



Kostenattraktiver Leichtbau in der Vorderwagenstruktur

Zur Senkung des CO₂-Ausstoßes spielt die Reduzierung der Fahrzeugmasse eine wichtige Rolle. Am Beispiel eines Magnesiumussteils für die Vorderwagenstruktur zeigt das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte, wie durch Anwendungen einer geeigneten Leichtbastrategie, durch Nutzung der Topologieoptimierung und durch eine neue kostenattraktive Bauweise erhebliche Gewichtseinsparungen erzielt werden können.

1 Einleitung

Magnesium ist ein Werkstoff mit Wachstumspotenzial. Die Studie „Magnesium Vision 2020“ der United States Automotive Materials Partnership (USAMP) [1] zeigt, dass schon die heute bereits in Fahrzeugen realisierten Magnesiumkomponenten einen wesentlich höheren Anteil an Fahrzeugteilen abdecken könnten. Danach befinden sich heute im Durchschnitt in jedem Fahrzeug nordamerikanischer Produktion zirka 5 bis 6 kg Magnesium. Die Summe aller im Einsatz befindlichen, möglichen Einzelkomponenten liegt aber bei einem Gewicht von 190 kg Magnesium. Sitzstrukturen, Instrumententafelträger, Getriebegehäuse und Motorträger sind beispielsweise in verschiedenen Fahrzeugbaureihen realisiert. Dennoch gibt es Hemmnisse für einen breiteren Einsatz von Magnesium. Eine Herausforderung liegt derzeit in der Erzeugung von Magnesium und Magnesium-Legierungen. Der Großteil des Rohstoffs Magnesium wird aktuell in China gewonnen, das verwendete Verfahren ist energieintensiv und belastet die Umwelt [2]. Eine weitere Herausforderung für einen erfolgreichen Einsatz von Magnesium im Fahrzeug ist die Korrosionsproblematik des Werkstoffes. Lösungsvorschläge existieren und wurden unter anderem in [3] berichtet. Erschwerend für die Verbreitung von Magnesiumumlösungen ist, dass heutige Fahrzeug-

strukturen häufig auf die Blechschalenbauweise hin optimiert sind. Um Leichtbau mit Magnesium zu betreiben, werden neue, werkstoffgerechte Bauweisen benötigt.

2 Leichtbaustrategie

Bei der Suche nach optimalen Leichtbaulösungen stehen dem Entwickler unterschiedliche Leichtbaustrategien zur Verfügung. Strukturen können leichter werden, indem man Stoffleichtbau, Formleichtbau, Konzeptleichtbau, Anforderungsleichtbau [4] oder eine sinnvolle Kombination der genannten Möglichkeiten nutzt. Eine Verwendung von Magnesiumussteilen in der Fahrzeugstruktur erfordert in aller Regel ein neues Bauweisenkonzept. Somit kommt dem Konzeptleichtbau eine wichtige Rolle zu. Bei ihm wird neben Fragen nach vorhandenen oder zusätzlichen Integrationsmöglichkeiten, sinnvoller Nutzung des Bauraums und eventuellen Möglichkeiten zur Modulbildung auch die zur Verfügung stehende Technologie betrachtet. Im Verbund mit dem Konzeptleichtbau sollten Anforderungs- und Formleichtbau stattfinden. Im Anforderungsleichtbau wird betrachtet, ob Bauteilanforderungen verändert oder verlagert werden können. Der Formleichtbau optimiert die Geometrie der gefundenen Lösung im Hinblick auf die auftretenden Lasten. Ne-

