

Automatisierter Biegeresonanzprüfstand zur Bestimmung frequenz- und richtungsabhängiger dynamischer Steifigkeits- und Dämpfungskennwerte als Basis für vibroakustische Simulationen

Prof. Dr.-Ing. habil. Maik Gude¹, Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Werner A. Hufenbach¹,
Dipl.-Ing. Martin Dannemann¹, Dipl.-Ing. Stefan Friebe¹,
Dipl.-Ing. Martin Pohl², Dipl.-Ing. Jens Friedrich¹

¹ *Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK), Technische Universität Dresden, Holbeinstraße 3, 01307 Dresden, E-Mail: martin.dannemann@ilk.mw.tu-dresden.de*

² *Leichtbau-Zentrum Sachsen GmbH, Marschnerstr. 39, 01307 Dresden*

Einleitung

Die vibroakustische Auslegung großflächiger Leichtbaustrukturen erfordert die Verfügbarkeit problemspezifischer Kennwertfunktionen. Da derartige Strukturen im Betrieb vorrangig Biegeschwingungen unterworfen sind, bietet sich der Biegeresonanzversuch zur simultanen Bestimmung der relevanten Steifigkeits- und Dämpfungskennwerten an. Die Ermittlung der richtungsabhängigen Steifigkeiten und Dämpfungen etwa bei Faserverbundwerkstoffen erfordert die Untersuchung einer großen Anzahl an Probekörpern mit unterschiedlichen Faserwinkeln. Der für spätere vibroakustische Analysen notwendige Kennwertsatz wird mit Hilfe der Polartransformation in Verbindung mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate ermittelt. Die zu messende Resonanzfrequenz wird über die freie Biegelänge des Prüfkörpers eingestellt. Allerdings wurden die Kennwertsätze von Faserverbundwerkstoffen in der Vergangenheit aufgrund des damit verbundenen Messaufwandes meist nur bei einer oder nur wenigen Frequenzen bestimmt. Mit einem neu entwickelten, weitgehend automatisierten Prüfstand ist die Messung der Frequenz- und Richtungsabhängigkeit der dynamischen Materialkennwerte von Faserverbundwerkstoffen im Biegeresonanzverfahren mit signifikant verringertem manuellem Aufwand möglich.

Prüfstandskonzept und -aufbau

Das Biegeresonanzverfahren basiert auf der Kennwertbestimmung im Bereich der Resonanzfrequenzen, die etwa über die Einstellung der freien Biegelänge variiert werden können [1]. Um eine einfache Verstellung dieser freien Biegelänge zu ermöglichen, wurde ein Prüfstandskonzept für einseitig eingespannte Prüfkörper mit vertikal beweglichem Verfahrtschiff entwickelt. Durch eine schrittweise Änderung der freien Biegelänge lassen sich Kennwertfunktionen des dynamischen Elastizitätsmoduls und der Dämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz ermitteln. Für die Berücksichtigung der Richtungsabhängigkeit der Kennwerte von Faserverbunden werden Prüfkörper mit verschiedenen Faserwinkeln benötigt.

Die Schwingungsmessung an Leichtbauwerkstoffen erfordert eine möglichst rückwirkungsfreie Sensorik. Hierfür eignen sich insbesondere berührungslose Messverfahren wie etwa Lasermesstechnik (z.B. Lasertriangulation, Laser-vibrometrie) oder induktive Sensoren wobei letztere einen ferromagnetischen Prüfkörper voraussetzen [2]. Für nicht-

magnetische Werkstoffe ist daher das Applizieren von Weicheisenplättchen notwendig, was insbesondere bei Prüfkörpern mit sehr geringer Masse zu einer Verfälschung der Messwerte führt. Daher wurde für den Biegeresonanzprüfstand eine Lasermesstechnik auf der Basis von Triangulation bzw. Vibrometrie zur Schwingungsmessung ausgewählt. In Abb. 1 ist der entwickelte Biegeresonanzprüfstand dargestellt.

