Fachbereich 2
Ingenieurwissenschaften
Studiengang Fahrzeugtechnik

Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin
University of Applied Sciences

Untersuchung von nachgerüsteten Gurtbefestigungspunkten

Bachelorarbeit

Kim Marschall

März 2016

Fachbereich 2
Ingenieurwissenschaften
Studiengang Fahrzeugtechnik

Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin
University of Applied Sciences

Untersuchung von nachgerüsteten Gurtbefestigungspunkten

Bachelorarbeit

erstellt von: Kim Marschall, 540395

Erstprüfer: Prof. Dipl.-Ing. Hanns-L. Rodewald

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Roland Kayser

Beginn: 05.01.2016

Abgabe: 14.03.2016

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit ohne unerlaubte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen, die inhaltlich oder wörtlich aus Veröffentlichungen stammen, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit lag in gleicher oder ähnlicher Weise noch keiner Prüfungsbehörde vor und wurde bisher nicht veröffentlicht.

Berlin, 02.03.2016

Kim Marschall

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinen Betreuern Herrn Prof. Dipl.-Ing. Hanns-L. Rodewald und Herrn Dipl.-Ing. Roland Kayser, die mir die Bearbeitung dieses interessanten Themas möglich gemacht haben.

Des Weiteren danke ich der HTW, dem TÜV Rheinland, der Atelier Automobile GmbH, dem Ingenieurbüro Weyde, der Firma Mansch Fahrzeugteile Berlin und der Unfallanalyse Berlin für die Unterstützung bei der Umsetzung des Crashversuchs. Ohne diese Sponsoren wäre der Versuch nicht möglich gewesen.

Auch möchte ich allen Teilnehmern des Projekts Sicherheit des Masterstudienganges Fahrzeugtechnik der HTW-Berlin für die gute Zusammenarbeit danken.

Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin
University of Applied Sciences

Professor Dipl.-Ing. Hanns-Lüdecke Rodewald
Fachbereich 2 – Technik und Leben
Leiter des Laborkomplexes Fahrzeugtechnik

HTW * Wilhelminenhofstraße 75A * D-12459 Berlin

Hausanschrift Fachbereich 2:
Wilhelminenhofstraße 75A
D-12459 Berlin
Telefon: 030/50194225
Telefax: 030/50192125
Email: rodewald@htw-berlin.de

Berlin, 03.03.2016

Aufgabenstellung für Herrn Kim Marschall

Thema: **Untersuchung von nachgerüsteten Gurtbefestigungspunkten**

Herr Marschall erhält die Aufgabe, im Rahmen seiner Bachelorarbeit ein zu beschaffendes Fahrzeug mit Dreipunktgurtsystemen nachzurüsten und das Verhalten mit Hilfe eines Crashtests zu untersuchen.

Folgende Arbeitsumfänge sind zu absolvieren:

- Literaturrecherche zum Thema Gurtsysteme, Biomechanik und Crashversuche
- Theoretische Vorbetrachtungen zum Versuchsfahrzeug und zur Umrüstung
- Nachrüstung des Fahrzeugs mit geeigneten Gurtverankerungspunkten
- Nachrüstung des Fahrzeugs mit geeigneten Dreipunktgurtsystemen
- Beschreibung des Versuchsfeldes und der zugehörigen Mess- und Kameratechnik
- Durchführung des Crashversuchs
- Auswertung der relevanten Datenerfassungssysteme
- Berechnungen zur Krafteinleitung in die Gurtsysteme
- Graphische Darstellung und Auswertung der relevanten Parameter und Ergebnisse
- Zusammenfassung mit Ausblick

Die Ergebnisse sind in übersichtlicher Form darzustellen und zu diskutieren. Abschließend ist ein Verfahrensvorschlag zu erstellen, wie bei künftigen Umrüstvorhaben vorgegangen werden sollte.

Berlin, den 03.03.2016

Prof. H.-L. Rodewald
- Erstbetreuer HTW Berlin -

Dipl.-Ing. R. Kayser
- Zweitbetreuer Atelier Automobile -

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1
2 Sicherheitsgurte ... 3
2.1 Gurtsystem-Arten ... 3
2.2 Dreipunkt-Automatik-Gurtsystem ... 4
2.3 Sicherheitsgurt-Ausrüstungspflicht ... 6
2.4 Sicherheitsgurt-Anlegepflicht nach § 21a StVO ... 8
3 Biomechanik ... 9
4 Fahrzeugversuchs- und Crashtechnik ... 12
4.1 Gesetzgebungen und Regelungen ... 12
4.2 Verbraucherschutzprogramme ... 13
5 Versuchsvorbereitung ... 14
5.1 Organisation ... 14
5.2 Crashfahrzeug ... 15
5.2.1 Fahrzeugauswahl ... 15
5.2.2 Fahrzeugvorbereitung ... 16
5.3 Betrachtung der originalen Gurtsysteme und Verankerungspunkte ... 17
5.3.1 Gurte vorne ... 17
5.3.2 Gurte hinten ... 19
5.4 Gurtnachrüstung ... 22
5.4.1 Nachrüstgurte ... 22
5.4.2 Lagebestimmung der Gurtverankerungen ... 23
5.4.2.1 Vorgaben ... 23
5.4.2.2 Vermessung ... 27
5.4.3 Gestaltung der Verankerungspunkte ... 30
5.4.4 Nachrüstung der Verankerungspunkte ... 33
5.4.5 Einbau der Gurtsysteme ... 38
5.5 Eingangsvermessung des Crashfahrzeugs ... 40
5.6 Kameratechnik ... 41
5.6.1 Hochgeschwindigkeitskameras ... 41
5.6.2 Actionkameras ... 43
5.7 Unfalldatenspeicher ... 44
5.8 Beschleunigungssensoren der Dummys ... 45
5.9 Gurtkraftaufnehmer ... 46

5.10 Die Crashanlage der TU Berlin ... 48
6 Versuchsdurchführung ... 50
7 Versuchsauswertung ... 51
7.1 Auswertung der Kameraaufnahmen ... 51
7.1.1 Hochgeschwindigkeitskameras ... 51
7.1.2 Actionkameras ... 59
7.2 Betrachtung des gesamten Fahrzeugs ... 60
7.3 Ausgangsvermessung des Crashfahrzeugs ... 64
7.4 Berechnungen zur Krafteinleitung in die Gurtsysteme ... 64
7.5 Auswertung Unfalldatenspeicher ... 66
7.6 Auswertung Beschleunigungssensoren der Dummys ... 69
7.7 Auswertung Gurtkraftaufnehmer ... 70
7.7.1 Vergleich der maximalen Gurtkräfte ... 71
7.7.2 Auf Gurtsystem und Verankerungspunkte wirkende Kräfte ... 73
7.8 Betrachtung der Verankerungspunkte ... 76
7.9 Betrachtung der Gurtsysteme ... 80
8 Zusammenfassung und Ausblick ... 83
9 Literaturverzeichnis ... 85
10 Anhang ... 87
10.1 Abkürzungsverzeichnis ... 87
10.2 Abbildungsverzeichnis ... 88
10.3 Tabellenverzeichnis ... 91
10.4 Anlagen ... 92
10.4.1 Videos und Einzelbilder der Hochgeschwindigkeitskameras ... 92
10.4.2 Auszug aus der ECE-R 14 ... 92
10.4.3 Diagramme der Gurtkraftaufnehmer ... 93

1 Einleitung

Bei der Entwicklung des ersten praxistauglichen Automobils im Jahre 1885 durch Carl Benz wurden sich noch keine Gedanken zur Fahrzeugsicherheit gemacht. Dies war auch kaum notwendig, denn die damaligen Fahrzeuge konnten keine hohen Geschwindigkeiten erreichen und es herrschte ohnehin kaum Verkehr auf den Straßen. Mit der Weiterentwicklung und Verbreitung des Automobils änderten sich diese Umstände jedoch. Die gefahrenen Geschwindigkeiten, der Verkehr und somit auch die Unfallzahlen nahmen zu. Somit mussten sich auch Gedanken über die Fahrzeugsicherheit gemacht werden. Unter anderem wurden steifere Fahrgastzellen und Knautschzonen eingeführt, welche jedoch nicht verhinderten, dass die Fahrzeuginsassen bei einem Unfall durch das Fahrzeug oder sogar herausgeschleudert wurden. Sicherheitsgurte können dies verhindern. Sie waren allerdings lange Zeit nur in wenigen Fahrzeugen vorzufinden und wurden meist auch nur auf Wunsch verbaut. Pkw mit Erstzulassung vor April 1970 müssen keine Sicherheitsgurte besitzen. Im Laufe der Zeit kamen einige Sicherheitssysteme hinzu, wie zum Beispiel Airbags, ABS, ESP usw. Auch heute werden immer neue Systeme zur Erhöhung der Sicherheit der Fahrzeuginsassen und anderer Verkehrsteilnehmer entwickelt und auf den Markt gebracht.

Das heutige Straßenbild beinhaltet auch ein paar historische Fahrzeuge, welche in puncto Fahrzeugsicherheit modernen Automobilen weit unterlegen sind. Deshalb geht von einigen Besitzern dieses historischen Kulturgutes der Wunsch nach mehr Insassensicherheit aus. Dies ist allerdings meist nur mit viel Aufwand, somit hohen Kosten und einer Verletzung der Originalität zu realisieren. Sind jedoch keine Sicherheitsgurte verbaut, kann eine Nachrüstung dieser, mit verhältnismäßig geringem Aufwand, einen großen Gewinn an Insassensicherheit erzielen. Oft sind jedoch keine Befestigungspunkte für die Sicherheitsgurte vorhanden. Diese müssen dann auch nachgerüstet werden.

Im Wintersemesters 2012 wurde eine Bachelorarbeit mit dem Thema: Integration von Rückhaltesystemen in historische Fahrzeuge von Remon Hirsekorn erstellt.
In dieser Arbeit wurden folgende Punkte näher ausgearbeitet:

1.) „Ein Konzept zur Integration von Gurtverankerungspunkten und Sicherheitsgurten in historische PKW, unter Beachtung der gesetzlichen Ausgangslage für Sicherheitsgurte und Sicherheitsgurtverankerungspunkte." [1, S. V]

2.) „Abschätzung der Kraftaufnahmefähigkeit von verschiedenen Verankerungsvarianten durch modellhafte Versuche an einer geeigneten Zug-Prüfmaschine." [1, S. V]

Unter Punkt 2 hat Remon Hirsekorn verschiedene Gestaltungsvarianten von Gurtbefestigungspunkten quasistatisch auf ihre Kraftaufnahmefähigkeiten untersucht. Aufgrund dieser Ergebnisse kann behauptet werden, dass alle, bis auf eine der fünf Gestaltungsvarianten, den Prüfbedingungen der ECE-Regelung 14 für Sitzgurtverankerungen Stand gehalten und meist sogar die geforderten Werte weit übertroffen hätten. Die verhältnismäßig geringe Kraftaufnahmefähigkeit der Gestaltungsvariante 2, welche auch nur unter bestimmten Winkeln aufgetreten ist, kann auf eine zu geringe Anzahl von Schweißpunkten oder auf eine schlechte Qualität dieser zurückgeführt werden. Um diese Behauptung verifizieren zu können, müssten allerdings erneut Zugversuche durchgeführt werden.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit mit dem Thema „Untersuchung von nachgerüsteten Gurtbefestigungspunkten“ sollen diese dynamisch, und zwar mithilfe eines Full-Size-Crashversuchs untersucht werden. Dieser findet alljährlich, im Zuge des Projekts Sicherheit des Masterstudienganges Fahrzeugtechnik der HTW Berlin, statt. Das Ganze wird in Zusammenarbeit mit dem TÜV Rheinland auf der Crashbahn der TU Berlin durchgeführt.
Dazu soll bei einem Fahrzeug, das von Werk aus schon Dreipunkt-Automatik-Sicherheitsgurte besitzt, auf einer Seite des Fahrzeugs vorne und hinten die Originalgurte entfernt und stattdessen, nach dem von Remon Hirsekorn erstellten Nachrüstkonzept, neue Gurtverankerungspunkte und Sicherheitsgurte eingebaut werden.

2 Sicherheitsgurte

Der Sicherheitsgurt kann als wichtigstes Element der Insassensicherheit gesehen werden. Dieser schützt den Insassen im Falle eines Unfalls vor einem Aufprall auf Innenraumteile und Fahrzeugstruktur oder vermindert zumindest die Anprallgeschwindigkeit, wenn ein Anprall durch eine hohe Unfallschwere nicht verhindert werden kann. Durch die Rückhaltung des Insassen kann dieser vor hohen Beschleunigungen und deren Folgen geschützt werden. Die beschleunigungsmindernden Deformationszonen des Fahrzeugs können so ausgenutzt werden. Dies zeigen die Diagramme in Abbildung 1, links ohne und rechts mit Sicherheitsgurt. Je früher der Insasse an der Fahrzeugverzögerung teilnimmt, desto geringer sind die auf ihn wirkenden Beschleunigungen.

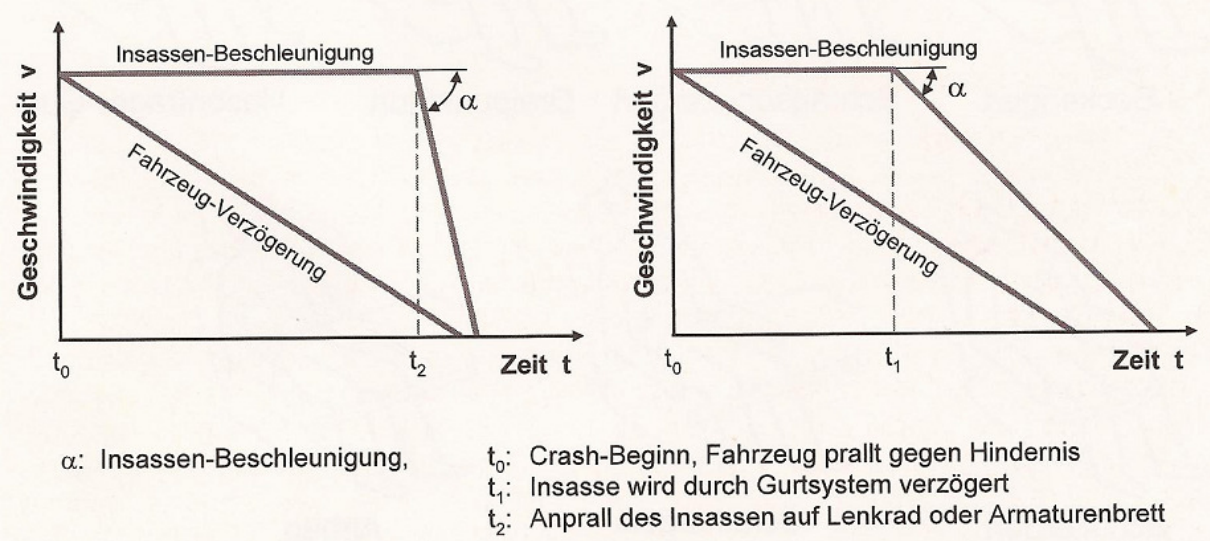


Abbildung 1 Fahrzeug- und Insassenbeschleunigungen ohne Gurt (links), mit Gurt (rechts) [2, S. 169]

2.1 Gurtsystem-Arten

Die gängigsten Gurtsystem-Arten zeigt Abbildung 2. Es gibt noch weitere Systeme, die aber keine große Anwendung finden und hier deshalb nicht behandelt werden.

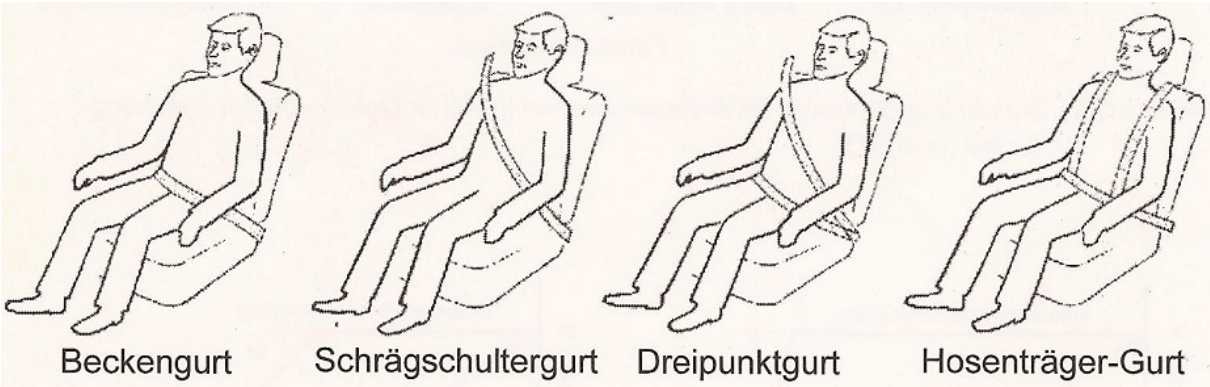


Abbildung 2 Gurtsystem-Arten [22]

Becken- und Schrägschultergurt finden heute keine Anwendung mehr im Pkw, sind aber in vielen älteren Fahrzeugen zu finden. Heute wird hauptsächlich der Dreipunkt-Gurt als Automatik-Variante verwendet. Er vereint Becken- und Schrägschultergurt und bietet somit eine sehr gute Rückhaltung. In klassischen Fahrzeugen ist dieser oft auch als Statik-Variante zu finden. Der Hosenträger-Gurt wird oft in Rennfahrzeugen verwendet.

2.2 Dreipunkt-Automatik-Gurtsystem

Das Dreipunkt-Automatik-Gurtsystem bietet einen hohen Komfort und viel Sicherheit, weshalb dieses auch bei einer Sicherheitsgurtnachrüstung in klassischen Fahrzeugen verwendet werden sollte. In Abbildung 3 ist ein solches System und dessen Verlauf zu sehen. Die mit Buchstaben versehenen Komponenten werden im Folgenden näher beschrieben.

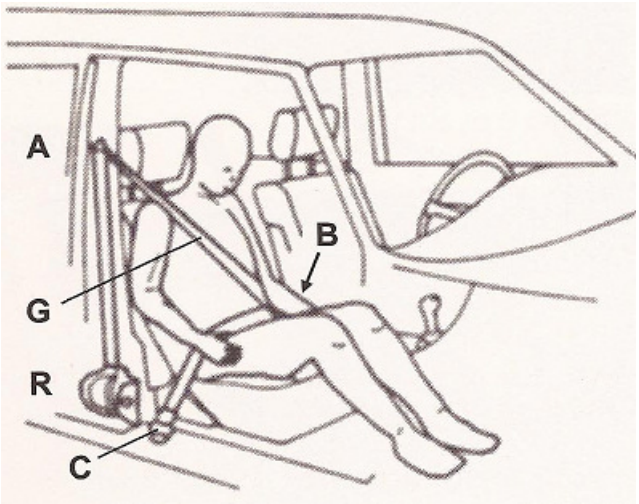


Abbildung 3 Dreipunkt-Automatik-Gurt [2, S. 176]

A: Der Umlenkbeschlag sorgt für die Umlenkung des Schrägschultergurtanteils zum Retraktor und ist drehbar gelagert. Zur richtigen Positionierung des Gurtes kann der Umlenkbeschlag auch mit einer Höhenverstelleinrichtung versehen werden.

B: Gurtschloss und Gurtzunge erlauben es, den Gurt zu öffnen und zu schließen. Das Gurtschloss wird entweder an der Karosserie oder am Sitzgestell befestigt. Die Gurtzunge lenkt den Schrägschultergurt- zum Beckengurtanteil um.

C: Der Befestigungsbeschlag des Beckengurtanteils positioniert diesen und kann sich in manchen Fällen auch einen Befestigungspunkt mit dem Retraktor teilen.

G: Das Gurtband besteht aus synthetischen Polyamid- oder Polyesterfasern und überträgt die Kräfte auf die Gurtverankerungen. Es muss einer Kraft von 14,7 kN standhalten können. Die Gurtbanddehnung darf bei einer Nennlast von 11 kN nur 6% bis 11%, in Sonderfällen bis 25% betragen. [16]

R: Der Retraktor, oder auch Gurtaufroller, rollt das Gurtband mithilfe einer Spule auf und wird so automatisch dem Körperbau des Benutzers angepasst. Die Verriegelung des Gurtbands kann durch verschiedene Mechanismen erfolgen. Hier wird zwischen Retraktoren mit einfach und mehrfach sensitiver Auslösung unterschieden. Bei mehrfach sensitiven Retraktoren wird durch eine bestimmte Ausrollgeschwindigkeit des Gurtbands, Fahrzeugverzögerung oder Fahrzeugschräglage verriegelt.

Zur Befestigung des Gurtsystems im Fahrzeug sind somit mindestens drei, in der Regel aber vier Verankerungspunkte nötig. Laut den Prüfbedingungen der ECE-Regelung 14 muss ein Verankerungspunkt maximal eine Kraft von 13,5 kN aufnehmen können.
Bis heute hat das Dreipunkt-Automatik-Gurtsystem viele Neuerungen erfahren. „Zur Minimierung der ***Gurtlose*** (zusammengesetzt aus Bekleidungsnachgiebigkeit, Filmspuleneffekt, Gurtbanddehnung und systembedingtem Spiel) werden in moderneren Automobilen noch weitere technische Mittel eingebunden, die bei Nachrüstungen keine Anwendung finden. Ein ***Gurtklemmer*** wird der Gurtspule nachgeschaltet und verhindert wirksam den „Filmspuleneffekt“ (Zusammenziehen des Gurtes auf der Spule bei großer Belastung). Da der Gurtklemmer die Gurtlose nur eingeschränkt begrenzt, entwickelte man den ***Gurtstraffer*** (Bauweisen: Aufroller-Straffer oder Schloss-Straffer). Er generiert ein zeitlich frühes Anlegen des Gurtbandes,

so dass die wirksame Insassen-Verzögerung früher einsetzt. Pyrotechnische oder mechanische Bauformen speichern die für den Straffvorgang benötigte Energie“ [1, S. 15]. Um Belastungsspitzen zu vermeiden, kommen auch Gurtkraftbegrenzer zum Einsatz. Diese ermöglichen ein kontrolliertes Nachgeben des Gurtes beim Erreichen einer bestimmten Gurtkraft.

2.3 Sicherheitsgurt-Ausrüstungspflicht

Zur Erhöhung der Sicherheit von Automobilinsassen wurde mit Wirkung vom 1. Januar 1974 der Absatz 7 in § 35a der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) eingefügt. Der Gesetzgeber schreibt in Absatz 7 die Mitführung eines Dreipunkt-Sicherheitsgurtes vor. Mit Wirkung vom 1. Januar 1976 führte der Gesetzgeber eine Nachrüstpflicht für Sicherheitsgurte ein, die für Fahrzeuge gilt, die ab 1. April 1970 erstmals in den Verkehr genommen wurden und über entsprechende vormontierte Verankerungspunkte verfügen. Bei Cabriolets reichten auch auf den Vordersitzen Beckengurte aus. Der Sicherheitsgurteinbau auf den hinteren Sitzplätzen ist seit dem 1. Mai 1979 vorgeschrieben [17]. „Von diesem Zeitpunkt an mussten auch hinten mindestens Zweipunkt-Statikgurte montiert sein. Obwohl – zumindest auf den Vordersitzen – der Dreipunkt-Sicherheitsgurt in statischer oder automatischer Bauweise längst zur Standardausrüstung eines Autos gehörte, wurde der automatische Dreipunktgurt erst ab dem 1. Oktober 2004 auf *allen nach vorn gerichteten Sitzplätzen* verbindlich vorgeschrieben. Auf *nach hinten gerichteten Sitzplätzen* sind nach wie vor Zweipunktgurte zulässig (Zweipunkt-Beckengurt oder Zweipunkt-Schrägschultergurt)“ [1, S. 20]. Die Tabelle 1 auf der nächsten Seite gibt Aufschluss über die Sicherheitsgurt-Ausrüstungspflicht in der Bundesrepublik Deutschland für geschlossene und offene KFZ der Klasse M_1.

Tabelle 1 Ausrüstungspflichten für KFZ der Klasse M_1 [1]

Erstzulassung ab:	Vordere Sitzreihe	Hintere Sitzreihen		Bemerkungen
	äußere Sitzplätze	äußere Sitzplätze	Mittelsitze	
01.04.1970	3-P-St	–	–	Die Ausrüstung gilt nur, sofern entsprechende Verankerungen vorgesehen sind
01.01.1974	3-P-St	V	V ab 01.01.1975	–
01.05.1979	3-P-St	2-P-St *	2-P-St *	* Gilt auch für PKW, die unter Beachtung der Vorschriften der DDR bis 31.12.1990 erstmals in den Verkehr gekommen sind, wenn diese über serienmäßige Verankerungen verfügen. (Trabant 601 besitzt auf hinteren Sitzplätzen keine Verankerungen)
01.01.1992	3-P-Au	3-P-Au	2-P-St	–
01.10.1999	3-P-Au	3-P-Au	2-P-St	Kopfstützen auf vorderen Außensitzen vorgeschrieben
01.10.2004	3-P-Au	3-P-Au	3-P-Au	Kopfstützen auf vorderen Außensitzen vorgeschrieben
Offene KFZ 01.10.1999	3-P-Au	3-P-Au	2-P-St	Kopfstützen auf vorderen Außensitzen vorgeschrieben
Offene KFZ 01.10.2004	3-P-Au	3-P-Au	3-P-Au	Kopfstützen auf vorderen Außensitzen vorgeschrieben
Erstzulassung bis:	Beschreibung	Bemerkungen		
30.09.1999	Offene KFZ (Cabriolet, Spider etc.)	Offene KFZ benötigen analog den vorangestellten Forderungen in Verbindung mit dem jeweiligen Datum entsprechende Sicherheitsgurte, jedoch reicht die Ausrüstung mit Zweipunkt-Statikgurt auf allen Sitzplätzen		

2-P-St: Zweipunkt-Statikgurt 3-P-Au: Dreipunkt-Automatikgurt

3-P-St: Dreipunkt-Statikgurt V: Verankerung vorgeschrieben [1]

„Klassische Fahrzeuge, die nicht unter die oben genannten Vorschriften fallen, müssen nicht zwingend nachträglich mit Sicherheitsgurten ausgerüstet werden. Es obliegt dem Besitzer des

[1] [1] zitiert aus *DEKRA Automobil GmbH*: Merkblatt-„Ausrüstung mit Sicherheitsgurten“, März 2007

Klassikers, ob er sein Fahrzeug mit entsprechenden Sicherheitsgurten ausstattet. Bei Kraftfahrzeugmodellen, die im Zeitraum von ca. 1960 bis in die Mitte der Siebziger Jahre gebaut wurden, befinden sich häufig schon vorinstallierte Verankerungspunkte für Sicherheitsgurte in der Fahrzeugkarosserie. Soll ein passendes Gurtsystem installiert werden, wird die ursprüngliche Optik des Innenraumes geringfügig beeinträchtigt. Dies, sowie eine geringe Jahres-Kilometerleistung und eine zurückhaltende Fahrweise, stellen keine ernsthaften Argumente gegenüber dem Sicherheitsgewinn einer Nachrüstung dar. Ein sachkundig und nachträglich integriertes Gurtsystem bietet ferner Schutz gegen das Fehlverhalten anderer Verkehrsteilnehmer“ [1, S. 22].

2.4 Sicherheitsgurt-Anlegepflicht nach § 21a StVO

Im Folgenden soll gezeigt werden, inwieweit die Gurtanlegepflicht in der Bundesrepublik Deutschland durch den § 21a der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) geregelt ist und welche Auswirkungen sie auf die Nutzung in klassischen Fahrzeugen hat.

Die Ausrüstungspflicht für Sicherheitsgurte bei Fahrzeugen mit Erstzulassung nach dem 1. April 1970 zog keine gesetzliche Anlegepflicht der Gurte mit sich. Diese wurde erst am 1. Januar 1976 eingeführt und galt zunächst nur für die vorderen Sitzplätze. Ab dem 1. Juli 1986 war auch das Anlegen auf den hinteren Sitzplätzen Pflicht. [18]

In § 21a der StVO Absatz 1, heißt es: „Vorgeschriebene Sicherheitsgurte müssen während der Fahrt angelegt sein“ [19].

„Eine Gurtanschnallpflicht ist nach dem Wortlaut der StVO auch bei nachgerüsteten Gurtsystemen nicht erforderlich. Nach dem Sinn und Zweck der Vorschrift aber, kann eine Gurtanschnallpflicht auch angenommen werden. Hier besteht auch in der Rechtssprechung Uneinigkeit“ [1, S. 22].

3 Biomechanik

„Die Biomechanik befasst sich mit Funktionen und Strukturen von Bewegungsapparat und Belastungen von biologischen Systemen“ [13, S. 531]. Für die Fahrzeugsicherheit ist die Kenntnis von biomechanischen Zusammenhängen eine wichtige Grundvoraussetzung. Nur mit diesen Kenntnissen können Schutzeinrichtungen sinnvoll konstruiert werden. In der Biomechanik unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Verletzungsmechanismen:

- Kontaktverletzungen, welche durch punktuelles Einwirken von Kräften hervorgerufen werden
- Beschleunigungsverletzungen, welche durch hohe Beschleunigungen hervorgerufen werden
- Viskose Verletzungen, welche durch rasch einwirkende mechanische Beanspruchungen hervorgerufen werden

Des Weiteren werden Verletzungs- und Schutzkriterien unterschieden. Verletzungskriterien stellen experimentell gewonnene mechanische Größen dar, bei dessen Überschreitung Verletzungen an Körperregionen hervorgerufen werden. Schutzkriterien stellen die Größen dar, die am Dummy gemessen oder mit mathematischen Modellen berechnet werden.[3]
In Tabelle 2 auf der nächsten Seite sind die wichtigsten biomechanischen Belastungsgrößen aufgeführt, welche experimentell ermittelt wurden. Die Werte können allerdings eine große Streuung besitzen, je nach Geschlecht, Alter und Konstitution des Unfallopfers.

Tabelle 2 Belastungsgrenzen des menschlichen Körpers [3, zitiert aus 14, 2]

Körperteil	Mechanische Größe	Belastungsgrenzen
Ganzer Körper	a_x max a_x mittel	40 bis 80 g (3 ms) 40 bis 45 g (160 bis 220 ms)
Kopf/Gehirn	a_{res} $\ddot{\alpha}$ GAMBIT	bis 300 g (sehr kurz) 80 g (> 3 ms) 60 g (> 45 ms) 1.800 bis 7.500 rad/s^2 7.500 bis 8.500 rad/s^2 bis 25.000 rad/s^2 1,0
Knöcherner Schädel	ax max, ay max	80 bis 300 g je nach Größe der Stoßfläche
Stirn	a_x max F_x	120 bis 200 g 4.000 bis 6.000 N
Halswirbelsäule	a_x max Thorax a_y max Thorax α_{max} Flexion α_{max} Extension M_b Flexion M_b Extension M_b F_{Scher} F_{Zug} F_{Druck}	30 bis 40 g 15 bis 18 g 80° bis 100° 80° bis 90° 190 Nm 57 Nm 370 Nm 1.800 bis 2.600 N 1.200 bis 2.600 N 1.100 bis 2.600 N 3.600 bis 5.700
Brustkorb	a_x max F_x s_x	40 bis 60 g (>3 ms) 60 g (< 3 ms) 4.000 bis 8.000 N 50 bis 76 mm
Becken	a_x max a_{res} max	50 bis 80 g (Becken) 80 g, falls α ≤ 20°
Oberschenkel	F_x	6.400 bis 12.500 N 9.070 N (0 ms) 7.560 N (>10 ms)
Knieverschiebung	s	15 mm
Schienbein	F_x Mx	2.500 bis 5.000 N 8.000 N 120 bis 170 Nm 225 Nm
Fußkontaktkraft	F	10 kN

Um die Verletzungsschwere von Unfallopfern allgemeingültig bewerten zu können, wurde die Abbreviated Injury Scale (AIS) entwickelt, welche international gültig ist. Mithilfe eines in die sieben Körperregionen unterteilten Verletzungskataloges wird jeder Verletzung ein Schweregrad zugeordnet. Tabelle 3 zeigt die verschiedenen Einstufungen mit Beispielen.

Tabelle 3 Verletzungsschweregrad nach AIS [21]

AIS	Schweregrad	Beispiele für Verletzungen	Letalitäts-rate [%]
0	unverletzt		0,00
1	gering	Schürfung, Schnittwunden, Stauchung, Prellung Verbrennungen 1. und 2. Grades bis 10 % der Oberfläche	0,00
2	mäßig	Großflächige Schürfung und Prellung ausgedehnte Weichteilverletzungen leichte Gehirnerschütterung mit Amnesie Verbrennungen 2. Grades bis 15 % der Oberfläche	0,07
3	schwer nicht lebens-gefährlich	Schädelfraktur ohne Liquoraustritt Gehirnerschütterung mit Bewusstlosigkeit Pneumothorax Verbrennungen 2. Grades bis 25 % der Oberfläche	2,91
4	bedeutend lebens-gefährlich Überleben wahrscheinlich	Schädelfraktur mit Liquoraustritt Gehirnerschütterung mit Bewusstl. bis 24 Stunden Perforation des Brustkorbes Verbrennungen 2. oder 3. Grades bis 35 % der Oberfläche	6,88
5	kritisch Überleben unsicher	Schädelfraktur mit Hirnstammblutung Organriss oder -abriss Verbrennungen 3. Grades bis 90 % der Oberfläche	32,32
6	maximal als praktisch nicht überleb-bar gewertet	Massive Kopfquetschung, Hirnstammlazeration, Schädelbasisfraktur Thoraxquetschung, Aortaruptur und -durchtrennung Trennung zwischen Thorax und Becken	100,00
9	unbekannt		unbekannt

Allerdings muss bei der Einstufung nach AIS beachtet werden, dass nur die Schwere einzelner Verletzungen bewertet wird.

Eine Einstufung der Verletzungsschwere unter Berücksichtigung mehrerer Einzelverletzungen liefern der Maximum AIS (MAIS) und das Injury Severity Score (ISS).

4 Fahrzeugversuchs- und Crashtechnik

Crashtests, oder auch Kollisionsversuche, dienen der Überprüfung der passiven Sicherheit eines Fahrzeugs. Dank heutzutage hoch entwickelter Software können solche Versuche zwar simuliert werden, eine Überprüfung unter realen Bedingungen bleibt jedoch unerlässlich, denn nur so kann die gewünschte Fahrzeugsicherheit bestätigt oder können Schwachstellen aufgezeigt werden.

