Dynamic Test Center AG
Centrum für Dynamische Tests AG
Centre de Tests Dynamiques SA

DTC 165 Heckauffahrkollision LKW-LKW: Volvo CH230 (20 t) – Volvo FL6 (12 t) vom 13.09.2013

Autor: Raphael Murri, Bereichsleiter passive Sicherheit

1 Zusammenfassung

Im Rahmen einer Weiterbildungsveranstaltung für Nutzfahrzeugfahrer wurde in Zusammenarbeit mit der Fahrschule Schori und der Basler Versicherung an der DTC Dynamic Test Center AG eine LKW-LKW-Heckauffahrkollision durchgeführt. Mit dem Crashtest soll den Kursteilnehmern aufgezeigt werden, dass eine Kollision unter allen Umständen vermieden werden muss, da die Überlebenschance für den Fahrer im Ernstfall sehr klein ist. Als erste Massnahme muss die Ladung so gesichert sein, dass sich diese in einer Notsituation, wie einer Vollbremsung oder einem Ausweichmanöver, nicht verschiebt. Dadurch dass sich der Fahrer der guten Ladungssicherung bewusst ist, wird seine Reaktionszeit nicht verlängert und ein Unfall kann womöglich vermieden werden. Zudem müssen seit diesem Jahr neu entwickelte LKW-Typen über 3,5 t Gesamtgewicht und ab 2015 alle neu zugelassenen LKW mit einem Notbremsassistenten ausgestattet sein. Mit dem Notbremsassistent lässt sich die Kollisionsgeschwindigkeit selbsttätig reduzieren. Da die Geschwindigkeit in der kinetischen Energie im Quadrat einfliesst ist jeder Geschwindigkeitsabbau vor der Kollision extrem wichtig. Nur solange sich die Ladung bei einer Notbremsung nicht verschiebt, können AEBS ihre volle Wirkung entfalten.
Als Heck-Auffahrkollision wurde der mit 80 km/h auffahrende LKW mit 10 t Eisenbahnschwellen (total 20 t Versuchsgewicht) beladen. Die Ladung wurde vorschriftsgemäss mit Spanngurten gesichert. Der stehende LKW wurde mit Betongewichten auf 12 t aufgelastet. Durch die Heck-Auffahrkollision wurde die Doppel-Fahrerkabine des auffahrenden LKW's von den Eisenbahnschwellen komplett flachgedrückt. Der Fahrerdummy wurde dabei eingeklemmt. Aufgrund des kritisch verminderten Überlebensraums muss davon ausgegangen werden, dass der Fahrer diese Kollision kaum überlebt hätte.

2 Ziel und Zweck

Mit der steigenden Verkehrsdichte im Güterverkehr steigt das Risiko von Unfällen zwischen schweren Nutzfahrzeugen. Aufgrund der grossen Masse der Ladung übersteigen die bei einem Unfall wirkenden Kräfte die Haltewirkung aktueller Ladungssicherungseinrichtungen. Auch vorschriftsgemäss gesicherte Ladung verschiebt sich und deformiert die Fahrerkabine in dramatischem Ausmass. Insassen im auffahrenden LKW sind stark gefährdet.
Folgerichtig steht bei schweren Nutzfahrzeugen die Unfallvermeidung an oberster Stelle. Als erste Massnahme muss die Ladung so gesichert sein, dass sich diese in einer Notsituation, wie einer Vollbremsung oder einem Ausweichmanöver, nicht verschiebt. Damit wird die Reaktionszeit des Fahrers nicht verlängert und ein Unfall kann womöglich vermieden werden.
Laut Gesetz müssen ab 2013 alle neu entwickelten LKW-Typen über 3,5 t Gesamtgewicht und ab 2015 alle neu zugelassenen LKW mit einem Notbremsassistenten ausgestattet sein. Gegenwärtig wird von den Notbremsassistenten gefordert, dass sie Unfälle mit bis 58 km/h Vorausfahrenden verhindern und vor einer Kollision mit einem stehenden Fahrzeug die Geschwindigkeit um mindestens 10 km/h reduzieren. Moderne Notbremsassistenzsysteme könnten aber eigentlich mehr. Künftig werden die Normanforderungen schrittweise erhöht. Heutige Systeme wären technisch in der Lage, bei einem stehenden Fahrzeug, zum Beispiel an einem Stauende, eine

Eine Unternehmung der Privatwirtschaft und der Berner Fachhochschule, Abteilung Automobiltechnik

Geschwindigkeitsreduzierung um 40 km/h zu realisieren. Damit könnten bei Geschwindigkeiten bis rund 55 km/h Unfälle vermieden und bei Autobahntempo der Aufprall deutlich abgemildert werden.
Auch die Warnfunktion eines Assistenten beim Verlassen der Fahrspur (LDWS) welcher gleichzeitig mit AEBS eingeführt wird, macht den Verkehr sicherer. Wird der Fahrer durch einen Bremsruck oder eine Teilbremsung frühzeitig gewarnt, kann er gegebenenfalls rechtzeitig ausweichen oder noch zum Stehen kommen.
Mit der Heck-Auffahrkollision konnte die zerstörerische Wirkung der Ladung bei Nutzfahrzeugen aufgezeigt werden, welche mit verspäteter oder fehlender Fahrerreaktion respektive ohne Notbremsassistent entsteht. Bei den im Crash wirkenden Kräften sind jegliche Ladungssicherungssysteme überlastet.