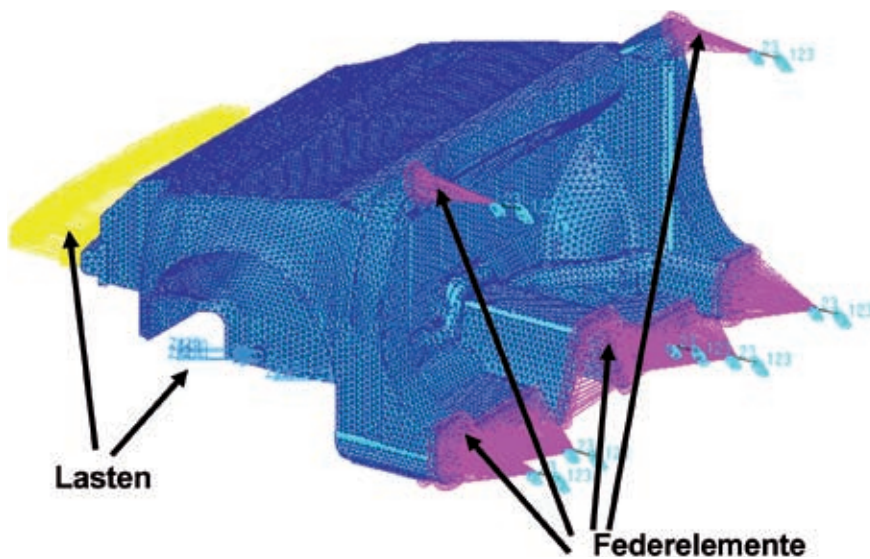


Bild 1: Bauraum und Randbedingungen für die Topologieoptimierung

Die Autoren



Prof. Horst E. Friedrich ist Institutsdirektor am DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart.



Dipl.-Ing. Elmar Beeh ist Teamleiter Fahrzeugkonzepte und -strukturen im Forschungsfeld Leichtbau und Hybridbauweisen am DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart.



Dipl.-Ing. Michael Kriescher ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsfeld Leichtbau und Hybridbauweisen am DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart.

Tabelle 1: Lastfälle für die Topologieoptimierung

Kurvenfahrt links + rechts
Bremsen
Torsion links + rechts
1 g Senke (Biegung nach unten)
Biegung nach oben
40 % ODB-Frontcrash links + rechts
30° schräger Frontcrash links + rechts
Pfahlcash vorne

Tabelle 2: Lastverteilung ohne und mit federnder Lagerung des Bauraums

	gewünschte Lastverteilung	Berechnungsergebnis, Bauraum fest fixiert		Berechnungsergebnis, Bauraum mit Feder in X-Richtung gelagert	
	%	Reaktionskraft Fx in N	%	Reaktionskraft Fx in N	%
A-Säule links	12,5	28427	14,18	25750	12,87
A-Säule rechts	12,5	28889	14,65	22944	11,47
Schweller links	25	0,6	0,0	49971	24,99
Schweller rechts	25	11,5	0,01	50298	25,15
Mitteltunnel	15	50	0,02	30795	15,4
Boden links	5	71310	35,57	10049	5,02
Boden rechts	5	71310	35,57	10190	5,09

ben den genannten Fragestellungen ergeben sich aus dem Stoffleichtbau die zu lösenden Aufgaben der Füge-technik und des Korrosionsschutzes. Durch methodisch sinnvolle Kombination der genannten Leichtbaustrategien ist es gelungen, die im Folgenden beschriebene innovative Bauteillösung für ein Strukturbauteil zu finden.

3 Konzeptfindung

Als Basis für eine Konzeptentwicklung diente der technologisch herausfordernde und für Leichtbau besonders interessante Bereich einer Fahrzeugfrontstruktur. Ausgehend von den allgemeinen Anforderungen und Lastfällen und dem zur Verfügung stehenden Bauraum wurde für ein Fahrzeug der unteren Mittelklasse eine Topologieoptimierung

durchgeführt und der für die Fahrzeugstruktur mögliche Designraum mit Hilfe der CAD-Software CATIA V5 konstruiert. Anders als bei heutigen Fahrzeugen üblich, wurde der Bereich der Motorhaube als mögliche lasttragende Struktur vorgesehen, **Bild 1**.

