

# Neue Crashtestkonfiguration für Kollisionen mit geringer seitlicher Überdeckung

Wolfgang Schimpl

Kompetenzzentrum Das virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH, Graz, Österreich

## **Abstract:**

This paper investigates the possibilities of emulating car to car crashes with small lateral offsets by means of a simpler single vehicle crash test. By analyzing existing accident databases for accidents with small lateral offsets, a representative car to car testing configuration (Closing Speed, lateral offset, impact angle) is derived. The obtained parameters are used as input parameters for a FEM simulation model. The simulation results (deformation energy, yawing angle and rate, contact forces...) form the basis for the development of a single vehicle test. Different design ideas are validated by means of simulation and compared amongst each other. The goal is to obtain a simple, low cost testing configuration for small lateral offsets, that has the same effect on the vehicle as a head on car to car crash with small lateral offset.

## **Keywords:**

Neuer Crashtest, geringe seitliche Überdeckung, Barriere, Simulation, Ersatzversuch

### 1 Einleitung

Die Anforderungen heutiger Fahrzeuge im Bereich der Fahrzeugsicherheit werden hauptsächlich durch die Verbraucherschutztests Euro-NCAP, US-NCAP und IIHS vorgegeben. Speziell im Frontalcrash sind die gesetzlich definierten Testkonstellationen sehr unterschiedlich. Dadurch, dass bei den Tests immer mindestens ein Fahrzeuglängsträger betroffen ist, kann ein großer Teil der kinetischen Energie in Deformationsenergie umgewandelt werden kann. Bei Kollisionen mit geringer seitlicher Überdeckung sind solche Energieabsorptionselemente nicht vorhanden, sodass es meist zu großen Deformationen, die zu schweren Verletzungen führen können, kommt. Durch den Einsatz von passiven und aktiven Sicherheitssystemen können diese Auswirkungen auf die Insassen beträchtlich vermindert werden. Für die Überprüfung solcher Systeme ist ein geeigneter Crashtest notwendig.

### 2 Statistik – Datenbanken

Verschiedene Publikationen bzw. Statistiken zeigen, dass der Großteil aller verletzten Insassen herrührt, wenn die eigene Fahrzeugfront betroffen ist. Wenn man den Kollisionstyp Frontalaufprall betrachtet, werden nach [1] ca. 50% der angegurteten Frontpassagiere verletzt. Berücksichtigt man nur die PKW – PKW – Frontalkollisionen, so sind dies etwa 11% aller verletzten angegurteten Frontinsassen (7% aller verletzten Insassen).

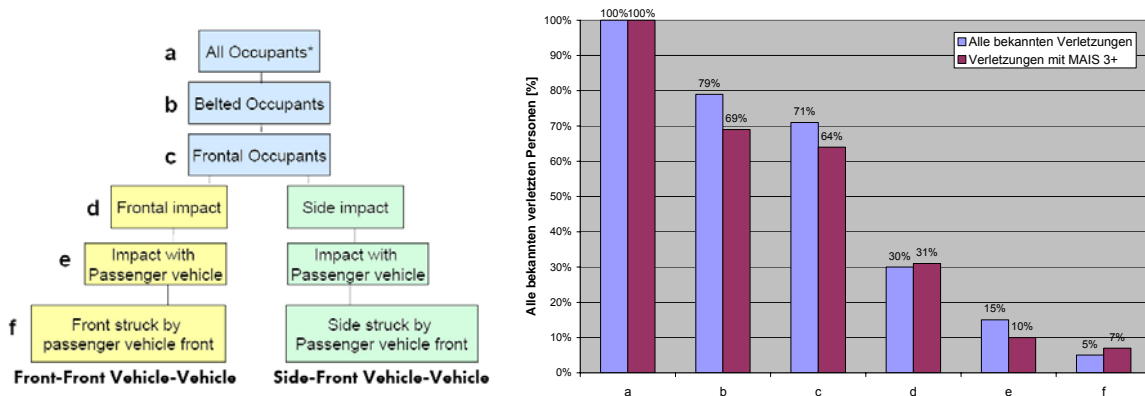


Abbildung 1: Unfalldatenanalyse der GIDAS [1]

Durch Rekonstruktionen von Realunfällen und einer GIDAS – Datenbank Auswertung konnte in einer Arbeit ([2], [3]) eine repräsentative Konfiguration ermittelt werden. Untersucht man ausschließlich Fahrzeug – Fahrzeug – Frontalkollisionen mit geringer seitlicher Überdeckung so ergibt sich folgendes Bild:

Bezeichnung	Wert
Seitliche Überdeckung	17%
Annäherungsgeschwindigkeit	112 km/h (2*56 km/h)
Aufprallwinkel	0°

Tabelle 1: Testkonfiguration für geringe Überdeckungen [2]

Mit diesen Erkenntnissen wurde eine Reihe von FEM - Simulationen durchgeführt, um eine geeignete Barriere, die ein ähnliches Deformationsbild verglichen mit einer Fahrzeug – Fahrzeug – Kollision bewirkt, zu erhalten.

### 3 Derzeitige und mögliche zukünftige Frontcrash – Barrieren

Der Schutz der Insassen bei einem Frontalaufprall mit einer Überdeckung von 40% wird mittels der Barriere nach ECE R94 überprüft. Diese Barriere soll die Steifigkeit eines durchschnittlichen Unfallpartners darstellen. Durch die stetige Erhöhung des Eigengewichtes müssen die Fahrzeuge eine höhere Steifigkeit aufweisen, um den Test zu bestehen. Grund ist die begrenzte Energieaufnahme der Barriere.