Abb. 1 Übersicht links

Als Heck-Auffahrkollision wurde der auffahrende LKW (hellblau) mit 10 t Eisenbahnschwellen, total 20 t Versuchsgewicht, beladen. Die Ladung wurde praxisnahe mit Spanngurten gesichert. Bei einer Vollbremsung wurde überprüft, ob sich die Ladung wie in den Vorschriften gefordert ist, nicht verschiebt. Der LKW wurde auf 80 km/h beschleunigt und kollidierte ungebremst bei voller Überdeckung auf das Heck eines stehenden LKW's. Der stehende LKW (hellgrün) wurde mit Betongewichten auf 12 t aufgelastet. Beim stehenden LKW war die Feststellbremse betätigt und der erste Gang eingelegt. Aus Platzgründen musste 10 m vor dem stehenden LKW eine Beton-Schutzplanke mit einem Winkel von 20° aufgestellt werden.

3 Angaben zum Versuch

Der gestossene LKW war aus einem vorangehenden Leitschrankenversuch vorne links leicht vorgeschädigt. Der Aufbau, das Fahrwerk und die Lenkung waren intakt. Der stossende LKW war fahrtüchtig, wobei die Holzladebrücke teilweise stark angefault war. Die Ladung wurde mittels Paletten auf die Ladebrücke gestellt, so dass der Zustand der Ladebrücke für den Crashablauf keinen Einfluss hatte. Die Rahmenlängsträger wiesen insbesondere im hinteren Bereich starke Rostschäden auf.

	LKW stossend	**LKW gestossen**
Testfahrzeuge	Volvo CH230	Volvo FL6
	Abb. 2 Stossender LKW	*Abb. 3 Gestossener LKW*
Versuchsgewicht	20'540 kg	11'740 kg
Bremsen	Ungebremst	Feststellbremse, 1. Gang

Tab. 1 Versuchsfahrzeuge

3.1 Ladung und Ladungssicherung

Bei der Halter Rohstoff AG in Biel wurde der stossende LKW mit alten Eisenbahnschwellen beladen. Die Eisenbahnschwellen waren palettisiert, wobei jeweils zwei Stapel aufeinander gestellt und in sich mit einem Spanngurt umreift wurden. Somit waren vorn und hinten je vier Stapel Eisenbahnschwellen geladen. Mit jeweils zwei Spanngurten wurden die vorderen respektive die hinteren Stapel niedergezurrt.

Abb. 4 Ladung auf stossendem LKW, vor Kollision

Wegen der unterschiedlichen Länge der Eisenbahnschwellen im Stapel war ein konsequent formschlüssiges Laden nicht möglich. Soweit es die Nerven des Staplerfahrers zuliessen, wurden die Eisenbahnschwellen bestmöglich umsortiert. Wie im alltäglichen Transportleben üblich, hatte das Ladepersonal keine Ahnung, wie schwer der einzelne Stapel war. So kam nach vollendeter Beladung die Überraschung auf der Fahrzeugwaage - 4,5 Tonnen überladen.

Wie bei umreifter Ladung von Bündeln üblich, war das Festzurren sämtlicher Eisenbahnschwellen nicht möglich. Dies hatte zur Folge, dass im Stapel einzelne Eisenbahnschwellen lose waren. Bei einer Vollbremsung aus 20 km/h hat sich anlässlich eines Vorversuchs die Ladung dabei nicht verschoben.

Abb. 5 Beispiel einer losen Eisenbahnschwelle, rechts

Der gestossene LKW wurde mit Hilfe von Betonblöcken auf ein Gesamtgewicht von 12 t beladen. Die Betonblöcke konnten formschlüssig platziert und mit je zwei Spanngurten gesichert werden. Da das Verhalten der Ladung im Crash nicht untersucht werden sollte, wurde diese möglichst gut festgezurrt. Daher wurden die fehlenden Zurrpunkte mit Hilfe von Ringschrauben, welche durch die Ladefläche und Gegenplatten festgeschraubt waren, realisiert.

Abb. 6 Betonblöcke im gestossenen LKW, nach Kollision nicht verschoben

3.2 Messtechnik und Insassen

Die Fahrzeugbeschleunigung wurde an beiden LKW's mit Hilfe von UDS (Unfalldatenspeicher) messtechnisch erfasst. Beim stossenden LKW war der UDS hinter der Hinterachse links aussen am Rahmenlängsprofil (Messgrössen a_x und a_z) und am gestossenen LKW beifahrerseitig im Fussraum (Messgrössen a_x und a_y) montiert. Für die Messung der Kollisionsgeschwindigkeit am stossenden LKW wurden zwei Lichtschranken eingesetzt.

Weil davon ausgegangen werden musste, dass die Kabine des stossenden LKW's stark deformiert würde, kam als Dummy eine Schaumstoffattrappe zum Einsatz. Diese wurde aus einem Überkleid, gestopft mit Schaumstoff und einer HII-Kopfhaut, welche mit Klebeband am Schaumstoffkörper befestigt war, aufgebaut. Der Dummy wurde auf dem Fahrersitz positioniert. Aufgrund des älteren Jahrganges des LKW's war dieser nicht mit Sicherheitsgurten ausgerüstet, so dass der Dummy nicht angegurtet werden konnte. Die Beurteilung der Insassenbelastung am Dummy des stossenden LKW's wurde lediglich anhand der Deformationen der Kabine beurteilt.

