

Innovative Fahrzeugstruktur in Spant- und Space-Frame- Bauweise

Im Rahmen des Forschungsthemas „Neuartige Fahrzeugstrukturen“ des DLR wird in Stuttgart an der Entwicklung zukünftiger Fahrzeugkonzepte und -strukturen geforscht. Das in diesem Beitrag beschriebene Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung einer innovativen Spant- und Space-Frame-Bauweise. Dabei werden wegweisende Verbesserungen hinsichtlich einer Gewichtsreduzierung, einer gesteigerten Sicherheit und innovativen Modularisierungsstrategien erzielt.

1 Einleitung

Das fortschreitende Bevölkerungswachstum, eine zunehmende Globalisierung und die notwendige Schonung der Ressourcen als Antworten auf den Klimawandel sind nur einige Aspekte, die signifikant die Mobilität der Zukunft beeinflussen werden. Dabei gilt es, individuelle Mobilität künftig umweltverträglich, verzichtfrei und finanzierbar zu erhalten. Bei der Entwicklung zukunftsweisender Fahrzeugkonzepte sind somit Anforderungen zu berücksichtigen, die weit über die bisherigen Ansprüche an Fahrzeuge hinausgehen [1, 2, 3].

Neben verbesserter Sicherheit, Komfort und Fahrleistung treten ökologische und ökonomische Gesichtspunkte in den Vordergrund. Ziel ist die Senkung des Kraftstoffverbrauchs und der Umwelt belastenden CO₂-Emissionen auch durch die Reduzierung der Fahrwiderstände [2]. Ähnlich wie bei unterschiedlichen Forschungsprojekten (zum Beispiel SuperLightCar) wird das Potenzial für Fahrzeugleichtbau durch das beschriebene Forschungsprojekt zunächst hauptsächlich im Bereich der Karosserie untersucht, da die Karosserie eines Fahrzeugs durchschnittlich 25 % des Fahrzeuggesamtgewichtes ausmacht.

Zukünftige Antriebstechnologien werden elektrisch unterstützt oder vollelektrisch sein und teilweise andere Energieträger verwenden. Daher beschäftigt sich die Fahrzeugentwicklung auch mit Antriebskonzepten, wie beispielsweise dem Brennstoffzellen- und Wasserstoffantrieb.

Dies ist in der Strukturbauweise zu berücksichtigen. Insbesondere die benötigten Tank- und Speichermodule erfordern eine intrusionssichere, packagegerechte Unterbringung im Fahrzeug.

Als weitere Herausforderung für zukünftige Fahrzeugkonzepte stellt sich der Trend zum individuellen Fahrzeug und somit zum Rückgang der Einzelstückzahlen pro Modellvariante dar [4, 5]. Daher wurden als weitere Anforderung im Projekt die Modularisierungsfähigkeit und die Möglichkeit der Derivatbildung definiert. Bisher sind diese Strategien vorrangig bezüglich Inneneinrichtungen, Motorisierungen oder Modulbildungen für die Montage realisiert worden. Für Karosserie- beziehungsweise Strukturbauteile werden demgegenüber neue, integrale Lösungskonzepte entwickelt.

2 Fahrzeugkonzeption

Ausgehend von den Anforderungen eines Fahrzeugs der oberen Mittelklasse ist das am DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte entwickelte Spant- und Space-Frame-Konzept so gestaltet worden, dass alternative Antriebskonzepte problemlos und sicher integriert werden können. Dabei ist schon in der Konzeptphase die Unterbringung der Antriebseinheiten im Bodenbereich vorgesehen worden, **Bild 1**, da neuartige Antriebskonzepte, wie zum Beispiel der am DLR bearbeitete Freikolbenlinear-generator (FKLG) [10] ein gewichtsoptimiertes Packaging ermöglichen und eine modulare Containment-Lösung fördern.



Bild 1: DLR-Fahrzeugkonzept mit intrusionresistentem Containment

Die Autoren



Dipl.-Ing. Roland Schöll ist Teamleiter für Konstruktion und Berechnung im Forschungsfeld Leichtbau und Hybridbauweisen und Leiter des Projektes „Spant- und Space-Frame-Bauweise“ beim DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart.



Prof. Dr.-Ing. Horst E. Friedrich ist Direktor des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart.



Dipl.-Ing. Gundolf Kopp ist Leiter des Forschungsfelds Leichtbau und Hybridbauweisen und Leiter des Forschungsthemas „Neuartige Fahrzeugstrukturen“ beim DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart.



Dipl.-Ing. Gerhard Kopp ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsfeld Leichtbau und Hybridbauweisen des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart.

ATZ Peer Review

Das Gütesiegel für wissenschaftliche Beiträge in der ATZ. Von Experten aus Forschung und Industrie begutachtet.