Folgende kurze Rechnung verdeutlicht das Problem der Kompatibilität hinsichtlich Masse und Steifigkeit eines Fahrzeuges:

Energieaufnahme einer Barriere (40% Überdeckung):

$$E_{\text{Deform-Barriere}} = \text{ca. } 80 \text{ kJ} \quad (1)$$

Mit folgenden Fahrzeugdaten bzw. Randbedingungen

$$\begin{array}{ll} \text{Fahrzeugmassen:} & m_1 = m_2 = 1200 \text{ kg} \\ \text{Geschwindigkeit:} & v_1 = v_2 = 56 \text{ km/h} \end{array}$$

berechnet sich die Anfangsenergie (kinetische Energie) mit

$$E_{\text{Kin-Preocrash}} = \frac{m * v^2}{2} = \frac{1200 * 56^2}{2 * 3,6^2} = 145 \text{ kJ pro Fahrzeug} \quad (2)$$

Mit Hilfe der Simulation ergibt sich eine umgesetzte Deformationsenergie bei einer Fahrzeug – Fahrzeug – Kollision (40% Überdeckung):

$$E_{\text{Deform-Fzg}} = 110 \text{ kJ pro Fahrzeug} \quad (3)$$

Der restliche Teil der Energie setzt sich aus der restlichen kinetischen Energie (Rebound) und beim Crash auftretende Reibungsenergie zusammen:

$$E_{\text{Rebound+Reibung}} = E_{\text{Kin-Preocrash}} - E_{\text{Deform-Fzg}} = 35 \text{ kJ (24\% der Anfangsenergie)} \quad (4)$$

In diesem Fall wird bei einer Fahrzeug – Fahrzeug – Kollision etwas mehr Deformationsenergie (pro Fahrzeug) umgesetzt als eine Barriere aufnimmt.

Im Falle des Crashtests nach Euro-NCAP (64km/h, 40% Überdeckung) beträgt die Anfangsenergie

$$E_{\text{Kin-Preocrash, Euro-NCAP}} = 189 \text{ kJ} .$$

Daraus resultiert für das Fahrzeug aufzunehmende Energie (inkl. Rebound und Reibungsenergie)

$$E_{\text{Deform-Fzg(inkl. Rebound, Reibung)}} = E_{\text{Kin-Preocrash, Euro-NCAP}} - E_{\text{Deform-Barriere}} = 109 \text{ kJ} \quad (5)$$

Bei einem Fahrzeug höherer Masse ( $m = 2000 \text{ kg}$ ) ergibt sich

$$E_{\text{Kin-Preocrash, Euro-NCAP, 2000}} = 316 \text{ kJ} .$$

$$E_{\text{Deform-Fzg(inkl. Rebound, Reibung), 2000}} = E_{\text{Kin-Preocrash, Euro-NCAP, 2000}} - E_{\text{Deform-Barriere}} = 236 \text{ kJ} \quad (6)$$

Mit der Annahme, dass der prozentuale Anteil des Rebounds und Reibungsenergie bei beiden Fahrzeugen etwa gleich ist, erkennt man, dass das schwerere Fahrzeug die doppelte Energie (vergleiche (5) und (6)) aufnehmen muss. Da sich die Vorderwagenlängen bei diesen Fahrzeugen nur um ca. 15% unterscheiden, ist eine höhere mittlere Kraft (Steifigkeit, siehe (7)) des schwereren PKW's nötig.

$$E_{\text{Deform-Fzg}} = F_{\text{mittel}} * x_{\text{Verformung}}$$

$$E_{\text{Deform-Fzg, 2000}} = F_{\text{mittel, 2000}} * x_{\text{Verformung}} * 1,15 \quad ( \longrightarrow 15\% \text{ längerer Vorderwagen) }$$

$$E_{\text{Deform-Fzg, 2000}} \approx 2 * E_{\text{Deform-Fzg}}$$

$$\frac{F_{\text{Mittel, 2000}}}{F_{\text{Mittel}}} = 1,74 \quad (7)$$

Diese Ausführung zeigt die Problematik hinsichtlich Partnerschutzes.

Die im Anschluss angeführten Barrieretypen sind mögliche neue Ansätze, die Kompatibilität (Massenunterschied, Steifigkeitsunterschied und Geometrieunterschied) von Fahrzeugen zu überprüfen. Derzeit gibt es noch keine Aussage in welche Richtung die Tendenz geht, alles ist noch offen (siehe dazu VC-Comp EU-Projekt, [4]).

Die Überprüfung der Struktur bei Frontalkollisionen mit geringer seitlicher Überdeckung wird derzeit in keinem neuen Test in Betracht gezogen.

### 3.1 Full Width Deformable Barrier (FWDB, [4,5,6])

Eine Testmethode, die zur Bewertung der Kompatibilität in Frage kommen könnte, ist die Kollision mit der gesamten Fahrzeugbreite gegen eine Kraftmesswand mit verformbaren Elementen (ALU-Waben). Mit Hilfe dieser Messung ist es möglich, die Steifigkeitsverteilung über die gesamte Fahrzeugbreite zu ermitteln. Ziel ist es, eine möglichst homogene Kraftverteilung beim Crash zu erhalten, um so die Kompatibilität zwischen Fahrzeugen verschiedenen Typs (z.B. Mini-Van und SUV) zu verbessern.

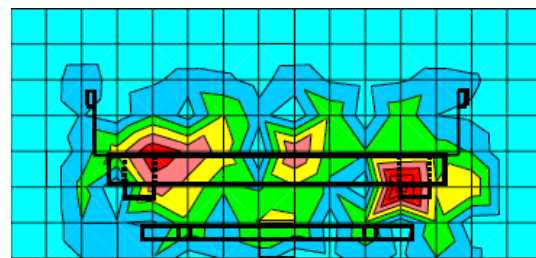


Abbildung 2: Full Width Deformable Barrier (Aufbau und Verlauf der maximalen Kraftverteilung hinter dem Verformungselement) [4]

### 3.2 Progressive Deformable Barrier (PDB [4,5,6])

In diesem Fall soll das Fahrzeug gegen eine deformierbare Barriere mit einer seitlichen Überdeckung von 50% bewegt werden. Im Gegensatz zu den bei der bestehenden ECE R94 Barriere verwendeten Aluminium-Honeycomb Materialien weist diese keine konstante Steifigkeit über dem Weg auf. Im Fall dieser Barriere ist es das Ziel, den Test massenunabhängig zu gestalten, um dem Problem der höheren Steifigkeit bei schwereren Fahrzeugen entgegen zu wirken.