Abb. 7 Schaumstoff-ATD im stossenden LKW

Im gestossenen LKW wurde ein 50% ATD auf den Fahrersitzplatz eingesetzt. Der Dummy wurde angegurtet und während dem Crashtest mit Hilfe einer mitfahrenden Echtzeitkamera gefilmt. Am Dummy wurden keine Messdaten erfasst.

Abb. 8 50% ATD im gestossenen LKW

3.3 Allgemeine Angaben zum Versuch

Thema	Ladungssicherung & Notbremsassistent, Sicherheitswelt der Basler Versicherung, Aktionstag „Freitag, der 13."
Ort und Datum	CH-Vauffelin 13.09.2013
Fotos	Vor- und nach Versuch, Bildsequenzen (60 Bilder / Sekunde)
Videos	Digitale Hochgeschwindigkeitskameras (500 Bilder/ Sekunde) Digitale Echtzeitkameras (out- und on-Board) Zusammenschnitt unter www.dtc-ag.ch

Tab. 2 Informationen zum Versuch

3.4 Fahrzeugangaben

	LKW stossend	**LKW gestossen**
Versuchslastwagen	Volvo CH230 4x2	Volvo FI6H 4x2
Karrosserie	Doppelkabine mit Pritsche und Heckkran	Isothermaufbau mit Hebebühne
Chassisnummer / VIN-Code	CH 230-4X2 52	YV2 E4C CA7 1B2 793 76
Leergewicht gemessen	9‘860 kg	8‘500 kg
Versuchsgewicht	20‘540 kg	11‘740 kg
Erste Inverkehrsetzung	28.11.1980	01.02.2001
Zuladung	10 t Eisenbahnschwellen	4 t Betonblöcke, 3 Stk

Tab. 3 Fahrzeugangaben

4 Versuchsübersicht

4.1 Kollisionsstellung

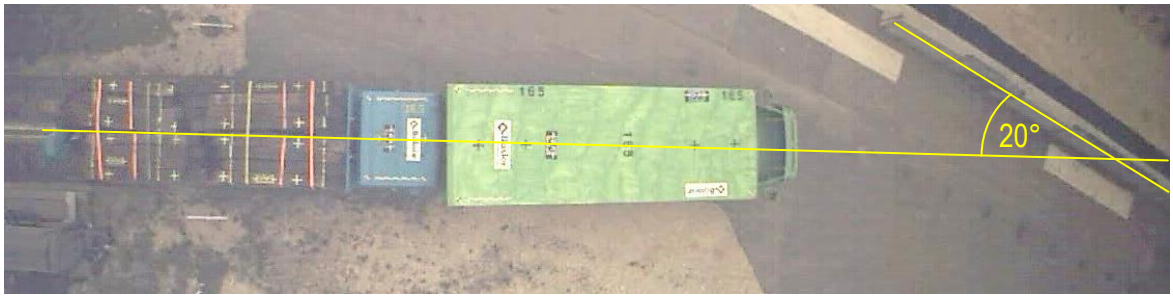


Abb. 9 Kollisionsstellung der LKW's

Der stossende LKW kollidierte bei voller Überdeckung mit dem gestossenen LKW. Hinten war der gestossene LKW 160 mm nach rechts und vorne 100 mm nach links positioniert. Der Kollisionswinkel betrug 1.7°.

Vor dem gestossenen LKW wurde aus Platzgründen ein Beton-Schutzplankensystem hingestellt. Dieses bestand aus acht FIA-Jersey-Elementen, welche miteinander verbunden waren. Die Elemente haben je eine Länge von 3 m und wiegen 3,2 t. Das Schutzsystem wurde mit einem Winkel von 20° zu den Fahrzeugen angeordnet.

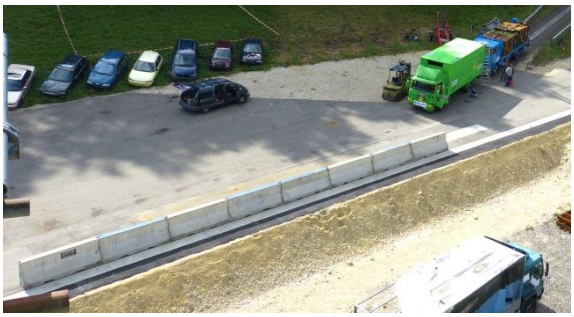


Abb. 10 Crashplatz und Auslauf

4.2 Crashanlage

Der stossende LKW wurde mit Hilfe einer Schwerkraft-Beschleunigungsanlage auf die gewünschte Kollisionsgeschwindigkeit beschleunigt. Hierfür wurde der LKW mit Hilfe einer Seilwinde auf die erforderliche Höhe gezogen. Unmittelbar vor der Kollision wurde die Führung des LKW's freigegeben.

Abb. 11 LKW's in Startposition

5 Ergebnis

5.1 Kollisionsverlauf

Der stossende LKW wurde auf 80.8 km/h beschleunigt und kollidierte gegen den stehenden LKW.

Abb. 12 Lastwagen in t = 0 ms

Die Hebebühne am gestossenen LKW ist so stabil ausgelegt, dass die Fahrerkabine des stossenden LKW's deformiert, bevor sich die Eisenbahnschwellen auf der Ladefläche zu verschieben beginnen. Der Fahrerdummy wurde bereits bei diesen Deformationen eingeklemmt.

