

Ergebnisse eines Crashtests mit einem Oldtimer

Einleitung

Im Rahmen der Einweihung der neuen Indoor-Crash-Test-Bahn des DEKRA Crash Test Centers Neumünster am 7. Juli 2004 wurde ein Oldtimer vom Typ Cadillac Coupé deVille Baujahr 1974 einem instrumentierten Frontalanprall-Test unterzogen. Die Motivation der Abteilung für Öffentlichkeitsarbeit der DEKRA Automobil GmbH war bei der Einweihung der Anlage in Anbetracht des anwesenden Fachpublikums und der Medien ein nicht alltägliches, technisches Highlight zu setzen. Das Interesse der Techniker lag darin, einen Beitrag zur Darstellung des technischen Fortschritts der passiven Fahrzeugsicherheit in den letzten 30 Jahren anhand objektiver Testdaten zu leisten. Hierbei sollte unter anderem gezeigt werden, welche Messwerte heute auf einer modernen Crash Test Anlage generiert werden können, um diese dann mit den Daten von aktuellen und historischen Crash Tests vergleichen und diskutieren zu können. Technisch interessant ist dabei auch die Interpretation der sogenannten „Crashworthiness“ von Fahrzeugen, die in den 1970er Jahren in USA und Europa mit verschiedenen Ansätzen und Sichtweisen diskutiert wurde.

Instrumentierte Aufpralltests mit Personenkraftwagen wurden bereits Ende der 1970er Jahre in den USA im Rahmen des sogenannten NCAP-Programms durchgeführt. NCAP ist die Abkürzung für „New Car Assessment Program“. Hierbei werden kontinuierlich Fahrzeuge diversen Crash Tests unterzogen, deren Ergebnisse bewertet und veröffentlicht werden. Der interessierte Verbraucher kann sich so über die Eigenschaften der passiven Sicherheit von für ihn interessanten Fahrzeugen informieren und dies in seine Kaufentscheidung einbeziehen. Entsprechende veröffentlichte Tests wurden in Europa erst viele Jahre später durchgeführt, z. B. von der Zeitschrift Auto Motor und Sport und vom ADAC. Heute ist hier das EURO-NCAP-Programm europaweit etabliert und die Testergebnisse gehen auch in die Fahrzeugwerbung ein.

Die Bewertung der Testergebnisse eines jeden Fahrzeuges erfolgt dabei mit einem sogenannten Sterne-System. Im Falle des US-NCAP reicht die Bewertungsskala dabei von einem Stern (Risiko schwerer Verletzungen größer als 47 %) bis zu fünf Sternen (Risiko schwerer Verletzungen geringer als 10 %). Für das Mo-

dell deVille der Marke Cadillac, Baujahr 1979, wurden beim Frontalaufprall mit 35 mph (56 km/h) Geschwindigkeit für den Fahrer 3 Sterne vergeben und für den Beifahrer 1 Stern. Bei 3 Sternen beträgt das Risiko schwerer Verletzungen 21 bis 35 %. Leider stehen heute außer dem Ergebnis der Bewertung zu diesen historischen Tests keinerlei veröffentlichte Fotos oder gar Messwerte mehr zur Verfügung.

Vor diesem Hintergrund bestand ein großes fachliches Interesse, einen entsprechenden Test auf einer modernen Crash Test Anlage nachzuvollziehen. So können einerseits die Bewertungen der frühen Tests anhand von Messergebnissen nachvollzogen werden. Zudem liegen eine Vielzahl weiterer Messwerte vor, die damals noch nicht gemessen wurden, wie Belastungen an Hals, Knien, Unterschenkeln und Füßen der Insassen und die Reaktionskräfte am Aufprallblock.

