

AUTOREN



PROF. DR.-ING. LUTZ ECKSTEIN
ist Leiter des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University.



DIPL.-ING. LEIF ICKERT
ist Teamleiter Leichtbauweisen und -werkstoffe am Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University.



DR.-ING. DIPL.-CHEM. MARTIN GOEDE
ist Obmann des FAT-Arbeitskreises Leichtbau und Leiter Fahrzeugleichtbau in der Konzernforschung der Volkswagen AG in Wolfsburg.



DR.-ING. NORBERT DÖLLE
ist Leiter CAE, Bauweisen und Berechnung in der MBC-Entwicklung und Konzernforschung der Daimler AG in Ulm.

AUSGANGSSITUATION

Der Stellenwert des Leichtbaus ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich gewachsen und hat aufgrund der Bestrebungen, die Effizienz zukünftiger Fahrzeuge nachhaltig zu steigern, eine neue Dimension erreicht. Um das Gewicht von Fahrzeugen signifikant zu senken, wird es erforderlich sein, neue Wege bei Werkstoffeinsatz und Strukturauslegung zu

gehen. Leichtbauwerkstoffe auf Basis von Kunststoffen bieten großes Potenzial zur Erhöhung der Ressourcen- und Energieeffizienz. Nicht nur durch die geringere Dichte und bessere spezifische mechanische Eigenschaften im Vergleich mit metallischen Werkstoffen kann das Strukturgewicht reduziert werden. Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) bieten auch eine große Flexibilität bei der Verarbeitung und Bauteilgestaltung.

Ökonomische und technologische Randbedingungen setzen derzeit allerdings Grenzen für den Einsatz von FVK in Fahrzeugstrukturen. Die Werkstoffklasse der Faserverbundwerkstoffe hat im Hinblick auf die Anforderungen der Automobilindustrie noch nicht den technologischen Reifegrad von Metallen erreicht. Vor dem Einsatz von FVK in der Großserie sind insbesondere auf Seiten der Werkstoffe, der Simulation und der Konstruk-

LEICHTBAU-BODENGRUPPE MIT VERSTÄRKUNGEN AUS CFK UND GFK

Immer intensiver wird der Einsatz faserverstärkter Kunststoffe (FVK) diskutiert, wobei die Herausforderungen einer Substitution von Metall durch diese Kunststoffe in der Fahrzeugstruktur bekannt sind. Das Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University hat daher den Einsatz von FVK untersucht, um Fahrzeugstrukturen aus Stahl lokal mit GFK und CFK zu verstärken. Es konnte eine Leichtbau-Bodengruppe so ausgelegt werden, dass durch den effizienten Einsatz der FVK (CFK und GFK) das Gewicht der Bauteile um 22 % reduziert werden konnte. Das Projekt wurde von der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. (FAT) gefördert.

tion sowie der Fertigungsverfahren zahlreiche Fragestellungen zu lösen.

Ein Weg, bereits heute Leichtbaupotenziale mit FVK zu erschließen, ist die Kombination mit metallischen Werkstoffen im Sinne einer lokalen Verstärkung. In einem Forschungsprojekt für die Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. (FAT) hat das ika einen neuen Leichtbauansatz untersucht, bei dem endlosfaserverstärkte Kunststoffe effizient und kostengünstig in Fahrzeugstrukturen der Großserie eingesetzt werden können.

LEICHTBAUANSATZ

Im Leichtbauansatz wird die Blechdicke von Bauteilen reduziert und die Schwächung des Bauteils durch lokale Verstärkungen aus FVK ausgeglichen. Der Einsatz von FVK in dieser Hybridbauweise bietet zahlreiche Vorteile im Vergleich mit einer Bauteilsubstitution. So kann der effiziente, lokale Einsatz von FVK den Anstieg der Werkstoffkosten reduzieren.