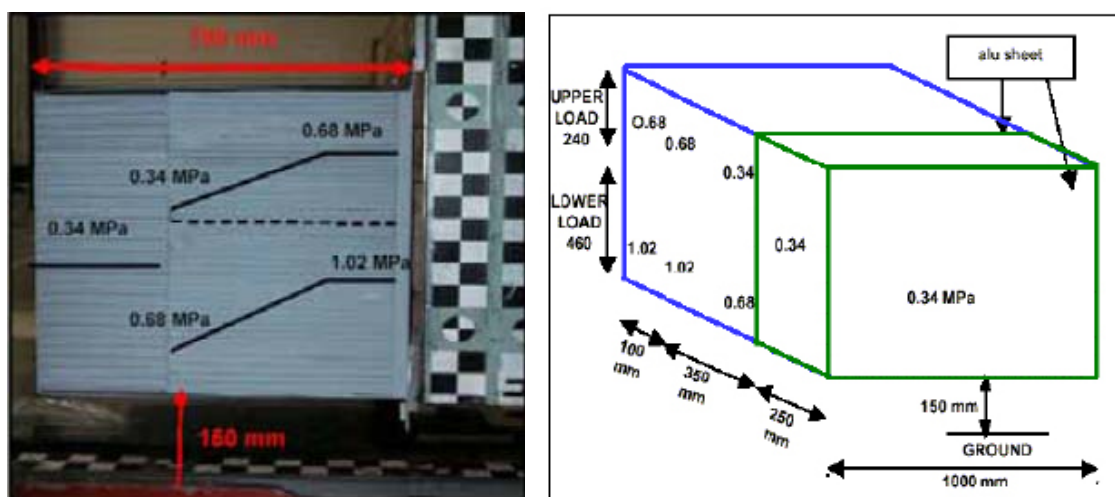


Abbildung 3: Progressive Deformable Barrier [4]

## 4 Vorgehen

Die in Kapitel 2 angeführte Konfiguration wird als Basis für einen neuen Crashtest herangezogen. Ziel ist es, eine möglichst einfache Barriere zu entwickeln um kostenintensive Fahrzeug – Fahrzeug – Tests zu vermeiden. Die Überdeckung bzw. der Aufprallwinkel wird für alle Tests konstant gehalten. Die Anprallgeschwindigkeit wird abhängig vom Barrierentyp so variiert, dass die gleichen Deformationsenergien am Fahrzeug auftreten. Weiters werden die kinetische Energie, Geschwindigkeitsänderungen am Fahrzeug, Kontaktkräfte und Gierwinkel zwischen den Simulationen verglichen.

Als Simulationsmodelle dienen einerseits das frei verfügbare FEM – Modell des Dodge Neon und andererseits ein Modell aus dem Oberklassensegment (Fzg\_B). Diese beiden Fahrzeuge wurden deswegen ausgewählt, da sie einen beträchtlichen Massenunterschied ( $m_{\text{Neon}} = 1200\text{kg}$ ,  $m_{\text{Fzg}_B} = 2100\text{kg}$ ) aufweisen.

### 4.1 Fahrzeug – Fahrzeug – Kollision

Als Ausgangsbasis für alle Berechnungen dient die Simulation einer Fahrzeug – Fahrzeug – Kollision mit geringer seitlicher Überdeckung.

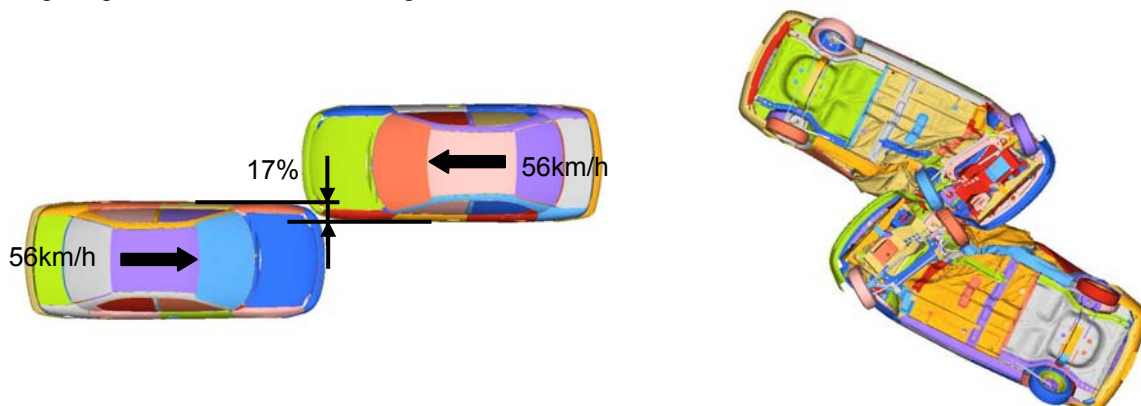


Abbildung 4: Fahrzeug - Fahrzeug - Kollision (Pre- und Postcrash)

### 4.2 Starre Barriere

Bei diesem Aufbau handelt es sich um einen starren Block, der kollisionsseitig eine Abrundung mit einem Radius von 50mm aufweist. Der Vorteil liegt im einfachen Aufbau und der geringen Anprallgeschwindigkeit. Die typische Verhakung der Felgen kann bei dieser Konstellation nicht nachgebildet werden. Ein weiterer Nachteil ist das „Einschneiden“ der Barriere in das Fahrzeug, da der Radius relativ klein ist. Bei Erhöhung des Radius kommt es wegen der geringen Überdeckung zu einer nicht gewünschten Abgleitkollision.

