

# **Crashsicherheitspotentiale durch leichte, funktionsintegrierte Fahrzeugstrukturen**

Dipl.-Ing. Elmar Beeh

Dipl.-Ing. Michael Kriescher

Dipl.-Ing. Simon Brückmann

Dipl.-Ing.(FH) Oliver Deißer

Dipl. Ing. Gundolf Kopp

Prof. Dr.-Ing. Horst E. Friedrich

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – Institut für  
Fahrzeugkonzepte

### **Einleitung**

Eine wichtige Funktion heutiger Fahrzeugstrukturen liegt in der Gewährleistung des passiven Insassenschutzes im Falle eines Unfalls. Um die Zahl der Todesopfer und Verletzten im Straßenverkehr zu senken, werden Regularien und Verbraucherschutztests regelmäßig erweitert oder angepasst, um die Entwicklung sicherer Fahrzeugstrukturen zu fördern. Gleichzeitig steht die Automobilindustrie vor der Herausforderung, auch durch neue Antriebsvarianten und leichte Fahrzeugstrukturen die CO<sub>2</sub>-Grenzwerte der Gesetzgebung zu erfüllen. Aus diesem Grund ist es bei automobilen Leichtbaulösungen unabdingbar, Strukturkonzepte auf ihre Crashsicherheit hin zu überprüfen und nach neuartigen Bauweisenlösungen mit verbesserten Eigenschaften zu suchen. Dabei muss für die automobilen Großserie auch die Wirtschaftlichkeit neuer technologischer Ansätze gegeben sein.

Ein vielversprechender Lösungsansatz, um wirtschaftlich attraktive Leichtbaulösungen für die Fahrzeugstruktur zu schaffen, sind Guss- und Hybridbauweisen, bei welchen durch Funktionsintegration Mehrkosten kompensiert werden können. Am Beispiel von hochintegrierten Magnesiumgusslösungen zeigt das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte dass derartige Bauweisen auch Potential besitzen, die Crashsicherheit zu verbessern. Des Weiteren wird ein Fahrzeugkonzept in einer neuartigen hybriden Sandwichbauweise vorgestellt, welches ebenfalls im Hinblick auf die Crashsicherheitspotentiale bewertet wird.

### **Neue Herausforderungen im Bereich der Crashsicherheit von Fahrzeugen**

Das Ziel, die Zahl der Unfallopfer und die Verletzungsschwere zu reduzieren, ist naturgemäß einer der Haupttreiber in der weltweiten Weiterentwicklung von Crashtests. Lokal unterschiedliches Verhalten der Verkehrsteilnehmer führt zu regional unterschiedlichen Problemschwerpunkten und daraus folgenden regionalspezifischen Regularien.

Die technischen Lösungsoptionen, zur Erfüllung der gestellten Anforderungen, liegen neben der Anpassung und Optimierung der aktiven Schutzsysteme, wie z. B. dem Notbremsassistenten, elektronischen Stabilitätssystemen oder Airbags und Gurtstraffer, in einer Veränderung des Karosseriestrukturverhaltens durch Anpassung der Werkstoffwahl und Bauweise. Beispielsweise begünstigte die Einführung der aktuellsten IIHS (Insurance Institute of Highway Safety, USA)-Seitencrashanforderung den Trend, in der B-Säule pressgehärtete Bor-Mangan-Stähle einzusetzen. So wurde beispielsweise die B-Säule aus Aluminium im Audi A8 D2-D3 im Modell D4 durch die beschriebene Stahlösung gewichtsoptimaler ersetzt.

## Crashsicherheitspotentiale durch leichte, funktionsintegrierte Fahrzeugstrukturen

Zu einem zukünftig stark strukturell relevanten Crashtest wird sich der im Jahr 2012 von der IIHS vorgestellte Small Overlap Test entwickeln. Abbildung 1 zeigt an ersten Testergebnissen die starke Deformation im Bereich der Vorderwagen- und Stirnwandstruktur.



Abbildung 1: Ergebnisse des Small Overlap Crash Test am Beispiel des Lexus IS 250/350 [1]

Zusätzlicher Handlungsbedarf zur bedarfsgerechten Anpassung der Karosserieeigenschaften ist durch die Einführung von alternativen Antriebsarchitekturen, wie z. B. Brennstoffzellen- oder vollelektrischen Antriebssträngen zu erwarten, da dort Komponenten mit hohem Schutzbedarf sicher ins Fahrzeug eingebracht werden müssen.