Je nach Versuchsziel können verschiedene Crashanlagen verwendet werden. Zum Test ganzer Fahrzeuge werden Full-Size-Crashanlagen verwendet, welche sich auch im Freien befinden können. Zum Test einzelner Komponenten oder des Verhaltens der Insassen werden Schlittenanlagen verwendet. Hier wird die Karosserie auf einem Schlitten montiert, welcher dann gegen ein festes Hindernis gefahren wird. Dies sind die gängigsten Anlagen.

Zur Simulation des Menschen werden Crashtest-Dummys verwendet, welche für verschiedene Versuchskonfigurationen konzipiert sind. Die Frontaufpralldummys des Typs Hybrid 3 gibt es als 50% Mann, 95% Mann und 5% Frau. Die Seitenaufpralldummys gibt es als Euro- und USA-SID (Side Impact Dummy). Des Weiteren werden Kinder- und Fußgängerdummys verwendet.

4.1 Gesetzgebungen und Regelungen

Um eine Typgenehmigung zu erhalten, muss jedes Fahrzeug die Prüfvorschriften des Landes, in dem diese erteilt werden soll, erfüllen. In Europa sind die EU-Richtlinien oder ECE-Regelungen maßgebend, in den USA die Vorschriften der Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS). In Europa erfolgen die gesetzlichen Prüfungen extern, in den USA durch den Hersteller.

Die in Europa geltende ECE-R 94 gibt einen Frontalaufprall gegen eine deformierbare Barriere mit 40% Überdeckung auf der Fahrerseite bei 56 km/h vor. Dabei werden auf Fahrer- und Beifahrersitz 50% Mann Hybrid 3 Dummys verwendet, die mit Sensoren ausgestattet sind, um die Einhaltung bestimmter Schutzkriterien für Kopf, Hals, Thorax, Oberschenkel und Knie überprüfen zu können. Auch Lenkradverschiebung und Drehung der Lenksäule werden hier gemessen.

Die ECE-R 95 gibt einen Seitenaufprall mit einer beweglichen, deformierbaren 300 mm hohen Barriere bei 50 km/h vor. Hier werden Euro-SID Dummys verwendet, mithilfe dessen die Einhaltung der Schutzkriterien für Kopf, Brust und Abdomen überprüft wird.

4.2 Verbraucherschutzprogramme

Um die Fahrzeughersteller zu animieren, die gesetzlichen Mindestanforderungen zu übertreffen und dem Verbraucher eine Entscheidungshilfe in Bezug auf die Sicherheit der Fahrzeuge zu bieten, wurden Verbraucherschutzprogramme eingeführt. Um eine gute Bewertung zu erhalten, muss ein Fahrzeug die gesetzlichen Mindestanforderungen übertreffen und darüber hinaus noch weitere Anforderungen erfüllen [2, S. 309].

Je nach Nation gibt es zum Beispiel verschiedene NCAP-Tests (New Car Assesment Program), in den USA zusätzlich Tests des IIHS (Insurance Institute for Highway Safety) und in Deutschland Tests des ADAC. Den in Europa wichtigsten Verbraucherschutztest stellt der Euro-NCAP dar. Abbildung 4 zeigt dessen Testkonfigurationen.

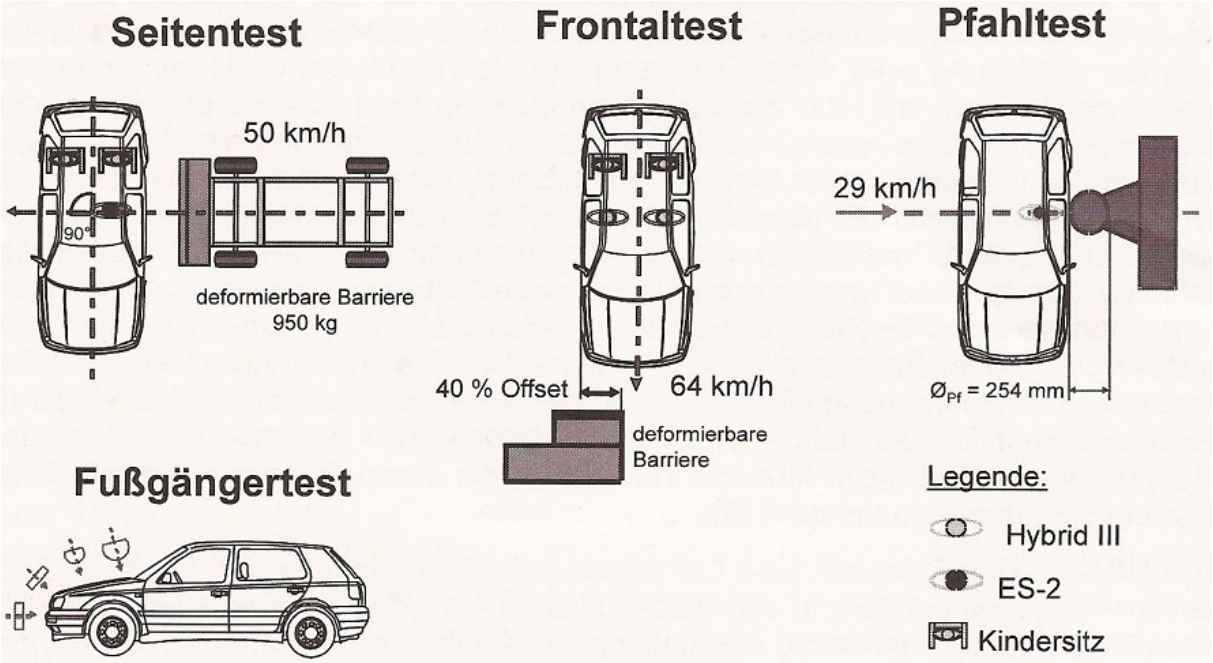


Abbildung 4 Testkonfiguration nach Euro-NCAP [2, S. 312]

5 Versuchsvorbereitung

5.1 Organisation

An der Organisation und Durchführung des Crashversuchs sind alle Teilnehmer des Projekts Sicherheit des Masterstudienganges Fahrzeugtechnik beteiligt. Dazu wurden für die Verantwortung der verschiedenen Aufgabenbereiche die Teams wie folgt eingeteilt:

- **Team Kamera:** Zuständig für alle Filmaufnahmen
- **Team Fahrzeugbeschaffung:** Beschaffung, Transport und Vorbereitung des Crashfahrzeugs
- **Team Berechnung:** Vorausgehende Überlegungen und Berechnungen zum Crashversuch
- **Team Dummy:** Beschaffung der Dummys
- **Team Media:** Öffentlichkeitsarbeit, Kontakt zu den Medien
- **Team UDS:** Einbau, Inbetriebnahme und Auswertung von Unfalldatenspeicher und Beschleunigungssensoren der Dummys
- **Team Zeitplan:** Erstellung Zeit- und Ablaufplan
- **Team Vermessung:** Vermessung des Fahrzeugs vor und nach dem Crash
- **Team Dokumentation:** Dokumentation aller Abläufe des Versuchs

5.2 Crashfahrzeug

5.2.1 Fahrzeugauswahl

Bei der Auswahl des Versuchsfahrzeugs müssen einige Anforderungen berücksichtigt werden.

Es sollte über Dreipunkt-Automatikgurte vorne, und wenn vorhanden, auf den hinteren äußeren Sitzplätzen verfügen, um eine Vergleichbarkeit mit den Nachrüstgurten gewährleisten zu können. Des Weiteren sollte das Fahrzeug keine Gurtstraffer, Gurtkraftbegrenzer oder Airbags besitzen, denn diese würden die Kraftverläufe an den Gurten beeinflussen. Darüber hinaus sollte das bereitgestellte Budget für das Crashfahrzeug und dessen Vorbereitung, nicht überschritten werden.

Es wurde sich für einen Opel Ascona C entschieden, welcher die genannten Anforderungen erfüllt (vgl. Abbildung 5). Dieser wurde von August 1981 bis Oktober 1988 hergestellt und besitzt bereits Frontantrieb. Die von General Motors entwickelte Fahrzeugplattform wurde in zahlreichen Ländern produziert und unter verschiedenen Markennamen vertrieben. Es handelt sich somit um ein weit verbreitetes Fahrzeug.

Abbildung 5 Opel Ascona C auf Transportanhänger [11]

In Tabelle 4 sind die wichtigsten Daten des Versuchsfahrzeugs aufgelistet.

Tabelle 4 Fahrzeugdaten [6]

Datum der Erstzulassung	09.12.1987
Laufleistung	125.000 km
Motor	Otto, 1587 cm^3, 55 kW
Getriebe	Automatik
Länge	4366 mm
Breite	1668 mm
Höhe	1395 mm
Leergewicht	1020 kg
Zulässiges Gesamtgewicht	1545 kg
Vorgängermodell	Opel Ascona B
Nachfolgermodell	Opel Vectra A

5.2.2 Fahrzeugvorbereitung

Neben den Gurtumbauten und der Ausrüstung von Mess- und Filmtechnik, welche im Folgenden beschrieben werden, müssen noch andere vorbereitende Maßnahmen am Fahrzeug getroffen werden.

Zunächst wird das Fahrzeug in einem Uni-Orange-Ton lackiert, welcher die Fahrzeugkonturen besser erkennen lässt und durch seine Mattheit ein Reflektieren der Oberflächen verhindert. Des Weiteren werden die Türen demontiert, um das Verhalten der Dummys und der Gurtsysteme während des Versuchs beobachten zu können. Auch die Abgasanlage wird demontiert, um ein problemloses Überfahren des Zugankers der Crashanlage gewährleisten zu können. Darüber hinaus müssen alle Betriebsmittel abgelassen werden und die Starterbatterie in den Kofferraum verlegt werden. Zuletzt werden die Aufkleber der Sponsoren an das Fahrzeug angebracht.

Um das Verhalten heutzutage oft mitgeführter technischer Geräte während eines Unfalls ermitteln zu können, wird an der Windschutzscheibe ein Navigationsgerät befestigt und auf der Hutablage ein Laptop platziert. Auch das Verhalten der nachgerüsteten dritten Bremsleuchten, welche am Scheibenrahmen befestigt sind, soll beobachtet werden.

5.3 Betrachtung der originalen Gurtsysteme und Verankerungspunkte

5.3.1 Gurte vorne

Aufschluss über das verbaute Gurtsystem gibt die meist am Gurtband angebrachte Kennzeichnung, auch „Gurtlabel“ genannt, wie in Abbildung 6 zu sehen.

Abbildung 6 Gurtsystem und Gurtkennzeichnung vorne

Die Aufschriften können wie folgt aufgeschlüsselt werden:

- Der Kreis mit dem darin befindlichen „E“ und einer Kennzahl stellt das ECE-Prüfzeichen dar und sagt aus, dass die erforderlichen Prüfungen und Genehmigungen durchgeführt wurden und eine ECE-Bauartgenehmigung erteilt wurde. Die Kennzahl gibt Aufschluss über den Staat, in dem die Genehmigung erteilt wurde, in diesem Fall die 11 für Großbritannien.
- Das Rechteck mit dem „e“ und der Kennzahl stellt das Prüfzeichen nach der EG-Richtlinie dar und sagt aus, dass eine europäische Typgenehmigung erteilt wurde.
- Das „A“ über den Prüfzeichen steht für einen Dreipunktgurt.
- Das „r“ steht für einen Gurt mit Aufrolleinrichtung.

- Die „4“ steht für eine Aufrollvorrichtung mit Notverriegelung vom Typ 4. Dies entspricht einem typischen Automatikgurt.
- Das „m“ beschreibt einen Retraktor mit mehrfach sensitiver Auslösung.

[ECE-R16-06]

Alle Befestigungsbeschläge sind hier mit 7/16-Zoll-Gewindeschrauben an den Verankerungspunkten befestigt.

Der Retraktor und der untere Befestigungsbeschlag des Gurtes teilen sich einen Verankerungspunkt im Schwellerbereich (vgl. Abbildung 7). Hier wurde ein Blech mit einer aufgeschweißten Mutter , die ein 7/16-Zoll-Gewinde (20 UNF 2B) besitzt, in den Schweller eingesetzt und mit diesem mittels Widerstandspunktschweißverfahren verbunden. Die Nutzung eines gemeinsamen Verankerungspunkts ist möglich, wenn dieser eine ausreichende Kraftaufnahmefähigkeit besitzt, um die auf normalerweise zwei Verankerungspunkte wirkenden Kräfte aufnehmen zu können und trotzdem die richtige Lage der Verankerungspunkte gewährleistet werden kann. Eine Aussparung in der B-Säule liefert hier Platz für den Retraktor.

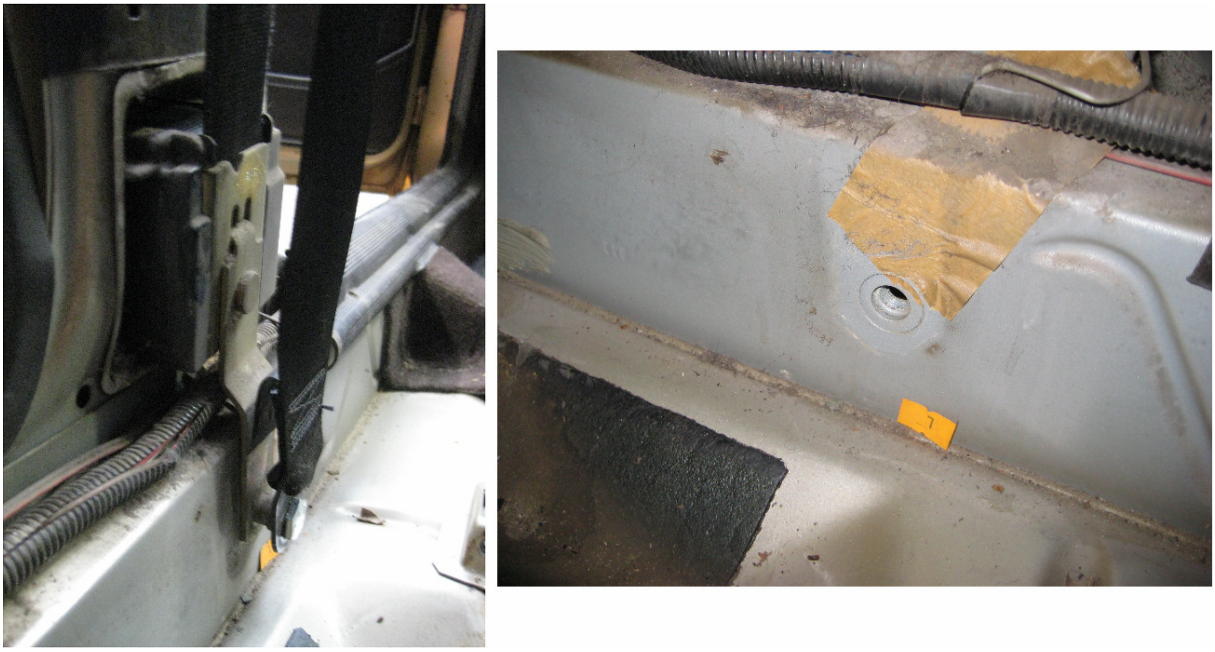


Abbildung 7 Verankerungspunkt von Retraktor und unterem Gurtpunkt

Der obere Verankerungspunkt des Gurtes an der B-Säule besteht auch aus einem Blech mit einer aufgeschweißten Mutter, welches in die B-Säule eingesetzt und mit dieser mittels Widerstandspunktschweißverfahren verbunden wurde (vgl. Abbildung 8).

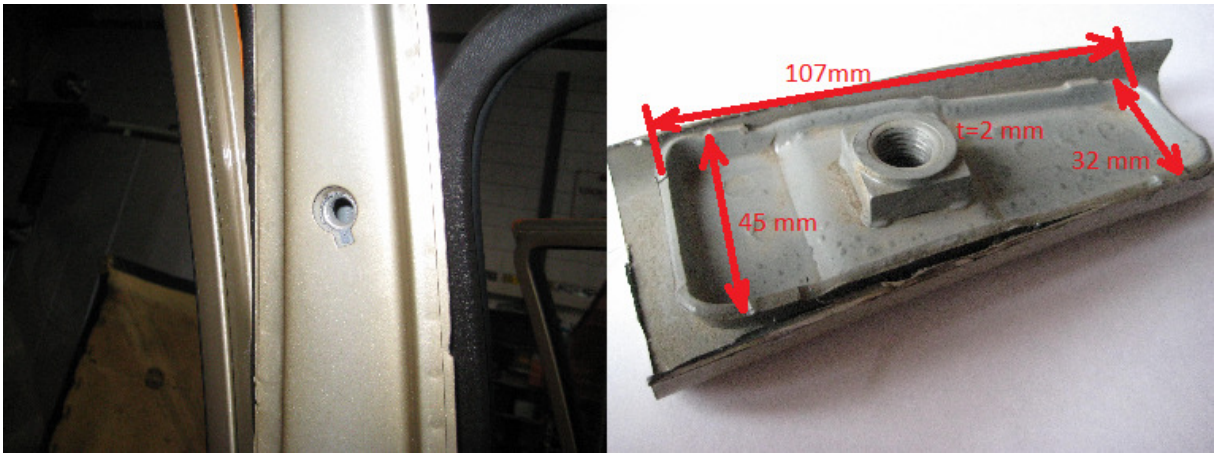


Abbildung 8 Oberer Verankerungspunkt B-Säule

Das Gurtschloss, mit starrer Anbindung, ist an dem Sitzgestell befestigt und bewegt sich beim Verstellen des Sitzes mit (vgl. Abbildung 9). Dies sichert auch beim Einstellen von Extrempositionen des Sitzes (weit vor oder weit zurück) die richtige Lage des Gurtschlosses. Die auf das Gurtschloss wirkenden Kräfte werden vom Sitzgestell in die Karosserie geleitet, an welcher das Sitzgestell mit vier M 6-Schrauben befestigt ist.

Abbildung 9 Gurtschloss vorne

5.3.2 Gurte hinten

Die Gurtkennzeichnung zeigt, dass von der Funktion her hinten das gleiche Gurtsystem wie vorne verbaut wurde. Der größte Unterschied liegt in der Befestigungsart und Lage der Gurtaufroller.

Abbildung 10 Gurtsystem und Gurtkennzeichnung hinten

Der Retraktor ist auf der Unterseite der Hutablage positioniert und mithilfe eines Bleches mit einer aufgeschweißten Mutter an der Hutablage verschraubt. Durch einen an dem Retraktor befestigten Stift, der durch eine zusätzliche Bohrung in der Hutablage geführt ist, wird der Retraktor gegen Verdrehen gesichert. Das Gurtband wird durch eine Aussparung nach oben geführt, wie in Abbildung 11 zu sehen.

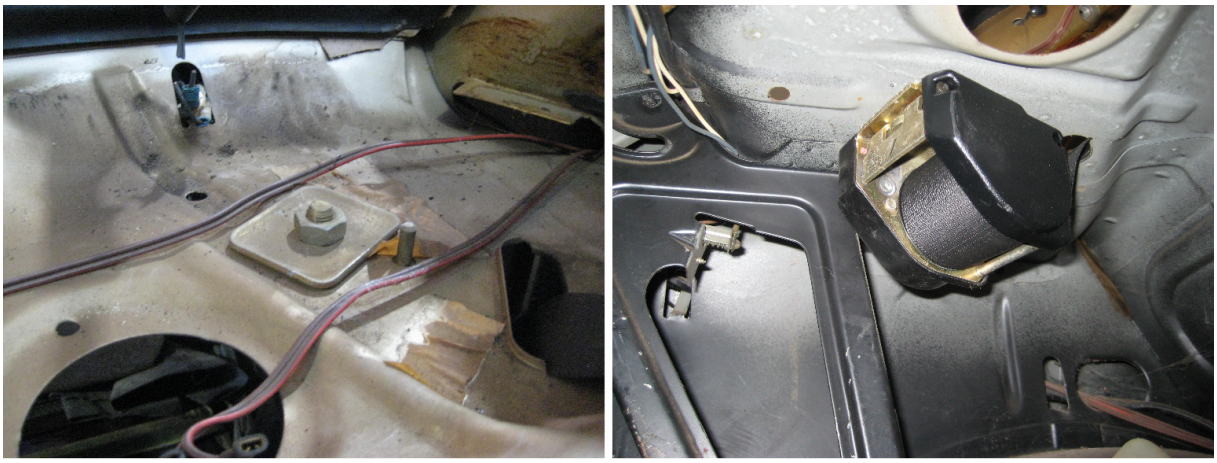


Abbildung 11 Verankerungspunkt Retraktor hinten

Der obere Verankerungspunkt des Gurtes an der C-Säule besteht aus einem Blech mit einer aufgeschweißten Mutter, welches in die C-Säule eingesetzt und mit dieser mittels Widerstandspunktschweißverfahren verbunden wurde (vgl. Abbildung 12).

Abbildung 12 Oberer Verankerungspunkt C-Säule

Der untere Verankerungspunkt für das Gurtband befindet sich unter der Sitzbank, vor dem Radkasten. Wie bei der C-Säule wurde auch hier ein Blech in die Karosserie gesetzt (vgl. Abbildung 13).

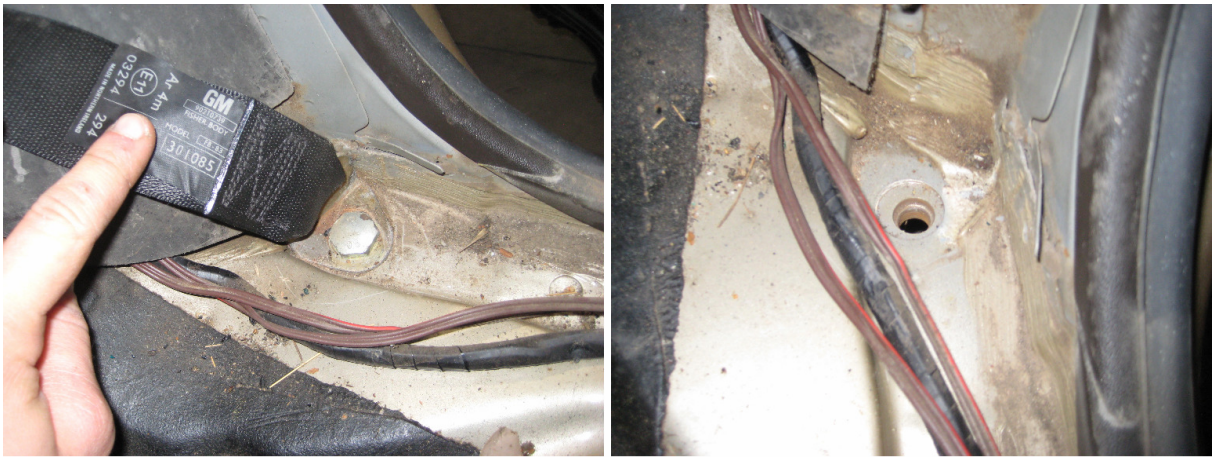


Abbildung 13 Unterer Verankerungspunkt hinten

Das Gurtschloss teilt sich einen Verankerungspunkt mit dem Gurtschloss des mittleren Beckengurtes. Auch hier wurde ein Blech mit einer aufgeschweißten Mutter von hinten gegen die Karosserie gesetzt und mit dieser mittels Widerstandspunktschweißverfahren verbunden. Dieses Blech blieb allerdings von der Fahrzeugunterseite zugänglich (vgl. Abbildung 14).

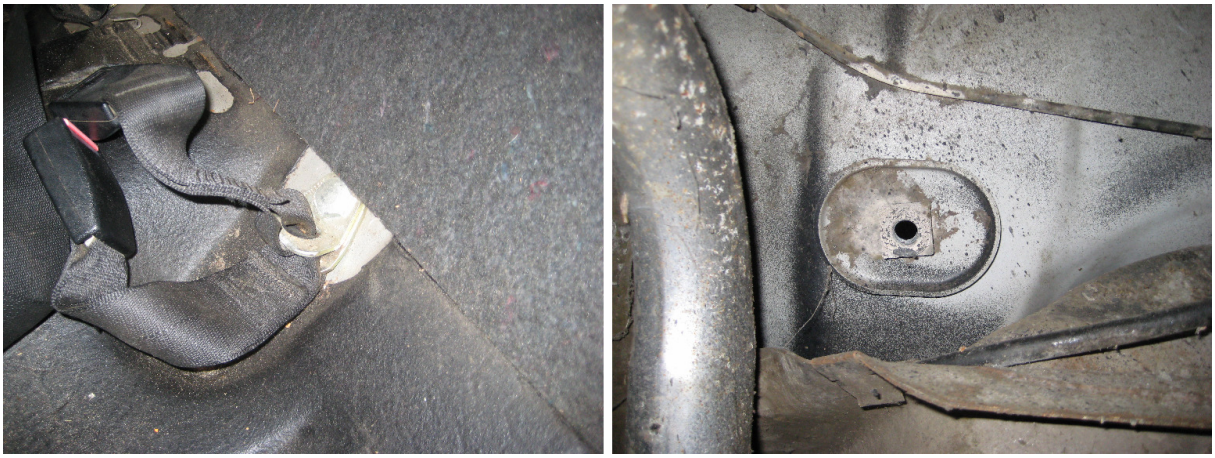


Abbildung 14 Verankerungspunkt Gurtschloss hinten

5.4 Gurtnachrüstung

Die Gurtnachrüstung erfolgt nach dem von Remon Hirsekorn erstellten Konzept zur Nachrüstung von Sicherheitsgurten und Sicherheitsgurtverankerungen für Fahrzeuge der Klasse M_1. Laut des Konzepts ist eine Nachrüstung von Dreipunkt-Automatikgurten anzustreben, da diese den besten Kompromiss zwischen Sicherheitsgewinn, dem Erhalt des Insassenkomforts und der Bedienungsfreundlichkeit bieten [1, S. 30].
Das Crashfahrzeug bietet geeignete Stellen zur Platzierung der Gurtaufroller, so dass Dreipunkt-Automatikgurte verwendet werden können. Auch Karosseriestrukturen mit ausreichender Festigkeit sind vorhanden.

5.4.1 Nachrüstgurte

„Gurtsysteme und Gurtsystemkomponenten können nicht selbst hergestellt werden. Im Interesse höherer Insassensicherheit ist es ratsam, komplette Gurtsysteme von zertifizierten Herstellern zu erwerben, die basierend auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen hergestellt, geprüft und zugelassen sind. Auf deutscher und europäischer Ebene bestimmt die ECE-Regelung 16 (derzeit gültige Fassung ECE-R 16-04) – nach standardisierten Vorschriften – die Beschaffenheit, Ausführung und Prüfung von Sicherheitsgurten“ [1, S. 40].

Die Nachrüstgurte entsprechen der ECE-R 16 und können direkt zusammen mit vier Verstärkungsblechen, den nötigen Befestigungsschrauben und Unterlegscheiben zusammen als Gurtnachrüstsatz bestellt werden. Die Gurtpeitschen sind in verschiedenen Längen mit Stahlseil,

Gurtband oder starrer Anbindung erhältlich. Es sind Retraktoren mit einfacher oder mehrfach sensitiver Auslösung erhältlich. Retraktoren mit mehrfach sensitiver Auslösung, welche eine bestimmte Einbaulage erfordern, gibt es mit waagerechter, senkrechter oder auch einstellbarer Montagemöglichkeit.
Solche Nachrüstsätze werden auch hier verwendet. Das vordere Gurtsystem besitzt einen Retraktor mit mehrfach sensitiver Auslösung und waagerechter Montagemöglichkeit, das hintere einen mit einfacher Auslösung. Normalerweise sollte nach Möglichkeit auf Retraktoren mit mehrfach sensitiver Auslösung zurückgegriffen werden, um auch einen Überschlagsschutz gewährleisten zu können, für diesen Versuch ist aber eine einfache Auslösung ausreichend.

5.4.2 Lagebestimmung der Gurtverankerungen

5.4.2.1 Vorgaben

Da es für eine geometrisch günstige Lage von nachgerüsteten Gurtverankerungspunkten an der Karosserie bzw. Fahrzeuginnenstruktur keine konkreten Festlegungen oder Regelungen gibt, hat sich Remon Hirsekorn bei seinem Konzept an den derzeit gesetzlich geltenden Vorschriften zur Lage von Verankerungspunkten orientiert, der ECE-Regelung 14. Dies ist notwendig, um eine korrekte Gurtbandführung am menschlichen Körper gewährleisten zu können [1, S. 16].

Zunächst müssen die Sitzplätze konditioniert werden, da die Sitzeinstellungen die Grundlage für das Festlegen der Bereiche legen, in denen sowohl die unteren als auch die oberen Gurtverankerungen in der Karosserie positioniert werden können. Die Sitze werden auf die Körpergröße und die ergonomischen Bedürfnisse des Fahrers und Beifahrers eingestellt, in diesem Fall auf die Statur der Dummys. Die Rücksitzbank ist bei dem Opel nicht verstellbar. Das Verstellen der Sitze in ihre Extrempositionen (weit vor oder weit zurück) soll die Gurtbandführung dabei nicht inakzeptabel werden lassen [1, S. 45]. Die Neigung der Rückenlehne zur Sitzfläche soll etwas mehr als 90° betragen.

Für die Lage der Verankerungspunkte ist die Position des menschlichen Beckens im Fahrzeugsitz entscheidend. Deshalb wird ein kinematisches Drehgelenk zwischen Ober- und Unterkörper im Beckenbereich definiert, wie in Abbildung 15 zu sehen. Die Rumpflinie verläuft parallel zur Sitzlehne. Die zulässigen Bereiche, in denen die Gurtverankerungen positioniert werden können, werden von diesem Drehgelenk ausgehend festgelegt. [1, S. 48]

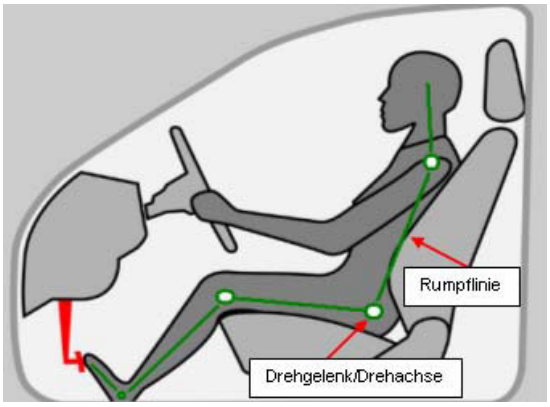


Abbildung 15 Kinematikmodell Mensch- Autositz nach [7]

In Abbildung 16 ist eine von Remon Hirsekorn vereinfachte, auf der ECE-R 14, Anhang 3, Abbildung 1 basierende Zeichnung zu sehen, welche Aufschluss über die zulässigen Lagebereiche von Gurtverankerungen gibt.

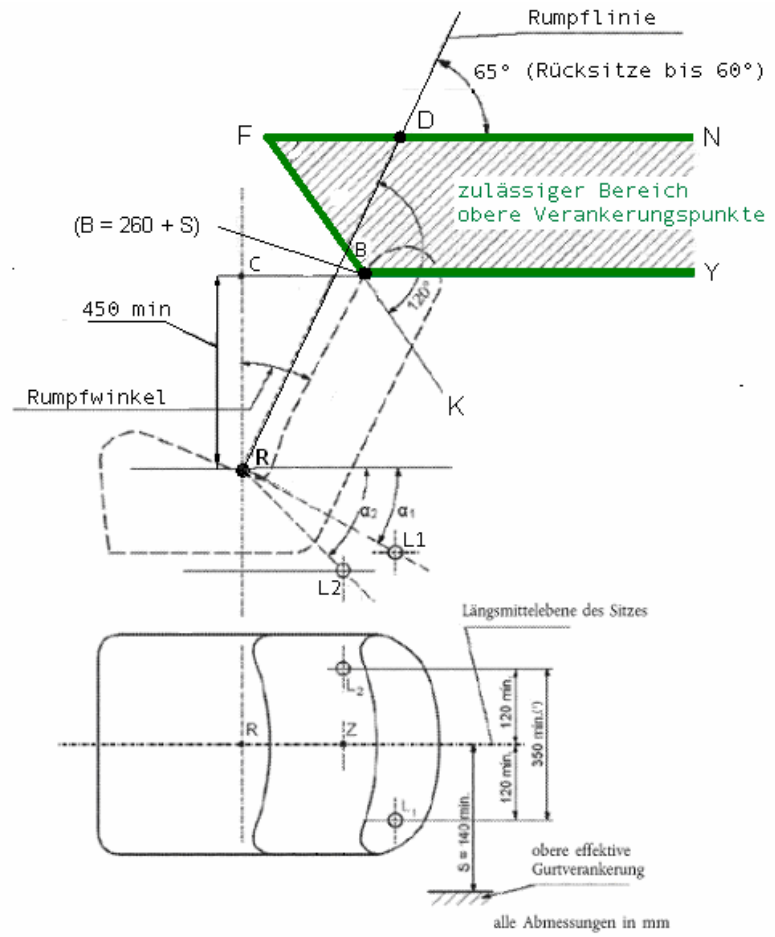


Abbildung 16 Lagebereiche der Gurtverankerungen nach [8]

Der **R**-Punkt, auch Sitzbezugspunkt genannt, befindet sich auf der Achse des Drehgelenks zwischen Ober- und Unterkörper und wird von jedem Hersteller konstruktiv für jeden Sitzplatz festgelegt.

Die Punkte $\mathbf{L_1}$ und $\mathbf{L_2}$ stellen die unteren effektiven Gutverankerungen dar. Die Effektivpunkte bezeichnen hierbei die Punkte, an dem der Gurt befestigt werden müsste, um die beabsichtigte Lage zu erreichen. Je nach Befestigungsbeschlag müssen die Effektivpunkte somit nicht zwingend den Verankerungspunkten entsprechen

$\boldsymbol{\alpha_1}$ und $\boldsymbol{\alpha_2}$ bezeichnen die Winkel, die zwischen einer horizontalen Ebene und Ebenen, die rechtwinklig zur Fahrzeuglängsebene durch den R-Punkt sowie L_1 und L_2 verlaufen.
Der Winkel auf der Seite, auf dem sich kein Gurtschloss befindet, wird als $\boldsymbol{\alpha_1}$ bezeichnet und soll 30°-80° betragen. $\boldsymbol{\alpha_2}$ bezeichnet den Winkel auf der Gurtschlossseite und soll 45°-80° betragen.