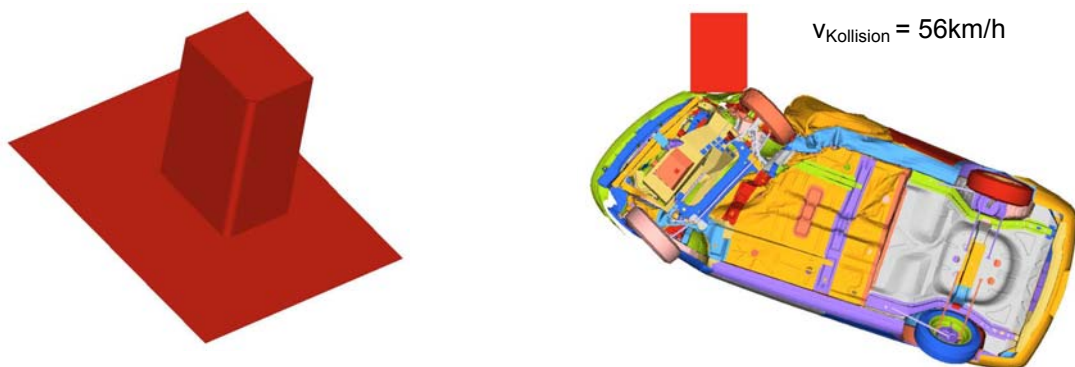


Abbildung 5: Aufbau und Postcrash: Starre Barriere

### 4.3 Starre Felgenanbindung

Um eine bessere Nachbildung der Verhakung zu erhalten, ist nun die Idee, ein Rad an eine Konstruktion anzubinden, die als annähernd starr angenommen werden kann. Dabei wird das Radmodell vom Fahrzeug übernommen. Auch hier kann der relativ einfache Aufbau und die geringe Anprallgeschwindigkeit als Vorteil genannt werden. Das Problem stellt hier das genaue Verhalten der Felge dar. Wie in Abbildung 6 rechts ersichtlich, knickt die Felge in die falsche Richtung verglichen mit einer Car to Car Kollision. Weiters ist eine genaue Definition der Reifen- bzw. Felgendaten bei einem Zertifikationstests notwendig (Dimension, Material,...).

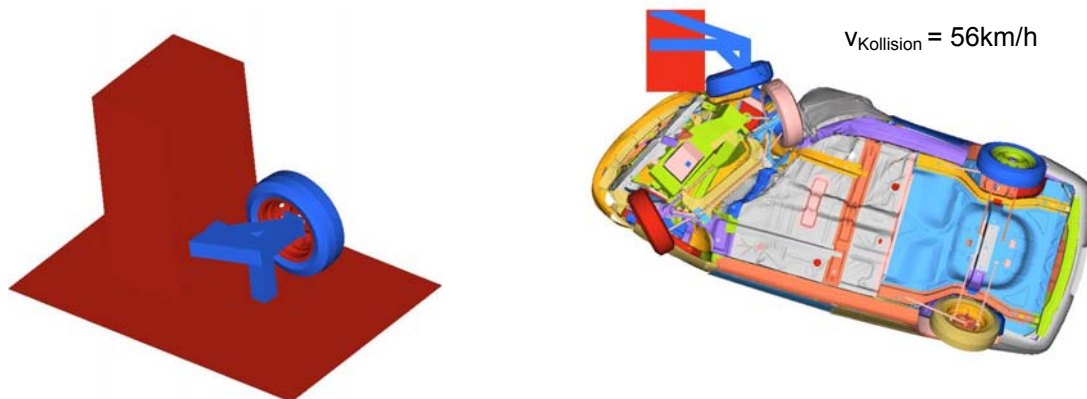


Abbildung 6: Aufbau und Postcrash: Starre Felgenanbindung

### 4.4 Honeycombstruktur mit Hohlprofilkonstruktion

Da das Verhalten der Felge bei einer starren Anbindung schwer vorausgesagt werden kann (Ausknicken der Felge in falsche Richtung), kann durch eine Hohlprofilkonstruktion (angebunden an einer starren Wand, definierter Knickpunkt durch Vorschädigung) die Aufhängung abgebildet werden. Weiters soll eine dahinter liegende Wabenstruktur die Zone Stirnwand / Schweller darstellen. Vorteilhaft bei diesem Aufbau ist eine mögliche Variation der Steifigkeit des „Unfallpartners“ (Variierung der Wandstärke des Hohlprofils, Änderung des Honeycomb-Materials). Gegen diesen Vorschlag spricht der aufwendige Aufbau und das gleiche Problem hinsichtlich Reifen- und Felgendefinition wie in Kapitel 4.3.

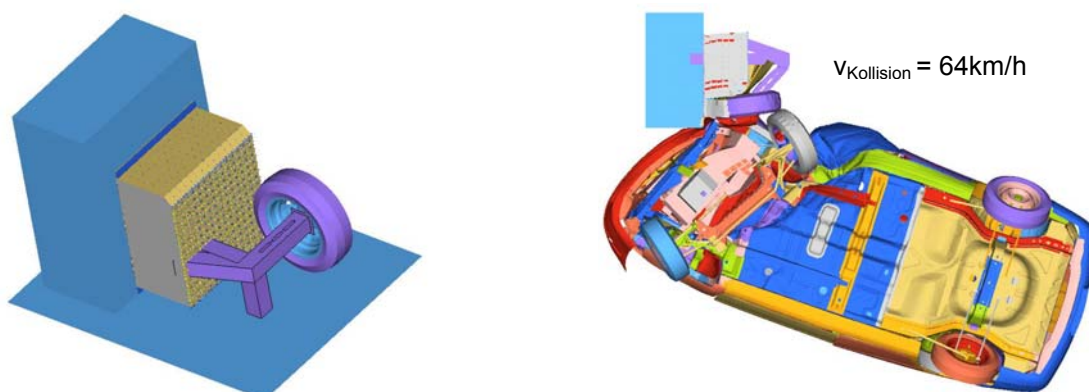


Abbildung 7: Aufbau und Postcrash: Honeycombstruktur + Hohlprofilkonstruktion

#### 4.5 Modifizierte IIHS – Seitencrashbarriere

Eine ganz andere Idee ist die Verwendung der schon vorhandenen IIHS-Seitencrashbarriere. Einzige Modifikationen sind das Anbringen von Stauchrohren zwischen dem Stosswagen und Barriere (Erhöhung der aufnehmbaren Energie) und das nach unten Versetzen der Barriere um 200mm damit der Bumper der Barriere auf Höhe der Radmittelebene zu liegen kommt. Für diese Lösung spricht die Nachstellung der Seitwärts- und Gierbewegung des simulierten Unfallpartners bei einer Abgleitkollision, die durch verschiedene Systeme eingeleitet werden könnte. Um die nötige Verformung am Fahrzeug zu erhalten ist durch den frei stehenden Stosswagen eine hohe Anprallgeschwindigkeit (80km/h) nötig.