Abb. 13 Lastwagen in t = 50 ms

Weder die Spanngurte noch die Stirnwand konnten verhindern, dass sich die Eisenbahnschwellen nach vorne bewegten. Dabei wurde die Fahrerkabine komplett zusammengedrückt.

Abb. 14 Lastwagen am Stossende t = 174 ms

5.2 Messdaten

Die nachfolgenden Messdaten beziehen sich auf die Auffahrkollision der beiden Lastwagen, auch wenn der gestossene Lastwagen hauptsächlich beim Sekundäranprall am Beton-Schutzplankensystem beschädigt worden ist.

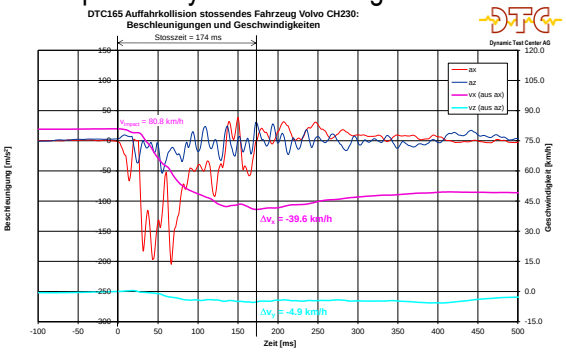


Abb. 15 Messdaten stossender Lastwagen

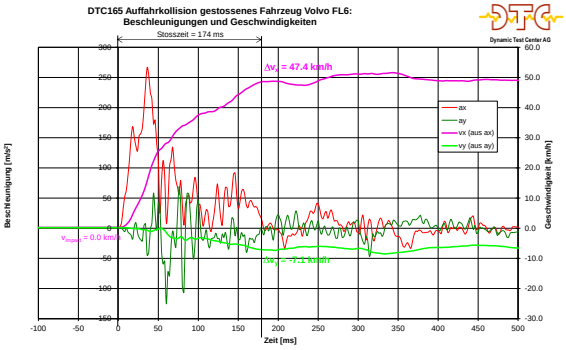


Abb. 16 Messdaten gestossener Lastwagen

5.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Mit einer Stossdauer von 174 ms fand die Kollision hauptsächlich bei plastischer Verformung statt. Die dynamische Eindringtiefe von 1.3 m ging grösstenteils zu Lasten des stossenden Lastwagens respektive dessen Fahrerkabine.

	LKW stossend	**LKW gestossen**
Kollisionsgeschwindigkeit v_k	80.8 km/h	0 km/h
Δv_{res}	39.9 km/h	48.0 km/h
$a_{res\ max}$	20.9 g	27.5 g
$a_{res\ mittel}$	6.5 g	7.8 g
Stossdauer	174 ms	
s_{dyn}	1309 mm	

Tab. 4 Zusammenfassung der wichtigsten Messergebnissen

5.3.1 Geschwindigkeiten

Während der Stosszeit von 174 ms wurde am stossenden Lastwagen eine resultierende Geschwindigkeitsänderung von 39.9 km/h gemessen. Der gestossene Lastwagen wurde auf 48.0 km/h beschleunigt. Die beiden Lastwagen verkeilten sich ineinander und die Eisenbahnschwellen stützten sich über die deformierte Fahrerkabine am Heck des gestossenen Lastwagens ab, so dass die Geschwindigkeit beim stossenden Lastwagen nach dem Stossende wieder geringfügig anstieg. Beim Sekundäranprall gegen das Beton-Schutzplankensystem hatten die Lastwagen eine Geschwindigkeit von 45 km/h.

	LKW stossend	**LKW gestossen**
Kollisionsgeschwindigkeit v_k	80.8 km/h	0.0 km/h
Δv_x	-39.6 km/h	47.4 km/h
Δv_y	-	-7.1 km/h
Δv_z	-4.9 km/h	-
Δv_{res}	39.9 km/h	48.0 km/h

Tab. 5 Geschwindigkeiten Primärkollision

5.4 Beschleunigungen

Die mittlere resultierende Verzögerung am stossenden Lastwagen betrug 6.5 g. Die theoretische mittlere Kraft der 10 t Eisenbahnschwellen betrug demnach 638 kN (65 t). Dass weder Spanngurte noch die Stirnwand für ein derart hohes Kraftniveau ausgelegt sind, liegt auf der Hand.

	LKW stossend	**LKW gestossen**
$a_{x\ max}$	3.9 g	27.2 g
$a_{x\ min}$	-20.9 g	-14.9 g
$a_{x\ mittel}$	-6.5 g	7.7 g
$a_{y\ max}$	-	8.6 g
$a_{y\ min}$	-	-16.5 g
$a_{y\ mittel}$	-	-1.2 g
$a_{z\ max}$	3.1 g	-
$a_{z\ min}$	-5.4 g	-
$a_{z\ mittel}$	-0.8 g	-
$a_{res\ max}$	20.9 g	27.5 g
$a_{res\ mittel}$	6.5 g	7.8 g

Tab. 6 Beschleunigungen Primärkollision

5.5 Endlage der Lastwagen

Abb. 17 Kollisionsendlage der Lastwagen

Die beiden ineinander verkeilten Lastwagen wurden am Beton-Schutzplankensystem umgelenkt und kamen nach ca. 40 m zum Stehen. In der Abbildung ist die Position der linken Räder des gestossenen Lastwagens im Kollisionspunkt markiert.