S bezeichnet den Abstand der oberen effektiven Gurtverankerungen zur Längsmittelebene des Sitzes des Fahrzeugs und soll mindestens 140 mm betragen.

[ECE-R14-07]

Die in der ECE-Regelung 14 formulierten Vorgaben zur Bestimmung der geometrischen Lagen der Verankerungspunkte sind in Tabelle 5 auf der nächsten Seite aufgeführt.

Tabelle 5 Abstände und Winkelbereiche der Verankerungspunkte [1, S. 19]

Winkel/Abstände/Punkte	Untere Gurtverankerungen L_1, L_2	
	Vordersitze	Rücksitze
α_1	30° - 80°	30° - 80°
α_2	45° - 80°	30° - 80°
α_1 oder α_2 bei einer am Sitz angebrachten Verankerung	60° ± 10°	60° ± 10°
Mindestabstand L_1 zu L_2	≥ 350 mm ≥ 240 mm bei Mittelsitzen	
Mindestabstand L_1 oder L_2 zur Längsmittelebene des Sitzes	jeweils ≥ 120 mm	
	Obere Gurtverankerungen	
	Vordersitze	Rücksitze
Abstand S	≥ 140 mm	≥ 140 mm
Mindesthöhe Punkt C von R-Punkt	450 mm	450 mm
Winkel zw. Ebene FN und Rumpflinie	65°	60° - 65°
Winkel zw. Ebene FK und Rumpflinie	120°	120°
$\overline{DR}$	315 mm + 1,8 · S	315 mm + 1,8 · S
$\overline{BR}$	260 mm + S	260 mm + S

In Hirsekorns Nachrüstkonzept wurde der Lagebereich des oberen Verankerungspunktes gegenüber der ECE-Regelung 14 minimal vereinfacht, um die ermittelten Grenzen angemessen auf die vorhandene Fahrzeugstruktur übertragen zu können, wie in Abbildung 17 zu sehen.

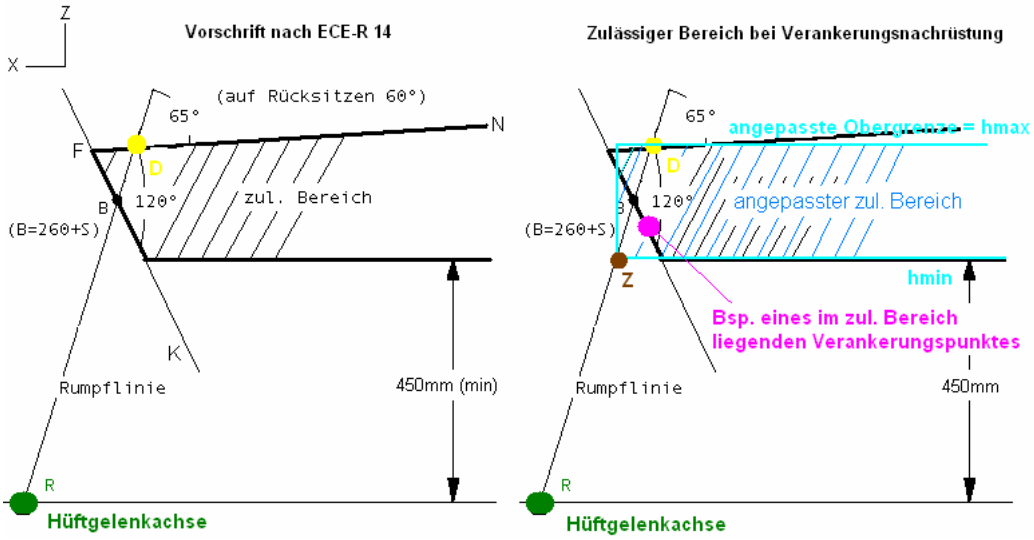


Abbildung 17 Bereich der ECE-R 14 und angepasster zulässiger Bereich [1, S. 55]

Die untere Grenze (h_{min}) des zulässigen Bereichs beträgt weiterhin 450 mm vertikal von der Hüftgelenkachse aus. Die obere Grenze (h_{max}) verläuft nun parallel zur Untergrenze. Sie ist abhängig vom Abstand S und wird über den Abstand vom Punkt D (gelb markiert) zum R-Punkt wie folgt ermittelt:

$$\overrightarrow{DR} = 675mm \qquad \text{für } S \leq 200mm \qquad \textbf{(Gl. 1)}$$

$$\overrightarrow{DR} = 315mm + 1{,}8 \times S \qquad \text{für } S > 200mm \qquad \textbf{(Gl. 2)}$$

Die vordere Grenze des zulässigen Bereichs verläuft vertikal vom Schnittpunkt der Untergrenze und der Rumpflinie, dem Punkt Z, hoch bis zur Obergrenze.
Die Abweichungen von der ECE-R 14 sind nur minimal und deshalb akzeptabel [1].

5.4.2.2 Vermessung

Laut Hirsekorn wird die Verwendung einer Messvorrichtung mit den dazugehörigen Winkelschablonen zur Bestimmung der optimalen Verankerungsbereiche empfohlen. In diesem Fall wurde die Vermessung der Verankerungspunkte jedoch mit einfachen Messmitteln vollzogen. Es wurde ein Gliedermaßstab, ein Schlosserwinkel, ein 40 cm langes Lineal und eine einfache Winkelschablone mit einem Messbereich von 30° bis 90° in 10°-Schritten (vgl. Abbildung 18) verwendet. Bei dieser Methode empfiehlt es sich allerdings, die Vermessung mit zwei Personen durchzuführen.

Abbildung 18 Winkelschablone

Nach der Entfernung der originalen Gurte und dem Freilegen der für die Positionierung der Gurtpunkte erforderlichen Karosseriestrukturen auf der linken Fahrzeugseite konnte der Fahrersitz eingestellt werden. Auf der Rücksitzbank gibt es keine Verstellmöglichkeiten.
Bei der Vermessung ist auch auf die Gestaltung der Befestigungsbeschläge zu achten, da die Lage der Effektivpunkte bestimmt wird.
Weil die Vermessung vom Rumpfpunkt erfolgt, ist dessen Lage von Bedeutung. Er wird normalerweise vom Hersteller für jeden Sitzplatz festgelegt. Da diese Angaben hier nicht vorhanden sind, wird der Rumpfpunkt je 80 mm von Sitzfläche und Rückenlehne entfernt in der Mitte der Sitzfläche angenommen. Dies entspricht auch der Lage des Rumpfpunktes bei der von Hirsekorn entwickelten Messvorrichtung. Bei besonders weichen Sitzen sollte die Lage allerdings neu überdacht werden, da die menschliche Hüfte dann weiter im Sitz „versinken" kann, was bei dem Opel jedoch nicht der Fall ist.
Weiterhin ist speziell bei dieser Nachrüstung darauf zu achten, dass die neuen Verankerungspunkte nicht dieselbe Lage der alten Verankerungspunkte besitzen können, da die originalen Verankerungsbleche nicht entfernt werden können, ohne die Festigkeit der Karosserie zu beeinflussen. Dies stellt allerdings kein Problem dar, da die zulässigen Bereiche der Verankerungspunkte groß genug sind und auch die Struktur des Fahrzeugs genug Platz bietet.

Der Vergleich der wichtigsten Winkel und Abstände der neuen und der originalen Verankerungspunkte zeigt, dass sich die Werte meist nur geringfügig unterscheiden.
Alle Werte der neuen und der originalen Verankerungspunkte befinden sich innerhalb der vorgegebenen Bereiche.

<u>Vorderer Sitzplatz</u>

Der untere Verankerungspunkt im Schwellerbereich verändert seine Lage nur geringfügig in Längsrichtung des Fahrzeugs, wodurch sich der Winkel α_1 geringfügig vergrößert. Der seitliche Abstand zum Rumpfpunkt verändert sich nicht.

Das Gurtschloss soll nun nicht mehr am Sitzgestell befestigt werden, da bei einer Gurtnachrüstung in klassischen Fahrzeugen keine ausreichende Stabilität des Sitzgestells gewährleistet werden kann. Dies hat zum Nachteil, dass sich der Winkel α_2 beim Verschieben des Sitzes verändert, welcher ohnehin schon einen kleineren zulässigen Winkelbereich als α_1 besitzt. Der neue Verankerungspunkt wird nun am Mitteltunnel positioniert. Auch hier vergrößert sich der

Winkel nur geringfügig und der seitliche Abstand zum Rumpfpunkt von mindestens 120 mm wird eingehalten.

Für die Lagebestimmung des oberen Verankerungspunktes muss zunächst die Obergrenze mit Hilfe von Gleichung 2 berechnet werden, da der Abstand S mehr als 200 mm beträgt. Um den genauen Wert von S ermitteln zu können, muss aufgrund der nicht gerade verlaufenden B-Säule zunächst die Höhe des Verankerungspunktes geschätzt werden. Die Mindesthöhe beträgt immer 450 mm. Nun kann h_{max} ausgerechnet werden:

$$\overrightarrow{DR} = h_{\max} = 315mm + 1{,}8 \times 260mm = \underline{783mm} \qquad \textbf{(Gl. 3)}$$

Gewählt wird eine Höhe des Verankerungspunktes auf der Rumpflinie von 715 mm, somit befindet sich dieser unterhalb des originalen Verankerungspunktes.

Nach der Lagebestimmung des oberen Verankerungspunktes kann auch die Lage der Verankerung des Gurtaufrollers bestimmt werden, denn dieser muss durch die mehrfach sensitive Auslösung des Retraktors, vertikal vom oberen Verankerungspunkt aus, verbaut werden. Im Schwellerbereich findet sich ausreichend Platz für die Positionierung.

<u>Hinterer Sitzplatz</u>

Der untere Verankerungspunkt wird nun auf dem Kotflügel positioniert, wodurch sich der Winkel α_1 geringfügig verkleinert. Der seitliche Abstand zum Rumpfpunkt verändert sich nicht.

Der Verankerungspunkt des Gurtschlosses wird unter den originalen gesetzt und befindet sich, wie auch vorher, unter der Sitzbank. Der Winkel α_2 befindet sich nun im optimalen Bereich, wohingegen sich der originale Verankerungspunkt im unteren Grenzbereich befand.

In manchen Fällen, wenn sich keine Befestigungsmöglichkeit des oberen Verankerungspunktes an der C-Säule bietet, kann dieser weggelassen und dafür der Retraktor direkt an geeigneter Stelle befestigt werden. Hier bietet die C-Säule jedoch genug Platz.
Für den oberen Verankerungspunkt wird wieder mithilfe von Gleichung 2 und des Abstands S die Obergrenze errechnet:

$$\overrightarrow{DR} = h_{\max} = 315mm + 1{,}8 \times 265mm = \underline{775{,}8mm} \qquad \textbf{(Gl. 4)}$$

Die Mindesthöhe beträgt wieder 450 mm. Gewählt wird eine Höhe des Verankerungspunktes von 750 mm, somit befindet sich dieser unterhalb des originalen Verankerungspunktes.

Für den Gurtaufroller wird der originale Verankerungspunkt in der Hutablage verwendet. Dies beeinträchtigt das Testergebnis nicht, da es sich nur um eine einfache Bohrung in der Hutablage handelt.

5.4.3 Gestaltung der Verankerungspunkte

Die Verankerungspunkte müssen fest mit der Fahrzeugkarosserie verbunden sein. Das alleinige Durchbohren und Verschrauben mit den ca. 1 mm dicken Karosserieblechen klassischer Fahrzeuge ohne Zusatzmaßnahmen würde nicht ausreichen. Die Gefahr des Ausreißens der Verankerungspunkte bei hohen Belastungen wäre zu groß, weshalb spezielle Verstärkungsbleche verwendet werden, die die Kräfte „flächiger“ in die Karosserie einleiten. [1, S 60]
Ein solches Verstärkungsblech, wie es am häufigsten bei der Gurtnachrüstung verwendet wird, ist in Abbildung 19 mit Angabe der wichtigsten Maße zu sehen. Solche Bleche mit einer aufgeschweißten Mutter, welche ein 7/16-Zoll-Gewinde (20 UNF 2B) aufweisen, werden auch hier verwendet.

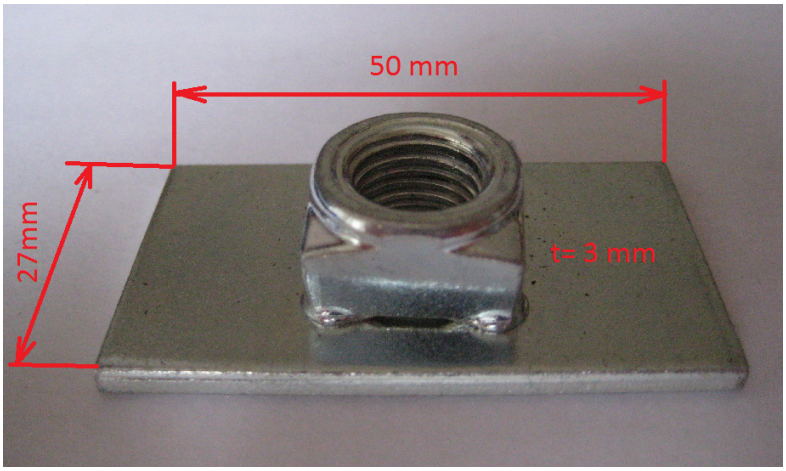


Abbildung 19 Verstärkungsblech

Es gibt verschiedene Anbringungsmöglichkeiten der Verstärkungsbleche an oder in der Karosseriestruktur. Diese verschiedenen Gestaltungsvarianten der Gurtverankerungen wurden von Remon Hirsekorn definiert und im Zugversuch getestet. Die fünf verschiedenen Gestaltungsvarianten (Gv-1 bis Gv-5) sind in Abbildung 20 auf der nächsten Seite zu sehen.

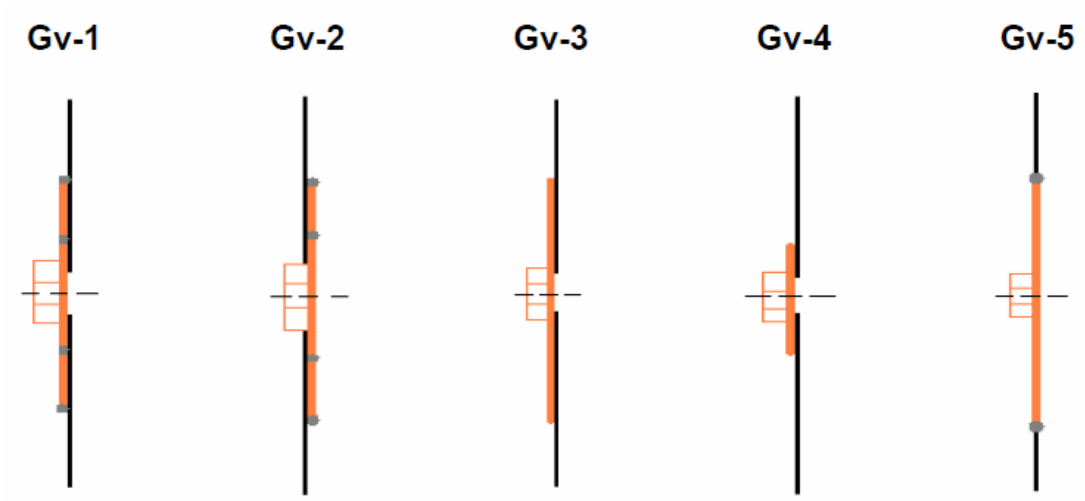


Abbildung 20 Gestaltungsvarianten der Verankerungspunkte [1, S. 61]

Gv-1 zeigt ein von hinten an das Karosserieblech punktgeschweißtes Verstärkungsblech. Bei Gv-2 wird das Verstärkungsblech von vorne mit dem Karosserieblech punktverschweißt und die Mutter mithilfe einer Bohrung versenkt. Gv-3 entspricht Gv-1, nur werden hier die Bleche nicht verschweißt. Gv-4 folgt derselben Methodik, nur wird hier ein kleineres und quadratisches Blech verwendet. Bei Gv-5 wird das Verstärkungsblech plan in das Karosserieblech eingesetzt und von außen umlaufend verschweißt.

Bei der Zugprüfung wurden von Remon Hirsekorn verschiedene Belastungswinkel der Verankerungspunkte getestet (vgl. Abbildung 21), wie sie auch je nach Anordnung der Gurtkomponenten im Fahrzeug vorkommen.

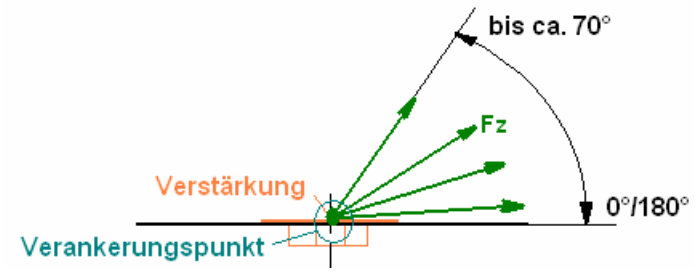


Abbildung 21 Belastungswinkel der Gurtverankerungen [1, S. 61]

In den Zugversuchen zeigte sich winkelabhängig eine unterschiedliche Belastbarkeit der Gestaltungsvarianten, was sie für bestimmte Anwendungsfälle mehr oder weniger gut geeignet macht [1, S. 62]. Das Diagramm in Abbildung 22 auf der nächsten Seite zeigt die maximalen Kraftaufnahmefähigkeiten aus den Versuchen.

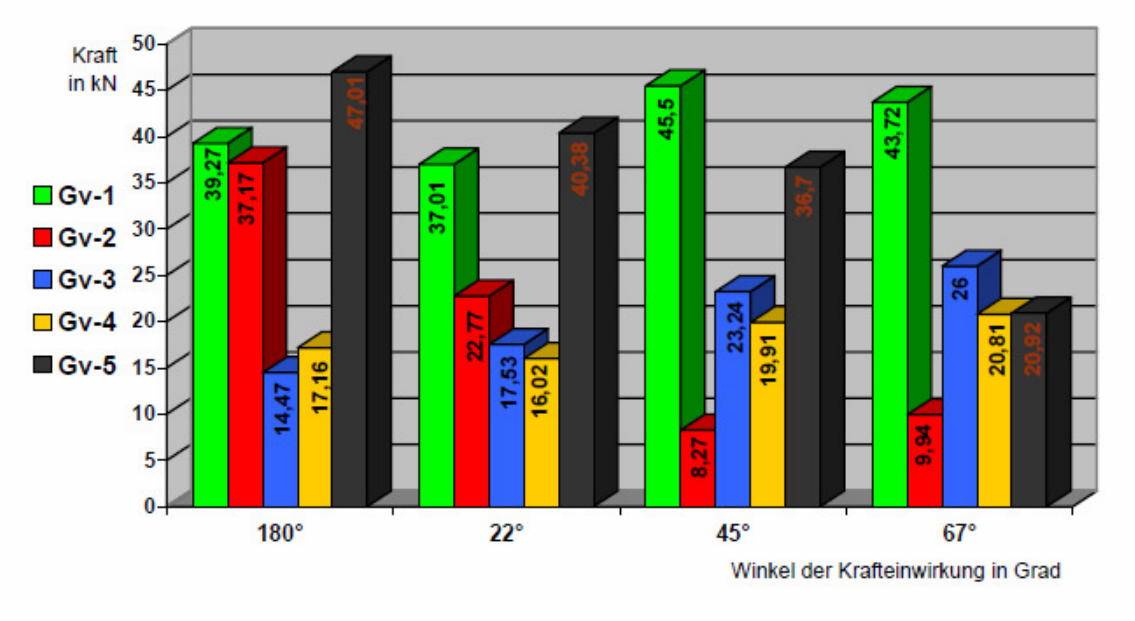


Abbildung 22 Maximale Kraftaufnahmefähigkeiten, winkelabhängig [1, S. 75]

Aufgrund dieser Ergebnisse kann behauptet werden, dass alle, bis auf eine der fünf Gestaltungsvarianten, den Prüfbedingungen der ECE R 14 für Sitzgurtverankerungen, bei denen maximal eine Kraft von 13,5 kN auf einen Verankerungspunkt wirken kann, Stand gehalten und meist sogar die geforderten Werte weit übertroffen hätten. Die verhältnismäßig geringe Kraftaufnahmefähigkeit der Gestaltungsvariante 2, welche auch nur unter größeren Winkeln aufgetreten ist, kann auf eine zu geringe Anzahl von Schweißpunkten oder auf eine schlechte Qualität dieser zurückgeführt werden. Um diese Behauptung verifizieren zu können, müssten allerdings erneut Zugversuche durchgeführt werden. Die Gestaltungsvariante 1, welche auch bei den originalen Verankerungspunkten verwendet wurde, zeigte in allen Beanspruchungslagen eine sehr hohe Kraftaufnahmefähigkeit. Die Gestaltungsvariante 5 hat zwar, besonders im Bereich kleiner Belastungswinkel, eine sehr hohe Belastbarkeit gezeigt, ist in der Praxis aber trotzdem als kritisch zu betrachten. Dies liegt daran, dass eine gute Schweißverbindung, bei dem anzuwendenden Stumpfstoß, zwischen unterschiedlich dicken Blechen schwer zu realisieren ist.

Es ist auch zu beachten, dass die Verstärkungsbleche, die in den Zugversuchen verwendet wurden, andere Abmessungen besaßen als die Bleche, die in diesem Versuchsaufbau genutzt werden. Die Abmessungen der Verstärkungsbleche betrugen 40 x 80 x 4 mm und bei Gestaltungsvariante 4, 40 x 40 x 4 mm. Die nun zu verwendenden Bleche mit den Abmessungen 27 x 50 x 3 mm entsprechen somit am ehesten denen aus Gestaltungsvariante 4. Die Gestaltungsvariante 3 fällt also für diesen Versuchsaufbau weg.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Verwendung der nun kleineren Bleche keine großen negativen Auswirkungen auf die Kraftaufnahmefähigkeit der verschiedenen Gestaltungsvarianten hat.

Des Weiteren wird nun für die Gestaltungsvariante 2 eine umlaufende Schweißnaht vorgesehen und somit eine ausreichende Kraftaufnahmefähigkeit angenommen.

Eine Bewertung dieser Annahmen kann in der Versuchsauswertung des Crashversuchs vorgenommen werden. Es wird sich auch zeigen, wie die verschiedenen Gestaltungsvarianten der Verankerungspunkte auf dynamische Belastungen reagieren.

5.4.4 Nachrüstung der Verankerungspunkte

Die Nachrüstung der Verankerungspunkte soll wie bei einer normalen Gurtnachrüstung erfolgen. Das heißt, dass bei der Auswahl der Gestaltungsvarianten auf die Innenraum-Originalität, die Optik, den Aufwand und somit auf die Kosten Rücksicht genommen werden muss.

Für Schweißarbeiten steht ein MAG-Schweißgerät zur Verfügung, welches sich zum Schweißen unlegierter und niedrig legierter Stähle eignet. Um eine gute Schweißbarkeit der verzinkten Verstärkungsbleche und der Karosseriebleche gewährleisten zu können, müssen im Schweißbereich alle Oberflächenbeschichtungen entfernt werden.
Bei verschweißten Gestaltungsvarianten muss der Schweißnahtbereich mit geeigneten Korrosionsschutzprodukten versiegelt werden, um Spaltkorrosion vorzubeugen [1, S. 62]. Für schwer zugängliche Bereiche bietet sich eine Behandlung mit Hohlraumversiegelung über Zugang durch die Mutter des Verstärkungsbleches an. In diesem Fall wird allerdings keine Korrosionsvorsorge vorgenommen, denn die Verankerungspunkte sollen gut sichtbar bleiben.

<u>Vorderer Sitzplatz</u>

Bei dem Verankerungspunkt für das Gurtschloss am Mitteltunnel wird die Gestaltungsvariante 2 verwendet. Durch die doppelwandige Ausführung des Mitteltunnels kommen nur Gestaltungsvariante 2 und 5 in Frage, wobei letztere einen unnötigen Mehraufwand verlangen würde. Der Verankerungspunkt wird vom Teppich verdeckt, wodurch das Hervorstehen des Verstärkungsblechs, welches bei der Gestaltungsvariante 2 auftritt, die Optik nicht stört.
Für die Nachrüstung wird zunächst eine Bohrung an der vorher bestimmten Lage des Verankerungspunktes gesetzt und diese mithilfe eines Fräsers auf den Durchmesser der Mutter des

Verstärkungsblechs aufgeweitet (vgl. Abbildung 23). Die Verwendung eines Stufenbohrers würde einen geringeren Aufwand bedeuten, dieser kann aber aufgrund der beschränkten Eindringtiefe nicht verwendet werden.

Abbildung 23 Verankerungspunkt Mitteltunnel, Vorbereitung

Danach kann das Blech aufgesetzt, verschweißt und die Schweißnaht-Erhebungen grob abgeschliffen werden, um den Verankerungsbeschlag später plan ansetzen zu können (vgl. Abbildung 24).

Abbildung 24 Verankerungspunkt Mitteltunnel, geschweißt

Die Nachrüstung des unteren Verankerungspunktes und dem des Retraktors erfolgt wie beim Verankerungspunkt des Gurtschlosses (vgl. Abbildung 25). Hier liegen die gleichen Ausgangsbedingungen vor.

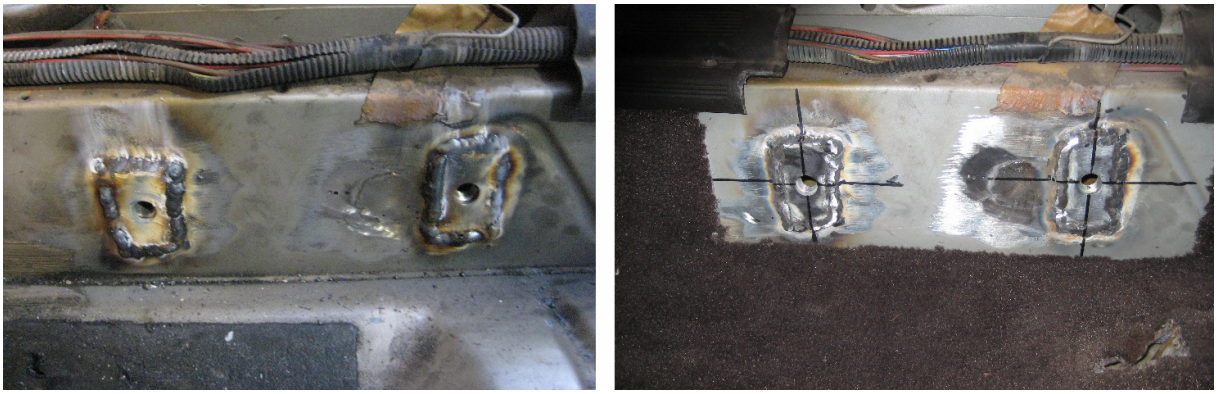


Abbildung 25 Verankerungspunkt unten und Verankerungspunkt Retraktor, geschweißt

Bei dem oberen Verankerungspunkt an der B-Säule wird die Gestaltungsvariante 5 genutzt, denn die B-Säule ist nur mit einem Kunstlederbezug verkleidet, welcher direkt aufgeklebt wird. Um die Innenraumoptik nicht zu stören, muss deshalb die Oberfläche plan bleiben. Durch das geschlossene Profil bleibt also nur Gestaltungsvariante 5 zur Auswahl. Für die Schweißverbindung ist ein Stumpfstoß anzuwenden, welcher bis zu einer Blechdicke von 10 mm als I-Stoß auszuführen ist, wie in Abbildung 26 zu sehen [9, S. 500].

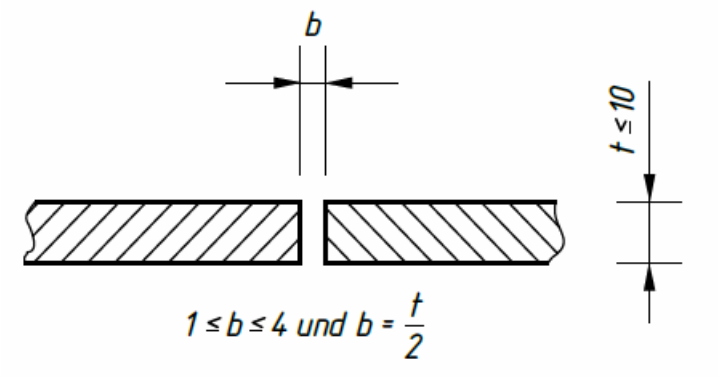


Abbildung 26 Stumpfstoß für Blechdicken bis 10 mm [9, S. 500]

Die Breite **b** des Spalts zwischen den Blechen ergibt sich aus der halben Blechdicke. Da Karosserie- und Verstärkungsblech unterschiedlich dick sind, wird für **b** einfach die Hälfte des Mittelwertes der Blechdicken verwendet, also 2 mm. Somit muss das aus der B-Säule herauszuschneidende Rechteck 4 mm breiter und länger als das Verstärkungsblech sein. Dieses kann dann in das Rechteck eingesetzt und behutsam mit der Karosserie verschweißt werden (vgl. Abbildung 27).

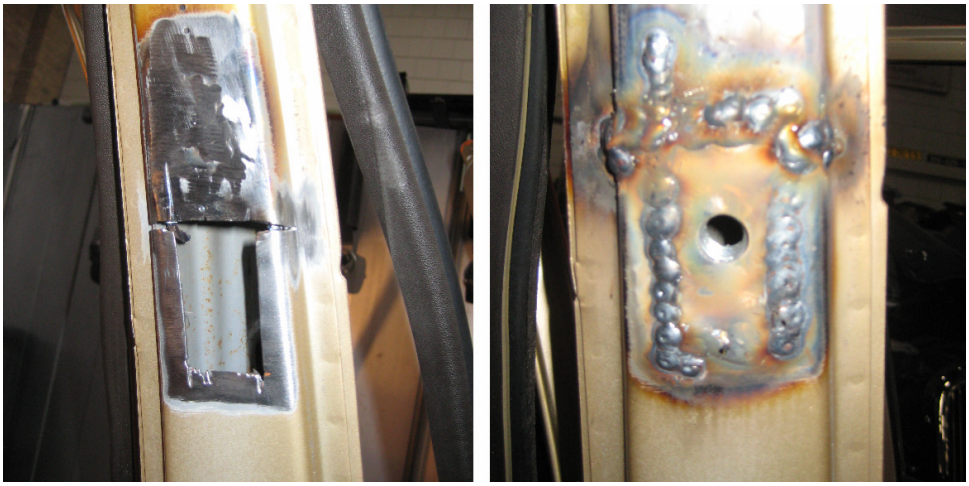


Abbildung 27 Verankerungspunkt B-Säule, ausgeschnitten und verschweißt

Anschließend werden die Schweißnähte plan geschliffen (vgl. Abbildung 28).

Abbildung 28 Verankerungspunkt B-Säule, geschliffen

Hinterer Sitzplatz

Da der Verankerungspunkt für das Gurtschloss direkt über dem Tank platziert ist, können keine Schweißarbeiten durchgeführt werden, ohne diesen auszubauen. Allerdings ist der Karosseriebereich des Verankerungspunktes von hinten zugängig, sodass die Gestaltungsvariante 4 angewendet werden kann.

Hierzu muss nur eine Bohrung für die Befestigungsschraube gesetzt werden, um später das Blech von der Fahrzeugunterseite anschrauben zu können (vgl. Abbildung 29). Über dem neuen Verankerungspunkt ist noch der originale zu sehen.

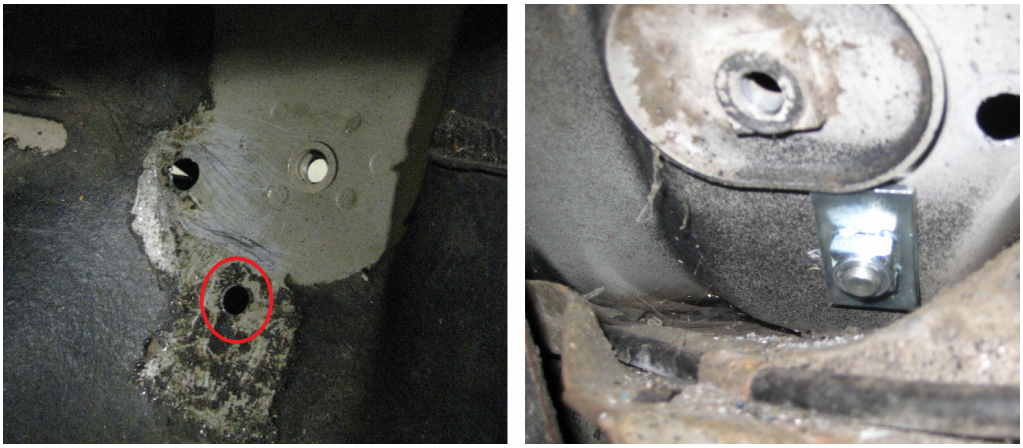


Abbildung 29 Verankerungspunkt Gurtschloss hinten, verschraubt

Für den unteren, auf dem Radlauf positionierten Verankerungspunkt könnten alle Gestaltungsvarianten angewendet werden. Er ist von beiden Seiten gut zugängig und schweißbar. Hier wird sich aber bewusst für Gestaltungsvariante 2 entschieden, um dessen Kraftaufnahmefähigkeit mit der nun umlaufenden Schweißnaht zu überprüfen (vgl. Abbildung 30). Der Belastungswinkel beträgt hier ca. 90°. In den Zugversuchen zeigte Gestaltungsvariante 2 bei großen Belastungswinkeln die geringste Kraftaufnahmefähigkeit.
Die Vorgehensweise der Nachrüstung wurde bei den Verankerungspunkten des vorderen Gurtes schon beschrieben.

Abbildung 30 Verankerungspunkt unten auf Radlauf, geschweißt

Wie die B-Säule, ist auch die C-Säule nur mit einem aufgeklebten Kunstlederbezug verkleidet. Da sich der Verankerungspunkt in einer Vertiefung der C-Säule befindet, kann auf die Verwendung von Gestaltungsvariante 5 verzichtet werden. Da das Profil geschlossen ist, bleibt hier nur die Verwendung von Gestaltungsvariante 2, dessen Einbau, wie schon oben beschrieben, stattfindet (vgl. Abbildung 31).

