

SuperLIGHT-CAR – *the* Multi-Material Car Body

Micha Lesemann, Christian Sahr

Institut für Kraftfahrzeuge – RWTH Aachen University, Aachen, Germany

Simon Hart, Richard Taylor

ARUP, Solihull, United Kingdom

Abstract:

Over the last years, total vehicle weights have risen significantly. With their direct influence on the power demand of vehicles, the reduction of weight is one among other measures in order to decrease the fuel consumption and CO₂ emissions. The European project SuperLIGHT-CAR is aiming at a weight reduction for the body in white of a compact class passenger car, following the multi-material approach. By this, the perfect material is chosen for every component of the body structure, based on criteria such as energy absorption, structural integrity, stiffness etc. A comparison between the component requirements and the material capabilities, the selection is made and the development of the multi-material-body begins.

In order to assess the concept and to show further potential for improvement, simulation is required. LS-Dyna is used in this project to a large extent as it offers excellent opportunities for both static and dynamic loadcases that are regarded. The model is therefore built-up from different include files which offer the capability to quickly change between loadcases and concept versions. In addition, a multi-disciplinary optimisation based on LS-Opt reveals further potential for weight reduction.

The main goal of the project, a weight reduction of 30 % for the body-in-white, is overachieved while the structural performance of the reference vehicle is maintained or even improved. The fact, that only one-model had to be used for all simulations, decreased the required time for a full analysis run and hence accelerated the development process.

Keywords:

Crash, Entwicklung, explizit, Framework Programme, Gesamtfahrzeug, implizit, Integriertes Projekt, Karosserie, Leichtbau, Materialauswahl, modal, Multi-Material, SLC, Steifigkeit, SuperLIGHT-CAR

1 Einleitung

Durch die Einführung höher- und höchstfester Stahlfeinbleche sowie durch den partiellen Einsatz von Aluminium und Kunststoffen wurden in den vergangenen Jahren erhebliche Fortschritte im Leichtbau von Pkw-Karosserien erzielt. Eine weitergehende, deutliche Gewichtsreduzierung mit dem Ziel, einen wirksamen Beitrag zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs zu leisten, wird jedoch den Übergang auf neue Bauweisen erfordern.

Als ein Schlüssel zum Superleichtbau wird die Multi-Material-Bauweise gesehen, bei der für jedes einzelne Element des Fahrzeugkarosserie derjenige Werkstoff ausgewählt wird, der die gestellten Anforderungen bei minimalem Gewicht erfüllt. Im Rahmen des europäischen Verbundprojekts *Super-LIGHT-CAR* wurde dazu in den vergangenen vier Jahren eine Multi-Material-Karosserie für ein Kompaktklasse-Fahrzeug in Großserienfertigung entwickelt. Neben den sieben beteiligten OEMs war das Institut für Kraftfahrzeuge Mitglied im Executive Board des Projekts, an dem darüber hinaus rund 30 weitere Institutionen aus Europa beteiligt waren.

2 Gründe für Leichtbau

Die Anforderungen an moderne Fahrzeuge steigen von Generation zu Generation. Dies betrifft vor allem die Faktoren Komfort, Sicherheit, Zuverlässigkeit sowie Fahrleistungen. Erfüllt werden diese Anforderungen durch eine starke Motorisierung, eine Verbesserung des Fahrwerks, eine Versteifung der Karosserie sowie allgemein durch mehr Packagekomponenten. Diese Maßnahmen beeinflussen und verstärken sich dabei gegenseitig, so dass die Fahrzeuggewichte in den vergangenen Jahren stark zugenommen haben (Bild 1).