5.6 Beobachtungen nach dem Crash

Abb. 18 Lastwagen in Kollisionsendlage

Da Lastwagen aufgrund ihrer stabilen Rahmenkonstruktion nicht für einen Crash auf diesem hohen Energieniveau ausgelegt sind, wurden die Rahmenlängsprofile kaum deformiert. Der Rahmen des stossenden Lastwagens wurde unter die Rahmenlängsprofilen des gestossenen Lastwagens geschoben. Bei beiden Lastwagen wurden dabei die weicheren Strukturen, wie die Fahrerkabine oder die Klappe der Hebebühne, massiv deformiert. Auf dem stossenden Lastwagen sind die Eisenbahnschwellen so weit nach vorne gerutscht, bis sich diese über die zusammengequetschte Fahrerkabine an der Hebebühne des gestossenen LKW's abstützen konnten. Die Spanngurte sind gedehnt worden, haben aber nicht versagt.

Die Fahrerkabine des stossenden LKW's wurde praktisch auf Block deformiert und der Fahrerdummy entsprechend stark eingeklemmt. Im realen Unfall hätten Insassen in der Kabine mit schwersten Verletzungen zu rechnen.

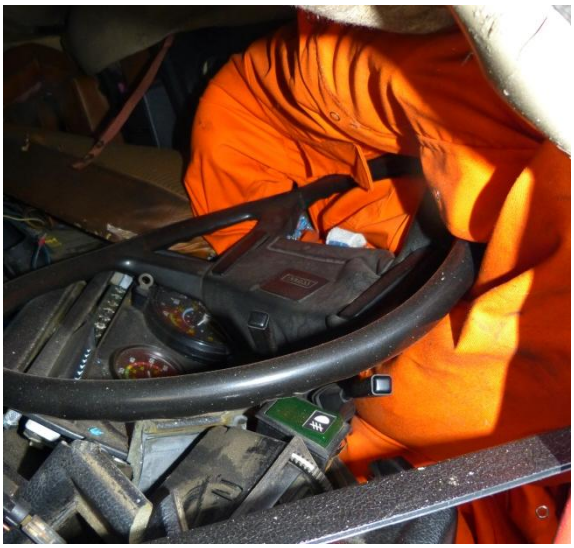


Abb. 19 Fahrerplatz im stossenden LKW

Die Hebebühne des gestossenen LKW's wurde oben in den Laderaum hineingeklappt, so dass das Dach der Doppelkabine weit in den Laderaum eingedrungen ist. Die oberen Lagen der Eisenbahnschwellen sind dementsprechend auch weiter nach vorne gerutscht, als die unteren Lagen.

Abb. 20 Dach des stossenden LKW's in Laderaum

Der Motor und das Getriebe wurden am stossenden Lastwagen aus der Aufhängung gedrückt und lagen nach der Kollision am Boden.

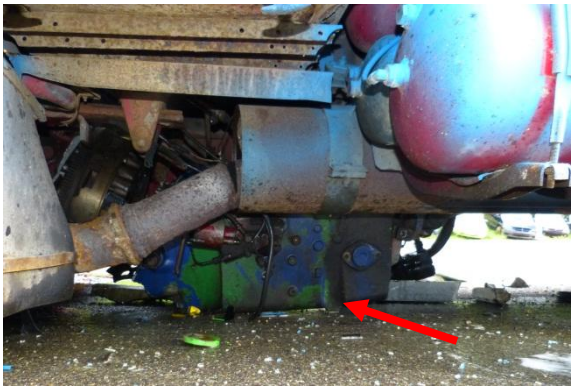


Abb. 21 Getriebe des stossenden LKW's

Nach dem Trennen der Fahrzeuge ist der stabile Rahmen des stossenden Lastwagens immer noch deutlich erkennbar. Dieser hat sich während der Kollision kaum an der Energieabsorption beteiligt. Der Motor wurde gegen hinten unten verschoben.

Abb. 22 Frontstruktur stossender LKW

Beim gestossenen LKW wurden die stabilen Rahmenlängsprofile nur sehr gering deformiert. Durch den Hebemechanismus der Hebebühne wurde die Heckstruktur des gestossenen Lastwagens zusätzlich verstärkt.

Abb. 23 Heck des gestossenen LKW's

Beim Primäranprall wurde der Fahrerdummy stark in den Sitz gedrückt. An Nutzfahrzeugsitze werden bezüglich Heckkollisionen kaum Anforderungen gestellt. Zur Verminderung des Verletzungsrisikos der Halswirbelsäule müssen die Sitzlehne und natürlich die Kopfstütze richtig eingestellt werden. Trotzdem müsste bei dem vorliegenden Δv von nahezu 50 km/h mit einem erheblichen HWS-Verletzungsrisiko gerechnet werden. Dazu kommt, dass die Sicht nach hinten nur mit Kopfdrehungen zum Blick in die Spiegel möglich ist.

Abb. 24 Kabine des gestossenen LKW's

Die Energie des Sekundäranpralls an dem Beton-Schutzplankensystem lag aufgrund der Massekoppelung trotz der Geschwindigkeit von lediglich 45 km/h und dem Anprallwinkel von 20° gegenüber der Normprüfung für Schutzplanken 77% höher. Dadurch wurde die Fahrerkabine links stark deformiert. Die Fahrertüre konnte nicht mehr geöffnet werden. Trotzdem ist für den Fahrer ein genügend grosser Überlebensraum erhalten geblieben, so dass von einem geringen Verletzungsrisiko ausgegangen werden kann.