Abbildung 31 Verankerungspunkt oben, C-Säule, geschweißt

Für den Verankerungspunkt des Retraktors wird die Gestaltungsvariante 4 verwendet. Es könnte auch geschweißt werden, aber durch das Aufliegen der gesamten Fläche des Verstärkungsblechs wird diese Variante als ausreichend stabil angenommen. Eine Bohrung für die Verschraubung ist schon vorhanden, sodass nur der erforderliche Ausschnitt für das Gurtband vergrößert und zum Schutz dessen mit einem Kantenschutzband versehen werden muss (vgl. Abbildung 32).

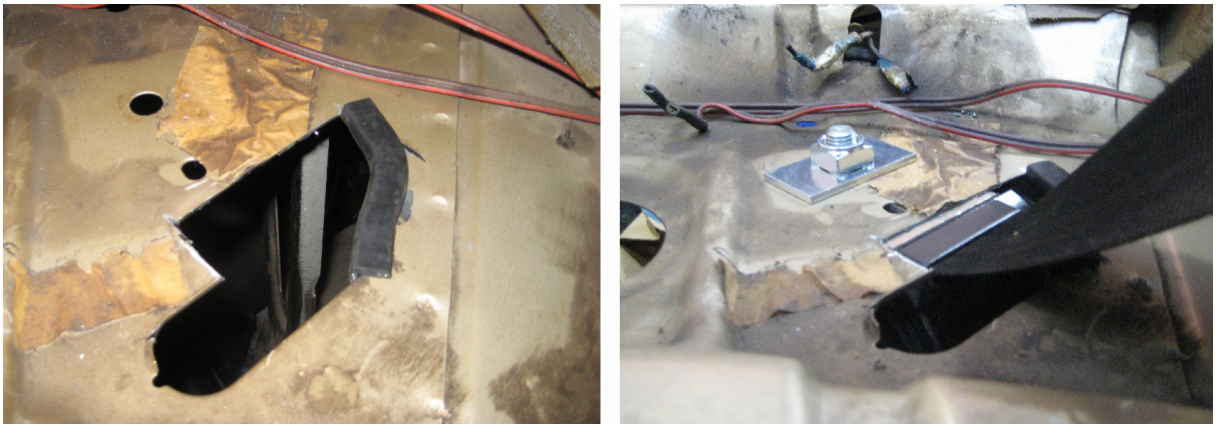


Abbildung 32 Verankerungspunkt Retraktor, Hutablage

5.4.5 Einbau der Gurtsysteme

Den Nachrüst-Gurtsystemen sind alle Befestigungsmaterialien beigefügt. Die Befestigungsbeschläge werden unter Verwendung der zu den Gewinden der Verstärkungsbleche passenden Feingewindeschrauben mit einem Anzugsmoment von 45 Nm verschraubt. Der Befestigungsbeschlag des unteren Befestigungspunktes und des oberen Umlenkpunktes werden mithilfe von Bundschrauben, Kunststoffringen und Distanzbuchsen drehbar gelagert. Die Gurtpeitschen müssen individuell ausgewählt werden. Diese dürfen nicht zu lang sein, um Verletzun-

gen des Beckens durch das Gurtschloss im Falle eines Unfalls zu vermeiden, trotzdem müssen sie gut erreichbar sein. Vorne wird eine Gurtpeitsche mit starrer Anbindung und hinten eine mit Stahlseil verwendet, wie in Abbildung 33 zu sehen.

Abbildung 33 Gurtpeitsche vorne und hinten

Abbildung 34 zeigt die montierten Gurtsysteme.

Abbildung 34 Montierte Nachrüstgurte

5.5 Eingangsvermessung des Crashfahrzeugs

Um die Verformungen des Fahrzeugs durch den Crash bestimmen zu können, muss dieses vor und nach dem Crash vermessen werden.

Zur Vermessung des Fahrzeugs steht ein tragbares Koordinatenmessgerät der Firma FARO zur Verfügung (vgl. Abbildung 35).

Abbildung 35 FARO-Messarm [11]

Mit diesem auf einem Dreibein montierten Messarm können vorher am Fahrzeug festgelegte Messpunkte abgetastet (vgl. Abbildung 36) und mithilfe der gewonnenen Koordinaten ein Modell des Fahrzeugs erstellt werden. Die Daten können mittels Austauschformat problemlos in ein CAD-Programm überführt werden.

Abbildung 36 Vermessung FARO- Messarm [11]

Hier werden auch die Koordinaten der Gurtverankerungspunkte vermessen. Mithilfe eines CAD-Programms, in diesem Fall CATIA der Firma Dessault Systems, kann dann das Linien- oder auch Volumenmodell des Fahrzeugs erstellt werden, wie in Abbildung 37 zu sehen.

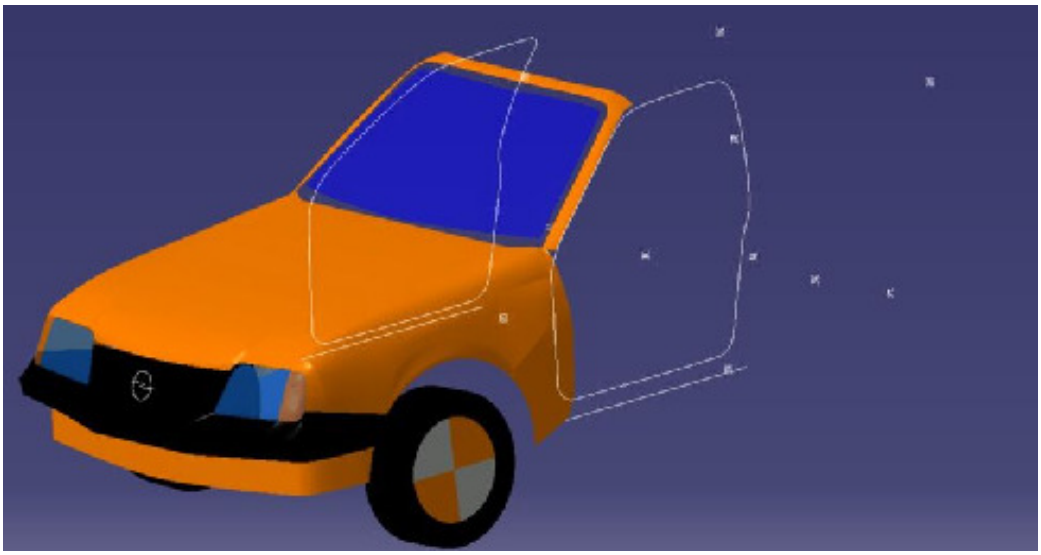


Abbildung 37 Fahrzeugmodell in CAD [22]

5.6 Kameratechnik

5.6.1 Hochgeschwindigkeitskameras

Zur Analyse des Deformationsverhaltens des Fahrzeugs und der Bewegungsabläufe der Dummys werden Hochgeschwindigkeitskameras eingesetzt. Diese ermöglichen es, extrem schnelle Bewegungsabläufe, welche für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar sind, detailliert darstellen zu können. Sie ermöglichen es, eine hohe Anzahl von Einzelbildern in kurzer Zeit aufzunehmen, welche dann im Nachhinein verlangsamt wieder abgespielt werden. So kann eine gute Auswertung des Versuchs stattfinden.

Es werden von der TU Berlin drei Hochgeschwindigkeitskameras vom Hersteller Redlake, des Typs MotionXtra HG-100K (vgl. Abbildung 38) und die dazugehörige zentrale Verarbeitungseinheit zur Verfügung gestellt.

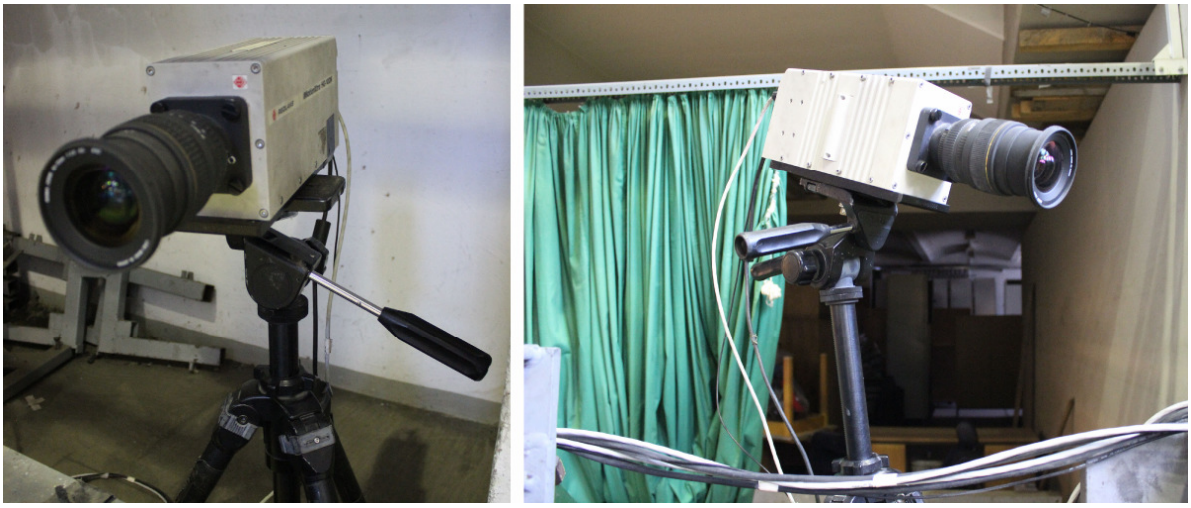


Abbildung 38 Hochgeschwindigkeitskamera Redlake MotionXtra HG-100K [10]

Da die maximale Aufnahmedauer aufgrund der großen Datenmengen begrenzt und eine gleichzeitige Auslösung der Hochgeschwindigkeitskameras gewünscht ist, werden verschiedene Auslösemechanismen verwendet. Diese lösen die Aufnahme kurz vor dem Aufprall des Fahrzeugs auf die Wand aus.

Als Primärauslöser wird eine Lichtschranke verwendet. Als Sekundärauslöser werden Kontaktstreifen eingesetzt, welche an der Wand und der Stoßstange des Fahrzeugs befestigt werden (vgl. Abbildung 39).

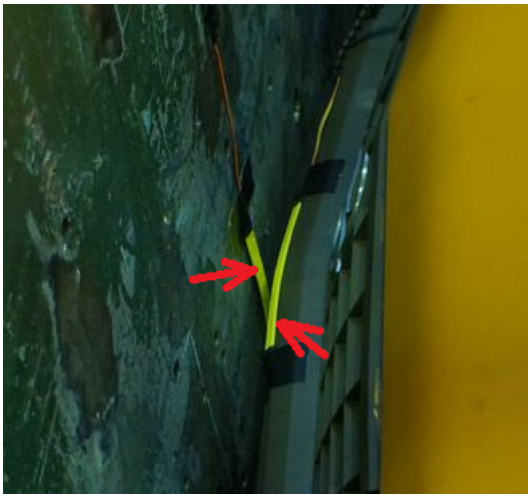


Abbildung 39 Kontaktstreifen [11]

Aufgrund der hohen Anzahl an Bildern der Hochgeschwindigkeitskameras fällt die Belichtungszeit sehr kurz aus, was einen hohen Lichtbedarf hervorruft. Deshalb wird der Crashbereich mit mehr als 200 Metall-Hallogen-Scheinwerfern mit jeweils 2000 Watt beleuchtet, welche ein flackerfreies Licht erzeugen.

Weiterhin ist es sehr wichtig, dass die Kamerapositionen sorgfältig ausgewählt werden. Oberste Priorität hat hier die Beobachtung der Sicherheitsgurte während des Versuchs. Durch den Ausbau der Türen kann gut in das Fahrzeug hinein gefilmt werden. Somit kann eine Kamera links und die andere rechts vom Fahrzeug positioniert werden. Die dritte Kamera wird vorne links vom Fahrzeug positioniert, um einen besseren Blick auf die nachgerüsteten Gurte zu bekommen. Bei der Auswahl des Bildausschnitts muss auch die Verformung des Fahrzeugs während des Crashs berücksichtigt werden.

5.6.2 Actionkameras

Um das Verhalten der nachgerüsteten Verankerungspunkte beobachten zu können, werden die nicht verdeckten Verankerungspunkte mit sogenannten Actionkameras gefilmt (vgl. Abbildung 40). Diese zeichnen sich durch ihre schlagfesten Gehäuse, ihre geringe Größe und ihre flexiblen Befestigungsmöglichkeiten aus und können somit den auftretenden Belastungen während des Versuchs standhalten. Es werden jeweils zwei Kameras der Firma GoPro und Sonny verwendet. Für eine bessere Videoqualität werden die gefilmten Verankerungspunkte mit batteriebetriebenen Lampen beleuchtet.

Abbildung 40 Actionkameras [10]

5.7 Unfalldatenspeicher

Zur Erfassung von Unfalldaten werden Unfalldatenspeicher (UDS) verwendet. Sie verfügen über Sensoren, mit denen die Beschleunigung in Längs- und Querrichtung aufgenommen werden kann. Auch ein elektronischer Kompass ist vorhanden, somit kann auch die Gierwinkeländerung erfasst werden. Des Weiteren können die Schaltstellungen verschiedener Bedienelemente und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs aufgenommen werden.

Hier werden ein UDS 1.3, 2.0 und AT verwendet, um deren aufgezeichnete Werte miteinander vergleichen zu können. Zwei Geräte werden auf dem hinteren Mitteltunnel platziert (vgl. Abbildung 41) und ein weiteres im Kofferraum.

Abbildung 41 UDS auf Mitteltunnel [11]

Zur Ermittlung der Geschwindigkeit wird der Impulsgeber des Tachometers am Getriebe des Fahrzeugs genutzt. Dazu muss der UDS durch das Fahren des Fahrzeugs über eine bestimmte Strecke kalibriert werden, um aus dem Impulssignal eine Geschwindigkeit ermitteln zu können. Alle UDS werden durch einen gemeinsamen Kippschalter eingeschaltet

Zusätzlich wird noch ein PIC DAQ der Firma DSD verwendet, welches auch im Kofferraum platziert und mit der Karosserie verschraubt wird (vgl. Abbildung 42). Dieses System kann GPS-Daten aufzeichnen und besitzt drei axiale Beschleunigungssensoren, die Werte bis zu 200g erfassen können.

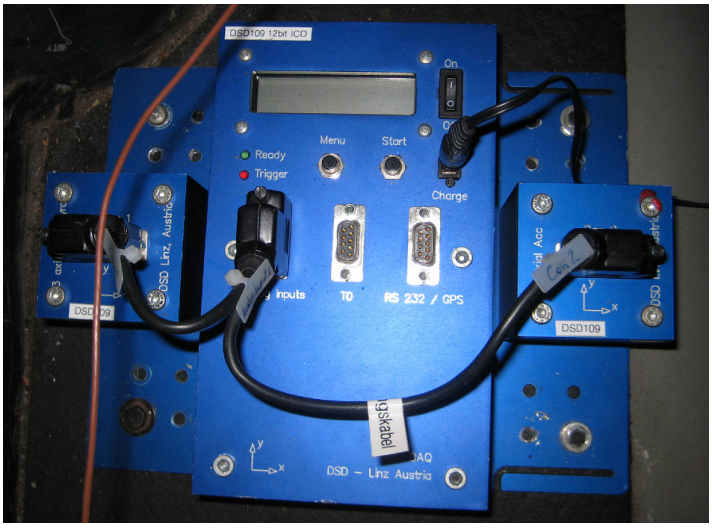


Abbildung 42 DSD PIC DAQ

5.8 Beschleunigungssensoren der Dummys

Die Beschleunigungen der hinteren Dummys werden durch separate Beschleunigungssensoren der Firma Gulf Coast Data Concepts, des Typs X250-1 (vgl. Abbildung 43) ermittelt, die Beschleunigungen bis zu 250g auf drei Achsen aufzeichnen können.

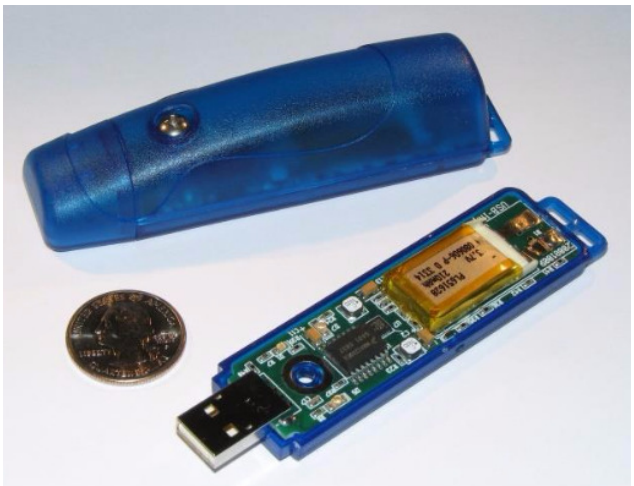


Abbildung 43 Beschleunigungssensor X250-1 [4]

Die Auswertung erfolgt über eine USB-Schnittstelle, wofür keine spezielle Software benötigt wird. Diese werden jeweils in der Brust des Dummys platziert. Das dazu genutzte Fach in den Dummys ist in Abbildung 44 zu sehen, in welchem die Sensoren mittels Schaumstoff als Füllmaterial fixiert werden.

Abbildung 44 Fach in Dummybrust

5.9 Gurtkraftaufnehmer

Um die im Gurtband auftretenden Kräfte ermitteln zu können, werden Gurtkraftaufnehmer verwendet. Der Gurt wird hierzu in das Gehäuse des Gurtkraftaufnehmers gelegt und mit dem herausnehmbaren Umlenkbolzen fixiert. Somit wird bei einer Zugbelastung des Gurtbands das mit Dehmessstreifen bestückte Gehäuse elastisch verformt (vgl. Abbildung 45).

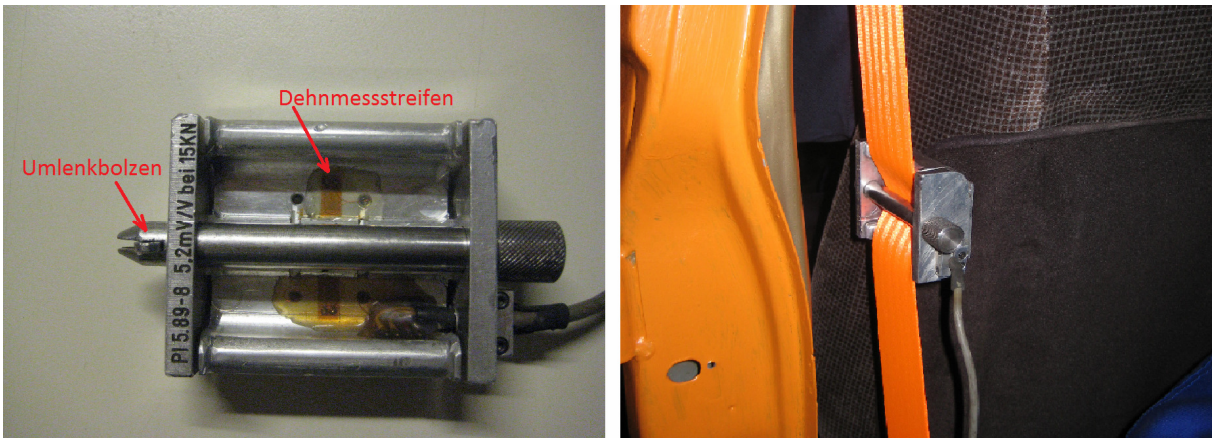


Abbildung 45 Gurtkraftaufnehmer

Für die Versorgungsspannung und Messdatenerfassung sorgt ein MINIDAU K3700 System der Firma Kayser-Threde mit 32 analogen Eingängen, welches in der Reserveradmulde im Kofferraum mit der Karosserie verschraubt wird (vgl. Abbildung 46).

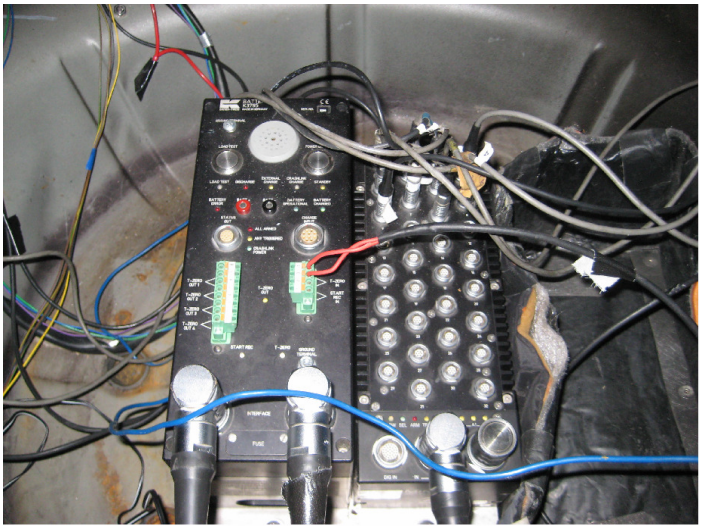


Abbildung 46 MINIDAU K3700

Es ist sinnvoll, die Gurtkräfte zwischen den verschiedenen Verankerungspunkten zu messen, um die Kraftaufnahmeanteile dieser bestimmen zu können. Bei der Montage ist darauf zu achten, dass die Gurtkraftaufnehmer frei hängen und auch während des Crashs nirgendwo anschlagen, denn dies würde die Messwerte beeinflussen. Des Weiteren dürfen die Kabel nicht zu kurz bemessen werden, um ein Abreißen bei Bewegung der Gurte zu verhindern. An den vorderen Gurten ist genügend Platz, um jeweils drei Gurtkraftaufnehmer zu verwenden und somit die Kräfte in allen Gurtabschnitten messen zu können. An den hinteren Gurten können jeweils nur zwei Gurtkraftaufnehmer verwendet werden, denn der Bereich zwischen dem oberen Verankerungspunkt und dem Retraktor bietet nicht genug Platz. Die Positionen der Aufnehmer sind in Abbildung 47 dargestellt.

Abbildung 47 Positionierung Gurtkraftaufnehmer

Nach dem Einbau müssen die Gurtkraftaufnehmer kalibriert werden. Die Aufnahme des MINIDAU-Systems wird durch Auslösung der Kontaktstreifen an Stoßstange und Barriere gestartet.

5.10 Die Crashanlage der TU Berlin

„Die hydraulisch angetriebene Anlage kann auf einer Anlaufbahn von 75 m eine Masse von mehr als 1100 kg geregelt auf 100 km/h (2000 kg auf 72 km/h) beschleunigen. Es können Versuche mit Pkw, Klein-Lkw, Zweirädern und Testschlitten durchgeführt werden. Hierbei sind sowohl Frontal-, Heck- und Seitenaufpralle mit allen gängigen Barrieren als auch Fußgänger- und Zweiradaufpralle durchführbar.

Es stehen auch Versuchsanlagen zur Verfügung, die mit Teil- oder Komplettkarosserien zur Erprobung von Airbags, Sicherheitsgurten oder anderen Komponenten versehen werden können. Das Aufprallverhalten verschiedener Pkw kann dabei mit einer variablen Bandbremse in engen Toleranzbändern simuliert werden.

Für Tests zur Tanksicherheit von Pkw (Heckaufprall gemäß FMVSS 301) steht ebenfalls eine fahrbare Barriere zur Verfügung. Auch für ECE- bzw. FMVSS-Seitentests stehen alle notwendigen fahrbaren Barrieren zur Verfügung.“ [12]

Abbildung 48 Anlaufstrecke Crashanlage [15]

Abbildung 49 Kollisionszone Crashanlage

Im Folgenden sind die wichtigsten Daten der Anlage aufgeführt:

- Geregelter hydraulischer Antrieb mit ca. 750 kW
- Crashgeschwindigkeit bis zu 100 km/h bei 1100 kg und 72 km/h bei 2000 kg
- Anlaufstrecke: 70 m
- Ortsfeste und bewegliche Barrieren (z.B. ECE R 94 und R 95; FMVSS 208 und 214)
- Testschlitten mit mehrstufiger Verzögerungseinrichtung
- Dummys: HYBRID III, EUROSID und US-SID, auch andere möglich
- Diverse 1- und 3-axiale Beschleunigungsaufnehmer, Kraftmessdosen, Druck- und Wegaufnehmer
- Messtechnik für 78 Kanäle
- Filmgruben für Frontal- und Seitenaufprall
- 5 High-Speed-Film-Kameras
- 3 High-Speed-Video-Digital-Kameras (Kodak: sensor array 1504 x 1128 pixels, 30 bits (color) pixel depth und 1000 full fps)
- Umfangreiche Film-, Video- und Messdatenauswertesoftware

[12]

6 Versuchsdurchführung

Die Auswahl der Crashkonstellation muss unter Berücksichtigung des Versuchsziels erfolgen, also einer hohen Belastung der Gurtsysteme und Verankerungspunkte. Hierbei sollen die Belastungen allerdings in einem realitätsnahen Rahmen bleiben, das heißt, die Geschwindigkeit sollte so gewählt werden, dass die Insassen unter Verwendung der Gurtsysteme eine gute Überlebenschance hätten.
Um diesen Anforderungen nahe zu kommen, wird sich für einen frontalen Aufprall mit null Prozent Überdeckung gegen eine starre Barriere bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h entschieden.

Zunächst muss das Crashfahrzeug an das Ende der Anlaufstrecke geschoben und die an den Querlenkern des Fahrzeugs befestigte Kette in den Zughaken der Beschleunigungsschiene im Boden gehängt werden (vgl. Abbildung 50).

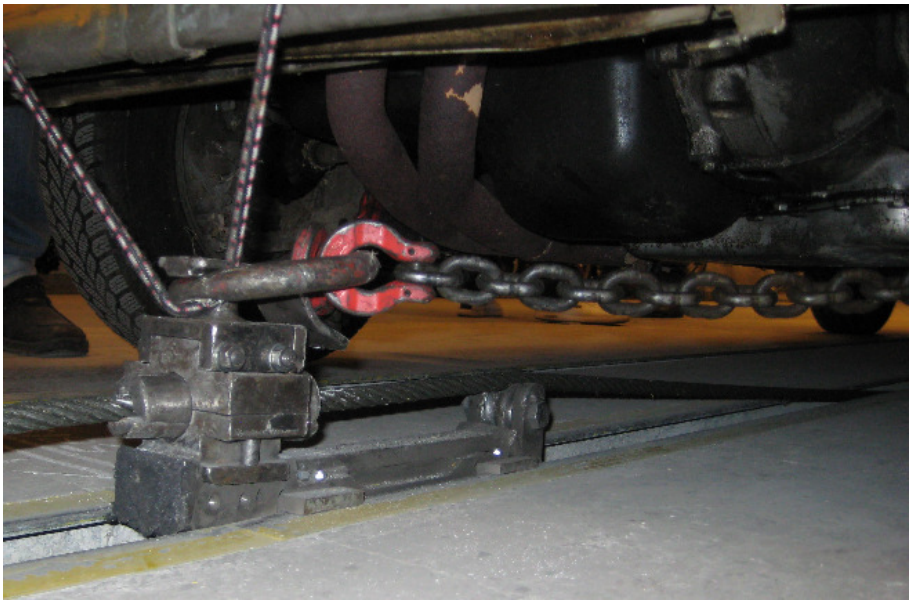


Abbildung 50 Zughaken

Dann muss die Beleuchtung der Crashanlage, die Actionkameras und deren Beleuchtung, die UDS-Systeme, die Beschleunigungssensoren der Dummys, die Zündung des Fahrzeugs und alle anderen nötigen Systeme eingeschaltet werden. Anschließend kann, sofern alle Personen den Sicherheitsbereich verlassen haben, der Versuch gestartet werden. Das Fahrzeug wird auf die gewünschte Geschwindigkeit beschleunigt und prallt gegen den Betonblock.

7 Versuchsauswertung

7.1 Auswertung der Kameraaufnahmen

7.1.1 Hochgeschwindigkeitskameras

Die Auslösung der Hochgeschwindigkeitskameras erfolgte ohne Probleme, Primär- und Sekundärauslöser funktionierten. Auch die Kamerapositionen wurden gut gewählt. Die Aufnahmen beginnen 20 ms vor der Auslösung der Sekundärauslöser. Bei der Auslösung der Sekundärauslöser, also der Berührung der Stoßstange mit der Wand, wurde die Zeit auf null gesetzt.

Bereits bei 20 ms, also 20 ms nach Berührung der Stoßstange mit der Wand, beginnen sich die Schweller im vorderen Bereich zu verformen und es sind leichte Einknickungen am Dach und an den A-Säulen zu erkennen. Die Fahrzeugverzögerung ist bis zu diesem Zeitpunkt noch sehr gering, da sich nur die weichen Strukturen verformt haben. Die Dummys haben noch keine sichtbare Vorverlagerung erfahren. Abbildung 51 zeigt das Fahrzeug zu diesem Zeitpunkt. Die mit der Verformung beginnenden Bereiche wurden rot markiert.

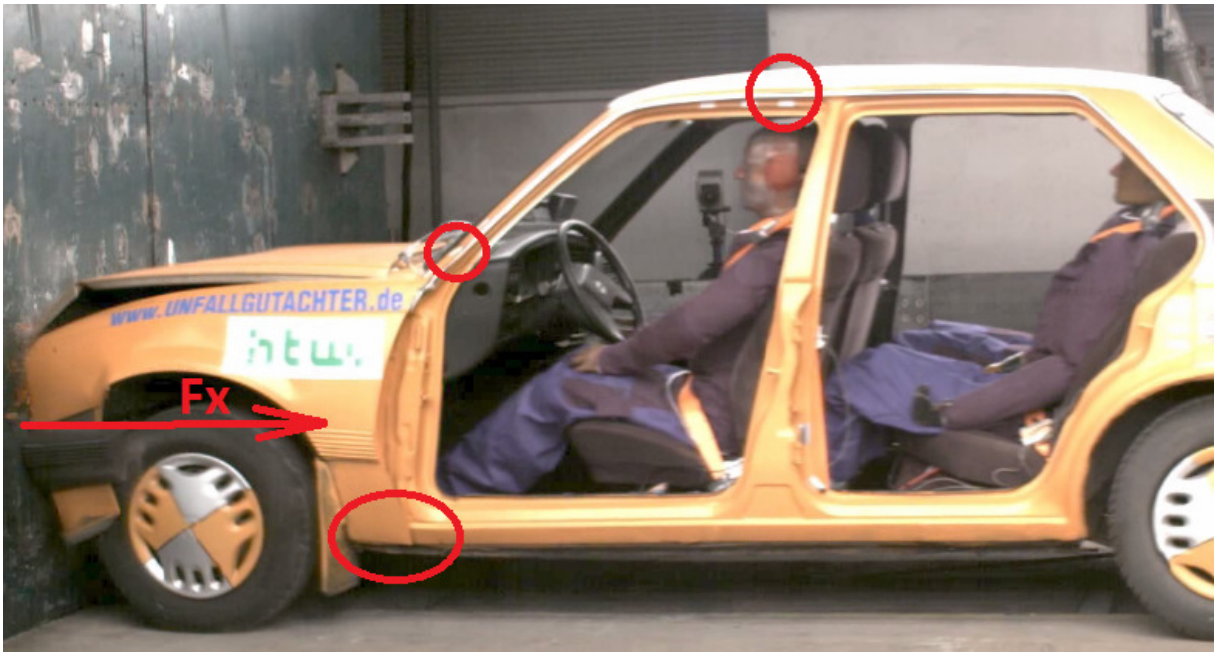


Abbildung 51 Crashfahrzeug bei 20 ms

Die Kraft des Aufpralls wird ungefähr in Höhe der Stoßstange in die Karosserie eingeleitet. Dadurch übt der Vorderwagen ein Drehmoment auf die Schweller aus, das die A-Säulen nicht abstützen können. Durch die Verformung der Schweller werden die A-Säulen belastet und die Kräfte in das Dach geleitet, wodurch beide einknicken.

Bei 40 ms ist eine Voranschreitung der Verformungen zu sehen (vgl. Abbildung 52). Die vom Vorderwagen heruntergedrückten Schweller geben nun auch vor dem von der B-Säule verstärkten Bereich nach; sie können der gleichzeitigen Druck- und Biegebelastung nicht standhalten. Die Frontscheibe wird aus dem Scheibenrahmen gedrückt und die Dummys erfahren nun eine Vorverlagerung. Die fehlenden Türen hätten eventuell die Kräfte aufnehmen und durch die Karosserie weiterleiten können. Allerdings haben andere Versuche schon gezeigt, dass, gerade bei älteren Fahrzeugen, die Türen nachgeben und sich durch die Belastungen öffnen können.

Abbildung 52 Crashfahrzeug bei 40 ms

Bei 60 ms (vgl. Abbildung 53) beginnen sich die Schweller auch im mittleren vorderen Türbereich einzuknicken und die Schweller im hinteren Türbereich zu verformen. Auch die A-Säulen knicken ab. Alle Gurtsysteme sind aktiv, die Dummys haben die Gurtlose aber noch nicht überwunden. Die hinteren Dummys drücken mit ihren Beinen gegen die vorderen Sitze. Die vorderen Dummys sind mit den Knien in Kontakt mit dem Armaturenbrett und der Fahrer zusätzlich mit dem Lenkrad. Der Vorderwagen verformt sich ab hier nicht weiter, der kom-

plette sehr schwer verformbare Antrieb dieses frontgetriebenen Fahrzeugs mit quer eingebautem Motor verhindert dies.

Abbildung 53 Crashfahrzeug bei 60 ms

Bei 80 ms (vgl. Abbildung 54) drückt sich das Armaturenbrett und das Lenkrad, welches aufgrund der Sicherheitslenksäule nachgibt, gegen den Fahrer. Die vorderen Sitze neigen sich durch die zunehmende Verformung immer weiter nach vorne. Die Frontscheibe „fällt“ nach vorne raus.

Abbildung 54 Crashfahrzeug bei 80 ms

Es haben alle Dummys, bis auf den Beifahrer, die Gurtlose überwunden. Der Gurt des Beifahrers weist eine deutlich größere Gurtlose auf als der des Fahrers (vgl. Abbildung 55). Hier sind bei der Auswertung der Videos die verschiedenen Kamerawinkel zu beachten.

