

Punktimpedanzen strukturierter Doppelbleche

Anna-Sophia Henke¹, Ennes Sarradj²

¹ BTU Cottbus-Senftenberg, Technische Akustik, henkeann@b-tu.de

² BTU Cottbus-Senftenberg, Technische Akustik, sarradj@b-tu.de

Einleitung

Zur Gewichthsoptimierung sind regelmäßig strukturierte Bleche und Konstruktionen daraus im Leicht- und Fahrzeugbau von immer größer werdendem Interesse. Gründe hierfür finden sich in ihrer erhöhten Biegesteifigkeit im Vergleich zu glatten Blechen gleicher Masse [1]. Darüber hinaus bieten die veränderten Oberflächeneigenschaften Vorteile, welche beispielsweise zu verminderter Blendung führen [2]. Für einen vermehrten Einsatz dieser Strukturen sind jedoch auch die Kenntnis und Vorhersagbarkeit der akustischen Eigenschaften derartig umgeformter Bleche nötig. Die Schalldämmung solcher Bleche ist bereits in einer vorangegangenen Arbeit betrachtet worden [3]. Im Rahmen dieser Untersuchung wird das Körperschallverhalten von punktgeschweißten Doppelstrukturen aus hexagonal strukturierten Stahlblechen näher betrachtet und mit dem Verhalten von Einzelblechen gleicher Wabenstrukturierung verglichen. Als charakteristisches Maß für die Anregungseigenschaften von Strukturen wird hierbei die Punktimpedanz untersucht. Dafür wird diese sowohl mittels Finite-Elemente-Methode (FEM) als auch experimentell ermittelt.

Material und Methoden

Gegenstand der Untersuchung sind wabenförmig strukturierte Bleche und daraus geschweißte Doppelstrukturen (SSB). Dafür werden 0,5 mm dicke glatte Bleche aus dem unlegierten Stahl DC04 per Hydroforming mit 2,7 mm tiefen Waben strukturiert. Ein anschließendes Punktschweißverfahren, in dem zwei strukturierte Bleche gleicher Wabengröße Wabenbauch an Wabenbauch miteinander verbunden werden, führt zu den Doppelstrukturen. Abbildung 1 zeigt ein SSB mit seinen charakteristischen Abmessungen. Die Wabengröße wird hierbei in Schlüsselweite (SW) gemessen.

Folgende Fragestellungen waren von Interesse:

- Ist die Punktimpedanz frequenzabhängig?
- Gibt es eine Abhängigkeit vom Anregungsort?
- Hat die Wabengröße Einfluss auf das Impedanzverhalten?
- Wie unterscheiden sich strukturierte Bleche und SSB bezüglich der Impedanz?

Zur Untersuchung dieser Fragen wurden verschiedenen Anregungsorte entsprechend Abbildung 2 gewählt. Dabei wurde das Impedanzverhalten jeweils für P1 und P2 bei Anregung der Wabenmitte (Wabe), der Rundung der Wabe (Schale), der Ecke zwischen Wabe und Steg (Ecke)

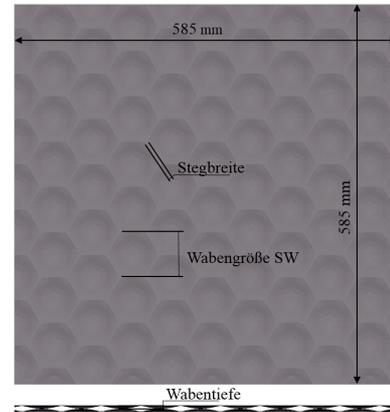


Abbildung 1: Strukturiertes Doppelblech mit charakteristischen Abmessungen

und der Mitte des Stegs (Steg) ermittelt. Die Impedanz wird als Kehrwert der Admittanz nach Gleichung (1) berechnet [4].

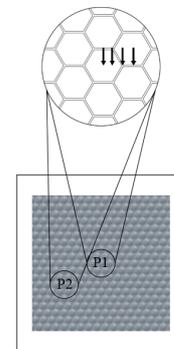


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Anregungsorte auf dem strukturierten Blech und dem SSB

$$\underline{Z} = \frac{1}{\underline{A}} = \frac{\hat{F}}{\hat{v}} \quad (1)$$

Finite-Elemente-Methode

Die FE-Simulation wurde mit MSC Actran durchgeführt. Dafür sind die CAD Daten der einzelnen Bleche in Originalgröße mit 41800 Knoten als dünne Schale modelliert worden. Das entspricht viereckigen Elementen von 4 mm Kantenlänge. Das in x-z-Richtung ausgerichtete Blech wurde an den Rändern in y-Richtung fixiert. Nach Anregung des Bleches mit einer Punktlast von 1 N wurde die direkte Frequenzantwort und darüber die Punktimpedanz Z ermittelt.