Die Hinterachse des gestossenen Lastwagens hat sich an den Betonelementen verhakt. In der Folge wurde linksseitig die Achsanbindung getrennt. Dabei wurde auch die Kardanwelle abgetrennt.

Abb. 25 Hinterachsaufhängung des gestossenen LKW's

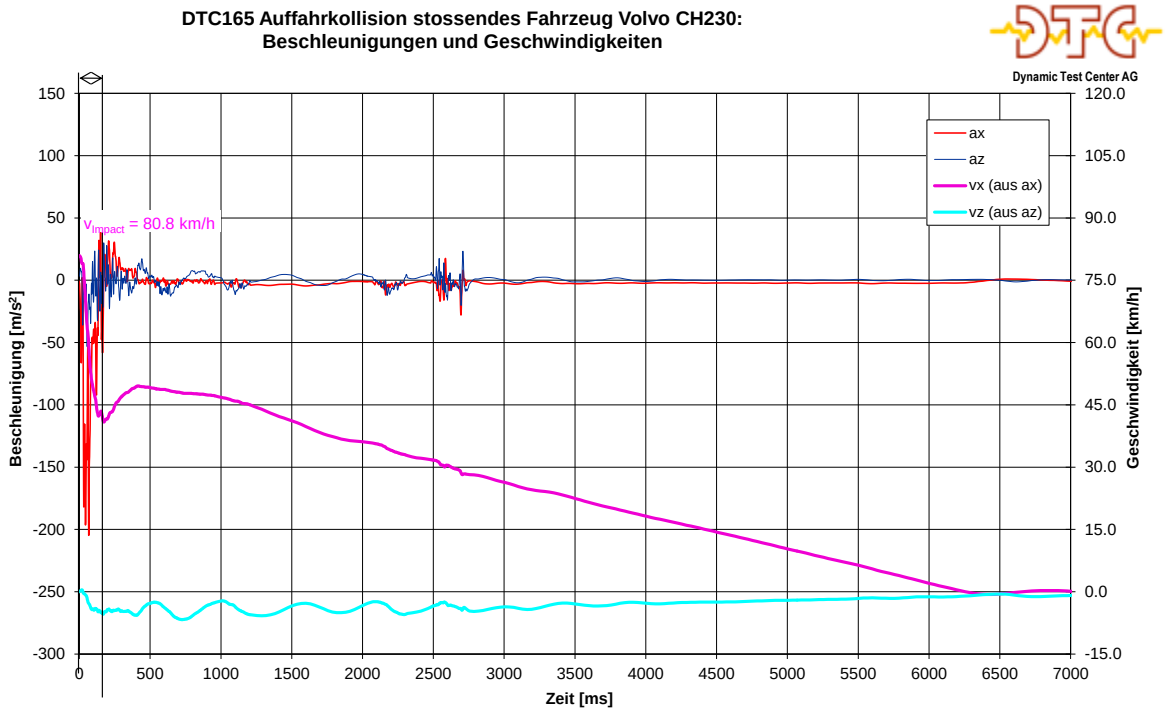
Das mobile Beton-Schutzplankensystem hat die Anprallenergie des Sekundäranpralls einerseits durch Verschieben der einzelnen 3.2 t schweren FIA-Jersey-Elemente und andererseits durch Dehnung der Kupplungen gut aufgenommen. Die ersten beiden Elemente wurden nicht verschoben. Das letzte der acht Elemente war seitlich um Systembreite verschoben.

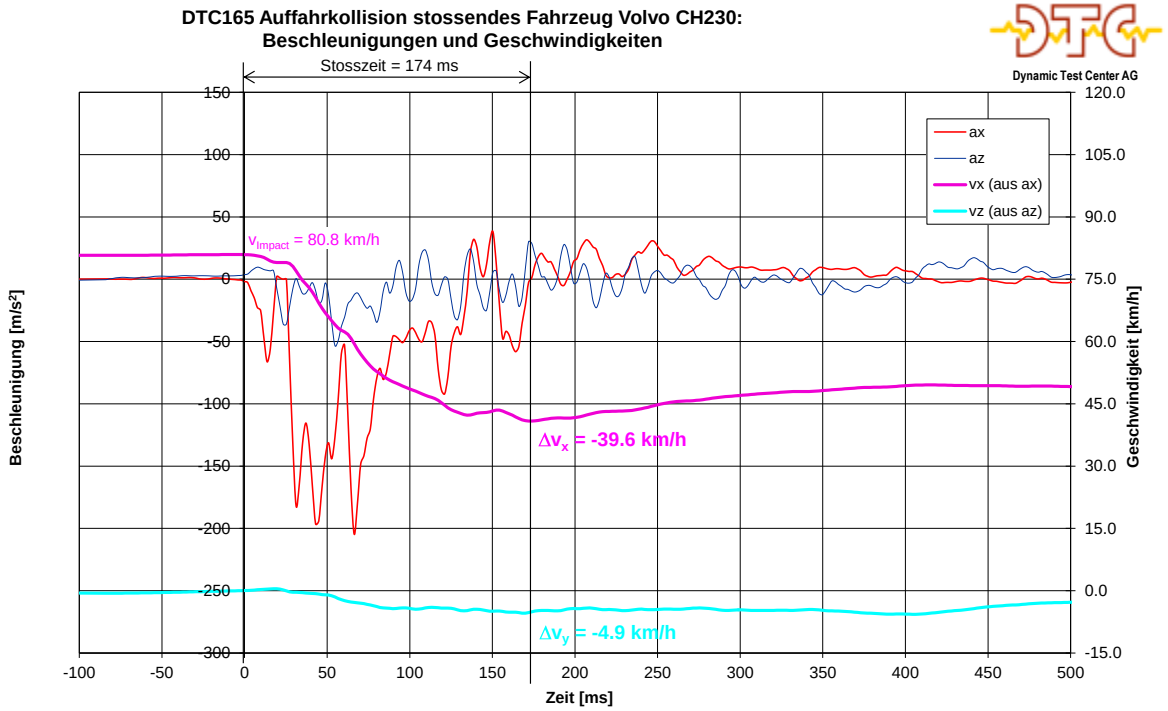
Abb. 26 Mobiles Beton-Schutzplankensystem