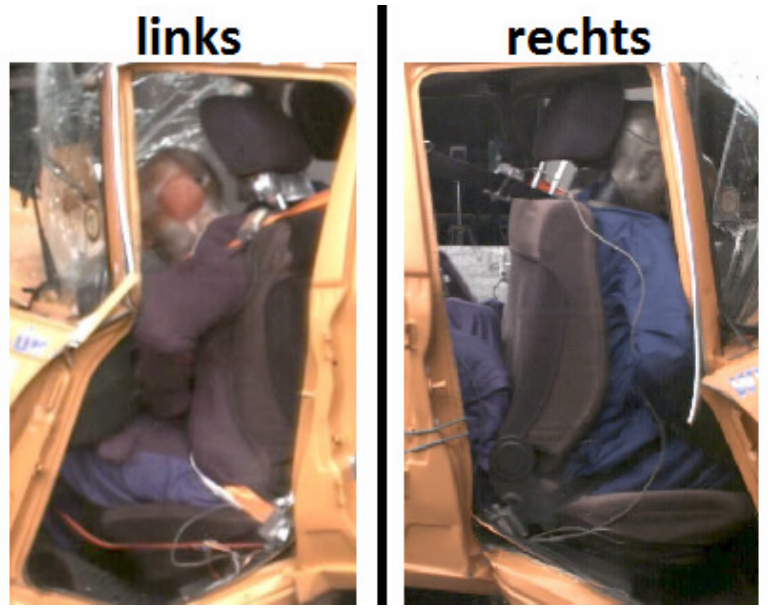


Abbildung 55 Dummys vorne bei 80 ms

Bei genauem Hinsehen ist zu erkennen, dass auch der originale Gurt hinten rechts eine größere Gurtlose als der nachgerüstete hinten links aufweist (vgl. Abbildung 56).

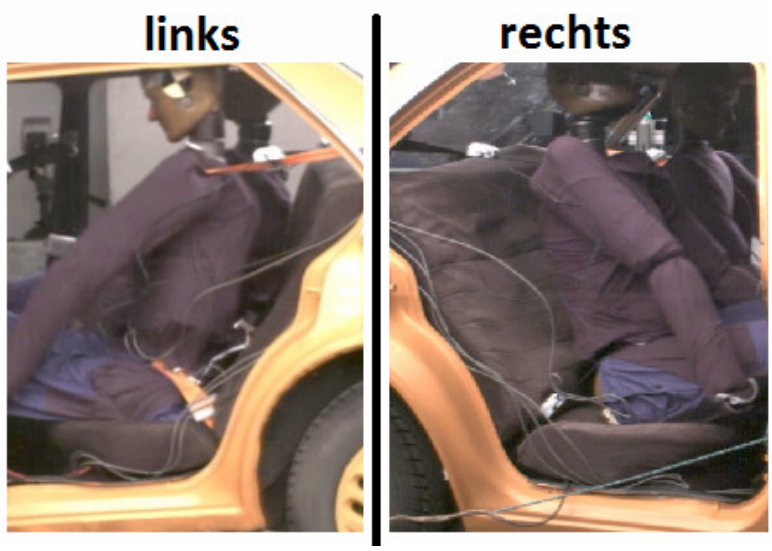


Abbildung 56 Dummys hinten bei 80 ms

Jedoch sind beide Gurtlosen der hinteren Gurte zu groß. Dies ist auf die Dummys zurückzuführen, dessen Statur nicht komplett der menschlichen entspricht. Die Taille besitzt hier nur einen Durchmesser von in etwa 13 Zentimetern, wie in Abbildung 57 zu sehen.

Abbildung 57 Taille Dummy hinten

Es ist kein richtiges Becken vorhanden, an dem der Gurt anliegen sollte. Somit rutscht hier der auf den Beinen aufliegende Gurt bis an die Taille des Dummys. Auch die Schultergelenke der Dummys besitzen eine Lücke, in die sich die Gurte während des Crashs legen. Bei den vorderen Dummys ist dies nicht der Fall, sie entsprechen der menschlichen Statur. Des Weiteren trägt die Führung der Gurtschlösser hinter der Sitzbank entlang zu den großen Gurtlosen bei (vgl. Abbildung 58). Aussparungen in der Sitzbank würden dies verhindern.

Abbildung 58 Gurtschlossführung hinten

Bei 100 ms werden die vorderen Dummys maximal zwischen Armaturenbrett und Sitz eingeklemmt, wie in Abbildung 59 auf der nächsten Seite zu sehen.

Abbildung 59 Crashfahrzeug bei 100 ms

Der Fahrer prallt zu diesem Zeitpunkt mit dem Kopf oben auf das Armaturenbrett (vgl. Abbildung 60). Wahrscheinlich hätte der Fahrer jedoch keine lebensbedrohlichen oder tödlichen Verletzungen durch den Kopfaufprall auf das relativ nachgiebige Armaturenbrett davon getragen.

Abbildung 60 Fahrerdummy bei 100 ms

Bei 120 ms gibt die Karosserie, im Bereich von Vorderwagen, Schweller und Unterboden bis zur B-Säule, nicht weiter nach. Aufgrund der weiterhin nachgebenden A-Säulen hebt sich nun der hintere Teil des Fahrzeugs, inklusive Dach und B-Säulen. Die Hinterräder haben keinen Bodenkontakt mehr (vgl. Abbildung 61).

Abbildung 61 Crashfahrzeug bei 120 ms

Wegen der späten Rückhaltung des Beifahrers prallt dieser nun mit dem Kopf auf die Motorhaube (vgl. Abbildung 62). Der Kopfanprall scheint stärker als der des Fahrers, die Motorhaube zeigte aber keine Verformungen im Bereich des Kopfanpralls.

Abbildung 62 Beifahrerdummy bei 120 ms

Bei 200 ms (vgl. Abbildung 63) scheinen die Beschleunigungen von Fahrzeug und Dummys abgenommen zu haben. Die vorderen Dummys werden aufgrund der Elastizität wieder zurück in die Sitze geschleudert. Der hintere Teil des Fahrzeugs hebt sich weiter an. Das Navigationsgerät hat sich von seiner Befestigung an der Innenseite der Frontscheibe gelöst und wird nun nach vorne geschleudert.

Abbildung 63 Crashfahrzeug bei 200 ms

Bei 300ms (vgl. Abbildung 64) bewegt sich auch der Dummy hinten links in seine Ausgangsposition zurück, der hinten rechts erst etwas später, aufgrund der späteren Rückhaltung.

Abbildung 64 Crashfahrzeug bei 300 ms

Bei 500 ms lässt die Beschleunigung des Fahrzeugs nach und es senkt sich wieder ab. Dadurch bewegt sich der auf der Hutablage platzierte Laptop, welcher vorher von der Kante der Rücksitzbank zurückgehalten wurde, von seiner Position (vgl. Abbildung 65). Er wurde nicht, wie erwartet, durch das Fahrzeug geschleudert.

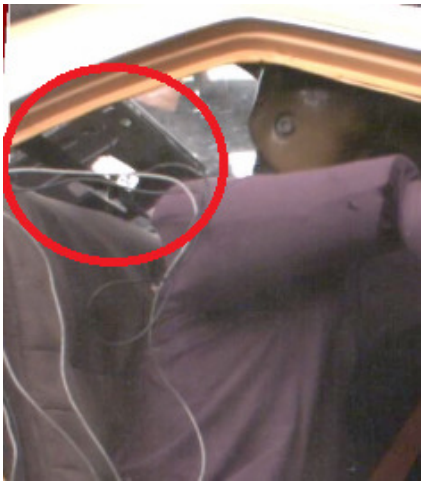


Abbildung 65 Laptop bei 500 ms

Bei 937 ms (vgl. Abbildung 66) wirken keine durch die Kollision entstandenen Kräfte mehr an Fahrzeug und Dummys. Der elastische Anteil der Fahrzeugverformung ist sehr gering. Auch hat sich das Fahrzeug nach der Kollision kaum wieder von der Wand entfernt. Somit kann ein nahezu plastisches Stoßverhalten angenommen werden.

Abbildung 66 Crashfahrzeug bei 937 ms

7.1.2 Actionkameras

Da sich die gefilmten Verankerungspunkte gar nicht oder kaum verformt haben, sind die Aufnahmen der Actionkameras für die Auswertung unerheblich und werden deshalb nicht weiter betrachtet. Im Falle des Nachgebens von Verankerungspunkten wären die Aufnahmen interessant gewesen.

7.2 Betrachtung des gesamten Fahrzeugs

Das starke Kollabieren der Fahrgastzelle ist wohl auf das Fehlen der Türen und auf eine korrosionsgeschwächte Karosserie zurückzuführen. Ob das Vorhandensein der Türen oder eine nicht korrosionsgeschwächte Karosserie dies hätte verhindern können, kann nicht gesagt werden. Beides zusammen hätte jedoch mit ziemlicher Sicherheit eine solch starke Verformung der Fahrgastzelle verhindert. Der Vorderwagen hätte dann durch eine stärkere Verformung mehr Energie aufnehmen können.

Bei der Betrachtung des Fahrzeugs vor dem Versuch waren, außer im Heckbereich, keine größeren Korrosionsschäden am Fahrzeug festzustellen. Schon während des Versuchs zeigte sich jedoch ein „Aufbrechen“ der unteren Schwellerbereiche (vgl. Abbildung 67).

Abbildung 67 Schweller links bei 75 ms

Die Abbildungen 68 und 69 zeigen die durch den Crash aufgebrochenen Schweller und die Korrosionsschädigung dieser, die sich fast durch die gesamten unteren Schwellerbereiche zieht.

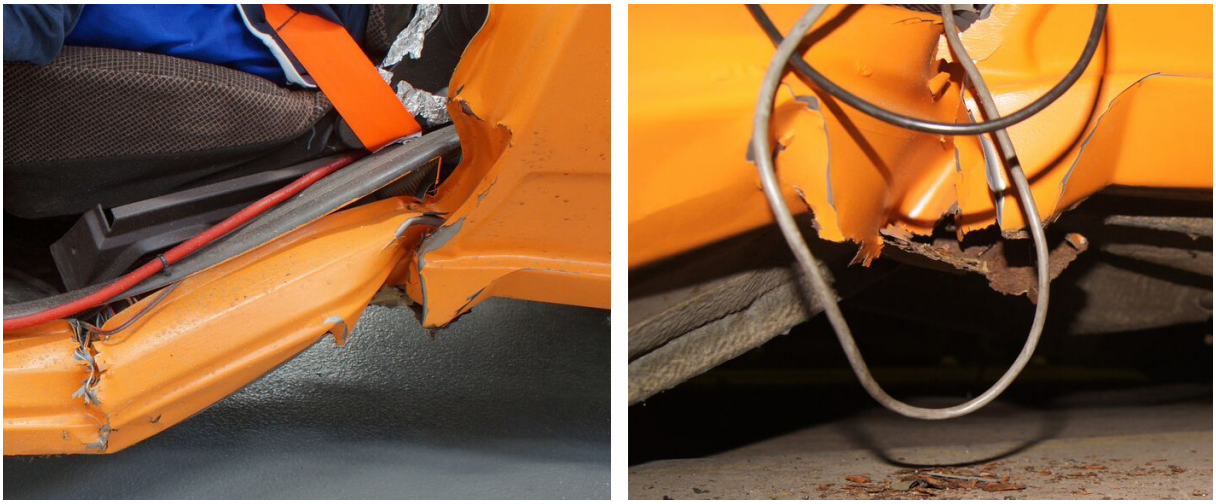


Abbildung 68 Schweller links [15]

Abbildung 69 Schweller rechts [15]

Die zwei Schnitte im Schweller, links in Abbildung 69, sind nicht durch die Kollision entstanden, sondern erfolgten erst im Nachhinein zur Untersuchung des Schwellers. Abbildung 70 zeigt den aufgeschnittenen Schweller. Es sind klare Durchrostungen erkennbar.

Abbildung 70 Schweller rechts, aufgeschnitten [15]

Abbildung 71 zeigt den schon stark korrodierten linken hinteren Schweller. Es ist zu sehen, dass dieser schon partiell mit einem neuen Blech versehen wurde. An der hinteren Endspitze war Spachtelmasse angebracht. Dies zeigt, dass schon vor längerer Zeit Korrosionsschäden an dem Fahrzeug aufgetreten sind.

Abbildung 71 Schweller hinten links [15]

Abbildung 72 zeigt den verformten Unterboden.

Abbildung 72 Unterboden [15]

Die vorderen Dummys wurden zwischen den Sitzen und dem Armaturenbrett eingeklemmt. Die Sitze wurden durch die Verformung der Schweller nach vorne geneigt und zusätzlich von den hinteren Dummys nach vorne gedrückt. Im Zuge einer Feuerwehrübung wurden die Dummys aus dem Fahrzeug befreit. Abbildung 73 zeigt das Richtung Spritzwand geschobene Armaturenbrett und das verformte Lenkrad, dessen Sicherheitslenksäule nachgegeben und somit ein Eindringen dieser in den Brustkorb des Fahrers verhindert hätte.

Abbildung 73 Armaturenbrett nach Crash [15]

In Abbildung 74 sind die Verformungen des Armaturenbretts durch die Beine der vorderen Dummys zu sehen. Es wären höchstwahrscheinlich mindestens Knieverletzungen entstanden.

Abbildung 74 Armaturenbrett Beinhöhe

Abbildung 75 zeigt den Kopfanprallpunkt des Fahrerdummys auf dem Armaturenbrett.

Abbildung 75 Kopfanprallpunkt Armaturenbrett [15]

7.3 Ausgangsvermessung des Crashfahrzeugs

Nach der erneuten Vermessung aller bei der Eingangsvermessung festgelegten Messpunkte kann das nun erstellte Modell mit dem der Eingangsvermessung verglichen werden. Die mit der Hinterachse übereinstimmend übereinander gelegten Modelle sind in Abbildung 76 zu sehen.

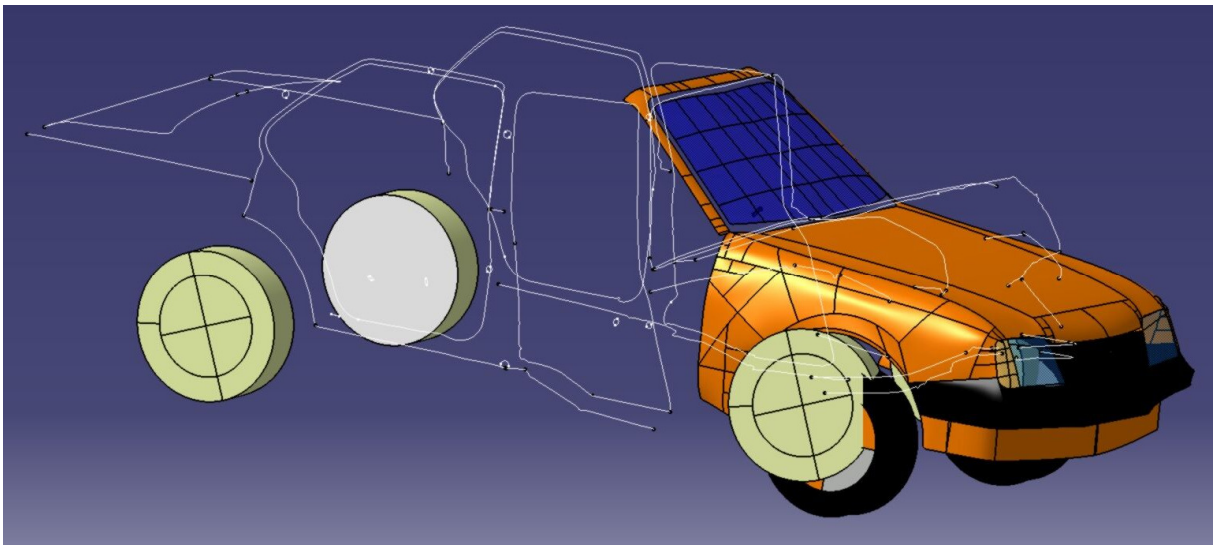


Abbildung 76 Vergleich der Modelle [22]

Das Fahrzeug hat sich insgesamt um etwa 55 cm verkürzt. Da hier eine nahezu plastische Verformung stattfand, kann dieser Wert für die Berechnungen verwendet werden. Der größte Teil der Verformung fand im Bereich vor den B-Säulen statt. Somit befanden sich die vorderen Dummys noch in der Deformationszone, ihre Gurtverankerungspunkte jedoch nicht, wodurch sie trotzdem fast den kompletten Deformationsweg nutzen konnten. Das Auftreffen auf das Armaturenbrett und die Verschiebung des am Sitzgestell befestigten Gurtschlosses des Beifahrers werden dabei vernachlässigt.

7.4 Berechnungen zur Krafteinleitung in die Gurtsysteme

In den Berechnungen wird von linear verlaufenden Beschleunigungen ausgegangen, wie sie allerdings im Realfall aufgrund verschiedener Festigkeiten der Deformationszone des Fahrzeugs nicht auftreten. Hier wird also mit mittleren Beschleunigungen gerechnet.

Um die Beschleunigung des Fahrzeugs zu ermitteln, wird die an diesem gemessene Verformung S und die Geschwindigkeit vor dem Aufprall genutzt, wie in Gleichung 5 zu sehen ist. Die mittlere Beschleunigung beträgt also 18,6 g.

$$a_{Fzg} = \frac{v_{Fzg}^2}{2 \times S} = \frac{\left(14{,}2\frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0{,}55m} = 182{,}5\frac{m}{s^2} = \underline{\underline{18{,}6g}} \qquad \textbf{(Gl. 5)}$$

Um dieses Ergebnis zu überprüfen, kann mithilfe von Gleichung 6, der gegebenen Fahrzeugbeschleunigung und Geschwindigkeitsänderung die Verformungszeit berechnet und mit den Videoaufnahmen verglichen werden. Diese zeigen, dass das Fahrzeug nach etwa 78 ms seine größte Verformungsarbeit geleistet hat, was das Ergebnis plausibilisiert.

$$a_{Fzg} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta v}{a_{Fzg}} = \frac{14{,}2\frac{m}{s}}{182{,}5\frac{m}{s^2}} = 0{,}078s = \underline{\underline{78ms}} \qquad \textbf{(Gl. 6)}$$

Die Beschleunigung der Insassen wird wie die des Fahrzeugs berechnet, nur dass hier die aufgetretene Gurtlose dem Verformungsweg des Fahrzeugs abgezogen wird. Denn erst wenn die Dummys die Gurtlose überwunden haben, können sie an der Verzögerung des Fahrzeugs teilnehmen. Die Gurtlosen waren vorne, durch die Neigung der Sitze aufgrund der Verformung der Schweller, nicht genau feststellbar. Die Gurtlose des Fahrers lag als einzige im Normalbereich, weshalb ein Wert von 14 cm in Gleichung 7 eingesetzt wird. Auf den Fahrerdummy hätte demnach eine Beschleunigung von etwa 25 g wirken müssen.

$$a_{Dummy,1} = \frac{v_{Fzg}^2}{2 \times \left(S_{Fzg.-Verformung} - S_{Gurtlose}\right)} = \frac{\left(14{,}2\frac{m}{s}\right)^2}{2 \times \left(0{,}55m - 0{,}14m\right)} = 245{,}9\frac{m}{s^2} = \underline{\underline{25{,}1g}} \qquad \textbf{(Gl. 7)}$$

Auf den hinteren Sitzplätzen und an dem Gurt des Beifahrers sind unterschiedlich große Gurtlosen aufgetreten. Allerdings lagen diese alle nicht sehr weit auseinander, weshalb hier zur Vereinfachung ein gemeinsamer Wert von 32 cm gewählt und in Gleichung 8 eingesetzt wird. Die Beschleunigungen der Dummys bei einer großen Gurtlose betragen also etwa 45 g und sind somit fast doppelt so hoch.

$$a_{Dummy,2} = \frac{v_{Fzg}^2}{2 \times \left(S_{Fzg.-Verformung} - S_{Gurtlose}\right)} = \frac{\left(14{,}2\frac{m}{s}\right)^2}{2 \times \left(0{,}55m - 0{,}32m\right)} = 438{,}4\frac{m}{s^2} = \underline{\underline{44{,}7g}} \qquad \textbf{(Gl. 8)}$$

Mithilfe der errechneten Beschleunigungen der Dummys bei kleiner und großer Gurtlose und den Massen der Dummys können die auf die Gurtsysteme wirkenden Kräfte bestimmt werden. Die Massen der Dummys variieren zwischen 75 und 80 kg, weshalb zur Vereinfachung ein Mittelwert von 77,5 kg gewählt wird.
Aus Gleichung 9 ergibt sich die auf das Gurtsystem des Fahrers, mit der geringen Gurtlose, wirkende Kraft von etwa 19 kN.

$$F_{Gurtsystem,1} = m_{Dummy} \times a_{Dummy,1} = 77{,}5kg \times 245{,}9\frac{m}{s^2} \approx \underline{\underline{19kN}} \qquad \textbf{(Gl. 9)}$$

Gleichung 10 zeigt die auftretende Kraft bei einer großen Gurtlose, welche mit etwa 34 kN deutlich höher ausfällt.

$$F_{Gurtsystem,2} = m_{Dummy} \times a_{Dummy,2} = 77{,}5kg \times 438{,}4\frac{m}{s^2} \approx \underline{\underline{34kN}} \qquad \textbf{(Gl. 10)}$$

7.5 Auswertung Unfalldatenspeicher

Der UDS 2.0 hat keine verwertbaren Ergebnisse geliefert und für den UDS AT ist keine passende Software für die Auswertung vorhanden. Der UDS 1.3 und das Pic-Daq haben jedoch verwertbare Ergebnisse aufgezeichnet. Hauptaugenmerk wird hier auf das UDS 1.3 gelegt, dessen Ergebnisse durch die sehr ähnlichen Aufzeichnungen des Pic-Daq gestützt werden.

Das Diagramm in Abbildung 77 auf der nächsten Seite zeigt die vom UDS 1.3 aufgezeichneten Längs- und Querbeschleunigungen. Die Querbeschleunigungen können auf eine fehlerhafte Montage des UDS oder auf eine ungleichmäßige Verformung des Fahrzeugs zurückgeführt werden, allerdings erscheinen die Querbeschleunigungen von etwa 18 g dafür etwas zu hoch. Die Ausschläge der Längsbeschleunigungen können in fünf Phasen eingeteilt werden.

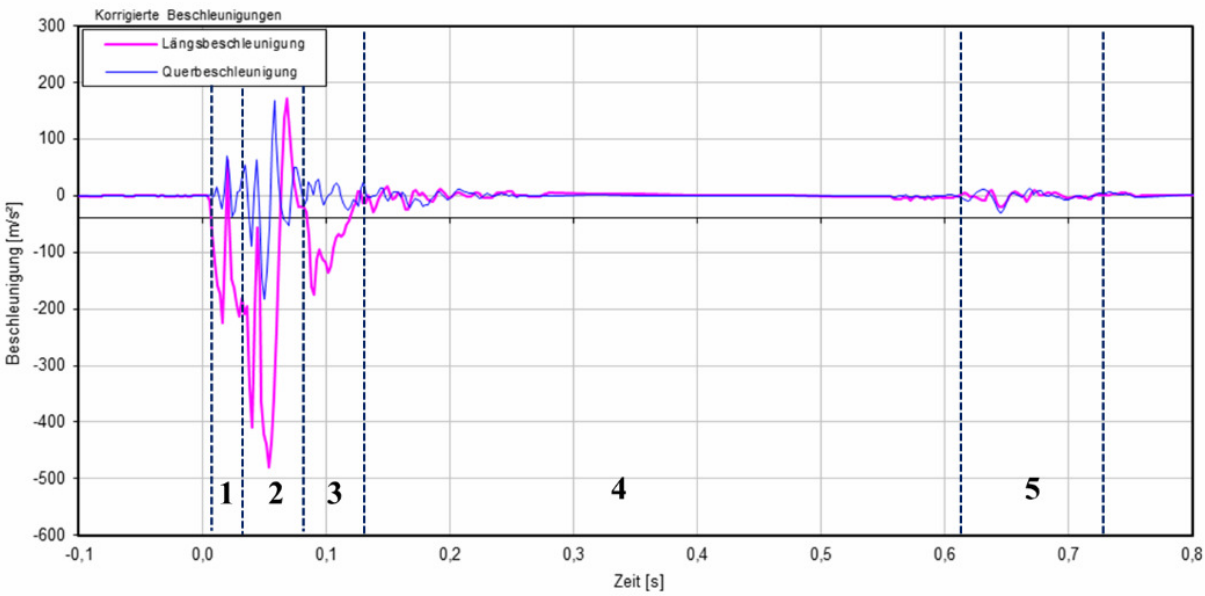


Abbildung 77 Beschleunigungsverläufe UDS 1.3 [5]

In Phase 1 wird die Knautschzone des Fahrzeugs ausgenutzt und es treten noch keine großen Verformungen der Schweller auf. Hierbei werden Beschleunigungen von 220 m/s^2, also etwa 22 g erreicht.

In Phase 2 treten Verformungen an Schwellern, A-Säulen und Dach ein, wobei sich die größten Beschleunigungen von 480 m/s^2, also etwa 49 g ergeben. Diese wirken nur sehr kurz, Beschleunigungen von 420 m/s^2, also etwa 42 g, jedoch über etwa 10 ms. Am Ende von Phase 2 knicken die Schweller komplett ein, wodurch das Fahrzeug wieder kurz an Geschwindigkeit zunimmt.

In Phase 3 verformen sich die Schweller nicht weiter, wodurch das Fahrzeug wieder seine Geschwindigkeit verringert. Dabei entstehen Beschleunigungen von 160 m/s^2, also etwa 16 g.

In Phase 4 hebt sich das Fahrzeugheck vom Boden ab, wodurch kaum Beschleunigungen in x- und y-Richtung auftreten. Hier entstehen hauptsächlich Beschleunigungen in z-Richtung, welche der UDS nicht erfassen kann.

Für Phase 5 gilt das Gleiche wie für Phase 4, nur dass die Beschleunigungen in z-Richtung, durch das sich nun absenkende Heck, umgekehrt wirken.

In Abbildung 78 sind die aufgenommenen Beschleunigungsverläufe des Pic-Daq zu sehen.

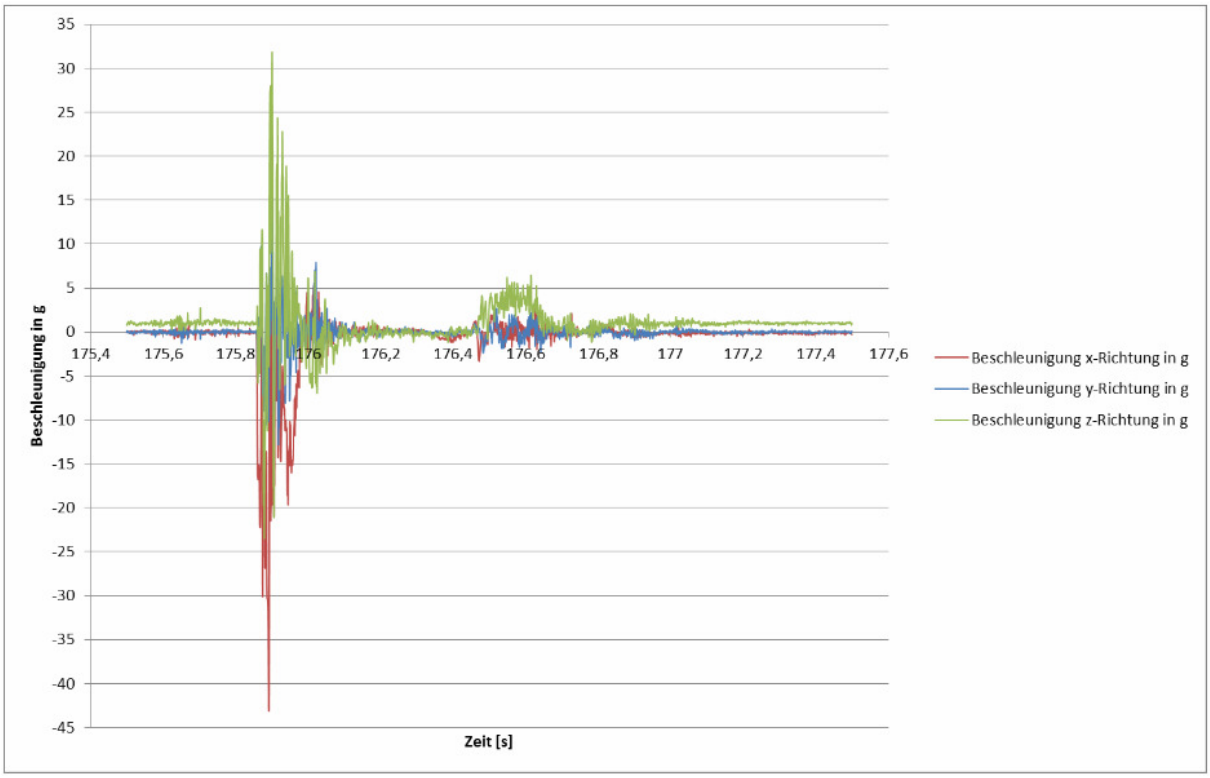


Abbildung 78 Beschleunigungsverläufe Pic-Daq [5]

Die aufgezeichneten Beschleunigungen stimmen in etwa mit denen des UDS überein. Es wurden hier Längsbeschleunigungen von maximal 43 g erzielt. Die Querbeschleunigungen fallen wie die des UDS recht hoch aus. Die teilweise hohen Beschleunigungen in z-Richtung von maximal 32 g können wohl auf eine fehlerhafte Kalibrierung des im Kofferraum außermittig positionierten Gerätes zurückgeführt werden.

Das UDS hat maximale Beschleunigungen von 49 g aufgezeichnet. Die vorhergehenden Berechnungen haben eine konstante Beschleunigung von 18,6 g ergeben. Hier zeigt sich also aufgrund der fast dreimal so hohen gemessenen Beschleunigung, dass diese in der Realität keineswegs konstant ist, sondern durch unterschiedliche Festigkeiten des Fahrzeugs sehr hohe Spitzen erreichen kann. Inwieweit die geschwächte Karosserie und das Fehlen der Türen dabei Einfluss auf die hohen Beschleunigungsspitzen gehabt haben, kann nicht gesagt werden. Eventuell hätte ohne ein Einknicken der Karosserie die Knautschzone des Fahrzeugs besser ausgenutzt und somit zu einer konstanteren Beschleunigung geführt haben.

7.6 Auswertung Beschleunigungssensoren der Dummys

Der Beschleunigungssensor des rechten hinteren Dummys hat keine verwertbaren Ergebnisse geliefert, der des linken jedoch schon. Die mit einem Filter versehenen Beschleunigungsverläufe sind in Abbildung 79 zu sehen.

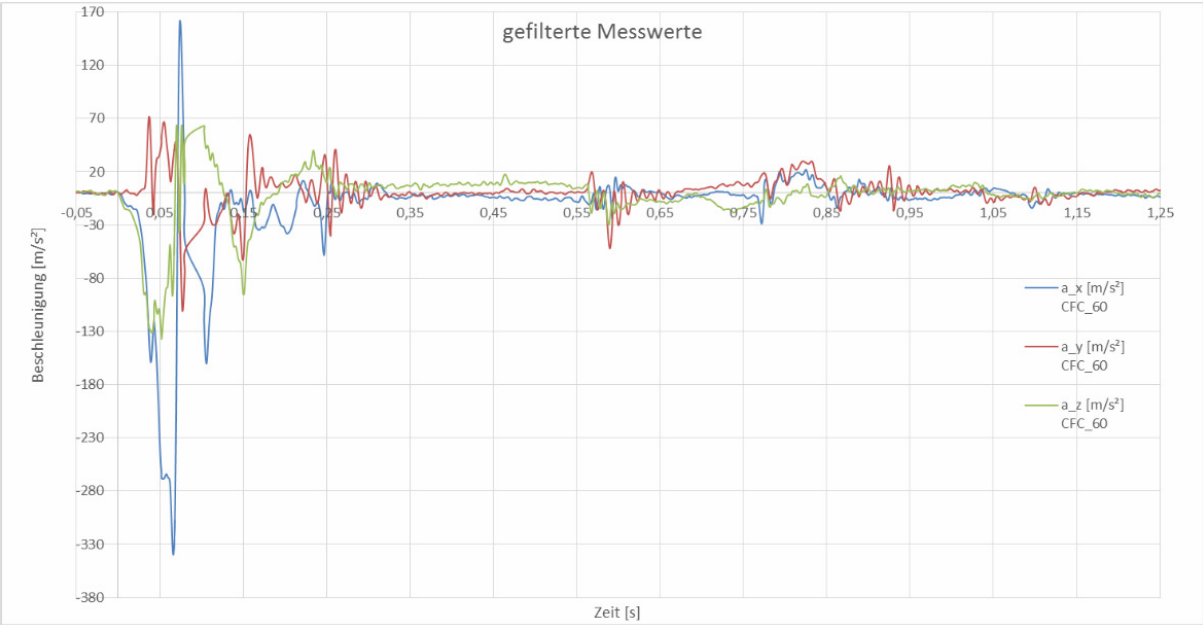


Abbildung 79 Beschleunigungsverläufe Sensor Dummy [5]

Es zeigt sich, dass kurzzeitig eine Beschleunigung von 340 m/s^2, also etwa 34 g im Brustbereich des Dummys aufgetreten ist, welche durch das Aufprallen des Dummys auf das nun arretierte Gurtsystem zurückzuführen ist. 265 m/s^2, also etwa 27 g, wirkten sogar über einen Zeitraum von ungefähr 20 ms. Direkt im Anschluss sind Beschleunigungen in positive x-Richtung mit Werten von etwa 16 g aufgetreten. Somit hat der Dummy in kurzer Zeit eine Beschleunigungsdifferenz von etwa 50 g erfahren. Die Belastungsgrenze der Halswirbelsäule, welche einer Beschleunigung des Thorax in x-Richtung von 30-40 g entspricht, wurde also überschritten. Der Insasse hätte zumindest ein schweres Schleudertrauma erlitten.

