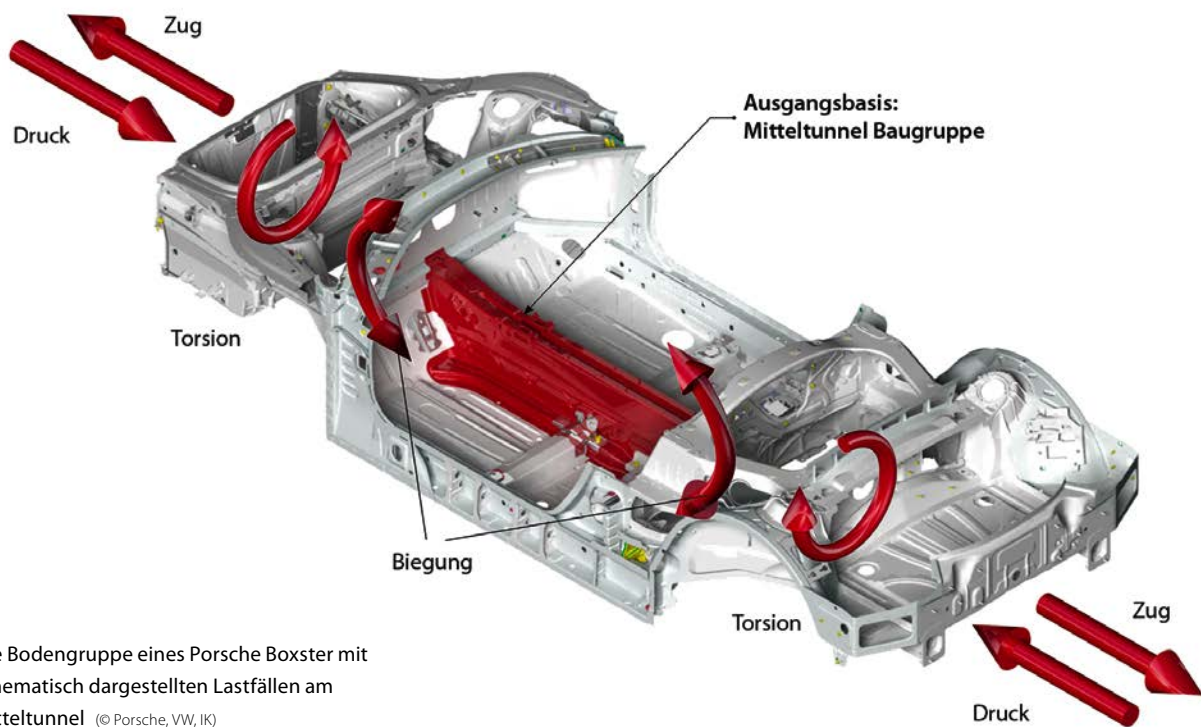


Die Faser-Kunststoff-Metall-Kombination

Leichtbau in der Fahrzeugstruktur am Beispiel eines Pkw-Mitteltunnels für den Porsche Boxster

Damit moderne Autos trotz aufwendiger Sensortechnik und umfangreichem Infotainment nicht schwerer werden, ist struktureller Leichtbau gefragt. Das Forschungsprojekt LehoMit-Hybrid entwickelte einen leichten und großserientauglichen Mitteltunnel in FVK-Metall-Verbundbauweise für die Anwendung im automobilen Rohbau.



