

Reduktion des Übersprechens in Phased-Array-Wandlern durch akustisches Metamaterial als Trägerstruktur

Johannes Henneberg^a, André Gerlach^b, Holger Cebulla^c, Steffen Marburg^d

^a Robert Bosch GmbH Email: johannes.henneberg@de.bosch.com

^b Robert Bosch GmbH, Forschung, Akustik

^c Technische Universität Chemnitz, Professur Textile Technologien

^d TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Einleitung

Phased-Array-Wandler finden häufig Verwendung in bildgebenden, akustischen Verfahren. Diese werden zum Beispiel in medizinischen Anwendungen, in der zerstörungsfreien Materialprüfung und in der 3D Umfeltersensierung eingesetzt. Die Arbeitsfrequenz der Schallwandler variiert in Abhängigkeit des Einsatzgebiets von einigen kHz in der Umfeltersensierung [1, 2] bis hin zu einigen MHz in der Materialprüfung [3] und in medizinischen Anwendungen [4]. Eine charakteristische Eigenschaft von Phased-Array-Wandlern ist das Übersprechen zwischen einzelnen Wandlerelementen. Es beschreibt die Eigenschaft, dass einzelne Wandlerelemente nicht unabhängig voneinander arbeiten. Dies führt zu einer Veränderung der Richtcharakteristik und letztlich zu einer Verringerung der Abbildungsaufösung [5, 6, 7]. Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung von periodischen Strukturen mit Stop-Band-Verhalten zur Reduktion des Übersprechens in Phased-Array-Wandlern. Diese Strukturen, auch bekannt als akustische Metamaterialien, werden als gemeinsame Trägerstruktur eingesetzt. Die Untersuchungen werden an einem generischen Modell durchgeführt, dessen Arbeitsfrequenz im niedrigen kHz-Bereich liegt. Die Arbeit ist in vier wesentliche Teil gegliedert. Zunächst wird der Grundaufbau der untersuchten Modelle erläutert. Anschließend wird das Stop-Band-Verhalten der verwendeten, periodischen Struktur untersucht. Die Untersuchungsergebnisse und eine Zusammenfassung bilden den Abschluss der Arbeit.

Phased-Array-Wandler

Die Untersuchung des Übersprechens wird in einem generischen Modell durchgeführt. Dies besteht aus einer gemeinsamen Trägerstruktur und zwei Biegeelementen. Die Biegeelemente bilden einzelne Schallwandler des Phased-Array-Wandlers. Der Aufbau entspricht dem eines elektrostatischen Schallwandlers, cf. [8]. Dafür werden die Biegeelemente auf die gemeinsame Trägerstruktur aufgebracht. Auf der Unterseite der Trägerstruktur werden baugleiche Balkenelemente in einem 5×5 Gitter angeordnet. Durch die periodische Anordnung angepasster Resonatoren wird ein Stop-Band-Verhalten in der Trägerstruktur erzielt [9]. Der Frequenzbereich des Stop-Bands kann mittels Längenänderung der Biegebalken angepasst werden.

Stop-Band-Verhalten der Trägerstruktur

Das Stop-Band-Verhalten periodischer Strukturen kann in einer Einheitszelle berechnet werden. Durch die Anwendung des Bloch-Floquet-Theorems werden Randbedingungen definiert, die die Struktur als infinit betrachten [9]. Abb. 1 zeigt die Einheitszelle der Trägerstruktur, die zur Berechnung des Stop-Band-Verhaltens untersucht wird. Die Struktur wird als infinit, periodisch in X- und Y-Richtung betrachtet. Die Berechnung der Dispersionskurven erfolgt entlang der nicht reduzierbaren Brillouin-Zone ΓXM [9]. Die Darstellungen der Ergebnisse erfolgt üblicherweise in Dispersionskurven. Zunächst wird das Verhalten einer Einheitszelle der Trägerstruktur ohne Resonator untersucht, vgl. Abb. 1 (a). In dieser können sich drei Wellentypen im gesamten untersuchten Frequenzbereich ausbreiten, Longitudinal-, Scher- und Biege- wellen, vgl. Abb. 2. Die Arbeitsfrequenz des Phased-Array-Wandlers ist als horizontale Gerade eingezeichnet.