Dieser 3D-Datensatz wurde anschließend mit der Topologieoptimierungssoftware „Tosca“ weiterverarbeitet. Dabei wurden insgesamt 12 Lastfälle in die Optimierung mit einbezogen, **Tabelle 1**. Da heutige Topologieoptimierungsprogramme nicht zur Optimierung von Crashlastfällen geeignet sind, wurden diese als statische Ersatzlastfälle angenommen. Da mit dem gezeigten Bauraum nur ein Teil der Fahrzeugstruktur abgebildet ist, galt ein besonderes Augenmerk der möglichst realistischen Abbildung des Verhaltens der nicht vorhandenen Reststruktur. Dazu wurde

der oben gezeigte Bauraum nicht starr, sondern federnd gelagert. Anhand des Lastfalls 40 % Frontcrash wurde durch Abstimmung der einzelnen Federsteifigkeiten eine vorgegebene Lastverteilung eingestellt.

Wesentlich für die Ergebnisqualität ist die Vorgabe der Lastverteilung, **Tabelle 2**. So sind in den Spalten die gewünschte Lastverteilung und die sich bei der Berechnung ergebende Lastverteilung für das fest gelagerte und das federnd gelagerte Bauraummodell dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass hierbei die Last zu 70 % in die Bodenstruktur geleitet wird. Der Bodenbereich im realen Fahrzeug nimmt allerdings wesentlich weniger Längskräfte auf. Würde das Ergebnis in dieser Form zur Ermittlung einer optimalen Vorderwagenstruktur herangezogen, so wäre das Ergebnis fehlerhaft. In den vier rechten Spalten der Tabelle erkennt man die Wirkung der federnden Lagerung. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, den einzelnen Strukturbereichen realistische Lasten zuzuordnen und somit die Steifigkeit der fehlenden Restfahrzeugstruktur zu simulieren.

Als Ergebnis erhält man eine Struktur mit verbesserter Steifigkeit. Dieses Ergebnis der Topologieoptimierung dient als Basis für weiterführende konzeptionelle Überlegungen. Ziel des Projektes war es, mit einer magnesiumgerechten Bauweise das Potenzial dieses Werkstoffes für die Fahrzeugstruktur aufzuzeigen. Obwohl Magnesium Gussteile erfolgreich als Träger für Frontendmodule eingesetzt werden [5], wurde in diesem Projekt entschieden, ein Konzept für den weniger

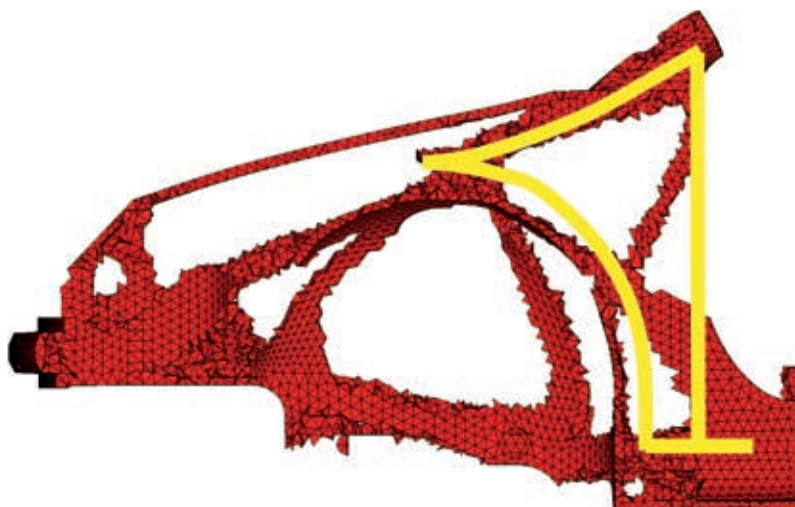


Bild 2: Ergebnis der Topologieoptimierung und Skizze der Konzeptidee

crashbelasteten Bereich des hinteren Vorderwagens zu entwickeln. Betrachtet man die berechnete Struktur in diesem Fahrzeugbereich genauer, dann ist zu erkennen, dass sich im Gegensatz zu heutigen Federbeindomkonzepten keine direkte (in Federwirkrichtung) Verbindung zwischen der Federaufnahme und dem Längsträgerbereich herausbildet. Es entsteht eher eine Verbindung in Form eines Kragträgers, welche von der A-Säule nach vorne Richtung Federteller reicht. Aus dieser Erkenntnis wurde die Idee entwickelt, die Federtellerauflage in einen großen A-Säulen-Gussknoten zu integrieren, **Bild 2**.

