

Entwicklung und Umsetzung eines Abgleitmechanismus zur Erhöhung der Fahrzeugsicherheit

Wolfgang Schimpl¹, Gerhard Schönberger¹, Arno Eichberger²

¹Kompetenzzentrum Das virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH, Graz, Österreich

²MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & CO KG, Graz, Österreich

Abstract:

Vehicle safety is gaining an always more significant role for the marketing of a new vehicle. Consumer tests serve to reproduce realistic accident scenarios. A majority of the accidents bearing a high risk of injury and fatal consequences result from car to car crashes. Particularly, collisions with a small lateral offset ($<1/3$) lead to high deformations of the passenger survival space and high accelerations effecting the occupants [6].

In these cases, high intrusions are due to a lack of the activation of energy absorbing parts (longitudinal beam,...) and the wheels get stuck. This can result in a collapse of the passenger compartment, particularly, within the footroom of the driver. Such a scenario is not taken into consideration during standard car development.

By forming a sliding plane between the vehicles the intrusions and the loads on the occupants can be considerably reduced. Particularly, the velocities changes in driving direction are reduced to a minimum, due to the cars sliding along each other.

Solutions to this problem published to date can hardly be integrated into a serial production car. "Active Safety" solutions do exist, but cannot be implemented due to the legal situation and the necessary safety function of pre-crash sensor.

The problem can be solved by integrating a mechanical system within the bumper, which is activated by crash-energy (passive system). The requirements of the consumer tests (particularly pedestrian protection and bumper test) are to be kept.

Within the scope of a Kplus - research project the competence center "The virtual vehicle" works on the development of such systems in co-operation with MAGNA Steyr Fahrzeugtechnik and the Technical University of Graz.

Keywords:

Simulation, Frontalkollision, Abgleitkollision, Flexible Collision Deflector, Passives System

1 Einleitung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Problematik von PKW-PKW Gegenverkehrsunfällen im höheren Geschwindigkeitsbereich. Dabei soll der Fokus auf Unfälle mit geringer Überdeckung gelegt werden. Es wird ein System vorgestellt, das die Belastungen auf die Fahrzeuginsassen drastisch reduziert und die Anforderungen moderner Stoßfängersysteme nicht beeinflusst.

2 Überblick, Grundlagen

2.1 Unfallstatistik

Werden die verschiedenen Unfallstatistiken der letzten Jahre näher betrachtet, erkennt man, dass Begegnungsunfälle neben Alleinunfällen die Hauptursache für schwere Verletzungen bzw. tödlichem Ausgang sind [3].

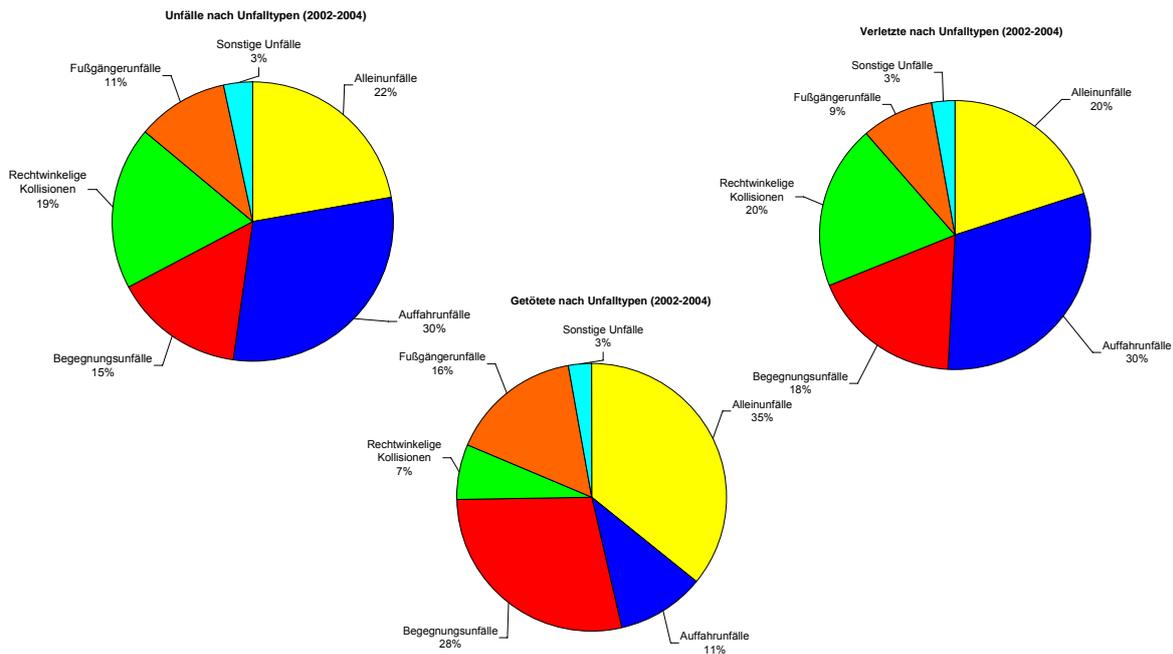


Bild 1: Unfallstatistik (Quelle: Statistik Austria)

Die Begegnungsunfälle können dabei in 3 Kategorien eingeteilt werden: geringe Überdeckung, Überdeckung bis 2/3 der Fahrzeugbreite und in voll überdeckt. Die Ausführungen von Stucki, Scheunert, Winkler [4,5,6] bestätigen (Bild 2), dass ein Großteil der Unfälle mit einer Überdeckung <1/3 auftreten.

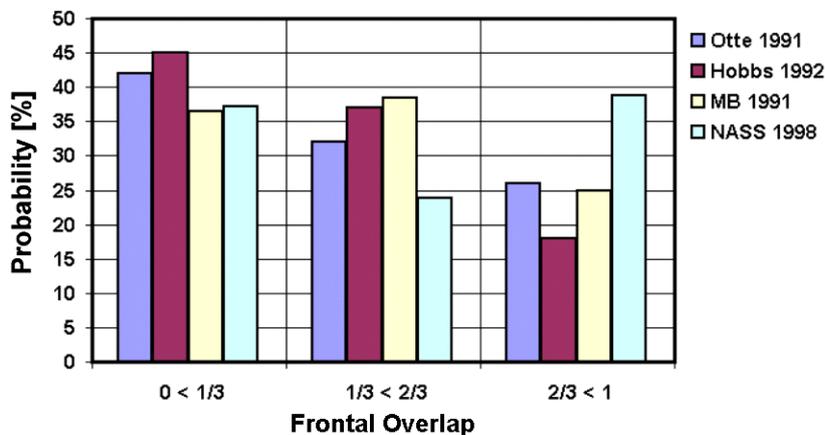


Bild 2: Unfallstatistik (Winkler 2001)

2.2 Grundlagen von Frontalkollisionen

Kommt es zu einer Kollision mit einem anderen Fahrzeug bzw. Hindernis, so kommen verschiedene Teile in der Vorderwagenstruktur zum Tragen, die kinetische Energie in Deformationsenergie umwandeln. Zuerst soll das Stoßfängersystem mit der Crashbox einen Teil der Energie aufnehmen. Durch die gesetzlichen Anforderungen hinsichtlich Fußgängerschutz und den verschiedenen Versicherungseinstufungstests (AZT [2], ...) ist man hier aber bei der Auslegung auf geringe Energieeinträge eingeschränkt. Die Längsträger sind das Hauptelement, die weiter Energie aufnehmen sollen, bis die gesamte Struktur mit Motor auf Block geht. Dieser „ideale“ Crashverlauf wird aber nur erzielt, solange der/die Längsträger betroffen ist/sind.