Eingegangen 10. September 2008
Geprüft 1. Oktober 2008
Angenommen 5. November 2008



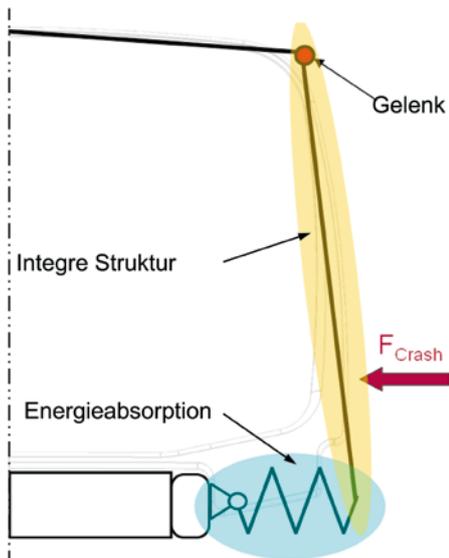


Bild 2: Mechanisches Wirkprinzip des Spantes (schematisch)

Dies hat den Vorteil, dass alternative Energiespeicher wie Erdgas (Compressed natural gas, CNG) oder Wasserstoff in einem intrusionsresistenten Bereich angeordnet werden können, der Schwerpunkt gesenkt und die Achslastverteilung optimiert werden kann.

Jedoch resultieren aus diesen Anforderungen besondere Charakteristika, die durch das Karosseriekonzept umgesetzt werden müssen. Als wesentliche Belastungsfälle für die Auslegung der Bodenplatte stellen sich die beiden Testverfahren des Seiten- und Pfahlaufpralls heraus. Die Komponenten der Antriebseinheit dürfen nicht „auf Block“ gedrückt werden, da sonst die Beschleunigungswerte der Insassen zu stark ansteigen.

Deshalb wurde ein Aufbau der Karosseriebodenstruktur gewählt, bei dem ein äußerer Bereich als „Crashkompartiment“ ausgebildet ist. Dieser Bereich erstreckt sich von der Seitenwand bis zu den für den Leichtbau günstigen, durchgehenden Längsträgern und absorbiert mit Hilfe eines mechanischen Wirkprinzips und optimal angeordneten Crash-Konen (vgl. auch [6]) aus CFK im IIHS-Seitencrashtest die notwendige Energie bei gleichzeitig definierter Intrusion, **Bild 2**. Den vorderen Abschluss des „Crashkompartiments“ bildet eine Querverstrebung im Bereich der A-Säule. Der Vorderwagen kann durch dieses Konzept ganz auf die Anforderungen des Frontalaufpralls aus-

gelegt werden. Im Heck des Fahrzeugs wird die Verstrebung den jeweiligen Packagebedürfnissen angepasst.

Das „Grundgerüst“ des Space-Frames sind die drei Ringstrukturen (Spanten) an der A-, B- und C-Säule, die auch als Knotenelemente fungieren, um die variablen Profile für Schweller, Längsträger, Dachholm aufzunehmen und die auftretenden Lasten in die unterschiedlichen Lastebenen zu verteilen. Diese Anordnung bietet den Vorteil, dass durch eine Skalierung der Profillängen eine Ableitung verschiedener Varianten von einer Grundstruktur möglich wird.

Das Konstruktionsprinzip des Fahrzeugs kann beibehalten werden. Der Aufbau des Fahrzeugs nach dem B-Spant kann, wie zum Beispiel in **Bild 3** dargestellt, an die individuellen Wünsche zur Heckausführung angepasst werden.

Basierend auf dieser Grundkonzeption möchte das DLR einen Beitrag leisten, signifikante Verbesserungen in der Leichtbaugüte und der passiven Sicherheit zu erreichen. Es will eine innovative Möglichkeit darstellen, bei strukturtragenden Bauteilen eine Modularisierung zu realisieren. Beteiligt ist neben dem DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR FK) in Stuttgart das DLR-Institut für Bauweisen und Konstruktionsforschung in Stuttgart sowie das DLR-Institut für Faserverbund und Adaptronik in Braunschweig. Zudem waren seitens DLR FK ex-

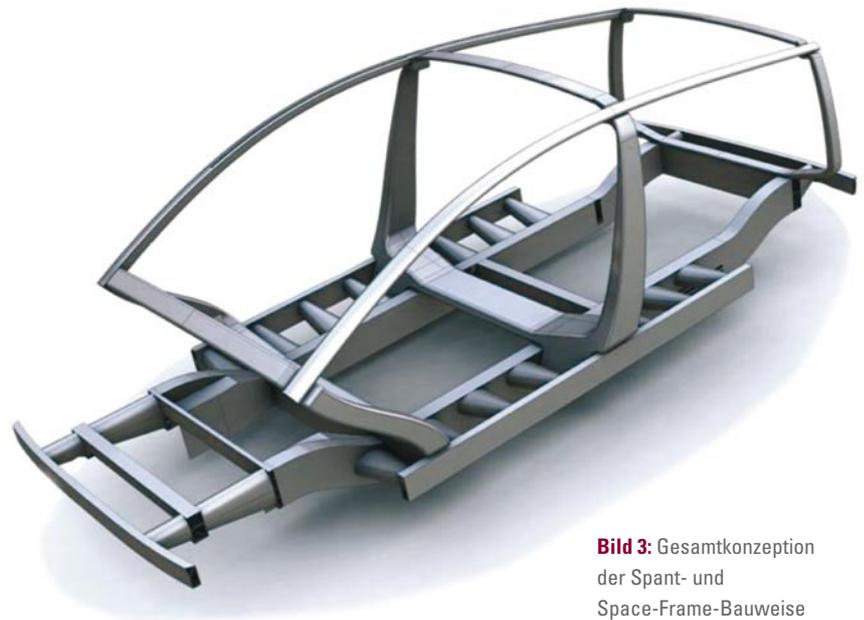


Bild 3: Gesamtkonzeption der Spant- und Space-Frame-Bauweise

terne Partner wie ACE GmbH oder ACTS GmbH eingebunden.

