

REAL4HYBRID: Auslegung von Fügeverbindungen an Hybridstrukturen

Hybrider Zusammenhalt

Angesichts ihrer geringen Dichte bei gleichzeitig besonders hoher mechanischer Belastbarkeit werden für Leichtbau-Anwendungen häufig Verbundwerkstoffe eingesetzt, beispielsweise kohlefaserverstärkte Kunststoffe (CFK). Die ausgeprägte Anisotropie dieser Werkstoffe ermöglicht entlang der Faserrichtung zwar höchste Beanspruchbarkeit, wird jedoch gerade bei mehrachsigen Beanspruchungszuständen zum Nachteil für den Produktentwickler.

Aus diesem Grund ist bei modernen Leichtbaukonstruktionen häufig eine Hybridstruktur in Multi-Material-Bauweise aus CFK und Aluminium anzutreffen. Diese Materialpaarung ist unter anderem im Pkw bei Anbauteilen wie Fensterheber-schienen für ein CFK-Türsystem zu finden. Die Eigenschaften solcher Hybridstrukturen hängen maßgeblich von den Fügestellen zwischen den Teilkomponenten ab, was eine belastungs- und werkstoffgerechte Auslegung dieser Fügeverbindungen unabdingbar macht. Diese wird durch das anisotrope Materialverhalten und die Neigung zur Delamination des CFK sowie durch stark unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten der Fügepartner erschwert.

Die Erfüllung von Anforderungen wie ausreichende Festigkeit auch bei unterschiedlichen thermischen Bedingungen oder Crash-Sicherheit der Fügestellen ist

nur möglich, wenn zu einem frühen Zeitpunkt der Produktentwicklung rechnergestützte Verfahren zum Einsatz kommen. Aktuelle Simulations- und Berechnungsverfahren, insbesondere für Verbindungen an CFK-Strukturen, werden der Forderung nach einer ausreichenden Ergebnisgüte bei vertretbarem Aufwand in der frühen Produktentwicklungsphase jedoch nicht gerecht.

Verschiedenste Beanspruchungsszenarien

Daraus ergeben sich die Ziele des BMBF-geförderten (Bundesministerium für Bildung und Forschung) Projekts REAL4-HYBRID, das die Partner Brose Fahrzeugteile GmbH, CADFEM GmbH, Dynardo GmbH und der Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg seit Mitte 2013 gemeinsam bearbei-

ten. Dazu wird basierend auf einer umfangreichen experimentellen Charakterisierung von Klebe- und Nietverbindungen ein Software-Demonstrator entwickelt, der anhand von vereinfachten Simulationsmodellen einen vertretbaren Modellierungs- und Berechnungsaufwand mit einer möglichst hohen Ergebnisgüte vereint (Bild 1). Um die Einsetzbarkeit des Software-Demonstrators in der praktischen Produktentwicklung zu belegen, wird dieser bei der Entwicklung eines Pkw-Türmoduls verwendet.

Eine breite Datenbasis wird mithilfe von Zugversuchen an der servohydraulischen Schnellzerreiß-Prüfanlage (Bild 3) des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik geschaffen, wobei verschiedene Parameter wie etwa der Lastangriffswinkel variiert werden. Dies führt zu unterschiedlichen, überlagerten Spannungszuständen innerhalb der Fügeverbindung. Die automobiltypischen Anforderungen werden mit

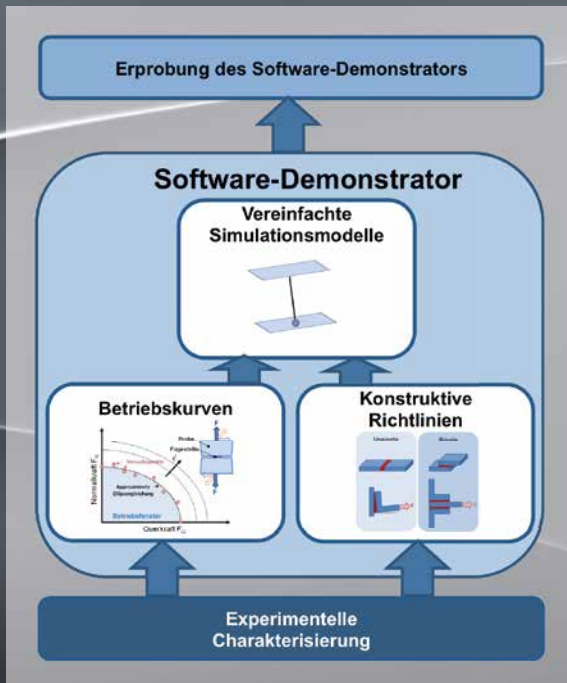


Bild 1: Schwerpunkte und Ziele des Projekts.