2.3 Gesetzliche Vorschriften und Verbraucherschutztests

Die derzeitigen Gesetze (bzw. Verbraucherschutztests) hinsichtlich Frontalcrash beruhen auf Kollisionsarten, die einen Überdeckungsgrad von 40% (EURO-NCAP, [10]) bzw. 100% (US-NCAP, [9]) aufweisen. Die hohe Anzahl von Realunfällen mit geringer Überdeckung wird durch diese Tests nicht abgedeckt. Es ist zu überlegen, ob nicht eine Vorschrift bezüglich dieses Lastfalls erarbeitet und in Zukunft für die Beurteilung der Fahrzeugsicherheit herangezogen werden soll.

2.4 Crashverlauf bei Kollisionen mit geringer Überdeckung

Kommt es zur Kollision, bei der die Längsträger nicht betroffen sind, so wird durch das Nichtvorhandensein von Deformationselementen zunächst keine kinetische Energie abgebaut. Erst beim Berühren der Reifen der Kollisionspartner und die daraus resultierende Verformung der Radaufhängung kommt es zu einer minimalen Verringerung der Geschwindigkeiten. Im weiteren Verlauf findet ein Verhaken der Felgen (-hörner) statt, wodurch diese gegen Schweller sowie Stirnwand gedrückt werden. Jener Vorgang hat hohe Intrusionen in den Fußraum zur Folge. Die hohe Verletzungswahrscheinlichkeit durch diese Kollisionsart wird durch Studien aus Realunfällen bestätigt[4,5,6]. Eine weitere Belastung auf die Fahrzeuginsassen ist die hohe Geschwindigkeitsänderung in Fahrtrichtung und die hohe Winkelbeschleunigung um die Hochachse, die bei einem Crash dieser Art auftritt.

2.5 Passive und aktive Ansätze

Die Problematik des Crashverhaltens bei Kollisionen mit geringer Überdeckung wurde bereits untersucht und verschiedene Lösungsmöglichkeiten vorgestellt.

Das Konzept von Zeidler [7] erfordert einen stabilen Diagonalträger und ausreichend Deformationsraum hinter den Radgeometrien, der bei vielen Fahrzeugdesigns nicht zur Verfügung steht. Der Vorschlag von Schimmelpfennig [8,11] betrifft eine massive Stoßstange, die beim Crash den Reifen schützt.

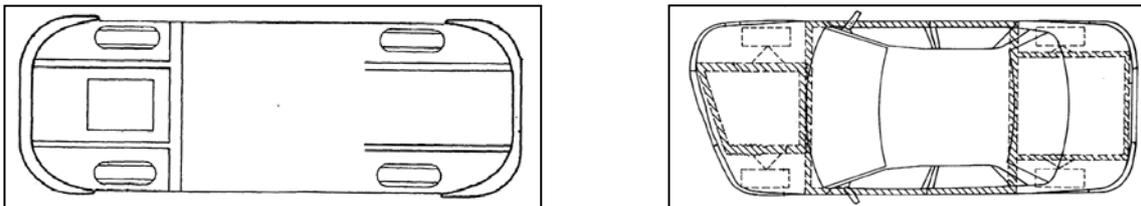


Bild 3: Stoßstangenkonzept nach Schimmelpfennig (Patent EP 0758597 B1)

Eine innovative Idee ist der „Positive Radeinschlag“ von Winkler und Zobel [6,13]. Dabei wird kurz vor der Kollision durch einen Aktuator in der Spurstange eine Radeindrehung des linken (rechten) Vorderrades bewerkstelligt. Dadurch können die Außenseiten der Felge als Abgleitebene fungieren und eine sonst verhakte Kollision in eine Abgleitkollision übergeführt werden. Für dieses System ist es aber notwendig, eine Pre-Crash Sensorik in das Fahrzeug zu integrieren, die unterscheiden muss, um welchen Lastfall es sich handelt. Nur für Kollisionen mit geringer Überdeckung soll die Sensorik grünes Licht für den Aktuator geben. Die Wirksamkeit dieses Systems wurde bereits in Prinzipversuchen nachgewiesen [14].

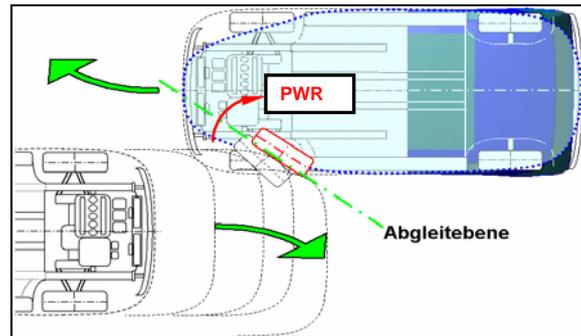


Bild 4: Positiver Radeinschlag nach Winkler (Winkler 2001)

Alle diese Ansätze zur Minimierung der Verletzungswahrscheinlichkeit hinsichtlich geringer Überdeckung sind nur schwer zu integrieren. Das Konzept von Schimmelpfennig ist mit dem Fahrzeugdesign der Gegenwart kaum vereinbar. Außerdem sind die gesetzlichen Anforderungen hinsichtlich des Fußgängerschutzes kritisch zu bewerten. Aktive Lösungen können aus produkthaftungstechnischen Gründen in Serienfahrzeuge derzeit kaum eingesetzt werden.

3 Neues Konzept: Flexible Collision Deflector (FCD)

Auf Basis des „Positiven Radeinschlages“ sollte nun in Brainstormings ein passives System entwickelt werden, um eine verhakte Kollision in eine Abgleitkollision überzuführen. Die gewonnenen Ideen wurden danach in eine Bewertungsmatrix eingefügt, die folgende Punkte umfasste:

- Funktion
- Einfluss auf das Fahrzeugdesign
- Konstruktion
- Einfluss auf die Fahrdynamik
- Einfluss auf derzeitige Crashtests
- Kosten
- Rechtliche Situation

Mit diesem Verfahren kristallisierten sich mehrere Favoriten heraus, die dann detailliert auf ihre Funktion und Umsetzbarkeit genauer untersucht wurden. Aufgrund des Ergebnisses der Nutzwertanalyse fiel die Entscheidung auf das hier näher beschriebene System „Flexible Collision Deflector“.

