

multi-material-leichtbau

vergleich zweier vorderwagenkonzepte

DIPL.-ING. MICHA LESEMANN; DIPL.-ING. PETER URBAN – Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University (ika)
DR.-ING. MARKUS BRÖCKERHOFF – Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka)



Dipl.-Ing. Micha Lesemann

ist Projekt-ingenieur im Geschäftsbe-reich Karosserie des Instituts für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University (ika).



Dipl.-Ing. Peter Urban

ist Leiter des Geschäftsbe-reichs Karosserie des Instituts für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University (ika).

» Die Verwendung von Leichtbauwerkstoffen im Fahrzeugbau bietet viele Vorteile. Es können deutliche Verbrauchssenkungen erzielt werden und dank ausgewogener Achslastverteilungen auch die Fahreigenschaften wesentlich verbessert werden. In Zeiten erheblich gesteigener Kraftstoffkosten sind diese Maßnahmen wirtschaftlich attraktiv und tragen so zur Ressourcenschonung bei. Ein Konsortium unter Leitung des Instituts für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University (ika) hat gezeigt, welche Gewichtseinsparungen für die Vorderwagenstruktur eines Pkw mithilfe eines Multi-Material-Designs möglich sind.

Die Gründe für gestiegene Fahrzeugmassen sind vielfältig. Insbesondere die gewachsenen Sicherheits- und Komfortansprüche sowie die Forderung nach verbesserten Fahrleistungen haben zu deutlichen Gewichtszunahmen geführt.

Die aktuelle CO₂-Debatte ist ein Anreiz zur Entwicklung verbrauchsarmer Fahrzeuge. Eine Möglichkeit zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs besteht in der Gewichtsreduzierung aller Fahrzeugkomponenten. So kann der Verbrauch um ca. 0,3–0,4l/100km gesenkt werden, wenn das Fahrzeuggewicht um 100 kg verringert wird. Dies entspricht einer Reduktion der CO₂-Emission von 8–11 g/km.

Das Institut für Kraftfahrzeuge hat deshalb gemeinsam mit den Industriepartnern Erbslöh, Ford Forschungszentrum Aachen, Henkel, Hydro

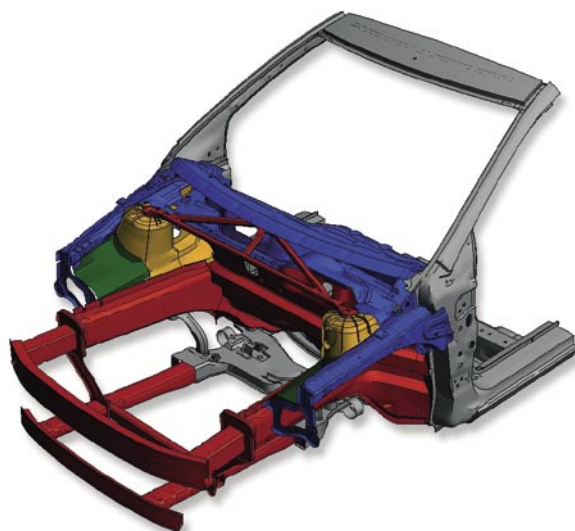
Aluminium und ThyssenKrupp Steel sowie Partnerinstituten an der RWTH Aachen University in den vergangenen drei Jahren eine Vorderwagenstruktur in Multi-Material-Bauweise entwickelt. Unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Herstellbarkeit sollte eine Gewichtseinsparung von 30 % im Vergleich zu einer herkömmlichen Bauweise erzielt werden.

Der Multi-Material-Ansatz: Die gesteckten Ziele im Leichtbausegment können durch den Einsatz unterschiedlicher Materialien, wie hochfester Stähle, Leichtmetalle oder Kunststoffe, erreicht werden.

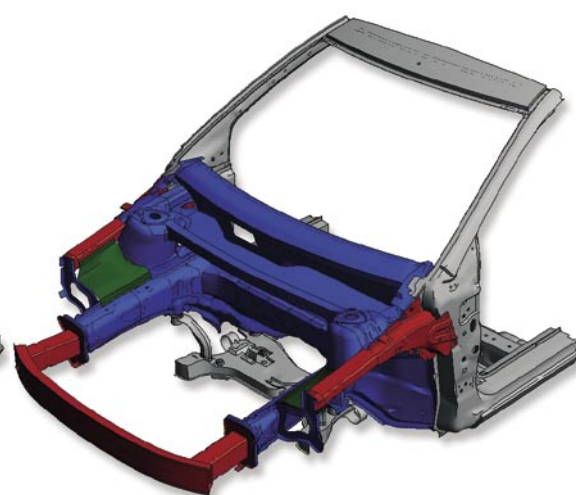
Die Idee des Multi-Material-Einsatzes ist es, für jedes einzelne Bauteil das am besten geeignete Material zu verwenden. In der Auswahl fließen Faktoren wie Funktion, Haltbarkeit, Herstellbarkeit und Kosten ein. Das so insgesamt erreichbare Potenzial zur Gewichtseinsparung aktueller Großserienmodelle wird auf 20 % bis über 40 % geschätzt. Die Kosten werden vom verwendeten Material, vom Zusammenbau, von Investitionen in neue Fertigungseinrichtungen und von den Lohnkosten durch erhöhten Fertigungsaufwand beeinflusst.