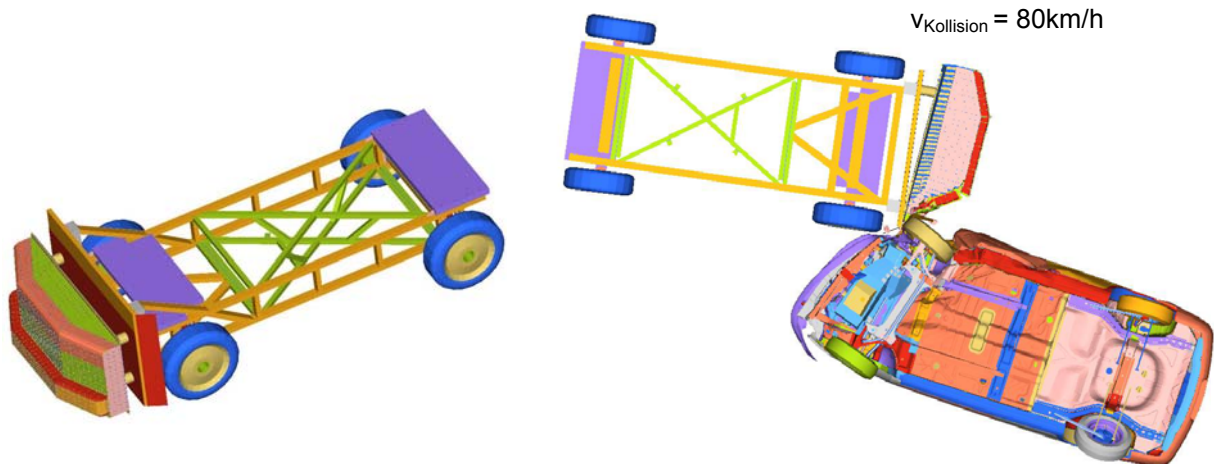


Abbildung 8: Aufbau und Postcrash: Modifizierte IIHS-Seitencrashbarriere

## 5 Ergebnisse

Die folgenden Diagramme zeigen den Vergleich der verschiedenen Barrieretypen. Es wurden, wie schon in Kapitel 4 erläutert, zwei verschiedene Fahrzeuge unterschiedlicher Masse mit denselben Randbedingungen untersucht. Ziel ist es, einen Crashtest vorzuschlagen, der für diese Art von Lastfall für möglichst viele Fahrzeugtypen geeignet ist.

### 5.1 Vergleich der Verformungsenergien

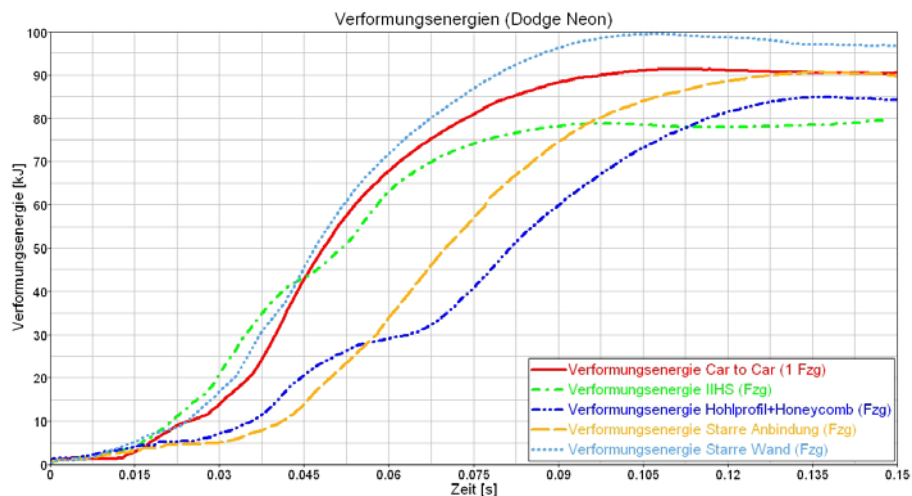


Abbildung 9: Verformungsenergien (Dodge Neon)

Vergleicht man die umgesetzte Energie beim Fahrzeug geringerer Masse (Dodge Neon) so ergibt sich die beste Übereinstimmung mit einer Car to Car Simulation durch den in Kapitel 4.3 beschriebenen Aufbau. Im Fall des schwereren Fahrzeuges ist die Kollision mit der starren Wand die bessere Lösung. Bei beiden Modellen schneidet trotz der hohen Kollisionsgeschwindigkeit die IIHS – Barriere am schlechtesten ab.

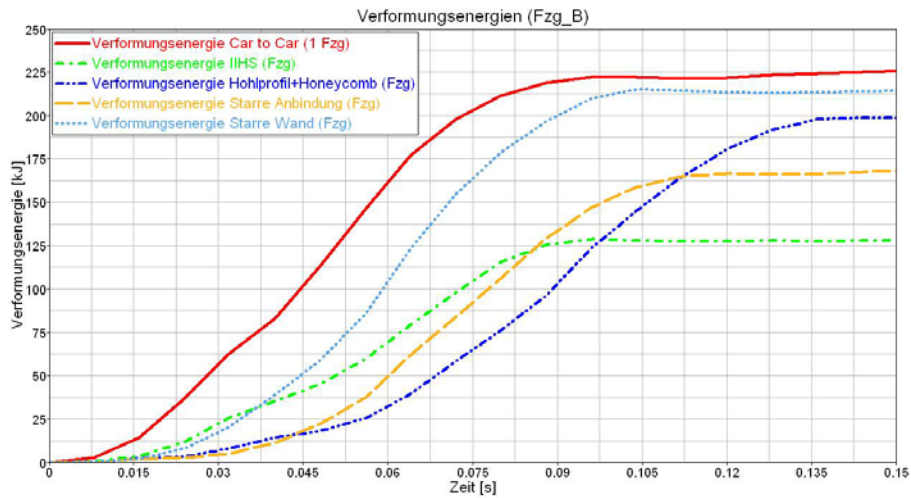


Abbildung 10: Verformungsenergien (Fahrzeug B)