Diese Messwerte und das Verhalten der Karosserie- und Rahmen-Struktur eines entsprechenden Fahrzeuges war auch für die anwesenden Fachleute aus der Fahrzeugindustrie von Interesse. Im Rahmen der Lehre besteht Bedarf an entsprechenden Testergebnissen, um für angehende Ingenieure der heutigen Generation den Stand, den die passive Fahrzeugsicherheit vor 30 Jahren hatte, auch in Details nachvollziehbar zu machen, und um die Fortschritte, welche hier in den vergangenen Jahrzehnten gemacht wurden, anschaulich darzustellen.

Testkonfiguration

Als Testfahrzeug wurde ein Cadillac Coupé deVille Baujahr 1974 ausgewählt (**Bild 1**).



Bild 1: Versuchsfahrzeug Cadillac Coupé deVille

Voraussetzung für einen im vorstehend genannten Sinn aussagefähigen und reproduzierbaren Crash Test war ein guter Erhaltungsgrad der Karosserie und der tragenden Strukturen des Fahrzeuges. Dies war bei dem ausgewählten Fahrzeug gegeben. Seine Gesamtlänge betrug 5.890 mm und sein Testgewicht inklusive Messtechnik und Dummies 2.436 kg. Fahrer und Beifahrer wurden jeweils durch einen Dummy vom Typ Hybrid III 50th percentile male repräsentiert (**Bild 2**). Dabei war der Beifahrerdummy ein Denton Next Generation. Diese Dummies der neuesten Bauart weisen unter anderem im Dummykörper untergebrachte Datenspeicher auf (In-Dummy-Data-Akquisition).



Bild 2: Fahrer- und Beifahrerdummy vom Typ Hybrid III 50th percentile male

Beide Dummies waren vollständig instrumentiert. Somit konnten biomechanisch relevante Belastungen an Kopf, Hals, Brust, Becken, Oberschenkeln, Knie, Unterschenkeln und Füßen gemessen werden. Das Fahrzeug selbst war mit Beschleunigungsaufnehmern an beiden B-Säulen, dem Kardantunnel und der Motor-Getriebeeinheit bestückt. Zusätzlich wurden noch die Gurtkräfte von Becken- und Schultergurt bei beiden Dummies gemessen. Die Anprallkonfiguration nach US-NCAP sieht vor, dass das Versuchsfahrzeug mit 35 mph (56 km/h) mit 100 % Überdeckung gegen eine starre, nicht deformierbare Barriere prallt. Zusätzlich zur US-NCAP-Vorgabe wurde die Barriere im DEKRA Crash Test Center mit einer Kraftmesswand des Herstellers und Betreibers BIA ausgerüstet. Diese Kraftmesswand erfasst die auftretenden Anprallkräfte über 128 Kraftmesszellen verteilt in x-, y- und z-Richtung.

Ergebnisse

Das Fahrzeug prallte mit 55,7 km/h gegen den Anprallblock (**Bild 3**). Die tragende Struktur des Fahrzeuges hielt den auftretenden Kräften recht gut stand.

Der Vorderwagen verformte sich in einer für derartig steif ausgelegte Fahrzeuge der 1970-er Jahre typischen Weise. Die Schweller be-

gannen am Übergang zur A-Säule zu knicken, die A-Säulen selbst stellten sich geringfügig auf. Der Überlebensraum in der Fahrgastzelle blieb weit gehend erhalten. Beide Türen ließen sich mit normaler Handkraft öffnen. Die angesichts des sehr langen Vorderwagens prinzipiell zur Verfügung stehenden Verformungswege (Abstand vordere Stoßstange – A-Säule ca. 1200 mm) wurden nicht annähernd genutzt. Ein für die kontrollierte Umwandlung von kinetischer Energie in Deformationsarbeit auf möglichst geringem Verzögerungsniveau erforderliches Faltenbeulen (sogenanntes Knautschen) der tragenden Bauelemente und der Karosserie fand ansatzweise lediglich im Bereich zwischen Stoßstange und Motorblock in einem Bereich von ca. 700 mm statt. Die Verformung des Vorderwagens war zu Ende, sobald der steife Motor auf die Barriere prallte.