Im Folgenden werden einzelne technologische Bausteine näher erläutert, welche einen Beitrag zur Lösung der beschriebenen Herausforderungen leisten können.

## **Sichere Leichtbaulösungen durch hochintegrierte Gussbauweisen im EU-Projekt-Super Light Car**

Das EU-Projekt „Super Light Car“ startete Anfang 2005 mit der Motivation, Gewicht in der Fahrzeugkarosserie durch wirtschaftlich herstellbare Multi-Material-Strukturen zu reduzieren. Damit soll ein Beitrag zur Verbrauchs- und CO<sub>2</sub>-Reduzierung im Automobil geleistet werden. Die Zielsetzung beinhaltete eine Gewichtsreduzierung in der Rohka-

## Crashsicherheitspotentiale durch leichte, funktionsintegrierte Fahrzeugstrukturen

rosserie von mindestens 30% (Referenz: Karosseriestruktur A-Klassesegment) unter vertretbaren Leichtbaumehrkosten für Produktionsstückzahlen von 1000 Fahrzeugen pro Tag. Des Weiteren sollte dies unter Berücksichtigung von unterschiedlichen fahrzeugspezifischen Anforderungen, wie zum Beispiel hoher Crashsicherheit und Steifigkeit, erreicht werden.

Im SLC-Karosseriekonzept wird systematisch Multi-Material-Design umgesetzt. Neben Bauteilen aus hochfestem warmumgeformten Stahl kommen Bauteile aus Aluminium in den Fertigungsverfahren Blechumformung, Strangpressen und Druckguss vor. Magnesiumdruckguss- und Blechteile werden an geeigneten Stellen eingesetzt. Kostengünstige Bauteile aus langfaserverstärktem Thermoplast (LFT) führen zu einer guten Gewichts- und Kostenbilanz im Bodenmodul der Karosseriestruktur. Für die gesamte Karosserie ist mit Mehrkosten von weniger als 8 €/kg zu rechnen.

Aus früheren Veröffentlichungen bekannt ist das vom DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte entwickelte Vorderwagenmodul mit Strukturteilen aus Magnesium und Aluminium [2]. Diese Konzeption wurde aufbauend auf einer methodischen Analyse der Referenzstruktur durchgeführt und erbrachte eine Gewichtsreduzierung von 24 kg bei vertretbaren Mehrkosten und Erfüllung der Anforderungen wie z.B. Crash und Steifigkeit.

Eine weitere, konzeptionell vom DLR gemeinsam mit den Projektpartnern entwickelte hochintegrierte Leichtbaulösung der SLC-Karosserie ist ein großes Gussteil im Bereich des Übergangs zwischen seitlichem Schweller und hinterem Längsträger. Abbildung 2 zeigt das Gussbauteil, welches neben der Verbindung von längsliegenden Lastpfaden auch Schnittstellen und Gegenlager des Fahrwerks integriert.

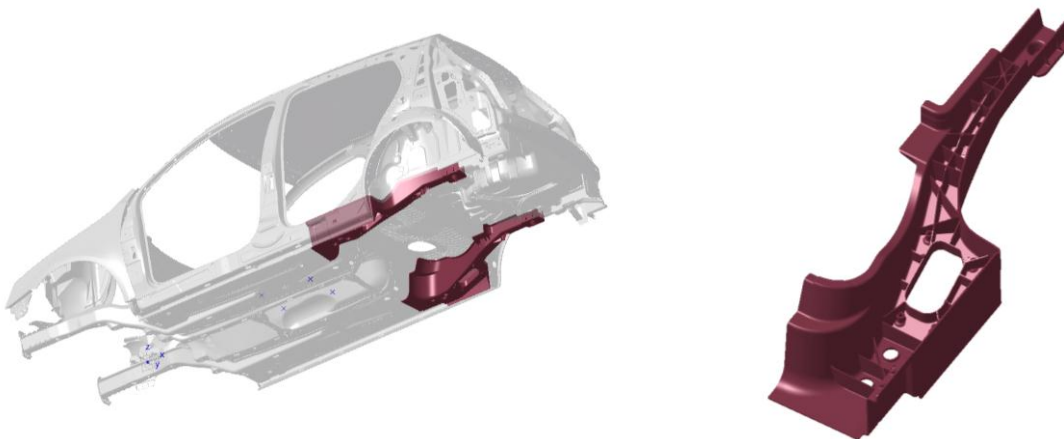


Abbildung 2: Einbaulage der spiegelsymmetrischen Gussteile (li) und Detailansicht (re)

