Heck für verschiedene Variablen, Signifikanzniveau  $\alpha = 5\%$

Variablen	Gesamt Front (n = 100)	Gesamt Heck (n = 72)
Testgewicht $m$	•	-
Maximale Verzögerung $a_{max}$	-	-
Zeit bis zum auftreten der maximalen Verzögerung $t_{max}$	•	•
Erstanstieg der Verzögerung grad $a_{an}$	•	•
Abfall der Verzögerung grad $a_{ab}$	-	-
Gesamte Verzögerungsdauer $t_{ges}$	-	-
Dauer des Verzögerungsniveaus $t_{niveau}$	-	-
Mittelwert der Verzögerung über der gesamten Verzögerungsdauer $a_m$	•	•
Mittelwert der Verzögerung über der Dauer des Verzögerungsniveaus $t_{niveau}$	-	-
Dynamische Gesamtdeformation $s_{max}$	•	•

• = signifikant auf dem Niveau 5 %,  
◦ = tendenziell signifikant < 5 %, - = nicht signifikant > 5 %

Tab. 7.13: Ergebnis des Signifikanztests von Gesamt Front und Gesamt Heck, aufgeteilt nach Front und Heck für verschiedene Variablen, Signifikanzniveau  $\alpha = 5\%$

allen Klassen bis auf Klasse II Front signifikant. Die Zeit nimmt über die Jahre ab. Weiterhin bedeutsam ist der Erstanstieg der Verzögerung. Bei Klasse I Front und Heck ist diese Variable eindeutig und bei der Klasse II Front tendenziell signifikant. Der Abfall der Verzögerung, der am Ende des Verlaufs bestimmt wurde, ist bei neueren getesteten Modellen des AZT steiler als bei älteren. Ebenfalls signifikant und zumindest zweimal tendenziell signifikant fällt die mittlere Verzögerung auf. Sie ist im Schnitt bei den neueren Fahrzeugmodellen höher als bei den älteren. Eine deutliche Signifikanz zeigt sich bei der dynamischen Gesamtdeformation, die über die Jahre abgenommen hat.

Wird zudem betrachtet, zwischen welchen Zeiträumen sich die signifikanten Änderungen herausgestellt haben, so sind sehr häufig die Zeiträume bis 1995 und 1996 bis 2000 zu nennen. Eine Signifikanz zwischen den Zeiträumen bis 1995 und 2001 bis 2003 tritt zudem häufig auf. Sehr selten kann eine signifikante Änderung zwischen den Zeiträumen 1996 bis 2000 und 2001 bis 2003 festgestellt werden.

Bei Betrachtung aller Front- und aller Heckversuche in einem weiteren Signifikanztest zeigt sich, dass die Masse nur noch bei den Frontversuchen signifikant wird (vgl. Tabelle 7.13). Bei den Variablen Zeitdauer bis zur maximalen Verzögerung, Steigung zu Beginn der Verzögerung und Mittelwert der Verzögerung sind jedoch bei allen Front- und Heckversuchen bedeutsame Veränderungen feststellbar.

In Anlehnung an Tabelle 7.13 können zusammengefasst tendenziell folgende Änderungen der einzelnen Kennwerte aus den Verzögerungsverläufen der AZT-Daten über dem Prüfling für Front- und Heckversuche festgestellt werden:

- Testgewicht  $m$ :  
höher  $\uparrow$ ,
- maximale Verzögerung  $a_{max}$ :  
unverändert  $\rightarrow$ ,
- Zeitdauer bis zum Auftreten der maximalen Verzögerung  $t_{max}$ :  
kürzer  $\downarrow$ ,
- gesamte Verzögerungsdauer  $t_{ges}$ :  
gleich  $\rightarrow$ ,
- Mittelwert der Verzögerung über der gesamten Verzögerungsdauer  $a_m$ :  
größer  $\uparrow$ ,

- Dauer des Verzögerungsniveaus  $t_{niveau}$ :  
unverändert  $\rightarrow$ ,
- Mittelwert der Verzögerung über der Dauer des Verzögerungsniveaus  $a_{niveau}$ :  
unverändert  $\rightarrow$ ,
- Erstanstieg der Verzögerung grad  $a_{an}$ :  
steiler  $\uparrow$ ,
- Abfall der Verzögerung grad  $a_{ab}$ :  
unverändert  $\rightarrow$ ,
- dynamische Gesamtdeformation  $s_{max}$ :  
kleiner  $\downarrow$ ,

Inwieweit sich diese Aussagen auf die Gesamtheit aller innerhalb der letzten Jahre auf den Markt gekommenen Fahrzeuge übertragen lassen, bleibt fraglich. Die Stichproben sind selektiv und die Gruppengrößen sind klein.

