

**Streuung von Schutzkriterien
in kontrollierten Aufprallversuchen
gegen die 30°-Barriere**

**Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen
Bereich Unfallforschung**

Streuung von Schutzkriterien in kontrollierten Aufprallversuchen gegen die starre 30°-Barriere

Eberhard Färber

Bericht zum Forschungsprojekt 8267
der Bundesanstalt für Straßenwesen
Bereich Unfallforschung
Köln, März 1983

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßenwesen
Bereich Unfallforschung
5000 Köln 51, Brühler Str. 1
Tel. 37021, Telex 08882189 bas d

Druck: Fotodruck J. Mainz, 5100 Aachen

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise,
bedürfen der Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen.

Lfd. Nr. 86

ISSN 0173 - 7066

INHALT

	Seite
1. Einleitung, Zielsetzung	1
2. Versuchsmethodik	2
3. Ergebnisse	11
3.1 Fahrzeugbezogene Messungen	12
3.2 Dummymeßwerte	21
4. Zusammenfassung	26
5. Literatur	28
Anhang:Tabellen	30

1. Einleitung, Zielsetzung

Bei der Economic Commission for Europe in Genf werden von der Group of Rapporteurs on Crashworthiness (ECE/GRCS) Aufprallprüfverfahren beraten, die in das Typprüfverfahren für Kraftfahrzeuge einfließen sollen. Hinsichtlich der Reproduzierbarkeit solcher Meßdaten, die mit Anforderungen aus den Vorschriften zu vergleichen sind, werden von den verschiedenen Beteiligten stark unterschiedliche Angaben über tatsächlich auftretende Streuungen gemacht.

Der Bundesminister für Verkehr (BMV) ist daher mit der Frage an die Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) herangetreten, innerhalb welcher Bandbreiten die Meßwerte der von der BAST durchgeführten Aufprallversuche üblicherweise liegen.

Nach Fertigstellung der Aufprallversuchsanlage der BAST (1) wurde ein Projekt mit einer größeren Zahl von Wiederholungen einer bestimmten Testkonfiguration durchgeführt: "Interaction of Car Passengers in Frontal, Side and Rear Collisions". Die Untersuchungen wurden im Rahmen des EG-Biomechanikprogramms während der Phasen II und III durchgeführt (2),(3). In Ruhe befindliche, mit je zwei hochausgerüsteten U.S. PART 572 (Hybrid II)-Dummies bestückte Versuchsfahrzeuge wurden von einer starren fahrbaren Barriere unter verschiedenen Winkeln angestoßen. Es wurden die gegenseitigen Insassenbelastungen beschrieben und gemessen. Jede Versuchskonfiguration wurde fünfmal wiederholt. Aufgrund der relativ komplexen Stoßgeometrie traten beträchtliche Fahrzeugrotationen auf, die neben anderen Einflüssen zu hohen Varianzen in den Dummybelastungen führten. Je nach Aufprallsituation wurden Variationskoeffizienten von 20 bis zu 70% beobachtet.

Im Rahmen der Untersuchungen des Forschungsverbundes Biomechanik (KOB),(4),(5) wurde ein realer Unfall, der von der Association Peugeot-Renault in je drei Vor-, Dummy- und Leichenversuchen simuliert worden war, von der BAST in drei Dummyversuchen ebenfalls nachgefahren. Trotz der geringfügig unterschiedlichen Kollisionsparameter der einzelnen Versuche lagen die ges-

senen Streubreiten in der gleichen Größenordnung wie die der Interaktionsversuche. Die in zwei unterschiedlichen Labors gewonnenen Meßergebnisse waren vergleichbar.

Der Fahrzeugaufprall gegen die starre Wand stellt gegenüber der Fahrzeug-Fahrzeug Kollision einen stark vereinfachten Aufpralltyp dar, für den geringere Streuungen der Meßwerte erwartet werden können. In der BAST lagen bisher keine Erfahrungen zu diesem Versuchstyp vor. Eine Literaturdurchsicht machte ferner deutlich, daß bisher zur Thematik "Streuung von Meßwerten in Standardaufprallversuchen" keine gezielten Forschungsarbeiten veröffentlicht wurden.

Von Dezember 1981 bis Juni 1982 wurde daher ein Forschungsprojekt zur Ermittlung der Streuungen von Dummy- sowie Fahrzeugmeßwerten in Standardaufprallversuchen bearbeitet. Es soll an dieser Stelle herausgestellt werden, daß bei dem vorliegenden Projekt die Ermittlung von Versuchsstreuungen im Vordergrund stand und nicht die Überprüfung, ob ein bestimmtes Fahrzeug den Anforderungen von Regelungen entspricht. Ferner muß im Auge behalten werden, daß sich das GRCS-Aufprallprüfverfahren nach (6) noch im Stand der Beratung befindet.

2. Versuchsmethodik

Die Versuche wurden nach dem Regulationsentwurf der ECE/GRCS (Group of Rapporteurs on Crashworthiness) TRANS/SC1/WP29/GRCS/R. 23 vom 9. Mai 1980

"Uniform Provisions Concerning the Approval of Private (Passenger) Cars with Regard to the Protection of the Occupants in the Event of a Head on Collision"

durchgeführt (6).

Als Versuchsfahrzeug wurde der seit 1979 produzierte Opel Kadett festgelegt. Auswahlkriterien für diesen Fahrzeugtyp waren:

- häufig zugelassener Wagen
- Fahrzeugtyp seit mindestens einem Jahr produziert.

Aus Kostengründen wurden 1-2 Jahre alte Gebrauchtfahrzeuge der niedrigsten Ausstattungsklassen verwendet.

Um bei den erwarteten Streuungen der Versuchsergebnisse statistisch gestützte Aussagen machen zu können, erschienen gemäß (7) insgesamt 8 Aufprallversuche mindestens notwendig, wenn unterstellt wird, daß die Meßwerte normalverteilt sind und der Verdacht des Auftretens von Extremwerten besteht.

Das Verhalten der Versuchsfahrzeuge wurde nicht nur anhand der Kriterien der ECE/GRCS, sondern umfassender wie folgt bewertet:

- Anforderungen des GRCS-Entwurfs:
 - während des Tests darf sich keine Tür öffnen,
 - zur Herausnahme der Dummies muß sich eine genügende Zahl von Türen öffnen lassen,
 - das Gurtsystem muß sich bei einer Kraft von weniger als 60 N auf den Auslöseknopf öffnen lassen,
 - die Dummies müssen unbeschädigt aus dem Fahrzeug herausgenommen werden können,
 - es darf nur ein geringer Treibstoff Leckverlust ($< 30 \text{g/min}$) auftreten.
- weitere Anforderungen:
 - Vergleich mit den Kriterien der ECE-Regelung 33 (Strukturverhalten des Fahrzeugs im Frontaufprall) (8)
 - im $48,3 \text{ km/h } 0^\circ$ Wandaufprall dürfen verschiedene Abmessungen des Fahrzeuginnenraums zur Erhaltung des sog. Überlebensraums nicht unterschritten werden
 - Vergleich mit einzelnen Kriterien der ECE-Regelung 12 (Schutz des Fahrzeugführers vor der Lenkanlage) (9)
 - im $48,3 \text{ km/h } 0^\circ$ Wandaufprall darf sich das obere Ende der Lenksäule im Aufprall (dynamisch) um höchstens $12,7 \text{ cm}$ horizontal und parallel zur Fahrzeuglängsachse nach hinten verschieben
 - Darstellung der wichtigsten Größen der Fahrzeugbeschleunigungen (mittlere Verzögerung, maximale Beschleunigung, Verzögerungsdauer)
 - Messung der plastischen Verschiebung von 15 Meßpunkten an der Fahrzeugfront
 - Messung des Verschiebungsweges des Motorblocks.

Zur Beurteilung der Dummymeßwerte wurden folgende Kriterien herangezogen:

- Anforderungen des GRCS-Entwurfs:
 - Kopf: bei Aufprall $HIC < 1500^*$ während der Kontaktzeit
 - Brust: $a_{res} < 60 \text{ g/3 ms}^*$
 - Oberschenkel: Längskräfte $< 10 \text{ kN}$
 - Unterleib: kein Hochrutschen des Beckengurtes
- weitere Meßwerte, die in der wissenschaftlichen Literatur häufig verwendet werden:
 - Kopf: HIC auch ohne Aufprall
 $a_{res} \text{ max, } a_{res} / 3 \text{ ms}^*$
 - Brust: $a_{res} \text{ max, SI (Severity Index)}^*$
 - Becken: $a_{res} \text{ max, } a_{res} / 3 \text{ ms}^*$
 - Gurtkräfte: Schultergurt oben und unten,
Beckengurt links und rechts vom Dummy.

Die Höhe des Grenzwertes für den HIC ist in der ECE/GRCS noch nicht festgelegt. Verschiedene Regierungsvertreter halten einen Wert von 1000 für angebracht. In dem Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) 208 der USA ist ein HIC Grenzwert von 1000 genannt.