Bild 3: Anprall des Versuchsfahrzeuges mit 55,7 km/h gegen den Anprallblock

Ein solches Deformationsverhalten gibt es bei modernen Personenkraftwagen (Pkw) heute nicht mehr. Bei modernen Fahrzeugen wird jeder Millimeter der zur Verfügung stehenden Knautschzone genutzt, um definiert und gleichmäßig kinetische Energie abzubauen. Die Fahrgastzelle selbst, insbesondere der Überlebensraum zwischen A- und C-Säule, bleibt dabei nach wie vor erhalten. Zudem spielen Aspekte des Partnerschutzes (Kompatibilität) eine Rolle. Bei großen und schweren Fahrzeugen, denen im Vorbau relativ lange Verformungswege zur Verfügung stehen, wird die Kraft/Weg-Kennlinie auch unter Beachtung des Schutzes der Insassen anderer kleiner Fahrzeuge bei Front/Front-Kollisionen ausgelegt.

Aufgabe des Rückhaltesystems ist es, die Fahrzeuginsassen möglichst frühzeitig an der Verzögerung des Fahrzeuges teilhaben zu lassen und dabei die biomechanischen Belastungen auf einem erträglichen Niveau zu halten. Wie hoch das Niveau der Anstoßkraft beim vorliegenden Versuch war zeigt, **Bild 4**. Die maximale Reaktionskraft, die von der Kraftmesswand beim Anprall des Cadillacs aufgezeichnet wurde, liegt bei 870 kN. Diese Kräfte sind bei modernen Pkw je nach Fahrzeuggewicht um 200 bis 300 kN geringer.

zeuggewicht um 200 bis 300 kN geringer. Es ist offensichtlich, dass die Karosseriestruktur des Cadillacs der 1970er Jahre noch nicht für eine aus heutiger Sicht optimale Energieumwandlung ausgelegt war.

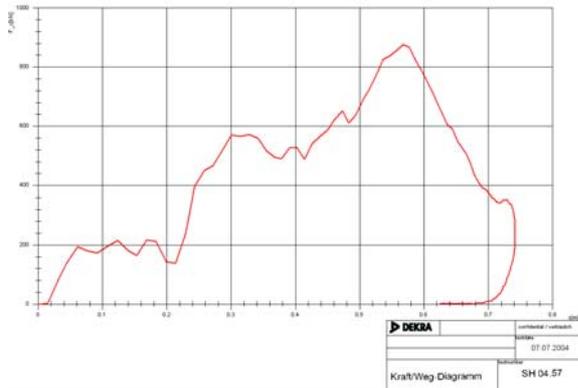


Bild 4: Kraft-Weg-Diagramm des vorliegenden Versuches

Auch die Insassen des Oldtimers waren sehr hohen Belastungen ausgesetzt. Dabei hat der Schultergurt auf der Fahrerseite den auftretenden Belastungen nicht standgehalten und versagte. Als Folge davon rutschte der Fahrerdummy unter dem Beckengurt durch (Submarining) und prallte mit beiden Knien gegen die Instrumententafel und mit dem Kopf gegen das Lenkrad. Die gemessenen Kopfbelastungen sind in **Bild 5** und in **Bild 6** dargestellt.

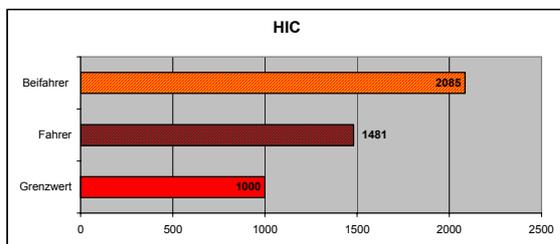


Bild 5: Gemessener HIC-Wert und zugehöriger biomechanischer Grenzwert beim vorliegenden Versuch