## 8 Zusammenfassung

Die Zahl der Verletzungen und die Verletzungsschwere der Insassen bei Pkw-Unfällen haben im Laufe der letzten Jahrzehnte in ihrer Gesamtheit abgenommen, was auf die gestiegene passive Sicherheit der Fahrzeuge zurückzuführen ist. Diese Abnahme gilt jedoch nicht für Halswirbelsäulen-Distorsionen (HWS-Distorsionen), speziell bei Unfällen im unteren Geschwindigkeitsbereich. Obwohl in vielen Untersuchungen die Konstruktion der Sitze und eine mangelhafte Einstellung der Kopfstützen als ausschlaggebende Faktoren für die Entstehung von HWS-Distorsionen angesehen werden, so ist doch von einem multifaktoriell bedingten Geschehen auszugehen. Auch die Anprallrichtung und der Beschleunigungsimpuls spielen eine Rolle. Insgesamt betrachtet scheint die Befundlage in Bezug auf Risikofaktoren, die zur Entstehung von HWS-Distorsionen beitragen, noch nicht eindeutig zu sein. Obwohl einige Parameter konsistent in Untersuchungen als Risikofaktoren genannt werden, können diese das Störungsbild und seine Entstehung nicht ausreichend erklären, sodass weitere Forschungen in diesem Bereich unternommen werden müssen.

Daraus leitet sich die Aufgabenstellung ab, konstruktive Veränderungen, die durch den Versicherungseinstufungstest bedingt werden, zu untersuchen.

chen. Mit Hilfe des Versicherungseinstufungstests wird nämlich die Typklasse eines neuen Modells festgelegt. Eine reparaturfreundliche Karosserie führt zu einer günstigen Typklasse. Es wird dann betrachtet, welchen Einfluss die konstruktiven Veränderungen auf die Beschleunigungs- und Verzögerungsimpulse des Fahrzeuginnenraums im Crashfall haben. Versuche zum Fußgängerschutz wurden einvernehmend nicht durchgeführt, da die Fahrzeuge noch nicht konsequent nach Fußgängerschutzkriterien konzipiert werden.

In einem ersten Schritt werden internationale Versicherungssysteme analysiert und die Bedeutung von Versicherungseinstufungstests bzw. Tests der Versicherungswirtschaft aufgeführt. Aus diesen Erkenntnissen lassen sich dann Anforderungen an die Fahrzeugstruktur ableiten. Danach werden Fahrzeugstrukturen analysiert. Hierbei werden die Strukturteile betrachtet, die im Hinblick auf die Tests der Versicherungswirtschaft die größte Relevanz haben. Es wird darauf geachtet, wie sich diese Strukturen im Laufe der Fahrzeuggenerationen geändert haben und welche Auswirkungen dadurch auf die Einstufung in der Typklasse zu verzeichnen sind. Anschließend werden Crashversuche mit Teilstrukturen durchgeführt und Crashversuche der Versicherungswirtschaft mit Volfahrzeugen betrachtet.

Bei der Analyse der Versicherungssysteme zeigt sich, dass in Deutschland die Prämien in den Pkw-Versicherungen (Teil-, Voll- und Haftpflichtversicherung) durch Zuordnung der Pkw-Modelle in Typklassen bestimmt werden. Bis 1996 war die Leistung eines Pkw Haupteinstufungskriterium für die Versicherungen. Nun wird die Zuordnung in die Typklassen von zwei dominanten Einflussgrößen bestimmt, nämlich der Schadenshäufigkeit und der Schadenshöhe, die die Versicherer aus ihren statistischen Daten beziehen. Bei der Ersteinstufung eines Pkw in die Vollversicherung dient der Versicherungseinstufungstest des RCAR/AZT (Prüfgeschwindigkeit 15 km/h im Front- und Heckbereich) zur Bestimmung der Schadenshöhe und damit zur Einstufung in eine Typklasse. Großbritannien hat ein vergleichbares Typklassensystem wie Deutschland. In vielen weiteren Staaten dient dieser Test zur Bewertung der Reparaturfreundlichkeit von Pkw. In den USA wird die Reparaturfreundlichkeit durch den Crashtest des Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) bewertet, bei dem die Aufprallgeschwindigkeit bei 8 km/h liegt.