Die Versuchsfahrzeuge wurden mit 50 km/h (Anforderung +0, -2 km/h) gegen die starre 30° Barriere gefahren. Die Stirnfläche war so geklappt, daß die Fahrerseite die Barriere zuerst berührt. Die Masse der fahrfertigen Versuchsfahrzeuge (mit Benzinersatz ohne Kühlflüssigkeit und Öl) ohne Dummies betrug $835 \pm 5 \text{ kg}$. Das zugeführte Gewicht von Meßgeräten wurde durch die Entnahme von Rückbankteilen, Reserverad und Ausrüstungsgegenständen gemäß (6) ausgeglichen, siehe Bild 1. Auf den Vordersitzen befanden sich zwei nach U.S. PART 572 Spezifikation kalibrierte 50% Mann Dummies. Auf die Einbringung eines weiteren Dummies auf einen Rücksitz kann nach (6) verzichtet werden, da das Fahrzeug auf den beiden äußeren Sitzen der Rückbank serienmäßig mit 3-Punkt-Automatikgurten ausgerüstet ist. Die Frontsitze waren nach (6) 50 mm gegenüber dem vom Fahrzeughersteller angegebenen R-Punkt (Referenzpunkt = H-Punkt der Frontsitze in hinterster Sitzposition) nach vorn geschoben.

* Erläuterungen siehe Tabelle 3 im Anhang

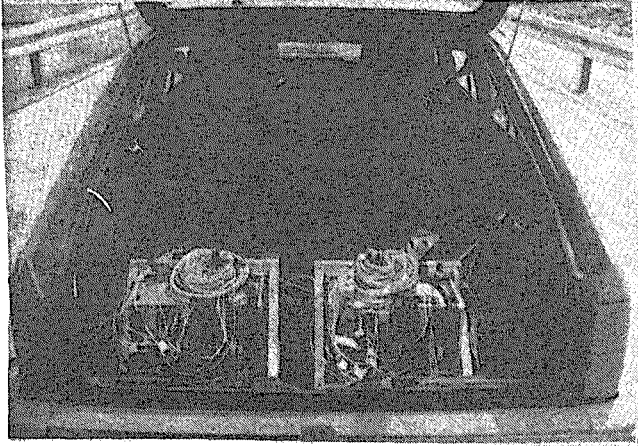


Bild 1: Ansicht des ausgerüsteten Versuchsfahrzeugs durch die Heckklappe

Die Dummies wurden gemäß Normenentwurf eingesetzt. Die Übertragung der Meßdaten erfolgte wie in (10) beschrieben in Pulse Code Modulation Technik über ein Schleppkabel. Die Übertragungsgenauigkeit ist besser als 0,2%. Die einzelnen Meßkanäle waren entsprechend SAE J 211b kalibriert, gefiltert und synchronisiert. Die Meßwertaufnehmer waren durch Vergleich mit Referenzaufnehmern kalibriert.

Zur optischen Aufzeichnung von Bewegungen wurden sechs Hochgeschwindigkeitskameras eingesetzt, siehe Bild 2. Die Bildfrequenzen betragen 1000 Bilder/s. Die Bewegung von Dummy- und Fahrzeugteilen wurde anhand aufgebraachter Meßpunkte verfolgt, siehe Bild 3.

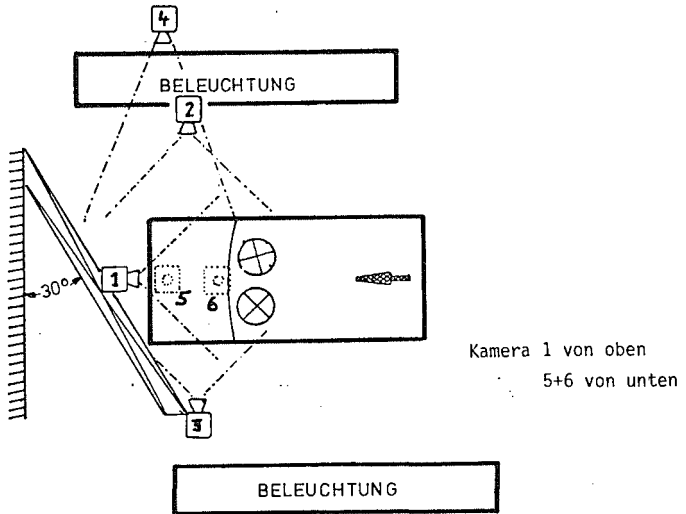


Bild 2: Aufstellung der Hochgeschwindigkeitskameras



Bild 3: Ansicht des ausgerüsteten Versuchsfahrzeugs mit Meßskalen auf dem Vorderwagen

Gemäß GRCS-Regelungsentwurf (wie auch nach FMVSS 208) sind die Dummies vor und nach jedem Versuch zu kalibrieren. Die Kalibrierung umfaßt sechs Prüfungen:

- Kopfaufprall auf Stahlplatte (siehe Bild 4)
- Halsbiegung im Pendelversuch (siehe Bild 5 und 6)
- Brustaufprall mit Stoßkörper bei zwei Geschwindigkeiten (siehe Bild 7)
- Lendenwirbelsäulenbiegung (siehe Bild 8)
- Unterleibseindrückung (siehe Bild 9)
- Knieaufprall mit Stoßkörper (siehe Bild 10).

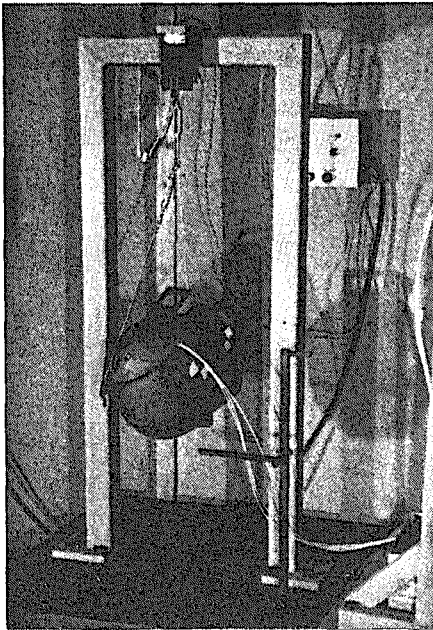


Bild 4: Versuchsaufbau für den Kopfaufprall (Kalibrierung)

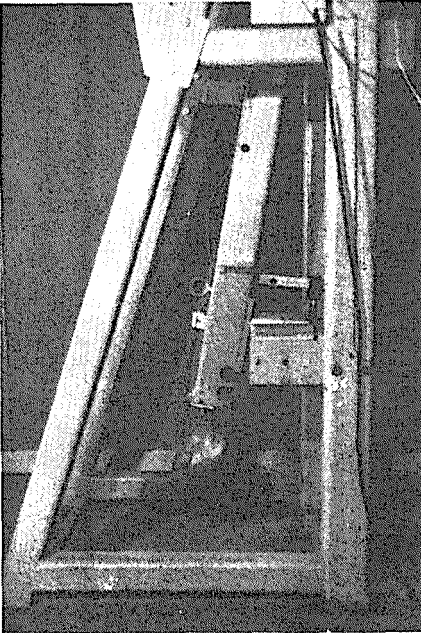


Bild 5: Versuchsaufbau zur
Messung der Halsbiegung
(Kalibrierung)

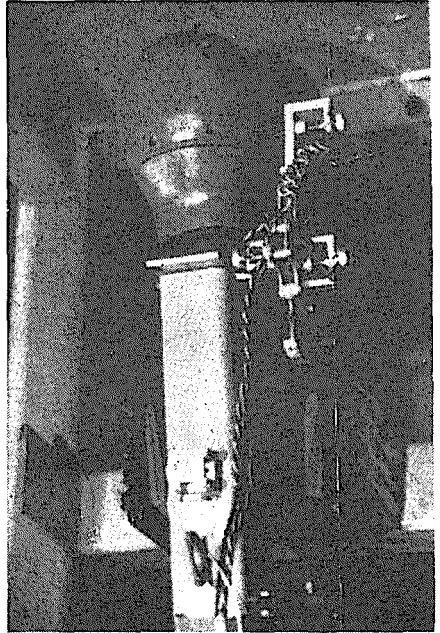


Bild 6: Teilansicht der Hals-
biegungs-Meßeinrich-
tung (Kalibrierung)



Bild 7: Versuchsaufbau Brust-
aufprall (Messung der
Stoßkraft und Brust-
deformation bei der
Kalibrierung)



Bild 8: Versuchsaufbau zur
Messung der Lenden-
wirbelsäulenbiegung
(Kalibrierung)

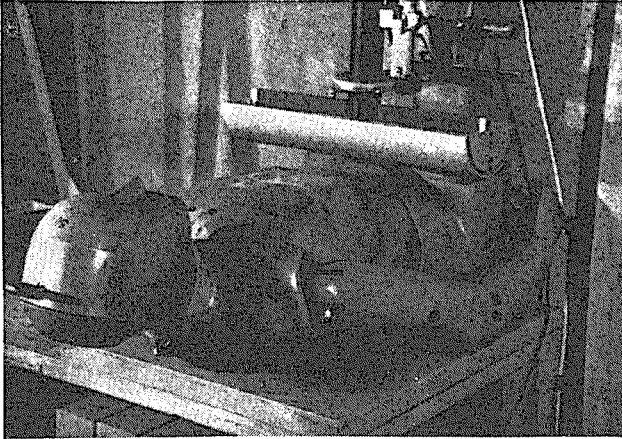


Bild 9: Versuchsaufbau zur Messung der Unterleibsverformung
(Kalibrierung)