Die Spant- und Space-Frame-Bauweise führt damit zu einer Komplexitätsreduktion und stellt einen wesentlichen Kostenvorteil dar. Eine besondere Herausforderung hierbei ergibt sich jedoch aus dem notwendigen Leichtbau, weil durch die geforderten Möglichkeiten der Modularisierung und der verbesserten passiven Sicherheit eine Gewichtszunahme nicht lediglich nur kompensiert werden muss.

3 Schlüsselkomponente Ringspant

Auf dem Weg zur Gesamtentwicklung der Spant- und Space-Frame-Bauweise steht zunächst das Bauteil Ringspant im Mittelpunkt. Der Spant als „Herzstück“ dieser neuartigen Bauweise weist erhöhte Komplexität hinsichtlich seiner Auslegung und Dimensionierung auf. Repräsentativ wurde der B-Spant ausgewählt, welcher im konventionellen Automobil die B-Säule ersetzt. Das so genannte Multi-Material-Design kombiniert hierbei Werkstoffe und Bauweisen so, dass in Abhängigkeit der Produktionsvolumina ein betriebswirtschaftliches Leichtbau-Optimum entsteht.

Die Spante werden in der vorliegenden DLR-Konzeption in Faserverbundbauweise dargestellt. Der Werkstoff CFK (Kohlefaserverbundwerkstoff) ist mit zir-

ka 25 bis 50 Euro/kg zwar teuer, besitzt aber die notwendigen mechanischen Eigenschaften hinsichtlich Steifigkeit, Energieabsorption und Gewicht.

Durch eine Bauteil- und Strukturoptimierung je nach lokaler Anforderung können mit einem relativ geringen Einsatz von CFK wesentlich bessere Werte im Seitencrash erreicht werden als mit konventionellen Werkstoffen. Dieser Hochleistungswerkstoff vermag im Seitencrash auf kürzestem Weg und in kürzester Zeit Energien bis zu 60 kJ/kg zu absorbieren, **Bild 4**.

Abgesehen vom Werkstoff sind die Spante aufgrund ihrer geschlossenen Ringstruktur prädestiniert, radiale Belastungen zum Beispiel aus dem Seitenaufprall aufzunehmen. Damit stellt die Spant-Bauweise einen viel versprechenden und innovativen Lösungsansatz hinsichtlich des effektiven Seitenaufprallschutzes dar.

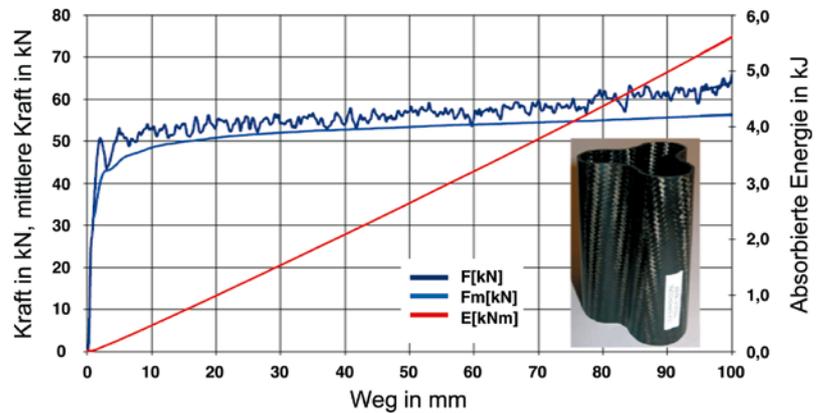


Bild 4: Beispiel eines Crash-Konus aus CFK [6] (rechts unten) mit resultierenden Kraft-Weg-Kennlinie

Die Verbindung zwischen den einzelnen CFK-Spanten kann durch geometrisch einfache metallische Profile realisiert werden. Nur diese Kombination aus teuren Hochleistungsbauteilen in