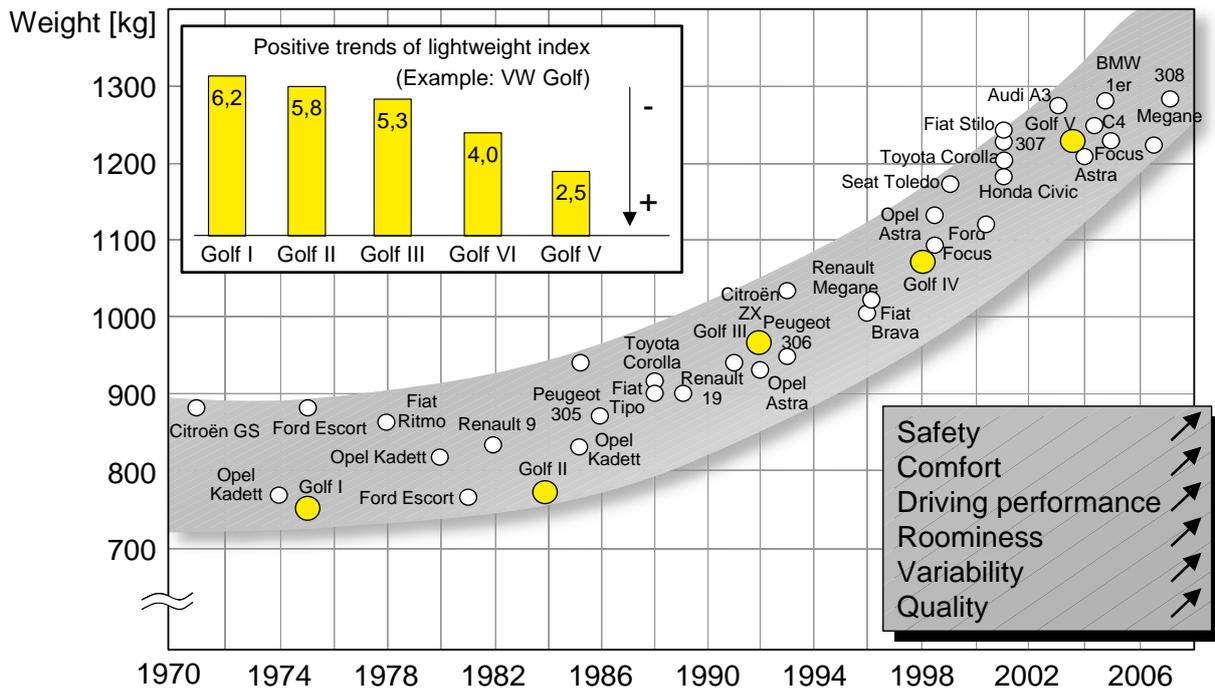


Bild 1: Entwicklung von Fahrzeuggewichten

Dabei konnten Leichtbaumaßnahmen im Bereich der Karosserie die Steigerung des Gesamtgewichts teilweise kompensieren und haben darüber hinaus zu einer Verbesserung der Leichtbaugüte (1) geführt. Diese ist beschreibt das Verhältnis aus dem Gewicht der Rohkarosserie m_{Ger} zu Torsionssteifigkeit c_1 und Aufstandsfläche A und ist wie folgt definiert:

$$L = \frac{m_{Ger}}{c_1 \cdot A} \left(\frac{kg}{Nm/Grad \cdot m^2} \right) \cdot 10^3 \tag{1}$$

Die gestiegenen Fahrzeuggewichte haben direkten Einfluss auf den Leistungsbedarf und damit auf den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen, wie die Bedarfsgleichung (2) zeigt:

$$P_{\text{Bed}} = P_{\text{Beschl}} + P_{\text{Steig}} + P_{\text{Roll}} + P_{\text{Luft}} \quad (2)$$

$$= (e_i \cdot m_F + m_{\text{Zu}}) \cdot a \cdot v + (m_F + m_{\text{Zu}}) \cdot g \cdot \sin(\alpha_{\text{Steig}}) \cdot v + (m_F + m_{\text{Zu}}) \cdot g \cdot f_R \cdot \cos(\alpha_{\text{Steig}}) \cdot v + \frac{1}{2} c_w \cdot A \cdot \rho_L \cdot v^3$$

Aus diesem Grund handelt es sich beim Leichtbau um eine effektive Maßnahme zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen und somit um einen Beitrag zur Erreichung der CO₂-Ziele, die derzeit in der Europäischen Union (EU) diskutiert werden. Bild 2 zeigt den aktuellen Stand der Diskussion, ausgehend von der Selbstverpflichtung der ACEA aus dem Jahr 1995. Demnach sollen die Emissionen von Neufahrzeugen in der EU bis 2012 auf 130 g CO₂/km gesenkt werden. Bei Nichteinhaltung sind Strafen vorgesehen, die von 20 bis 95 Euro pro Gramm CO₂ und Fahrzeug ab dem Jahr 2012 reichen. Die endgültige Entscheidung über Höhe und Zeitrahmen ist für den Herbst 2008 geplant.