Messungen

Die Messungen wurden mit einem Polytec Laservibrometer OFV-2500 vorgenommen. Abbildung 3 zeigt die Anschlagsvorrichtung mit dem Impedanzhammer. Dieser regt das Blech mit einer Kraft \hat{F} an, woraufhin mit dem Vibrometer die Schwingschnelle \hat{v} des Bleches an der Stelle der Anregung ermittelt wird. Für eine Messung wurden jeweils 5 Anschläge gemittelt. Schematisch ist der Versuchsaufbau in Abbildung 4 dargestellt.

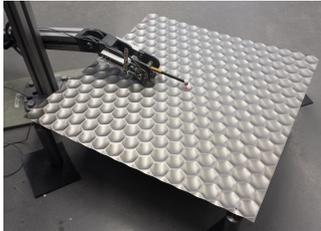


Abbildung 3: Vorrichtung zur Anregung der Bleche mit Impedanzhammer

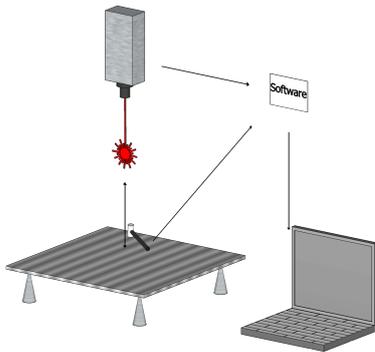


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Ergebnisse

Die Abbildungen 5 bis 10 zeigen das Impedanzverhalten der Einzelbleche mit einer Wabengröße SW33 und vergleichen Simulation und Messung. Die Abbildungen 11 bis 16 zeigen das Impedanzverhalten für ein SSB der gleichen Schlüsselweite. Dargestellt wird der Betrag der Impedanz in 1/12 Oktaven. Die Ergebnisse stimmen zwischen FEM-Simulation und experimenteller Untersuchung der Bleche bis auf eine leichte Verschiebung auf der Frequenzachse gut überein. Sowohl Einzelbleche als auch SSB zeigen eine Frequenzabhängigkeit der Punktimpedanz. Sie ist jedoch bei den Einzelblechen wesentlich deutlicher ausgeprägt. Bei der Betrachtung der Abhängigkeit vom Anregungsort zeigen sich keine Unterschiede bei den Orten P1 und P2. Bei Anregung an der Wabe, Schale, Ecke oder am Steg werden Unterschiede sichtbar. Besonders bei den Einzelblechen sind diese deutlich ausgeprägt. Hier zeigen sich einzelne Spitzenwerte der Impedanz je nach Anregungsort.

Mit Ausnahme der Anregung an der Wabe ist bei den SSB bis zu einer Frequenz von 5 kHz keine Abhängigkeit

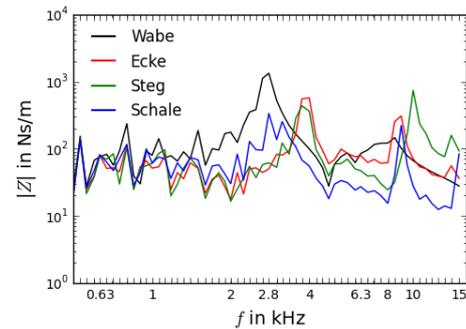


Abbildung 5: FE-Simulation des Impedanzverhaltens eines strukturierten Einzelblechs der Wabengröße SW33 für alle Anregungsorte

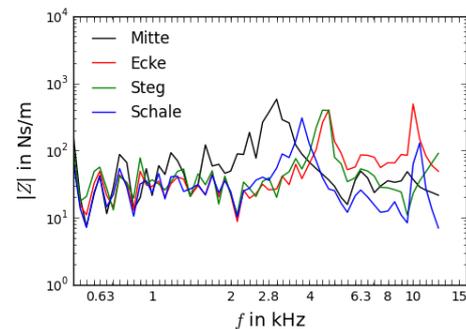


Abbildung 6: Messung des Impedanzverhaltens eines strukturierten Einzelblechs der Wabengröße SW33 für alle Anregungsorte