### 5.2 Vergleich der kinetischen Restenergie

Um eine Aussage über die Restenergie nach der Kollision machen zu können, wird die kinetische Restenergie betrachtet. Bei beiden Fahrzeugen stimmen die Endwerte für alle Barrierentypen bis auf die IIHS – Barriere sehr gut überein. In diesem Fall ist der Einfluss der Masse des Stosswagens auf das getestete Fahrzeug besonders gut zu erkennen. So wird das leichtere Fahrzeug deutlich schneller abgebremst als das Schwerere. (Vergleich der Kurven (Steigungen) in Abbildung 11 und Abbildung 12 für IIHS)

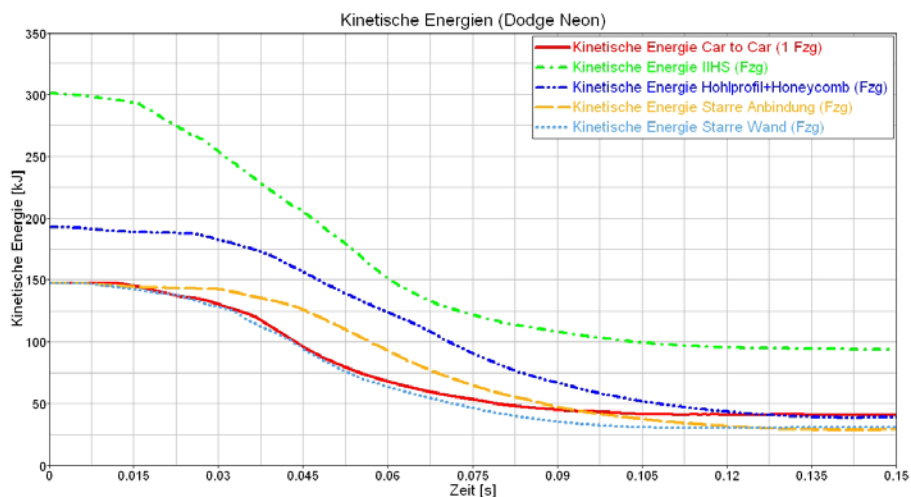


Abbildung 11: Kinetische Energien (Dodge Neon)



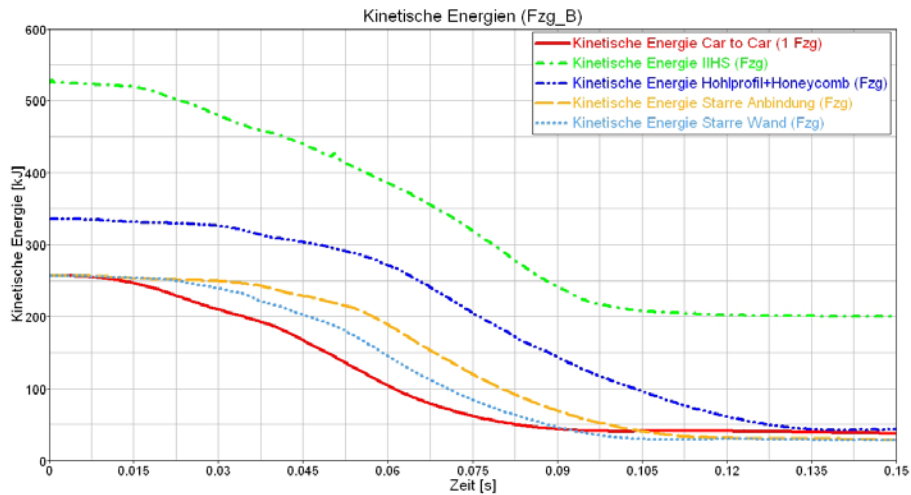


Abbildung 12: Kinetische Energien (Fahrzeug B)

### 5.3 Vergleich der Geschwindigkeitsänderungen

Besonders markant ist der Massenunterschied zu erkennen, wenn man den Verlauf der Geschwindigkeitsänderung bzw. die Endgeschwindigkeit betrachtet. Bei allen Simulationen ist der Abfall der Geschwindigkeit (Steigung) etwa gleich. Bei der Kollision mit der IIHS – Crashbarriere hingegen zeigt sich, wie sich die Masse des Fahrzeuges auf die Endgeschwindigkeit auswirkt ( $v_{xEnd,Neon} = 35\text{km/h}$ ,  $m_{Neon} : m_{Stosswagen} = 0,8 : 1$ ,  $v_{xEnd,Fzg\_B} = 45\text{km/h}$ ,  $m_{Fahrzeug\_B} : m_{Stosswagen} = 1 : 1,5$ ).

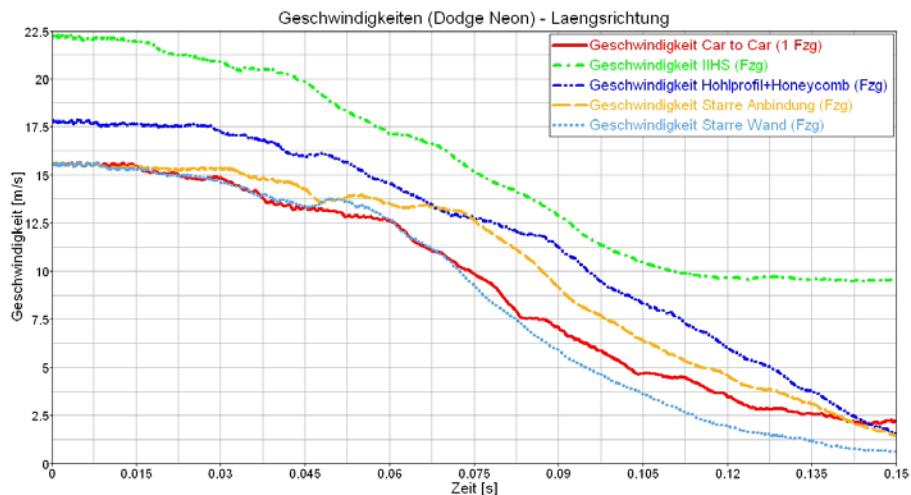


Abbildung 13: Geschwindigkeitsänderungen (Dodge Neon)