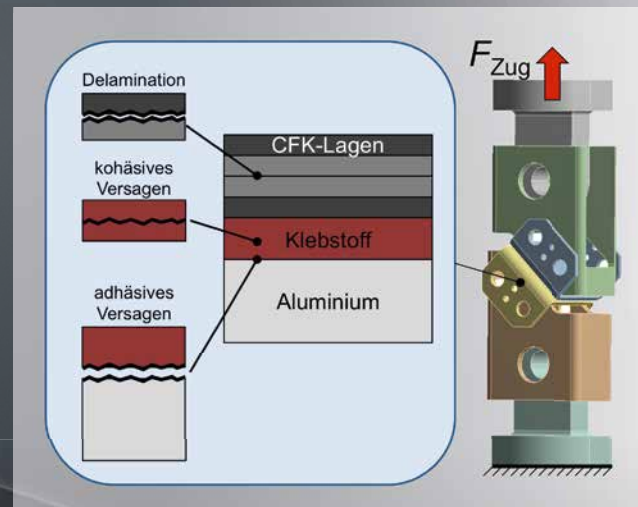


Bild 2: Aufbau und Versagensformen der Simulation.

Temperaturen zwischen -30°C und 80°C sowie hoch dynamischen Belastungen erfüllt. Zudem erfolgte die Prüfung verschiedener CFK-Lagenaufbauten sowie der Spaltmaße im Fall der Klebeverbindung. Durch die Wahl eines weit umfassenden Parameterraums können verschiedenste Beanspruchungsszenarien der Verbindung nachgebildet und untersucht werden.

Auftretende Versagensarten abbilden

Die Ergebnisse der experimentellen Charakterisierung der Fügeverbindungen dienen zur Erstellung eines detaillierten Simulationsmodells in ANSYS Workbench, mit dem weitere Bereiche des Versuchsraums abgedeckt werden können. Auf diese Weise lässt sich die Menge der zur Verfügung stehenden Daten erheblich vergrößern. Ausgehend von den Versuchsergebnissen werden die Anforderungen an die Modellierung der detaillierten Simulation abgeleitet. Sie muss die in der Praxis auftretenden Versagensarten abbilden können: adhäsives Versagen der Klebeverbindung auf der Aluminium-Oberfläche, kohäsives Versagen innerhalb der Klebeschicht und Delamination des CFK-Schichtaufbaus (Bild 2). Im Fall der Nietverbindung sind spezifische Versagensformen wie Abscheren oder Herausziehen des Niets relevant.



Bild 3: Servohydraulische Prüfanlage am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik.

Auf Basis der berechneten Parameterkonfigurationen wird mit der Software optiSLang for ANSYS eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um wichtige Eingangsparameter für die vereinfachten Berechnungsmodelle zu identifizieren. Dabei wird das Metamodell Optimaler Prognosefähigkeit (MOP) in Kombination mit einer varianzbasierten Sensitivitätsanalyse eingesetzt, um auch stark nichtlineare und gekoppelte Zusammenhänge zu identifizieren. Die Kenntnis über den quantitativen Einfluss der verschiedenen Parameter auf das Verhalten der Fügeverbindung bildet die Grundlage für die angestrebte Abstraktion

des Berechnungsmodells. Das abstrahierte Ersatzmodell wird als finites Element in ein implizites und explizites Simulationswerkzeug integriert und anhand von Lastverschiebungs-Beziehungen mit dem Detailmodell abgeglichen.

Zur abschließenden Validierung des Software-Demonstrators wird ein damit ausgelegtes Pkw-Türmodul in statischen und dynamischen Versuchen geprüft, zum Beispiel in Fensterheber-Dauertests oder Seitenaufprall-Tests. Eine praxisgerechte Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse kann nach erfolgreichem Projektabschluss beispielsweise in Form einer ACT-Einbindung (Application Customization Toolkit) in ANSYS Workbench erfolgen.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Forschungsprojekts REAL4HYBRID (Förderkennzeichen 01|S13009D).

InfoAutoren

M. Sc. Christian Witzgall
Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
www.mfk.uni-erlangen.de

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Markus Kellermeyer
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-942
mkellermeyer@cadfem.de

InfoVerwendete Software

ANSYS Workbench, optiSLang for ANSYS