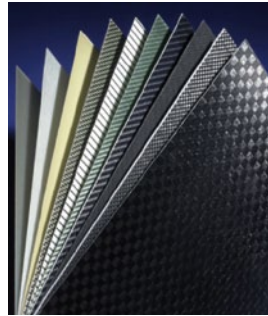
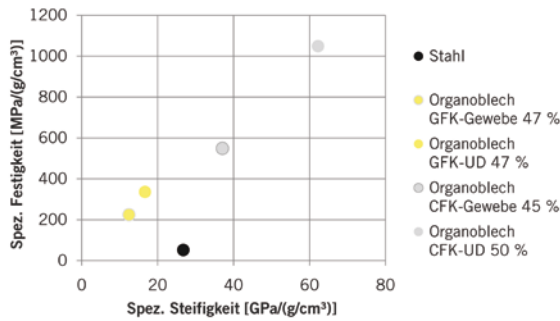
Zudem werden durch die Beibehaltung der Geometrie der metallischen Bauteile die grundlegende Strukturkonstruktion sowie die Anbindung an die umgebenden Bauteile und die Fertigungsinfrastruktur beibehalten. Die Entwicklung dieser Technik beinhaltet die Strukturauslegung mit Hilfe der numerischen Simulation, die Auslegung einer großserientauglichen Fertigungstechnik sowie die Wirtschaftlichkeitsbewertung. ❶ gibt eine Übersicht der im Rahmen dieser Untersuchung eingesetzten zwei FVK-Werkstoffe kohlefaserverstärkter Kunststoff (CFK) und glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK).

TECHNOLOGIEDEMONSTRATOR

Die detaillierte Strukturauslegung erfolgte anhand einer Bodengruppe einer repräsentativen Mittelklasse-Fahrzeugstruktur. Hierzu stand das Simulationsmodell der Referenzkarosserie aus dem europäischen Verbundforschungsprojekt SuperLightCar (SLC) [1] zur Verfügung. Die Boden-

gruppe ist ein geeigneter Demonstrator. Als zentrales Element der Fahrgastzelle ergeben sich neben relevanten Leichtbaupotenzialen insbesondere Skaleneffekte durch die gemeinsame segment- und teilweise markenübergreifende Nutzung einer Bodengruppe für unterschiedliche Fahrzeugtypen und -motorisierungen. Im Projekt wurden die Strukturbauteile der mittleren Bodengruppe betrachtet. Der Bauteilumfang umfasst die Tunnelbrücke hinten, die Sitzquerträger, die Tunnelverstärkungen vorne und hinten sowie die Boden-Längsträger, ❷.

Die strukturelle Auslegung der lokalen Verstärkungselemente erfordert eine detaillierte Strukturanalyse. Dazu wurden repräsentative Steifigkeits- und Crashlastfälle berücksichtigt. In der Steifigkeitsbewertung wurden die globale Biege- und Torsionssteifigkeit ermittelt. Zur Untersuchung der Crasheigenschaften werden der Frontalaufprall, der seitliche Pfahlaufprall und der Seitenaufprall jeweils nach Euro NCAP sowie der Heckaufprall nach



chen Pfahlaufprall. Die Variation von Blechdicke und eingesetztem Verstärkungselement hat erheblichen Einfluss auf das Strukturverhalten. Insbesondere lokale Dicken Sprünge führen zu einer nachteiligen Knickneigung der Bauteile und in einigen Fällen zu erhöhten Intrusionen in die Fahrgastzelle.

Durch die geeignete Einstellung der Blechdicke in Kombination mit einem Verstärkungselement aus GFK kann schließlich das Referenzverhalten erreicht werden. Zur Erhaltung der globalen Steifigkeitsanforderungen werden zusätzlich CFK eingesetzt. Die besonders steifigkeitsrelevanten Bereiche der hinteren Tunnelverstärkungen und der Tunnelbrücke werden mit CFK-Einlegern verstärkt.

Durch Auswertung von 120 Variationen unter Anpassung und Optimierung der Parameter Stahlblechdicke, Laminatdicke der FVK-Elemente sowie Anzahl, Lage und Länge der Verstärkungselemente kann eine Leichtbau-Bodengruppe ausgelegt werden, bei der durch den Einsatz von 1 kg faserverstärktem Kunststoff (CFK und GFK) eine resultierende Gewichtseinsparung von 2 kg erreicht werden. Dies entspricht 22 % Gewichtsreduzierung. Die Leichtbauvariante erfüllt die Anforderungen an das Strukturverhalten im Hinblick auf die geprüften Crash- und Steifigkeitsanforderungen, 3.

Die Validierung der Simulationsergebnisse erfolgt anhand von Rohkarosserieversuchen auf Basis eines Golf VI. Zu diesem Zweck werden drei Rohkarosserien eines Golf VI aufgebaut. In einer angepassten Konfiguration des seitlichen Pfahlaufpralls (Fahrzeuggesamtmasse 1304 kg, Aufprallgeschwindigkeit 7,8 m/s) wird das Strukturverhalten des FVK-verstärkten Sitzquerträgers mit der Referenz verglichen. In diesen Versuchen konnten die Ergebnisse der Auslegung per numerischer Simulation bestätigt werden, 4.