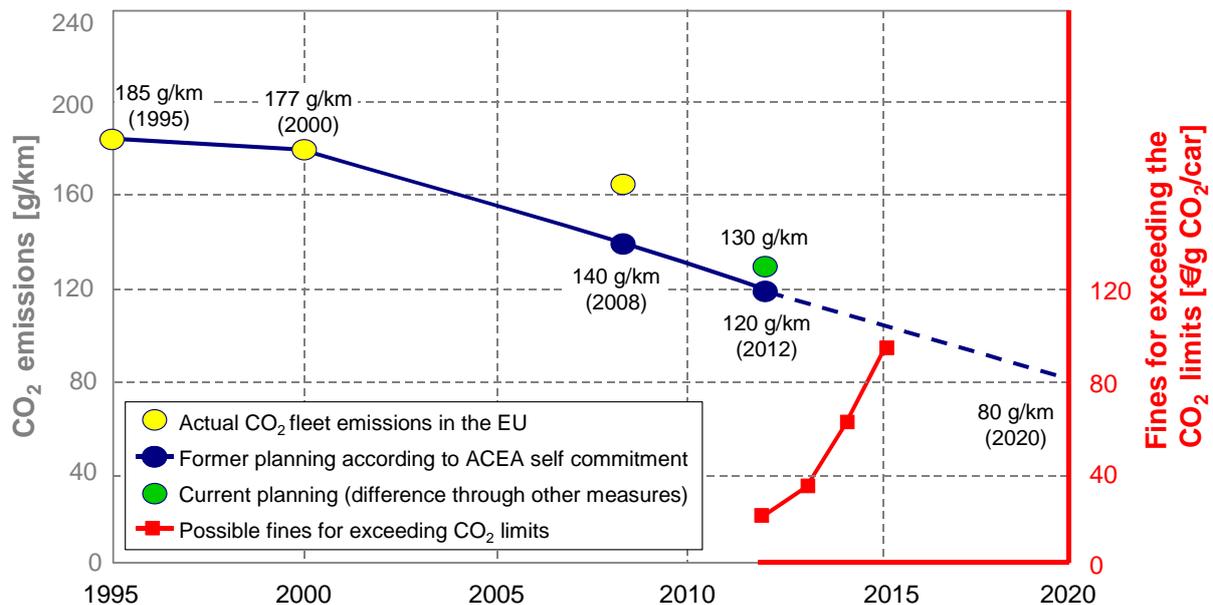


Bild 2: CO₂-Emissionen – Entwicklung in der EU

Zur Zielsetzung für die Entwicklung des SuperLIGHT-CAR wurde ein Gewichtsszenario definiert, das auf der ACEA-Selbstverpflichtung basiert. Demnach sollen die Kohlendioxidemissionen um 20 g CO₂/km gesenkt werden. Die Hälfte dieser Senkung soll durch Gewichtungs-Maßnahmen erreicht werden, d.h. 10 g CO₂/km. Mit der Annahme, dass sich 0,3 l/100 km Kraftstoff durch eine Gewichtsreduzierung von 100 kg einsparen lassen, ergibt sich ein Gewicht von 130 kg, dass es insgesamt einzusparen gilt.

Der Anteil der Rohkarosserie am Fahrzeuggewicht ist hoch, jedoch trägt sich nicht alleine dazu bei. Ferner gibt es für nicht strukturelevante Anbauteile wie Türen, Klappen sowie einige Module im Front- und Heckbereich Lösungen, die eine deutliche Gewichtsreduzierung z.B. durch den Einsatz von Kunststoffen zulassen. Es wird angenommen, dass sich auf diesem Weg rund 45 kg einsparen lassen. Daraus ergibt sich für die Rohkarosserie eine anzustrebende Gewichtsreduktion von 85 kg. Dies entspricht, bezogen auf die Mittelklasse, etwa 30 % des aktuellen Karosseriegewichts und stellt somit das Ziel des SuperLIGHT-CAR Projekts dar.

3 Das SuperLIGHT-CAR Projekt

Im Rahmen des Europäischen Forschungsprojekts SuperLIGHT-CAR haben sich im Jahr 2005 37 Partner aus der europäischen Automobilindustrie zusammengeschlossen, um eine Karosserie in Multi-Material-Bauweise für ein Mittelklassefahrzeug zu entwickeln. Zu den Partner gehören mit VW, Fiat, Opel, Volvo, Daimler, Porsche und Renault die führenden europäischen OEMs. Hinzu kommen Zulieferer, Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen. Als Referenzmodell für das Projekt dient der

VW Golf V. Das primäre Ziel ist es, 85 kg (also rund 30 %) des Karosseriegewichts durch den Einsatz verschiedener Materialien einzusparen. Dabei sollen die Leichtbaukosten, also der Quotient aus Mehrkosten in Euro pro gespartem Kilogramm Gewicht, nicht höher als 5 Euro ausfallen.

Die zu entwickelnde Karosserie soll dabei alle Randbedingungen beachten, die heutzutage für Großserienfahrzeuge bestehen, vor allem in Bezug auf ökonomische Restriktionen und Herstellbarkeit. Neben der Konzeptentwicklung wurden daher in weiteren Teilprojekten Untersuchungen zu Material- und Produktionstechnologien durchgeführt. Durch eine Life Cycle Analyse und eine Kostenbewertung wurde der gesamte Produktlebenszyklus abgebildet und beurteilt. Abschließend erfolgt derzeit der Aufbau eines Prototyps, der das endgültige Konzept in Hardware präsentieren wird. Bild 3 zeigt die einzelnen Teilprojekte und den Zeitplan des Projekts.