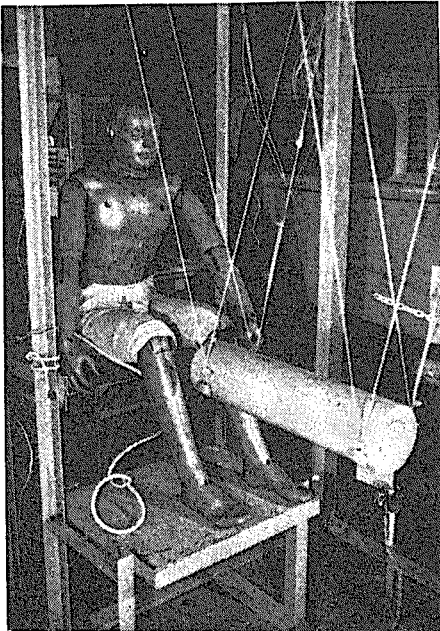


Bild 10: Versuchsauf-
bau Knieauf-
prall
(Messung der Oberschen-
kellängskraft bei Kali-
brierung)

Aus Gründen beschränkter Arbeitskapazität und in der Erwartung, daß die Dummies ihre geforderten mechanischen Eigenschaften in den Versuchen nur wenig ändern, wurde folgender Kalibrierungsplan vorgesehen:

Kalibrierung vor dem 1. Versuch und nach dem 2., 6. sowie 8. Versuch.

Eine Überprüfung der Dummy-Einstellwerte ergab keine oder nur geringfügige Veränderungen. Es kann davon ausgegangen werden, daß sich die Dummies in den Versuchen 2, 4, 5, 6 und 8 in kalibriertem Zustand befanden.

3. Ergebnisse

Ziel der Untersuchung ist es, die Höhe der Meßwertstreuungen zu ermitteln; daher soll auf die Insassenkinematik, insbesondere auch auf die Unterschiede Fahrer - Beifahrer nur am Rande eingegangen werden.

Der GRCS Normentwurf stellt hohe Anforderungen an die Unversehrtheit des Serienzustandes der Versuchsfahrzeuge. So sollen alle Seitenscheiben geschlossen bleiben, die Türen dürfen nicht entfernt werden, an Kontaktpunkten zwischen Dummy und Fahrzeug dürfen keine Schalter, sowie Kontaktfarben verwendet werden.

Obwohl in Einzelfällen Ausnahmen erlaubt sind, wurden die Versuche nach den strengen Anforderungen des Regelungsentwurfs durchgeführt. Da auch keine an den Versuchsfahrzeugen mitfahrenden Kameras zugelassen sind, mußten die Dummybewegungen durch die geschlossenen Scheiben (die unter der starken Filmbeleuchtung häufig Störlicht reflektieren) mit ortsfesten Kameras gefilmt werden. Eine exakte Auswertung der Hochgeschwindigkeitsfilme war unter diesen Randbedingungen nicht möglich. Insbesondere war die Filmauswertung der Lenksäuleneindringung und die Ermittlung des Auftretens von Dummy - Fahrzeug Kontakten (Kopf-Lenkrad sowie Knie-Armaturentafel) äußerst schwierig.

3.1 Fahrzeugbezogene Messungen

Die im Normentwurf (6) vorgesehene Versuchsgeschwindigkeit von 50 km/h (+0, -2 km/h) konnte mit Meßwerten zwischen 49,9 und 50,0 km/h sehr genau erreicht werden. Nach dem Aufprall bewegt sich die Fahrgastzelle zunächst geradlinig mit einer geringen Drehung nach links (um eine Hochachse) auf die Barriere zu; gegen Ende des Verformungsweges erfährt das Fahrzeug eine seitliche Abweisbewegung nach rechts. Die Endlage des Versuchsfahrzeuges ergibt einen Seitenversatz von etwa 0,5 bis 0,8 m ausgehend von der Anfahrriichtung nach rechts.

Fahrzeugdeformationen

Um die Schwere des Fahrzeugaufpralls zu veranschaulichen, sind im folgenden einige Photos wiedergegeben, die während und nach dem Aufprall aufgenommen wurden.



Bild 11: Versuchsfahrzeug während des Aufpralls (Versuch BMW1), das Fahrzeug hat die Abweisbewegung nach rechts nahezu abgeschlossen, die Motorhaube beginnt sich zu öffnen



Bild 12: Fahrzeugendstellung (Versuch BMW 7)

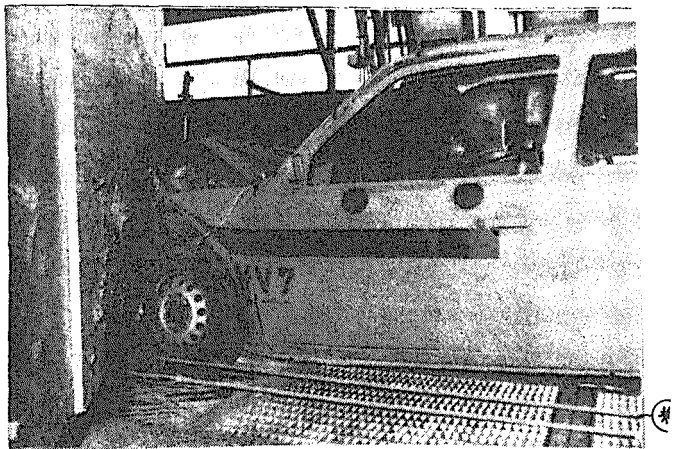


Bild 13: Fahrzeugendstellung; die Fahrezugmittelachse befand sich vor dem Aufprall über dem Seil (*)

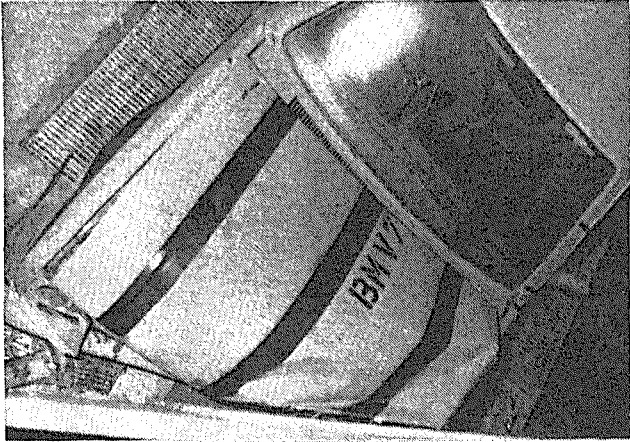


Bild 14: Endstellung des Versuchsfahrzeugs, Ansicht von oben



Bild 15: Fahrzeugdeformation, Ansicht von vorn

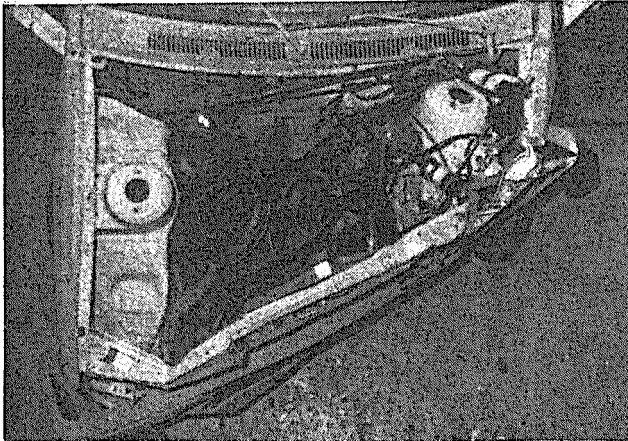


Bild 16: Fahrzeugdeformation, Ansicht von oben, Motorhaube entfernt

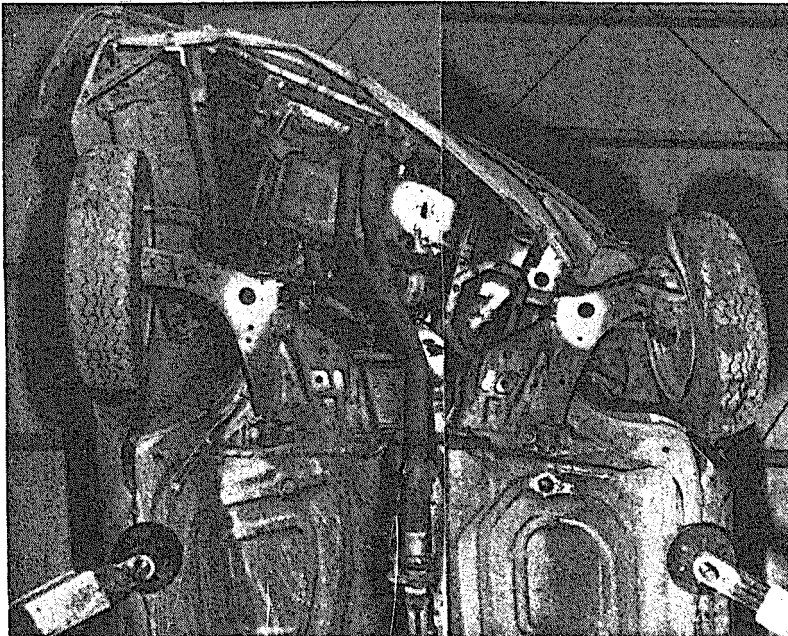


Bild 17: Fahrzeugdeformation, Ansicht von unten

Meßtechnisch wurden die Deformationen der Fahrzeugfront mittels eines Meßrahmens anhand der Verschiebung von 13 Meßpunkten, s. Bild 18, erfaßt. Der Rahmen wurde vor und nach jedem Versuch an den Zielpunkten 14 und 15 sowie an weiteren Punkten der Fahrzeug-Rückseite ausgerichtet.