MERKMAL	CFK	GFK
Matrix	PA 6.6	PA 6
Faservolumengehalt	45 %	47 %
Dichte	1,47 g/cm³	1,80 g/cm³
Zugmodell	53 GPa	22 GPa
Zugfestigkeit	785 MPa	404 MPa
Bruchdehnung	2,1 %	2,2 %
Schmelztemperatur	260 °C	210 °C

1 Eingruppierung (Diagramm) und Kennwerte (Tabelle) der beiden eingesetzten FVK-Werkstoffe CFK und GFK (UD = unidirektional)

FMVSS 301 berechnet. Hierbei werden die Intrusionswerte der Fahrgastzelle im Abgleich mit der Referenz bewertet.

Um die Anpassung des Rohbaus zu vermeiden beziehungsweise so gering wie möglich zu halten, werden die FVK-Verstärkungselemente an die Blechschalengeometrie angepasst. Länge, Wandstärke, Anzahl und Position dieser Elemente werden variiert. Im Rahmen der Bewertung werden bereits produktionstechnische Aspekte wie zu erwartende Werkzeugkosten, Prozesszeiten und voraussichtlicher Verschnitt bei der Festlegung der Geometrie berücksichtigt.

SIMULATION DER LEICHTBAUSTRUKTUREN

Die zur Bewertung der Struktureigenschaften eingesetzten Solver Optistruct

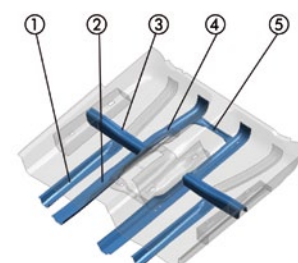
(Steifigkeitssimulation) und LS-Dyna (Crashsimulation) stellen geeignete Materialmodelle zur Verfügung. Zur Simulation der Belastungsbedingungen im Crash wird für das eingesetzte Halbzeug das Materialmodell MAT_058 verwendet. Da für die untersuchten Werkstoffe keine Materialkarten zur Verfügung standen, wurde durch geeignete Werkstoff- und Komponententests eine Kalibrierung des Materialmodells durchgeführt.

ERGEBNISSE DES TECHNOLOGIEDEMONSTRATORS

Durch die Blechdickenreduzierung ergeben sich ohne Einsatz einer Verstärkung hohe Beanspruchungen der vorderen Längsträgerstrukturen beim Frontalaufprall sowie des Sitzquerträgers im seitli-

#	BAUTEILUMFANG	WERKSTOFF	BLECHDICKE	GEWICHT
1	Längsträger unten (r/l)	ZStE 260	1,35 mm	2,24 kg
2	Tunnelverstärkung vorne (r/l)	ZStE 300	1,75 mm	2,75 kg
3	Sitzquerträger (r/l)	ZStE 340	1,30 mm	1,93 kg
4	Tunnelverstärkung hinten (r/l)	ZStE 300	1,20 mm	1,57 kg
5	Tunnelbrücke hinten	ZStE 260	1,75 mm	0,83 kg

2 Fünf relevante Bauteile der Bodengruppe



Winning by adding value...

Borealis' Xmod GB306SAF wins Frost & Sullivan's 2010 Global New Product Award

To meet the challenges ahead, VW sought to reduce the cost and weight of the air intake manifold (AIM) system for the engine 1,4l 63kW and 1,6l 77kW to a level below the existing polyamid (PA) solution (PA6-GF30, PA66-GF35). This had to be done without any significant change in part, tool design and without any modification of existing specifications. Moreover, the system had to deliver better acoustic behaviour, be environmentally friendly.

The challenge was met by the selection of **Borealis' Xmod™ GB306SAF**, a high performance glass fibre (HPGF) reinforced PP compound with a patented composition.

These valuable product features led to Borealis winning **Frost & Sullivan's 2010 Global New Product Innovation Award**, which recognised the unique capabilities of this material in lowering system and production costs for the automotive industry.