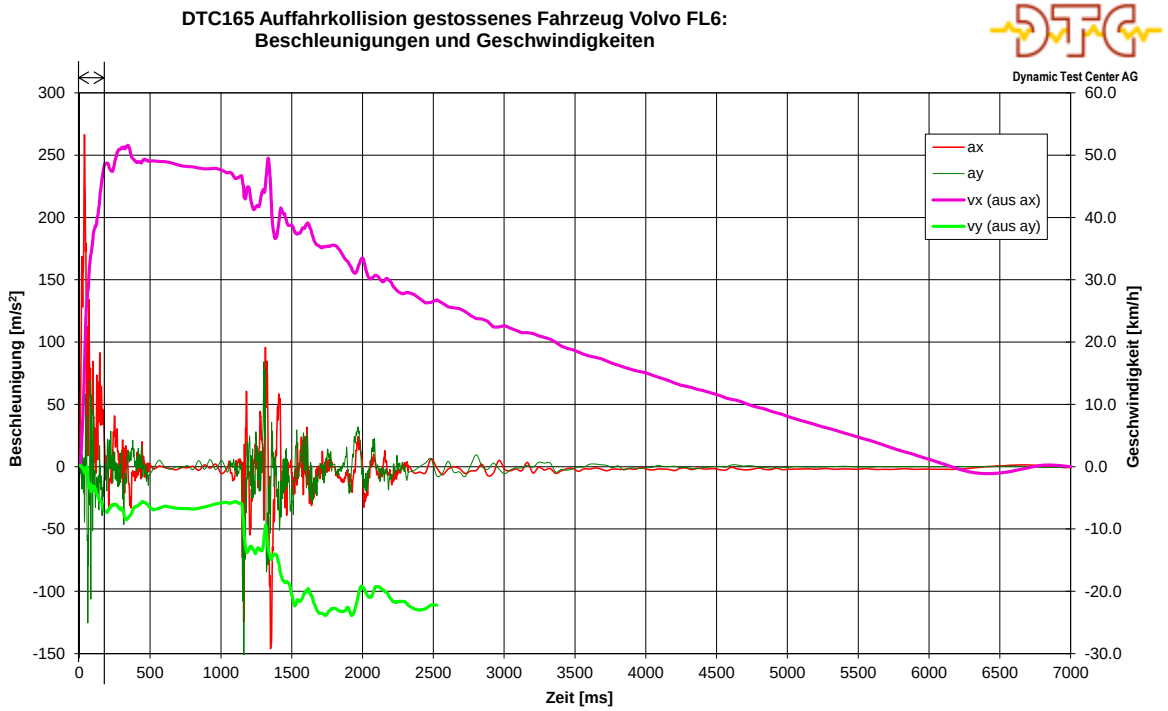
Für das Energiemanagement und der Möglichkeit für ein seitliches Verschieben der einzelnen Jersey-Elemente ist die Dehnbarkeit der Kupplungen entscheidend. Durch die Längendehnung der Kupplungen kann sich aber zwischen den einzelnen Elementen auch ein Versatz einstellen, an welchem schlussendlich das gestossene Fahrzeug mit dem linken Hinterrad angehängt hat. Stirnseitig sind deutlich Farbanriebspuren beider Fahrzeuge erkennbar.