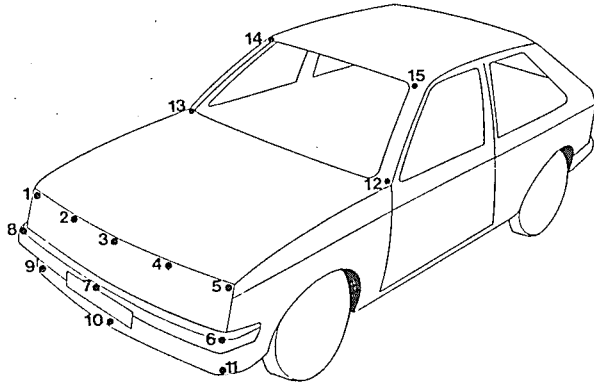


Bild 18: Lage der Meßpunkte zur Ermittlung der Deformationen der Fahrzeugfront

Die Zusammenstellung der horizontalen Verschiebungen der Meßpunkte findet sich in Tabelle 1* im Anhang.

*Für alle statistischen Auswertungen in den Tabellen gilt:

\bar{x} - arithmetischer Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{\sum x}{n}$$

s - Standardabweichung

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

VK - Variationskoeffizient, $\left[\text{VK} = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\% \right]$

Bei der Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung wurde entsprechend der Meßgenauigkeit gerundet.

Aufgrund des elastischen Rückfederns einzelner nichttragender Blech- bzw. Kunststoffkarosserieteile, wie Stoßfänger, Motorhaube, Einfassung des rechten Scheinwerfers und Frontspoiler (siehe Bild 15) sind nicht alle Meßpunkte direkt geeignet, bleibende Fahrzeugdeformationen richtig darzustellen. Dies sind Meßpunkte mit geringer Verschiebung von 15 - 30 mm wie die Punkte 1, 8 und 9, die die höchsten Variationskoeffizienten (53 - 75%) aufweisen.

Die Verschiebungen der Meßpunkte auf der linken Fahrzeugseite, siehe Tabelle 1a, sind entsprechend der Versuchskonstellation bedeutend höher.

Tabelle 1a: Horizontale Verschiebungen (in mm) ausgewählter Meßpunkte (Lage der Punkte siehe Bild 18)

Meßpunkt	4	5	6	7	10	11
Mittelwert \bar{x}	309	473	576	282	233	583
Standardabweichung s	19	46	10	6	16	21
Variationskoeffizienten VK (%)	6	10	2	2	7	4

Die Variationskoeffizienten liegen hier bei 2 - 10%, für die Punkte mit der größten Verschiebung von 576 bzw. 583 mm (6 und 11) bei 2 - 4%.

Die Deformationen der Fahrzeugunterseite wurden anhand von Photos, siehe Bild 17, mehr qualitativ ausgewertet. In Bild 19 sind die bleibenden Verschiebungen der an der Fahrzeugunterseite angebrachten Meßpunkte dargestellt. In der Bodengruppe der Fahrgastzelle wurden nur geringe Deformationen beobachtet. Punkt 4, der auf einem Blechteil mit dem Fahrzeugboden verbunden war, wurde etwa 3 bis 8 cm verschoben.

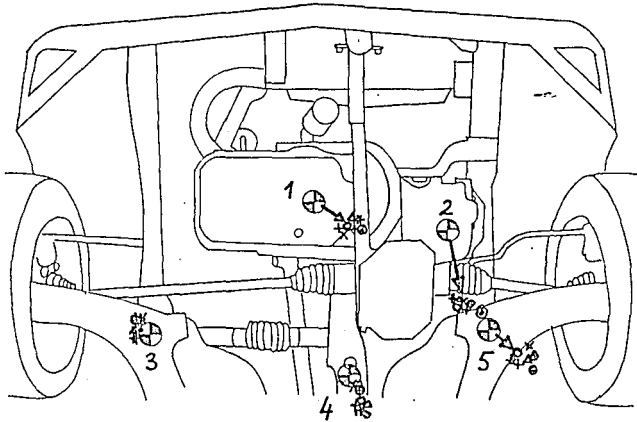


Bild 19: Verschiebung der Meßpunkte der Fahrzeugunterseite

Die Endlagen der Meßpunkte liegen in einem relativ großen Streubereich. Dieses dürfte vornehmlich an dem gewählten Auswerteverfahren liegen. Zur Erzielung einer größeren Genauigkeit hätte es einiger Einrichtungen zur Ausrichtung der Versuchsfahrzeuge und der Kamera bedurft, die derzeit in der BAST nicht vorhanden sind. Daher wurde auf einen erhöhten Aufwand bei der Photoauswertung verzichtet.

Fahrzeugbeschleunigung

Dieser Parameter wurde an verschiedenen Stellen im Fahrzeug gemessen: an den Schwellern je links und rechts vor der Rückbank und auf dem Mitteltunnel, nahe dem Fahrzeugschwerpunkt. Letzterer Meßwert zeigte den "ruhigsten" Verlauf, zeigte also wenig Schwingungsüberlagerungen, die meist von Fahrzeugstrukturen verursacht werden, die den Aufnehmern benachbart liegen.

Das Feld, in dem alle Fahrzeugbeschleunigungsverläufe des Fahrzeugschwerpunktes lagen, ist in Bild 20 dargestellt.

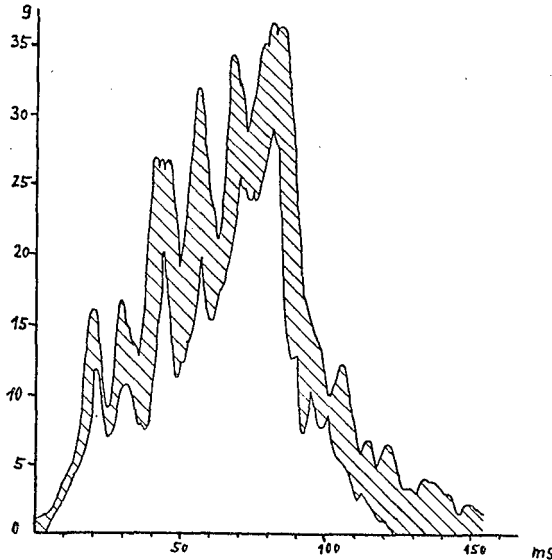


Bild 20: Streubereich aller resultierenden Fahrzeugbeschleunigungsverläufe der Fahrzeugschwerpunkte

Der Verzögerungsverlauf kann gut durch ein schiefwinkliges Dreieck beschrieben werden, dem eine Schwingung von etwa 80 Hz überlagert ist. Die Spitze liegt bei 35 g (Variationskoeffizient 8%), die Basis - die Verzögerungsdauer - bei 125 ms. In Tabelle 2 (siehe Anhang) sind die charakteristischen Daten der Fahrzeugverzögerung zusammengestellt.

Der Variationskoeffizient der Verzögerungsdauer ist mit 2% sehr gering. Der gleichgroße Variationskoeffizient der mittleren Fahrzeugverzögerung resultiert aus der Berechnung dieser Werte aus der Versuchsgeschwindigkeit und der Verzögerungsdauer. Durch die Integration der resultierenden Fahrzeugbeschleunigung wurde die Geschwindigkeitsänderung ΔV bestimmt, die das Versuchsfahrzeug im Versuch erfährt. Beim Wandaufprall beträgt ΔV : Aufprallgeschwindigkeit plus Rückprallgeschwindigkeit. Für ΔV wurde $14,6 \pm 0,2$ m/s ermittelt; bei einer Versuchsgeschwindigkeit von 13,9 m/s verbleibt für die Rückprallgeschwindigkeit ein Wert von 0,7 m/s, der bei dem geringen Rückprall bzw. Seitenversatz des Fahrzeuges durchaus plausibel ist.

Die enge Streuung und der sinnvolle Wert für ΔV zeigt besonders die hohe Güte der Fahrzeugbeschleunigungsmessung, die im allgemeinen schwierig ist. Die größere Streuung für den Zeitpunkt der maximalen Verzögerung erklärt sich aus der Überlagerung des Meßsignals von der o.g. Schwingung von 80 Hz, die im wesentlichen in der y- und z- Richtung festgestellt wurde.