3.1 Aufbau

Der Flexible Collision Deflector besteht grundlegend aus folgenden Elementen:

- Abweiser
- Teleskop
- Koppelstange
- 2 Drehgelenken

Mit diesem Viergelenk ist es möglich, den Forderungen

- Integration in die Vorderwagenstruktur heutiger Fahrzeuge
- geringen Einfluss auf die Form (Design)

nachzukommen.

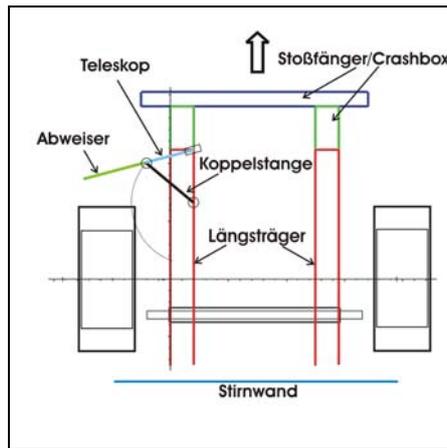


Bild 5: Aufbau des Flexible Collision Deflector

3.2 Kinematische Beschreibung

Durch die Kinematik ergibt sich eine Abweichung gegenüber der Kreisbahn des Punktes P und somit eine höhere seitliche Verschiebung. Die Bewegung kann als Funktion von φ wie folgt beschrieben werden:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{a - c \cdot \cos \varphi}{c \cdot \sin \varphi}\right) \tag{1}$$

$$b(\varphi) = \sqrt{a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos \varphi} \tag{2}$$

$$y_p = (d + b(\varphi)) \cdot \cos \alpha \tag{3}$$

$$x_p = a - (d + b(\varphi)) \cdot \sin \alpha \tag{4}$$

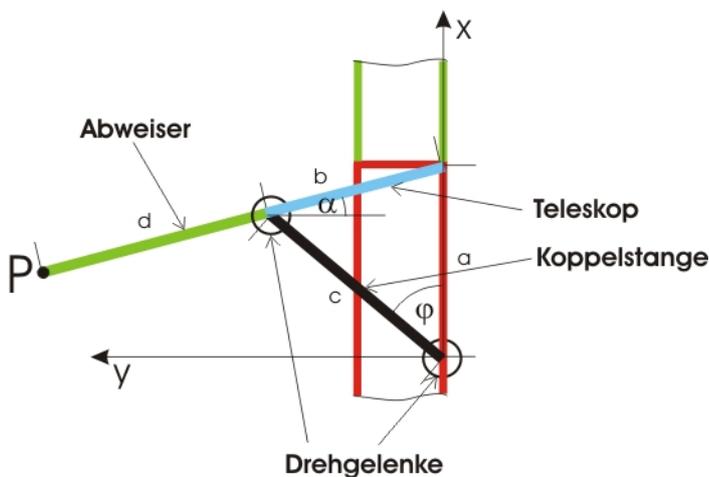


Bild 6: Kinematische Größen

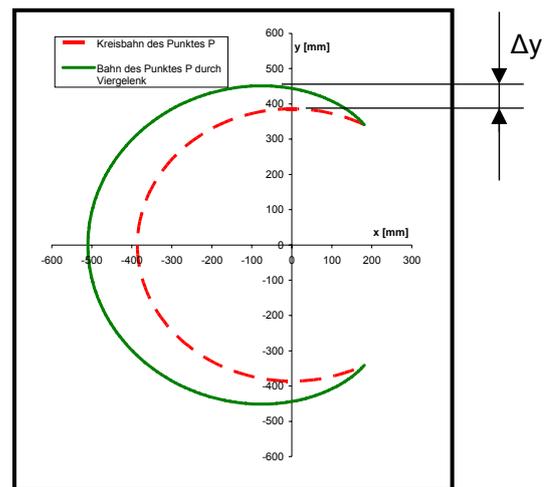


Bild 7: Bahnkurve des Punktes P

Im Fall von: $a=340\text{mm}$
 $c=310\text{mm}$

$\varphi_0=31^\circ$
 $d=200\text{mm}$

ergibt sich ein $\Delta y=60\text{mm}$.

3.3 Funktion

Das Bild 8 erläutert die Funktion des Flexible Collision Deflector. Bei Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug wird der Deflector mittels Reibschluss durch den Unfallpartner in lateraler Richtung herausgezogen. Dadurch umgreift der Deflector den Reifen und verhindert das Verhaken mit der Felge des anderen Fahrzeugs.