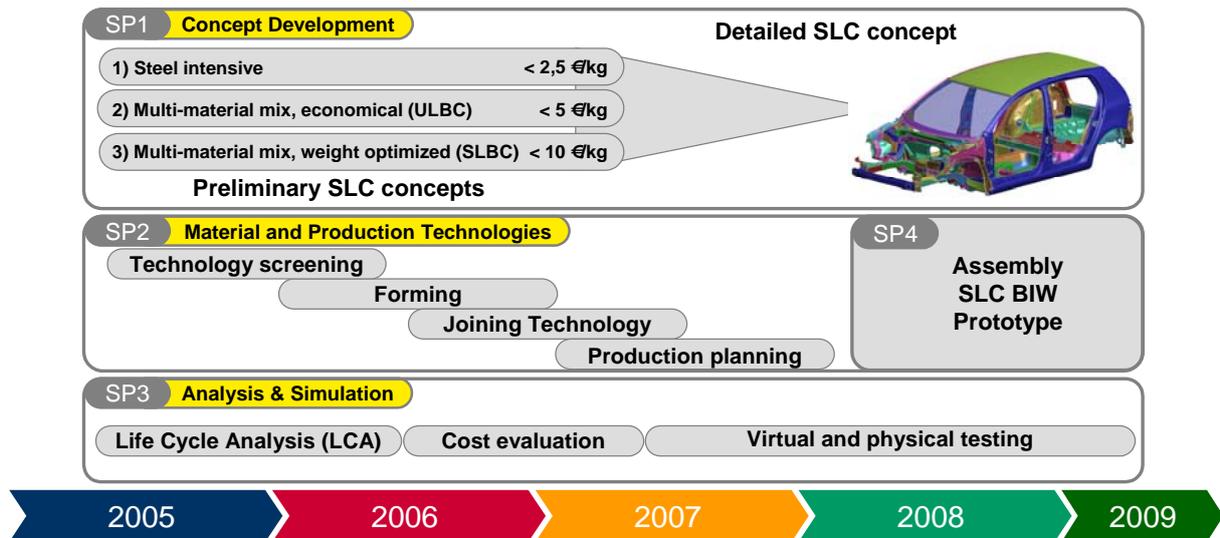


Bild 3: Teilprojekte und Zeitplan

Im Rahmen der Konzeptentwicklung wurden zunächst drei verschiedene Ansätze untersucht, denen als wichtigstes Unterscheidungskriterium unterschiedliche zulässige Leichtbaukosten zugrunde lagen. Aus diesen Konzepten wurden später diejenigen Lösungen ausgewählt, die am vielversprechendsten waren und sich wirtschaftlich darstellen lassen. Die Zusammenführung der verschiedenen Komponenten sowie die Optimierung des finalen Konzepts erfolgte in drei Schleifen, die alle relevanten Simulationen umfasst haben (siehe Abschnitt 5).

4 Entwicklungsansätze

Um Leichtbau zu betreiben, existieren verschiedene Ansätze. Der konstruktive Leichtbau verfolgt eher das Ziel, durch eine Optimierung der Bauteilgeometrien Gewichtspotenzial zu erschließen. Der Fertigungsleichtbau setzt auf neue Produktions- und Herstellungsverfahren im Bereich der Materialien (z.B. Tailored Blanks oder flexibles Walzen) und Fügetechniken (z.B. Kleben oder Reibrührschweißen). Der Werkstoffleichtbau zeichnet sich durch die Verwendung von Leichtbaumaterialien aus, also beispielsweise Leichtmetalle oder Kunststoffe. Eine Kombination der Verfahren ist darüber hinaus möglich. Sie verspricht die höchsten Gewichtseinsparungen, ist dabei jedoch auch bezogen auf den Entwicklungsprozess am anspruchsvollsten.

4.1 Entwicklungstrends

In der Fahrzeugentwicklung haben sich in Bezug auf den Leichtbau verschiedene Trends entwickelt. Crashrelevante Bauteile können z.B. durch den Einsatz warmgeformter Stähle leichter gemacht werden. Stylingelemente lassen sich oftmals durch die Verwendung von vergleichsweise leichten Kunststoffen darstellen. Auch Anbauteile können, wie oben beschrieben, erhebliche Gewichtseinsparungen beitragen, wenn sie aus Leichtmetall oder Kunststoffen hergestellt werden.

Bei den strukturelevanten Bauteilen gibt es ebenfalls unterschiedliche Ansätze, die verfolgt werden. Profilintensive Bauweisen existieren beispielsweise sowohl in Aluminium als auch in Stahl. Zur Ver-

besserung der Achslastverteilung gibt es Serienlösungen, bei denen der Vorderwagen aus Aluminium gefertigt wird, während der Rest des Fahrzeugs aus Stahl besteht. Darüber hinaus gibt es, beispielsweise im aktuellen Audi TT, Ansätze von hybriden Strukturen, bei denen Stahl und Aluminium in unterschiedlichen Bereichen des Fahrzeugs zum Einsatz kommen. Die konsequente Weiterentwicklung all dieser Trends besteht in der Multi-Material-Bauweise, die im SuperLIGHT-CAR Projekt verfolgt wird.