Deformationen des Fahrzeuginnenraumes

Die filmische Auswertung der Lenksäuleneindringung, ausgeführt gemäß ECE R 12, war wie oben erläutert sehr unsicher. Die Anforderung nach ECE R 12 liegt bei einem Wert von 127 mm (5 in) in horizontaler Richtung. Es sei nebenbei bemerkt, daß im GRCS-Regelungsentwurf das Verhalten der Lenkanlage nicht betrachtet wird; um Überschneidungen mit den Wirkvorschriften eines sogenannten Globaltests zu vermeiden, müßten - worauf die ECE/GRCS in (11) hinwies - die Inhalte der ECE R 12, insbesondere das Problem der Lenksäuleneindringung überarbeitet werden, sofern der Globaltest die Einzelregelungen ersetzen soll. Hervorzuheben ist, daß diese Anforderung in einem 0° - Barrierenaufprall zu erfüllen ist. Der im Entwurf befindliche 30° - Aufprall stellt für die Lenkeinrichtung eine höhere Belastung dar. Es wurden maximale Eindringewege von etwa 4 - 8 cm ermittelt.

In ECE R 33 sind die Abmessungen des in einem 50 km/h 0° - Wandaufprall zu erhaltenden Überlebensraum in der Fahrgastzelle vorgegeben. Die wichtigsten Abmessungen, die nach dem Aufprall eingehalten werden müssen, sind:

- (1) Abstand Armaturentafel - horizontale Gerade durch R-Punkt > 450 mm
- (2) Abstand Spritzwand im Fußraum - horizontale Gerade durch R-Punkt > 650 mm
- (3) Breite des Fußraumes > 250 mm
- (4) Abstandsverrinerung Bodenwanne - Dach bei R-Punkt < 10%.

Die entsprechenden Meßwerte wurden für den Opel Kadett wie folgt aufgenommen (in mm):

	vor Versuch	nach Versuch (Mittelwerte)	Änderung (Mittelwerte)
(1)	725	690	-35
(2)	910	895	-15
(3)	550	550	+10
(4)	900	930	+30

Die Änderungen des vorhandenen Innenraumes sind somit sehr gering und der bleibende Raum liegt so weit über den Anforderungen, daß aus den Änderungen der Abmessungen während des Aufpralls keine Einflüsse auf Dummymeßgrößen zu erwarten sind.

3.2 Dummymeßwerte

Infolge der Rotation und des Seitenversatzes der Versuchsfahrzeuge erfahren die Insassen gegen Ende der Fahrzeugverzögerung anders als in 0° - Längsaufprallen auch eine beträchtliche Querschleunigung nach rechts.

Die Auswertung der Meßschriebe und Filmaufnahmen sowie die Verwendung von Kontaktpuder auf den entsprechenden Kontaktzonen ergaben für den Fahrersitz keine sicheren Hinweise auf Kopf-Lenkrad und Brust-Lenkrad - Kontakte. Allerdings deuten in Versuch 6 die Film- und insbesondere die Meßschriebeauswertungen darauf hin, daß ein solcher Kontakt (infolge des Zusammentreffens verschiedener möglicher Umstände: Zusammenfallen des Gurtbandes im Umlenkbeschlag, Filmspuleneffekt, verspätete Arretierung der Gurtbandrolle sowie Gurtlose) stattgefunden haben kann. Sicher nachgewiesen werden konnte nur das nach dem Versuch vorgefundene Zusammenfallen des Gurtbandes im oberen Umlenkbeschlag. Weiterhin kann in Versuch 8 für den Dummy auf dem Fahrersitz ein leichter Kopfaufprall unterstellt werden.

Nach dem Regelungsentwurf der ECE/GRCS soll das Kopfschutzkriterium HIC nur im Fall eines Kopfaufpralls angewendet werden. Das HIC-Berechnungsverfahren soll dann, im Gegensatz zum FMVSS 208, nicht über den gesamten Beschleunigungsverlauf, sondern nur während der Kontaktdauer - zwischen Kontaktbeginn und Kontaktende - Anwendung finden. Da keine sicheren Kopfaufpralle nachgewiesen und demzufolge keine Kontaktzeitpunkte bestimmt werden konnten, wurde das Kopfschutzkriterium HIC nach FMVSS 208, also über den gesamten Beschleunigungsverlauf berechnet.

In die tabellarische Darstellung der Ergebnisse wurden folgende Größen aufgenommen:

- Meßwerte aller Versuche
- arithmetischer Mittelwert
- Standardabweichung
- Variationskoeffizient.

Für den Fahrzeughersteller, der ein Fahrzeug durch einen einzelnen Abnahmetest bringen muß, ist weniger der Mittelwert der Ergebnisse, sondern vielmehr das Auftreten von Extremwerten, insbesondere der ungünstigen von Bedeutung.

Die Untersuchung hat gezeigt, daß ausgesprochene Extremwerte nicht auftraten. Erhöhte Dummybelastungen waren bestimmten Aufprallkontakten, wie Brust-Lenkrad und Knie-Armaturentafel zuzuordnen. Anhand der Tabellen kann man feststellen, daß nur wenige Meßwerte die durch die Standardabweichung beschriebenen Meßwertintervalle überschreiten. Wie zu erwarten, war die Streuung der Dummymeßwerte größer als die Streuung der Fahrzeugbeschleunigung.

Kopfbelastungswerte

Eine Zusammenstellung der Kopfbelastungen für den Fahrer - sowie Beifahrerdummy ist in den Tabellen 3 und 4 (siehe Anhang), die der einzelnen Komponenten in den Tabellen 5 und 6 (siehe Anhang) wiedergegeben. Die Kopfbeschleunigungen des Fahrers sind höher als die des Beifahrers (für die 3ms-Mittelwerte ist das Verhältnis 51g zu 43g). Dies mag zum einen daran liegen, daß für den Fahrer Kopf-Lenkrad Kontakte vermutet werden können, wenn gleich diese nur in den Versuchen 6 und 8 wahrscheinlich waren, zum anderen daran, daß infolge der Fahrzeugrotation die Bewegungen der beiden Frontsitzdummies unterschiedlich sind. Deutlich wird dies in der Auflistung der charakteristischen Werte der Einzelkomponenten der Kopfbeschleunigungen. Während der Beifahrer Höchstwerte (Mittelwerte) von etwa 35 g in x- und z- sowie 16 g in y- Beschleunigungsrichtung aufweist, liegen die entsprechenden Werte beim Fahrer bei 51 g und 43 g in x- und z- Richtung. Die Querbeschleunigungen (y) im Kopf des Fahrers ließen sich nicht eindeutig charakterisieren, da diese Werte klein blieben und sich beiderseits der Null-Linie bewegten.

Auch die Streubreiten der Kopfbeschleunigungswerte liegen mit 19 bzw. 13% (max. - bzw. \bar{z} ms-Werte) beim Fahrer deutlich höher als beim Beifahrer; hier betragen sie 9 bzw. 10%. Läßt man die Versuche 6 und 8, in denen Kopfaufpralle angenommen wurden, außer acht, dann ergeben sich Streubereiche für den Fahrerdummy, die in Tabelle 3a (siehe Anhang) dargestellt sind. Für $a_{res} \text{ max.}$ und den HIC finden sich keine Unterschiede zwischen Fahrer und Beifahrer.

Das entsprechende Schutzkriterium HIC variiert um 22% beim Fahrer und 13% beim Beifahrer. Eine Erklärung des größeren Streubereichs des HIC ist in dem Berechnungsverfahren zu suchen:

- infolge der Betragsbildung bei der Resultierendenberechnung werden negative Anteile von Störgrößen positiv
- infolge der Integration werden alle Störgrößen aufsummiert.

Ein gewisser Anteil von Störgrößen mechanischer (Resonanzen der Halterungen u.ä.) und elektrischer (Masse- sowie Kontaktprobleme u.ä.) Art lassen sich auch bei sorgfältigster Versuchsvorbereitung nicht vermeiden. Um zu ermitteln, welche Komponente die Streuung der resultierenden Kopfbeschleunigung bestimmt, wurden die einzelnen Beschleunigungskomponenten charakterisiert und in den Tabellen 5 und 6 (siehe Anhang) aufgelistet.

Niedrige Maximalwerte einer Komponente auch mit großen Streuungen beeinflussen die Höchstwerte der resultierenden Beschleunigung nur sehr gering, wenn die entsprechenden Maxima bei unterschiedlichen Zeitpunkten liegen. Daher werden die Streuungen der Resultierenden von den Komponenten bestimmt, deren Maximalwerte in der Größenordnung derer der Resultierenden sind und etwa zeitgleich auftreten.

Eine Zusammenstellung der Zeitpunkte des Auftretens der Spitzenwerte der resultierenden Dummybeschleunigungen ist in den Tabellen 7 und 8 (siehe Anhang) gegeben. Aus dem Vergleich der Tabellen 5 und 6 mit 7 und 8 ergibt sich: die Streubreiten der resultierenden Kopfbeschleunigungen werden bei dem Dummy auf der Fahrerseite vornehmlich von der Längs- (x-) Komponente, bei dem auf dem Beifahrersitz von allen dreien, aber insbesondere von den Längs- (x-) und Vertikal-(z-) Komponenten bestimmt.