Durch genaue Analyse des berechneten Bauteilversagens wurde das Bauteil geometrisch und bezüglich der Wandstärkenverteilung verbessert. Das Bauteil wurde sowohl

## Crashsicherheitspotentiale durch leichte, funktionsintegrierte Fahrzeugstrukturen

als Aluminium-Gusslösung als auch als Magnesium-Gusslösung ausgelegt und berechnet. Beide Varianten integrieren zehn Tiefziehteile der Stahl-Referenzstruktur. Die Basisvariante hergestellt aus Aluminium bietet eine Gewichtseinsparung von 3,67 kg pro Gussbauteil (- 40% gegenüber Referenz) bei Leichtbaumehrkosten von 6,7 €/kg. Die Gewichtseinsparung kann durch weitere Gestalt- und Wandstärkenoptimierung auf ca. 45% (4,23 kg) gesteigert werden, wobei dann die Leichtbaumehrkosten auf ca. 4,4 €/kg sinken.

Setzt man statt Aluminium auf den Werkstoff Magnesium, so bieten sich theoretische Leichtbaupotentiale von 57% (5,23 kg) bei Leichtbaumehrkosten unter 4 €/kg. Die bessere Wirtschaftlichkeit von Magnesium ergibt sich in diesem Anwendungsfall durch das Großserienszenario, bei dem die Magnesiumlösung den niedrigeren Werkzeugverschleiß und die dadurch höhere Bauteilausbringung zum Kostenvorteil gegenüber der Aluminiumlösung nutzen kann. Ein weiterer Vorteil kann aus der besseren Gießbarkeit des Magnesiums gewonnen werden, da hierdurch filigranere Rippenstrukturen und lokal angepasste dünnwandige Strukturen möglich werden, die im Aluminiumguss nicht herstellbar wären. Abbildung 3 zeigt das Crashverhalten des Bauteils beim Heckcrash. Die Auswertung der Crashsimulation zeigt, dass in diesem Fahrzeugbereich mit dieser Bauweise keine für Gussteile kritischen Verformungen auftreten. Dadurch sind hochintegrierte Gussbauweisen in diesem Strukturbereich attraktiv, um bei einem hohen Maß an Crashsicherheit wirkungsvoll und kostenattraktiv Leichtbau zu betreiben.

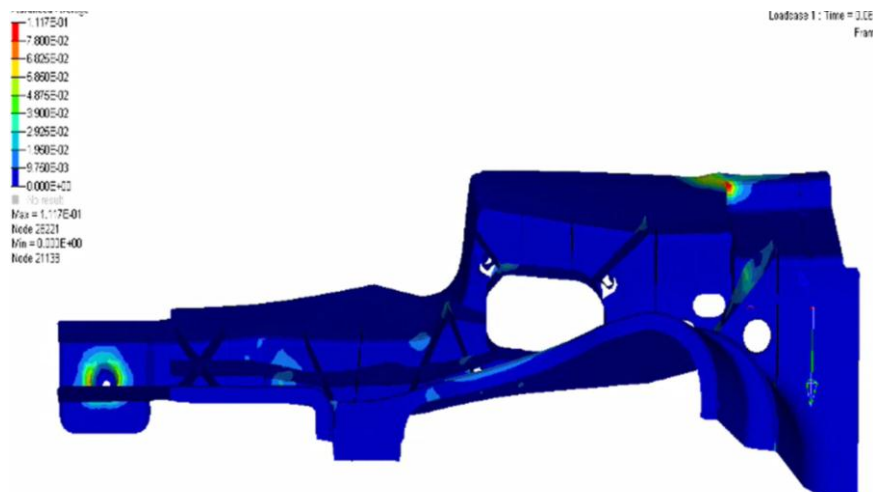


Abbildung 3: Bauteildehnungen beim Heckcrash

Die Simulationsergebnisse lassen erwarten, dass dem Einsatz von Magnesium in diesem Strukturbereich aus mechanischer Sicht nichts im Wege stehen würde. Aufgrund der Unverträglichkeit des Magnesiums mit der für die konventionelle Kathodische Tauchla-

ckierung eingesetzten Vorbehandlung (Phosphatierung) müsste ein solches Bauteil vorbeschichtet in die Karosseriestruktur eingefügt werden.