Saving cost

- THE technical alternative to PA
- Lower system cost
- Mirror welding feasible (depending on design)

Saving environment

In the use phase:

- A 15% weight reduction
- Significantly improved acoustic behaviour

In the production phase (cradle to the gate):

- 67% less CO₂ emissions
- NOX emission lowered by 80%
- 83% less use of water
- 40% reduction of energy consumption

Visit us at VDI Manheim

6-7 April, 2011

Stand 54

www.borealisgroup.com
www.borouge.com



FROST & SULLIVAN

2010

BEST
PRACTICES
AWARD

Global Automotive under-the-hood Plastics
New Product Innovation Award

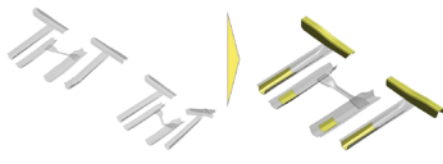
 BOREALIS

بروج 
Borouge

SHAPING the FUTURE with PLASTICS

Crashanforderungen

- : Verstärkungen im Längsträger vorne und in der Tunnelverstärkung
- : Gesamtverstärkung des Sitzquerträgers

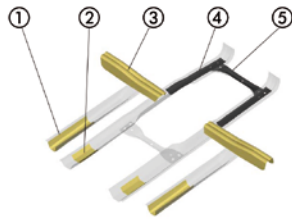


Steifigkeitsanforderungen

- : Hohe Steifigkeitsrelevanz der Tunnelverstärkung hinten und der Tunnelbrücke
- : Hohe spezifische Steifigkeit von CFK



Leichtbau-Bodengruppe



- : Werkstoffeinsatz FVK 1,0 kg
- : Resultierende Gewichtreduzierung 2,0 kg
- : Gewichteinsparung Bauteilumfang 22 %
- : Gewichteinsparung Bodengruppe 6 %

#	VERSTÄRKUNG	BLECHDICKE	FVK-DICKE	GEWICHTSREDUKTION	
①	Längsträger unten (r/l)	- 33 %	1,5 mm (GFK)	0,55 kg	24 %
②	Tunnelverstärkung vorne (r/l)	- 37 %	1,0 mm (GFK)	0,96 kg	35 %
③	Sitzquerträger (r/l)	- 50 %	1,5 mm (GFK)	0,45 kg	23 %
④	Tunnelverstärkung hinten (r/l)	- 9 %	2,0 mm (CFK)	0,00 kg	0 %
⑤	Tunnelbrücke hinten	- 25 %	2,5 mm (CFK)	0,13 kg	16 %

⑤ Crash- und Steifigkeitsanforderungen sowie Ergebnis der Auslegung der Leichtbau-Bodengruppe

FERTIGUNGSTECHNIK UND WIRTSCHAFTLICHKEITS-BETRACHTUNG

Die zentrale Anforderung bei der Auswahl der Fertigungstechnik ist es, eine große-orientaugliche Taktzeit zu ermöglichen. Als angestrebtes Fertigungsszenario wird eine jährliche Stückzahl von 100.000 Fahrzeugen zugrunde gelegt. Die resultierende Taktzeit von etwa 3 min erlaubt daher nicht den Einsatz des bekannten Spritzpress-Verfahrens (Resin Transfer Moulding – RTM). Die geometrischen Randbedingungen verhindern auch die Auslegung für kontinuierliche Produktionsverfahren wie Wickel-, Tapelege- oder Pultrusionsverfahren.

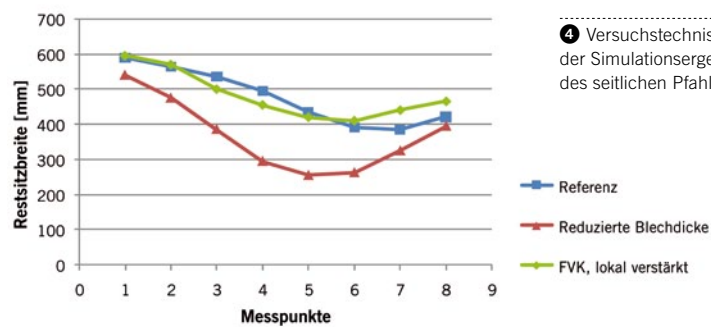
Das Thermoformen in Verbindung mit der Verarbeitung von thermoplastischen Faserverbundhalbzeugen (Organoblechen) erfüllt aber die Prozessrandbedingungen und vereint die Vorteile einer kurzen Fertigungszeit mit jenen der Formgebung in einem tiefziehähnlichen Pressverfahren. Die Prozesskette, ⑤, umfasst die Anlieferung der Organobleche als vorkonsolidierte Platten, das Aufheizen per Infrarotstrahler,

das Pressen per Thermoformen mit temperiertem Metallstempel sowie den Zuschnitt im Laser- oder Abrasiv-Wasserstrahlschnei-