Brustbelastungswerte

Eine Zusammenstellung der Brustbelastungen für den Fahrer- sowie Beifahrerdummy ist in den Tabellen 3 und 4 (siehe Anhang), die der einzelnen Komponenten in den Tabellen 9 und 10 (siehe Anhang) wiedergegeben. Die Brustbeschleunigungen des Fahrers sind mit 46 bzw. 41 g höher als die des Beifahrers; hier betragen sie 42 bzw. 40 g. Wiederum sind die Querschleunigungen im Beifahrer ausgeprägter als im Fahrer. Die Vertikalbeschleunigungen zeichnen sich durch zwei Höchstwerte mit unterschiedlichem Vorzeichen aus (in den Tabellen 9 und 10 mit ① und ② gekennzeichnet). Zunächst werden die Dummies in den Gurten nach unten beschleunigt, danach erfahren sie auf den Sitzen einen Stoß nach oben.

Auch die Streubreiten der Fahrermeßwerte liegen mit 45 respektive 30% deutlich über denen des Beifahrers. Eliminiert man jedoch die Extremwerte des Versuches 6 - hier wird, wie bereits oben erwähnt, ein Brustaufprall infolge abnormer Vorverlagerung im Gurt angenommen - dann sind die Streubereiche für Fahrer und Beifahrer wieder in der gleichen Größenordnung, siehe Tabelle 3b im Vergleich zu Tabelle 4 (siehe Anhang). Weiterhin sind dann die Brustbeschleunigungen des Fahrers geringfügig niedriger als die des Beifahrers (39 g/37 g zu 42 g/40 g). Die Streubreiten der Brustbeschleunigungen sind bei dem Beifahrerdummy mit 4 - 5% relativ gering; für den Fahrerdummy betragen sie nunmehr 7 - 8%.

Eine Analyse der charakteristischen Werte der Komponenten (Vergleich Tabelle 9 und 10 mit Tabelle 6 und 7) ergibt, daß die Streubreiten der Brustbeschleunigungen vornehmlich durch die Streuungen des Längsanteiles bestimmt wurden. Für die Variation des Schutzkriteriums SI (Severity Index) für die Brust gelten die gleichen Anmerkungen wie die oben gemachten für den HIC.

Beckenbelastungswerte und Oberschenkellängskräfte

Eine Zusammenstellung der Beckenbelastungen und der Oberschenkellängskräfte für den Fahrer - sowie Beifahrerdummy ist in Tabelle 3 und 4 (siehe Anhang), die der einzelnen Komponenten in Tabelle 11 und 12 (siehe Anhang) wiedergegeben.

Da sich Oberschenkelkräfte auch auf das Becken auswirken, ist es sinnvoll, beide Meßgrößen gemeinsam zu betrachten.

Wie geschildert, drehte sich während des Aufpralls das Versuchsfahrzeug zunächst geringfügig nach links und bewegte sich danach etwa um 0,5 - 0,8 m nach rechts. Hieraus resultierte infolge der Reibkräfte zwischen Dummy und Sitz eine Drehung beider Dummies gegenüber dem Fahrzeug nach links, so daß diese sich mit dem rechten Knie voraus im Fahrzeug nach vorn bewegten.

Ein Knieaufprall mit höheren Oberschenkellängskräften war daher vornehmlich im rechten Bein zu beobachten. Von einem Knieaufprall kann dabei erst bei Kräften oberhalb von etwa 3 - 4 kN (300 - 400 kp) gesprochen werden; die hier auch gemessenen geringeren Kräfte (z.B. am linken Oberschenkel) wurden durch die Massenträgheit der Beine (Unterschenkel, Knie) verursacht. Die Trägheitskräfte in den Oberschenkeln lagen zwischen 0,5 und etwa 1,4 kN. Erfolgt ein Knieaufprall gegen die Armaturentafel können die Oberschenkellängskräfte je nach Steifigkeit der Aufprallstelle und Vorverlagerung des Dummies schnell hohe Werte annehmen. Bei den Kräften in den linken Oberschenkeln des Fahrers und des Beifahrers sind die hohen Streuungen von 94 bzw. 74% daraus zu erklären, daß ein Knieaufprall nur in einem bzw. zwei Versuchen auftrat. Tritt hingegen in jedem Versuch ein Knieaufprall auf, sind die Varianzen mit 28% deutlich geringer, s. Oberschenkelkräfte rechts im Dummy auf dem Beifahrersitz (Tabelle 4). Aufgrund der größeren Vorverlagerung des Beifahrerdummies waren die Oberschenkelkräfte in diesem Dummy höher als im Fahrersitzdummy: nämlich $6,0 \pm 1,7$ kN gegenüber $3,8 \pm 2,4$ kN. Entsprechend höher waren auch die Beckenbeschleunigungen im Beifahrerdummy: 47 - 48 g gegenüber 35 g. Die vereinzelt Knieaufpralle im Beifahrerdummy haben auch zu höheren Streuungen in den Beckenbeschleunigungen geführt (s. z.B. Tabelle 4, Versuch 8). Dennoch blieben die Variationskoeffizienten unter 10%.

Eine Zuordnung der Zeitpunkte des Auftretens von Maxima in den resultierenden Beckenbeschleunigungen und der charakteristischen Werte der Beschleunigungskomponenten ergab, daß die Resultierenden vornehmlich von den Längs- und Querbeschleunigungen bestimmt wurden.

Gurtkräfte

Es sei hier daran erinnert, daß diese Meßgröße nach dem ECE/GRCS Normentwurf nicht zu prüfen ist.

In den Tabellen 13 und 14 sind die Maximalwerte der Gurtkräfte für den Fahrer - wie Beifahrersitz aufgelistet. Zusätzlich wurden jeweils die Schultergurt- und Beckengurtkräfte gemittelt; deren Mittelwerte lagen zwischen 6 und 7 kN.

Die Höhe der Oberschenkellängskraft hat sich auch insbesondere im Beckengurt des Beifahrers ausgewirkt: erfährt der Dummy eine Abstützung am Knie, erniedrigt sich die Beckengurtkraft (siehe Versuche 2 und 8, Zuordnung Tabelle 4 und 14). Dementsprechend hohe Varianten von 29 und 64% wurden im Beckengurtmeßpunkt nahe dem Gurtschloß beobachtet. Die Streuungen der Kräfte im Schrägschultergurt lagen bei 6 - 11%.

4. Zusammenfassung

Auf der Versuchsanlage der BAST wurden 8 Fahrzeugaufprallversuche gemäß dem Regelungsentwurf der Group of Rapporteurs on Crashworthiness (GRCS) der Economic Commission for Europe durchgeführt.

Ziel des Projektes war es, die Streubreiten von Fahrzeug- und Dummymeßwerten in Aufprallversuchen mit 50 km/h gegen die starre 30^o-Barriere zu ermitteln.

Die fahrzeugseitigen Meßwerte:

- Deformation der Frontstruktur (wesentliche Punkte)
- maximale Fahrzeugverzögerung
- mittlere Fahrzeugverzögerung
- Anforderungen der ECE Regelung 33,

zeigten Variationskoeffizienten der Einzelwerte, die mit 2 - 7% deutlich unter 10% lagen. Bei den Meßwerten der Dummies ist zu unterscheiden, ob ein Aufprall gegen Fahrzeuginnenteile vermutet wurde oder nicht. Ohne die Versuche mit unterstelltem inneren Aufprall wurden in den Kopf-, Brust- und Beckenbeschleunigungen Variationskoeffizienten von etwa 10%, zum Teil auch beträchtlich darunter, beobachtet. Die Variationskoeffizienten der Schutzkriterien HIC und SI betragen 10 - 13%.

Findet ein innerer Aufprall:

- Kopf-Lenkrad (Fahrer)
- Brust-Lenkrad (Fahrer)
- Knie-Armaturentafel (Fahrer und Beifahrer)

statt, sind die entsprechenden Meßwerte naturgemäß höher. Die Standardabweichungen der Meßwerte sind höher, wenn diese Aufpralle nicht in allen Versuchen zu beobachten sind. Für die Kopfbeschleunigungen (Maxima und sog. 3 ms Werte) des Dummy auf dem Fahrersitz wurden Variationskoeffizienten von 19 bzw. 13%, für den HIC von 22% gemessen. Für die Brust betragen die entsprechenden Werte für die Beschleunigung 45 und 30%, für den SI 33%. Diese hohen Streubreiten wurden dadurch verursacht, daß in einem Versuch eine unübliche Vorverlagerung des Dummy infolge mangelhafter Gurtwirkung mit nachfolgendem Brust-Lenkrad-Kontakt zu beobachten war.

Im rechten Oberschenkel des Dummy auf dem Beifahrersitz erfolgte in jedem Versuch ein Knie-Armaturentafelaufprall. Der Variationskoeffizient betrug hier 28%.

Die Frage, wie die Streuung von Meßwerten in Aufprallversuchen mit ganzen Fahrzeugen, sogenannten Vollversuchen, in gesetzlichen Regelungen zu berücksichtigen ist, bedarf noch einer Klärung. Denkbar wäre, für ein Schutzkriterium einen bestimmten Grenzwert festzulegen und einen Streubereich zuzulassen, z.B. HIC = 1000, Streubereich + 300.