### **Sichere Leichtbaulösungen durch hochintegrierte Gussbauweisen am Beispiel einer hochintegrierten A-Säule aus Magnesium**

Die Integration mehrerer Einzelteile in Gussteilen bietet, bei einer anforderungsorientierten und konzeptionell offenen Herangehensweise, das Potential, durch neue Konzeptideen auch Sprunginnovationen zu ermöglichen. Als Beispiel eines solchen Prozesses soll die Entwicklung eines hochintegrierten Mg-Gussteils im Bereich des Vorderwagens näher erläutert werden.

Als Basis für eine Konzeptentwicklung wurde der technologisch herausfordernde und für Leichtbau besonders interessante Bereich einer Fahrzeugfrontstruktur gewählt. Ausgehend von den allgemeinen Anforderungen und Lastfällen und dem zur Verfügung stehenden Bauraum wurde eine Topologieoptimierung durchgeführt. Es wurde ein Fahrzeug der unteren Mittelklasse gewählt und der für die Fahrzeugstruktur mögliche Designraum mit Hilfe von CATIA V5 konstruiert. Anders als bei heutigen Fahrzeugen üblich, wurde der Bereich der Motorhaube als mögliche lasttragende Struktur vorgesehen. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis dieser Topologieoptimierung.

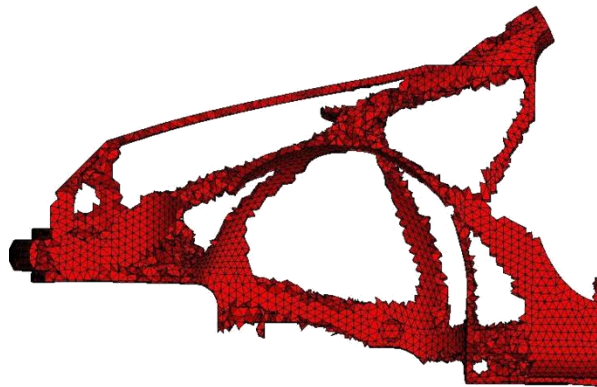


Abbildung 4: Seitenansicht des Topologieoptimierungsergebnisses

Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse erkennt man, dass sich im Gegensatz zu heute verwendeten Federbeindomkonzepten keine direkte (in Federwirkrichtung) Verbindung zwischen Federaufnahme und Längsträgerbereich herausbildet. Es entsteht eher eine Verbindung in Form eines Kragträgers welche von der A-Säule nach vorne Richtung Federteller reicht. Aus diesem gewonnenen Hinweis wurde die Idee entwickelt, die Federtellerauflage in einen großen A-Säulen-Gussknoten zu integrieren.



## Crashsicherheitspotentiale durch leichte, funktionsintegrierte Fahrzeugstrukturen

Als Werkstoff wurde für dieses Konzept Magnesiumguss der Legierung AM50 gewählt. Der Fahrzeugstrukturbereich ermöglicht ein sehr hohes Maß an Funktionsintegration. So lassen sich gegenüber der Stahlreferenzstruktur bis zu 20 Teile in das Gussbauteil integrieren. Die Detailentwicklung des Bauteils zeigt gegenüber der Stahl-Referenz ein Leichtbaupotential von bis zu 50%, was für die gesamte Karosserie (linkes und rechtes Bauteil) einer Massereduktion von 11 kg entspricht.