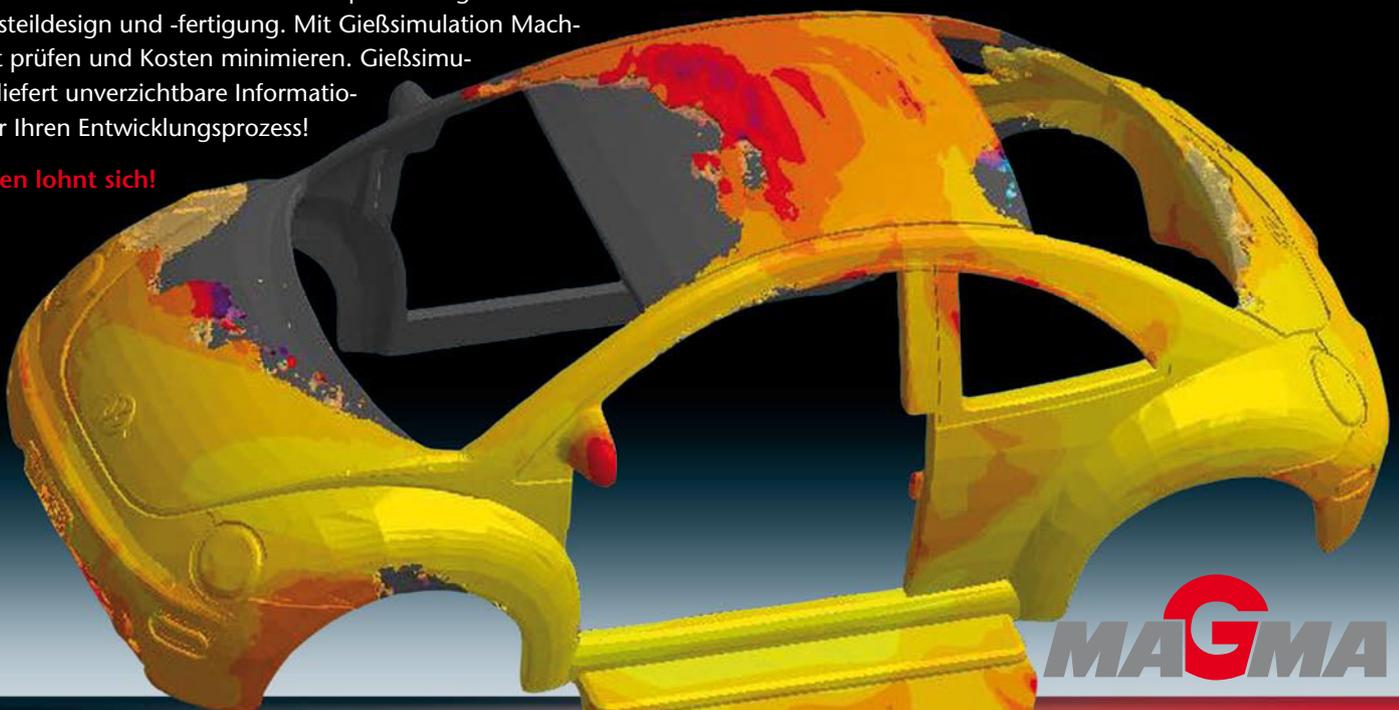
relevanten Strukturbereichen und kostengünstigen Werkstoffen und Fertigungsverfahren trägt zu einer sicheren, leichteren und kostenvertretbaren Lösung bei.

Die Karosserie aus einem Guss

Vielleicht wird sie zu teuer. Aber die Gießtechnik bekommen wir hin.

MAGMASOFT® ist der Schlüssel zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit in Gussteildesign und -fertigung. Mit Gießsimulation Machbarkeit prüfen und Kosten minimieren. Gießsimulation liefert unverzichtbare Informationen für Ihren Entwicklungsprozess!

Rechnen lohnt sich!



MAGMA

Committed to Casting Excellence

Mehr Informationen unter www.magma-soft.de

MAGMA Gießereitechnologie GmbH | Aachen · Chicago · Singapur · São Paulo · Hellebæk · Seoul

4 Entwicklungsmethodik für die Spant-Bauweise

Die angewendete Entwicklungsmethodik reicht von der Konzeption, über die Topologieoptimierung, Konstruktion und statische sowie dynamische Berechnung bis hin zum Bau eines Prototypen, der im Versuch getestet wird und zur Validierung der Berechnungsergebnisse dient. In der frühen Konzeptphase wurden analytische Betrachtungen hinsichtlich der Seitencrashanforderungen angestellt. Ergebnis dieser Überlegungen ist ein mechanisches Wirkprinzip, das in Bild 2 dargestellt ist.

Im Bereich des Dachholms wird der Spant beim Seitenaufprall als verformbares Gelenk ausgebildet. Der Bereich zwischen Dachholm und Schweller wird hingegen extrem steif ausgelegt, so dass für die Insassen im Kopf- und Schulterbereich der bestmögliche Schutz realisiert werden kann. Die Crashenergie wird durch die erfolgte Rotation am verformbaren Gelenk in den Bodenbereich zu den Crash-Elementen geführt. Diese liegen im Bereich zwischen Schweller und den durchgehenden Längsträgern und absorbieren die Energie durch Crushing.

Insbesondere kann durch dieses mechanische Wirkprinzip die Energieabsorption im Boden, die maximal zulässige Intrusion und die Beschleunigung der Insassen wirksam abgestimmt werden. Ziel ist es, speziell beim Seitencrash nach Euro-NCAP keine beziehungsweise nur geringfügige Intrusion zu gewährleisten, sowie beim anspruchsvolleren neuen IIHS-Test den Passagieren den bestmöglichen Schutz zukommen zu lassen [7, 11].

