

Akustische Funktionsintegration für Leichtbaustrukturen

Michael Gieß¹

¹ Fachhochschule Südwestfalen, 58644 Iserlohn, E-Mail: giess.michael@fh-swf.de

Einleitung

Aufgrund von immer leiser werdenden Antrieben z. B. von Elektrofahrzeugen werden Störgeräusche wie Klappern, Knarzen oder Quietschen im Fahrzeuginnenraum erhöht wahrgenommen. Leichtbaustrukturen vergrößern durch ihr temperaturabhängiges Resonanzverhalten und aufgrund der geringeren Materialdichte zunehmend diese Problematik. Im Fahrzeuginnenraum werden überwiegend Materialien aus faserverstärkten, gefüllten oder geschäumten Thermoplasten eingesetzt. Diese Thermoplaste zeigen nach dem Spritzgießen in ihrer Mikrostruktur neben ihrem viskoelastischen Materialverhalten ein ausgeprägtes anisotropes Verhalten. Bei der herkömmlichen Auslegung derartiger Leichtbauteile stehen zunächst die Funktion, die Steifigkeit und die Festigkeit, ferner die fertigungs- bzw. kunststoffgerechte Gestaltung im Vordergrund. Das akustische Verhalten wird häufig erst dann betrachtet, wenn Probleme am produzierten Teil auftreten. Es fehlt ein ganzheitlicher Ansatz für die Produktentwicklung, in dem die Funktion der Akustik und auch die Einflüsse der späteren Fertigungsprozesse auf die Akustik konstruktionsmethodisch berücksichtigt werden. Zielsetzung dieser Forschungsarbeit ist es, eine Methode für die akustische Formteilauslegung von anisotropen Kunststoffbauteilen zu entwickeln.

Akustische Formteilauslegung

Basierend auf der maschinenakustischen Grundgleichung [1] kann auch die akustische Formteilauslegung systematisiert werden. Beispielsweise wird ein Bauteil aus dem Innenraum eines Fahrzeuges durch Kräfte angeregt, es überträgt mit seiner Bauteilstruktur den Körperschall und strahlt somit die Schwingungen als Luftschall wieder ab. Der Konstrukteur kann in diesem Fall die akustische Verkettung gezielt beeinflussen. Durch Auswahl von geeigneten Thermoplasten kann der Schall sowohl in seinem Schalldruckpegel als auch in seinem Frequenzspektrum mit Hilfe von einer CAE-Simulationsoftware iterativ gestaltet und optimiert werden [2]. Hierzu muss sowohl die Kunststoffmatrix als auch die Mikrostrukturierung durch Zusatzstoffe wie Fasern oder Füllstoffe bzw. durch das Schäumen von Thermoplasten sowie die späteren Prozessparameter des Spritzgießens berücksichtigt werden.

Vorgehensweise

Zur Generierung von Konstruktionsregeln für die akustische Formteilauslegung werden von ausgewählten Thermoplasten Materialkennwerte ermittelt und in Materialkarten für die FEM-Simulation aufbereitet und kalibriert. Es werden akustische Versuche durchgeführt und diese experimentellen Ergebnisse mit den Berechnungen aus der Simulation verglichen und validiert. Für die experimentellen Versuche stehen je nach Schallerzeugung, Schallübertragung und

Schallabstrahlung unterschiedliche akustische Prüfeinrichtungen wie z. B. Tribometer, Impulshammer, Modalshaker und Impedanzrohr bzw. Alphakabine zur Verfügung. Mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung (DoE) werden Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen d. h. Steuerfaktoren (Materialparameter) sowie Störfaktoren (z. B. Temperatur- und Feuchteabhängigkeit) und Zielgrößen erkannt und optimiert [3]. Hierzu sind allerdings auch Kenntnisse über die in der FEM-Simulation verwendeten Materialmodelle wichtig.

Viskoelastizität

Im Rahmen einer Akustiksimulation mit FEM für die Dämpfung des Körperschalls wird überwiegend ein linear-viskoelastisches Materialmodell verwendet. Dieses Materialmodell kombiniert das linear-elastische Materialverhalten (Hook) und das linear-viskose Materialverhalten (Newton). Hierzu wird das aus der Rheologie bekannte Maxwell-Element verwendet, bei dem ein Feder- und ein Dämpfer-Element in einer Reihenschaltung vorliegt. In einem erweiterten Maxwell-Modell durch Parallelschaltung mehrerer Maxwell-Elemente wird mittels sogenannter Prony-Dirichlet-Reihen das viskoelastische Verhalten approximiert.

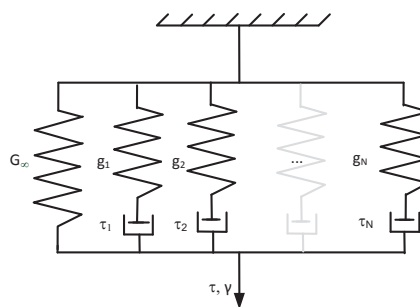


Abbildung 1: Linear-viskoelastisches Materialverhalten durch Parallelschaltung von Maxwell-Elementen.

Diese Prony-Reihen sind die Summe mehrerer e-Funktionen und werden durch die Prony-Koeffizienten g_i bestimmt [4].

$$g_R(t) = \frac{G_R(t)}{G_0} = 1 - \sum_{i=1}^N g_i \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}}\right) \quad (1)$$

Zur Berechnung der Prony-Dirichlet-Reihen wird eine Anzahl N der zu ermittelnden Prony-Koeffizienten (1 bis 13) festgelegt und mit Schätzwerten für G_0 , g_i und τ_i der Speichermodul $G'(\omega)$ und der Verlustmodul $G''(\omega)$ auf Basis der Materialwerte einer durchgeführten dynamisch-mechanischen Analyse (DMA) berechnet und approximiert.