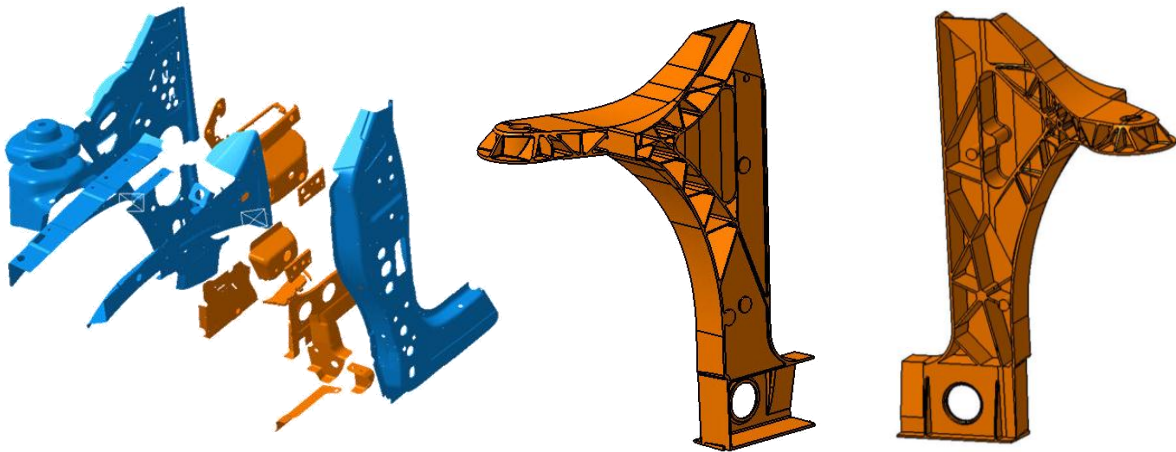


Abbildung 5: Möglicher Teileintegrationsumfang (li) und ausgeführtes Gussteil (re)

Vorteilhaft bei der entwickelten Anordnung ist, dass eine Fahrzeugstruktur geschaffen wurde, welche die Lastpfade zur Aufnahme der Federbeinkräfte im Wesentlichen in Fahrzeuginnenrichtung orientiert. Im Gegensatz zu konventionellen Federbeinordnungen kann diese Struktur im Falle eines Frontunfalls mehr Längskräfte aufnehmen und verteilen, was die Sicherheit der Fahrgastzelle verbessert. Simulationen des Zusammenbaus der Struktur mit dem am DLR entwickelten crashadaptiven Vorderwagen [3] zeigen dieses Potential (Abbildung 6).

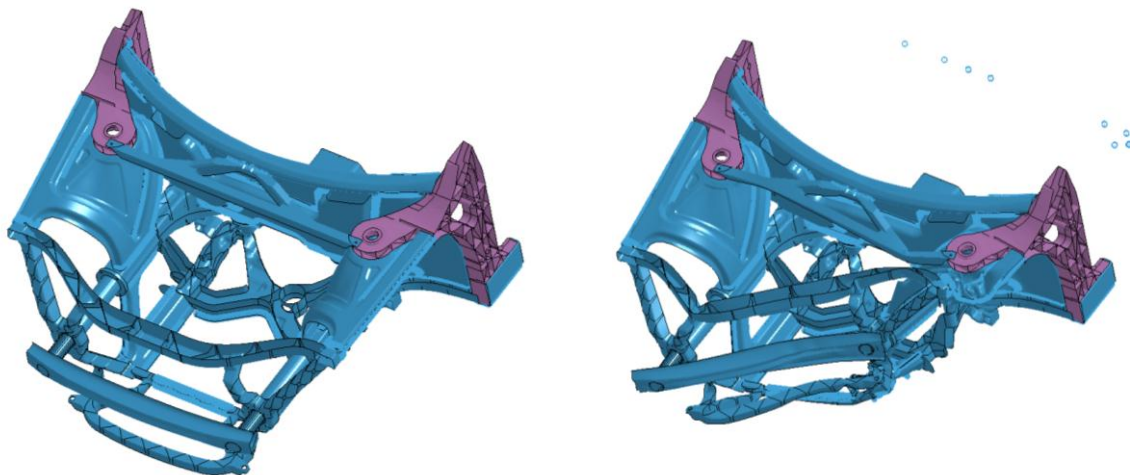


Abbildung 6: Verhalten des A-Säulen-Knotens bei einem Crash gegen eine 30° schräge Wand

Es ist zu erwarten, dass eine derartige Bauweise auch Vorteile im IIHS Small Overlap Crash bieten kann, da für diesen Lastfall stabile Strukturen innerhalb des 25%-Überdeckungsraums wichtig sind.

### **Sichere Leichtbaulösungen durch eine integrale metallische Sandwich-Bauweise**

Der Pfahlcrash stellt für heutige Karosseriestrukturen einen besonders kritischen Lastfall dar, da die Belastung sehr konzentriert in einen Bereich eingebracht wird, in dem nur ein geringer Deformationsweg zur Verfügung steht. Es tritt in der Regel eine sehr hohe Intrusion auf (Abbildung 7), die bei einer Fahrzeugstruktur ohne Anbauteile und Sitze rechnerisch rund 700mm beträgt.

