

Stillstand in bewegter Umgebung

Aktive Schwingungsdämpfung in hoch belasteten Faserverbundstrukturen sorgt für Ruhe in Eisenbahnwagon-Drehgestellen

WILM F. UNCKENBOLD

Zu den Werkstoffen der Zukunft gehören besonders die Faserverbundwerkstoffe (FVW), mit denen hohe Steifigkeiten, Festigkeiten und außerordentliche Korrosionsbeständigkeiten bei geringem Gewicht verwirklicht werden können. Eine derartige Kombination dieser oftmals geforderten Eigenschaften ist mit herkömmlichen Werkstoffen nahezu unmöglich.

Auf den beanspruchungsgerecht konstruierbaren Faserverbundwerkstoffen setzt die so genannte Adaptronik auf. Sie beschreibt eine neue Klasse von „intelligenten Strukturen“, die sich an unterschiedliche Betriebsbedingungen anpassen. Diese

Dr.-Ing. Wilm F. Unckenbold ist Geschäftsführer bei der Invent GmbH in 38112 Braunschweig, Tel. (05 31) 2 44 66-20, Fax (05 31) 24 466-88, Wilm.Unckenbold@invent-gmbh.de

neuartigen Struktursysteme reagieren selbstoptimierend auf äußere Veränderungen und können beispielsweise verhindern, dass störende Verformungen auftreten. Dadurch wird es möglich, Schwingungen und die damit häufig verbundenen Körperschallprobleme direkt am Ort der Entstehung zu unterbinden. Voraussetzung sind Sensoren und Aktuatoren wie etwa piezokeramische Fasern und Folien, die mit adaptiven Reglern verknüpft werden.

Im Gegensatz zu klassischen Lösungen mit Feder- und Dämpfungselementen bilden die adaptiven Komponenten selbst einen integralen Bestandteil der Struktur. Sie übernehmen sowohl tragende als auch aktuatorische/sensorische Funktionen und sind somit multifunktional. Die Adaptronik bietet deshalb eine wichtige Grundlage für

die Weiterentwicklung des Leichtbaus. Vom Ingenieur erfordert sie neue Vorgehensweisen, weil außer den klassischen Werkstoffbetrachtungen nun auch „virtuell“ veränderliche dynamische Steifigkeiten, Dämpfungen oder Massenbelegungen in die Auslegung einfließen.

GFK-Blattfeder für innovative Drehgestelle

Die Primärstufe eines Drehgestells von modernen Schienenfahrzeugen dient sowohl zur Führung der Radsätze und zur Abfederung des Wagenkastens als auch zur Dämpfung der Schwingungen, die unter anderem mit dem Rad-Schiene-Kontakt einhergehen. In herkömmlichen Drehgestellen werden diese Funktionen durch separate Elemente wie Achslenker, Primärfederung und Schwingungsdämpfer übernommen.

Im Hinblick auf eine Vereinigung dieser Funktionen wurde im Rahmen des von dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Leitprojektes Adaptronik „Adaptive Verbundstrukturen für den Leichtbau – strukturkonform integrierte piezoelektrische Fasern und Folien“ erstmals eine GFK-Blattfeder mit integrierten piezoelektrischen Aktuatoren gebaut. Mit dieser Blattfeder konnte die Schwingungsdämpfung durch geregeltes Ansteuern der Aktuatoren um den Faktor 13 erhöht werden, womit eine fortschrittsorientierte Komfortsteigerung moderner Schienenfahrzeuge erreicht werden kann.

Im Vorfeld des Leitprojektes Adaptronik wurde durch die Adtranz (Daimler-Chrysler Rail Systems GmbH) ein innovatives Drehgestell entworfen, dessen Konzeption auf einer Integration von passiven Doppelblattfedern aus Faserverbundwerkstoff in der Primärstufe der Federung basiert (Bild 1). In der dargestellten Konzeption des Drehgestells ist die Funktion der Radsatzführung und der Abfederung der Traglasten optimal gewährleistet [4].