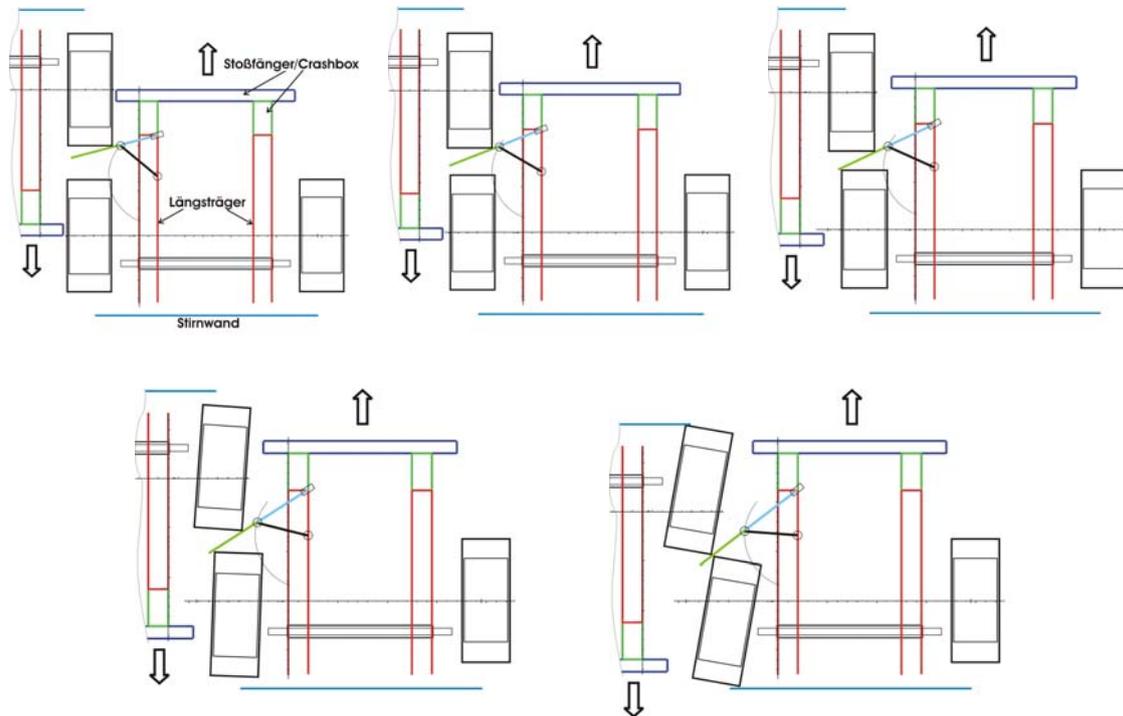


Bild 8: Funktion des Flexible Collision Deflector

Für praktische Umsetzung des Mechanismus wird das Teleskop durch ein Drehschubgelenk und einem verlängerten Deflector ersetzt. Das Drehschubgelenk wird dabei am Flansch zwischen Längsträger und Crashbox befestigt. Die Koppelstange, die über ein Drehgelenk mit dem Deflector verbunden ist, stützt sich am anderen Ende auf den Motor – Getriebe Verbund ab.

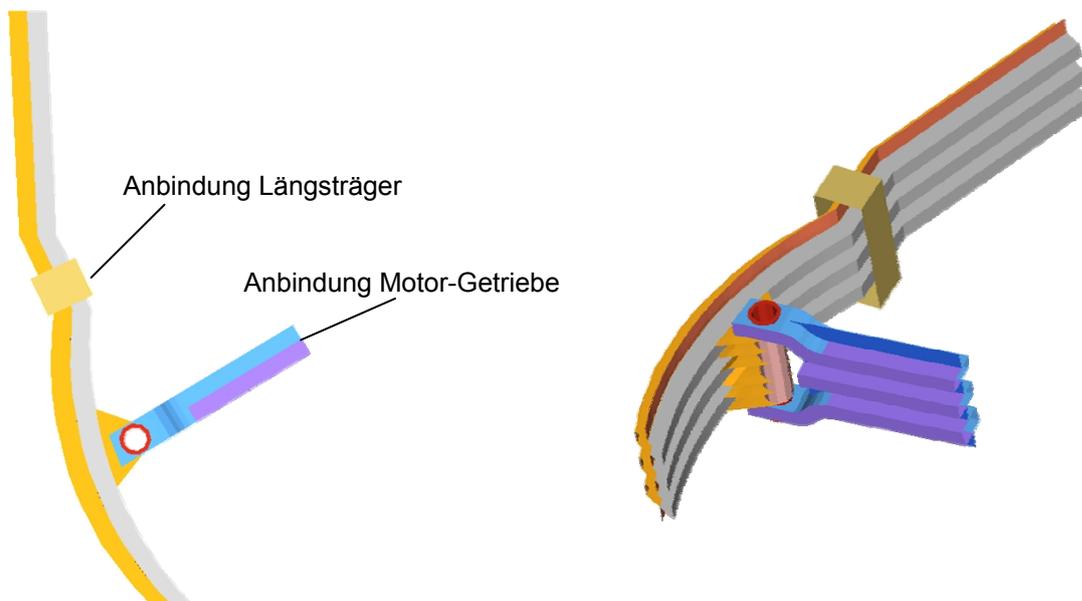


Bild 9: Funktion des Flexible Collision Deflector

4 Ergebnisse

Das System wurde sowohl in das frei verfügbare FE - Modell des Dodge Neon als auch in ein Serienfahrzeugmodell integriert. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen aus Geheimhaltungsgründen die Ergebnisse des Dodge Neon.

Dodge Neon:

Knoten-/Elementanzahl: 290000/280000 pro Fahrzeug
 Berechnungszeit: 28 Stunden bei Verwendung von 4CPU's

Serienfahrzeug:

Knoten-/Elementanzahl: 750000/8000000 pro Fahrzeug
 Berechnungszeit: 100 Stunden bei Verwendung von 4CPU's

Verwendete Simulationswerkzeuge und Hardware:

Pre- und Postprozessor: Altair Hyperworks 7.0
 Solver: LS-Dyna MPP 970
 Hardware: Linux-Cluster mit 34 CPU's

4.1 Car to Car Crash

Die Simulationen der verhakten Kollision zeigen auf, welche hohen Belastungen auf die Insassen wirken. Die relativ geringen Geschwindigkeiten (Gegenverkehrsunfall im Ortsgebiet) bestätigen, dass Handlungsbedarf hinsichtlich dieses Lastfalls gegeben ist.

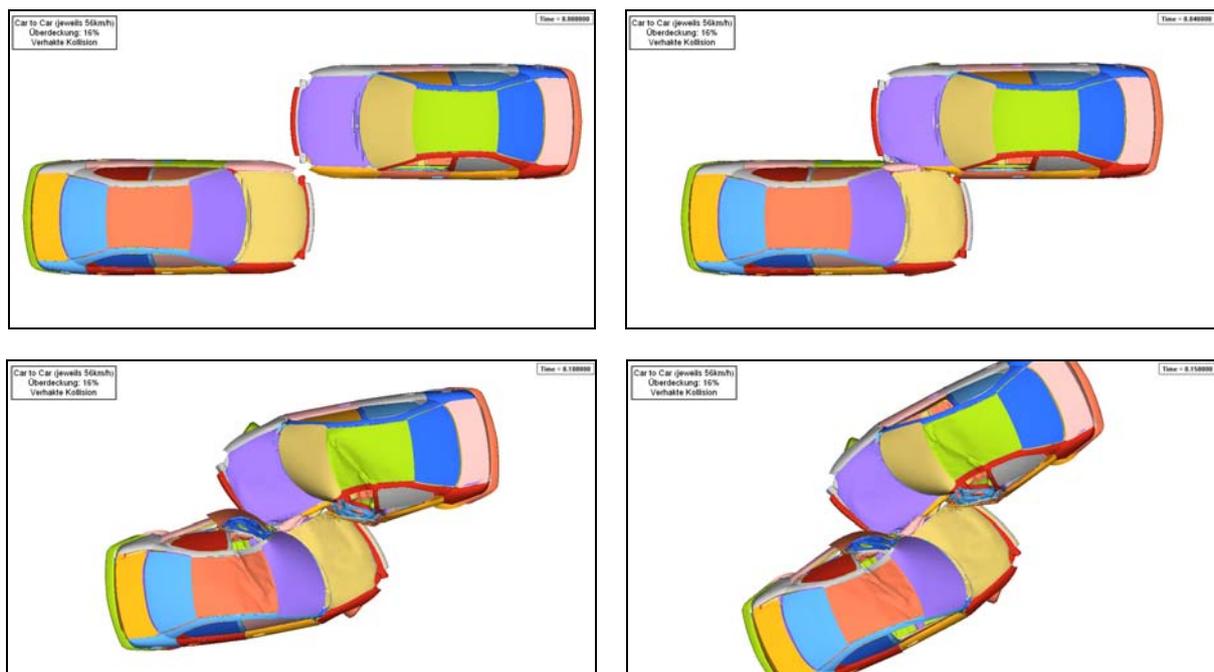


Bild 10: Kollisionsverlauf einer verhakten Kollision

Mit dem Einbau des Flexible Collision Deflector wird eine verhakete Kollision in eine Abgleitkollision übergeführt. Somit wird nur ein geringerer Teil der kinetischen Energie in Deformationsenergie umgewandelt.

