Körperschall-Reduktion in periodischen Mikrostruktur-Kompositen

Wolfgang Weith[1], Björn A.T. Petersson[2]

[1] *Institut für Technische Akustik, 10587 Berlin, Deutschland, Email: wolfgang.weith@tu-berlin.de*
[2] *Institut für Technische Akustik, 10587 Berlin, Deutschland, Email: b.a.t.petersson@tu-berlin.de*

Einleitung

Periodische Strukturen weisen Frequenzbereiche auf, in denen die Wellenausbreitung ungedämpft erfolgt (Durchlassbereiche). Daneben gibt es sogenannte Sperrbereiche, in denen die Ausbreitung Nahfeldcharakter hat, d.h. exponentiell abnimmt. Hierzu sind bereits zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden.

In dieser Arbeit werden die vibro-akustischen Eigenschaften eines Materials untersucht, in welches mehrere resonante Systeme eingebettet sind, die periodisch verteilt sind

Bei einer Verteilung dieser Systeme innerhalb der neutralen Faser überlagern sich, je nach Dimensionierung, Resonanzeffekte mit den auftretenden Sperr- und Durchlassbändern der periodischen Verteilung.

Somit ist in noch genauer zu bestimmenden Grenzen die Möglichkeit gegeben, mit zwei voneinander unabhängigen Effekten die Wellenausbreitung in einem Material zu reduzieren bzw. zu beeinflussen.

Berechnungen

Schnelle und Winkelschnelle können nach der Biegewellen-theorie von Euler-Bernoulli beschrieben werden.

$$v(x) = \frac{\omega}{4Bk^3}\left[F_o G_F(x,x_{00}) - \sum_{v=1}^{N} F_v G_F(x,x_v) + \sum_{v=1}^{N} kM_v G_{M_v}(x,x_v)\right] \quad (1)$$

$$w(x) = \frac{-\omega}{4Bk^2}\left[F_o G_{M_v}(x,x_{00}) - \sum_{v=1}^{n} F_v G_F(x,x_v) - \sum_{v=1}^{N} kM_v G_M(x,x_v)\right] \quad (2)$$

Die Einflüsse der Diskontinuitäten sind dabei nach der Ersatzquellenmethode von Heckl [1] durch Kräfte und Momente substituiert worden. G_F, G_M and G_{Mv} sind die Greenschen Funktionen.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Transfer-Mobilitäten eines mit Biegewellen angeregten Balkens dargestellt (blau: roher Balken, rot: mit Diskontinuitäten). Die Frequenzgrenze, bei der der Fehler der einfachen Biegewellentheorie ansteigt, ist mit „λ_B-limit“ gekennzeichnet.

In Abbildung 1 ist das erste Sperrband der Transfer-Mobilität eines Balken mit 10 implementierten Massen zu sehen. Werden diese Massen vollständig in weiches Gummi gebettet, verschwindet das Sperrband und die Dämmwirkung in den Resonanzen der Masse-Feder-Systeme dominiert (Abbildung 2).

Mit der Veränderung der Federsteife von Diskontinuität zu Diskontinuität ist es möglich, eine breitere Dämmwirkung zu erzielen. In Abbildung 3 ist dies an den dünner werdenden Gummi-Ummantelungen zu sehen (türkisfarbene Ellipse). Die approximierte rote Gerade weist auf eine mit der Frequenz steigende Dämmung hin.

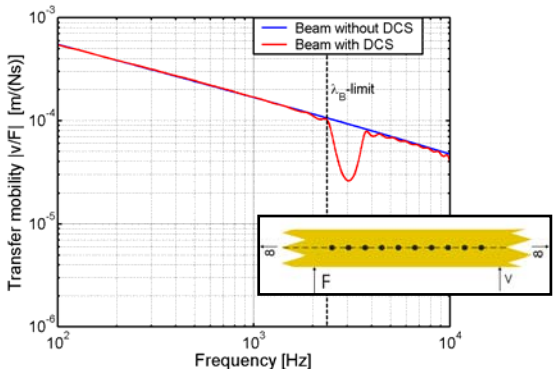

Abbildung 1: Balken mit 10 gleichmäßig verteilten Massen

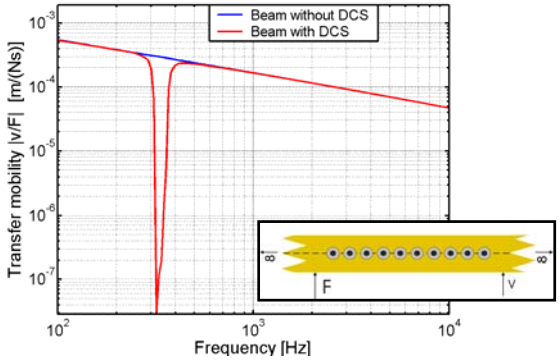

Abbildung 2: Balken mit 10 gleichmäßig verteilten gummi-ummantelten Massen ($s=5{\cdot}10^5$ N/m)

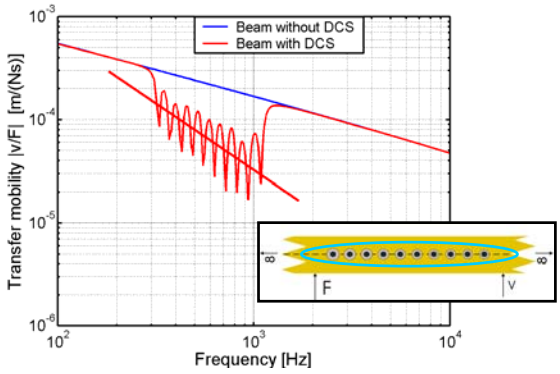

Abbildung 3: Balken mit 10 gleichmäßig verteilten gummi-ummantelten Massen, deren Federsteife sich logarithmisch ändert ($5{\cdot}10^5 \le s \le 5{\cdot}10^6$ N/m)

Eine Erhöhung der einzelnen Federsteifen um den Faktor 15 verschiebt das dämmende Frequenzband in den Bereich der ersten auftretenden Sperr- und Durchlassbänder (Abbildung 4). Der hier auftretende Einbruch der Dämmung ist auf das vorhandene Durchlassband zurückzuführen. Die sich

ausbreitende Biegewelle erfährt in diesem Bereich einen verringerten Einfluss durch die Diskontinuitäten.