Die maximalen Beschleunigungen von 34 g liegen unter denen des Fahrzeugs. Theoretisch hätten sich durch die Gurtlose der Dummys und die somit später einsetzende Teilnahme an der Verzögerung des Fahrzeugs höhere Beschleunigungen ergeben müssen. Die geringere Beschleunigung liegt an der, durch das Auftreffen des Dummys auf den vorderen Sitz, frühzeitiger einsetzenden Geschwindigkeitsänderung. Somit stand, besonders den hinteren Dummys, durch die Nutzung einer inneren Deformationszone ein größerer Deformationsweg zur

Verfügung, anders als in den theoretischen Annahmen. Des Weiteren müssen die Beschleunigungsspitzen des Fahrzeugs nicht auf die Dummys übertragen werden, zum Beispiel wenn die Dummys zu diesem Zeitpunkt noch nicht auf das Rückhaltesystem getroffen sind. Die vorhergehenden Berechnungen im Falle einer großen Gurtlose haben eine Beschleunigung von 44,7g ergeben, welche somit nicht sehr weit von der tatsächlichen Beschleunigung entfernt ist. Auch war die Gurtlose an dem linken hinteren Gurt etwas geringer als die in der Rechnung verwendete, was den rechnerischen und tatsächlichen Wert näher aneinander bringt. Dabei muss allerdings wieder beachtet werden, dass sich aus der Rechnung eine mittlere Verzögerung ergibt.

7.7 Auswertung Gurtkraftaufnehmer

Die Aufnahme der Gurtkräfte hat wie gewünscht bei der Berührung der Stoßstange mit der Wand begonnen. Lediglich der Gurtkraftaufnehmer am Schrägschultergurtanteil des Beifahrers hat keine plausiblen Werte geliefert.

In Abbildung 80 auf der nächsten Seite ist der aufgezeichnete Kraftverlauf eines Gurtkraftaufnehmers zu sehen. Hier wurde exemplarisch der des Beckengurtanteils des Fahrergurtes gewählt. Die aufgenommenen Kräfte der einzelnen Gurtkraftaufnehmer zeigen alle ähnliche Verläufe.

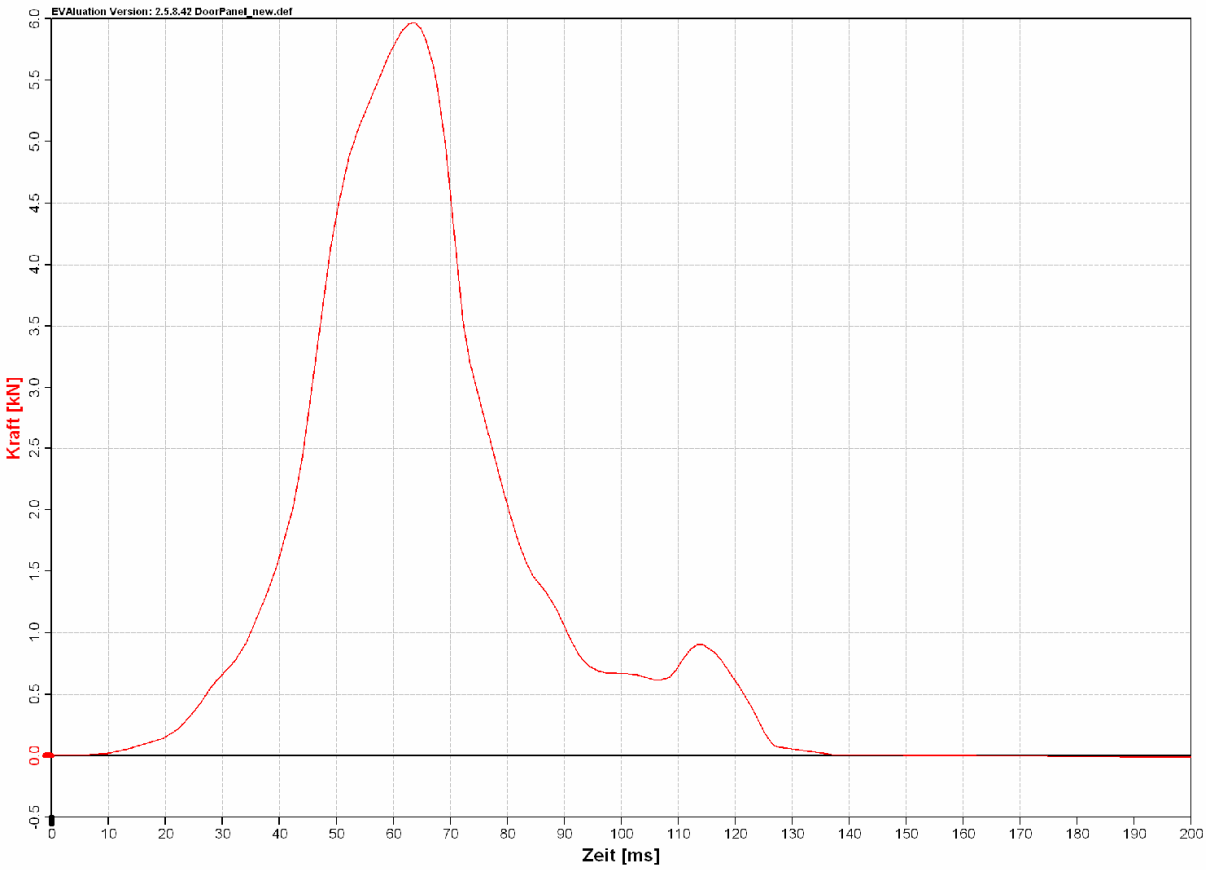


Abbildung 80 Diagramm Beckengurtanteil, vorne links

Es ist eine relativ gleichmäßige Zu- und Abnahme der Kräfte zu erkennen. Kurz unterhalb des Maximums wirkten die Kräfte über 10 ms ein. Auch zeigt sich in den Diagrammen bei etwa einem Drittel unterhalb des maximalen Ausschlags eine Einwirkdauer der Kräfte von 20 ms. Dies stimmt mit den Aufzeichnungen des Beschleunigungssensors des linken hinteren Dummys überein, in denen auch etwas unterhalb des maximalen Ausschlags der Beschleunigung in x-Richtung eine Einwirkdauer von 20 ms zu erkennen ist.

7.7.1 Vergleich der maximalen Gurtkräfte

Die maximal aufgenommenen Kräfte mit Angabe des Zeitpunkts des Auftretens der jeweiligen Gurtkraftaufnehmer sind in Abbildung 81 dargestellt.

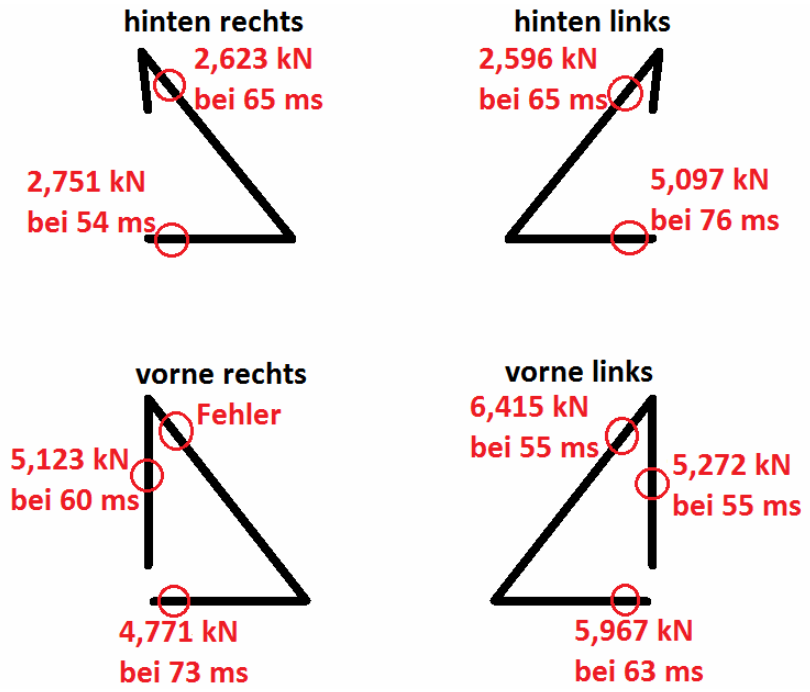


Abbildung 81 Maximale Gurtkräfte

Vergleicht man Fahrer- und Beifahrergurt, ist bei dem Gurtsystem des Beifahrers eine spätere Krafteinleitung zu erkennen, was an der größeren Gurtlose dessen liegt. Auch fielen die Beckengurtkräfte hier um etwa 1,2 kN geringer aus, was zum einen an dem um 5 kg leichteren Dummy und zum anderen daran liegt, dass durch die späte Rückhaltung mehr Kraft an das Armaturenbrett abgegeben wurde. Die Kraft im Schrägschultergurtanteil kann nur geschätzt werden. Diese muss höher sein als in dem Gurtanteil zwischen Retraktor und Umlenkpunkt, denn durch die auftretende Reibung zwischen Gurtband und Kunststoffbeschichtung am Umlenkpunkt wird nicht die gesamte Kraft bis zum Retraktor geleitet.

Vergleicht man die hinteren Gurtsysteme, fällt sofort die deutlich geringere aufgetretene Kraft im Beckengurtanteil des rechten Gurtes auf, welche auch hier auf die größere Gurtlose am rechten Gurt zurückzuführen ist. Die unteren Extremitäten des Dummys drückten deutlich stärker gegen den vorderen Sitz. Die maximale Kraft trat hier im Beckengurtanteil des rechten Gurtes zwar früher auf, was erst einmal gegen eine größere Gurtlose spricht, allerdings trat in dem Beckengurtanteil des linken Gurtes zum selben Zeitpunkt schon eine gleich große Kraft auf. Warum die Gurtkräfte der beiden hinteren Gurte zum gleichen Zeitpunkt, und nicht rechts durch die größere Gurtlose später auftreten, kann nicht beurteilt werden. Eventuell wurde der rechte Dummy durch eine unterschiedliche Fahrzeugverformung etwas früher beschleunigt, denn an den Schwellern sind verschiedene Verformungsverhalten aufgetreten. Diese Annah-

me bestätigt sich auch durch die vom UDS, Pic-Daq und Beschleunigungssensor des hinteren linken Dummys aufgezeichneten Querbeschleunigungen.

Die deutlich geringeren Kräfte am Schrägschultergurtanteil der hinteren Gurte, im Gegensatz zu denen der vorderen, sind darauf zurückzuführen, dass ein größerer Deformationsweg des Fahrzeugs genutzt und somit mehr Energie abgebaut werden konnte. Des Weiteren wurde ein Ansteigen der Kräfte durch das sich hebende und mit der Bewegung der Dummys mitgehende Heck, also auch der oberen Umlenkpunkte, verhindert (vgl. Abbildung 82). Die Unfallkräfte wurden so weiter durch die sich verformende Karosserie abgebaut.

Abbildung 82 Angehobenes Heck

Die vorne und hinten später auftretenden Kräfte in den Beckengurtanteilen können dadurch begründet werden, dass die Dummys in diesem Bereich erst die Haftreibung zwischen sich und der Sitzfläche überwinden mussten.

7.7.2 Auf Gurtsystem und Verankerungspunkte wirkende Kräfte

Addiert man die Kräfte der drei Abschnitte eines Gurtsystems, erhält man die durch die Beschleunigung des Dummys auftretende Rückhaltekraft des Gurtsystems, sofern der Dummy nicht von anderen Fahrzeugteilen oder Strukturen abgestützt wird. Auch müssten dann die maximal wirkenden Kräfte gleichzeitig in den Gurtabschnitten auftreten. Würde keine Reibung am Gurtband durch Dummy und Umlenkpunkte existieren, müssten die Kräfte in jedem Abschnitt des Gurtbands pro Gurtsystem gleich sein. Dann würden sich die addierten Kräfte der drei Gurtabschnitte gleichmäßig auf die vier Verankerungspunkte verteilen.

Die Ergebnisse zeigen, das die Reibung einen großen Einfluss auf die Verteilung der Gurtkräfte hat. Auch treten die maximal wirkenden Kräfte nicht gleichzeitig auf, besitzen jedoch nur Zeitabstände von maximal 10 ms. Dadurch, dass diese Kräfte zwar nicht im Maximum, aber kurz darunter, über einen Zeitraum von etwa 10 ms wirken, kann zur Vereinfachung ein gleichzeitiges Auftreten angenommen werden. Addiert man nun also die maximal wirkenden Kräfte pro Gurtsystem, erhält man die auf dieses wirkende Kraft. Die Gurtkraftanteile zwischen Retraktor und Umlenkpunkt der hinteren Gurte und der des Schrägschultergurtanteils des Beifahrers müssen nun geschätzt werden. Dazu werden die Werte des Fahrergurtes als Grundlage genommen. Dort ist die Kraft im Schrägschultergurtverlauf um etwa 18% höher als zwischen Retraktor und Umlenkpunkt. Die danach errechneten Werte und die der gesamten Gurtkräfte pro Gurt sind in Abbildung 83 dargestellt.

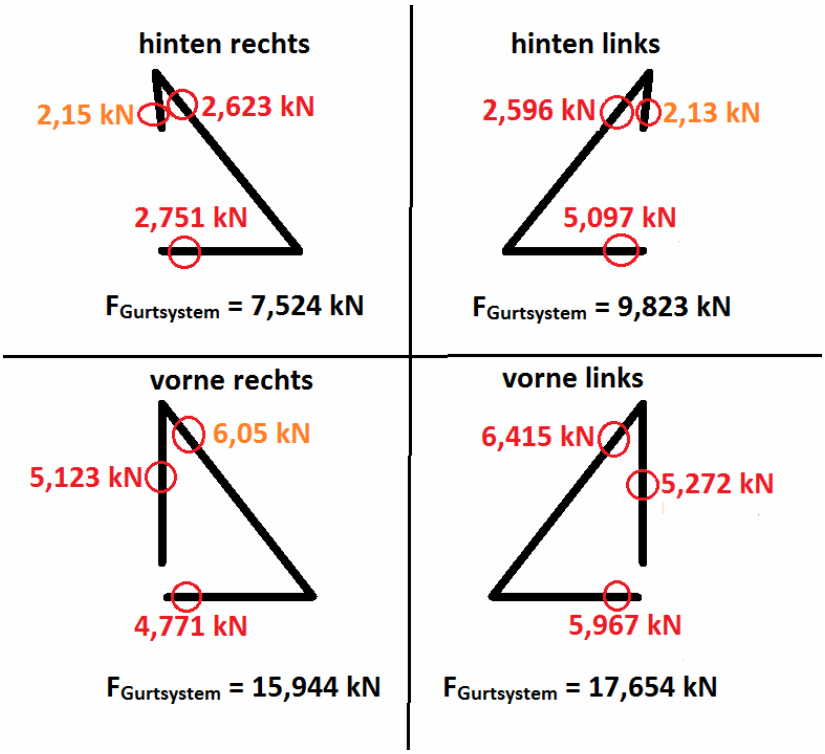


Abbildung 83 Gurtsystemkräfte

Die Ergebnisse zeigen, dass die realen Kräfte weit entfernt von den vorher auf Grundlage der Fahrzeugverformung und Gurtlose errechneten Werte sind. Einzig die entstandenen Kräfte auf das Gurtsystem des Fahrers kommen der errechneten Kraft von 19 kN recht nahe. Die für die anderen Gurtsysteme, an denen große Gurtlosen aufgetreten sind, errechneten Kräfte von 34 kN liegen aufgrund der Kraftabgabe der Dummys auf Vordersitze und Armaturenbrett und nicht konstant verlaufende Beschleunigungen, weit ab der Realität. Die ungefähr doppelt so

hohen Kräfte an den vorderen Gurtsystemen können auf die, durch die Schwellerverformung sich nach vorne neigenden Sitze und die Krafteinwirkung der hinteren Dummys auf diese zurückgeführt werden. Auch die Nutzung eines etwas größeren Deformationswegs des Fahrzeugs trägt hinten zu geringeren Kräften bei.

Die am linken hinteren Dummy gemessene Beschleunigung von 35g ergibt bei einer Masse des Dummys von 77,5 kg eine auf das Gurtsystem wirkende Kraft von 26,6 kN. An diesem Gurtsystem wurde jedoch nur eine Kraft von 9,823 kN ermittelt, somit wurde eine Kraft von knapp 17 kN an den Fahrersitz abgegeben, was einer Belastung von in etwa 1,7 t entspricht. Bei dieser stark vereinfachten Annahme werden allerdings Dinge, wie der Messort der Beschleunigung am Dummy oder die Reibung zwischen Dummy und Sitzfläche, vernachlässigt. Der Sitz, dessen Sitzgestell auf die Befestigung eines Gurtschlosses ausgelegt ist, hat dieser Kraft standgehalten. Wäre der Sitz nicht auf die Kraftabgabe des Gurtschlosses ausgelegt oder dieses am Sitz befestigt gewesen, hätte er der Belastung wahrscheinlich nicht standhalten können.

Um eine Einschätzung der auf die einzelnen Verankerungspunkte wirkenden Kräfte zu erlangen, müssen die Umlenkpunkte als feste Verbindung der einzelnen Gurtabschnitte mit den Verankerungspunkten angenommen werden. So wäre auch die Kraftaufteilung bei einem Dreipunkt-Statikgurt der Fall wäre, nur das hier noch der Gurtabschnitt und Verankerungspunkt des Retraktors hinzukommt. Dann würden sich jeweils die frei geschnittenen Kräfte aus einem Gurtabschnitt auf zwei Verankerungspunkte verteilen. Die so ermittelten Kräfte auf die Verankerungspunkte sind in Abbildung 84 dargestellt.

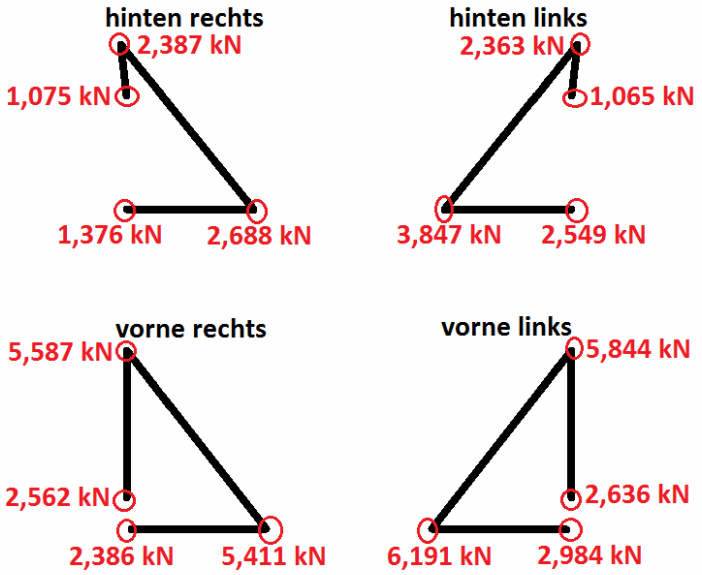


Abbildung 84 Kräfte auf Verankerungspunkte

Es ist zu erkennen, dass die Verankerungspunkte der Gurtschlösser und der oberen Umlenkpunkte am höchsten belastet wurden. Bei einem Wegfall des oberen Umlenkpunktes, wie es oft auf den hinteren Sitzplätzen und bei Cabriolets der Fall ist, würde der Verankerungspunkt des Gurtschlosses und der obere Verankerungspunkt noch höher, um die normalerweise vom Verankerungspunkt des Retraktors aufgenommene Kraft, belastet werden.
Aus den Prüfbedingungen der ECE-R14 für Sicherheitsgurt-Verankerungen geht eine gleichzeitige statische Belastung von jeweils 13,5 kN des Becken- und Schrägschultergurtanteils hervor. Teilt man also die Gurtkräfte wieder, unter denselben Annahmen wie oben, auf die Verankerungspunkte auf, ergeben sich die in Abbildung 85 dargestellten Werte. Hier wird der Umlenkpunkt weggelassen, um die Kräfte besser aufteilen zu können.

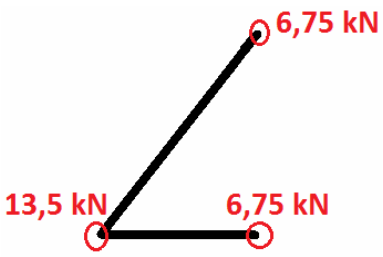


Abbildung 85 Kräfte bei ECE-Prüfung

Es ist zu erkennen, dass der Verankerungspunkt des Gurtschlosses doppelt so hohe Kräfte wie die anderen Verankerungspunkte aufnehmen muss. Durch das, im Gegensatz zu diesen vereinfachten Annahmen, in der Realität durchgehende Gurtband, würden sich die Kräfte wahrscheinlich besser aufteilen. Es kann aber behauptet werden, dass ein Verankerungspunkt maximal mit einer Kraft von 13,5 kN während der Prüfung nach ECE-R14 belastet werden kann. Während des Crashversuchs wurden diese 13,5 kN nicht annähernd erreicht, Werte über 6 kN wurden jedoch erzielt.

7.8 Betrachtung der Verankerungspunkte

Alle nachgerüsteten und originalen Verankerungspunkte haben den Belastungen problemlos standgehalten. Die verschweißten Gestaltungsvarianten 2 und 5 wiesen nicht einmal Verformungen auf.

Die Gestaltungsvariante 2 (vgl. Abbildung 86), bei der das Verstärkungsblech aufgesetzt und mit der Karosserie verschweißt wird, hatte bei den von Remon Hirsekorn durchgeführten

Zugversuchen unter großen Belastungswinkeln die geringste Kraftaufnahmefähigkeit aller Gestaltungsvarianten gezeigt. Dies lag wahrscheinlich an einer mangelhaften Punktverschweißung. Um eine ausreichende Kraftaufnahmefähigkeit mit einer in diesem Versuch nun umlaufend ausgeführten Schweißnaht zu verifizieren, gilt zwei Verankerungspunkten die größte Aufmerksamkeit, zum einen dem unteren Verankerungspunkt des linken hinteren Gurts, bei welchem ein Belastungswinkel von fast 90° zum Verstärkungsblech auftrat und zum anderen dem des Fahrergurtschlosses, welcher am höchsten belastet wurde. Die hier erreichten Kräfte von 2,55 und 6,2 kN liegen allerdings noch unter den 8,72 kN, bei denen die Zugprobe versagt hatte. Dennoch kann, aufgrund der nicht aufgetretenen Verformungen oder Risse, von einer der ECE-R14 entsprechenden maximalen Kraftaufnahmefähigkeit von 13,5 kN ausgegangen werden. Alle Verankerungspunkte, bei denen die Gestaltungsvariante 2 angewendet wurde, zeigten nach dem Crash keinerlei optisch feststellbare Veränderungen.

Abbildung 86 Gestaltungsvariante 2 nach Crashversuch

Auch Gestaltungsvariante 5 (vgl. Abbildung 87), welche oben an der B-Säule angewendet wurde, hat keine Veränderungen nach dem Crash gezeigt. Die aufgetretene Kraft lag allerdings mit 5,84 kN auch weit unter der geringsten gemessenen Belastbarkeit von 21 kN in den Zugversuchen.

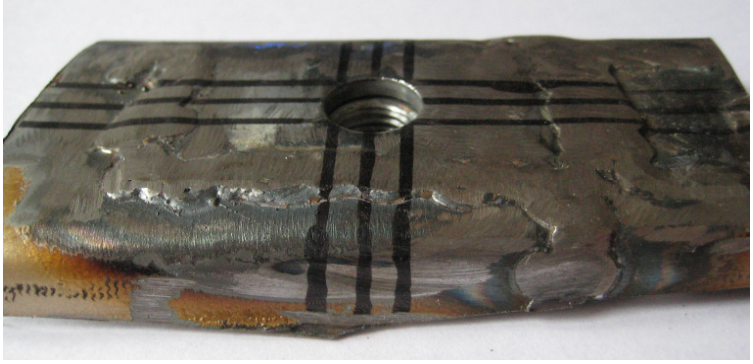


Abbildung 87 Gestaltungsvariante 5 nach Crashversuch

Bei dieser Variante besteht jedoch ein hohes Risiko einer fehlerhaft ausgeführten Schweißverbindung aufgrund des komplizierten Stumpfstoßes bei unterschiedlichen Blechdicken. Hier wurde allerdings eine sehr gute Schweißnahtqualität erzielt, wie in Abbildung 88 zu sehen, welche den nachgerüsteten und originalen Verankerungspunkt von hinten zeigt.

Abbildung 88 Verankerungspunkte B-Säule, innen

Der Verankerungspunkt des linken hinteren Gurtschlosses, an dem die Gestaltungsvariante 4 angewendet wurde, zeigt Verformungen an Karosserie- und Verstärkungsblech auf (vgl Abbildung 89).

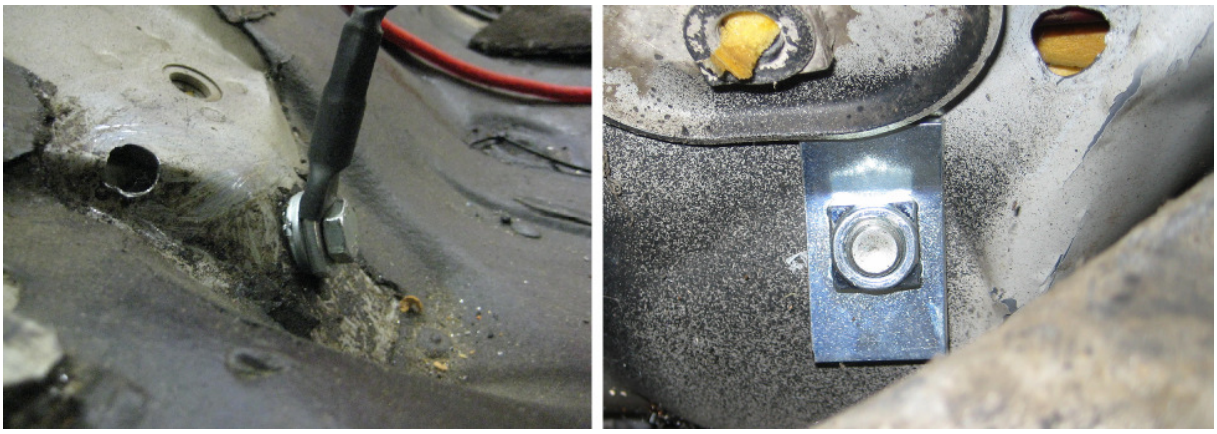


Abbildung 89 Verankerungspunkt Gurtschloss hinten links nach Crashversuch

Auch der originale hinten rechts hat sich verformt, was auf die relativ großflächige und ebene Karosserieform im Bereich der Verankerungspunkte zurückzuführen ist. An dem nachgerüsteten Verankerungspunkt ist nur eine maximale Kraft von 3,85 kN aufgetreten, er hätte aber mit

sehr hoher Wahrscheinlichkeit noch deutlich größere Kräfte aufnehmen können. In den von Hirsekorn durchgeführten Zugversuchen haben die sich nur durch verschiedene Größen der Verstärkungsbleche unterscheidenden Gestaltungsvarianten 3 und 4, die geringste Kraftaufnahmefähigkeit unter kleinen Belastungswinkeln aufgrund des Einreißens des Karosserieblechs, durch die auf dieses drückende Schraube, gezeigt. Diese Werte lagen bei etwa 15 kN, was somit ausreichend ist, um eine Kraftaufnahmefähigkeit von 13,5 kN, wie sie bei der ECE-Prüfung am Verankerungspunkt des Gurtschlosses auftreten kann, gewährleisten zu können. Auch unter der hier aufgetretenen dynamischen Belastung sollten diese Werte erreicht werden können. Allerdings hatten die in den Zugversuchen verwendeten Verstärkungsbleche andere Abmessungen. Diese waren bei der Gestaltungsvariante 4 kaum größer, allerdings besaßen sie eine Stärke von 4 mm und waren somit 1 mm dicker als die hier verwendeten. Dies ist entscheidend, denn verformen sich die Bleche, wie hier geschehen, steht eine kleinere Fläche zur Krafteinleitung in das Karosserieblech zur Verfügung, was die Gefahr des Einreißens dessen erhöht. Somit sollten an den recht hoch belasteten Verankerungspunkten der Gurtschlösser größere und stärkere Verstärkungsbleche verwendet, oder besonders bei kleinen Belastungswinkeln auf eine verschweißte Gestaltungsvariante zurückgegriffen werden.

An dem Verankerungspunkt des Retraktors des linken hinteren Gurtsystems, welcher auch unter Verwendung von Gestaltungsvariante 4 realisiert wurde, zeigen sich Verformungen der Hutablage (Abbildung 90).

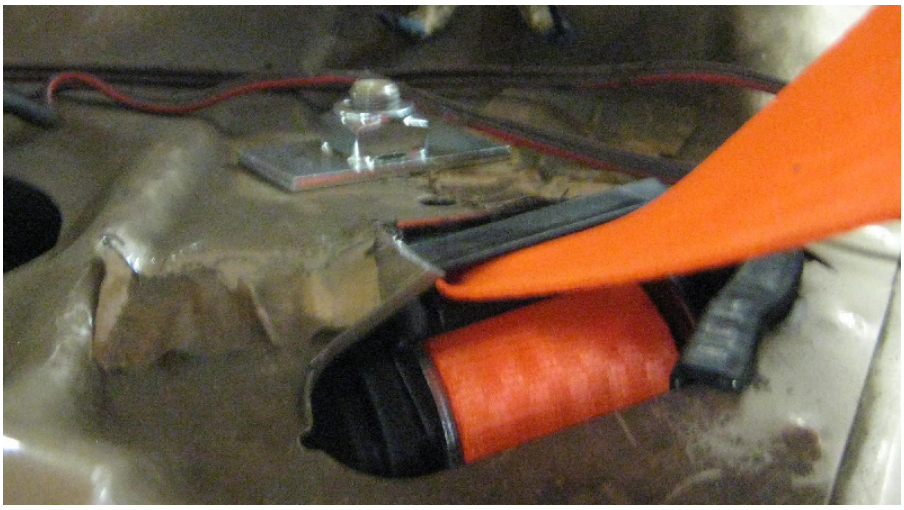


Abbildung 90 Verankerungspunkt Retraktor hinten links

Hier hat nur eine Kraft von etwa 1 kN gewirkt, es hätte aber mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit eine deutlich höhere Kraft aufgenommen werden können. Unter Verwendung eines obe-

ren Umlenkpunktes wird der Verankerungspunkt des Retraktors nicht besonders hoch belastet. Fällt dieser aber weg, wirken deutlich höhere Kräfte und das meist unter einem kleinen Belastungswinkel, weshalb dann auf eine verschweißte Gestaltungsvariante zurückgegriffen werden sollte.

7.9 Betrachtung der Gurtsysteme

Die Gurtsysteme haben wie erwartet den Belastungen standgehalten. Sie haben allerdings deutliche Unterschiede in ihrer Funktion gezeigt. An den originalen Gurtsystemen sind deutlich größere Gurtlosen, besonders bei dem Gurt des Beifahrers, als an den Nachrüstgurten aufgetreten. Um den Grund dafür ermitteln zu können, müssen die Gurtsysteme näher betrachtet werden. Eventuell unterliegen die laut Gurtlabel 1985 produzierten und somit 31 Jahre alten Gurtsysteme einer alterungsbedingten Funktionseinschränkung.

Zunächst wurde der Retraktor eines Originalgurtes demontiert und der Verriegelungsmechanismus betrachtet. An diesem war keine Funktionseinschränkung durch zum Beispiel Verschleiß, Korrosion oder verhärtete Schmierstoffe festzustellen (vgl. Abbildung 91). Alle Komponenten des Mechanismus sind korrosionsgeschützt oder korrosionsbeständig und es wurden keine Schmierstoffe verwendet.

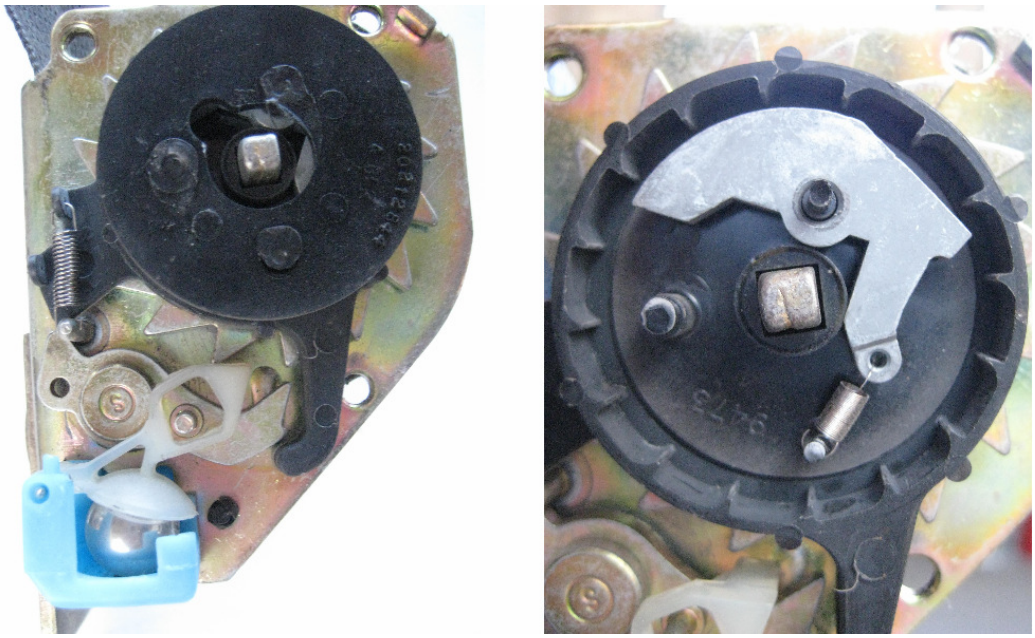


Abbildung 91 Verriegelungsmechanismus Originalgurt

Auch der Verriegelungsmechanismus der Nachrüstgurte ist korrosionsgeschützt und schmierstofffrei ausgeführt (vgl. Abbildung 92).