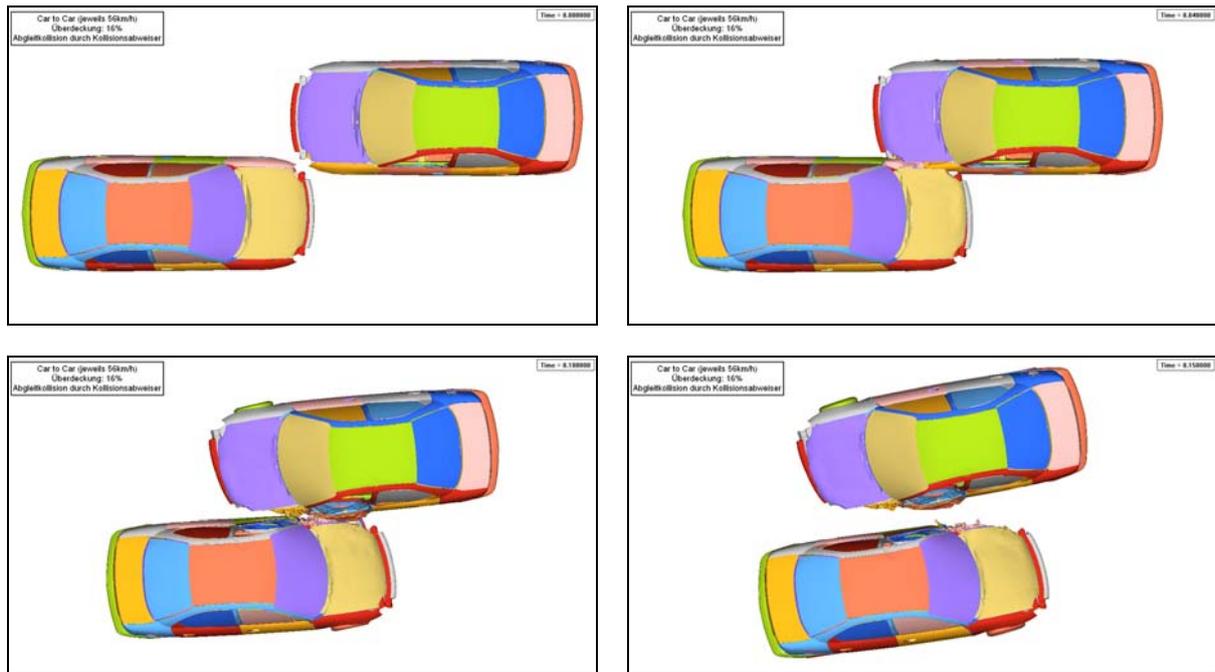


Bild 11: Kollisionsverlauf einer Abgleitkollision bewirkt durch Flexible Collision Deflector

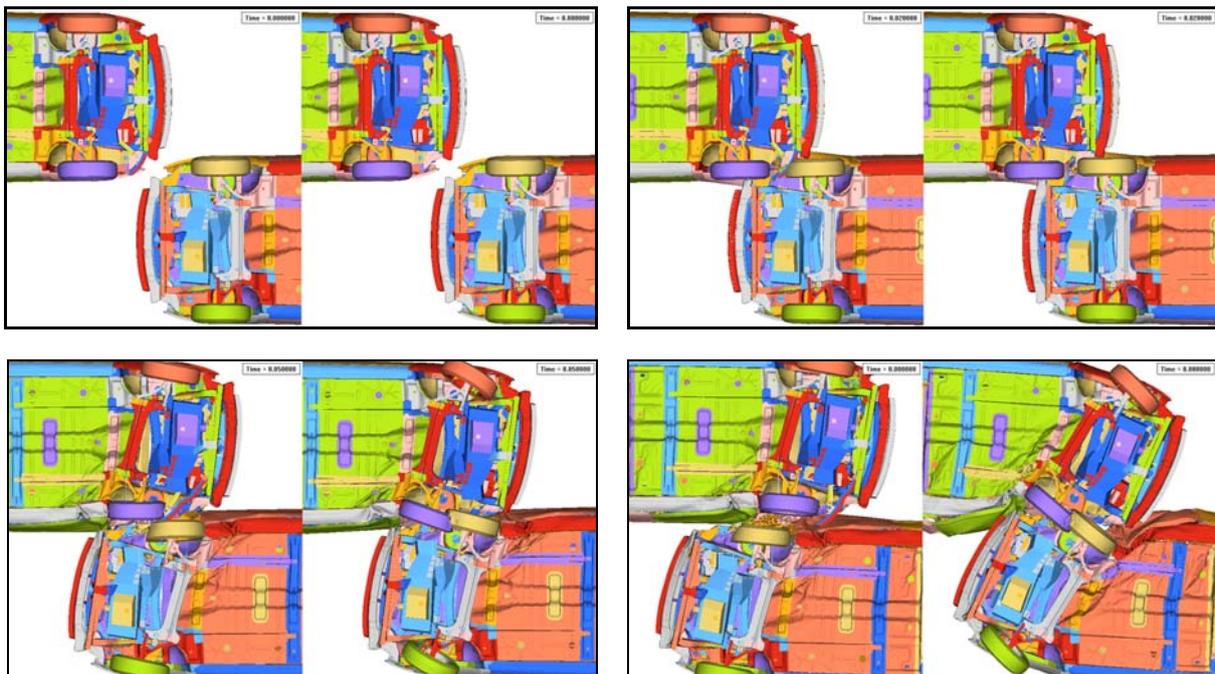


Bild 12: Vergleich Verhakte Kollision und Abgleitkollision

Aus dem Vergleich der Intrusionen im Überlebensraum (Stirnwand, Bodengruppe) bei einer verhakten Kollision und einer Abgleitkollision wird ersichtlich, welche Verbesserungen und damit Reduzierung der Belastungen möglich sind.