5. Literatur

- (1) Sievert, W.:
Die AufpralIversuchsanlage der Bundesanstalt für
Straßenwesen, ATZ 82 (1980) 10

- (2) Färber, E., Pullwitt, E.:
Interaction of Car Passengers in Frontal, Side and
Rear Collisions,
Schlußberichte EG-Biomechanik-Programm, Phase II und
III, 1980 und 1981

- (3) Färber, E., Pullwitt, E.:
Interaction of Car Passengers in Frontal, Side and
Rear Collisions,
5th IRCOBI Conference, Birmingham 1980

- (4) Joint Biomechanical Research Project KOB,
Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr,
herausgegeben im Auftrag des Bundesministers für Ver-
kehr von der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft 34, 1982

- (5) Pullwitt, E.:
Reproducibility of Accident Reconstructions in Different
Laboratories,
Forschungsbericht BAST, 1980

- (6) Economic Commission For Europe,
Draft Regulation: Uniform Provisions Concerning the
Approval of Private (Passenger) Cars With Regard to
the Protection of the Occupants on the Event of Head-
On Collisions,
GRCS TRANS, SC1, WP 29 R. 23 vom 9.5.1980
(incl. Amendments und Annexes bis zum 20.1.1982)

- (7) Sachs, L.:
Angewandte Statistik (4. Auflage),
Berlin u.a.: Springer, 1974
- (8) ECE R 33:
Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung der Kraft-
fahrzeuge (Motorfahrzeuge) hinsichtlich des Verhaltens
der Struktur des angestoßenen Fahrzeugs bei einem
Frontalaufprall
- (9) ECE R 12:
Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung der Kraft-
fahrzeuge (Motorfahrzeuge) hinsichtlich des Schutzes
des Fahrzeugführers (Lenkers) vor der Lenkanlage
(Lenkvorrichtung) bei Unfallstößen
- (10) Faerber, E.; Cichos, D.; Sievert, W.:
Aufzeichnung von Meßdaten der Aufprallversuchsanlage
der Bundesanstalt für Straßenwesen, ATZ 80 (1978) 9
- (11) Economic Commission For Europe,
TRANS/SC1/WP 29/GRCS/ R. 21
Existing Regulations Which May Be Regarded As Being
Covered by the Introduction of the Full Scale Test,
24. January 1980

A N H A N G

Tabelle 1: Horizontale Verschiebung der Deformationsmeßpunkte (Lage der Punkte s. Bild 18)

Meß- punkt VS-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
BMV 1	7	58	119	277	569	561	277	-28	3	251	544	24	2
BMV 2	7	51	155	315	518	593	288	-13	11	244	560	43	9
BMV 3	23	76	123	285	437	581	274	-5	56	231	590	26	6
BMV 4	27	86	153	321	451	564	276	-17	57	204	606	27	2
BMV 5	17	26	143	335	457	573	282	-20	22	220	579	23	7
BMV 6	13	55	144	307	457	577	289	-2	7	242	596	33	7
BMV 7	9	40	144	315	444	578	284	-20	28	228	591	24	3
BMV 8	13	60	244	319	449	582	288	-15	36	244	594	19	-2
\bar{x} / s	15/ 7	57/ 19	153/ 39	309/ 19	473/ 46	576/ 10	282/ 6	-15/ 8	28/ 21	233/ 16	583/ 21	27/ 7	4/ 4
VK (%)	51	33	25	6	10	2	2	56	76	7	4	27	85

Tabelle 2 : Charakteristische Daten der resultierenden
Fahrzeugverzögerung

Parameter Versuch Nr.	mittlere Verzögerung (g)	Verzögerungs- dauer (ms)	maximale Verzögerung (g)	Zeitpunkt der max. Verzögerung (ms)	$\Delta v +$ (m/s)
BMW 1	11,2	126	35,3	79	14,8
BMW 2	11,0	129	34,6	69	14,7
BMW 3	11,1	128	36,4	86	14,7
BMW 4	11,6	122	38,9	85	14,8
BMW 5	11,4	124	31,1	69	14,9
BMW 6	11,7	121	34,6	81	14,3
BMW 7	11,2	127	36,7	82	14,3
BMW 8	11,4	124	36,7	83	14,6
\bar{x}/s	11,3/0,24	125/2,9	35,5/2,3	79/6,7	14,6/0,2
VK(%)	2	2	6	8	2

+ Δv - Geschwindigkeitsänderung im Versuch, ermittelt aus dem Integral
des Beschleunigungssignals

Tabelle 3 : Zusammenstellung der wichtigsten Dummymeßwerte für den Fahrersitz

Versuch Nr.	Meßgröße	Kopfbeschleunigung (g)			Brustbeschleunigung (g)			Beckenbeschleunigung (g)		Oberschenkelkräfte max. (kN)	
		a _{res} max.	a _{res} /3ms	HIC	a _{res} max.	a _{res} /3ms	SI	a _{res} max.	a _{res} / 3ms	links	rechts
BMV 1		51	49	730	44	42	282	37	37	2,7	6,1
BMV 2		51	45	554	37	36	243	33	33	4,4	7,7
BMV 3		48	46	545	35	34	208	33	32	0,9	2,4
BMV 4		54	51	653	36	36	238	34	34	0,8	5,5
BMV 5		61	45	580	40	37	241	36	35	1,1	3,1
BMV 6		80	60	871	96	71	502	38	38	0,8	1,4
BMV 7		48	47	582	39	38	252	35	35	0,5	1,0
BMV 8		66	62	940	39	37	274	34	34	0,5	3,1
\bar{x} / s		57/11	51/7	682/ 152	46/21	41/12	280/ 93	35/2	35/2	1,5/1,4	3,8/2,4
VK(%)		19	13	22	45	30	33	5	6	94	63

- 33 -

mit: a_{res} max. - Maximalwert der resultierenden Beschleunigung: $a_{res} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$

a_{res}/3ms - Höhe der resultierenden Beschleunigung bei der alle Beschleunigungsspitzen mit einer Gesamtdauer von 3ms abgeschnitten werden

HIC - Head Injury Criterion $HIC = \max \left| (t_2 - t_1) \cdot \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a_{res} dt \right)^{2,5} \right|$

SI - Severity Index $SI = \int a_{res}^{2,5} dt$

Tabelle 3a: Kopfbeschleunigungen Fahrerdummy ohne Versuche 6 und 8

Meßgröße	Kopfbeschleunigung (g)		HIC
	$a_{res \text{ max.}}$	$a_{res} / 3 \text{ ms}$	
\bar{x}	52	47	607
s	4,9	2,4	71
VK %	9	5	12

Tabelle 3b: Brustbeschleunigungen Fahrerdummy ohne Versuch 6

Meßgröße	Brustbeschleunigung (g)		SI
	$a_{res \text{ max.}}$	$a_{res} / 3 \text{ ms}$	
\bar{x}	39	37	248
s	3	2,5	25
VK %	8	7	10

Tabelle 4 : Zusammenstellung der wichtigsten Dummymeßwerte für den Beifahrersitz

Versuch Nr.	Kopfbeschleunigung (g)			Brustbeschleunigung (g)			Beckenbeschleunigung		Oberschenkelkräfte	
	$a_{res} \text{ max.}$	$a_{res} / 3ms$	HIC	$a_{res} \text{ max.}$	$a_{res} / 3ms$	SI	$a_{res} \text{ max.}^{(g)}$	$a_{res} / 3ms$	links	rechts
BMV 1	43	43	541	43	43	359	48	47	1,1	4,8
BMV 2	41	40	475	39	39	292	49	48	0,8	8,0
BMV 3	48	47	589	40	39	296	41	40	0,7	4,8
BMV 4	42	41	443	40	38	282	45	44	0,8	5,9
BMV 5	41	41	449	44	41	316	44	44	1,0	5,0
BMV 6	45	45	568	44	42	363	48	48	1,2	5,1
BMV 7	40	38	422	40	39	288	49	48	3,6	5,3
BMV 8	52	51	581	43	41	321	57	54	3,1	9,2
\bar{x} / s	44/4	43/4	509/68	42/2	40/2	315/32	48/5	47/4	1,5/1,1	6,0/1,7
VK (%)	9	10	13	5	4	10	10	9	74	28

- 35 -

mit: $a_{res} \text{ max.}$ - Maximalwert der resultierenden Beschleunigung: $a_{res} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$

$a_{res} / 3ms$ - Höhe der resultierenden Beschleunigung bei der alle Beschleunigungsspitzen mit einer Gesamtdauer von 3ms abgeschnitten werden

HIC - Head Injury Criterion $HIC = \max \left| (t_2 - t_1) \cdot \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a_{res} dt \right)^{2,5} \right|$

SI - Severity Index $SI = \int a_{res}^{2,5} dt$

Tabelle 5 : Charakteristische Daten der Kopfbeschleunigungen des Dummy's auf dem Fahrersitz, Maximalwerte und Zeitpunkte nach Aufprallbeginn

Versuch-Nr. / Meßgröße	x-Beschleunigung		y-Beschleunigung*		z-Beschleunigung	
	max. (g)	Zeit (ms)	max. (g)	Zeit (ms)	max. (g)	Zeit (g)
BMV 1	- 56	118	± 5	-	- 46	85
BMV 2	- 48	127	+ 7/-4	-	- 41	87
BMV 3	- 47	126	± 4	-	- 34	88
BMV 4	- 49	122	+ 9/-5	-	- 36	101
BMV 5	- 53	116	± 4	-	- 37	102
BMV 6	- 51	115	+ 18	106	- 59	106
BMV 7	- 42	133	+ 4/-6	-	- 42	87
BMV 8	- 61	116	+ 11/-7	-	- 52	103
\bar{x} / s	- 51/5,8	122/6,5	-	-	-43/8,6	95/8,8
VK (%)	12	5	-	-	20	9