4.2 Der SuperLIGHT-CAR Ansatz

Die Multi-Material-Bauweise basiert auf dem Ansatz, für jedes einzelne Element der Fahrzeugkarosserie denjenigen Werkstoff auszuwählen, der die gestellten Anforderungen bei minimalem Gewicht erfüllt. Genau diesen Ansatz hat das SuperLIGHT-CAR Projekt zur Konzeptentwicklung verfolgt. Diese erfolgte zunächst in drei Konzeptvarianten (Bild 4). Dazu wurde anhand einer Topologieoptimierung zunächst untersucht, wo die optimalen Lastpfade verlaufen müssen. Als Lastfälle wurden sowohl Steifigkeits- als auch Crashlasten definiert, wobei letztere durch statische Ersatzlasten repräsentiert werden. Zu Projektbeginn wurde ferner definiert, dass der Packagebaureaum des Referenzfahrzeugs nicht verletzt werden darf. Daher unterscheidet sich beispielsweise die Seitenstruktur des Topologievorschlages kaum von der bestehenden.

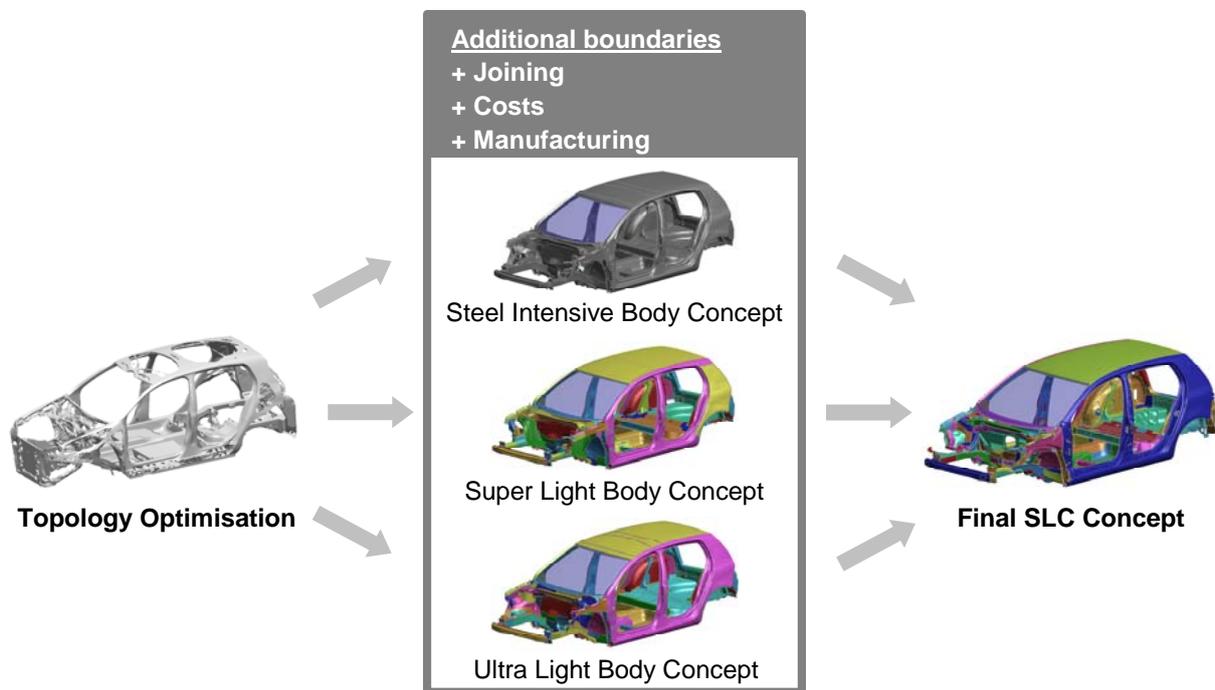


Bild 4: Verfolgte Konzeptansätze des SuperLIGHT-CAR Projekts

Das Ergebnis der Topologieoptimierung ist eine optimale Materialverteilung anhand der definierten Lasten. Die Interpretation und Umsetzung dieses Vorschlags bedarf jedoch weiterhin klassischer Ingenieursarbeit. Hinzu kommen weitere Anforderungen, die es bei der Konstruktion der Bauteile zu berücksichtigen gilt. Besonders in Bezug auf die Multi-Material-Bauweise sind dies beispielsweise die Verbindungsmöglichkeiten, die Herstellbarkeit und nicht zuletzt die Kosten. Eine besondere Schwierigkeit stellt für den Konstrukteur des weiteren die Auswahl des geeigneten Materials dar, vor allem dann, wenn die einzusetzenden Werkstoffe bisher nicht oder kaum im Karosseriebau verwendet werden. Hierfür wurde ebenfalls im Projektrahmen eine Methodik entwickelt, die die Materialwahl aktiv unterstützt (vgl. Abschnitt 5.1).