5 Topologieoptimierung des Spant-Querschnittes

Zu einem frühen Zeitpunkt in der Entwicklungsphase wurden FEM-Berechnungen herangezogen, um die Auslegung der Spantgeometrie beziehungsweise des Spantquerschnitts zu unterstützen, Bild 5. Der rechnerisch optimale Querschnitt wurde dabei an einem abstrahierten B-Säulenabschnitt mit Hilfe des Optimierungswerkzeug Tosca ermittelt. Das Ergebnis zeigt sich als feingefächerte Kreuzrippenstruktur, welche sich aus Stabilitätsgründen von den Eck-

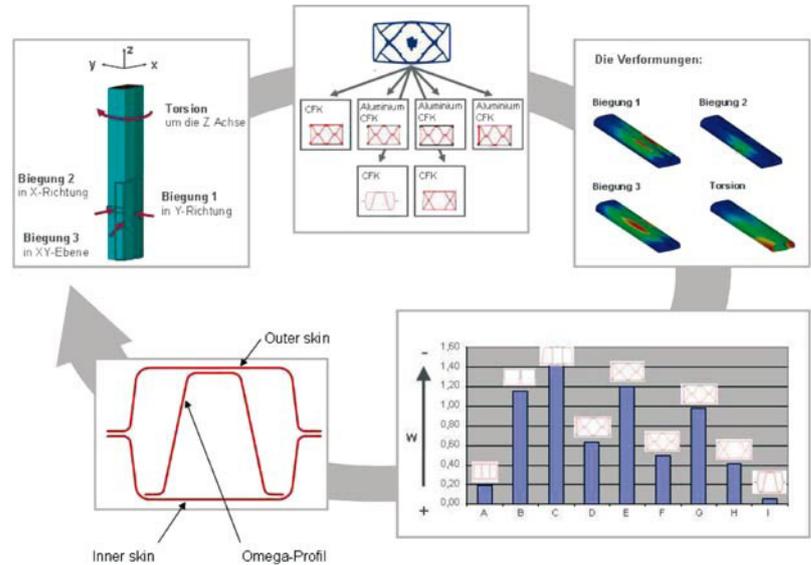


Bild 5: Topologieoptimierung und Stabilitätsberechnung der B-Spant-Struktur

Tabelle: Bedeutung der Formelzeichen

Bedeutung	Formelzeichen
First ply failure index	f
Ausnutzungsgrad des Materials	$\frac{\sigma}{\sigma_{max}}$
Ausnutzungsgrad des Materials eines Referenzquerschnitts	$\frac{\sigma_{Ref}}{\sigma_{max, Ref}}$
Masse, Referenzmasse	m, m_{Ref}

bereichen in die Mitte der gegenüberliegenden Gurte erstreckt.

Da diese Querschnittsform aber nicht mit vertretbarem Aufwand in Faserverbundbauweise herstellbar und ffügbar ist, wurden mehrere hinsichtlich ihrer Herstellbarkeit vereinfachte Querschnittstypen verglichen und konstruiert. Durch statische Analysen und Stabilitätsberechnungen wurden diese entworfenen Querschnitte auf ihre Biegefestigkeit untersucht. Die Bewertung, bezogen auf den Referenzquerschnitt, erfolgte anhand der Kennwerte w , welche den Ausnutzungsgrad des Materials mit der Masse ins Verhältnis setzen. Dabei wurden zwei Fälle unterschieden: Bei isotropem Material ist der Ausnutzungsgrad des Materials das Verhältnis der maximalen auftretenden Spannung zur maximalen Festigkeit des Materials. Bei Faserverbundwerkstoffen hingegen entspricht der Ausnutzungsgrad dem „First ply failure index“ f [9]. Der First-ply-failure-Index wurde nach dem Tsai-Hill-Kriterium berechnet und

gibt das Verhältnis zwischen der Spannung in der jeweiligen Lage und der für die auftretende Belastungsart zur Verfügung stehenden Festigkeit an.

Dieser „First ply failure index“ zeigt an, wann mindestens eine Lage des Laminats versagt. In diesem Fall ist der Wert gleich eins. Ein Wert kleiner eins bedeutet, dass das Material hält, und ist analog zum Ausnutzungsgrad ein Maß dafür, wie hoch die Belastung des Materials ist.