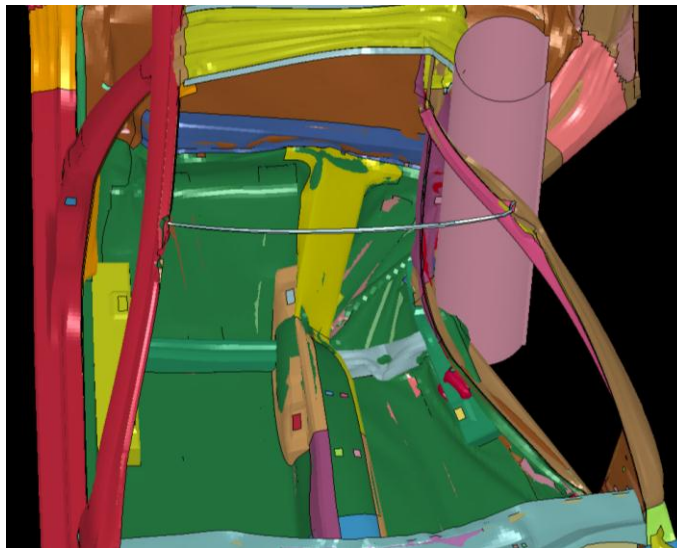


Abbildung 7: Simulation einer Seitenstruktur eines Fahrzeugs beim Pfahlcrash

Im Gesamtfahrzeug sorgen Anbauteile wie Sitze und Türen jedoch für zusätzlichen Intrusionswiderstand, wodurch sich die Intrusion auf rund 470 mm verringert. Um den besonders im Pfahlcrash sehr stark belasteten Bereich der Seitenschweller des Fahrzeugs zu verbessern, wurde am DLR ein neuartiges Fahrzeugstrukturkonzept entwickelt.

Die vorteilhaften Eigenschaften von hybriden Metallträgern, welche aus einer metallischen Trägerstruktur, gefüllt mit einem leichten Stützkern bestehen, wurden beispielsweise in [4] beschrieben. Dabei wurden Metall-Hybrid-Träger untersucht, die aus Stahl-Schalen mit einem leichten Kern bestehen. Durch gezielte Dehnung der Schale des Trägers kann Energie absorbiert werden. Voraussetzung dafür ist, dass der



## Crashsicherheitspotentiale durch leichte, funktionsintegrierte Fahrzeugstrukturen

Kern des Trägers während der Biegung nicht kollabiert, sondern den Querschnitt des Trägers während des Biegevorgangs aufrechterhält, so dass das Widerstandsmoment des Trägers über den gesamten Zeitraum der Intrusion erhalten bleibt.

Es konnte in Versuchen nachgewiesen werden, dass mit dieser Technologie die absolute Energieabsorption gegenüber dem hohlen Profil versechsfacht und die spezifische Energieabsorption verdreifacht werden kann.

Um dieses Funktionsprinzip in einer sicheren Fahrgastzelle auszunutzen, wurde eine metallische Sandwich-Bauweise entwickelt, welche die Energieabsorptionseigenschaften der Bauweise mit der Idee der Funktionsintegration kombiniert. Ziel ist es, in wenige, großflächige Bauteile die Funktionen einer Fahrzeug-Bodenstruktur zu integrieren. Als vorteilhaft wird gesehen, dass insbesondere in Stückzahlenszenarien bis hin zu ca. 50000 Stück pro Jahr eine solche Bauweise wirtschaftliche Vorteile bietet, weil nur sehr wenige Werkzeuge notwendig sind. Ein Lösungsansatz besteht auch darin, superplastisch umgeformte, große Außen- und Innenschalen auszuschäumen (Abbildung 8).

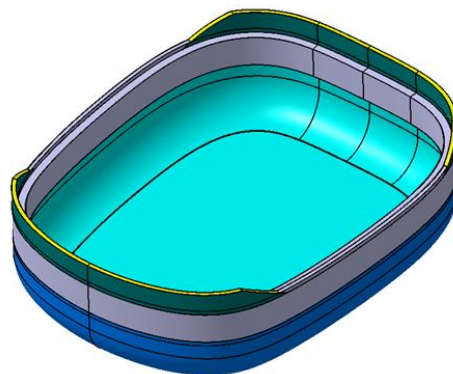


Abbildung 8: Bodenstruktur in einer metallischen Sandwichbauweise

Eine derartige Struktur verfügt bei sehr niedrigem Gewicht über einen sehr hohen Intrusionswiderstand, was die Simulation eines Pfahlaufpralls in Abbildung 9 zeigt.