5 Virtuelle Entwicklung

Die Entwicklung des SuperLIGHT-CARs erfolgt weitgehend virtuell. Erst zum Projektende wird ein Prototyp des Fahrzeugs aufgebaut, um die Machbarkeit des Konzepts unter Beweis zu stellen.

5.1 Materialauswahl-Methodik

Die Auswahl geeigneter Materialien für Bauteile kann den Konstrukteur vor allem dann vor Probleme stellen, wenn neue Materialien in die Konstruktion eingebracht werden sollen, die bisher nicht verwendet wurden. Im Rahmen des SuperLIGHT-CAR Projekts ist aus diesem Grund eine Methodik entwickelt worden, die den Konstrukteur bei dieser wichtigen, da früh im Entwicklungsprozess zu treffenden, Entscheidung unterstützt. Zu diesem Zweck werden zunächst für jedes Bauteil die Anforderungen ermittelt und auf einer Skala bewertet. Die Bewertungskriterien dafür sind:

- Energieabsorption
- Strukturintegrität
- Steifigkeit
- Umformbarkeit
- Oberflächengüte
- NVH

Mit den gleichen Kriterien werden außerdem die Materialeigenschaften bewertet. Durch eine Gegenüberstellung der Kriterien erhält man eine erste Auswahl an geeigneten Materialien. In einem zweiten Schritt werden weitere Kriterien in die Auswahl mit einbezogen. Dies sind unter anderem:

- Kosten
- Life Cycle Analyse
- Simulation
- Korrosion
- Fügbarkeit
- Herstellbarkeit

Am Ende dieses Prozesses ergibt sich eine Vorauswahl von Materialien, die für ein bestimmtes Bauteil theoretisch eingesetzt werden können. Diese Vorauswahl muss anschließend durch Experten bewertet und ggf. durch Simulationen überprüft werden. Am Beispiel eines vorderen Längsträgers wird der Prozess deutlich: das Methodik-Tool schlägt zunächst einen Dualphasen-Stahl als Blech vor. Aufgrund der Gewichtsanforderung muss jedoch der zweite Vorschlag gewählt werden. Bei diesem handelt es sich um ein Extrusionsprofil aus Aluminium. Da hier das Fügen mit den umgebenden Bauteilen jedoch zu hohen Aufwänden führt, wird letztendlich der dritte Materialvorschlag umgesetzt, ein Aluminium-Blech. Die Methodik kann die Materialauswahl also stark eingrenzen, ersetzt jedoch das ingenieurmäßige Verständnis und Expertenwissen auf diesem Gebiet nicht.

5.2 Simulation

Die Simulation dient der Überprüfung der Konstruktion und dem Vorschlag von Veränderungen. Dabei handelt es sich um einen iterativen Prozess, der im Projektrahmen mehrfach durchlaufen wurde. Mehrere Lastfälle wurden dafür zu Projektbeginn definiert. Ziel war es, jeweils mindestens die Struktureigenschaften des Referenzfahrzeugs zu erreichen.

Die Steifigkeitslastfälle haben durch eine Modalanalyse Eigenfrequenzen der Karosserie sowie die statische Torsionssteifigkeit aufgezeigt (Bild 5). Die Crashlastfälle umfassen die folgenden Konstellationen:

- EuroNCAP Frontalaufprall
- EuroNCAP Seitenaufprall
- EuroNCAP Pfahlaufprall
- FMVSS 301 Heckaufprall
- FMVSS Dacheindrückttest
- AZT Versicherungseinstufungstest

Des weiteren wurde jeweils zum Ende einer Simulationsschleife eine multidisziplinäre Optimierung durchgeführt, mit deren Hilfe die Blechdicken der Bauteile noch einmal auf das notwendige Maß reduziert werden konnten.

Für die statischen wie auch die dynamischen Simulationen wurde LS-DYNA in der Version 971 R2 verwendet. Durch einen modularen Aufbau des Modells, bestehenden aus mehreren Include-Dateien, konnten sowohl die impliziten wie auch die expliziten Rechnungen ohne Konvertierung aufgesetzt

werden. Durch den Einsatz von Oasys Primer konnte die Include-Struktur des Modells effektiv bearbeitet werden. Das Package, das über den gesamten Projektverlauf unverändert blieb, wurde jeweils an den letzten Konstruktionsstand des Body in White angebunden. Auch die unterschiedlichen Randbedingungen, wie beispielsweise Barrieren und Zusatzgewichte, der einzelnen Lastfälle sind in einzelnen Include-Dateien definiert worden.