Konzeptentwicklung mithilfe der Finite-Elemente-Methode: Im Laufe des Projekts wurden zwei Vorderwagenkonzepte mit unterschiedlichen Zielsetzungen entwickelt (**Bild 1**). Bei dem

1 **Gewichtsgünstiges Konzept**

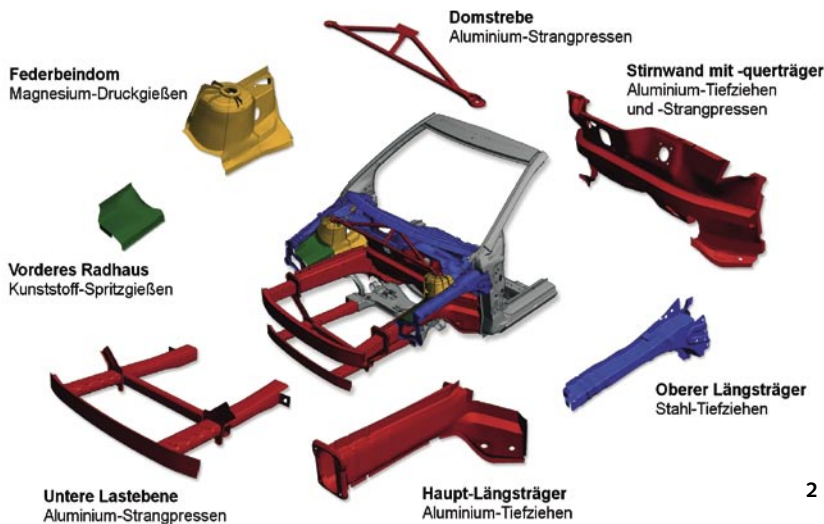


Kostengünstiges Konzept



■ Aluminium ■ Stahl ■ Magnesium ■ Kunststoff ■ unverändert

1 Ausgearbeitete Konzepte



teilen vorgesehen, der durch Aluminium-Extrusionsprofile, z. B. beim vorderen Stoßfänger und oberen Längsträger, ergänzt wird (Bild 3).

Neu entwickelte Komponenten: Die Topologieoptimierung wurde im Projektverlauf zum Auffinden der Hauptlastpfade und zur Entwicklung einzelner Vorderwagenkomponenten verwendet. Ein Beispiel ist der Federbeindom des gewichtsgünstigen

sogenannten gewichtsgünstigen Konzept wurde der Fokus auf eine möglichst große Gewichtsersparnis im Vergleich zur Referenzstruktur gelegt. Beim kostengünstigen Konzept sollte eine Gewichtsreduzierung bei nur geringfügig gestiegenen Kosten erzielt werden.

Die Entwicklung der Konzepte erfolgte hauptsächlich virtuell durch den Einsatz der Finite-Elemente-Methode. Dabei wurden insgesamt acht statische und drei dynamische Lastfälle betrachtet. Ziel war es bei allen Lastfällen, Struktureigenschaften zu erreichen, die denen der Referenzstruktur mindestens gleich sind.

Die Untersuchungen umfassten nicht nur die Analyse der genannten Lastfälle, sondern auch eine Kostenbewertung.

Topologieoptimierung zur Konzeptableitung: Zur Ableitung der Konzepte wurde zunächst der zur Verfügung stehende Bauraum des Referenzvorderwagens definiert. Eine Topologieoptimierung für einzelne sowie kombinierte Lastfälle lieferte Vorschläge für die Materialverteilung und Gestaltung der Lastpfade.

Aus den Topologieoptimierungsergebnissen wurden anschließend die beiden zuvor genannten Konzepte abgeleitet. Es folgten eine detaillierte Gestaltung der Einzelteile und deren Optimierung im Hinblick auf die Steifigkeits- und Crasheigenschaften.