4 Wirtschaftlichkeitsabschätzung

Aufgrund der verglichen mit Stahl höheren Materialpreise für Magnesium ist es erforderlich, die Wirtschaftlichkeit einer Konzeptidee so früh wie möglich zu überprüfen. Dazu wurde die Konzeptidee im Hinblick auf mögliche Funktionsintegration untersucht und der Bauraum einer Stahl-Referenzstruktur betrachtet. Aus der Referenz-Stückliste wurden die jeweiligen Kosten und Gewichte der Teile im betrachteten Bauraum ermittelt und summiert, **Bild 3**.

Mit Hilfe dieser Daten konnte dann durch Abschätzung einer minimal er-



Bild 3: Möglicher Integrationsumfang

reichbaren Gewichtseinsparung von 40 % und einem angenommenen Preis für das fertige Bauteil von 10 €/kg Bauteilgewicht eine Prognose für die Kosten des fertigen Magnesiumbauteils erstellt werden. Bei dieser Betrachtung wird deutlich, dass die Wirtschaftlichkeit von Gusslösungen wesentlich von

den Möglichkeiten zur Bauteilintegration abhängig ist. Integriert man nur die blau dargestellten Teile in ein Gussteil, so ergibt die Wirtschaftlichkeitsprognose einen Mehrpreis für das Magnesiumgussteil von zirka 7 € pro eingespartem kg Gewicht. Integriert man jedoch die orange gekennzeichneten Halter und

Wir sind für Sie da!

...und überall wo Sie qualitativ hochwertige Sicherungsringe, Sprengringe, Spiral-Ringe, Wave Springs und Schlauchschellen benötigen, die Kosten senken und Sicherheit garantieren.

®
ROTOR CLIP

Mehr Infos unter: 06126 / 5 22 27
rcg@rotorclip.com - www.rotorclip.de

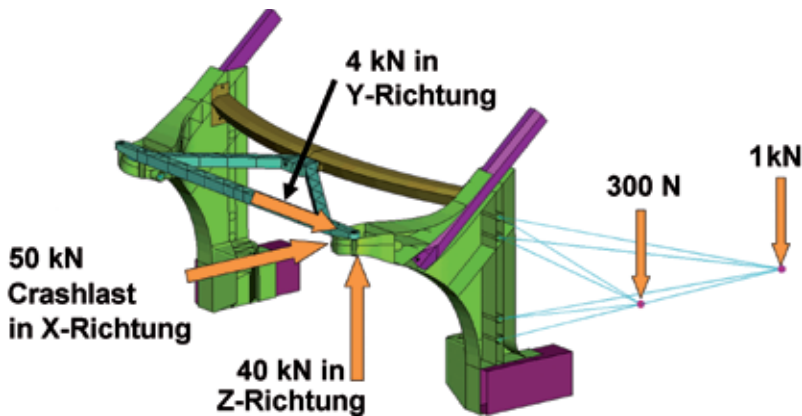


Bild 4: Lastannahmen für den A-Säulenknoten [6]



Bild 5: Detailentwicklung des Gussknotens [6]

Verstärkungen mit in die Gussstruktur, so liegt der Mehrpreis bei weniger als 3 € pro eingespartem Kilogramm. Mit diesem Ergebnis ist es gerechtfertigt, die in Bild 3 gezeigte Konzeptidee weiter zu verfolgen.

5 Detailentwicklung

Ausgehend von den Ergebnissen der Topologieoptimierung erfolgte mit Unterstützung eines renommierten Druckgussunternehmens eine seriennahe Vorentwicklung des A-Säulenknotens mit integriertem Federteller. Zur Definition bauteilspezifischer Lastfälle für diesen Strukturbereich dienten neben den Lastfällen an der Federbeinaufnahme auch Türabsenkungslastfälle und ein Crashlastfall, Bild 4. Die Hauptlast am Federbeindom wurde bewusst um ein Drittel überhöht, um eine Skalierbarkeit hin zu höheren Fahrzeugklassen aufzuzeigen.