Die Bodengruppe eines Porsche Boxster mit schematisch dargestellten Lastfällen am Mitteltunnel (© Porsche, VW, IK)

Die Entwicklung der Rohstoff- und Energiepreise, die aktuellen gesetzlichen Regelungen zur Fahrzeugsicherheit sowie zur Senkung von Emissionen stellen die Automobilhersteller vor Herausforderungen. Sie sollen effiziente sowie ressourcenschonende Fahrzeugkonzepte entwickeln und produzieren [1, 2]. Gleichzeitig stellen die Kunden hohe Ansprüche, beispielsweise an Qualität, Komfort und Infotainment. Das bringt häufig hohe Systemkosten als auch mehr Gewicht mit sich. Um Gesetzgebung und Kundenwünschen gleichermaßen gerecht zu werden, sind fortschrittliche Ansätze in Konstruktion und Fertigung erforderlich. Durch die Kombination verschiedener Leichtbaumaterialien kann das Gewicht deutlich reduziert, ein hoher Grad an Funktions- und Bauteilintegration erreicht und mit Sicherheitsstandards wirtschaftlicher produziert werden [3].

Diesen Ansatz verfolgen die Verbundpartner aus Industrie und Forschung im Rahmen des öffentlich geförderten Projekts „LehoMit-Hybrid“. Ziele des Vorhabens mit dem Projektstart im Frühjahr 2017 war die Entwicklung eines leichten, leistungsfähigen Pkw-Mitteltunnels in Hybridbauweise (kurz: LehoMit-Hybrid) inklusive Herstellung und Erprobung im Gesamtfahrzeug [4]. Die Ausgangsbasis für die Konstruktion bildete dabei die bestehende mehrteilige Aluminium-Stahl-Baugruppe des Porsche Boxster/Cayman (**Titelbild**). Sie muss im Fahrzeugcrash die Grenzwerte bezüglich Innenraumintrusion und Insassenbelastung erfüllen sowie die strukturelle Integrität gewährleisten, um den notwendigen Überlebensraum für die Fahrzeuginsassen sicherzustellen.

Aufgrund klar definierter Lastfälle (**Titelbild**) und geringer Deformationen im Crashfall eignet sich der Mitteltunnel sehr gut



Bild 1. Aufteilung des Laminataufbaus (links) und prinzipieller Aufbau des hybriden Mittel-tunnels (rechts) nach [5] und [6]

(© Porsche, VW, IK)

für eine Umsetzung als hybride Konstruktion, insbesondere als FVK-Metall-Hybridstruktur. Einerseits lassen sich hier beispielsweise die sehr guten mechanischen Eigenschaften der faserverstärkten Kunststoffe (FVK) in Faserrichtung mit geringerer Dichte im Vergleich zu Aluminium oder Stahl ausnutzen [7]. Andererseits besitzen die metallischen Verbundpartner eine hohe Festigkeit, ein hohes Elastizitätsmodul und ein duktiler Verhalten [3]. Zudem eignen sich die Metalle durch ihre werkstoffspezifischen Eigenschaften als Fügepartner zu den benachbarten Baugruppen. Beim Einsatz verstärkter thermoplastischer Kunststoffe kann eine kosteneffiziente Verarbeitung aller Verbundpartner in großserientauglichen Verfahren wie dem Thermoformen oder dem Spritzgießen erfolgen [8]. Darüber hinaus ist das integrale und gewichtsreduzierte Bauteil unter verringertem Montageaufwand in das Gesamtsystem integrierbar.

Von der Aluminium-Stahl-Version zum hybriden Bauteil

Der Mittelunnel sollte gemäß dem klassischen Produktionsprozess im Fahrzeugrohbau und damit vor der kathodischen Tauchlackierung (KTL) sowie dem anschließenden Hochtemperatur-Trocknungsprozess integriert werden. Durch diese Vorgehensweise soll die Serientauglichkeit der hybriden FVK-Metall-Bauweise verdeutlicht und die Verträglichkeit der neuen Bauteilkonzepte mit aktuellen Serienprozessen aufgezeigt werden. Da die Trocknungstemperaturen mit Werten bis zu 200 °C den normalen Anwendungsbereich des Automobils deutlich überschreiten, werden aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten die Verbindungen zwischen FVK-Tunnel und metallischer Karosserie stark beansprucht. Aus diesem Grund müssen Lösungen hinsichtlich der eingesetzten Fügeverfahren entwickelt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts soll ein leichter Mittelunnel-Prototyp in FVK-Metall-Hybridbauweise entwickelt, in einen aktuellen Serienproduktionsprozess in ein Fahrzeug vor KTL integriert und im Anschluss im Fahrzeugversuch erprobt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, haben sich die Volkswagen Konzernforschung, Wolfsburg, und die Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Stuttgart, mit drei weiteren Projektpartnern zusammengeschlossen: dem Werkzeugbauer Schneider Form GmbH, Dettingen, der Invent GmbH, Braunschweig, einem Spezialisten für Faser-verbundtechnologie, sowie dem Institut für Konstruktionstechnik der Technischen Universität Braunschweig.