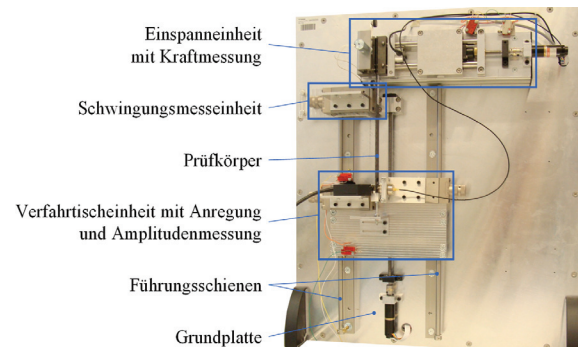


Abbildung 1: Automatisierter Biegeresonanzprüfstand

Der Biegeresonanzprüfstand besteht aus drei Einheiten, die auf einer vertikal stehenden Grundplatte montiert sind. Am oberen Rand der Grundplatte befindet sich die Einspannvorrichtung zum definierten Einspannen des Prüfkörpers mit integrierter Klemmkraftmessung. Unterhalb der Einspannung ist die Schwingungsmesseinheit mit Präzisions-Schlittenführung und Messlaser montiert. Die Verfahrtschiff einheiten beinhaltet die Schwingungsanregung, die Prüfkörperpositioniervorrichtung sowie die Amplitudenmessung am freien Ende der Probe. Aufgrund der hohen Sensitivität der verwendeten Sensoren, insbesondere der Messlaser, wurde der Biegeresonanzprüfstand schwingungs isoliert aufgestellt. Durch den modularen Prüfstandsaufbau ist auch die Verwendung anderer Aktoren möglich. Die Ansteuerung der Prüfstandhardware erfolgt über das Programmsystem Lab-View und umfasst die Regelung der Einspannung und des Verfahrtschiffes über Schrittmotoren. Mit Hilfe der Software Matlab werden die Messdaten verarbeitet und dargestellt.

Versuchsergebnisse

In umfangreichen Messungen wurde sowohl die Frequenz- als auch die Richtungsabhängigkeit der dynamischen Materialkennwerte für verschiedene Faserverbundmaterialien ermittelt. Exemplarisch ist in Abb. 2 die Richtungsabhän-

gigkeit der dynamischen Materialkennwerte eines unidirektional verstärkten Glasfaser/Polypropylen-Verbundes dargestellt.

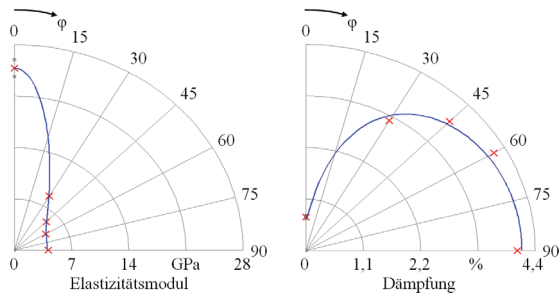


Abbildung 2: Richtungsabhängiger dynamischer Elastizitätsmodul und zugehörige Dämpfung

Der dynamische Elastizitätsmodul weist eine unidirektionale Charakteristik mit einem Maximum bei 0°-Faserorientierung auf. Bereits leichte Abweichungen von diesem Winkel führen zu einem hohen Steifigkeitsverlust. Der Verlauf der Werkstoffdämpfung zeigt ein zum Elastizitätsmodul gegenläufiges Verhalten. Hier führen Faserwinkel zwischen 45° und 90° zu den höchsten Dämpfungswerten [3].

Abb. 3 zeigt die Frequenzabhängigkeit der Kennwerte für einen kohlenstofffaserverstärkten Epoxydharzverbund in Faserrichtung.

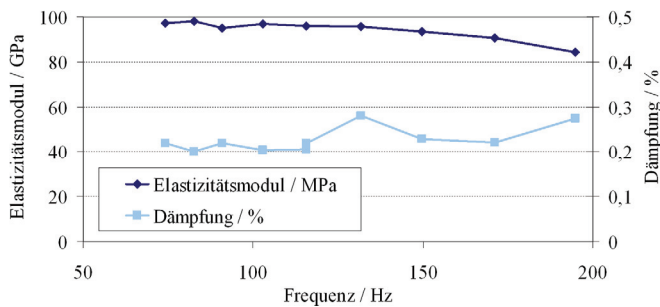


Abbildung 3: Frequenzabhängigkeit des dynamischen Elastizitätsmoduls und der Dämpfung

Im untersuchten Frequenzbereich von 60 bis 200 Hz konnte ein leichter Abfall des Elastizitätsmoduls bei gleichzeitig höheren Dämpfungswerten festgestellt werden. Insgesamt sind die ermittelten Schwankungen bei diesem Verbundwerkstoff jedoch gering. Weitere Versuche mit Materialien, die eine höhere Frequenzabhängigkeit aufweisen sind in Vorbereitung.