Mit den gegebenen Lasten wurde im vorhandenen Bauraum eine bauteilspezifische Topologieoptimierung durchgeführt. Nach Umsetzung in ein Rippen-

bild konnten durch eine Topometrieoptimierung auch die Wandstärken optimiert werden, Bild 5. Diese Arbeiten führte Projektpartner Meridian Technologies im europäischen Entwicklungszentrum in Großbritannien durch.

Hierüber konnte eine Leichtbaustruktur aus Magnesium entwickelt

werden, welche die geforderten Lastfälle inklusive Crash erfüllt. Die Spannungen im Bauteil liegen im Crashlastfall bei 130 MPa. Die Dehnung im Bauteil bleibt unter 6 %, sodass kein Versagen der Struktur auftritt.

Der Korrosionsschutz des Bauteils wird durch eine KTL-Beschichtung erreicht. Magnesium benötigt für diese Beschichtung eine andere Vorbehandlung als Stahl und Aluminium, da es durch die in der Karosseriebeschichtung übliche Phosphatierungsvorbehandlung stark angegriffen wird. Aus diesem Grund muss die Beschichtung des Magnesiumteils vor der Montage des Bauteils in die Fahrzeugstruktur erfolgen, was natürlich die Kosten des Bauteils erhöht.

6 Kosten- und Gewichts Betrachtung

Mit der entwickelten Bauweise in Verbindung mit dem Werkstoff Magnesium wurde eine Gewichtersparnis von 43 % gegenüber der Stahlreferenz nachgewiesen. Dieses Bauteil ist in einer vergleichsweise einfachen Gussform herstellbar, Bild 6. Verglichen mit einem Fahrzeug der unteren Mittelklasse werden pro Fahrzeugseite bis zu 20 Stahlpressteile durch ein Gussteil ersetzt. In Bezug auf die Kosten konnte mit Hilfe von Meridian Technologies abgeschätzt werden, dass ein Magnesiumgussteil mit diesem hohen Grad an Funktionsintegration zu nur geringfügig höheren Kosten wie die Stahlreferenz herstellbar wäre. Leicht-

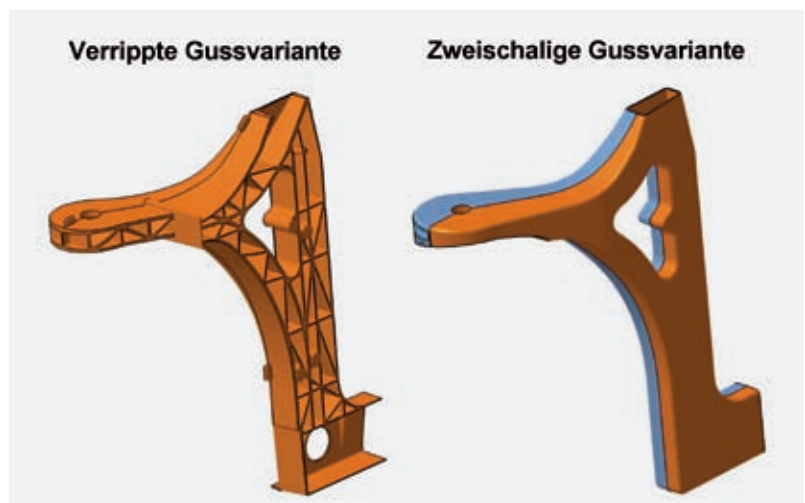


Bild 6: Varianten des entwickelten A-Säulenknotens

baumehrkosten von unter 3 € pro eingesparsstem kg Gewicht sind mit dieser Bauweise erreichbar. Dabei ist der nötige Korrosionsschutz bereits berücksichtigt. Um das Leichtbaupotenzial weiter zu erhöhen, wurde auch eine zweischalige Gussbauweise entwickelt. Diese weist eine Gewichtsreduktion von 58 % auf. Bedingt durch die nötige Fügeoperation für die Halbschalen und die Notwendigkeit von zwei Gussformen entstehen für die leichtere Bauteilvariante aber höhere Kosten.