Die Mittelunnel-Mantelfläche besteht aus einem thermoplastischen Laminataufbau aus Glas- und Kohlenstofffasern, einem Rippenbild aus kurzglasfaserverstärktem Thermoplast und metallischen Einlegern (**Bild 1**). Die Ausrichtung der Endlosfasern, die Aufteilung in lastabhängige Zonen und die Anzahl der Lagen wurden im Rahmen eines iterativen Crash-Berechnungsprozesses ermittelt. Ein entscheidender Vorteil des Laminataufbaus liegt in der Kombinationsfreiheit des Matrixmaterials und des Schichtaufbaus. Hierdurch sind zum Beispiel im gleichen Werkzeug und Fertigungsprozess Bauteile mit geänderten mechanischen Eigenschaften für die Verwendung in unterschiedlichen Fahrzeugderivaten (z. B. Cabrio, Rennsport) herstellbar. Die notwendige Gesamtsteifigkeit des Bauteils wird durch eine kurzglasfaserverstärkte Rippenstruktur erreicht. Um im Falle eines Frontalcrashs ein strukturelles Versagen des Mittelunnels zu vermeiden, ist im Bereich der Anbindung an den Stirnwandquerträger ein warmumgeformter Stahleinleger im Tunnel vorgesehen. Dieser ist außerdem geometrisch so gestaltet, dass das Fügen an die benachbarte Baugruppe mit herkömmlichen Fügeverfahren möglich ist. Weitere integrierte Bestandteile des hybriden Mittelunnels sind Stahl-Lastenleitungselemente, die zur Aufnahme von Fahrwerkskräften dienen, und zusätzliche metallische Gewindeeinsätze, die als Befestigungselemente von Montageteilen und Medienleitungen genutzt werden. Ein wichtiger Fokus der Werkstoffauswahl liegt insbesondere auf der Temperaturbeständigkeit, sodass die hohen Temperaturen im KTL-Trocknungsprozess keine »