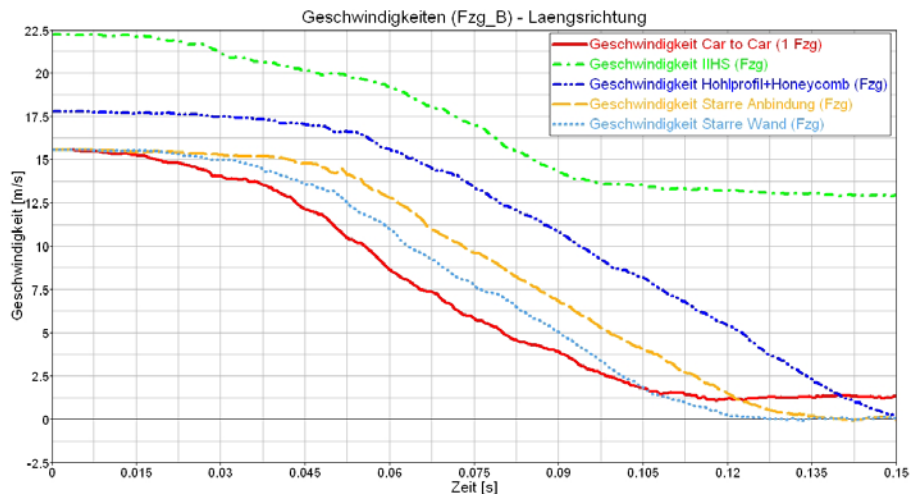


Abbildung 14: Geschwindigkeitsänderungen (Fahrzeug B)

#### 5.4 Vergleich der Gierwinkel

Bei einer verhakten Kollision kommt es zu einer beträchtlichen Verdrehung um die Hochachse. Daher wird für die Bewertung des Ersatzversuches zusätzlich zu den absorbierten Energien der Gierwinkel herangezogen. Betrachtet man Verläufe für den Dodge Neon, so kann festgestellt werden, dass keine Barriere dieselben Verläufe aufweist. Der Grund ist die völlige Kollabierung der Fahrgastzelle bei einer Fahrzeug – Fahrzeug – Kollision. Im Gegensatz dazu kann für das Fahrzeug B eine gute Übereinstimmung bei Verwendung des Aufbaus nach Kapitel 4.4 festgestellt werden. Der Verlauf des Winkels über der Zeit kann mit keinem Ersatzversuch nachgestellt werden.

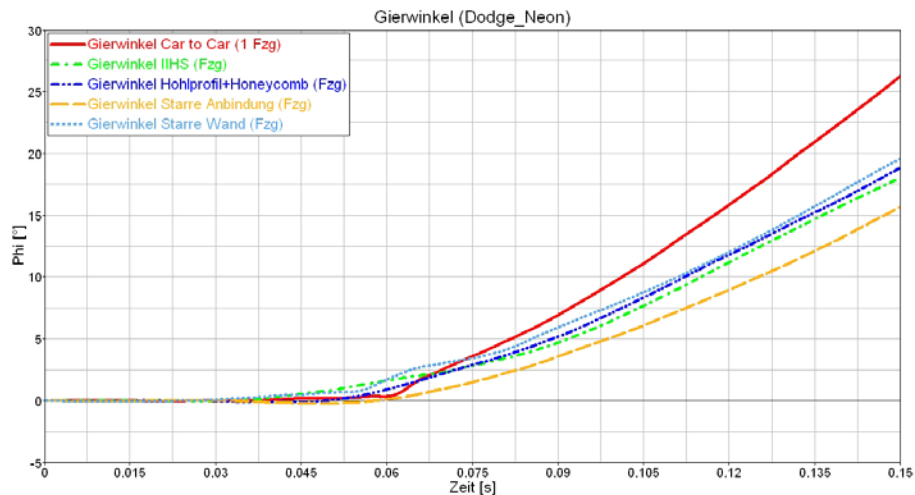


Abbildung 15: Gierwinkelverlauf (Dodge Neon)

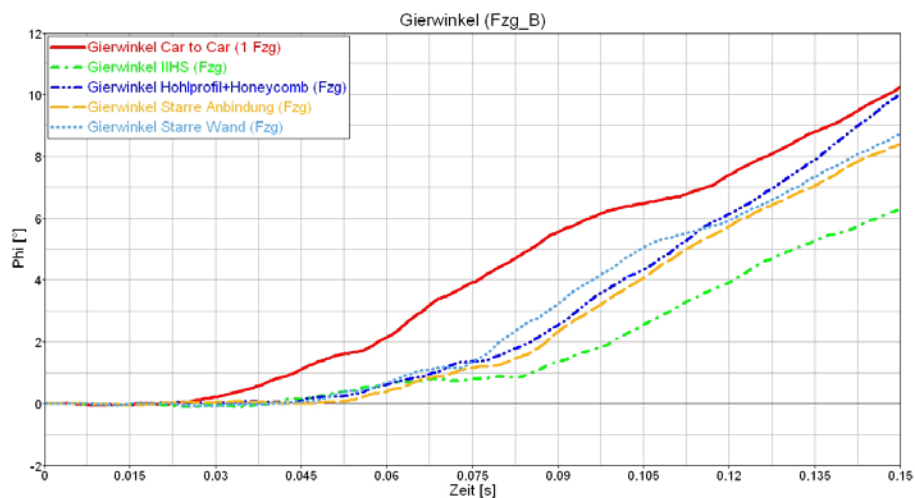


Abbildung 16: Gierwinkelverlauf (Fahrzeug B)

#### 5.5 Vergleich der Kontaktkraft

Bei der Kontaktkraft kann keine allgemeine Aussage getroffen werden, welche Barriere am besten geeignet ist. So ist der Kraftverlauf bei der Kollision zwischen IIHS – Barriere & Dodge Neon verglichen mit Fahrzeug – Fahrzeug – Kollision am ähnlichsten. Im Fall des Fahrzeuges B scheint die Lösung mit der starren Wand als geeignet..

