

Neue Werkstoffe und Bauweisen für neuartige Fahrzeugkonzepte



01

Mercedes Benz SSKL



02

Porsche 904 Coupé

Der Raum Stuttgart stand in der Vergangenheit immer wieder für neue Fahrzeugkonzepte und Leichtbau. Die (01) zeigt den Mercedes Benz SSKL aus den 30er Jahren als ein Fahrzeugbeispiel. Die Abkürzung „SSKL“ stand für Sport, Super, kurzer Radstand und Leicht. Der SSKL sparte ca. 125 kg Gewicht, indem massive Fahrzeugrahmenteile wie die Holme und Traversen mit kreisrunden Bohrungen versehen wurden. Des Weiteren zeigt der Porsche 904 Coupé in (02) durch seine Kunststoffkarosserie ebenfalls Gewichtseinsparungspotential durch die Verwendung damals neuer Materialien.

In der Vergangenheit stand hauptsächlich die Sportlichkeit eines Fahrzeuges als Treiber für den Leichtbau in Fahrzeugkonzepten. Herausragende Motivation für die Entwicklung heutiger, neuer Fahrzeugstrukturen ist neben der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs die Verringerung klimawirksamer Emissionen. Dies zielt vor allem auf die Reduzierung der Fahrzeugmasse und damit die verschiedenen Strategien zum Leichtbau. Anhand verschiedener Leichtbauarten werden die technisch relevanten Kriterien für Bauweisen und Werkstoffkonzepte herausgear-

beitet. Im Zentrum heutiger Bemühungen steht dabei vielfach die Synthese von Bauweisen- und Werkstoffentwicklung mit dem Ziel eines Multi-Material-Designs [1, 2].

Modularisierung ist ein weiterer wirtschaftlicher Ansatz, um die Diversifizierung der Fahrzeugkonzepte zu gestalten und effektiv umzusetzen [3]. Für Hybrid- und später auch Brennstoffzellen-Antriebe werden durch die Modularisierung die Voraussetzungen geschaffen, unterschiedliche Fahrzeugantriebe innerhalb einer Fahr-

zeugklasse darzustellen. Allerdings kann die Modularisierung teilweise einer hohen Integrationsdichte auch entgegenstehen. Das modulare Leichtbaukonzept des DLR verfolgt demzufolge das Ziel, Antriebsstrangevolutionen skalierbar und wirtschaftlich gestaltbar zu machen und dabei die Konzeptflexibilität zu erhalten oder fallweise sogar zu erhöhen.

Diese Ansätze führen zur Strategie „Hybrid³“. Hierbei werden nicht nur 1. unterschiedliche Werkstoffe und 2. verschiedene Bauweisen aufeinander abgestimmt, sondern auch 3. wird die Integration funktionaler Effekte oder Funktionen berücksichtigt. Dies bedeutet z. B., dünnwandige Bauteile in ihrem Schwingungs- oder akustischen Verhalten mit strukturintegrierten, aktiven Materialien optimal zu gestalten. Weitere Beispiele für die Ansätze mit „Hybrid³“-Effekten könnten schaltbare Oberflächen oder integrierte Energiewandlung sein. Der am DLR bearbeitete Compressed Natural Gas Drucktank (CNG- Tank) in Wabenbauweise beinhaltet auf Grund seiner Konzeption das Potential, die Funktion Tank strukturintegriert zu realisieren. Ziel ist es, einen Tank zu entwickeln, der leicht, sicher, packagingvariabel, großserientauglich und kostengünstig ist (03).

Die verschiedenen Entwicklungsrichtungen werden in einer Roadmap dargestellt und anhand zukunftsweisender Beispiele aus dem Fahrzeugbau diskutiert.

2. Bauweisen und Werkstoffkonzepte

Das Ziel der Reduzierung von CO₂-Emissionen kann u.a. durch eine Reduzierung der Fahrwiderstände erreicht werden. Mit gezieltem Leichtbau können die Massen und damit Beschleunigungs-, Roll- und Steigungswiderstände reduziert werden. Die Karosseriebauweisen Monocoque, Schale, Space-Frame und deren Hybridformen aus Schale und Space-Frame, haben einen großen Einfluss auf die Eigenschaften und Gestaltung des Fahrzeuges. Die Space-Frame-Bauweise ermöglicht zum Beispiel durch die Anpassung der Halbzeugelemente ein einfacheres Skalieren der Karosserieform.