7 Ausblick

Mit den bislang erarbeiteten Ergebnissen ist es den beteiligten Partnern gelungen, das hohe Potenzial von Magnesium an einem innovativen Bauteil aufzuzeigen. Des Weiteren wurde gezeigt, dass es für die Erfüllung struktureller und wirtschaftlicher Anforderungen einer werkstoffgerechten Bauweise bedarf. Das ent-

wickelte Bauteilkonzept ist Teil eines größeren Projektumfangs, in welchem eine innovative Leichtbau-Vorderwagenstruktur in Multi-Material-Design entwickelt wird. Hierzu wird derzeit das Konzeptmodell in ein Gesamtfahrzeugsimulationsmodell implementiert. Dadurch soll das Bauteildesign weiter verfeinert werden. Zudem wurde ein Bauteildemonstrator realisiert, welcher zur Verifizierung der Rechenergebnisse in den Laboren des DLR-Institutes für Fahrzeugkonzepte getestet wird. Die mit einer neuartigen Bauweise verbundenen Herausforderungen, wie zum Beispiel die Füge- und Montage- und Reparaturverfahren, werden, gerne auch mit Partnern aus der Industrie, weiter bearbeitet.

Literaturhinweise

- [1] United States Automotive Materials Partnership (USAMP), Automotive Metals Division (AMD): Magnesium Vision 2020: A North American Automotive Vision for Magnesium, 2004

- [2] Friedrich, Horst E.; Schmid, Stephan; Ehrenberger, Simone; Shaobo Song: Status and Potentials of Magnesium Production in China: Life Cycle Analysis Focusing on CO₂ Emissions, 65th Annual World Magnesium Conference, Warschau, 18.-20. Mai 2008
- [3] Peter Kurze und Jim Hillis: Corrosion and Surface Protections in Magnesium Technologie – Metallurgy, Design Data, Applications, Hrsg. V. Horst E. Friedrich u. Barry L. Mordike, Springer, Berlin, 2006, ISBN: 978-3-540-20599-3
- [4] Haldenwanger, H.: Zum Einsatz alternativer Werkstoffe und Verfahren im konzeptionellen Leichtbau von Pkw-Rohkarosserien, PhD thesis, Technische Universität Dresden, 1997
- [5] Tippings A., Lawson T.: Design and Development of a High Pressure Die Cast Front End Carrier for Exterior Automotive Applications, 62nd Annual World Magnesium Conference, Berlin, 23.-24.05.2005

Download des Beitrags unter
www.ATZonline.de

ATZ
online

ATZ
produktion

Read the English e-magazine.
Order your test issue now:
SpringerAutomotive@abo-service.info

WWW.VIEWEGTEUBNER.DE

Autoelektrik aus erster Hand



Robert Bosch GmbH (Hrsg.)

Autoelektrik/Autoelektronik

5., vollst. überarb. u. erw. Aufl. 2007. 530 S. Geb. EUR 44,90
ISBN 978-3-528-23872-8

Innovationen im Kraftfahrzeug sind in hohem Maße von der Elektronik bestimmt. Bei der Neubearbeitung dieses bewährten Praxis-Fachbuches wurde diese Entwicklung besonders berücksichtigt. Der Mechatronik wurde eine eigenes Kapitel gewidmet. Die Kapitel Aktoren, Vernetzung im Kfz und Bussysteme wurde neben anderen aktuellen Themen wie Hybridantriebe neu aufgenommen. Vollständig überarbeitet und ergänzt wurden z.B. Sensoren.

Pressestimmen

„Fazit: Ein tolles Lehr- und Lernbuch, das in keiner Fachbuchsammlung fehlen darf.“ *Auto & Wissen*

Ja, ich bestelle

Exemplare
Autoelektrik/Autoelektronik
ISBN 978-3-528-23872-8
EUR 44,90

Geschäftsführer:
Dr. Ralf Birkelbach
AG Wiesbaden HRB 9754

Fax +49(0)611.7878-420

Firma _____ Name, Vorname _____ 321 08 578
Straße (bitte kein Postfach) _____
PLZ | Ort _____
Datum | Unterschrift _____

TECHNIK BEWEGT.



Änderungen vorbehalten. Entfalllich im Buchhandel oder beim Verlag, zuzügl. Versandkosten