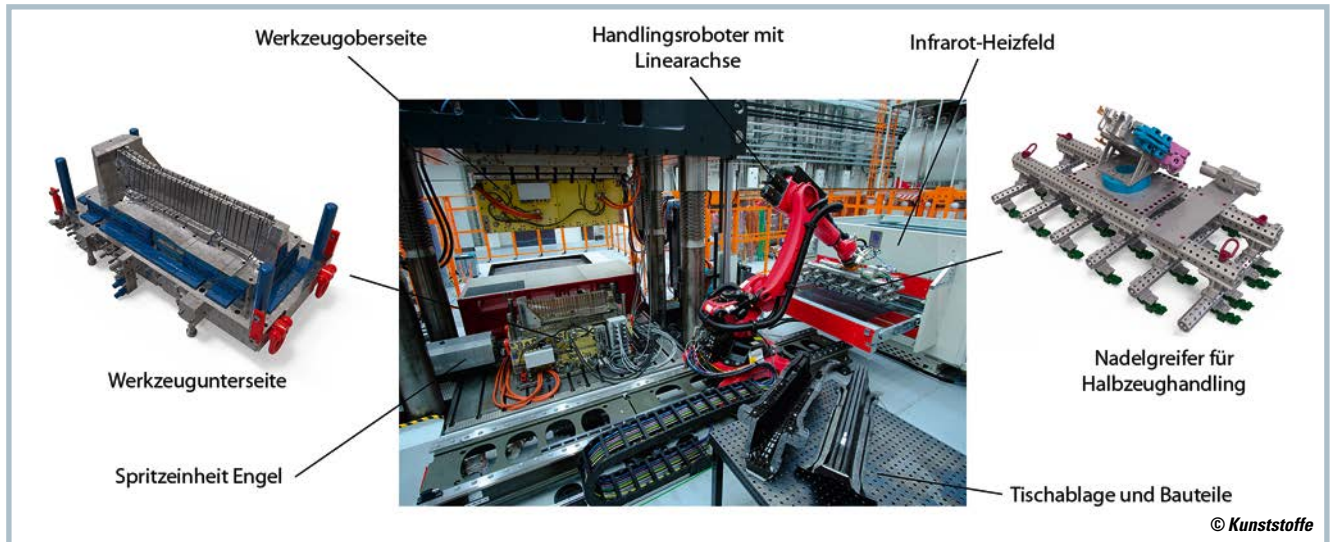


Bild 2. Fertigungszelle an der Open Hybrid LabFactory (OHLF) in Wolfsburg (© Porsche, VW, IK)

Die Autoren

Dr. Christoph Kuhn ist seit 2014 als Projektleiter in der Werkstoffforschung des Volkswagen-Konzerns tätig und Konsortialführer im Projekt „LehoMit-Hybrid“; christoph.kuhn@volkswagen.de

Dominik Klaiber ist seit 2017 als Doktorand in der Karosserie-Vorentwicklung der Porsche AG in Weissach tätig; dominik.klaiber@porsche.de

Johannes Altach ist seit 2015 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktionstechnik der Technischen Universität Braunschweig unter Prof. Dr.-Ing. Thomas Vietor tätig; j.altach@tu-braunschweig.de

Dank

Das Projekt „LehoMit-Hybrid“ wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert und vom Projektträger TÜV Rheinland Consulting GmbH betreut. Im Projekt sind, neben der Volkswagen Konzernforschung und der Porsche AG, die Schneider-Form GmbH aus Dettingen, die Invent GmbH aus Braunschweig sowie das Institut für Konstruktionstechnik der Technischen Universität Braunschweig als Projektpartner vertreten. Die Autoren möchten sich in diesem Rahmen für die konstruktive und freundliche Zusammenarbeit mit dem Projektträger und den Projektpartnern herzlichst bedanken.

Weitere Projektmitglieder

Schneider-Form GmbH: Herbert Wollmann (Teamleiter Konstruktion), Christian Zaiser (Leiter Projektmanagement)

Invent GmbH: Dr. Olaf Heintze (Forschungskoordination), Andreas Ihl (Projektbearbeitung)

Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG: Dr. Philipp Kellner (Projektleitung), Dominik Klaiber (Projektmanagement)

Institut für Konstruktionstechnik – TU Braunschweig: Prof. Dr. Thomas Vietor (Institutsleitung), Johannes Altach (Projektbearbeitung)

Volkswagen AG – Konzernforschung: Dr. Christoph Kuhn (Konsortialführer), Dr. Enrico Körner (Unterabteilungsleiter)

negativen Auswirkungen auf die mechanische Integrität des Bauteils haben.