	Monocoque-Bauweise	Schalenbauweise	Space-Frame-Bauweise	Mischformen Schale/Space-Frame
Tragstruktur	2D- und 3D-Schalenelemente	3D-Rahmen aus Halbschalen	3D-Rahmenstruktur aus geschlossenen Profilen	3D-Rahmenstruktur aus geschlossenen Profilen und partielle Schalenelemente
Verbindungs-technik	Form- und Stoffschluss	i.d.R. Stoffschluss	i.d.R. Stoffschluss	i.d.R. Stoffschluss
Außenhaut	nicht mittragend	mittragend, in Karosseriestruktur integriert	nicht mittragend oder teilweise mittragend	Mittragend, in Karosseriestruktur integriert
Halbzeuge	Blechplattinen, Sandwichmaterial	Blechplattinen	Profile, Gusselemente, Bleche	Profile, Gusselemente, Blechplattinen
Serieneinsatz	Kleinstserie	Großserie	Mittlere Serie	Mittlere Serie bis Großserie

Vergleich heutiger Bauweisenkonzepte

Die unterschiedlichen Bauweisen stellen konzeptbestimmende Anforderungen an die Werkstoff- und Fertigungstechnologien. Ein Beispiel ist der Audi A8 mit seiner Space-Frame-Bauweise und dem Werkstoff Aluminium. Die Verbindung der einzelnen Profile durch komplexe Gussbauteile erforderten neue bzw. verbesserte Werkstoff- und Fertigungskonzepte.

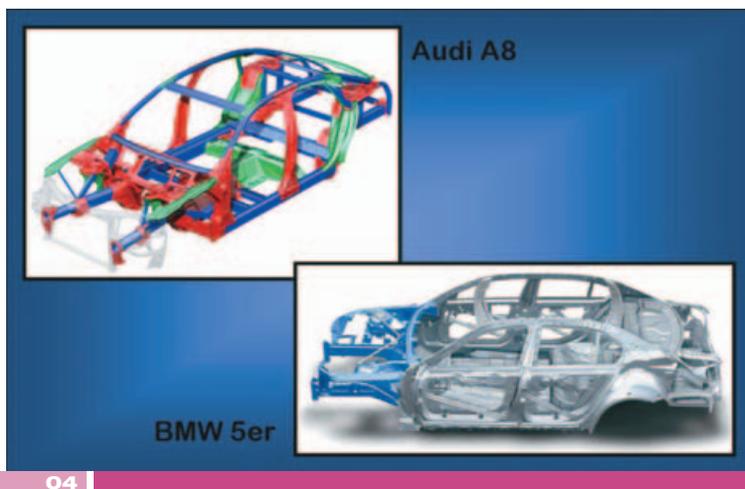
3. Anforderungen und technische Kriterien

Die Bauweisen- und Werkstoffkonzepte werden von unterschiedlichen Anforderungen getrieben. Diese Anforderungen resultieren aus Vorgaben der Gesellschaft, Politik und Gesetzgebung sowie den internationalen Märkten. Als Vorgaben aus Markt und Gesellschaft können Begriffe wie z.B. Verbrauch, Fahrspaß oder Gebrauchsnutzen: aus der Politik und Gesetzgebung z. B. Emissionen und Recycling genannt werden.

Die Erfüllung aller Anforderungen stellt eine Herausforderung für die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Automobilhersteller dar. Beispielhaft können einige Anforderungen genannt werden [4]:



DLR GasTank



04

Vertreter zweier unterschiedlicher Bauweisen

(BMW 5er, Quelle: BMW AG;

Audi A8 D3 2003, Quelle: Audi AG)

- Konzept (z. B. Package, Design, Außenabmessungen, Antriebskonzept, Aerodynamik usw.)
- Sicherheit (Crash, Insassenschutz)
- Belastungen (Betrieb, Missbrauch)
- Umgebung (Temperatur, Klima, Medien)
- Formgebung (z. B. Geometrie, Oberflächen)
- Leichtbau (Werkstoff, Konstruktion)
- Herstellbarkeit (Umformung, Fügetechnik, Fertigung)

Diese Anforderungen müssen in technisch relevante Kriterien übergeleitet werden, wie z.B. Biegesteifigkeit, Torsionssteifigkeit oder Karosseriegewicht.