Bild 5: Torsionssteifigkeit des finalen SuperLIGHT-CAR Konzepts

Für die implizite Analyse wurde die SMP-Variante von LS-DYNA 971 R2 in Double Precision verwendet. Die Rechnung wurde in-core gelöst, wofür 3,7 Gigawords erforderlich waren. Die Rechendauer auf einem Xeon 64bit System betrug rund 31 Minuten. Die expliziten Rechnungen wurde im Single Precision Modus der MPP-Version gerechnet. Auf einem Opteron Cluster mit 8 CPUs hat beispielsweise die Berechnung des Pfahlaufpralls rund 14 Stunden benötigt. Das Modell bestand dabei je nach Lastfall aus rund 1 Mio. Elementen. Durch die Möglichkeit, anhand eines LS-DYNA-Modells sowohl die statischen wie auch dynamischen Lastfälle zu untersuchen, konnte erhebliche Arbeitszeit eingespart und die Entwicklung dadurch beschleunigt werden.

6 Ergebnisse des SuperLIGHT-CAR Konzepts

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass das SuperLIGHT-CAR Konzept die Performance des Referenzmodells erreicht und oftmals sogar übersteigt. Dies ist als Erfolg der Entwicklungsmethodik zu werten, bei der die Materialwahl und die materialgerechte Konstruktion die größten Herausforderungen darstellten.

Die Modalanalyse hat gezeigt, dass ein Torsionsmode im Bereich des Hecks erst bei einer Frequenz von rund 50 Hz auftritt, was über der Zielfrequenz liegt. Gleiches gilt für die Biegung der vorderen Längsträgerstruktur, die wie gefordert bei über 50 Hz auftritt. Die Torsionssteifigkeit ist mit 25,5 kNm/° ebenfalls gegeben. Sie ist damit vergleichbar der Referenz und besitzt keine Diskontinuitäten.

Die Performance im Frontalcrash nach EuroNCAP konnte signifikant verbessert werden. Hier liegt die Intrusion in die Fahrgastzelle bei allen definierten Messpunkten unterhalb des Limits. Die maximale Verzögerung ist auf Niveau der Referenz, ein Türklemmen ist anhand der Simulationsergebnisse nicht zu erwarten.

Bei den Seitencrashkonstellationen wurden insgesamt 14 Messpunkte im Bereich der B-Säule und Türen ausgewertet. Die deformierbare Seitencrashbarriere nach EuroNCAP hat dabei zu keinen kritischen Intrusionen in den Innenraum geführt. Die Eindringgeschwindigkeit der B-Säule liegt darüber hinaus auf Referenzniveau, so dass auch hier die Anforderungen voll erfüllt wurden. Beim Pfahlaufprall konnte ebenfalls eine Verbesserung gegenüber der Referenzstruktur festgestellt werden. Der Überlebensraum des Fahrers, gemessen im Bereich der Tür, besitzt mit 547 mm einen ausgezeichneten Wert.

Der Heckaufprall nach FMVSS 301 sowie der AZT-Frontalaufprall zur Versicherungseinstufung haben gezeigt, dass das Konzept in den hier abgeprüften Bereichen ebenfalls die Anforderungen erfüllt. Gleiches gilt für den Dacheindrückttest nach FMVSS 216, der ebenfalls explizit gerechnet wurde. Hier zeigt die Dachstruktur, dass sie etwa dreimal stärker als gefordert ist und damit wohl auch einem zukünftig verschärften Lastfall standhalten kann.

In Bild 6 sind die Gewichts- und Materialverteilung des finalen Konzepts dargestellt. Aluminium hat mit 53 % den größten Anteil an den eingesetzten Werkstoffen. Dabei kommen neben Aluminiumblechen auch gegossene und extrudierte Bauteile zum Einsatz. Stahl besitzt einen Anteil von 36 %, wobei warmgeformte Bauteile inbegriffen sind. Mit 7 Gewichtsprozent hat Magnesium einen hohen Anteil. Als Besonderheit ist an dieser Stelle der Federbeindom als Magnesium-Druckgussbauteil zu nennen. Die übrigen 4 % werden durch Kunststoffbauteile abgedeckt, die strukturell von untergeordneter Relevanz sind.