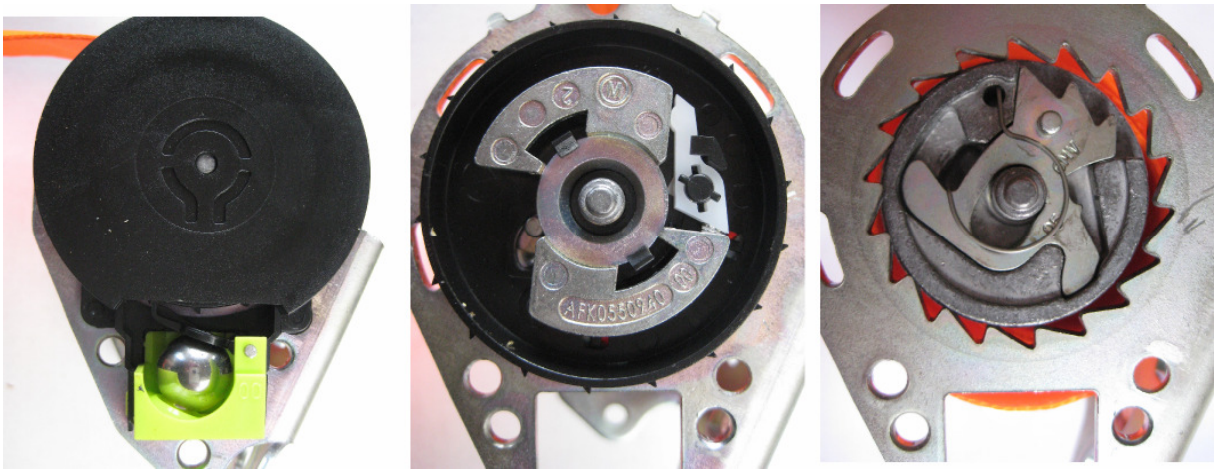


Abbildung 92 Verriegelungsmechanismus Nachrüstgurt

Die Original- und Nachrüstgurte besitzen zwar unterschiedlich aufgebaute Verriegelungsmechanismen, deutlich unterschiedliche konstruktionsbedingte Verriegelungszeiten können jedoch nicht auftreten. Eine Funktionseinschränkung durch den Verriegelungsmechanismus kann somit ausgeschlossen werden.

Es muss also ein stärker ausgeprägter Filmspuleneffekt an den Originalgurten für die größeren Gurtlosen verantwortlich gewesen sein. Schon beim kräftigen Ziehen per Hand an den verriegelten Gurten ist ein deutlich größeres Nachgeben der Originalgurte festzustellen. Auch rollen sich diese kaum von alleine komplett auf, was ein loses Aufrollen des Gurtbands auf die Wickelspule hervorruft. Sucht man die Ursachen dafür am Retraktor, kann eine schwergängige Lagerung der Wickelspule ausgeschlossen werden, denn die aus ungeschmierten Kunststoffbuchsen bestehenden Lagerungen sind freigängig und befinden sich in einem guten Zustand. Jedoch verliert die Bandfeder (vgl. Abbildung 93), welche die Kraft zum Aufrollen des Gurtbands bereitstellt, mit der Zeit an Federkraft. Zusätzlich ist diese mit Schmierfett versehen, welches trotz niedriger Viskosität im Laufe der Zeit verharzen und dadurch ein Aufrollen des Federbands erschweren kann.

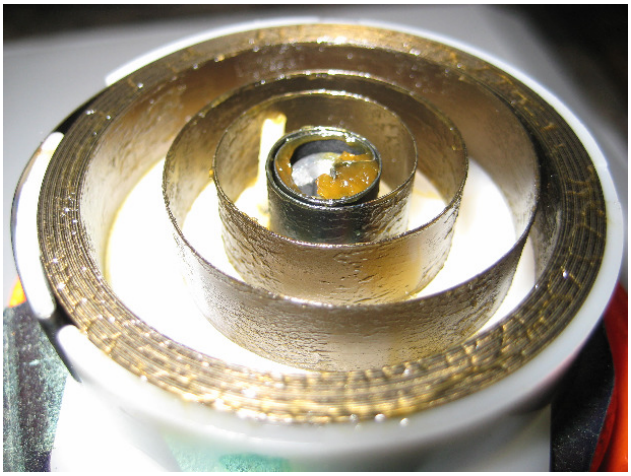


Abbildung 93 Bandfeder Retraktor

Bei genauerer Betrachtung der Gurtbänder fällt bei diesen sofort eine deutlich höhere Flexibilität an den Nachrüstgurten auf. Dies ist auf ein Herausdiffundieren der den aus Polyamid- oder Polyesterfasern bestehenden Gurtbändern beigesetzten Additive, auch Weichmacher genannt, zurückzuführen. Die Verringerung der Additive, welche unter anderem für Flexibilität bei Kunststoffen sorgen, im Material der originalen Gurtbänder ist nach etwa 30 Jahren soweit fortgeschritten, dass die Verhärtung dieser ein enges Aufrollen auf die Wickelspule durch die ohnehin schon geschwächte Bandfeder verhindert.
Vergleicht man die Gurtbänder visuell, ist die Verwendung von feineren Fasern bei den Gurtbändern der Nachrüstgurte zu erkennen, wie in Abbildung 94 zu sehen. Auch dadurch besitzen die Gurtbänder der Nachrüstgurte eine höhere Flexibilität, was ein engeres Aufrollen dieser ermöglicht.

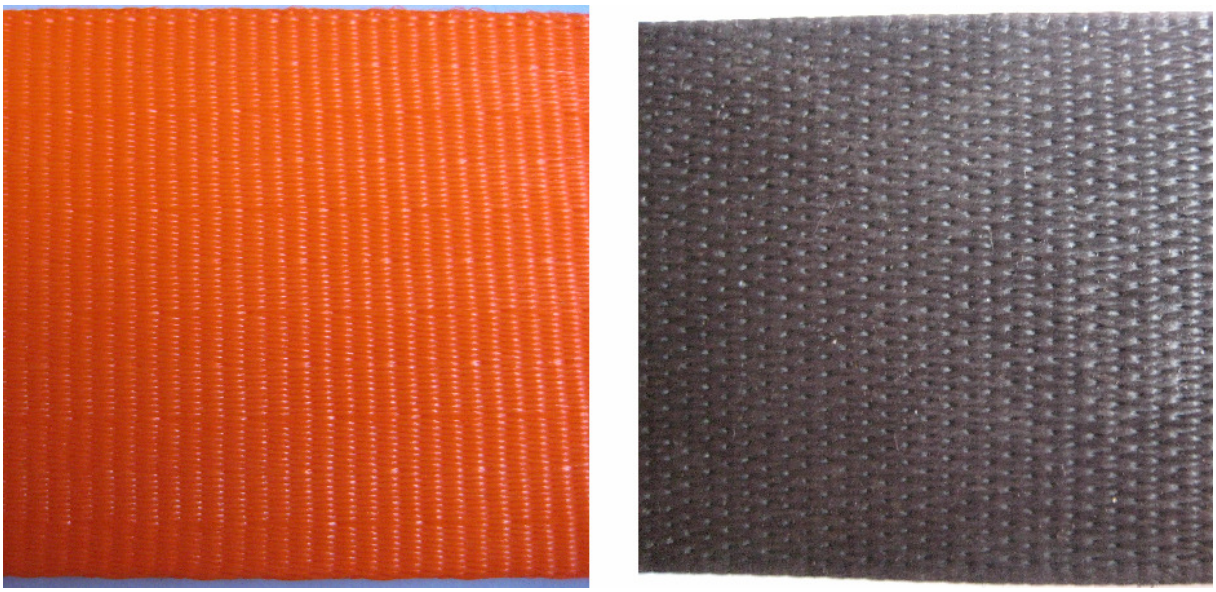


Abbildung 94 Gurtband Nachrüst- und Originalgurt

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Nachrüstung der Verankerungspunkte und Gurtsysteme mithilfe des von Remon Hirsekorn erstellten Konzeptes erfolgte problemlos. Durch die Berücksichtigung der aktuellen ECE-R 14 können Verletzungen durch eine falsche Gurtbandführung, wie es bei frühen Gurtsystemen oft der Fall war, verhindert werden. Auch die modernen Nachrüstgurtsysteme leiden nicht mehr unter den Schwächen früherer Systeme, wie zum Beispiel einer zu geringen Elastizität der Gurtbänder. Die Gurtnachrüstung erfolgt also unter Berücksichtigung des aktuellen Stands von Forschung und Technik.

Durch die starke Deformation des Versuchsfahrzeugs und die großen Gurtlosen wurde nicht die gesamte durch die Beschleunigung der Dummys erzeugte Kraft in die Gurtsysteme eingeleitet. Die vorderen Dummys haben sich gegen das ihnen entgegenkommende Armaturenbrett und die hinteren Dummys mit ihren unteren Extremitäten gegen die vorderen Sitze gedrückt. Wie groß die Verletzungen der Insassen gewesen wären, kann aufgrund fehlender Sensoren an den Dummys nicht genau beurteilt werden. Zumindest wäre wohl keiner der Insassen aufgrund des Auftreffens der Dummys auf die Fahrzeugteile und die hohen wirkenden Beschleunigungen unverletzt geblieben. Der Beschleunigungssensor des hinteren linken Dummys hat in kurzer Zeit eine Beschleunigungsdifferenz von etwa 50 g aufgezeichnet, was ein Überschreiten der Belastungsgrenze der Halswirbelsäule bedeutet. Der Insasse hätte zumindest ein schweres Schleudertrauma erlitten. Hätte das Fahrzeug keine Sicherheitslenksäule besessen, wie es bei vielen klassischen Fahrzeugen der Fall ist, hätte sich die Lenksäule in die Brust des Fahrers gebohrt.

Die Gurtlosen an den originalen Gurtsystemen, besonders an dem des Beifahrers, fielen zu groß aus. Die an dem nachgerüsteten Gurtsystem des Fahrers aufgetretene Gurtlose fiel mit einem Wert von etwa 14 cm normal aus. Die großen Gurtlosen auf beiden hinteren Sitzplätzen sind auf die Formgebung der hinteren Dummys zurückzuführen. Die Betrachtung der Gurtsysteme hat Aufschluss über die großen Gurtlosen der originalen Gurtsysteme gegeben. Die geschwächten Bandfedern der Aufrollmechanismen und die korrodierten Gurtbänder verhinderten ein enges Aufrollen auf die Wickelspule, wodurch ein großer Filmspuleneffekt entstand. Die originalen Gurtsysteme unterlagen somit einer alterungsbedingten Funktionseinschränkung, jedoch nicht durch den Verriegelungsmechanismus, sondern durch den Aufrollmechanismus und das Gurtband. Des Weiteren weisen die Gurtbänder der Nachrüstgurte eine feinere Struktur auf, was zu einer höheren Flexibilität führt und somit ein engeres Aufrollen

ermöglicht. Ist also bei Automatik-Gurtsystemen ein erschwertes Aufrollen des Gurtbands zu beobachten, wie es bei vielen älteren Gurtsystemen der Fall ist, und keine Gurtstraffer vorhanden, sollte über einen Austausch mit neuen Gurtsystemen nachgedacht werden. Nur so kann sich auf eine einwandfreie Funktion der Sicherheitsgurte verlassen werden.

Alle Verankerungspunkte haben den auf sie wirkenden Kräften problemlos standgehalten. Diese Kräfte fielen zwar besonders an den hinteren Gurtsystemen nicht so hoch wie erwartet aus, vorne kamen sie jedoch zumindest an die zuvor berechneten Werte recht nah heran. Auf das Gurtsystem des Fahrers wirkte eine Kraft von knapp 18 kN, was einer Belastung mit etwa 1,8 t entspricht. Alle verschweißten Gestaltungsvarianten haben keinerlei Verformungen gezeigt. Durch den schnellen Kraftanstieg bei dynamischer Belastung steigt durch die hohe Energieaufnahme die Temperatur an den Schweißnähten, was zu Sprödbrüchen führen kann. Auch diese sind nicht aufgetreten und es haben sich keine Risse gebildet. Die nun mit einer umlaufenden Schweißnaht versehene Gestaltungsvariante 2, welche in den Zugversuchen eine zu geringe Kraftaufnahmefähigkeit gezeigt hat, hat sich auch als sehr stabil erwiesen. Es kann also davon ausgegangen werden, dass alle verschweißten Gestaltungsvarianten, also 1, 2 und 5, ausreichende Kraftaufnahmefähigkeiten besitzen. Dafür ist allerdings besonders bei Gestaltungsvariante 5 eine saubere Ausführung der Schweißnaht notwendig. Bei der Verwendung von Gestaltungsvariante 4 sollten größere Verstärkungsbleche verwendet werden, was dann Gestaltungsvariante 3 entspricht. Besonders wichtig ist hierbei eine Stärke des Verstärkungsblechs von mindestens 4 mm, um eine Verformung dessen zu verringern. Es werden im Fachhandel erhältliche Verstärkungsbleche mit den Abmessungen 55x55x4 mm empfohlen. Bei kleinen Belastungswinkeln und hohen Belastungen, wie sie am Verankerungspunkt des Gurtschlosses oder des Retraktors beim Wegfall des oberen Umlenkpunktes auftreten können, sollte auf eine verschweißte Gestaltungsvariante zurückgegriffen werden.

Werden Sicherheitsgurte nach dem Konzept von Hirsekorn und unter Beachtung der in dieser Arbeit gegebenen Hinweise nachgerüstet, stehen diese originalen Gurtsystemen in nichts nach oder übertreffen deren Funktionalität sogar. Ein Nachgeben der nachgerüsteten Verankerungspunkte muss auch bei hoher Unfallschwere nicht befürchtet werden.

9 Literaturverzeichnis

[1] Hirsekorn, R.: Bachelorarbeit - Integration von Rückhaltesystemen in historische Fahrzeuge. HTW Berlin 2012.

[2] Kramer, F.: Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen – Biomechanik – Simulation – Sicherheit im Entwicklungsprozess, 3. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2009, ISBN 978-3-8348-0536-2.

[3] Burg, H. / Moser, A.: Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion - Unfallaufnahme - Fahrdynamik - Simulation, 1. Auflage, Vieweg Verlag, Wießbaden 2007, ISBN 978-3-8348-0172-2.

[4] Gulf Coast Data Concepts, LLC: Beschleunigungssensor. URL: http://www.gcdataconcepts.com/images/x250-1_view_1.jpg [letzter Zugriff: 10.02.2016]

[5] UDS-Team des Projekts Sicherheit, Masterstudiengang Fahrzeugtechnik der HTW-Berlin, Wintersemester 15/16.

[6] Transport-Team des Projekts Sicherheit, Masterstudiengang Fahrzeugtechnik der HTW-Berlin, Wintersemester 15/16.

[7] Gesamantverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V.: Kinematikmodell Mensch-Autositz: URL: http://udv.de/sites/default/files/media/Sitzpos_Kl_Insassen_h_k_but_0.jpg [letzter Zugriff am 04.02.2016]

[8] ECE-R-14-07: „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Sicherheitsgurtverankerungen“, der ISOFIX-Verankerungssysteme und der Verankerungen für den oberen ISOFIX Haltegurt, Tag des Inkrafttretens: 19.08. 2010.

[9] Fahrenwald,t H. J. / Schuler, V. / Twrdek, J.: Praxiswissen Schweißtechnik - Werkstoffe.-.Prozesse.-.Fertigung. 5. Auflage, Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden 2014, ISBN 978-3-658-03140-4.

[10] Kamera-Team des Projekts Sicherheit, Masterstudiengang Fahrzeugtechnik der HTW-Berlin, Wintersemester 15/16.

[11] Dokumentations-Team des Projekts Sicherheit, Masterstudiengang Fahrzeugtechnik der HTW-Berlin, Wintersemester 15/16.

[12] Institut für Land- und Seeverkehr (ILS) der TU Berlin – Fachgebiet Kraftfahrzeuge: Crash-Anlage. URL: https://www.kfz.tu-berlin.de/menue/ausstattung/crash_anlage/ [letzter Zugriff: 11.03.2016]

[13] Burg, H. / Moser, A.: Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion - Unfallaufnahme - Fahrdynamik – Simulation. 1. Auflage, Vieweg Verlag, Wießbaden 2007, ISBN 978-3-8348-0172-2.

[14] Steiner, K.: Neue Insassenschutsysteme beim Frontalaufprall im Bereich der unteren Extremitäten. Dissertationsschrift, TU Graz 2001.

[15] Fotos von Benjamin Beelitz.

[16] ECE-R-16-06: „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von: I. Sicherheitsgurten, Rückhaltesystemen, Kinderrückhaltesystemen und ISOFIX-Kinderrückhaltesystemen für Kraftfahrzeuginsassen, II. Fahrzeugen mit Sicherheitsgurten, Sicherheitsgurt-Warneinrichtungen, Rückhaltesystemen, Kinderrückhaltesystemen und ISOFIX-Kinderrückhaltesystemen sowie i-Size-Kinderrückhaltesystemen,
Tag des Inkrafttretens: 10.06.2014.

[17] Juristisches Portal „Jura-Magazin.de“: Sicherheitsgurte. URL: http://www.juramagazin.de/sicherheitsgurte.html [letzter Zugriff am21.02.2016]

[18] JURIS-„Das Rechtsportal“: StVO § 21a Sicherheitsgurte, Schutzhelme. URL: http://www.juris.de/purl/gesetze/StVO_!_21a [letzter Zugriff am 21.02.2016]

[19] Straßenverkehrs-Ordnung (StVO): C.H. Beck-Verlag, 11. Auflage, 2009.

[20] Volkswagen AG: PKW-Sicherheit in Forschung und Serie. Wolfsburg 1986.

[21] Association for the Advancement of Automotive Medicine: The Abbreviated Injury Scale-AIS 2005. Association for the Advancement of Automotive Medicine, Des Plaine, IL (USA), 2005.

[22] Vermessungs-Team des Projekts Sicherheit, Masterstudiengang Fahrzeugtechnik der HTW-Berlin, Wintersemester 15/16.

10 Anhang

10.1 Abkürzungsverzeichnis

ABS	Antilock Braking System („Antiblockiersystem“)
ECE	Economic Commission for Europe
ESP	Electronic Stability Program (“Elektronisches Stabilitätsprogramm”)
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standard
KFZ	Kraftfahrzeug
Kg	Kilogramm
kN	Kilonewton
N	Newton
Ms	Millisekunde
PKW	Personenkraftwagen
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung
T	Tonnen

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Fahrzeug- und Insassenbeschleunigungen ohne Gurt (links), mit Gurt (rechts) [2, S. 169] ... 3
Abbildung 2 Gurtsystem-Arten [22] ... 4
Abbildung 3 Dreipunkt-Automatik-Gurt [2, S. 176] ... 4
Abbildung 4 Testkonfiguration nach Euro-NCAP [2, S. 312] ... 13
Abbildung 5 Opel Ascona C auf Transportanhänger [11] ... 15
Abbildung 6 Gurtsystem und Gurtkennzeichnung vorne ... 17
Abbildung 7 Verankerungspunkt von Retraktor und unterem Gurtpunkt ... 18
Abbildung 8 Oberer Verankerungspunkt B-Säule ... 19
Abbildung 9 Gurtschloss vorne ... 19
Abbildung 10 Gurtsystem und Gurtkennzeichnung hinten ... 20
Abbildung 11 Verankerungspunkt Retraktor hinten ... 20
Abbildung 12 Oberer Verankerungspunkt C-Säule ... 21
Abbildung 13 Unterer Verankerungspunkt hinten ... 21
Abbildung 14 Verankerungspunkt Gurtschloss hinten ... 22
Abbildung 15 Kinematikmodell Mensch- Autositz nach [7] ... 24
Abbildung 16 Lagebereiche der Gurtverankerungen nach [8] ... 24
Abbildung 17 Bereich der ECE-R 14 und angepasster zulässiger Bereich [1, S. 55] ... 26
Abbildung 18 Winkelschablone ... 27
Abbildung 19 Verstärkungsblech ... 30
Abbildung 20 Gestaltungsvarianten der Verankerungspunkte [1, S. 61] ... 31
Abbildung 21 Belastungswinkel der Gurtverankerungen [1, S. 61] ... 31
Abbildung 22 Maximale Kraftaufnahmefähigkeiten, winkelabhängig [1, S. 75] ... 32
Abbildung 23 Verankerungspunkt Mitteltunnel, Vorbereitung ... 34
Abbildung 24 Verankerungspunkt Mitteltunnel, geschweißt ... 34
Abbildung 25 Verankerungspunkt unten und Verankerungspunkt Retraktor, geschweißt ... 35
Abbildung 26 Stumpfstoß für Blechdicken bis 10 mm [9, S. 500] ... 35
Abbildung 27 Verankerungspunkt B-Säule, ausgeschnitten und verschweißt ... 36
Abbildung 28 Verankerungspunkt B-Säule, geschliffen ... 36
Abbildung 29 Verankerungspunkt Gurtschloss hinten, verschraubt ... 37
Abbildung 30 Verankerungspunkt unten auf Radlauf, geschweißt ... 37
Abbildung 31 Verankerungspunkt oben, C-Säule, geschweißt ... 38
Abbildung 32 Verankerungspunkt Retraktor, Hutablage ... 38

Abbildung 33 Gurtpeitsche vorne und hinten 39
Abbildung 34 Montierte Nachrüstgurte 39
Abbildung 35 FARO-Messarm [11] 40
Abbildung 36 Vermessung FARO- Messarm [11] 40
Abbildung 37 Fahrzeugmodell in CAD [22] 41
Abbildung 38 Hochgeschwindigkeitskamera Redlake MotionXtra HG-100K [10] 42
Abbildung 39 Kontaktstreifen [11] 42
Abbildung 40 Actionkameras [10] 43
Abbildung 41 UDS auf Mitteltunnel [11] 44
Abbildung 42 DSD PIC DAQ 45
Abbildung 43 Beschleunigungssensor X250-1 [4] 45
Abbildung 44 Fach in Dummybrust 46
Abbildung 45 Gurtkraftaufnehmer 46
Abbildung 46 MINIDAU K3700 47
Abbildung 47 Positionierung Gurtkraftaufnehmer 47
Abbildung 48 Anlaufstrecke Crashanlage [15] 48
Abbildung 49 Kollisionszone Crashanlage 49
Abbildung 50 Zughaken 50
Abbildung 51 Crashfahrzeug bei 20 ms 51
Abbildung 52 Crashfahrzeug bei 40 ms 52
Abbildung 53 Crashfahrzeug bei 60 ms 53
Abbildung 54 Crashfahrzeug bei 80 ms 53
Abbildung 55 Dummys vorne bei 80 ms 54
Abbildung 56 Dummys hinten bei 80 ms 54
Abbildung 57 Taille Dummy hinten 55
Abbildung 58 Gurtschlossführung hinten 55
Abbildung 59 Crashfahrzeug bei 100 ms 56
Abbildung 60 Fahrerdummy bei 100 ms 56
Abbildung 61 Crashfahrzeug bei 120 ms 57
Abbildung 62 Beifahrerdummy bei 120 ms 57
Abbildung 63 Crashfahrzeug bei 200 ms 58
Abbildung 64 Crashfahrzeug bei 300 ms 58
Abbildung 65 Laptop bei 500 ms 59
Abbildung 66 Crashfahrzeug bei 937 ms 59

Abbildung 67 Schweller links bei 75 ms 60
Abbildung 68 Schweller links [15] 60
Abbildung 69 Schweller rechts [15] 61
Abbildung 70 Schweller rechts, aufgeschnitten [15] 61
Abbildung 71 Schweller hinten links [15] 62
Abbildung 72 Unterboden [15] 62
Abbildung 73 Armaturenbrett nach Crash [15] 63
Abbildung 74 Armaturenbrett Beinhöhe 63
Abbildung 75 Kopfanprallpunkt Armaturenbrett [15] 63
Abbildung 76 Vergleich der Modelle [22] 64
Abbildung 77 Beschleunigungsverläufe UDS 1.3 [5] 67
Abbildung 78 Beschleunigungsverläufe Pic-Daq [5] 68
Abbildung 79 Beschleunigungsverläufe Sensor Dummy [5] 69
Abbildung 80 Diagramm Beckengurtanteil, vorne links 71
Abbildung 81 Maximale Gurtkräfte 72
Abbildung 82 Angehobenes Heck 73
Abbildung 83 Gurtsystemkräfte 74
Abbildung 84 Kräfte auf Verankerungspunkte 75
Abbildung 85 Kräfte bei ECE-Prüfung 76
Abbildung 86 Gestaltungsvariante 2 nach Crashversuch 77
Abbildung 87 Gestaltungsvariante 5 nach Crashversuch 77
Abbildung 88 Verankerungspunkte B-Säule, innen 78
Abbildung 89 Verankerungspunkt Gurtschloss hinten links nach Crashversuch 78
Abbildung 90 Verankerungspunkt Retraktor hinten links 79
Abbildung 91 Verriegelungsmechanismus Originalgurt 80
Abbildung 92 Verriegelungsmechanismus Nachrüstgurt 81
Abbildung 93 Bandfeder Retraktor 82
Abbildung 94 Gurtband Nachrüst- und Originalgurt 82

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Ausrüstungspflichten für KFZ der Klasse M_1 [1] 7
Tabelle 2 Belastungsgrenzen des menschlichen Körpers [3, zitiert aus 14, 2] 10
Tabelle 3 Verletzungsschweregrad nach AIS [21] 11
Tabelle 4 Fahrzeugdaten [6] 16
Tabelle 5 Abstände und Winkelbereiche der Verankerungspunkte [1, S. 19] 26

10.4 Anlagen

10.4.1 Videos und Einzelbilder der Hochgeschwindigkeitskameras

Die Videoaufnahmen und Einzelbilder der Hochgeschwindigkeitskameras des Crashversuchs befinden sich auf der beiliegenden DVD-Rom.

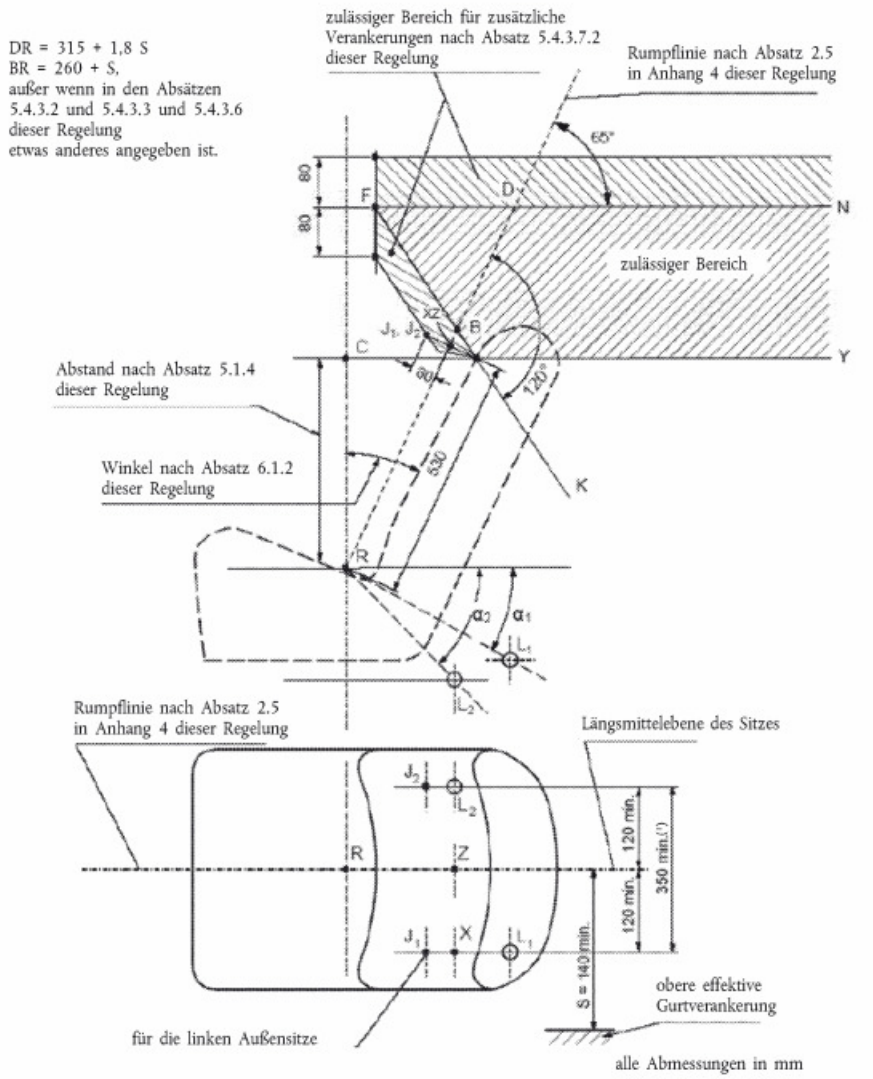
10.4.2 Auszug aus der ECE-R 14

LAGE DER EFFEKTIVEN GURTVERANKERUNGEN

Abbildung 1

Anbringungsbereiche der effektiven Gurtverankerungen

(in dem wiedergegebenen Beispiel ist die obere Gurtverankerung an der Seitenwand der Fahrzeugstruktur befestigt)



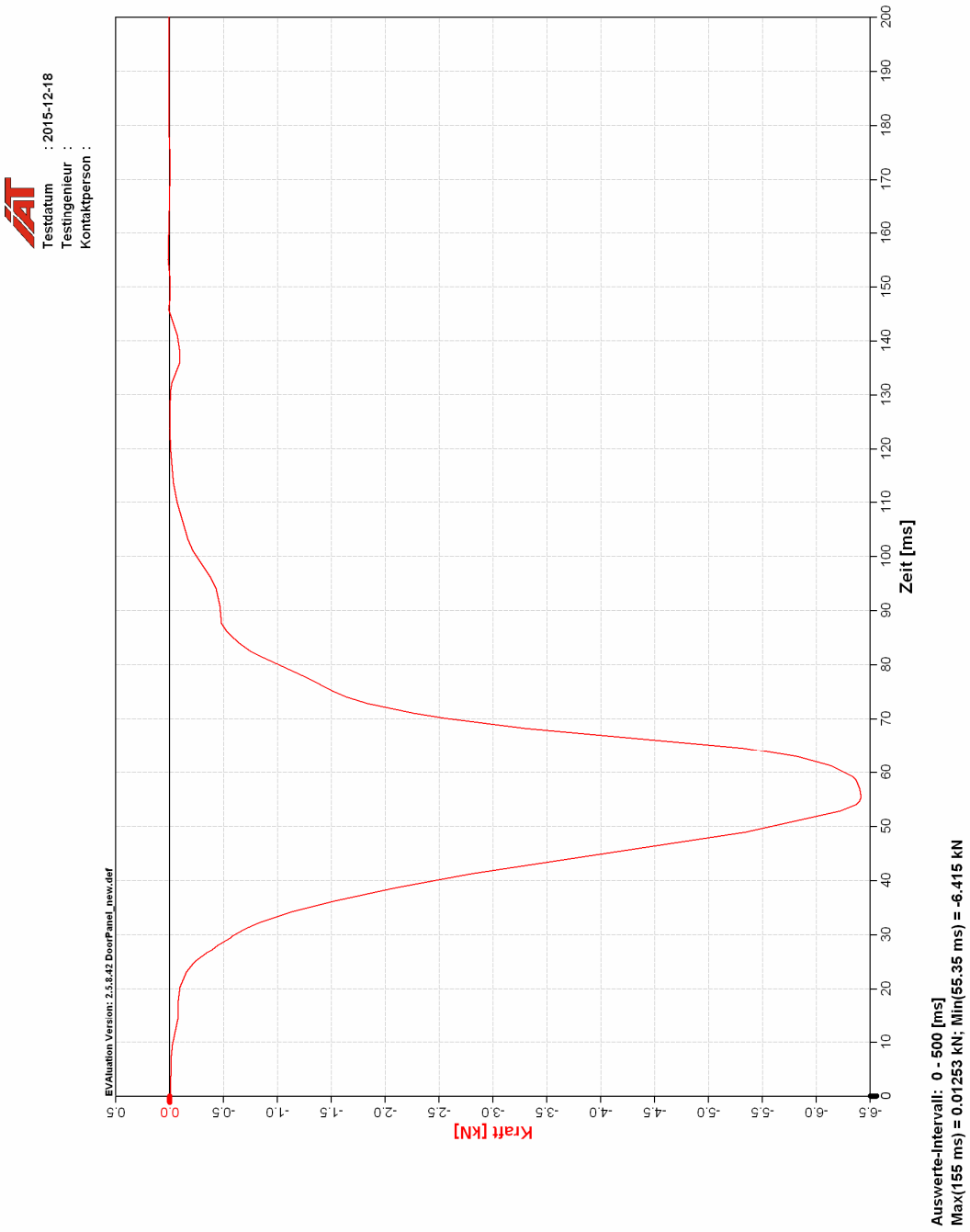
10.4.3 Diagramme der Gurtkraftaufnehmer

- Schrägschultergurtanteil, Fahrer -

1. Anlage zu Opel Ascona C

Freitag, 18.12.2015 10:16
Versuchsauswertung: WiMi

00SEBEUPFR00FO0D / CFC60
NOVALUE / 2015-12-18
NOVALUE; Vo = 14.06 m/s; M = 0.0 kg



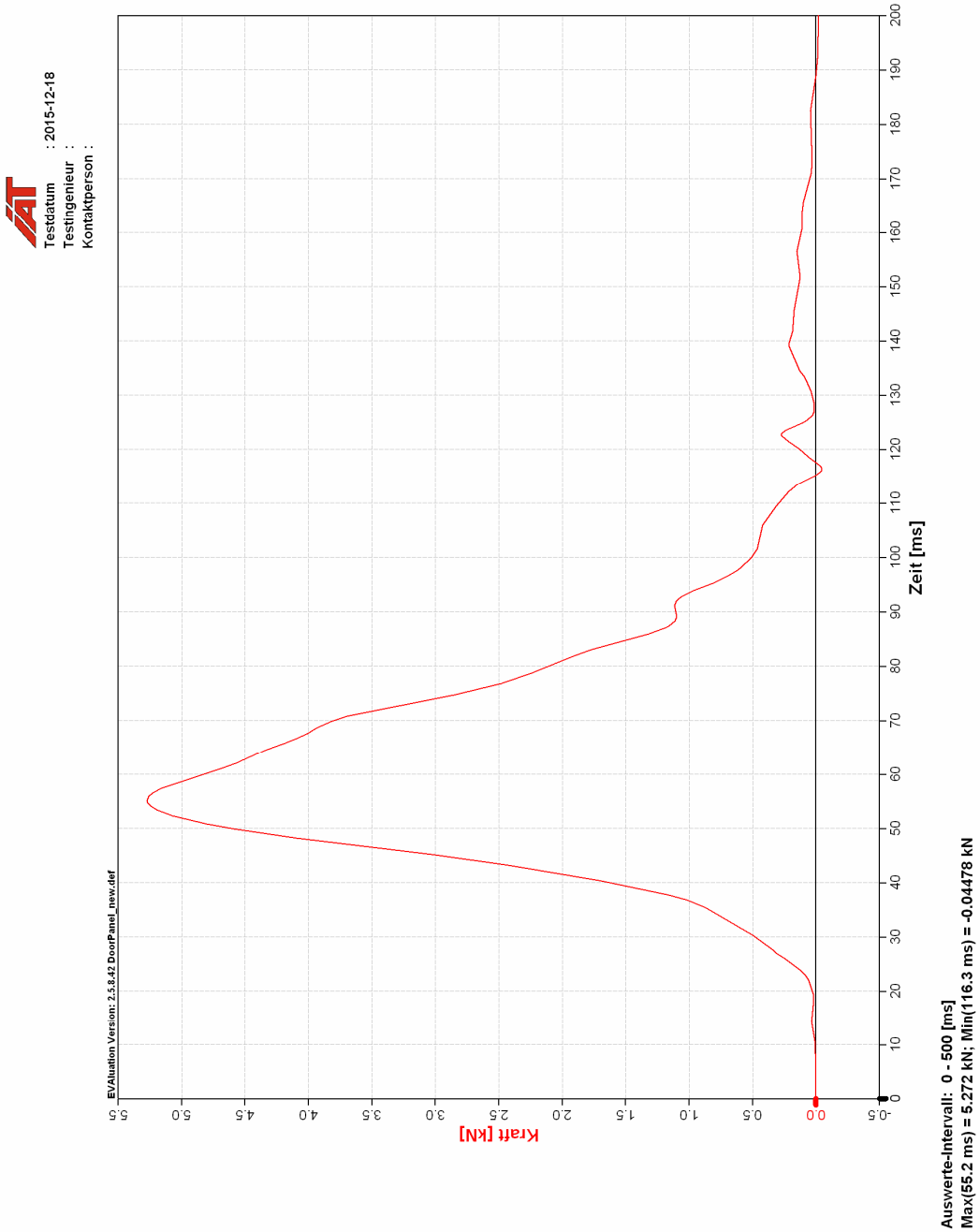
Auswerte-Intervall: 0 - 500 [ms]
Max(155 ms) = 0.01253 kN; Min(55.35 ms) = -6.415 kN