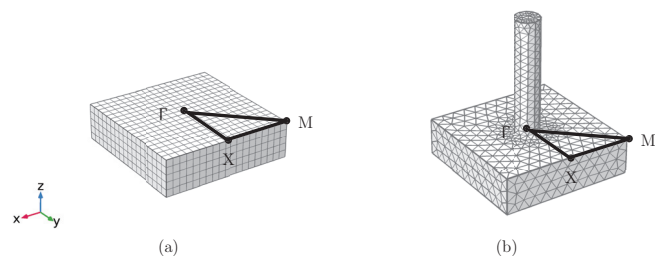


Abbildung 1: (a) Einheitszelle der Trägerstruktur ohne Resonator. (b) Einheitszelle der Trägerstruktur mit Resonator. [10]

Im Gegensatz dazu ist die freie Wellenausbreitung in einer Einheitszelle mit einem Resonator der Länge 9.38 mm bei der Arbeitsfrequenz des Phased-Array-Wandlers stark eingeschränkt. In diesem Fall ist eine freie Wellenausbreitung nur für Longitudinalwellen möglich. Die Ausbreitung von Scher- und Biege- wellen in der Trägerstruktur wird durch die Applikation periodischer Resonatoren unterdrückt.

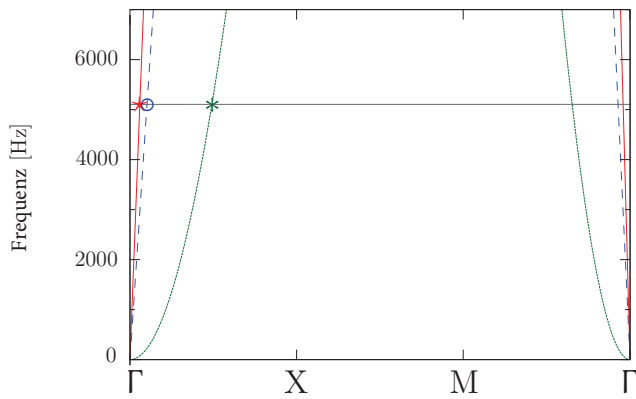


Abbildung 2: Dispersionkurven der Einheitszelle ohne Resonator, vgl. Abb. 1 (a) [10, Achsenbeschriftung übersetzt]

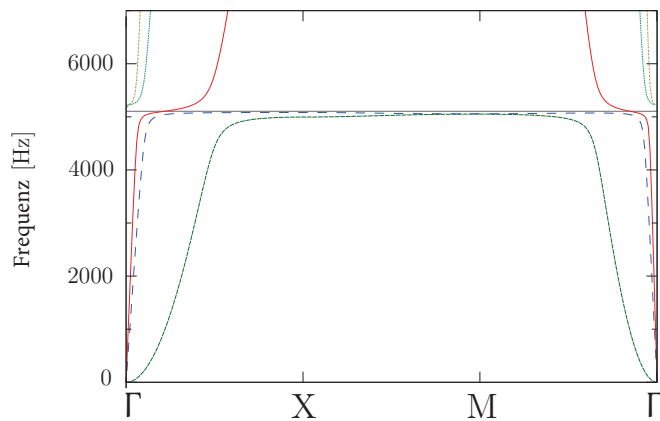


Abbildung 3: Dispersionkurven der Einheitszelle mit Resonator der Länge 9.38 mm, vgl. Abb. 1 (b) [10, Achsenbeschriftung übersetzt].

Ergebnisse

Der Einfluss des akustischen Metamaterials auf das Übersprechen wird im zuvor erläuterten, generischen Modell untersucht. Dafür wird die Länge der Resonatoren variiert, wodurch sich die Frequenz des Stop-Bands ändert. Die Abb. 4 zeigt die Ergebnisse der Untersuchung des Übersprechens in Abhängigkeit der Resonatorlänge. Dabei ist zu erkennen, dass die Resonatoren im Längenbereich 0-8 mm und 11-12 mm einen vernachlässigbaren Einfluss auf das Übersprechen des generischen Modells haben. Im Bereich 8-11 mm ist ein ausgeprägter Einfluss der Resonatoren zu erkennen. Insbesondere bei 9.38 mm wird eine deutliche Reduktion des Übersprechens erreicht. Bei dieser Resonatorlänge stimmen die Frequenz des Stop-Bands in der Trägerstruktur und die Arbeitsfrequenz der Biegeelemente überein, vgl. Abb. 3. Das Verhalten kann sowohl in

Simulationen mittels finiter Elemente als auch in experimentellen Untersuchungen beobachtet werden.