Im Segment der Premium- und Volumenfahrzeuge ist in den letzten Jahren eine Tendenz zu höherfesten und höchstfesten Stahlwerkstoffgüten zu erkennen. Dies resultiert auch aus den steigenden Anforderungen an die Sicherheit und die Forderung nach einer Gewichtsreduzierung. Im Entwicklungsstadium befinden sich zurzeit so genannte Leichtbaustähle auf Basis von Eisen-Mangan-Legierungen, welche bei hohen Festigkeiten deutlich höhere Dehnraten als heutige Stahlwerkstoffe aufweisen.

Ebenfalls ist in den letzten Jahren ein Trend zu Hybridbauweisen, teilweise auch als Mischbauweisen bezeichnet, zu erkennen. Dieser Trend hat stufenweise Einzug gehalten und begann mit dem Einbau von z.B. Klappen und Deckel. Ein strukturelles

Beispiel hierfür ist der BMW 5er mit seinem Vorderwagen aus Aluminium und der restlichen Karosserie aus dem Werkstoff Stahl. Es bleibt abzuwarten, ob sich die Entwickler weiter an ganze Module wagen.

Im Karosseriebereich ist eine Zunahme von Kunststoffen vorwiegend nur im Bereich der Bepunktung zu erkennen. Dieser Trend ist jedoch eher gering, wohingegen im Premium-Segment der Einsatz von Hochleistungskunststoffen, wie Kohlenstofffaserverbund, immer mehr für insbesondere hochbelastete Bauteile zunimmt. Beispiele für dieses Segment sind der Bugatti Veyron, der Porsche Carrera GT und der McLaren SLR [5].

Heutige Forschungsaktivitäten liegen vorwiegend auf dem Gebiet des Multi-Material-Designs mit dem Ziel, den Werkstoff mit den besten Eigenschaften für die gegebenen Bauteilanforderungen an der richtigen Stelle zu platzieren. So kann beispielsweise durch den gezielten, partiellen Einsatz von Hochleistungskunststoffen wie Kohlenstofffaserwerkstoffen als Crash-Element, eine Leistungssteigerung mit gleichzeitiger Gewichtsreduzierung erreicht werden.

4. Modularisierung

Wie zuvor beschrieben, ist durch die unterschiedlichen Anforderungen der hoch entwickelten Märkte eine immer größer werdende Derivatbildung innerhalb der Fahrzeugklassen zu erkennen [3], was eine sinkende Einzelstückzahl in der Produktion zur Folge hat. Um dennoch die Wirtschaftlichkeit zu wahren, kann die Modularisierung als ein wirtschaftlicher Ansatz eingesetzt werden: durch eine in Bezug auf Fahrzeuggeometrie und -leistung skalierbare Struktur ergeben sich damit neue Differenzierungspotentiale.

Hybrid- und Brennstoffzellenantrieb ergeben künftig zusätzliche Anforderungen an z.B. Speicherung des Kraftstoffes im Fahrzeug oder an das Fahrzeugsicherheitskonzept. Der Schutz von Kraftstoffspeicher oder komplexen Steuer-Regelungseinrichtungen, z.B. beim Seitencrash, kann durch Crash-Elemente aus Faserverbundkunststoff erfolgen [6]. Ein DLR-Konzept für die