Eine wichtige Anforderung an die Querträgersysteme des Front- und Heckbereichs aus Sicht der Hersteller ist daher, bei einem Versicherungseinstufungstest den Schaden so gering wie möglich zu halten. Dazu haben nahezu alle Neufahrzeuge Querträgersysteme mit Absorptionselementen, die die Crashenergie gezielt aufnehmen und kostengünstig gewechselt werden können. Eine kostenintensive Beschädigung der Längsträger, wie bei Vorgängermodellen ohne vergleichbare Absorptionselemente, kann verhindert werden. Günstigere Versicherungsprämien sind die Folge.

Versuche der Versicherungswirtschaft haben gezeigt, dass die Querträgersysteme zum Teil so weit optimiert wurden, dass bei leichter Abänderung der Testprozedur im Hinblick auf den RCAR/AZT-Test die Energieabsorptionselemente versagen können und so erheblich höhere Reparaturkosten entstehen. Dies wurde als Anlass genommen, den in Deutschland gültigen Versicherungseinstufungstest verschärft abzuändern. Durch die geänderte Anprallsituation werden die Hersteller dazu veranlasst, die Energieabsorptionselemente (Crashboxen, Pralldämpfer) steifer zu gestalten.

Damit Fahrzeughersteller ein Höchstmaß an Insassenschutz bei Frontalaufprallen im Hochgeschwindigkeitsbereich bieten können, müssen bereits durch die vordersten Strukturelemente hohe Crashlasten erzielt werden, die sich so am Energieabbau bedeutend mit beteiligen können.

Durch die neue europäische Richtlinie zum Fußgängerschutz nach 2003/102/EG müssen hinter der Stoßfängeraußenhaut und vor dem massiven Querträger weiche Energieabsorptionselemente untergebracht werden. Diese dienen zur Erfüllung der Auftreffprüfung mit dem Beinimpaktor. Der Bauraum für die Querträger und die Energieabsorptionselemente wird dadurch weiter eingeschränkt. Um diesen Effekt zu kompensieren und einen effektiven Energieabbau bei kurzen Stopp-längen zu gewährleisten, wird die Steifigkeit der Strukturelemente im Frontbereich (Querträger, Crashboxen) weiter erhöht.

In den letzten Jahren sind daher die Anforderungen an die Querträgersysteme – im Hinblick auf die zuvor dargestellten Einflüsse – gestiegen. Erklärtes Ziel der Hersteller ist, die Systeme weiterhin zu optimieren, was eine Erhöhung der mittleren Crashlast bei gleichzeitiger Reduzierung des Deformationswegs bedeutet. Diese Maßnahmen bedeuten

zugleich eine erhöhte Innenraumverzögerung (schnellerer Anstieg, höhere mittlere Verzögerung) bei Crashes im gesamten Geschwindigkeitsbereich. Für die Zukunft befinden sich Ansätze wie Hybridstrukturen, Elemente aus Aluminiumschäumen oder die Gestaltung zusätzlicher Lastpfade in der Untersuchung.

Im Detail wurde anschließend eine Korrelation zwischen konstruktiven Veränderungen am Fahrzeug und empirisch bestimmten Verzögerungsverläufen hergestellt. Es zeigt sich, dass eine günstige Einstufung in der Fahrzeugvollversicherung nicht gleichbedeutend höhere Verzögerungsimpulse für den Innenraum liefert. Hersteller begegnen der Forderung nach günstigen Reparaturkosten verstärkt durch Einsatz der bereits erwähnten Absorptionselemente.

Wird die Anregung des menschlichen Körpers durch den Sitz mit weichem Sitzpolster zwischen Rücken und Sitzlehne betrachtet, so finden sich empirisch bestimmte Eigenkreisfrequenzen von 5 Hz. D. h., bei höheren Frequenzen findet eine vernachlässigbare Übertragung des Impulses statt. Zudem tritt die größte Wahrnehmungsstärke für den menschlichen Kopf bei horizontalen Erregerfrequenzen unter 10 Hz auf. Die gemessenen Verzögerungsimpulse aus den Versuchen wurden neben einer Standardfilterung mit 60 Hz (CFC 60) daher zusätzlich mit 10 Hz gefiltert (CFC 10).