- Gurtanteil zwischen oberem Umlenkpunkt und Retraktor, Fahrer -

2. Anlage zu Opel Ascona C

Freitag, 18.12.2015 10:16
Versuchsauswertung: WiMi

00SEBEUPRE00FO0D / CFC60
NOVALUE / 2015-12-18
NOVALUE; Vo = 14.06 m/s; M = 0.0 kg



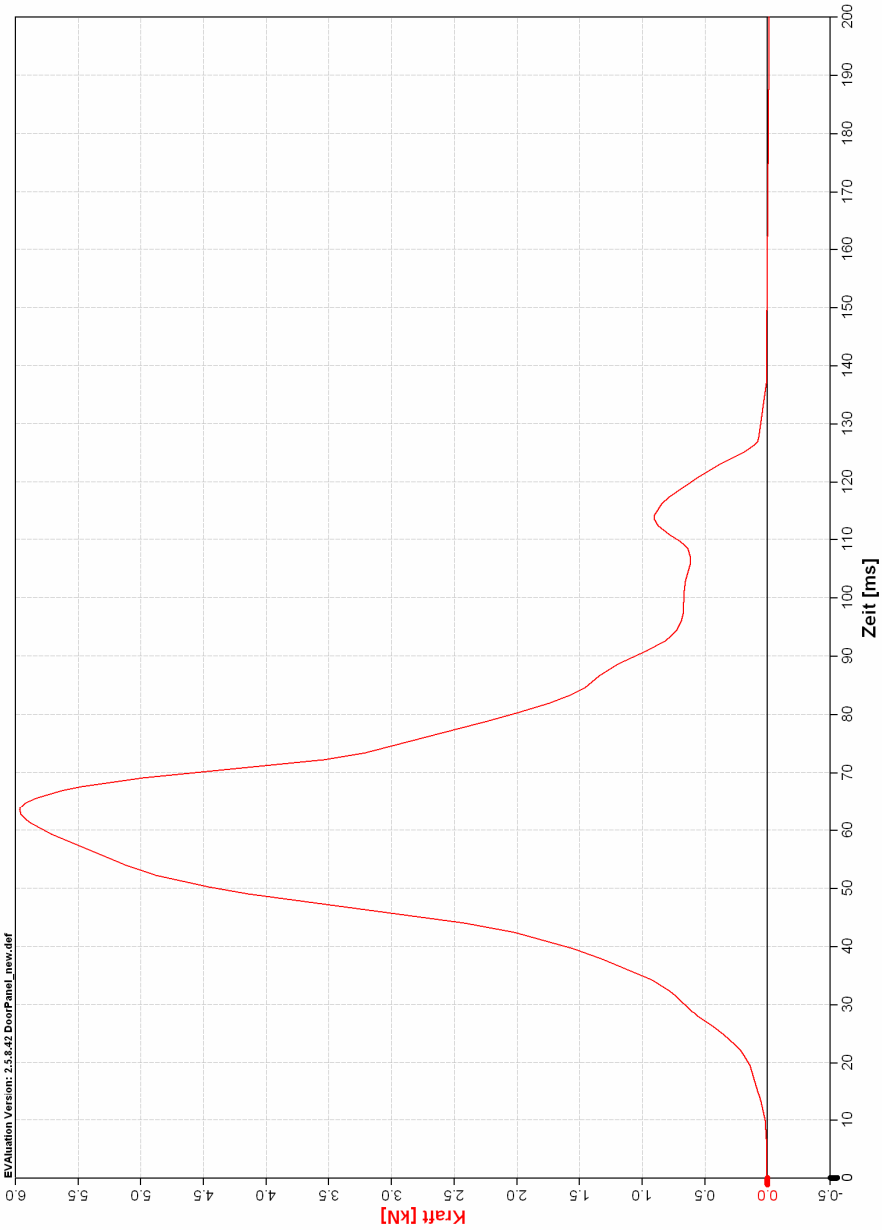
- Beckengurtanteil, Fahrer -

3. Anlage zu Opel Ascona C

Freitag, 18.12.2015 10:16
Versuchsauswertung: WiMi

10SEBEUPFR00FO0D / CFC60
NOVALUE / 2015-12-18
NOVALUE; Vo = 14.06 m/s; M = 0.0 kg

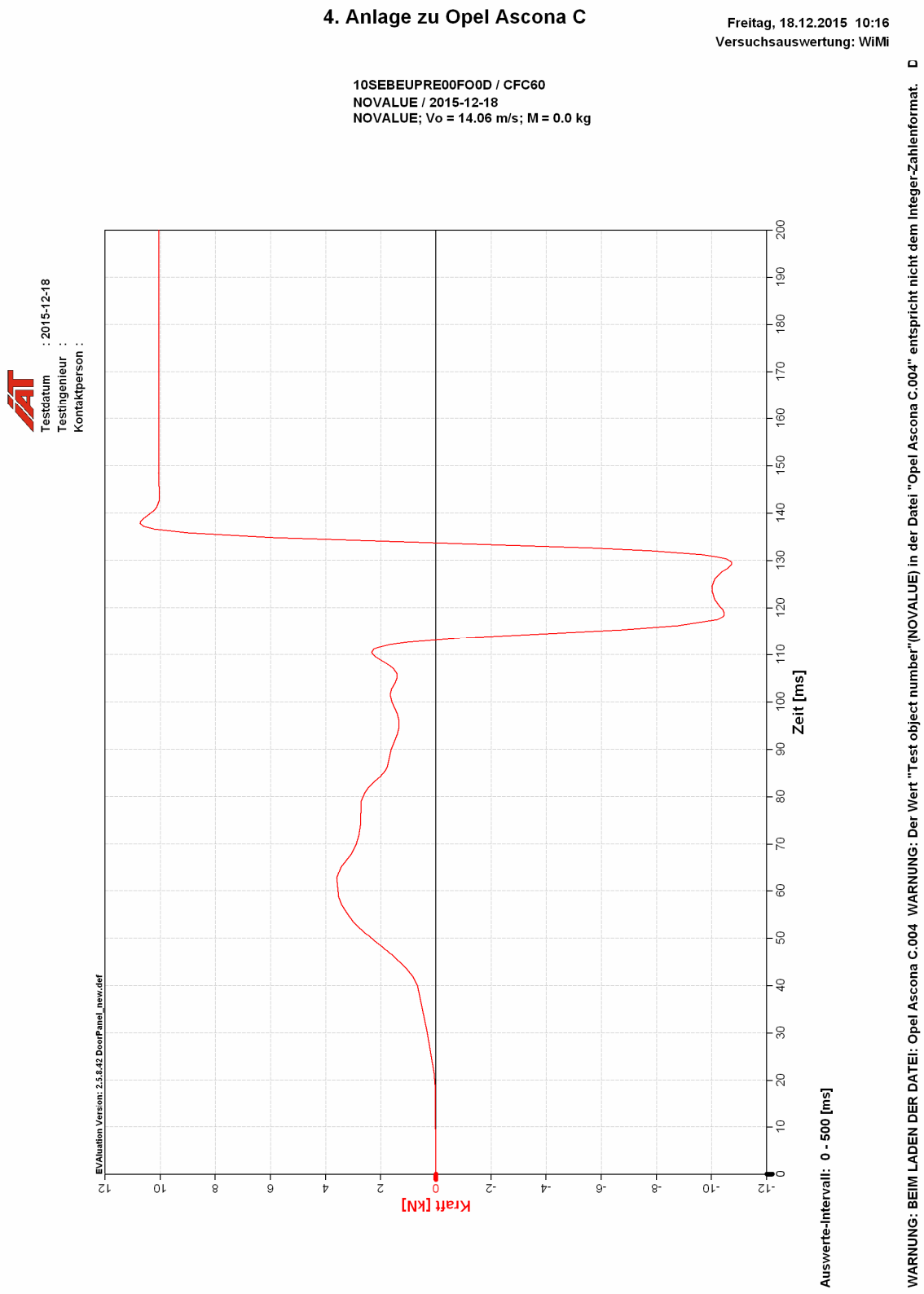
Testdatum : 2015-12-18
Testingenieur :
Kontaktperson :



Auswerte-Intervall: 0 - 500 [ms]
Max(63.4 ms) = 5.967 kN; Min(218.1 ms) = -0.03241 kN

WARNUNG: BEIM LADEN DER DATEI: Opel Ascona C.003 WARNUNG: Der Wert "Test object number"(NOVALUE) in der Datei "Opel Ascona C.003" entspricht nicht dem Integer-Zahlenformat. D

- Schrägschultergurtanteil, Beifahrer -

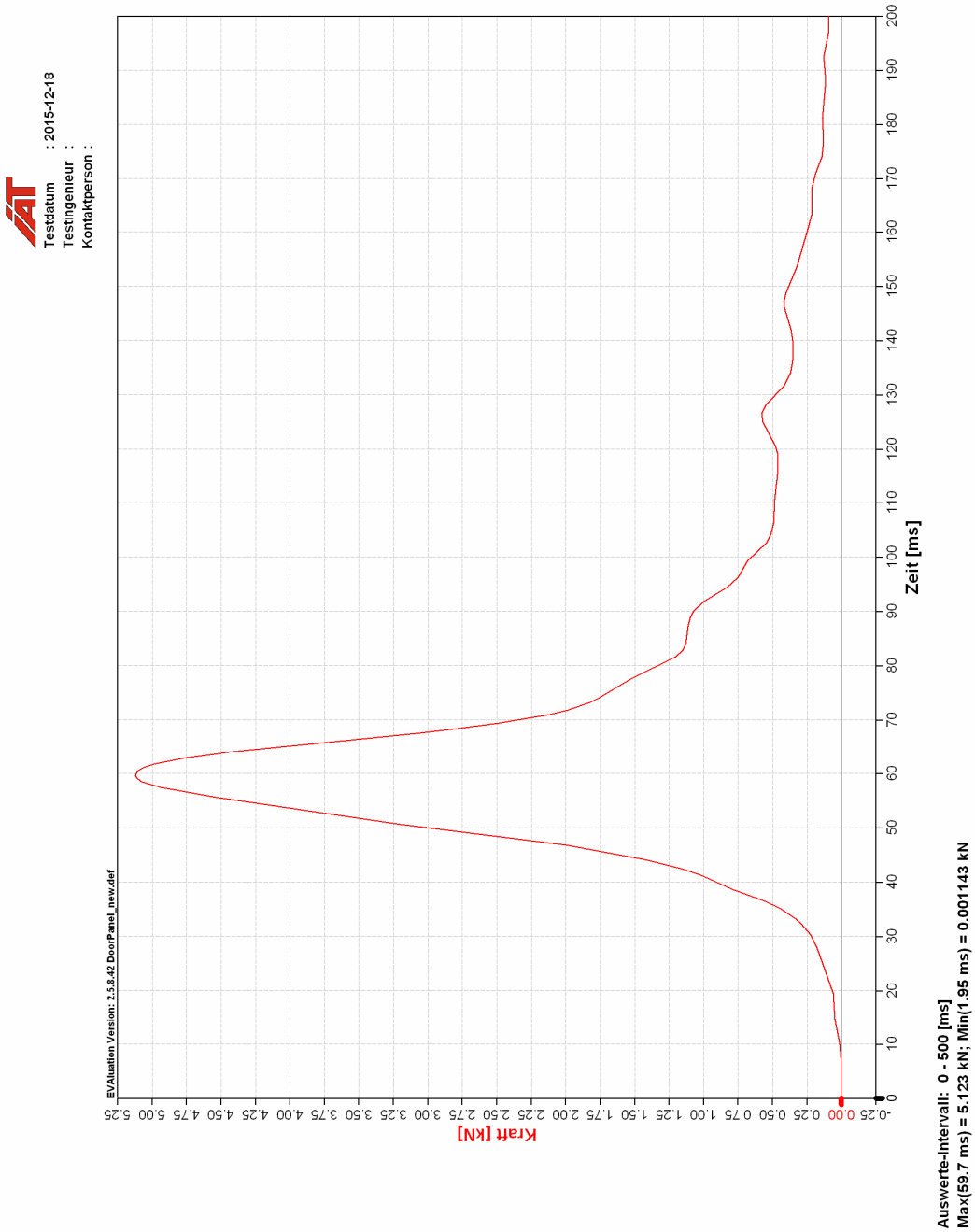


- Gurtanteil zwischen oberem Umlenkpunkt und Retraktor, Beifahrer -

5. Anlage zu Opel Ascona C

Freitag, 18.12.2015 10:16
Versuchsauswertung: WiMi

00SEBELO0000FO0D / CFC60
NOVALUE / 2015-12-18
NOVALUE; Vo = 14.06 m/s; M = 0.0 kg

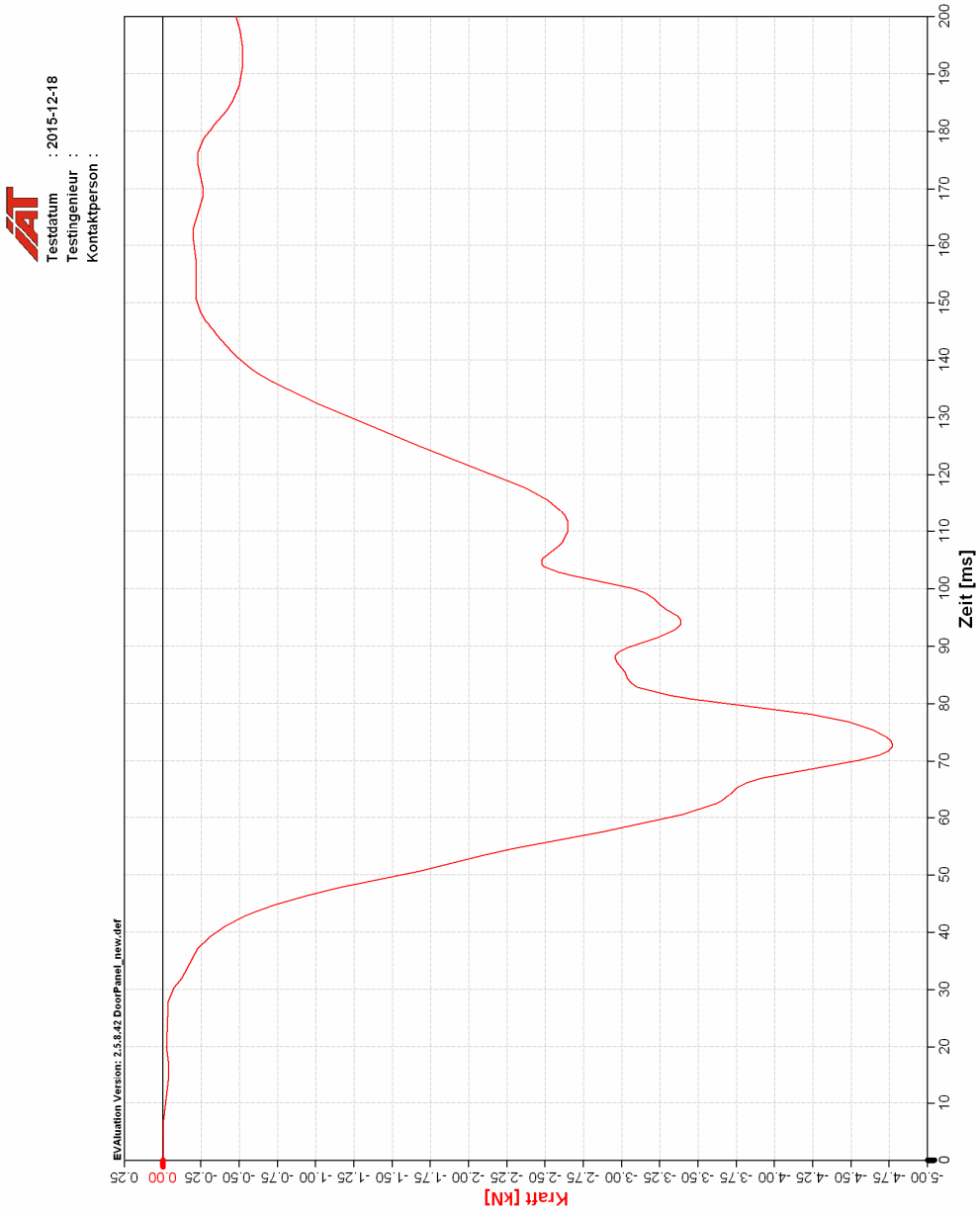


- Beckengurtanteil, Beifahrer -

6. Anlage zu Opel Ascona C

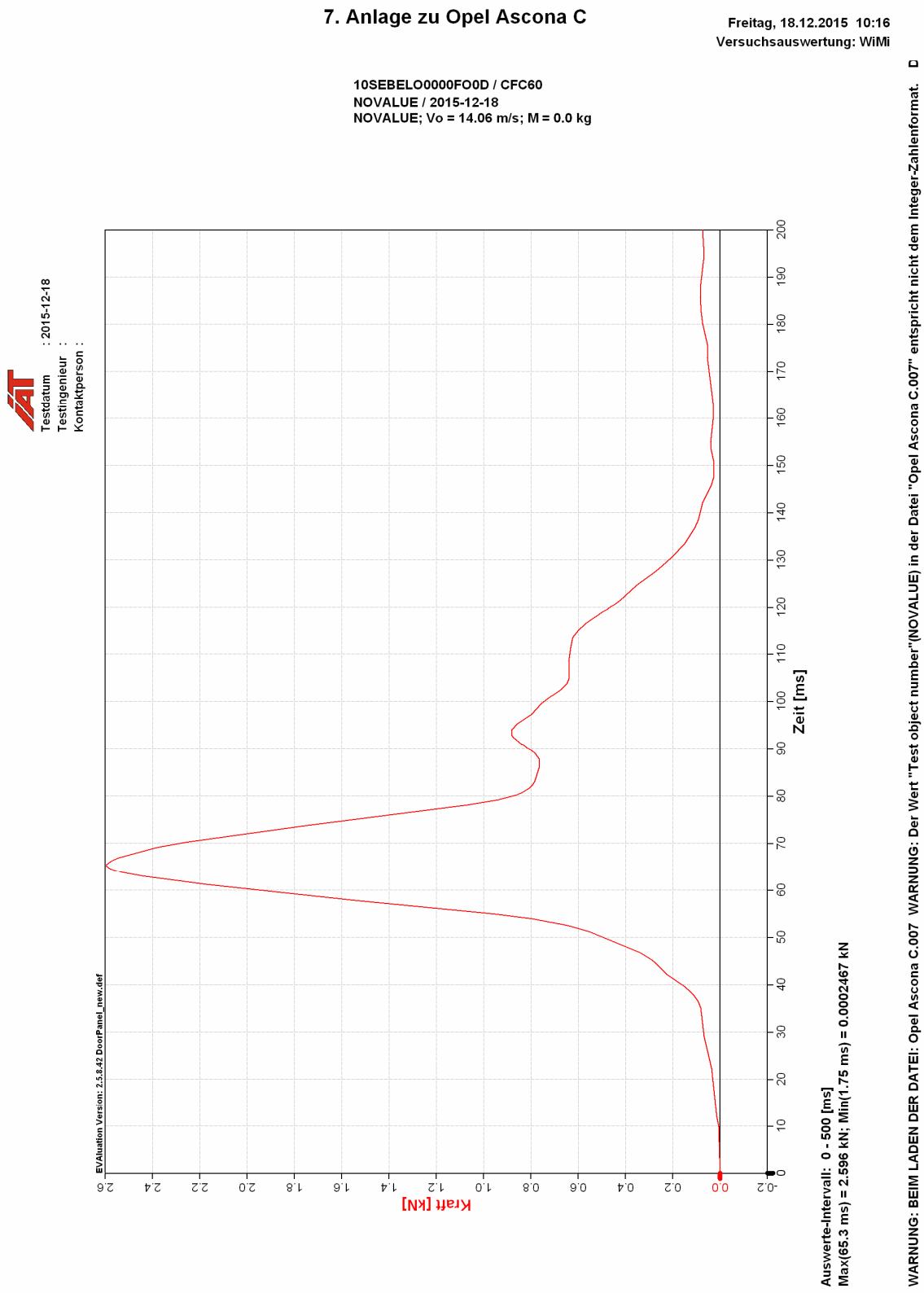
Freitag, 18.12.2015 10:16
Versuchsauswertung: WiMi

00SEBEUP0000FO0D / CFC60
NOVALUE / 2015-12-18
NOVALUE; Vo = 14.06 m/s; M = 0.0 kg

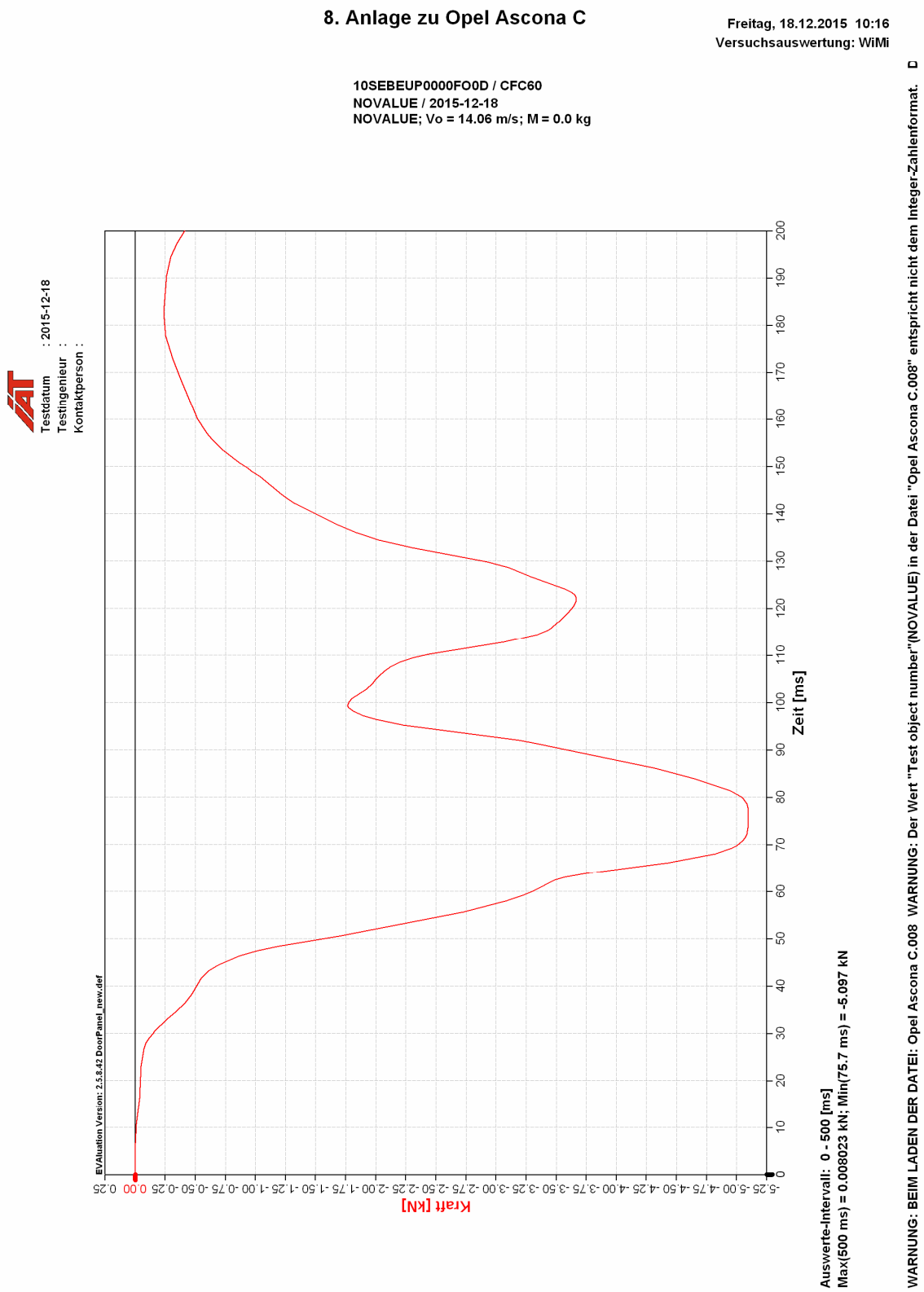


Auswerte-Intervall: 0 - 500 [ms]
Max(496.2 ms) = 0.007379 kN; Min(72.8 ms) = -4.771 kN

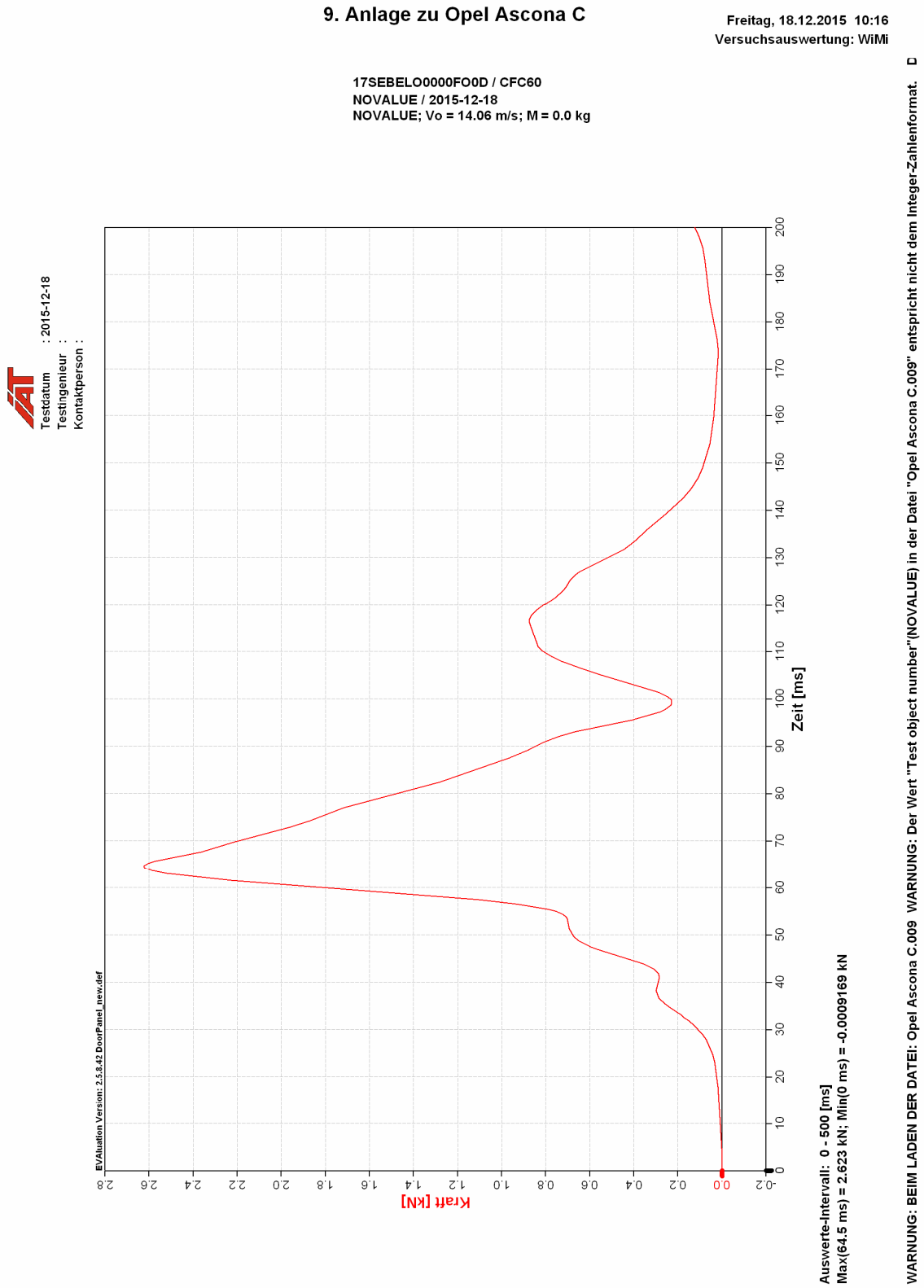
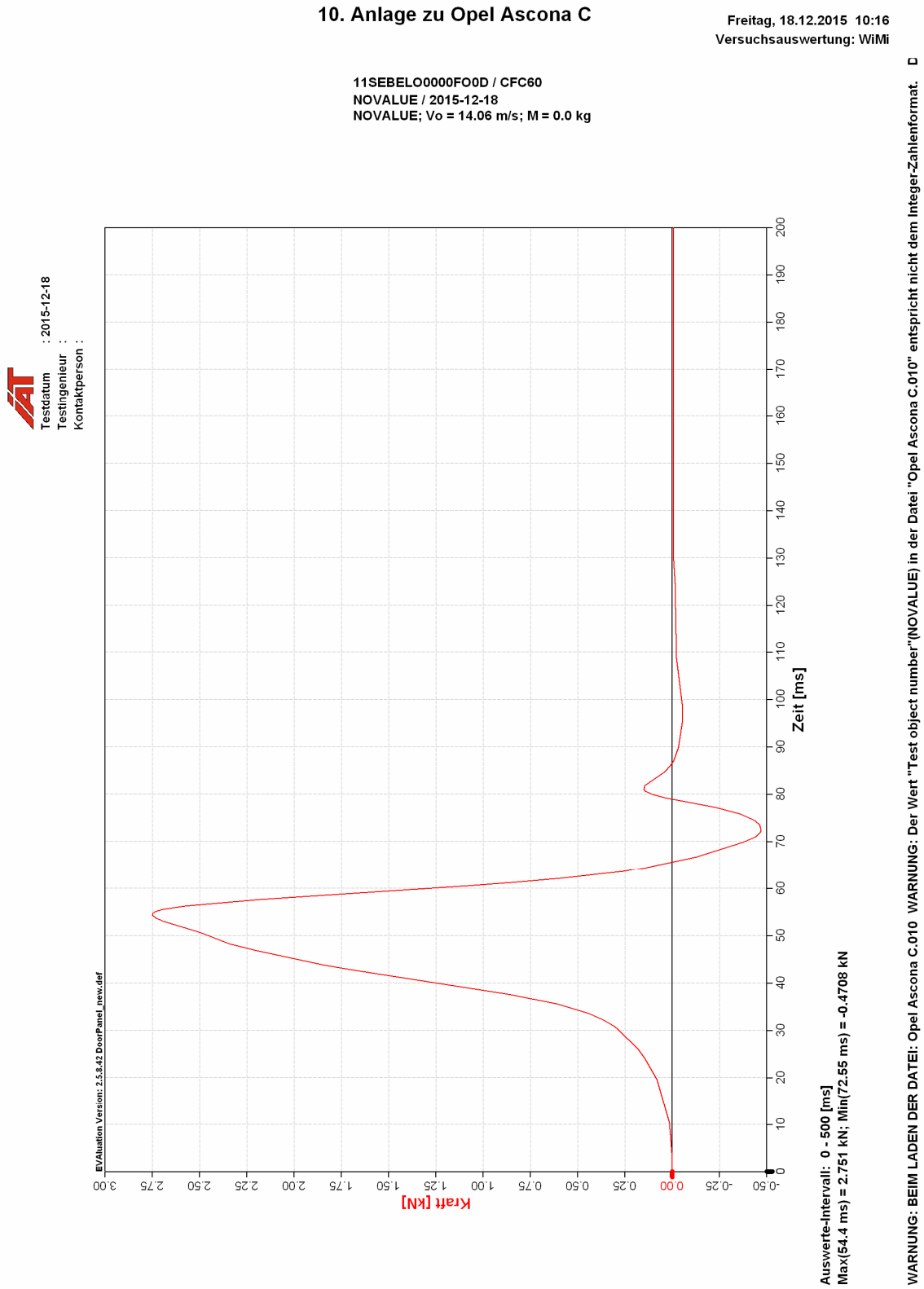
- Schrägschultergurtanteil, hinten links -



- Beckengurtanteil, hinten links -



- Schrägschultergurtanteil, hinten rechts -



- Beckengurtanteil, hinten rechts -