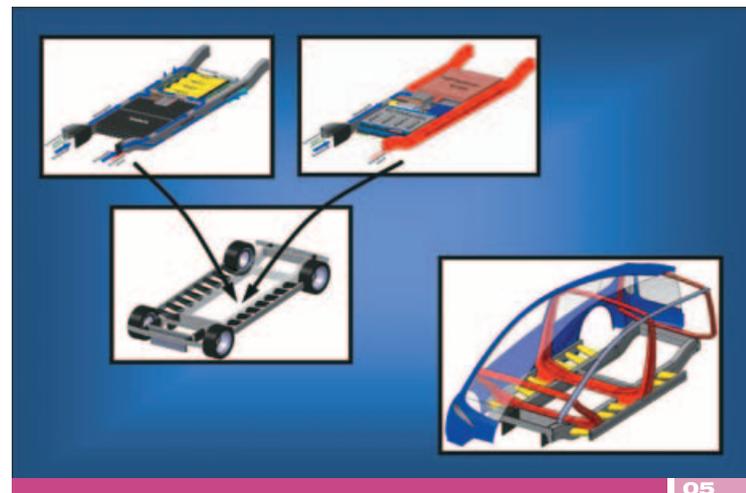
Modularisierung neuer Antriebskonzepte mit einem Sicherheits-Compartment, welches partiell Faserverbundwerkstoffe als Crash-Elemente im Bereich der Schweller einsetzt, ist in (5) zu sehen. Der Einsatz von Crash-Elementen aus Faserverbund und metallischen Space-Frame-Elementen ermöglicht somit anpassbare Eigenschaften und Geometrien.

Dementsprechend besteht z. B. der zentrale B-Säulenknoten aus Kohlenstofffaserverbund mit einem integrierten Crash-Element und wiegt als Forschungs-demonstrator insgesamt 1,8 kg. Dieser B-Säulenknoten setzt sich aus einzelnen, angepassten Elementen zusammen, die jeweils spezielle Funktionen, wie Energieaufnahme beim Crash, übernehmen. Die einzelnen Elemente sind aus acht bis zwölf Faserverbundgewebelagen aufgebaut. Der symmetrische Aufbau aus Kohlenstoff- und Glasfaserlagen sorgt für eine gute Performance, wobei die Glasfaserlagen zur Steigerung der Zähigkeit mit eingebracht sind. Weitere Abschätzungen dieses Sicherheits-Compartment ergeben eine Gewichtsreduzierung durch Multi-Material-Design von bis zu 40 Prozent im Vergleich zu herkömmlichen Bauweisen.

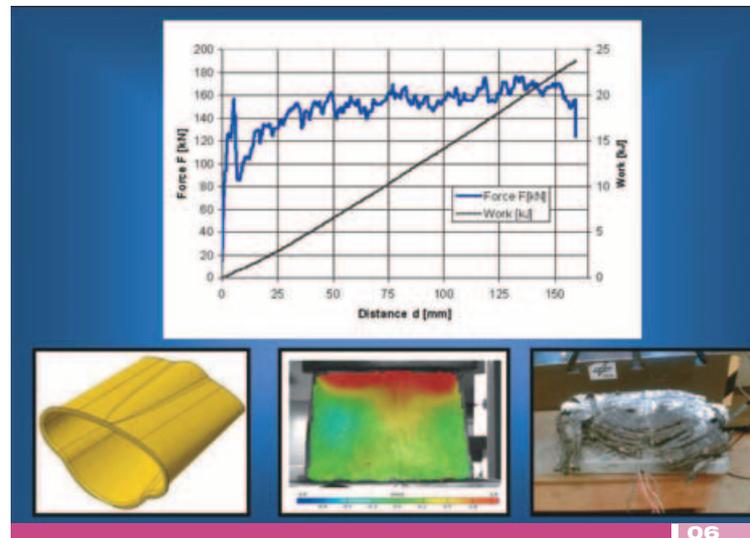
Die Ergebnisse eines statischen Druckversuches (200 mm/min) zur Auslegung der Parameter für einen anschließenden, dynamischen Crashversuch haben gezeigt, dass die Auslegung der Bauteilgeometrie und Werkstoffparameter richtig dimensioniert wurden, vgl. (6).

Das Diagramm zeigt im Kraftverlauf eine hohe Anfangskraft bis zur Einleitung des Crushings, wie (6) zeigt. Ebenfalls ist ein ansteigendes Kraftniveau aufgrund des konischen Verlaufs des Crashelementes zu erkennen. Die aufgewendete Arbeit zeigt einen sehr gleichmäßigen, ansteigenden Verlauf.