Bei Faserverbundwerkstoffen ist die Festigkeit stark von der Belastungsart und Richtung abhängig. Daher kann keine Maximalspannung in MPa angegeben werden. Durch die Verwendung des „First ply failure index“ werden die Unterschiede in der Festigkeit, die bei Faserverbundwerkstoffen beispielsweise längs beziehungsweise quer zur Faserrichtung auftreten, berücksichtigt. Für isotropes Material gilt Gl. (1):

$$w = \frac{\sigma}{\sigma_{max}} \cdot \frac{m}{m_{Ref}} \tag{1}$$

Für Faserverbundwerkstoffe gilt Gl. (2):

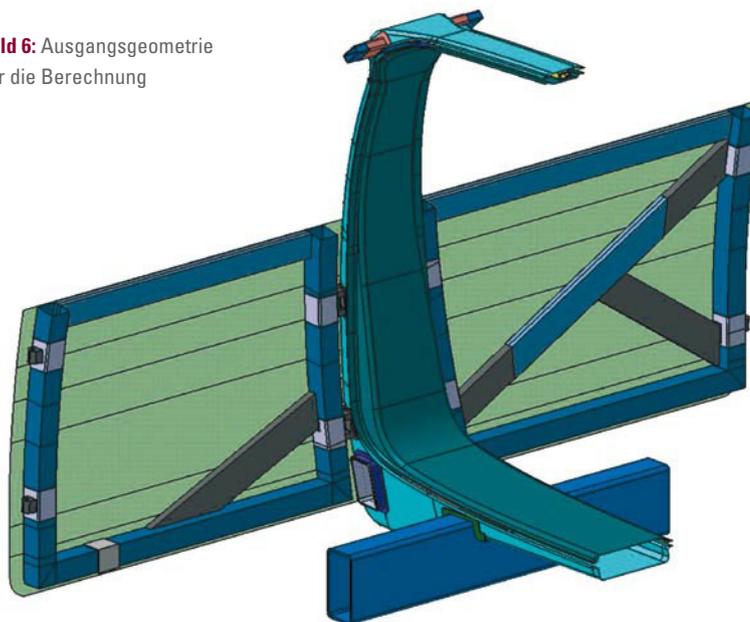
$$w = \frac{f}{\sigma_{\text{Ref}}} \cdot \frac{m}{m_{\text{Ref}}} \quad \text{Gl. (2)}$$

Die Formelzeichen werden in der **Tabelle** beschrieben. Der in Bild 5 (rechts, unten) dargestellte Querschnitt „I“ in einer monolithischen Bauweise aus CFK stellte sich bei dieser Betrachtung als beste Lösung heraus. Deshalb wurde dieser hinsichtlich seiner Stabilität untersucht, wobei das Beulen der Deckflächen den kritischen Lastfall darstellt. Dies kann jedoch durch den Einsatz von Strukturschaum unterbunden werden. Damit besteht der Spant im Wesentlichen aus den drei Komponenten Inner Skin, Outer Skin und einem Omega-Profil, das zur Aussteifung des Querschnittes dient, Bild 5 (links, unten). Die drei Komponenten des Spants werden über geeignete Klebungen in den Kontaktflächen der Halbschalen miteinander verbunden.

6 Ausgewählte Ergebnisse aus der dynamischen Berechnung und Validierung

Um den notwendigen Aufwand für die prototypische Umsetzung zu verringern und trotzdem eine realistische Struktur zu untersuchen, ist für die B-Spant-Struktur ein numerisches Fahrzeugersatzmodell erstellt und mit dem Seitencrashverhalten der Referenzstruktur verglichen worden. Die flächige Krafteinleitung der Seitencrash-Barriere wurde sowohl bei der Simulation als auch bei

Bild 6: Ausgangsgeometrie für die Berechnung



der prototypischen Struktur mittels vereinfachten Türen realisiert. Aus Gründen der besseren Lasteinleitung in den Spant sind dabei je vier Anbindungen pro Tür vorgesehen. Eine starre Verbindung der Spantmitte mit den Türäußenseiten und eine zusätzliche Definition diskreter Massepunkte in der Fahrzeugmitte für das Erreichen des Crashgewichtes von 1250 kg stellte das Ausgangsmodell für die Dimensionierung des Spantes dar, **Bild 6**.

Um Schwachstellen zu identifizieren, wurde jedem CFK-Bauteil zunächst eine konstante, jedoch geringe Wandstärke zugewiesen, so dass in der dynamischen Simulation mit LS Dyna Versagensbereiche aufgetreten sind. Basierend auf

diesen Ergebnissen wurde die Struktur in mehreren Iterationen so verbessert, dass der Vorteil der Faserverbundbauweise einer einfachen Realisierung von unterschiedlichen Wandstärken umgesetzt werden konnte.

Um diese Ergebnisse zu validieren, wurden reale Versuche mit der berechneten Struktur im Maßstab 1:1 aufgebaut und mit einer Barriere in Anlehnung an den Euro-NCAP-Test mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h beaufschlagt. Zusätzlich zu der Auswertung der Deformation der Barriere und der Intrusion der Türen war die Spantstruktur mit Beschleunigungssensoren ausgestattet. Ein Vergleich der Berechnung mit dem realen Versuch zeigt **Bild 7**.