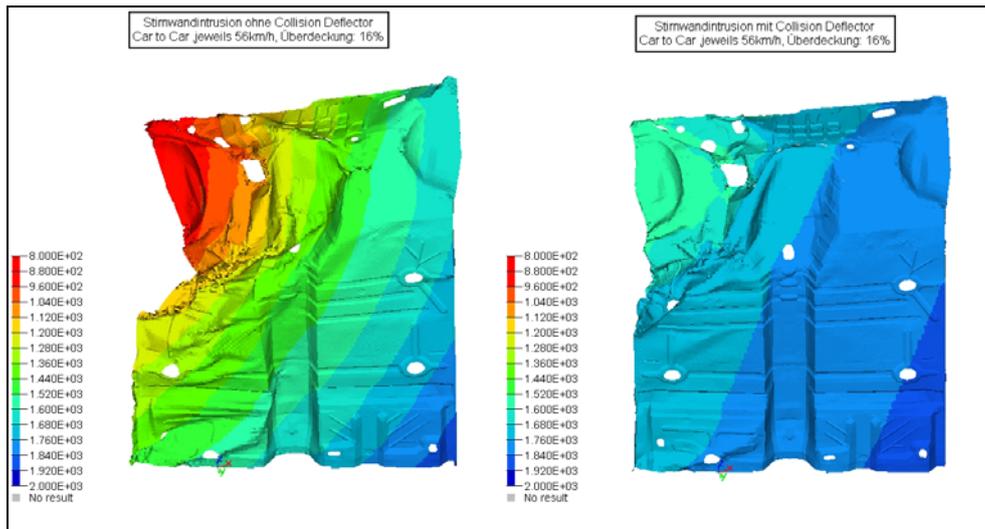


Bild 13: Vergleich der Intrusionen an der Stirnwand / Bodengruppe

Betrachtet man die Geschwindigkeitsänderungen im Bereich des Mittel隧nells, so erkennt man, dass die Maximalwerte in x- und y-Richtung beträchtlich (Reduktion: 50-70%) gesenkt werden können.

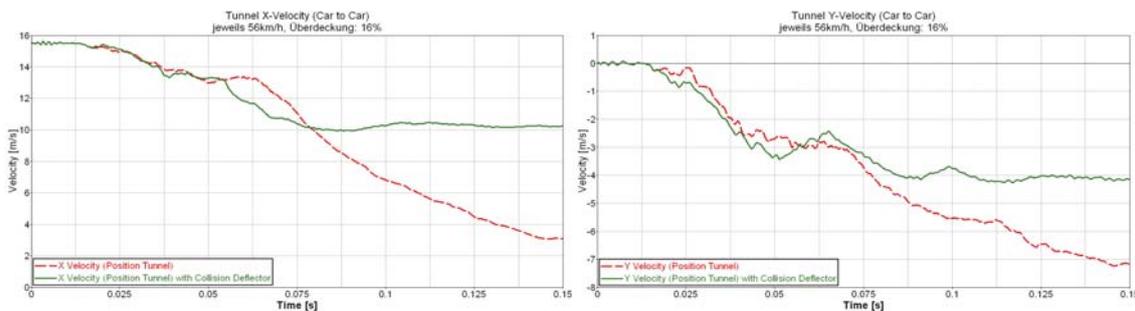


Bild 14: Vergleich der Geschwindigkeitsänderungen im Bereich Mittel隧nells

4.2 Einfluss auf Verbraucherschutztests

Keine Beeinflussung auf die derzeitigen Tests ist die Voraussetzung für die Einführung eines neuen Sicherheitsfeatures. Es werden die Auswirkungen durch den Flexible Collision Deflector auf den Euro- und US-NCAP Crashtest untersucht.

4.2.1 US-NCAP

Die Simulationen zeigen, dass die Intrusionen und Beschleunigungen in x-Richtung (Fahrtrichtung) nur an gewissen Positionen höher sind als bei der bisherigen Vorderwagenstruktur. In Längsrichtung gibt es eine minimale Erhöhung der Beschleunigungsspitzen, wobei keine nennenswerte Erhöhung der mittleren Beschleunigung zu erkennen ist.

Stirnwandintrusion:	Verschlechterung um ca. 30mm auf der Fahrerseite
Beschleunigungen:	Erhöhung um 5% in x-Richtung; keine nennenswerte in y-Richtung

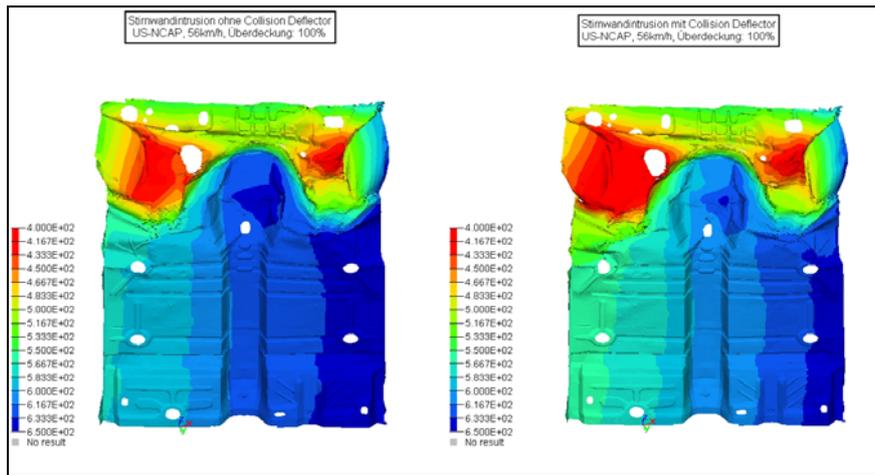


Bild 15: Vergleich der Intrusionen bei US-NCAP an der Stirnwand / Bodengruppe

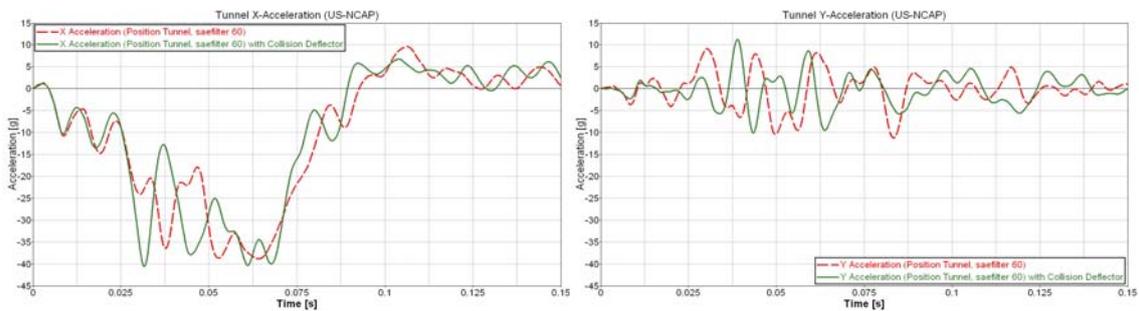


Bild 16: Auswirkungen auf den US-NCAP durch den Flexible Collision Deflector

4.2.2 Euro-NCAP

Bei 40% Überdeckung und deformierbarer Barriere gibt es größere Abweichungen bei den Intrusionen. Wie schon erwähnt, wurde die Anbindung des Drehschubgelenks sehr einfach gestaltet. (Starrkörper) Dadurch kommt es zu einer geringeren Faltung im vorderen Bereich des Längsträgers. Untersuchungen am Modell des Serienfahrzeuges bestätigen, dass die Intrusionen durch den Flexible Collision Deflector durch exaktere Modellierung der Anbindung nur einige Millimeter größer sind.