Mit der DMA werden hierzu experimentell der Speichermodul $E'(\omega)$, der Verlustmodul $E''(\omega)$ des komplexen Elastizitätsmoduls $E^*(\omega)$ und der Verlustfaktor $\tan \delta(\omega)$ temperatur- und frequenzabhängig bestimmt. Die DMA generiert allerdings nur Werte in einem unteren Frequenzbereich bis ca. 100 Hz, höhere Frequenzen werden mit Hilfe des Zeit/Temperatur-Verschiebungsprinzip (ZTV-Prinzip) extrapoliert [5]. Der aus der DMA ermittelte Speichermodul $E'(\omega)$ bzw. der Verlustmodul $E''(\omega)$ des komplexen Elastizitätsmoduls wird für die CAE-Software in den frequenzabhängigen Speichermodul $G'(\omega)$ bzw. den Verlustmodul $G''(\omega)$ des komplexen Schubmoduls umgerechnet.

$$\tan \delta(\omega) = \frac{E''(\omega)}{E'(\omega)} = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} = \frac{J''(\omega)}{J'(\omega)} \quad (2)$$

Je größer der Verlustfaktor $\tan \delta$ des Materials bei gleichbleibender Temperatur und Frequenz ist, desto besser ist die Dämpfung des Materials. Je größer der Verlustmodul $E''(\omega)$, $G''(\omega)$ oder $J''(\omega)$ des Materials ist, desto mehr wird die Schwingungsenergie irreversibel umgewandelt. Werte für einige bisher im Forschungsprojekt ermittelten Thermoplasten zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Materialeigenschaften von untersuchten Thermoplasten

Material	Materialeigenschaften		
	Dichte [g/cm ³]	E-Modul [MPa]	$\tan \delta$ (bei 23°/10 Hz)
PA6GF30	1,36	10000	0,017
ABS	1,08	2300	0,026
PP	0,9	1100	0,073
PP TSG	0,8	1100	0,076

Anisotropie

Bisherige Versuche haben gezeigt, dass Kunststoffe mit einer ausgeprägten Anisotropie anders zu betrachten sind als isotrope Materialien. Im Gegensatz zur Isotropie zeigt eine Anisotropie eine Richtungsabhängigkeit der physikalischen Eigenschaften eines Materials, die vor allem aufgrund von Faserorientierungen oder Schaumstrukturen beim Spritzgießen von Thermoplasten entstehen [6]. Um die Anisotropie in der Simulation zu berücksichtigen sind rheologische Prozesssimulationen durchzuführen, die eine Faserorientierung oder Schaumstruktur berücksichtigen. Diese Mikrostruktur muss auf das Formteil übertragen werden, damit eine realitätsnahe Körperschallsimulation durchgeführt werden kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung einer Methode für die akustische Formteilauslegung mit anisotropen Thermoplasten erfordert umfangreiche Untersuchungen über die verwendeten Materialmodelle. Die Prozesseinflüsse der Fertigung sind mit Hilfe von Simulation und der statistischen Versuchsplanung zu berücksichtigen. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeit liegt in der Materialentwicklung von Thermoplasten für das Spritzgießen, die für Produkte des automobilen Leichtbaus

eingesetzt werden können. Hierzu werden geeignete Naturfasern (z. B. Holz, Sonnenblumenkernschalen, Hanf, Kokos, Sisal, ...), neuartige Füll- oder Funktionsstoffe (z. B. Xerogele oder Glashohlkugeln) sowie geschäumte Strukturen (z. B. im MuCell- oder Cellmould-Spritzgussverfahren) und die Kombination der genannten Verfahren und Werkstoffe untereinander untersucht. Eine Übertragbarkeit auf Produkte aus anderen Industriebereichen wie z. B. der Luftfahrttechnik ist denkbar.

Das Forschungsprojekt „Akustik-OPT - Gezielte Materialentwicklung durch Einsatz der Anisotropie und Viskoelastizität von Kunststoffen zur Optimierung des akustischen Verhaltens von Leichtbauteilen“ wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Mit einer Laufzeit von 3 Jahren wird dieses Projekt bis 2019 bearbeitet. Die Projektpartner sind neben der Fachhochschule Südwestfalen in Iserlohn das Kunststoff-Institut Lüdenscheid und Unternehmen der Automobilzulieferindustrie in Nordrhein-Westfalen.

Literatur

- [1] Kollmann, F.G., T.F. Schösser und R. Angert: Praktische Maschinenakustik. Springer VDI, Berlin, 2006
- [2] Lichius, U. und M. Gieß: Der Computer hört mit. Akustische Auslegung von thermoplastischen Formteilen mittels FEM und FFT simulieren. Kunststoffe (04/2016), S. 101-104
- [3] Kleppmann, W.: Versuchsplanung. Produkte und Prozesse optimieren. Carl Hanser, München, 2013
- [4] Stommel, M., W. Korte und M. Stojek: FEM zur Berechnung von Kunststoff- und Elastomerbauteilen. Carl Hanser, München, 2011
- [5] Schmachtenberg, E., T. Krumpholz, A. Franck und M. Vorländer: Akustik von Kunststoffbauteilen. Kunststoffe (09/2004), S. 230-235
- [6] Advani, S. G.: Flow and rheology in polymer composites manufacturing. Elsevier, Amsterdam, New York, 1994