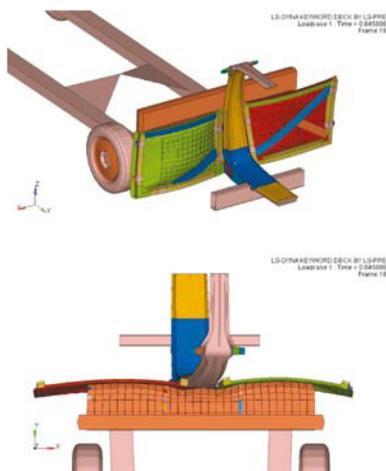


Bild 7: Vergleich der CFK-Simulation (links) mit einem realen Crashversuch (rechts)

Der Vergleich der Beschleunigungssensoren ließ erkennen, dass das FE-Modell bereits ohne Validierungsmaßnahmen eine gute Vorhersage der experimentellen Versuchskurven darstellt. Anhand der Simulationsergebnisse musste jedoch festgestellt werden, dass das FE-Modell eine höhere Steifigkeit als in der Realität besitzt. Für den Validierungsprozess, welcher noch nicht vollständig abgeschlossen ist, haben sich bisher folgende wesentlichen FE-Modelländerungen ergeben:

- Entkopplung der starren Verbindung zwischen Schließblech und Türrahmen
- Definition der Versagenszeitpunkte für die gestellseitigen Drehgelenke
- verbesserte Modellierung der Bördelung und Verstärkungsbleche entlang der Türrahmenseite
- nachgiebige Anbindung des oberen Spantes durch Modellierung des Gestellträgers.

Der Beschleunigungsverlauf hat sich aufgrund der modellierten Nachgiebigkeit des Gestellträgers vor allem im oberen Bereich positiv ausgewirkt und zeigt einen oszillierenden Verlauf. Des Weiteren konnten durch die Steifigkeitsreduzierung in den Türen auch die Werte in der Fahrzeugmitte verbessert werden, **Bild 8**.

7 Ergebnisse und Ausblick

Es wurde vom DLR in einem Forschungsprojekt eine innovative Fahrzeugstruktur konzipiert, die aufgrund ihrer geometrischen Auslegung, der Spantstruktur, der Crash-Konen, der innovativen Türanbindung und der ausgewählten Werkstoffe höhere Sicherheit für die Fahrzeuginsassen, geringeres Gewicht und günstige Modularisierungsmöglichkeiten im Vergleich mit herkömmlichen Bauweisen verspricht. Als Herzstück der Spant- und Space-Frame-Bauweise ist als erste Schlüsselkomponente der Spant innerhalb von neun Monaten entwickelt worden, der eine Gewichtsreduzierung von bis zu 50 % im Vergleich mit einer Stahl-Referenzstruktur verspricht. Dieser Wert ist zusätz-

lich mit der in [8] beschriebenen Methode abgeschätzt. Nach der Konzeption und erfolgreichen Umsetzung in Konstruktion und Prototypenfertigung stellte sich im realen Versuch heraus, dass während der Versuchsdurchführung in Anlehnung an Euro-NCAP kein Bauteilversagen auftrat und somit die Anforderungen nach IIHS mit höherer Geschwindigkeit und Barriergewicht angegangen werden kann.

Bislang nicht untersuchte, aber potenzialträchtige Bereiche für weitere Optimierungen sind beispielsweise in der Verwendung eines selbstklebenden Schaumes zur besseren Übertragung von Schubspannungen in der Spantstruktur zu sehen. Überdies sind die Werkstoffparameter für die FEM-Berechnung zu optimieren. Dies geschieht auch im Falle der Fügungen über weitere Versuche an generischen Proben.

Ein wesentlicher Schritt in der Weiterentwicklung ist die Integration des Spantes in eine digitale Space-Frame-Umgebung. Als Zielerreichung wird infolge gesteigerter Sicherheit und weiterer Faktoren, zum Beispiel Derivate oder Crashkompatibilität, eine Gewichtsreduktion von 20 bis 25 % über die gesamte Struktur im Vergleich mit der Referenz angestrebt. Die Möglichkeit, mit der dargestellten Konzeption auch Karosseriederivate und funktionale Containments für alternative Antriebe zu bilden, sollte richtungweisend für künftige und emissionsarme Mobilität sein.

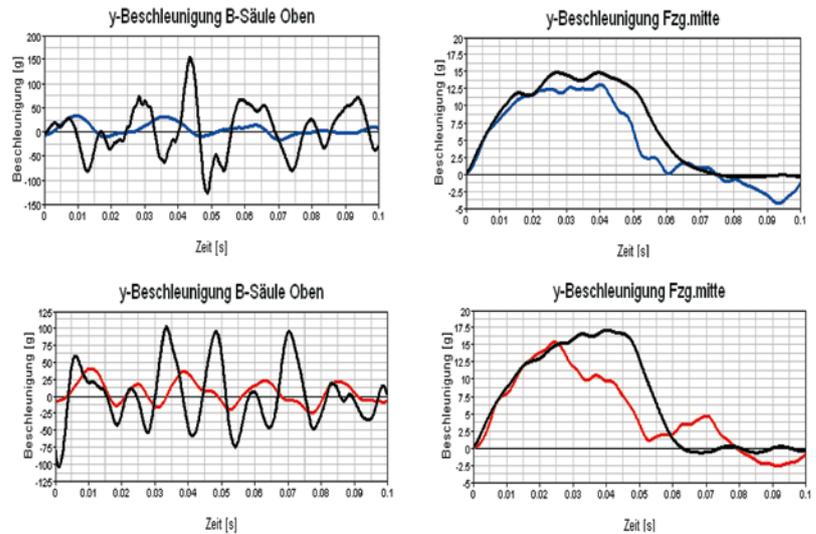


Bild 8: Beschleunigungswerte: blaue Linie = Test 1, rote Linie = Test 2, schwarze Linie = FEM (mit Validierungsmaßnahmen für zwei Versuchsabläufe)