Es wurden 172 Fahrzeugverzögerungsverläufe aus Front- und Heckversuchen des Allianz-Zentrums für Technik ausgewertet, die sich am Einstufungstest orientieren. Bei den Frontversuchen fährt das Fahrzeug gegen eine Barriere, bei den Heckversuchen wird ein Auffahrunfall simuliert. Die Versuche verteilen sich über die Jahre 1992 bis 2003, wobei das Allianz-Zentrum für Technik neu auf den Markt kommende Fahrzeugmodelle getestet hat. Aus den Verzögerungsverläufen wurde eine Reihe von Kennwerten bestimmt. Werden nun Mittelwerte gebildet und stellt man diese einander gegenüber, so zeichnen sich statistisch bedeutsame Änderungen in den Verzögerungsverläufen der Front- und Heckversuche über die Prüffahre ab:

- Anstieg der Verzögerung hat zugenommen  $\uparrow$ ,
- Mittelwert der Verzögerung wurde größer  $\uparrow$ ,
- Zeitdauer bis zum Auftreten der maximalen Verzögerung wurde kürzer  $\downarrow$ .

Weiterhin hat sich die dynamische Gesamtdeformation signifikant verkleinert.

In Bild 8.1 sind hierzu beispielhaft die Verzögerungsverläufe (CFC 10) der Frontversuche für drei Zeiträume (bis 1995, 1996 bis 2000 und ab 2001) dargestellt. Die zuvor aufgeführten Ergebnisse lassen sich bei Betrachtung der Verläufe bestätigen. Besonders deutliche Unterschiede zeichnen sich zwischen den Zeiträumen bis 1995 und ab 2001 ab.

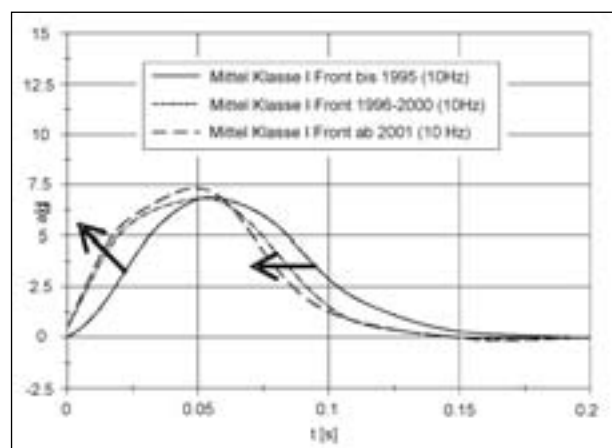
Inwieweit sich diese Aussagen auf die Gesamtheit aller innerhalb der letzten Jahre auf den Markt gekommenen Fahrzeuge übertragen lassen, bleibt fraglich, da die Stichprobe selektiv und zudem mit 172 Fahrzeugen klein ist.

Auf die betrachteten 172 Versuche des Allianz-Zentrums für Technik haben die Maßnahmen zum Fußgängerschutz keinen nennenswerten Einfluss, da erst bei Modellen ab 2003 deutliche Änderungen vorgenommen wurden. Unter diesem Aspekt wird vermutet, dass sich die Fahrzeugverzögerungen bei Crashes im Frontbereich noch deutlicher in die zuvor aufgezeigten Richtungen verlagern.

Die Untersuchung führt zu dem Ergebnis, dass die Verzögerungs- bzw. Beschleunigungsimpulse bei Crashes im Heck- als auch im Frontbereich auf den Fahrgastraum in den letzten Jahren zugenommen haben. Da es im selben Zeitraum auch eine Erhöhung der Anzahl an Personen mit HWS-Verletzungen gab, deutet dies auf einen zumindest korrelativen Zusammenhang hin.

Die Änderung der Verzögerungs- bzw. Beschleunigungsimpulse kann neben dem Versicherungseinstufungstest durch folgenden Einfluss begründet werden:

Um den Insassen bei einem Crash im Hochgeschwindigkeitsbereich einen höchstmöglichen



**Bild 8.1:** Verzögerungsverläufe der Frontversuche für die Zeiträume bis 1995, 1996-2000 und ab 2001

Schutz zu bieten, müssen bereits die für den Versicherungseinstufungstest relevanten Crashteile steif ausgelegt sein.