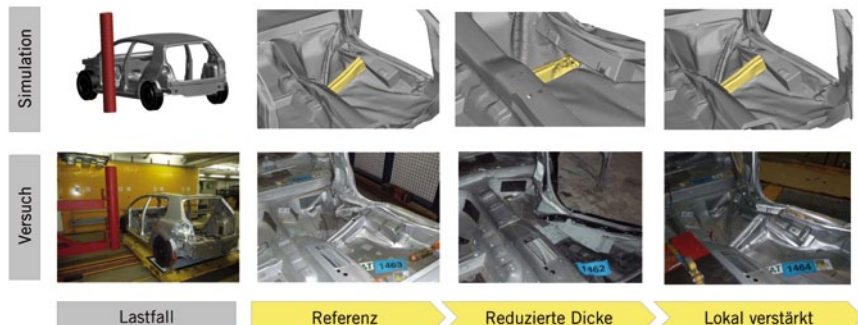
deverfahren. Die Verbindung mit dem metallischen Bauteil erfolgt in einem separaten Klebprozess. ⑤ zeigt auch die Kostenzusammensetzung.

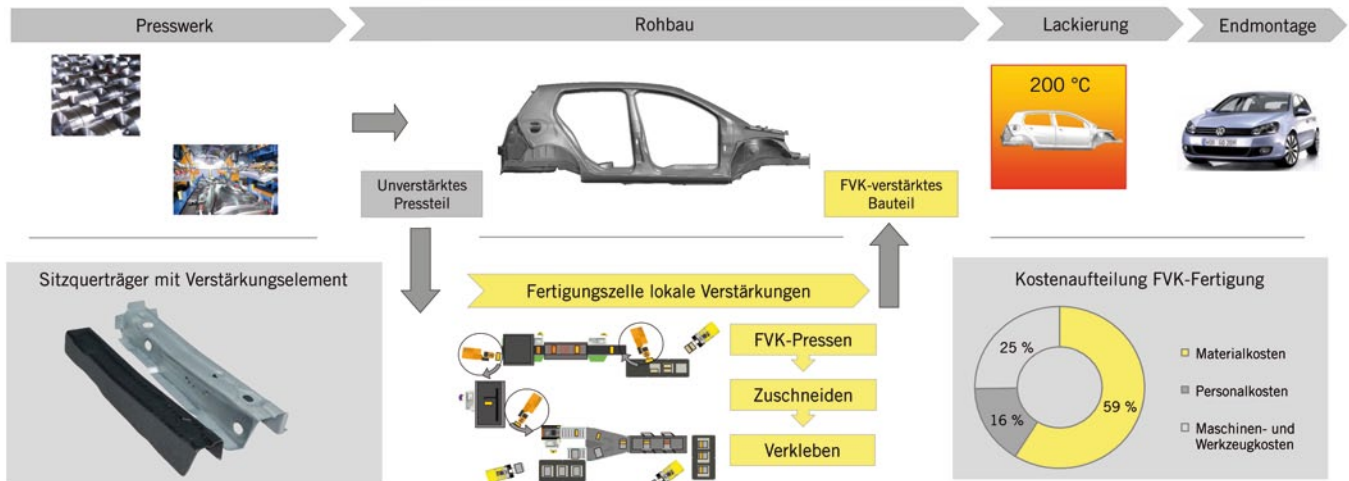
Als Werkstoff für die Verstärkungselemente werden CFK und GFK mit einem Faservolumengehalt von etwa 50 % eingesetzt. Der Einsatz der FVK in Strukturbauteilen der Karosserie stellt hohe Anforderungen an die Temperaturbeständigkeit der thermoplastischen Matrix. Für den automobilen Einsatz werden im Projekt Temperaturanforderungen von dauerhaft -40 bis +80 °C sowie eine kurzzeitige Erwärmung auf 200 °C berücksichtigt, weil die lokalen Verstärkungselemente als innenliegende Bauteile die kathodische Tauchlackierung (KTL) und den anschließenden Trockenofen durchlaufen sollen. Der Werkstoff Polyamid 6.6 (PA 6.6) zeigt sich hier als geeigneter Matrixwerkstoff.