Im Hinblick auf eine optimierte Schwingungsdämpfung war die Aus-

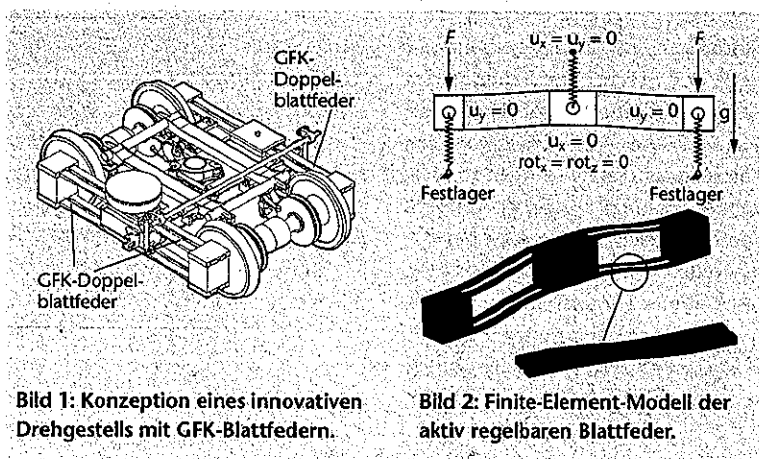


Bild 1: Konzeption eines innovativen Drehgestells mit GFK-Blattfedern.

Bild 2: Finite-Element-Modell der aktiv regelbaren Blattfeder.

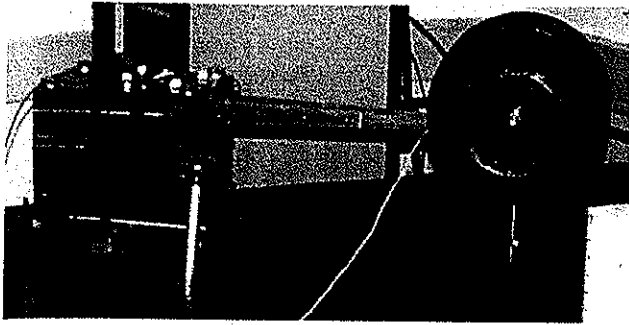


Bild 3: Versuchsaufbau mit aktiv regelbarer GFK-Blattfeder.

zoelektrischen Folienmodulen. Mit Hilfe eines eigens dafür entwickelten Versuchsaufbaus wurden statische und dynamische Untersuchungen des passiven, des aktiven und des geregelt aktiven Systems durchgeführt (Bild 3). Ein Vergleich der Messergebnisse mit den Ergebnissen der FE-Simulation zeigt eine sehr gute Übereinstimmung.

Die passive Dämpfung des Systems ist erwartungsgemäß gering. Im Gegensatz dazu lässt sich die Dämpfung durch die geregelte Ansteuerung der Aktoren um den Faktor 13 steigern, so dass eine deutliche Verbesserung des Schwingungsverhaltens erreicht

rüstung der passiven GFK-Blattfedern mit zusätzlichen piezoelektrischen Aktuatoren Ziel des Teilprojektes „Adaptive Kopplung ICE“. Die Integration der Aktuatoren in die strukturmechanisch hoch beanspruchte Faserverbundstruktur fokussierte sich auf die strukturkonforme Einbindung in den Kern der GFK-Blattfeder. Dabei muss die Sicherheit dieser Bauteile trotz Steigerung des Fahrkomforts weiterhin gewährleistet bleiben.

Aufbauend auf der Fertigungszeichnung und den Ergebnissen aus der statischen und dynamischen Prüfung einer Blattfeder in GFK-Bauweise mit passiver Dämpfung wurde ein FE-Modell des aktiv regelbaren Blattfedersystems erstellt. Mit diesem Modell konnte das System sowohl unter statischen als auch unter dynamischen Randbedingungen hinreichend gut abgebildet werden (Bild 2).