Wenn es sich nun bestätigt, dass ein höherer Verzögerungs- bzw. Beschleunigungsimpuls einen Einfluss auf die Auftretenswahrscheinlichkeit von HWS-Verletzungen hat, so sollten die Sitzstrukturen weiter optimiert werden, um diese Auswirkungen zu kompensieren.

Diesem Zielkonflikt kann aber auch damit begegnet werden, aktive Crashboxen im Fahrzeug zu verbauen. Hierdurch ließen sich dem Crashfall angepasste Kraft-Weg-Kennlinien einstellen. Solche Systeme ließen sich z. B. über die Precrash-Sensorik ansteuern, die für die passive und aktive Sicherheit bei Fahrzeugen ohnehin Anwendung finden werden. Die Steuerung dieser Systeme kann z. B. selbstständig oder durch die zukünftig ohnehin eingesetzten Precrash-Sensoren erfolgen.

## 9 Literatur

- [1] ADAM, H. (1995): Untersuchung zur Optimierung der Energieabsorptionseigenschaften von Karosseriestrukturen, Schriftenreihe Automobiltechnik, Institut für Kraftfahrwesen Aachen
- [2] ADAM, H.: Innovativer Leichtbau mit Stahl. VDI Bericht. ThyssenKrupp Stahl
- [3] Allianz-Versicherung-AG (1996): Keine HWS-Verletzungen nach Bagatellschäden [Online-Artikel]. Verfügbar unter: [http://www.allianz-azt.de/azt.allianz.de/Kraftfahrzeugtechnik/Content/Seiten/Presse/Pressearchive/bis\\_1997/kein\\_hws\\_nach\\_bagatellschaeden.html](http://www.allianz-azt.de/azt.allianz.de/Kraftfahrzeugtechnik/Content/Seiten/Presse/Pressearchive/bis_1997/kein_hws_nach_bagatellschaeden.html) [05.09.2005]
- [4] Allianz-Versicherung-AG (2003): Neuer Reparaturcrashtest [Online-Artikel]. Verfügbar unter: <http://www.allianz-azt.de/azt.allianz.de/Kraftfahrzeugtechnik/Content/Seiten/Forschung/Deformation/Crashtest/Seiten/front-crashneu.html> [25.10.2005]
- [5] ANSELM, D. (1997): Die Pkw-Karosserie, Vogel-Verlag
- [6] AUDI AG (2005): Elektronischer Teilekatalog der Volkswagen- und Audi-Vertragshändler
- [7] BAUN, R. (1999): Die Vielfalt der Werkstoffe – Ein Garant für den Fortschritt im Automobilbau. In: Werkstoffe im Automobilbau 99/00, Sonderheft der Automobiltechnischen Zeitschrift, S. 4-13
- [8] BAUM, R., GOPPEL, G. (2002): Stahl bleibt die Nummer 1 im Karosseriebau. In: Automobiltechnische Zeitschrift, Wiesbaden, Jahrgang 104, Heft 12, S. 1102
- [9] BOCKELMANN, W., LEMKE, H., VOKÁL, P., WINTERKOERN, M. (2000): Der neue Skoda Fabia. In: Automobiltechnische Zeitschrift. Jahrgang 102, Heft 2, S.12-31
- [10] BRAESS, H. H. (1992): Die Karosserie – typisches Beispiel für Zielkonflikte und Zielkonfliktlösungen für Automobile. VDI Berichte Nr. 968. München: VDI
- [11] BREITLING, T., BREUER, J. (2005): Aktive und passive Sicherheit. In: Die neue S-Klasse von Mercedes-Benz, Sonderheft der Automobiltechnischen Zeitschrift, S. 118-133
- [12] BRÜCK, M. (1999): Darstellung konstruktiver Merkmale reparaturfreundlicher Karosserien unter Einbeziehung von Crashreparaturtests an den Fahrzeugen VW New Beetle und VW Lupo, Diplomarbeit Fachhochschule Trier
- [13] CASTRO, W. H., SCHILGEN, M., MEYER, S., WEBER, M., PEUKER, C. & WORTLER, K. (1997): Do „whiplash injuries” occur in low-speed rear impacts? European Spine Journal, 6 (6), S. 366-375
- [14] DOMININGHAUS, H. (1988): Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften. 3. Auflage, VDI-Verlag, Düsseldorf
- [15] DYCKHOFF, J., HALDENWANGER, H.-J. (1999): Faserverbundwerkstoff-Träger mit Crashfunktion. In: Automobiltechnische Zeitschrift, S. 574-579
- [16] ERNSTBERG, U., SCHÖNEBURG, R., COLMSEE, H., MAU, H.-J. (2000): Rohkarosserie und passive Sicherheit der neuen C-Klasse. In: Automobiltechnische Zeitschrift, Heft 7/8, Seite 508-515
- [17] Eurotax Schwacke: Versuchsreihe Crash-Test des Allianz-Zentrums für Technik. 1992 bis 2003
- [18] FARR, G. (2002): Low speed rear-impact collisions – physical laws related to injuries incurred [Online-Artikel]. Chiropractic