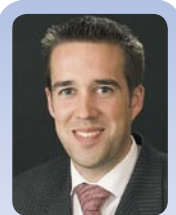
Beim gewichtsgünstigen Konzept ergab sich eine Aluminium-intensive Konstruktion mit einem Federbeindom aus Magnesium-Druckguss sowie einem zusätzlichen, unteren Lastpfad (Bild 2). Beim kostengünstigen Konzept wurde ein höherer Anteil an Stahlbau-

Konzepts, der als Magnesium-Druckguss-Bauteil mit den aus den Ergebnissen der Topologieoptimierung abgeleiteten Rippen und Wandstärken ausgelegt wurde.

Zur Steigerung der Torsionssteifigkeit wurde ferner eine Domstrebe aus Aluminium-Extrusionsrohren eingeführt. Die Stirnwand ist durch ein Extrusionsprofil verstärkt. Der obere Längsträger wurde im Vergleich zur Referenzstruktur nur geringfügig verändert. Sein Gewicht konnte durch den Einsatz eines hochfesten Dualphasenstahls und eine veränderte Lastverteilung durch den zusätzlichen unteren Lastpfad reduziert werden.

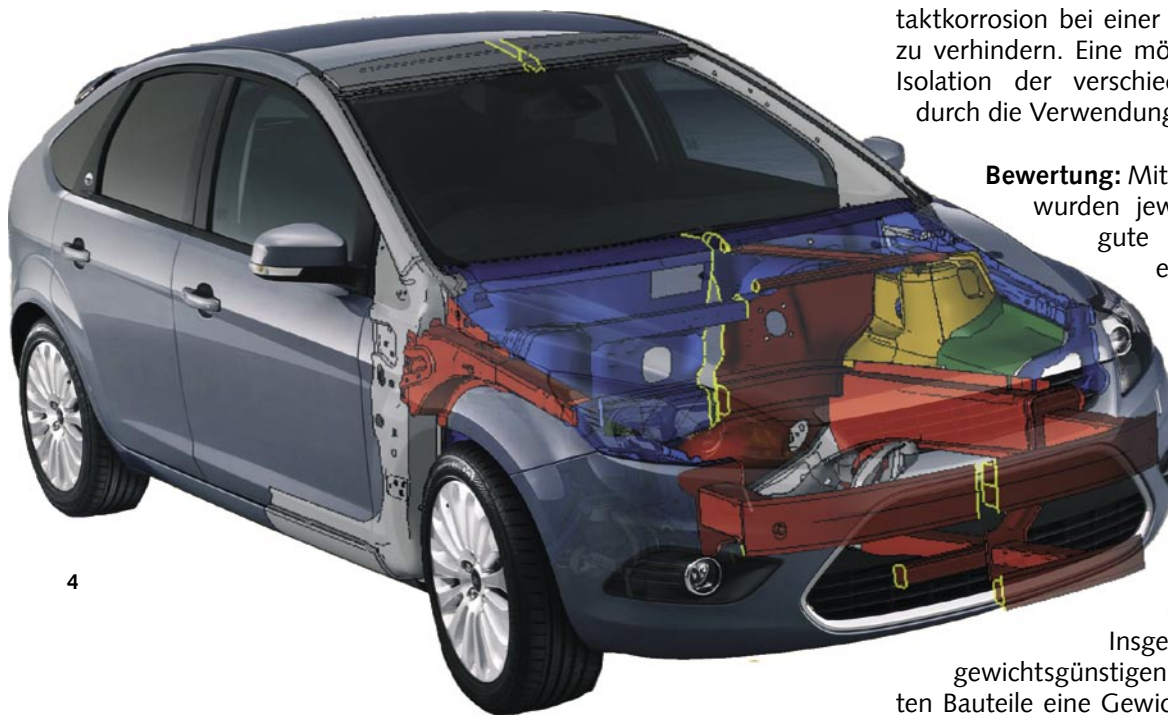
Der Hauptlängsträger besteht aus einer Aluminium-Schalenlösung, die durch ein Aluminium-Extrusionsprofil verstärkt wird. Die Topologieoptimierung zeigte, dass das vordere Radhaus strukturell nicht relevant ist. Daher wurde es durch ein einfaches Kunststoffschließeil aus Polypropylen ersetzt.

Das kostengünstige Konzept nutzt einige Gleichteile des gewichtsgünstigen Konzepts. Neben dem vorderen Radhaus aus Polypropylen handelt es sich um das vordere Crash-Management-System aus Crashboxen und Stoßfänger.



Dr.-Ing. Markus Bröckerhoff ist Teamleiter Passive Sicherheit im Geschäftsbereich Karosserie der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka).