Schwingungsunterdrückung stand im Analyse-Mittelpunkt

Mit dem FE-Modell wurde sowohl eine Modalanalyse zur Ermittlung der Eigenfrequenzen und -formen als auch eine transiente Analyse zur Berechnung der Strukturantwort auf die Streckenanregung durchgeführt. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand die Schwingungsunterdrückung beziehungsweise -dämpfung im ersten Nickenmode bei etwa 9 Hz durch in die Feder integrierte piezokeramische Aktuatorik. Basierend auf den FE-Berechnungen für das aktiv geregelte Blattfedersystem erfolgte die Fertigung eines repräsentativen Blattfederdemonstrationsobjektes mit integrierten pie-

FAZIT

- Die Vorteile moderner Leichtbaukonstruktionen aus Faserverbundwerkstoffen kommen bei beschleunigten Systemen zum Tragen
- In Kombination mit strukturintegrierten Aktuatoren ergibt sich eine aktiv regelbare Schwingungsdämpfung

verbundstrukturen zukünftiger Drehgestelle ein hohes Erfolgspotenzial zur Komfortsteigerung moderner Wagenkästen.

Transferpotential für den Maschinen- und Anlagenbau

In vielen Bereichen der Automatisierungstechnik kommen zunehmend Maschinen wie Industrieroboter zum Einsatz, mit denen wiederkehrende Arbeiten mit hoher Präzision ausgeführt werden. Diese Roboter sind zum einen durch eine hohe Positioniergenauigkeit und durch eine hohe Wiederholgenauigkeit gekennzeichnet, wobei dem Leichtbau aufgrund der bewegten Massen eine zentrale Bedeutung zukommt. Außer der statischen Genauigkeit resultiert daraus die wesentliche Charakteristik der kinematischen Genauigkeit, bei der die vorgegebenen Prozessgeschwindigkeiten und -beschleunigungen von zentralem Einfluss sind. Die im Rahmen einer Produktivitätssteigerung angestrebte Verringerung der Taktzeiten führt

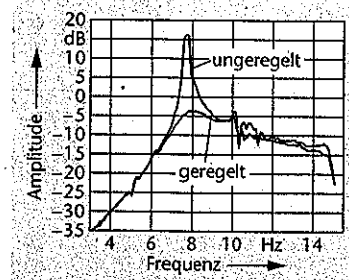


Bild 4: Im Bereich der Resonanz konnte das Geräuschniveau um 20 dB gesenkt werden.

zu einer Vergrößerung der Beschleunigungen und somit unmittelbar zu hochsteifen Strukturen mit geringer Nachschwingdauer.

Diese Randbedingungen stellen eine ideale Basis für Faserverbundstrukturen dar, mit denen hochsteife Leichtbaukonstruktionen realisiert werden können. Durch die strukturkonforme Integration von zusätzlichen aktiven Elementen lassen sich die Nachschwingzeiten des Systems reduzieren, so dass intelligente Faserverbundstrukturen ein hohes Potential für eine Produktivitätssteigerung von zum Beispiel Robotern beinhalten.

Mit den im Rahmen des Leitprojektes erstellten Berechnungsalgorithmen sind FE-gestützte Prognosen zu dem Strukturverhalten der Faserverbundstruktur mit integrierten Aktuatoren möglich, wobei in Analogie zu der vorstehend genannten Blattfeder realitätsnahe Anregungen in das FE-Modell implementiert werden können.

In Folge der rechnergestützten Auslegung von intelligenten Faserverbundstrukturen können im Vorfeld von kostenintensiven Prototypen bereits fundierte Abschätzungen der Chancen und Risiken von hochdämpfenden Maschinenkomponenten in Leichtbauweise realisiert werden.

MM

www.maschinenmarkt.de

- Eras GmbH, Göttingen
- Leitprojekt Adaptronik
- Neue Materialien Niedersachsen e.V.

Bilder: 1 Bombardier Transportation, 2 Invent, 3 Eras, 4 Leitprojekt Adaptronik