- Research. Verfügbar unter: <http://www.becomehealthynow.com/article/chiroresearch/615/> [05.09.2005].
- [19] FREEMAN, M. D. (2005): Whiplash: Low Speed crashes can inflict long-term pain [Online-Artikel]. Verfügbar unter: <http://www.safetyforum.com/lowspeed/index.html> [13.06.2005]
- [20] FRIESEN, F., WALLENTOWITZ, H., PHILLIPS, M. (2001): Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen
- [21] Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft (2004): Typklassenverzeichnis Pkw der Kraftfahrzeughaftpflichtversicherung und Fahrzeugversicherung. Stand 01.10.2004
- [22] GIAZITZIS, G.: Entwicklung und Fertigung der Ford-Focus-Karosserie. In: Der neue Ford Focus. Sonderausgabe der Automobiltechnischen Zeitschrift, Jan. 1999
- [23] GLÜCK, A. (2005): Konstruktiver Einfluss des Vorder- und Hinterwagens auf den Kaskoeinstufungstest. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Trier, Fachbereich Maschinenbau und Fahrzeugtechnik
- [24] GOTZMANN, G. (1999): Serieneinsatz für eine neue Technologie. In: Werkstoffe im Automobilbau 99/00, Sonderheft der Automobiltechnischen Zeitschrift, S. 52-55
- [25] HABERER, K. H. (2000): Das Stoßfängersystem des Audi A4. In: Der neue Audi A4, Sonderheft der Automobiltechnischen Zeitschrift, S. 55-56
- [26] HUTMANN, P., KALKE, P. (1998): Der Wettbewerb der Werkstoffe im Automobilbau. In: Werkstoffe im Automobilbau 98/99, Sonderheft der Automobiltechnischen Zeitschrift. S. 6-11
- [27] Insurance Institute for Highway Safety (2005): Construction and Assembly Drawings for IIHS/RCAR Bumper Barrier [Onlinedokument]. Verfügbar unter [http://www.iihs.org/ratings/protocols/pdf/iihs\\_rcar\\_barrier.pdf](http://www.iihs.org/ratings/protocols/pdf/iihs_rcar_barrier.pdf) [07.11.2005]
- [28] Insurance Institute for Highway Safety (2002a): Low-Speed Test Protocol (Version V). May 2002
- [29] Insurance Institute for Highway Safety (2002b): Same Cars? Not exactly. Vol. 37 (3), March 16, 2002
- [30] Insurance Institute for Highway Safety (1999): Status Report. Special Issue: neck injuries in rear-end crashes. Vol. 34 (5), May 22, 1999
- [31] JÜNGLING, L.; BECK, M. J.; SCHÜßLER, R.: Auslegung einer Crashboxgeometrie unter besonderer Berücksichtigung der Funktionsfähigkeit beim Schrägaufprall mit begrenztem Impulswinkel. VDI-Bericht Nr. 1543. Waldaschaff: WAGON Automotive GmbH, 2000
- [32] KETTLER, A., FRUTH, K., HARTWIG, E., CLAES, L. & WILKE, H. J. (2004): Correlation between neck injury risk and impact severity parameters in low-speed side collisions. Spine, 29 (21), S. 2404-2409
- [33] KRAFFT, M., KULLGREN, A., TINGVALL, C., BOSTROM, O. & FREDRIKSSON, R. (2000): How crash severity in rear impacts influences short- and long-term consequences to the neck. Accident; analysis and prevention, 32 (2), S. 187-195
- [34] KRÖNING, A. (2005): Development and Validation of High Strength Steel Solutions for Bumper Systems. Tagungsband des 14. Aachener Kolloquiums Fahrzeug- und Motorentechnik 2005, S. 715-728
- [35] KULLGREN, A., KRAFFT, M., NYGREN, A. & TINGVALL, C. (2000): Neck injuries in frontal impacts: influences of crash pulse characteristics on injury risk. Accident; analysis and prevention, 32 (2), S. 197-205
- [36] LANARD, J.-L., LESTAVEL, J., GUINEHUT, S. (2002): Crashbox mit Aluminiumschaum. In: Automobiltechnische Zeitschrift, Heft 11, S. 996-1001
- [37] LEITERMANN, W., WÄTZOLD, P., ZENGEN, K. H. (1999): Der Aluminium-Space-Frame des Audi A2. In: Der neue Audi A2, Sonderheft der Automobiltechnischen Zeitschrift, S. 68-79.
- [38] LUTZ, K., FRANK, S. (1999): Fortschritt im Automobilbau – Sicherheit durch Aluminiumstrukturen. In: Automobiltechnische Zeitschrift, Heft 2, S. 68-73