Stirwandintrusion: Verschlechterung um ca. 70mm auf der Fahrerseite
 Beschleunigungen: Erhöhung um 30% in x-Richtung; keine nennenswerte in y-Richtung

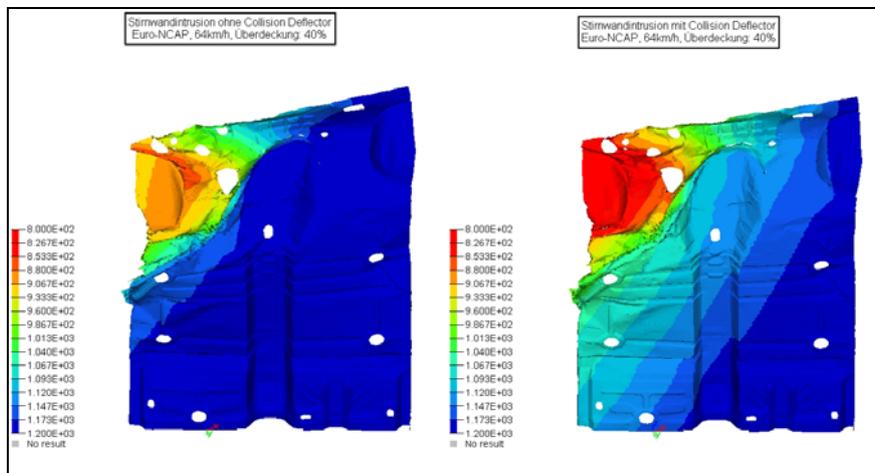


Bild 17: Vergleich der Intrusionen bei Euro-NCAP an der Stirnwand / Bodengruppe

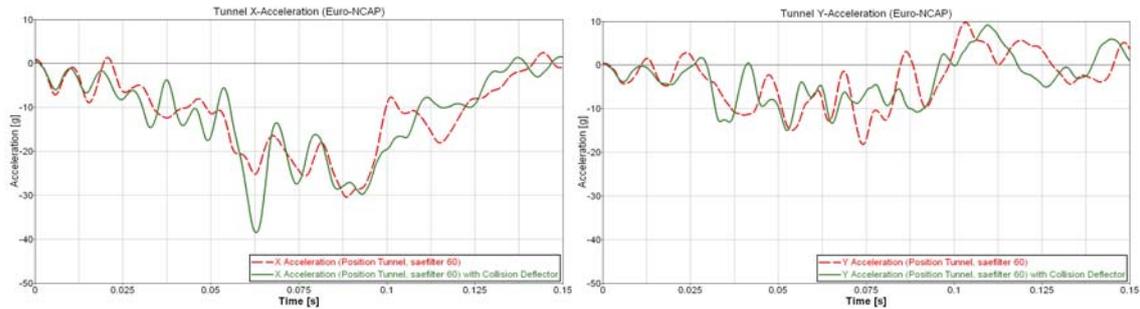


Bild 18: Auswirkungen auf den Euro-NCAP durch den Flexible Collision Deflector

5 Zusammenfassung - Ausblick

Mit dem Konzept Flexible Collision Deflector gelingt es, das Verletzungsrisiko der Fahrzeuginsassen bei einem Gegenverkehrsunfall stark zu reduzieren. Im virtuellen Crash wird das System bestätigt. Die Simulationen mit dem FE – Modell (validiert für Euro- und US-NCAP) des Serienfahrzeuges veranschaulichen, dass dieses für den Lastfall der geringen Überdeckung nicht ohne weiteres interpretierbar ist. Betrachtet man Bild 19, so ist klar, dass das Verhalten der Felge in der Realität anders aussehen könnte.

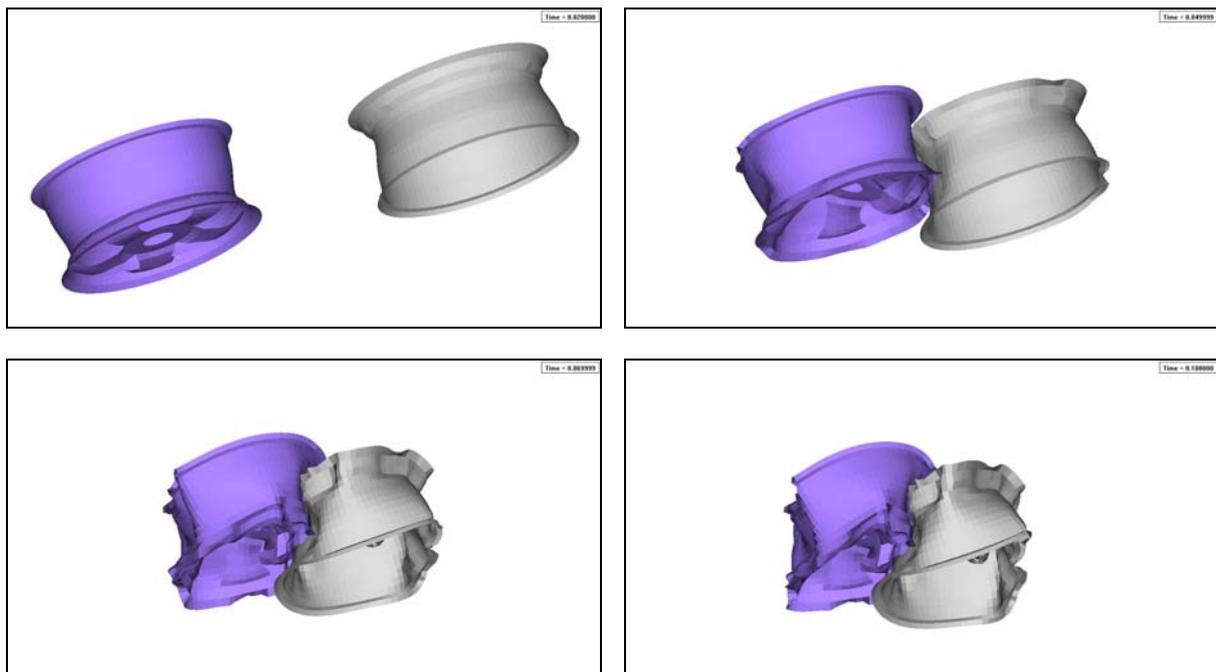


Bild 19: Felgendeformation bei einer verhakten Kollision (Modell eines Serienfahrzeuges)