- 2 Hauptbestandteile des gewichtsgünstigen Konzepts
- 3 Hauptbestandteile des kostengünstigen Konzepts



taktkorrosion bei einer Multi-Material-Bauweise zu verhindern. Eine mögliche Lösung stellt eine Isolation der verschiedenen Metallwerkstoffe durch die Verwendung von Klebstoff dar.

Bewertung: Mit beiden neuen Konzepten wurden jeweils mindestens ebenso gute Struktureigenschaften erreicht wie mit der Referenzstruktur. Dies gilt für die Steifigkeitseigenschaften und für die Crashlastfälle. Darüber hinaus zeigt das gewichtsgünstige Konzept, dass der zusätzliche untere Lastpfad das Crashverhalten deutlich verbessert.

Insgesamt konnte bei dem gewichtsgünstigen Konzept für die veränderten Bauteile eine Gewichtseinsparung von 38 % erreicht werden. Beim kostengünstigen Konzept betrug der Gewichtsvorteil immerhin noch 18 %. Ferner konnte die Teilezahl durch die Multi-Material-Konstruktionen um sechs bzw. acht reduziert werden.

Die Kostenbewertung erfolgte basierend auf dem im Rahmen der ULSAB-Studie (Ultra-Light Steel Auto Body) im Jahre 2002 entwickelten Kostenmodells durch das ika. Insgesamt ergeben sich danach geschätzte Kostensteigerungen von rund 31 % für das gewichtsgünstige und rund 7 % für das kostengünstige Konzept.

Zusammenfassung: Der Multi-Material-Einsatz hat gezeigt, dass er in Bezug auf Gewichtseinsparung und wirtschaftliche Fertigung vielversprechend ist. Dafür wurden verschiedene Konzepte präsentiert, die unterschiedliche Leichtbaugrenzkosten (d. h. zulässige Mehrkosten pro Gewichtseinsparung) aufweisen. Die Entwicklung der Kraftstoff- und Materialpreise sowie gesetzliche Rahmenbedingungen werden maßgeblich darüber entscheiden, welches der Konzepte zukünftig am wirtschaftlichsten sein wird.

Die Verbindungstechnik stellt in Bezug auf die Multi-Material-Bauweise jedoch die Herausforderung der Zukunft dar, wobei das Kleben in dieser Hinsicht sein Potenzial unter Beweis gestellt hat. ◀◀

4

4 Darstellung des gewichtsgünstigen Konzepts im Gesamtfahrzeug

Der Stoßfänger wurde zur Versteifung als Aluminium-Doppelkammerprofil ausgelegt.

Der obere Längsträger besteht ebenfalls aus einem Aluminium-Profil. Der gesamte hintere Teil des Vorderwagens ist hingegen Stahl-intensiv konstruiert. Hier ist besonders die Stirnwand hervorzuheben, die durch ein Stahl/Kunststoff-Hybridteil verstärkt ist. Dank dieser Konstruktion konnte die gewünschte Strukturintegrität des Stirnwandquerträgers im Offsetlastfall gewährleistet werden. Die Kunststoffrippen bestehen aus kurzfaserverstärktem Polyamid.

Die Domstrebe des kostengünstigen Konzepts ist durch zwei Blechschalen in den Wasserkasten integriert. Beim Hauptlängsträger handelt es sich um eine Schalenbauweise, bei der ein Tailor-Welded-Blank zum Einsatz kommt. Mit der dadurch möglichen Materialverteilung lässt sich das gewünschte Crashverhalten erreichen. Die kinetische Energie wird dabei durch Faltenbeulen im vorderen Bereich des Bauteils aufgenommen.

Verbindungstechnik: Der Zusammenbau von Bauteilen unterschiedlicher Materialien stellt die größte Herausforderung beim Multi-Material-Design dar. Die Mehrzahl der heute am Markt befindlichen Großserienfahrzeuge wird in einer Stahl-intensiven Bauweise hergestellt, bei der vor allem Widerstandsschweißen als Fügetechnik zum Einsatz kommt. Für Multi-Material-Paarungen kann diese Technik nicht eingesetzt werden. Stattdessen bietet sich die Verwendung von mechanischen Fügeverfahren oder Klebtechniken an.

Eine weitere Herausforderung ergibt sich aus dem unterschiedlichen elektrochemischen Potenzial der verschiedenen Metalle. Schon im frühen Entwicklungsprozess gilt es, eine mögliche Kon-

Danksagung

Im Namen aller Partner möchten wir dem Ministerium für Innovation, Wissenschaft, Forschung und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen danken, das dieses Projekt maßgeblich gefördert hat.