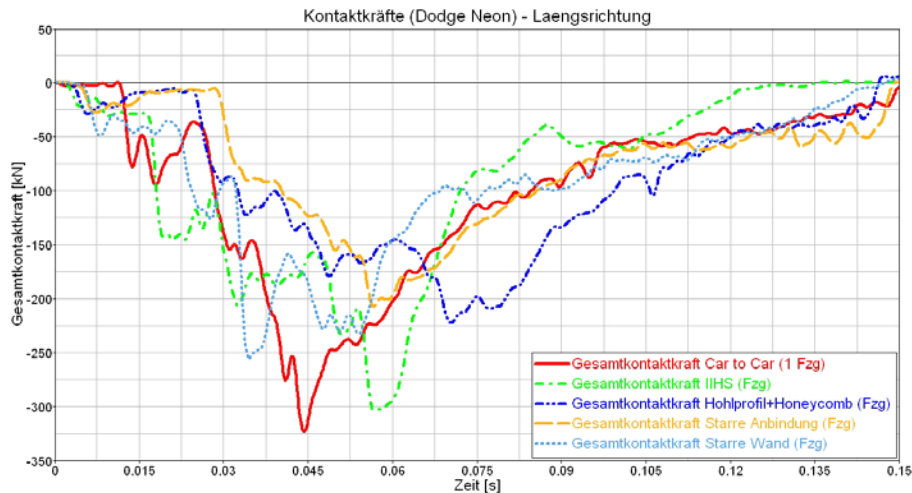


Abbildung 17: Kontaktkräfte (Dodge Neon)

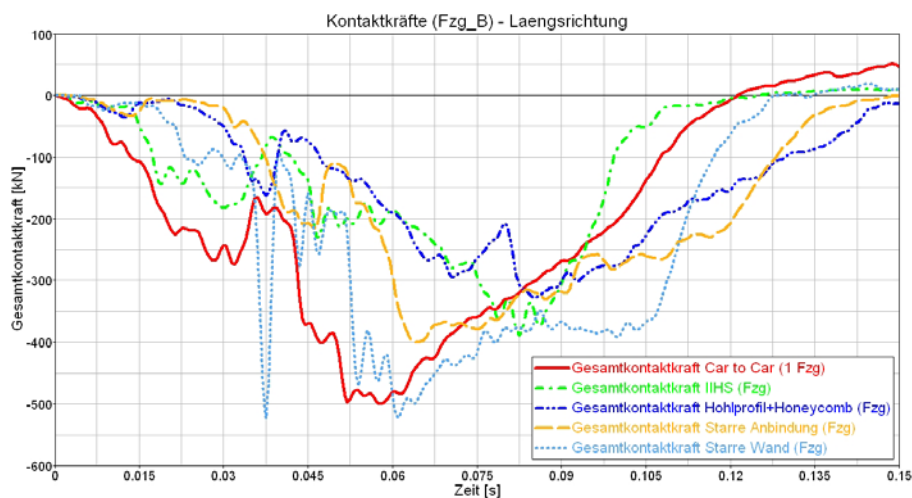


Abbildung 18: Kontaktkräfte (Fahrzeug B)

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Durch eine Reihe von Simulationen wurden verschiedene Vorschläge von Barrieren für die Nachstellung von verhakten Kollisionen untersucht. Die Lösung mit der modifizierten IIHS – Barriere scheidet durch die wenigen Übereinstimmungen der Kurvenverläufe aus. Die restlichen 3 Vorschläge schneiden teilweise sehr unterschiedlich ab. Der Unterschied ist teilweise durch den hohen Massenunterschied der 2 Fahrzeug zu erklären. Um diese Streuungen zu minimieren, sollen weitere Simulationen mit anderen Fahrzeugmodellen (SUV, LTV,...) durchgeführt werden. Weiters ist eine Diskussion über die praktische Umsetzbarkeit notwendig. So ist z.B. der Vorschlag aus Kapitel 4.4 relativ aufwendig.

Für eine erste Abschätzung ist auf alle Fälle eine Reihe von Realtests notwendig, da die Simulationsmodelle (besonders die Reifenmodellierung, mögliche Lösung siehe [7]) für diesen Lastfall mit der Realität nur bedingt übereinstimmen.

Die Forcierung zur Entwicklung eines Ersatzversuchs bezüglich geringer seitlicher Überdeckung ist nur sinnvoll, wenn der Gesetzgeber bzw. die Verbraucherschutzorganisationen die Problematik dieses Lastfalls erkennen.

## 7 Danksagung

Der Autor dankt 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.

**8 Literatur**

- [1] Haenchen D., Schwarz T., Thomas G., Zobel R.: „Feasible Steps towards Improved Crash Compatibility“, SAE Book PT-102: Vehicle Compatibility in Automotive Crashes, 2005
- [2] Werber Ch.: „Konzeption einer Crashtestkonfiguration für Frontcrashes mit geringer Überdeckung auf Basis von Realunfällen“, Diplomarbeit FH – Joanneum Graz, 2005
- [3] Eichberger A., Schimpl W., Werber Ch., Steffan H.: „A new crash test configuration for car to car frontal collisions with small lateral overlap“, Conference Proceedings of ICRASH, 2006, Athen
- [4] VC-Compat: “[www://vc-compat.rtdproject.net/](http://www://vc-compat.rtdproject.net/)”, Homepage, 2006
- [5] Faerber E.: “Fortentwicklung der Crash-Gesetze und Vorschriften“, Vortragsfolien beim Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 2005, Aachen
- [6] Thomson R., Edwards M., Martin T., Van der Zweep C., Damm R., Della Valle G.: “Car-Car Crash Compatibility: Development of Crash Test Procedures in the VC-COMPAT Project”, Conference Proceedings of ICRASH, 2006, Athen
- [7] Reid J.D., Boesch D.A., Bielenberg R.W.: “Detailed Tire Modeling for Crash Applications”, Conference Proceedings of ICRASH, 2006, Athen