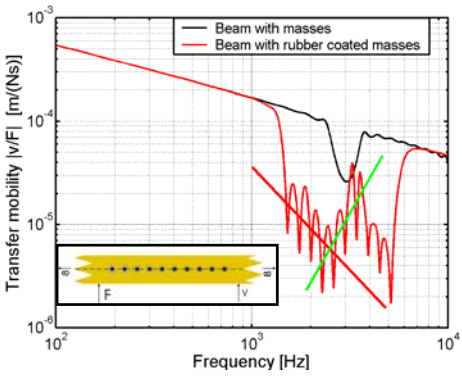

Abbildung 4: Balken mit 10 gleichmäßig verteilten gummi-ummantelten Massen, deren Federsteife sich logarithmisch ändert ($1{\cdot}10^7 \leq s \leq 1{\cdot}10^8$ N/m)

Die Berechnungen ergeben folgendes Bild:

- Sperr- und Durchlassbänder verschwinden, wenn die periodisch verteilten Massen in Gummi gebettet werden. Es entsteht eine hohe Dämmwirkung in den Resonanzen der Masse-Feder-Systeme.
- Durch geeignete Wahl der Federsteifen können unterschiedliche Frequenzbereiche gedämmt werden.
- Die Dämmung verringert sich, wenn die Resonanzen auf ein Durchlass-Band treffen.

Messungen

Für die Messungen kommen verschieden bestückte Holzbalken zur Anwendung. Um geeignete Vergleiche der Balken untereinander als auch zu den Berechnungsergebnissen erzielen zu können, werden die Transfer-Mobilitäts-Verhältnisse der Balken mit Diskontinuitäten zu denen ohne Diskontinuitäten (Löcher) dargestellt.

Abbildung 5: In einen 5m langen Balken sind innerhalb der neutralen Faser 10 mit Silikon ummantelte Zylinderstifte eingelassen (türkisfarbenes Rechteck). Der Balken ist an beiden Enden zur Verminderung von Reflexionen in Sand gelagert.

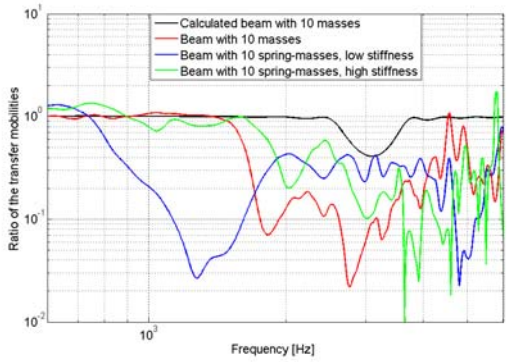

Abbildung 6: Vergleich der gemessenen Verhältnisse der Transfer-Mobilitäten unterschiedlich bestückter Balken

Die besprochenen Effekte zeigen sich in den bislang erfolgten Messungen in unterschiedlichen Ansätzen. Im Vergleich der schwarzen und roten Kurve wird deutlich (Abbildung 6), dass die hier verwendeten Balken einer höheren Streuung unterliegen, da nicht von einer homogenen, isotropen Materialstruktur ausgegangen werden kann. Der Effekt des auftretenden Sperr-Bandes ist jedoch deutlich zu erkennen.

Mit der Einbettung der Zylindermassen in weiches Silikon zeigt die blaue Kurve eine ausgeprägte Dämmung in den Resonanzen, während im Bereich des ersten Sperr-Bandes ein geringerer Einfluss vorliegt. Mit erhöhter Federsteife resultiert die grüne Kurve, die im Bereich des ersten Sperr- und Durchlass-Bandes einen ungleichmäßigen Verlauf der Dämmung aufweist.

Ergebnisse

- Stop- und Durchlassbänder erscheinen auch dann, wenn die Massen im Material eingebettet sind.
- Eine Einbettung dieser Massen in eine federnde Umgebung resultiert in einer Dämmwirkung in den Resonanzen.

Detaillierte und weitergehende Untersuchungen, die u.a. die Einflüsse von Moment-Reaktionen und Aperiodizitäten integrieren, können in [5] nach gelesen werden.

Literatur

[1] L. Cremer and M. Heckl, Körperschall. 2nd Edition, Springer, Heidelberg, New York, 1995

[2] J. D. Mead, Passive vibration control. Wiley, Chichester, Weinheim, New York, Brisbane, Singapore, Toronto, 1988

[3] K. Alsaif and M.A. Foda, Vibration supression of a beam structure by intermediate masses and springs. J. Sound and Vibr., **256**(4), 629-645 2002

[4] M. Strasberg and D. Veit, Vibration of large structures induced by attached small resonant structures. J. Acoust. Soc. Am., **99**(1), 335-344, 1996

[5] W. Weith und B.A.T. Petersson, Wave propagation in periodic microstructure-composites. Proceed. 11th International Congress of Sound & Vibration, 3637-3644, 2004