- [39] MAYER, H., VENIER, F., KOGLIN, K. (2002): Die ASF-Karosserie des Audi A8. In: Der neue Audi A8, Sonderheft der Automobiltechnischen Zeitschrift, S. 94-108
- [40] Mercedes-Benz AG (2005): Elektronischer Teilekatalog der Mercedes-Benz-Vertragshändler
- [41] MORSCH D., SCHWALDAT J.: Das Karosseriekonzept des neuen Golf – Vom Dach bis zum Schweller, VDI-Bericht Nr. 968, Entwicklungen im Karosseriebau, Düsseldorf, 1992
- [42] Peugeot (2005): Elektronischer Teilekatalog der Peugeot-Vertragshändler
- [43] NOHR, M. (2005): Vorlesung Verbundwerkstoffe/Energieabsorption an der Technischen Universität Kaiserslautern, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, WS 2004/2005
- [44] Research Council for Automotive Repairs (1995): Vehicle Design Features for Optimum Low Speed Impact Performance. Research Council for Automotive Repairs, 1995
- [45] Research Council for Automotive repairs (1999): The Procedure for Conducting a Low-Speed 15km/h Offset Insurance Crash Test to Determine the Damageability and Repairability Features of Motor Vehicles. Research Council for Automotive Repairs, 1999
- [46] RICHTER, M., OTTE, D. & BLAUTH, M. (1999): Beschleunigungsverletzung der HWS beim gurtgeschützten Pkw-Fahrer. Untersuchungen zu Unfallmechanismus und Verletzungsschwere. Der Orthopäde, 28, S. 414-423
- [47] RICHTER, M., OTTE, D., BLAUTH, M., POHLEMANN, T. & TSCHERNE, H. (2000): Beschleunigungsverletzung der HWS beim gurtgeschützten Pkw-Fahrer. Häufigkeit, Ursachen und Langzeitergebnisse. Der Unfallchirurg, 103, S. 22-29
- [48] ROBERTS, K. (2000): The Insurance Group Rating System for Cars, Paper to the 5<sup>th</sup> International Handelsblatt Annual Conference in Berlin
- [49] RÜTER, G. (1999): Vorlesungsumdruck Fahrzeugaufbau, Fachhochschule Trier, Fachbereich Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, 1998/99
- [50] SCHNEIDER, S. (2004): Konstruktive Einflüsse auf den Kaskoeinstufungstest. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Trier, Fachbereich Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, 2004
- [51] SCHÖNEBURG, R., BACHMANN, R., REMMEN, T. (2002): Sicherheit auf höchstem Niveau. In: Die neue Mercedes-Benz E-Klasse, Sonderheft der Automobiltechnischen Zeitschrift, S. 46-51
- [52] SCHULER, S., MOOIJMAN, F., NANDA, A. (2003): Bumper Systems Designed for Both Pedestrian Protection and FMVSS Requirements. SAE Technical Paper Series Nr. 2003-01-0214. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [53] SEIBERT, W. (2003): Technologietrends in der Pkw-Karosserie, Vortrag im Rahmen der Veranstaltungsreihe des Branchenforums Fahrzeugbau/Automatisierungstechnik in Zusammenarbeit mit automotive.saarland, Kuhn GmbH, St. Wendel, 28. Oktober 2003
- [54] SIEGMUND, G. P., HEINRICHS, B. E., CHMICH, D. D., DEMARCO, A. L. & BRAULT, J. R. (2005): The effect of collision pulse properties on seven proposed whiplash injury criteria. Accident, analysis and prevention, 37 (2), 275-285
- [55] STICHWEH, E., GÖTZ, W. (2000): Harte Schale. In: Der neue Ford Mondeo, Sonderheft der Automobiltechnischen Zeitschrift, S. 58-64
- [56] STOLZENBERG, A., WOIDASKY, J. (2003): Verwertungspotenzial für Kunststoffteile aus Altfahrzeugen in Deutschland, Gutachten für das Umweltbundesamt, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie
- [57] THEINERT, B., SCHEEF, J. (2000): Fahrzeugsicherheit im Audi A4. In: Der neue Audi A4, Sonderheft der Automobiltechnischen Zeitschrift, 2000, S. 46-54
- [58] TUCKER, J. (1995): Injury with low-speed collisions [Online-Artikel]. Dynamic Chiropractic, 13 (12), May 22, 1995. Verfügbar unter: <http://www.chiroweb.com/archives/13/11/13.html> [23.06.2005]