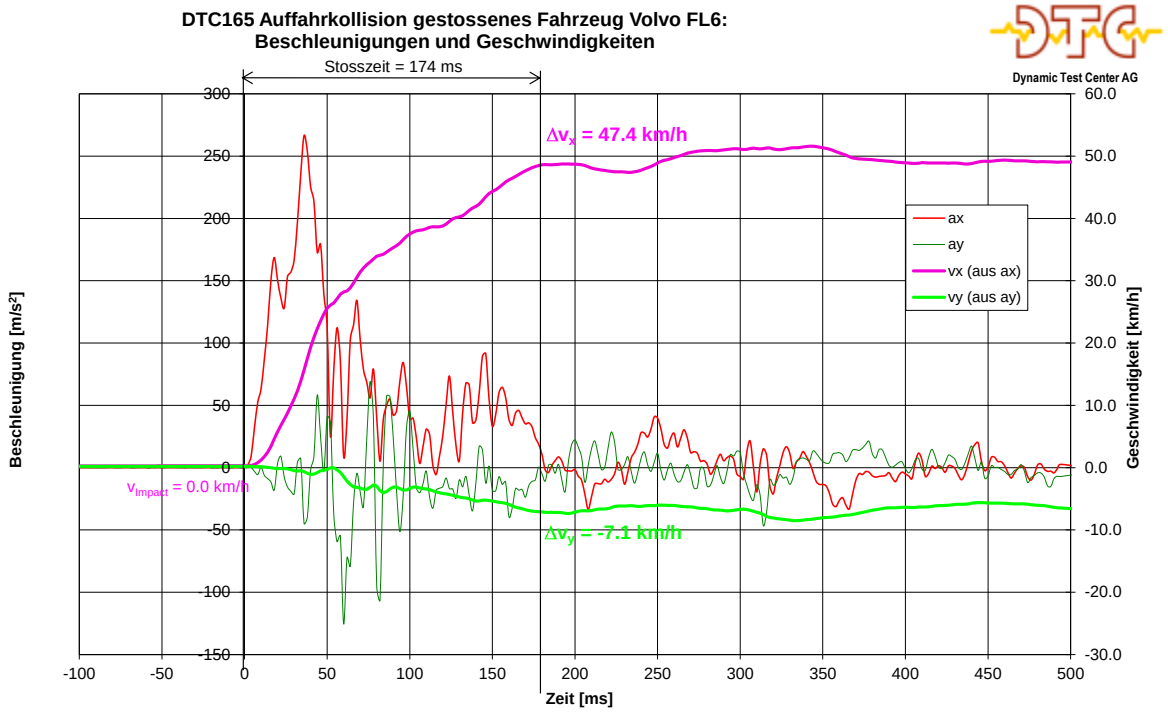
Abb. 27 Gedehnte Kupplung der Elemente des Beton-Schutzplankensystems

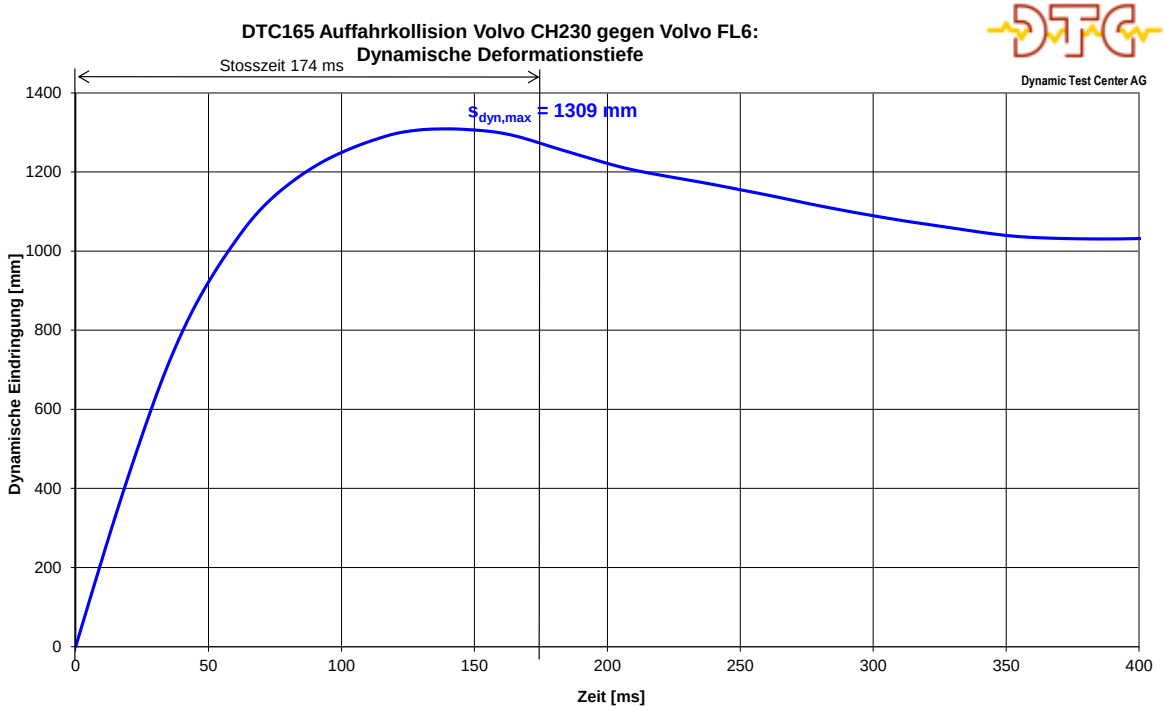
5.7 Diagramme






DTC165 Auffahrkollision gestossenes Fahrzeug Volvo FL6:
Beschleunigungen und Geschwindigkeiten
Dynamic Test Center AG
ax
ay
vx (aus ax)
vy (aus ay)
Beschleunigung [m/s²]
Geschwindigkeit [km/h]
Zeit [ms]


DTC165 Auffahrkollision gestossenes Fahrzeug Volvo FL6:
Beschleunigungen und Geschwindigkeiten
Dynamic Test Center AG
Stosszeit = 174 ms
Δvx = 47.4 km/h
vImpact = 0.0 km/h
Δvy = -7.1 km/h
ax
ay
vx (aus ax)
vy (aus ay)
Beschleunigung [m/s²]
Geschwindigkeit [km/h]
Zeit [ms]


DTC165 Auffahrkollision Volvo CH230 gegen Volvo FL6:
Dynamische Deformationstiefe
Stosszeit 174 ms
Dynamic Test Center AG
$s_{dyn,max}$ = 1309 mm
Dynamische Eindringung [mm]
Zeit [ms]
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
50
100
150
200
250
300
350
400