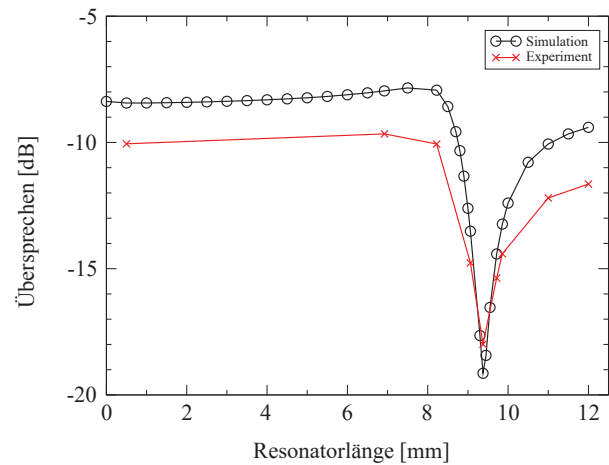


Abbildung 4: Übersprechen zwischen Biegeelementen in Abhängigkeit der Resonatorlänge [10, Achsenbeschriftung, Legende übersetzt].

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht den Einsatz eines akustischen Metamaterials als Trägerstruktur in einem Phased-Array-Wandler. Ziel ist die Reduktion des Übersprechens zwischen einzelnen Wandler-elementen des Phased-Array-Wandlers. Dazu wird ein generisches Modell mit zwei Wandler-elementen auf einer gemeinsamen Trägerstruktur untersucht. Auf der Unterseite der Trägerstruktur werden periodisch Biegebalken angeordnet. Durch diese Biegebalken wird ein akustisches Metamaterial nach dem Prinzip der abgestimmten Resonatoren realisiert. Durch Änderung der Resonatorlänge wird die Frequenz des Stop-Bands angepasst. Es wird gezeigt, dass eine deutliche Reduktion des Übersprechens im untersuchten Modell erzielt werden kann, wenn die Frequenz des Stop-Bands mit der Arbeitsfrequenz der Wandler-elemente übereinstimmt. In experimentellen Untersuchungen wird das Modell validiert. Der Einsatz von akustischem Metamaterial stellt eine geeignete Möglichkeit dar, das mechanische Übersprechen, verursacht durch eine gemeinsame Trägerstruktur, in Phased-Array-Wandlern zu reduzieren.

Literatur

- [1] S. Harput, A. Bozkurt und F. Y. Yamaner. Ultrasonic phased array device for real-time acoustic imaging in air. In *2008 IEEE Ultrasonics Symposium*, S. 619–622, 2008.
- [2] S. Harput und A. Bozkurt. Ultrasonic phased array device for acoustic imaging in air. *IEEE Sensors Journal*, 8(11):1755–1762, 2008.
- [3] G. S. Kino. Acoustic imaging for nondestructive evaluation. *Proceedings of the IEEE*, 67(4):510–525, 1979.

- [4] D. Ekeom, A. H. Henni und G. Cloutier. Design of a phased-array for radiation force generation following a closed path. In *2010 IEEE International Ultrasonics Symposium*, S. 662–665, 2010.
- [5] R. L. Baer und G. S. Kino. Theory for cross coupling in ultrasonic transducer arrays. *Applied Physics Letters*, 44(10):954, 1984.
- [6] J. D. Larson. Non-ideal radiators in phased array transducers. In *1981 Ultrasonics Symposium*, S. 673–684, 1981.
- [7] J.F. Dias. An experimental investigation of the cross-coupling between elements of an acoustic imaging array transducer. *Ultrasonic Imaging*, 4(1):44–55, 1982.
- [8] R. Lerch, G.M. Sessler und D. Wolf. *Technische Akustik: Grundlagen und Anwendungen*. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [9] Claus C. Claeys, Karel Vergote, Paul Sas und Wim Desmet. On the potential of tuned resonators to obtain low-frequency vibrational stop bands in periodic panels. *Journal of Sound and Vibration*, 323:1418–1436, 2013.
- [10] J. Henneberg, A. Gerlach, H. Storck, H. Cebulla und S. Marburg. Reducing mechanical cross-coupling in phased array transducers using stop band material as backing. *Journal of Sound and Vibration*, 424:352 – 364, 2018.