* Kurvenverlauf nicht eindeutig zu charakterisieren

Tabelle 6 : Charakteristische Daten der Kopfbeschleunigungen des Dummy's
auf dem Beifahrersitz, Maximalwerte und Zeitpunkte nach Aufprallbeginn

Versuch- Nr.	x-Beschleunigung		y-Beschleunigung		z-Beschleunigung	
	max. (g)	Zeit (ms)	max. (g)	Zeit (ms)	max. (g)	Zeit (g)
BMV 1	- 40	131	- 10	122	- 32	81
BMV 2	- 32	132	- 16	122	- 35	111
BMV 3	- 42	135	- 11	124	- 38	119
BMV 4	- 29	137	- 15	132	- 35	114
BMV 5	- 29	130	- 18	130	- 34	106
BMV 6	- 39	130	- 14	130	- 33	89
BMV 7	- 26	134	- 18	136	- 30	112
BMV 8	- 36	133	- 26	132	- 43	115
\bar{x} / s	- 34/5,9	133/2,5	- 16/5,0	129/5,2	- 35/4	106/14
VK (%)	17	2	31	4	12	13

Tabelle 7: Zeitpunkte des Auftretens der maximalen resultierenden Dummybeschleunigungen für den Fahrersitz (in ms nach Aufprallbeginn)

Versuch Nummer	Zeitpunkt des Auftretens der maximalen Beschleunigung		
	Kopf	Brust	Becken
BMV 1	118	79	78
BMV 2	114	76	96
BMV 3	126	78	101
BMV 4	122	89	98
BMV 5	116	93	85
BMV 6	106	113	84
BMV 7	90	84	84
BMV 8	116	85	76
\bar{x}/s	114/11	87/12	88/9

Tabelle 8: Zeitpunkte des Auftretens der maximalen resultierenden Dummybeschleunigungen für den Beifahrersitz (in ms nach Aufprallbeginn)

Versuch Nummer	Zeitpunkt des Auftretens der maximalen Beschleunigung		
	Kopf	Brust	Becken
BMV 1	128	81	74
BMV 2	112	83	89
BMV 3	122	90	80
BMV 4	114	89	88
BMV 5	104	93	81
BMV 6	125	79	96
BMV 7	114	86	83
BMV 8	116	89	92
\bar{x}/s	117/8	86/5	85/7

Tabelle 9 : Charakteristische Daten der Brustbeschleunigung des Dummy's
auf dem Fahrersitz, Maximalwerte und Zeitpunkte nach Aufprallbeginn

Versuch- Nr.	x-Beschleunigung		y-Beschleunigung		z-Beschleunigung			
	max. (g)	Zeit (ms)	max. (g)	Zeit (ms)	max. 1 (g)	Zeit 1 (g)	max. 2 (g)	Zeit 2 (g)
BMV 1	- 39	82	- 14	88	- 16	79	17	121
BMV 2	- 34	76	- 14	91	- 13	74	17	121
BMV 3	- 32	78	- 15	103	- 13	77	15	119
BMV 4	- 36	90	- 8	109	- 18	74	13	116
BMV 5	- 38	93	- 12	91	- 14	74	21	95
BMV 6	- 35	91	- 13	83	- 19	77	18	104
BMV 7	- 36	84	- 15	91	- 19	71	18	106
BMV 8	- 38	85	- 12	91	- 15	68	13	101
\bar{x} / s	-36/2,3	85/6,2	-13/2,3	93/8,4	-16/2,5	74/3,5	17/2,7	110/10
VK (%)	6	7	18	9	16	5	17	9

Tabelle 10: Charakteristische Daten der Brustbeschleunigungen des Dummy's dem Beifahrersitz, Maximalwerte und Zeitpunkte nach Aufprallbeginn

Versuch-Nr.	x-Beschleunigung		y-Beschleunigung		z-Beschleunigung			
	max. (g)	Zeit (ms)	max. (g)	Zeit (ms)	max. 1 (g)	Zeit 1 (g)	max. 2 (g)	Zeit 2 (g)
BMV 1	- 37	81	- 23	83	- 15	76	18	110
BMV 2	- 33	82	- 26	90	- 10	79	10	110
BMV 3	- 32	90	- 24	91	- 12	79	16	111
BMV 4	- 30	89	- 25	90	- 14	79	14	111
BMV 5	- 31	73	- 31	93	- 19	74	11	99
BMV 6	- 37	79	- 25	82	- 15	70	12	114
BMV 7	- 30	86	- 24	97	- 18	78	10	111
BMV 8	- 36	89	- 27	106	- 19	72	18	110
- x / s	-33/3,0	84/6,0	- 26/2,5	92/7,7	- 15/3,3	76/3,5	14/3,4	110/4,4
VK(%)	9	7	10	8	22	5	25	4

Tabelle 11: Charakteristische Daten der Beckenbeschleunigungen des Dummy's
auf dem Fahrersitz, Maximalwerte und Zeitpunkte nach Aufprallbeginn

Versuch- Nr.	x-Beschleunigung		y-Beschleunigung		z-Beschleunigung	
	max. (g)	Zeit (ms)	max. (g)	Zeit (ms)	max. (g)	Zeit (g)
BMV 1	- 32	73	- 21	77	30	98
BMV 2	- 27	76	- 12	87	29	98
BMV 3	- 27	79	- 14	101	28	102
BMV 4	- 31	77	- 15	98	29	101
BMV 5	- 31	79	- 14	87	31	98
BMV 6	- 30	79	- 20	83	33	99
BMV 7	- 31	84	- 15	84	28	102
BMV 8	- 30	76	- 15	84	31	103
\bar{x} / s	- 30/1,9	78/3,2	- 16/3,1	88/8	30/1,7	100/2,1
VK (%)	6	4	20	9	6	2

Tabelle 12 : Charakteristische Daten der Beckenbeschleunigungen des Dummy's
auf dem Beifahrersitz, Maximalwerte und Zeitpunkte nach Aufprallbeginn

Meßgröße Versuch- Nr.	x-Beschleunigung		y-Beschleunigung		z-Beschleunigung	
	max. (g)	Zeit (ms)	max. (g)	Zeit (ms)	max. (g)	Zeit (g)
BMV 1	- 43	74	- 21	74	32	93
BMV 2	- 34	88	- 22	84	30	95
BMV 3	- 33	80	- 20	86	27	102
BMV 4	- 34	84	- 22	89	28	109
BMV 5	- 35	81	- 20	84	35	97
BMV 6	- 38	66	- 24	70	33	96
BMV 7	- 40	84	- 23	83	31	104
BMV 8	- 39	92	- 27	91	38	96
\bar{x} / s	- 37/3,5	81/8,1	- 22/2,3	83/7,2	32/3,6	99/5,5
VK(%)	10	10	10	9	11	6

Tabelle 13: Zusammenstellung der max. Gurtkräfte für den Fahrersitz

Versuch Nr.	Meßgröße	Gurtkräfte max. (kN)				Mittelwerte (kN)	
		1	2	3	4	Schultergurt 1/2	Beckengurt 3/4
BMV 1		6,5	6,2	7,9	7,5	6,35	7,7
BMV 2		6,2	5,3	8,1	6,7	5,75	7,4
BMV 3		5,3	5,0	6,5	6,9	5,15	6,7
BMV 4		6,4	5,4	6,6	6,4	5,9	6,5
BMV 5		6,6	5,4	7,3	7,6	6,0	7,45
BMV 6		6,4	5,9	9,0	7,3	6,15	8,15
BMV 7		6,1	def.	2,5	6,6	--	4,55
BMV 8		7,8	5,1	6,2	6,4	6,45	6,3
\bar{x} / s		6,4/ 0,7	5,5/ 0,4	6,8/ 2,0	6,9/ 0,5	6,0/ 0,4	6,8/ 1,1
VK(%)		11	8	29	7	7	16

mit: Gurtkraftmeßstellen

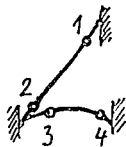


Tabelle 14: Zusammenstellung der max. Gurtkräfte für den Beifahrersitz

Versuch Nr.	Meßgröße	Gurtkräfte max. (kN)				Mittelwerte (kN)	
		1	2	3	4	Schultergurt 1/2	Beckengurt 3/4
BMV 1		8,2	4,6	5,8	10,7	6,4	8,25
BMV 2		8,0	4,2	4,5	6,5	6,1	5,5
BMV 3		7,0	4,5	1,0	9,6	5,75	5,3
BMV 4		7,5	4,2	5,4	9,7	5,85	7,55
BMV 5		7,3	4,4	2,7	12,3	5,85	8,85
BMV 6		7,4	4,5	7,8	8,5	5,95	8,15
BMV 7		8,0	4,3	7,1	9,5	6,15	8,3
BMV 8		7,3	5,1	0,3	7,4	6,2	3,85
\bar{x}/s		7,6/ 0,4	4,5/ 0,3	4,3/ 2,8	9,3/ 1,8	6,0/ 0,2	7,0/ 1,8
VK (%)		6	6	64	20	4	26

mit Gurtkraftmeßstellen