Für die Funktion des Flexible Collision Deflector ist das Felgen-Reifenmodell von entscheidender Bedeutung, darum werden hierzu Prinzipversuche durchgeführt. Der IIHS – Seitencrashwagen wird so modifiziert, dass die Anbindung einer gesamten Radaufhängung eines Serienfahrzeuges möglich ist. Die Massenverteilung wird mittels Zusatzgewichten dem Serienfahrzeug angepasst. Zweck dieses Prinzipversuches ist die Validierung der Einheit Radaufhängung / Rad hinsichtlich des Lastfalles Frontalkollision mit geringer seitlicher Überdeckung.

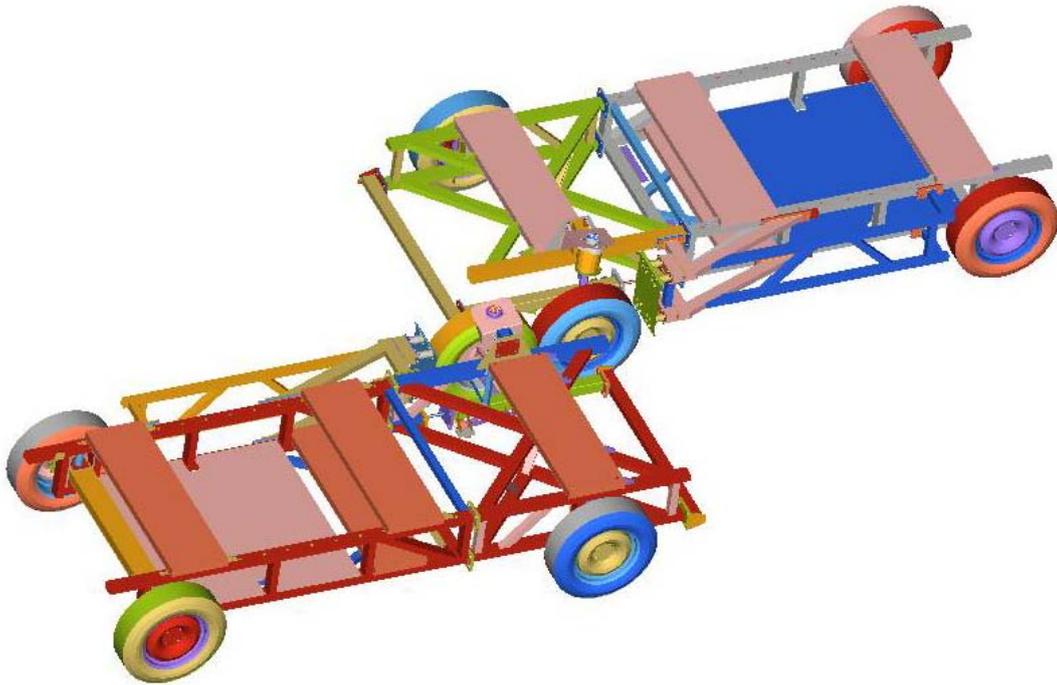


Bild 20: Prinzipversuch für die Validierung der Einheit Radaufhängung / Rad

Auf Basis der Ergebnisse wird das Modell überarbeitet und weitere Simulationen und Versuche mit dem Flexible Collision Deflector durchgeführt.

Die Ausführung des Drehgelenks und Drehschubgelenks sowie die Anbindung wurde im Simulationsmodell sehr einfach gestaltet. Eine detaillierte Konstruktion und Integration in das Serienfahrzeug ist ein weiterer Schritt in diesem Projekt. Die dazu nötigen Änderungen (besonders am Längsträger) dürfen dabei keinen Einfluss auf die Verbraucherschutztests nehmen.

6 Danksagung

Die Autoren danken dem K plus Kompetenzzentren-Programm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), das Land Steiermark, Stadt Graz, und die steirische Wirtschaftsförderungsgesellschaft mbH (SFG) für die finanzielle Unterstützung. MAGNA Steyr Fahrzeugtechnik spielt als Projektpartner eine wichtige Rolle. Der wissenschaftliche Bereich wird vom Vehicle Safety Institute Graz übernommen.

7 Literatur

- [1] Livermore Software Technology Corp.: „LS-Dyna Manual“, Version 970, 2003, Gesamtes Dokument
- [2] Redlich, J.: „Anforderungen an Stoßfängersysteme durch neue Versicherungscrashtests und Fußgängerschutz“, Stoßfängersysteme von Kraftfahrzeugen – Haus der Technik, 2005
- [3] Statistik Austria: „Straßenverkehrsunfälle 2002-2004“
- [4] Stucki, S.L., Hollowell, W.T., Fessahaie, O.: „Determination of Frontal Offset Test Conditions based on Crash Data“, Paper Number 98-S1-O-02, NASS/USA 1998
- [5] Scheunert, D., Justen, R., Herrmann, R., Zeidler, F., Decker, J., Kallina, I.: “What is a realistic frontal offset test procedure?”, Mercedes-Benz Sindelfingen/Germany - Accident Analysis and Prevention Vol. 26 No. 3, USA 1994
- [6] Winkler, St.: „Verbesserung des Kollisionsverhaltens von Fahrzeugen bei teilüberdeckten Frontalunfällen zur Reduktion der Insassenbelastung“, Dissertation TU Graz, 2001, Gesamtes Dokument
- [7] Zeidler, F.: „Die Analyse von Straßenverkehrsunfällen mit verletzten Pkw- Insassen unter besonderer Berücksichtigung von versetzten Frontalkollisionen mit Abgleiten der Fahrzeuge“ Dissertation TU Berlin, 1982
- [8] Schimmelpfennig K.: „Sicherheitsstoßstange für Personenkraftwagen“, Patent EP 0758597 B1
- [9] US - New Car Assessment Program: <http://www.nhtsa.gov/>
- [10] Euro - New Car Assessment Program: <http://www.euroncap.com/>
- [11] Österreichisches Patentamt: <http://at.espacenet.com>
- [12] Altair Engineering: <http://www.altair.de/>
- [13] Zobel, R., Volkswagen AG: „Sicherheitseinrichtung an einem Fahrzeug zum Schutz von Fahrzeuginsassen bei einer Frontalkollision“, Offenlegungsschrift DE 10113098 A1, 2001
- [14] DSD: „Versuche zu Sliding Collision“, 2002