Der HIC-Wert, das Head Injury Criterion, ist eine dimensionslose Kennzahl für die Kopfbelastung und wird aus der resultierenden Kopfverzögerung über eine Zeitdauer von 36 ms ermittelt. Der biomechanische Grenzwert liegt bei 1.000. Beim Fahrerdummy wurde ein HIC von 1.481 und beim Beifahrerdummy ein HIC von 2.085 gemessen (**Bild 5**). Beide Werte liegen deutlich jenseits des biomechanischen Grenzwertes. Hier ist von schwersten, irreversiblen oder tödlichen Kopfverletzungen auszugehen.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei direkter Betrachtung der resultierenden Kopfverzögerung und des Kennwertes a_{3ms} . Dies ist der größte Wert der resultierenden Kopfverzögerung,

der über eine Einwirkdauer von 3 ms anliegt. Der zugehörige biomechanische Grenzwert liegt bei 80 g. Die gemessenen Werte betragen beim Fahrerdummy 102 g und beim Beifahrer 98 g (**Bild 6**). Das bedeutet, dass beispielweise auf den Kopf des Fahrerdummys das 102-fache der normalen Gewichtskraft des Kopfes eingewirkt hat. Auch hier sind schwerste oder gar tödliche Verletzungen sehr wahrscheinlich. Beim Fahrerdummy sind diese sehr hohen Messwerte dem Kopfkontakt am Lenkrad zuzuordnen.

Beim Beifahrerdummy fand kein direkter Kopfkontakt mit Instrumententafel oder anderen Karosserieteilen statt. Hier resultieren die Messwerte aus den Extremwerten der Verzögerung des Oberkörpers, die in Verbindung mit der Fahrzeugverzögerung vom Rückhaltesystem verursacht wurden und weder durch Gurtstraffer noch durch Gurtkraftbegrenzer abgemildert werden konnten. Beide Sub-Systeme waren 1974 noch nicht auf dem Markt.

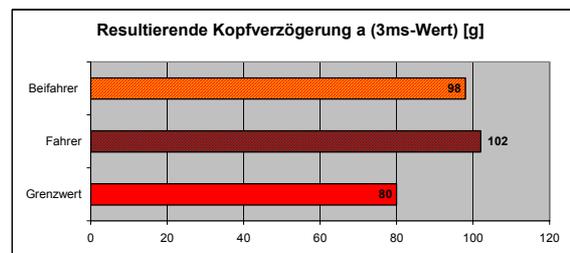


Bild 6: Gemessene Kopfverzögerung a_{3ms} und zugehöriger biomechanischer Grenzwert beim vorliegenden Versuch

Der Vorwärtsbewegung des Dummys folgt nach Bewegungsumkehr eine Rückwärtsbewegung, die unter anderem von der Rücklehne des Sitzes und der Kopfstütze aufgefangen werden muss. Der Cadillac der 1970er Jahre war bereits mit Kopfstützen ausgestattet, die auch korrekt eingestellt waren. Diese Kopfstützen sind allerdings nur in der Mitte mit der Rücklehne verbunden, so dass sie beim asymmetrischen Anprall des Kopfes nachgeben und sich zur Seite wegrehen können (**Bild 7**).



Bild 7: Endlage Fahrer- und Beifahrerdummy

Diess führte zu hohen Halsbelastungen bei der Bewegung des Kopfes nach hinten (Retroflexion). Zu erkennen ist dies bei Betrachtung des Halsbiegemomentes um die y-Achse (**Bild 8**).