Zur Kostenbewertung wird eine Fertigungszelle zur Herstellung der Faserverbundstrukturen und zur Integration in die Metallbauteile theoretisch ausgelegt. Es zeigt sich, dass die Verarbeitung von thermoplastischen FVK im Thermoformverfahren durch eine hohe Automatisierung Prozesszeiten von unter 1 min ermöglichen kann. Die Personal- und Anlagennutzungskosten lassen sich damit im Vergleich zur RTM- oder Autoklav-Verarbeitung deutlich reduzieren. Die ermittelten Leichtbaukosten für die vorgestellte Leichtbauvariante



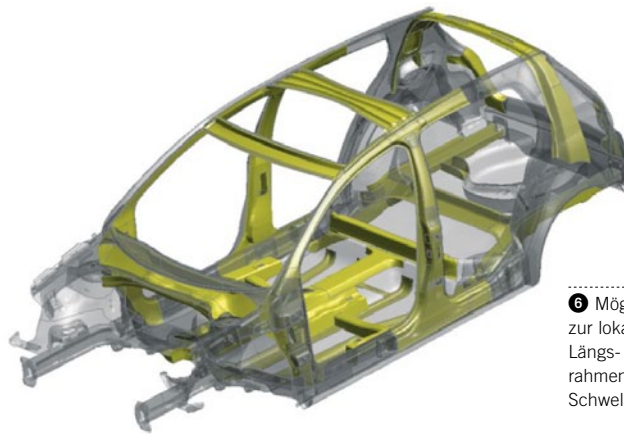
④ Versuchstechnische Validierung der Simulationsergebnisse anhand des seitlichen Pfahlaufpralls





5 Übersicht der Prozesskette und der Kostenzusammensetzung

liegen für die zugrunde gelegten Fertigungsszenarien bei etwa 20 Euro pro eingespartem kg. Allerdings können diese Kosten bei einem Einsatz in der Großserie über Materialeinsparungen bei weniger belasteten, unverstärkten Varianten kompensiert werden. So kann diese Technik eingesetzt werden, um gezielt lokale Belastungen bei leistungsstarken Derivatfahrzeugen oder Elektroautos auszugleichen.



- Bauteile mit Potenzial zur lokalen FVK-Verstärkung
- Restliche Bauteile

6 Mögliche Bauteile mit Potenzial zur lokalen FVK-Verstärkung: weitere Längs- und Querträgerstrukturen, Dachrahmen, A-, B- und C-Säulen und Schwellerprofile

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dem durch die FAT geförderten Forschungsprojekt konnte das ika durch den gezielten Einsatz von endlosfaserverstärkten, thermoplastischen FVK-Strukturen in Kombination mit konventionellen Stahlblechstrukturen neue Leichtbaupotenziale für Fahrzeugstrukturen aufzeigen. Die anhand der Beispielgeometrie ermittelten Ergebnisse bieten das Potenzial, auf weitere Bereiche des Fahrzeugs übertragen zu werden. Mögliche Bauteile in der Karosserie mit Leichtbaupotenzial durch lokale Verstärkungen sind unter anderem weitere Längs- und Querträgerstrukturen, Dachrahmen, A-, B- und C-Säulen oder Schwellerprofile, 6. Darüber hinaus zeigen sich Potenziale für Fahrwerks- und Interieurbauteile.

Weitere Leichtbaupotenziale können durch Variation der Stahlwerkstoffe umgesetzt werden. Erste Berechnungen am ika sind vielversprechend und geben bereits einen Ausblick auf mögliche Potenziale, indem man hochfeste und warmumgeformte Stähle mit FVK-Verstärkungen kombiniert. Bindet man diese Technik frühzeitig in den Entwicklungsprozess von neuen Fahrzeugstrukturen und in die Optimierung des Fertigungsprozesses ein, ergeben sich zudem Ansatzpunkte zur Kostenreduzierung. Die Technik der lokalen FVK-Verstärkungen kann demnach einen Weg für die Werkstoffgruppe der endlosfaserverstärkten Kunststoffe in die Großserienpro-

duktion von Fahrzeugen darstellen, um langfristige Gewichtsziele erreichen, die durch singuläre Blechdickenreduzierung nicht zu realisieren sind.

LITERATURHINWEIS

[1] Sahr, C.; Berger, L.; Lesemann, M.; Urban, P.; Goede, M.: Systematische Werkstoffauswahl für die Karosserie des SuperLight-Car. In: ATZ 112 (2010), Nr. 5, S. 340 – 347



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.ATZonline.de



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
order your test issue now:
SpringerAutomotive@abo-service.info

Sie wollen sich verändern oder suchen die erste Stelle, dann senden Sie bitte Ihre kompletten Bewerbungsunterlagen an:

tl Engineering GmbH, Schönastr. 11, 65201 Wiesbaden
bewerbung@tlengineering.de - www.tlengineering.de
Tel.: 0611-4060616 - Fax: 0611-4060617