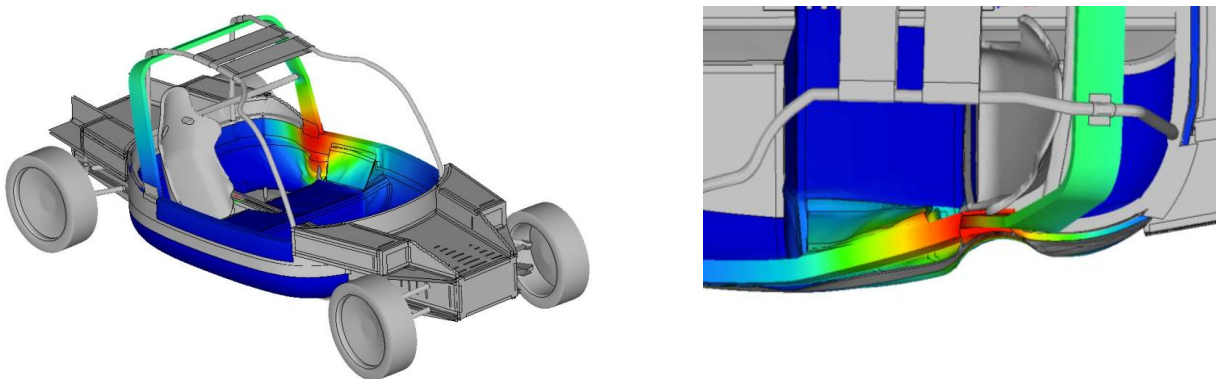


Abbildung 9: Simulation des Crashverhaltens an einer Fahrzeugstruktur in metallischer Sandwichbauweise

## Crashsicherheitspotentiale durch leichte, funktionsintegrierte Fahrzeugstrukturen

Das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte arbeitet an einer auf dieser Bauweise basierenden sicheren Karosserie für ein zweisitziges Elektrofahrzeug, welche eine sehr niedrige Masse von ca. 80 kg besitzt. Diese Struktur ist außerdem die Basis für die Entwicklung eines fahrfähigen Demonstrators.

## Zusammenfassung und Ausblick

Anforderungsgerechte Bauweisen ermöglichen auch in Zukunft die Erfüllung steigender Anforderungen, zum Beispiel aus dem Bereich der Fahrzeugsicherheit. Gussbauweisen aus Magnesium und Aluminium bieten Leichtbaupotentiale bis größer 50%, wobei das Funktionsintegrationspotential intelligent genutzt werden muss, um wirtschaftlich attraktive Lösungen zu entwickeln. Die Betrachtung bauteilübergreifender funktionaler Anforderungen bietet Chancen, zu völlig neuen und neues Leichtbau- und Sicherheitspotential erschließenden Bauweisen zu kommen, was am Beispiel des komplexen A-Säulenknotens veranschaulicht werden konnte.

Neben den Gussbauweisen gibt es auch im Bereich der metallischen Schalenbauweisen die Möglichkeit Funktionen zu integrieren. Im gezeigten Beispiel liegt der Hauptfokus auf einer drastischen Reduzierung der verwendeten Teilezahl bei gleichzeitiger Ausnutzung der vorteilhaften Eigenschaften von Sandwichstrukturen. All diese technologischen Bausteine zeigen das Verbesserungs- und Innovationspotential, welches noch im Fahrzeugbau gegeben ist.

## Literatur

1. IIHS, *Vehicle Evaluation, Lexus IS 250/350, 2006-13 models, SMALL OVERLAP FRONT TEST*, 2012, Insurance Institute for Highway Safety, 1005 N. Glebe Road, Suite 800, Arlington, VA 22201 USA.
2. Kopp, G., et al., *Super Light Car - lightweight construction thanks to a multi-material design and function integration* European Transport Research Review, 2008.
3. Beeh, E. and H.E. Friedrich, *Neuartige Vorderwagenstruktur mit einfach adaptierbaren Crasheigenschaften*, in *Future Car Body 2012*, C. Automotive, Editor 2012, Automotive Circle Interenational: Bad Naunheim.
4. Kriescher, M. and J. Roettger, *Einsatzmöglichkeiten von Stahl-Hybrid-Strukturen im Crashfall*, in *VDI Konferenz Stahl im Pkw2012*: Essen, Deutschland.