- [59] VIANO, D. C. (2003a): Influence of seat properties on occupant dynamics in severe rear crashes. *Traffic injury prevention*, 4 (4), S. 324-336
- [60] VIANO, D. C. (2003b): Seat influences on female neck responses in rear crashes: a reason why women have higher whiplash rates. *Traffic injury prevention*, 4 (3), S. 228-239
- [61] VIANO, D. C. (2003c): Seat properties affecting neck responses in rear crashes: a reason why whiplash has increased. *Traffic injury prevention*, 4 (3), 214-227
- [62] Volkswagen AG (2005): Elektronischer Teilekatalog der Volkswagen-Vertragshändler
- [63] WALLENTOWITZ, H. (1997): Vertikal- und Querdynamik von Kraftfahrzeugen. Vorlesungsumdruck Kraftfahrzeuge II. Institut für Kraftfahrwesen Aachen. 2. Auflage
- [64] WANKE, T., KÖNIG, P. (2005): Das Karosseriekonzept des neuen Opel Zafira. Tagungsband des 14. Aachener Kolloquiums Fahrzeug- und Motorentechnik 2005, S. 607-614
- [65] WELO, T., HOLTHE, R. (2005): Bumper System Designs based on Formed Aluminium Extrusions. Tagungsband des 14. Aachener Kolloquiums Fahrzeug- und Motorentechnik 2005, S. 729-738
- [66] Welt am Sonntag (2001): Crashtest für die Typklasse. *Welt am Sonntag* (Berlin) 01.07.2001. Artikel online abrufbar unter <http://www.welt.de/daten/2001/07/01/0701ab264495.htx> [13.11.2005]
- [67] WINKELGRUND, R. (1998): ULSAB-Ultraleichte Stahlkarosserie fertig gestellt. In: *Werkstoffe im Automobilbau*, Sonderausgabe der *Automobiltechnischen Zeitschrift*, S. 76-80

## 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 Typprüfverfahren  
Richter, Michelmann  
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge 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 Lichttransmission von Pkw-Scheiben  
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagesschärfe  
P. Junge  
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagesschärfe  
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 Straßenbedingungen  
Schmieder, Bley, Spickermann, von Zettlmann € 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 „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“  
Nicklisch € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen  
Sagerer, Wartenberg, Schmidt € 12,50
- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen – Problemanalyse 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 kurzzeitiger Motorabschaltung  
Bugsel, Albus, Sievert € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase  
Berg, Mayer € 19,50

### 1998

- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes  
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, Krems € 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
- F 54: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw  
Niewöhner, Berg € 16,50

## 2005

- F 55: 1<sup>st</sup> International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 3<sup>rd</sup>/4<sup>th</sup> September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

## 2006

- F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel  
Bach, Rüter, Carstengerdes, Wender, Otte € 17,00
- F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufeigenschaften  
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels € 15,00
- F 58: Bestimmung von Nutzfahrzeugausschleppfaktoren  
Steven, Kleinebrahm € 15,50
- F 59: Hochrechnung von Daten aus Erhebungen am Unfallort  
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 15,50
- F 60: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit  
Vollrath, Briest, Schießl, Drewes, Becker € 16,50

## 2007

- F 61: 2<sup>nd</sup> International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 1<sup>st</sup>/2<sup>nd</sup> September 2006 at Hannover Medical School € 30,00
- F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit  
Rüter, Zoppke, Bach, Carstengerdes € 16,50

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

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.