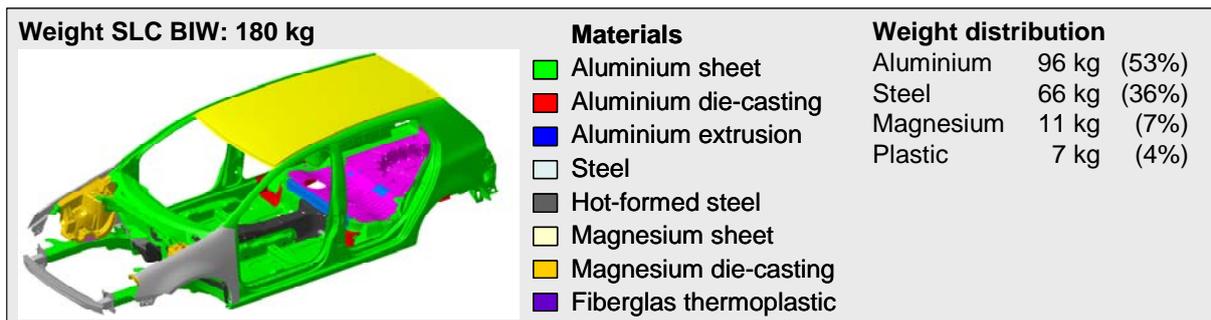


Bild 6: Gewichts- und Materialverteilung

Ein Vergleich von Kosten und Gewicht ist abschließend in Bild 7 gegeben. Hier zeigt sich, dass mit einer Reduzierung von 37 % das Ziel übertroffen wurde. Hieran haben neben dem Vorderwagen mit -34 % vor allem der Boden (-42 %) und der Hut (-34 %) Anteil. Die Kosten sind jedoch im Vergleich zur Referenz stärker gestiegen als geplant. Insgesamt ergibt sich derzeit eine Steigerung von 112 % bei den Bauteilkosten. Im weiteren Projektverlauf wird das Augenmerk deshalb besonders auf die Erschließung weiterer Kosteneinsparungspotenziale gelegt, um das avisierte Ziel zu erreichen.

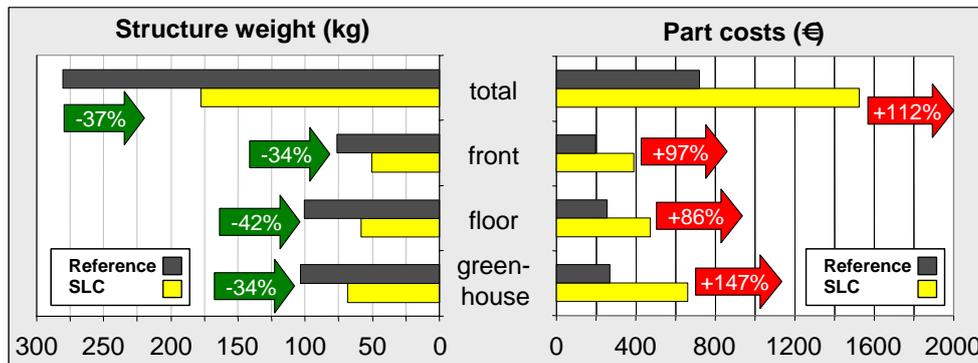


Bild 7: Gewichts- und Kostenvergleich

7 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund steigender Fahrzeuggewichte und fallender CO₂-Emissionsgrenzen bleiben Gewichtseinsparungen in allen Bereichen des Fahrzeugs von großer Bedeutung. In Bezug auf die Fahrzeugkarosserie sind in den vergangenen Jahren bereits große Gewichtseinsparungen realisiert worden, wobei die Leichtbaugüte gleichzeitig zugenommen hat. Um weitere Gewichtseinsparungen erzielen zu können, die über bestehende Ansätze hinaus gehen, wird die Multi-Material-Bauweise als Schlüssel zum Erfolg angesehen.

Das Europäische Verbundprojekt SuperLIGHT-CAR hat mit einem Konsortium, bestehend aus führenden OEMs und Forschungseinrichtungen aus Europa, eine Karosserie in Multi-Material-Bauweise

entwickelt. Für diese konnte insgesamt eine Gewichtseinsparung von 37 % erzielt werden. Durch umfangreiche Simulationen wurden dabei die Struktureigenschaften in mehreren Iterationen bewertet, aus denen sich auch Vorschläge für konstruktive Lösungen ergaben. Dazu diente ein modular aufgebautes LS-DYNA-Modell, das sowohl den Steifigkeits- wie auch Crashlastfällen unterzogen wurde. Durch implizite Rechnungen wurden die Steifigkeitseigenschaften (Eigenfrequenzen und Torsionssteifigkeit) ermittelt. Die klassischen expliziten Rechnungen haben die Crashlastfälle überprüft.

Insgesamt konnte anhand der Simulation gezeigt werden, dass das Konzept des SuperLIGHT-CARs mindestens die Struktureigenschaften des Referenzfahrzeugs erreicht. Dies und umfangreiche weitere Analysen, die in anderen Teilprojekten durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass der Weg für die Einführung von innovativen Produktionstechnologien in Großserienmodellen frei ist.

8 Disclaimer

The research leading to these results has received funding from the European Community's Sixth Framework Programme.

This publication solely reflects the authors' views. The European Community is not liable for any use that may be made of the information contained herein.