Fertigungs- und Anlagenkonzept

Das beschriebene Bauteilkonzept in FVK-Metall-Hybridstruktur sieht die Fertigung im Rahmen eines One-Shot-Verfahrens auf einer Spritzgießeinheit mit vertikalem Öffnungshub vor (**Bild 2**). Kern der Fertigung ist das von der Schneider-Form gefertigte Werkzeug, in dem die verschiedenen Materialien zusammengefügt werden. Dieses besitzt neben der komplexen Rippengeometrie und den Aufnahmen für die metallischen Einleger besondere Möglichkeiten für die Drapierung des Laminathalbzeugs, wie einen zentralen, druckfederbelasteten Voreiler und ein offenes Werkzeugkonzept ohne Tauchkante. Für den Fertigungsprozess wurden in die Fertigungszelle außerdem ein Infrarotstrahlerfeld und eine Robotereinheit mit einem speziell entwickelten Greifersystem integriert. Nach der Werkzeuginbetriebnahme und einer ersten Prototypenfertigung auf einer Spritzgießmaschine Engel V Duo2300 (Hersteller: Engel Austria GmbH, Schwertberg) der Audi AG in Neckarsulm ist der gesamte Fertigungsprozess auf der Spritzgießanlage Engel V-Duo3600 an der Open Hybrid LabFactory in Wolfsburg umgesetzt worden.



Bild 3. Mittelunnel in Hybridbauweise in CAD-Darstellung (links) und als Realbauteil (rechts) (© Porsche, VW, IK)

Der Fertigungsablauf sieht zunächst die Einbringung aller metallischen Einlegeteile ins temperierte Werkzeug vor. Das faserverstärkte Halbzeug wird währenddessen im Infrarotstrahlerfeld auf Verarbeitungstemperatur aufgeheizt und im Anschluss vom Greifersystem im Werkzeug abgelegt, sodass der Laminataufbau durch die Schließbewegung des Werkzeugs zur finalen Tunnel-Mantelfläche drapiert wird. Nach dem Schließen des Werkzeugs erfolgen das Hinterspritzen und das Ausbilden der versteifenden Rippenstruktur. In diesem Schritt werden der warmumgeformte Stahleinleger, die sechs metallischen Lasteinleitungselemente, die zehn Befestigungsbolzen und das Laminat von der Kunststoffschmelze aus Polyamid umströmt und durch eine feste Fügeverbindung in das Bauteil integriert. Nach der Abkühlphase wird das Bauteil mit allen integrierten Einlegern ausgeworfen. Im weiteren Ablauf ist eine Handhabung als einzelnes Gesamtbauteil möglich (Bild 3).

Im Allgemeinen konnten während der Prototypenherstellung durch Variation verschiedener Material-, Prozess- und Maschinenparameter Faktoren identifiziert werden, die einen ausschlaggebenden Einfluss auf die Maßhaltigkeit des Bauteils haben. Im Anschluss an die Bauteilfertigung können außerdem weitere funktionelle Verbindungselemente, beispielsweise zur Befestigung von Montageteilen, über mechanische oder stoffschlüssige Fügeverfahren hinzugefügt werden.

Ausblick

Insgesamt konnte ein bauteilintegrierter, hybrider FVK-Metall-Mitteltunnel entwickelt werden, der die notwendigen mechanischen Anforderungen erfüllt und mittels großserientauglicher Verfahren herstellbar ist. Je nach Wahl der thermoplastischen Matrix und Faserart wird eine Gewichtseinsparung von 20 bis 25 % erreicht. Im weiteren Verlauf werden verschiedene Fügekonzepte zur Integration in die Gesamtkarosserie entwickelt, um die unterschiedlichen Ausdehnungsverhalten der Materialien zu kompensieren. Mithilfe dieser Fügekonzepte und der gefertigten Mitteltunnel werden anschließend Bodengruppen aufgebaut und erprobt. Ein Fokus steht hierbei insbesondere auf dem Verhalten unter Temperaturbelastung im Lackierprozess.

In einem letzten Schritt werden vor dem Projektende im Frühjahr 2020 Untersuchungen durchgeführt, um das Verhalten des hybriden Mitteltunnels im Gesamtfahrzeug zu erproben und für eine Serienanwendung zu qualifizieren. ■

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/7788662

English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com