Vibroakustische Simulation

Auf Basis der für den kohlenstofffaserverstärkten Epoxydharzverbund ermittelten Kennwertsätze wurde der Einfluss der Frequenz- und Richtungsabhängigkeit dynamischer Materialkennwerte auf die vibroakustischen Eigenschaften am Beispiel einer einfach gekrümmten, allseitig gelenkig gelagerten Schalenstruktur berechnet. Hierzu wurde ein Modell erstellt, das die Frequenzabhängigkeit über eine iterative Prozedur berücksichtigt. Die derart berechneten Eigenfrequenzen der ersten drei Eigenformen sind in Abb. 4 den Werten ohne Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit gegenübergestellt.

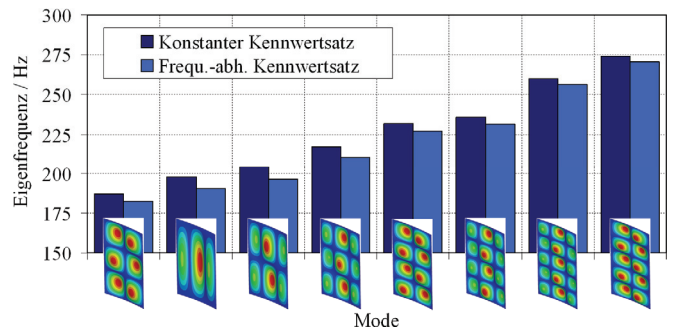


Abbildung 4: Eigenfrequenzen der Faserverbundschale mit und ohne Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit der Materialkennwerte

Die Vernachlässigung der Frequenzabhängigkeit der dynamischen Elastizitäts- und Schubmoduln führt im vorliegenden Fall zu geringfügig erhöhten Eigenfrequenzen.

Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf umfangreichen Voruntersuchungen wurde ein Prüfstand konzipiert, konstruiert und aufgebaut, der die messtechnische Ermittlung richtungs- und frequenzabhängiger dynamischer Biegeelastizitäts- und Dämpfungskennwerte von verschiedenen Werkstoffen erlaubt. Zur Kalibrierung des Prüfstandes wurden die richtungs- und frequenzabhängigen Kennwertfunktionen für ausgewählte Faser-Kunststoff-Verbunde gemessen. Mit dem in diesem Projekt entwickelten, weitgehend automatisierten Prüfstand konnte die Ermittlung der Frequenz- und Richtungsabhängigkeit dynamischer Materialkennwerte von Faserverbundwerkstoffen im Biegeresonanzverfahren mit signifikant verringertem Aufwand realisiert werden. Bei Materialien, die eine starke Frequenz- und Richtungsabhängigkeit aufweisen, müssen diese in der Auslegung berücksichtigt werden, um realitätsnahe Berechnungsergebnisse zu erhalten.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Friedrich-und-Elisabeth-Boysen-Stiftung für die finanzielle Unterstützung bei Entwicklung und Aufbau des Prüfstandes. Weiterer Dank gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung bei der Entwicklung und Herstellung der Materialien und Prüfkörper im Rahmen des SFB 639.

Literatur

- [1] Norm DIN EN ISO 6721-3: Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften - Teil 3: Biegeschwingung; Resonanzkurven-Verfahren. 1996.
- [1] Gevatter, H.-J.: *Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik*. Springer-Verlag; Berlin Heidelberg, New York; 1999.
- [2] Hufenbach, W.; Täger, O.; Meschke, J.; Dannemann, M.: *Vibroakustische Auslegung und Tests dynamisch belasteter textilverstärkter Verbundmulden mit hoher Verbunddämpfung*. VDI-Berichte Nr. 2003, Schwingungsdämpfung 2007, Tagung, Wiesloch, 16.-17.10.2007, VDI-Verlag, Düsseldorf 2007.