Weiterführend zur Antriebsmodularisierung und einer gesteigerten Nutzungsflexibilität der Fahrzeugkonzepte forscht das DLR an modularisierten Vorderwagenkonzepten im Multi-Material-Design. Durch den partiellen Einsatz von Faserverbundwerkstoffen und einer leichtmetallintensiven Bauweise ergeben sich weitere Möglichkeiten zur Gewichtsreduzierung.

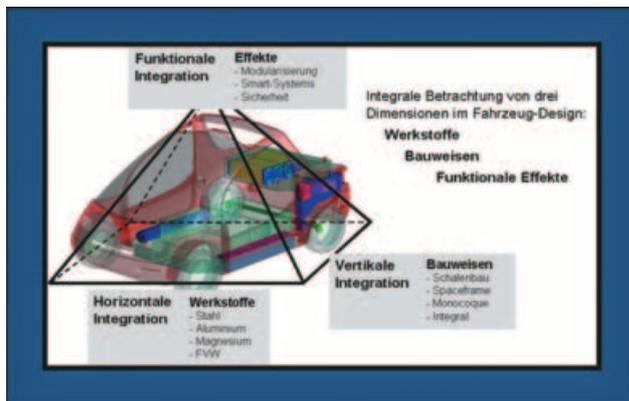

05

DLR-Leichtbaukonzept eines Fahrzeuges mit modularem Containment, eingebunden in eine Sicherheitsstruktur mit Crash-Elementen aus Faserverbundwerkstoff


06

Erprobung eines B-Säulen Crash-Elementes

Hier kann als Beispiel ein Federbeindom mit einem Gewicht von 2,5 kg und damit einer Reduzierung des Gewichts um bis zu 50 Prozent zu vergleichbaren Stahlstrukturen genannt werden. Der Federbeindom ist aus p-CBT mit unidirektionaler Kohlefaserverstärkung (Tailored Fiber Placement) vorgeschlagen. Cyclic Butylene Terephthalate (CBT®) ist ein neuentwickeltes thermoplastisches Materialsystem auf Basis von PBT, das die Vorteile von thermoplastischen sowie duroplastischen Matrizen kombiniert. Die Anwendungsbereiche für das Materialsystem sind vielfältig und auch geeignet für Strukturbauteile im Automobilbau. Die geringe Viskosität bei der Verarbeitung ermöglicht es, Bauteile mit



07

Strategie des Hybrid

thermoplastischer Matrix und einem hohen Faservolumen-gehalt zu produzieren [7].

5. Hybrid³

Die beschriebenen Ansätze führen zur zuvor schon genannten Strategie des Hybrid³, vgl. (07), welche eine integrale Betrachtung der drei Dimensionen

1. Werkstoffe,
2. Bauweisen und
3. funktionale Effekte im Fahrzeug-Design darstellt.

Ein Konzeptentwurf für teiltransparente Strukturen basiert z. B. auf Kohlefasersträngen für hochbelastete Bereiche sowie auf Nanopartikelgefüllte Kunststoffe für vorrangig zur Sicht genutzte Bereiche, siehe (08).

Diese teiltransparenten Strukturen sind z. B. in der A-Säule denkbar. Ein Effekt wäre die Erweiterung des Sichtfeldes des Fahrers und damit eine Verbesserung der Sicherheit sowie neuartige Designelemente in Fahrzeugkonzepten.

Hierbei liegen die Forschungsschwerpunkte auf der Verbesserung der Anbindung der unterschiedlichen Bereiche, sowie der Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften der nano-

partikelgefüllten Kunststoffe. Erste Untersuchungen des DLR belegen bei Werkstoffen eine E-Modulsteigerung von +26 Prozent bei einer Zumischung von drei Gewichts-Prozent Nanoschicht-silikaten [8].

Die Integration von funktionellen Effekten bedeutet die Einbringung von z. B. aktiven Materialien in die Struktur zur Erhöhung des Komforts durch die Dämpfung von dünnen, leichten Strukturen. Weitere Beispiele für den Ansatz mit "Hybrid³"-Effekten könnten schaltbare Oberflächen oder integrierte Energiewandlung sein [9].