Literaturhinweise

- [1] Braess, H.-H.; Seiffert, U.: Vieweg-Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 3. Auflage Vieweg-Verlag, Wiesbaden, 2003
- [2] Friedrich, H. E.; Kopp, G.: Leichtbau und Modulbauweisen für zukünftige Fahrzeugkonzepte. Stuttgarter Symposium, Stuttgart, 2007
- [3] Haldenwanger, H. G.: Zum Einsatz alternativer Werkstoffe und Verfahren im konzeptionellen Leichtbau von Pkw-Karosserien, Dissertation, TU Dresden, 1997
- [4] Krusche, T.; Leyers, J.; Oehmke, T.; Parr, T.: Bewertung von Modularisierungsstrategien für unterschiedliche Fahrzeugkonzepte am Beispiel des Vorderwagens. In: ATZ 106 (2004), Nr. 10, S. 928–933
- [5] Kroker, J.: Zukünftige Ansätze für modulare Karosseriestrukturen, Faszination Karosseriebau. Braunschweig, 2005
- [6] Holzapfel, M.; et al.: Numerische Nachbildung der Crashfront von faserverstärkten Strukturen mit Hilfe von Mehrschalenmodellen. 6. LS-Dyna-Forum, Frankenthal, 2007
- [7] N. N.: Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) Status Report: Side Impact Crashworthiness, Vol. 39, No. 5; www.iihs.org; Arlington, USA, 2004
- [8] Durst, K. G.: Beitrag zur systematischen Bewertung der Eignung anisotroper Faserverbundwerkstoffe im Fahrzeugbau. Dissertation, Universität Stuttgart, 2008
- [9] Erdl, G.: Zielgerichtete Vorgehensweise zur Entwicklung und Bauweisenbewertungen von anisotropen Faserverbundbauteilen im Fahrzeugbau. Advanced Composite Engineering & Manufacturing GmbH (ACE), Immenstaad, 2008
- [10] Gräf, M.; Treffinger, P.; Pohl, S.-E.; Rinderknecht, F.: Investigation of a High Efficient Free Piston Linear Generator with Variable Stroke and Variable Compression Ratio – A New Approach for Free Piston Engines. In: The World Electric Vehicle Association Journal, WEVA-2006-001, USA, 2006
- [11] N. N.: Euro NCAP Testing Procedures. Side Impact. www.euroncap.com; Brüssel, Belgium, 2008

Download des Beitrags unter
www.ATZonline.de

ATZ
online

ATZ

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



Lorenz-Knoll-Design

Stellen Sie sich vor, Elektronik wäre orange ...

Orange – das ist die Farbe der aktiven Energie. Und die Farbe der Fachzeitschrift für den Bereich Automobil-Elektronik: **ATZechnik**. Denn in kaum einer Branche gestalten sich Entwicklungen aktiver und dynamischer. ATZechnik informiert 6 x im Jahr über neuste Trends und Entwicklungen. Auf wissenschaftlichem Niveau. Mit einzigartiger Informationstiefe. Als Abonnent profitieren Sie zusätzlich vom kostenlosen Download aller Fachbeiträge im Online-Fachartikelarchiv. Sichern Sie sich jetzt Ihr kostenloses Probe-Exemplar!



311 08 008

Ja, ich möchte die ATZechnik jetzt gratis testen!

Bitte senden Sie mir unverbindlich die nächste Ausgabe der ATZechnik zu. Möchte ich die Zeitschrift danach weiterlesen, brauche ich nichts weiter zu tun. Ich erhalte die Zeitschrift zum Preis von nur € 108,- zzgl. Versandkosten. Das Abonnement kann ich jederzeit zur nächsten erreichbaren Ausgabe kündigen. Zuviel gezahlte Beträge für nicht gelieferte Ausgaben erhalte ich zurück. Möchte ich nicht weiter lesen, melde ich mich innerhalb von 10 Tagen nach Erhalt des Probeheftes schriftlich. (GWV-Fachverlage GmbH, Geschäftsführer: Dr. Ralf Birkelbach, Albrecht F. Schirmacher, AG Wiesbaden HRB 9754.)

Firma Vorname/Name

Funktion Branche

Straße/Nr. PLZ/Ort

Datum/Unterschrift

Bitte schicken Sie mir regelmäßig ihren kostenlosen Newsletter an meine E-Mail-Adresse:

E-Mail

Einfach Coupon ausfüllen und faxen an 0611.7878-423 oder online bestellen unter www.ATZonline.de