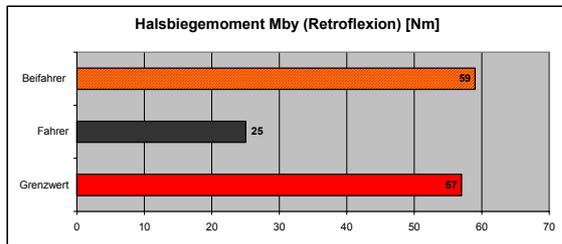


Bild 8: Gemessenes Halsbiegemoment M_{by} und zugehöriger biomechanischer Grenzwert beim vorliegenden Versuch

Beim Beifahrerdummy wurde ein Halsbiegemoment in Rückwärtsbeugung von 59 Nm gemessen. Damit wurde der biomechanische Grenzwert von 57 Nm knapp überschritten. Auch hier sind irreversible Verletzungen wahrscheinlich.

Wie bereits vorstehend erwähnt, versagte der Schultergurt auf der Fahrerseite (**Bild 9**).



Bild 9: Gerissener Schultergurt auf der Fahrerseite

Den Grund für dieses Versagen klärte eine nachträgliche Untersuchung im Rahmen eines DEKRA Gurtgutachtens. Die nähere Analyse des defekten Gurtes und ein Vergleich mit dem (intakten) Beifahrergurt ergab, dass hier offensichtlich eine unsachgemäße Reparatur der Gurtlasche zum Versagen geführt hat. Eine Naht am Gurtband war mit einem Baumwollfaden repariert worden. Im Vergleich zum Original-Faden aus Polyester weist ein solcher Baumwollfaden eine völlig unzureichende Reißfestigkeit auf. Der Gurt konnte so den beim Crash Test auftretenden hohen Kräften nicht standhalten.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Struktur der Karosserie des schweren Fahrzeuges den auftretenden Belastungen recht gut standgehalten hat. Der Überlebensraum der Insassen blieb nahezu vollständig erhalten.

Die prinzipiell zur Verfügung stehenden, sehr langen Deformationswege wurden als sogenannte Knautschzone allerdings nur unzureichend genutzt. Dies führte letztlich trotz Überlebensraum zu sehr hohen Insassenbelastungen. Der Schultergurt auf der Fahrerseite versagte infolge einer unsachgemäßen Reparatur. Dadurch prallte der Fahrerdummy mit dem Kopf gegen das Lenkrad. Dies führte zu sehr hohen Belastungen im Kopf und es ist davon auszugehen, dass irreversible bzw. tödliche Verletzungen die Folge gewesen wären. Auch die Kopf- und Halsbelastungen des Beifahrerdummys lagen ohne direkte Anprallkontakte oberhalb der zugehörigen biomechanischen Grenzwerte. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Gurtsystem nicht in der Lage war, die Insassen beim dargestellten Aufprall wirksam zu schützen. Ein moderneres Insassensicherheitsystem aus Kombination von 3-Punkt-Gurt, Gurtstraffer, Gurtkraftbegrenzer und Frontairbags führt in modernen Fahrzeugen bei ähnlicher Anprallsituation zu gemessenen Belastungswerten, die deutlich unterhalb der biomechanischen Belastungswerte liegen. Bei der Entwicklung eines modernen Fahrzeuges werden heute biomechanische Belastungswerte zu Grunde gelegt, die bei einem Drittel der gesetzlich zulässigen Grenzwerte liegen.

Es ist geplant, die im vorliegende Beitrag erstmals öffentlich dargestellten Versuchsergebnisse in Fachkreisen weiter zu diskutieren und zu ergänzen sowie mit entsprechenden Ergebnissen moderner Fahrzeuge zu vergleichen. Hierdurch wird weniger ein Beitrag zur zukünftigen Verbesserung moderner Fahrzeuge geleistet. Es wird jedoch Material zur Verfügung gestellt, das im Rahmen der Lehre verwendet werden kann. Dies fördert die Anschauung und das Verständnis des Fortschritts der passiven Sicherheit von Fahrzeugen sowie der zugrundeliegenden Prinzipien und Philosophien.

Peter Rücker, F. Alexander Berg
 DEKRA Automobil GmbH
 Unfallforschung & Crash Test Center
 Handwerkstr. 15
 70565 Stuttgart