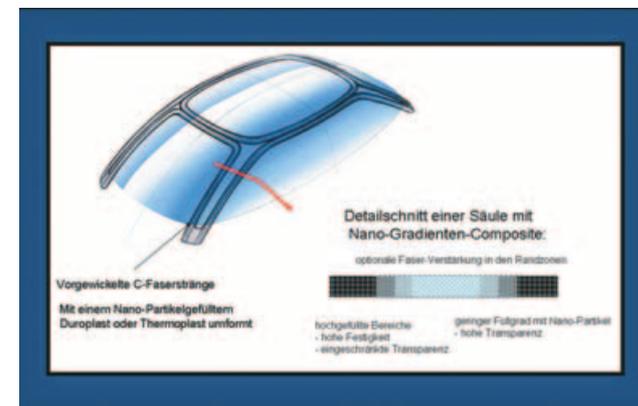
6. Zusammenfassung

Die Diversifikation der einzelnen Fahrzeugklassen wird in den hoch entwickelten Märkten weiter zunehmen. Bedingt durch die steigenden Anforderungen der einzelnen Klassen und deren jeweiligen Stückzahlen wird künftig eine größere Anzahl von Werkstoffen und Bauweisenkonzepten entstehen, vgl. (08). Die Modularisierung wird zu einer Synthese der einzelnen Konzepte beitragen. Durch die Umsetzung der Hybrid³-Strategie mit der Integration von funktionalen Effekten ergeben sich neuartige Designaspekte für zukünftige Fahrzeugkonzepte.

Horst E. Friedrich, Gundolf Kopp, Roland Schöll

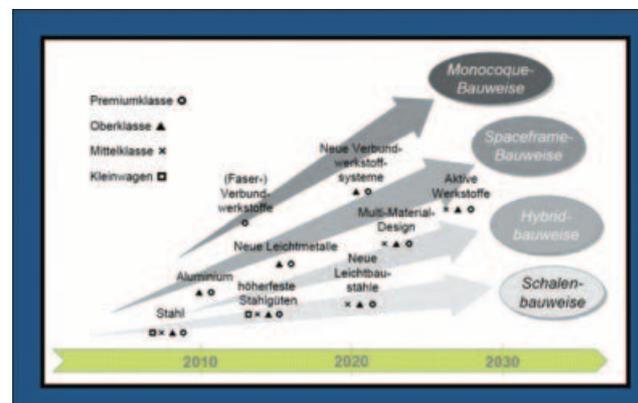
Literatur

- 1 Timm, H.: *Entwicklungsstrategien für wirtschaftlichen Leichtbau in Mischbauweisen*, 8. Dresdner Leichtbausymposium 2004, Dresden, (2004)
- 2 Friedrich, H. E.: *Leichtbau und Werkstoffinnovationen im Fahrzeugbau*, ATZ, Vol. 3, p.258-266 (2002)
- 3 Krusche, T., Leyers, J., Oehmke, T. and Parr, T.: *Bewertung von Modularisierungsstrategien für unterschiedliche Fahrzeugkonzepte am Beispiel des Vorderwagens*, ATZ, Vol. 10, p. 928-933, (2004)
- 4 Goede, M.; Ferkel, H.; Stieg, J. and Dröder, K.: *Mischbauweisen Karosseriekonzepte – Innovationen durch bezahlbaren Leichtbau*, 14. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Aachen, (2005)
- 5 Bechtold, M.: *FVK-Rohbau für Hochleistungssportwagen – Mercedes-Ben SLR MCLaren, Vison Kunststoffkarosserie 2010*, Bad Nauheim, (2004)



08

Transparente Strukturen mit Kombination von Faserverbundwerkstoffen und Nanopartikel-Werkstoffen



09

Roadmap Werkstoffe und Bauweistrends

- 6 Friedrich, H. E. and Kopp, G.: *Werkstofftechnische Innovationen für die Fahrzeugkonzepte der Zukunft*, Handelsblatt-Tagung, München, (2005)
- 7 Krause, W.; Geiger, O.; Henning, F.; Eyerer, P.: *Development of a Technology for Large Scale Production of Continuous Fiber Reinforced Thermoplastic Composites*, SPE-Conference, Boston, (2005)
- 8 Riedel U.: *Untersuchungen an Nanoverstärkten Compositen*, AVK Tagung Baden-Baden, (2004)
- 9 Friedrich, H. E.: *Werkstofftechniken als Treiber von Innovationen im Automobilbau, Composites in Automotive und Aerospace*, 1. Materialica Kongress, München, (2005)

SUMMARY

The diversification of the various vehicle classes will further increase in the highly developed markets. Caused by the rising requirements of the individual classes and their respective number of components, an increasing number of materials and construction method concepts will be developed (08). The modularisation will contribute to a synthesis of the single concepts. By the implementation of the Hybrid-Strategy with the integration of functional effects, new design aspects will arise for future vehicle concepts.

Die Diversifikation der einzelnen Fahrzeugklassen wird in den hoch entwickelten Märkten weiter zunehmen. Bedingt durch die steigenden Anforderungen der einzelnen Klassen und deren jeweilige Stückzahlen wird künftig eine größere Anzahl von Werkstoffen und Bauweisenkonzepten entstehen (08). Die Modularisierung wird zu einer Synthese der einzelnen Konzepte beitragen. Durch die Umsetzung der Hybrid-Strategie mit der Integration von funktionalen Effekten ergeben sich neuartige Designaspekte für zukünftige Fahrzeugkonzepte.

DIE AUTOREN

PROF. DR. H. E. FRIEDRICH

studierte Maschinenwesen an der Technischen Universität München. Nach Tätigkeiten in der Maschinenbauindustrie und der Unternehmensberatung wechselte er 1986 in die Luftfahrtindustrie. In leitenden Funktionen arbeitete er u. a. an neuen Bauweisen für Werkstoffe für Flugzeuge sowie an Flugtriebwerken und der Verkürzung der Produkteinführungszeiten. 1996 ging Prof. Friedrich als Leiter der Fahrzeug-Forschung zu VW nach Wolfsburg, wo er zuletzt als Leiter der Konzernforschung Werkstofftechnik und Fahrzeugkonzepte arbeitete. Seit März 2004 ist er Direktor des neu gegründeten Institutes für Fahrzeugkonzepte beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in Stuttgart und Professor an der Universität Stuttgart.



DIPL.-ING. GUNDOLF KOPP

schloss sein Studium an der Universität Stuttgart im Jahre 2000 mit dem Diplom-Ingenieur für Luft- und Raumfahrttechnik ab. Von Dezember 2000 bis Oktober 2002 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Fraunhofer Technologie-Entwicklungsgruppe in Stuttgart in der Gruppe „Fertigungstechnik und Anwendung neuer Werkstoffe“. Von November 2002 bis zum Juli 2004 war er Leiter dieser Gruppe.

Seit August 2004 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. am Institut für Fahrzeugkonzepte im Forschungsfeld „Leichtbau und Hybridbauweisen“ in Stuttgart. Ab September 2006 ist Gundolf Kopp kommissarischer Leiter dieses Forschungsfeldes.



DIPL.-ING.(FH) ROLAND SCHÖLL

absolvierte das Ingenieursstudium an der Höheren Technischen Lehranstalt (HTL) in Fulpmes (Österreich) und später das berufsbegleitende Aufbaustudium Maschinenbau Konstruktion an der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Mittweida.

Nach vierjähriger Tätigkeit im Bereich der Konstruktion in der Automobilzulieferindustrie wechselte Roland Schöll 2001 in den Automobilrennsport. Bei der Firma Abt Sportsline GmbH in Kempten war er im Bereich Konstruktion Gesamtfahrzeug für den Audi TT-R in der Deutschen Tourenwagen Meisterschaft zuständig. Seit Juli 2004 arbeitet Roland Schöll als wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. am Institut für Fahrzeugkonzepte im Forschungsfeld „Leichtbau und Hybridbauweisen“ in Stuttgart und leitet seit dem 1. August 2006 die Gruppe Konstruktion und Berechnung.

Kontakt

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Fahrzeugkonzepte, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Tel. +49 711 6862-255, Fax +49 711 6862-1255, e-mail: ifk@dlr.de, Internet: www.dlr.de/ffk/