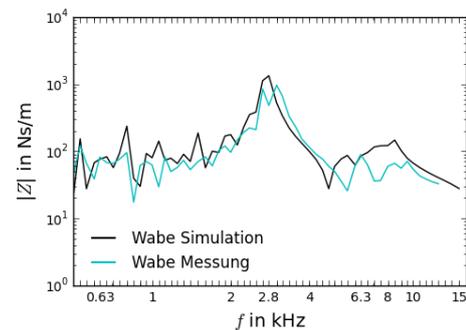


Abbildung 7: Impedanzverhalten eines strukturierten Einzelblechs der Wabengröße SW33, Vergleich zwischen Messung und Simulation bei Anregung an der Wabe

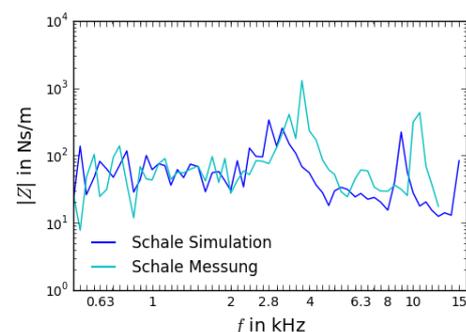


Abbildung 8: Impedanzverhalten eines strukturierten Einzelblechs der Wabengröße SW33, Vergleich zwischen Messung und Simulation bei Anregung auf der Schale

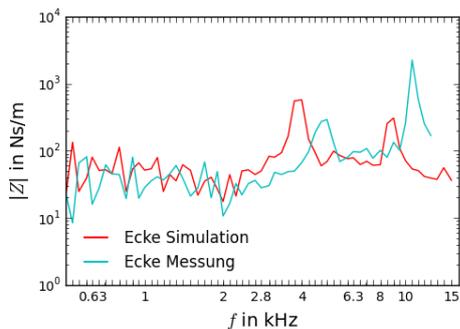


Abbildung 9: Impedanzverhalten eines strukturierten Einzelblechs der Wabengröße SW33, Vergleich zwischen Messung und Simulation bei Anregung auf der Ecke

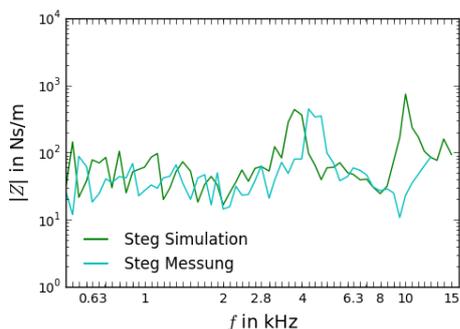


Abbildung 10: Impedanzverhalten eines strukturierten Einzelblechs der Wabengröße SW33, Vergleich zwischen Messung und Simulation bei Anregung auf dem Steg

der Impedanz vom Anregungsort zu erkennen. Die Anregung an der Wabe hat aufgrund des dort befindlichen Schweißpunktes einen Impedanzverlauf, der mit den anderen Anregungsorten nicht vergleichbar ist.

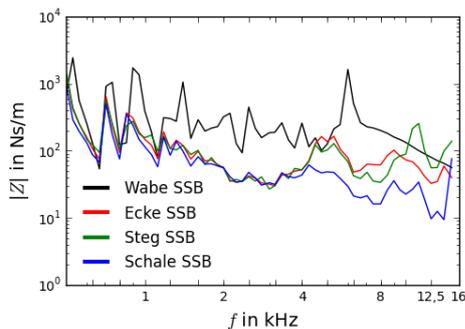


Abbildung 11: FE-Simulation des Impedanzverhaltens eines SSB der Wabengröße SW33 für alle Anregungsorte

In der Abbildung 17 ist der Einfluss der Wabengröße auf das Impedanzverhalten bei Einzelblechen dargestellt. Die Simulation weist auf einen direkten Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Impedanz und Schlüsselweite hin. Das konnte mit den bisherigen Messungen noch nicht bestätigt werden.

Für die SSB konnte durch die Messung kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Wabengröße und Impedanzverlauf nachgewiesen werden. Die Abbildungen 18 und 19 zeigen die Simulation und die Messwerte von Doppelble-

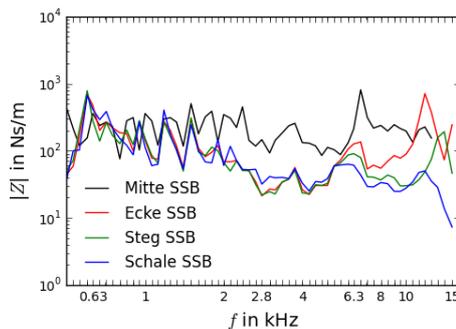


Abbildung 12: Messung des Impedanzverhaltens eines SSB der Wabengröße SW33 für alle Anregungsorte

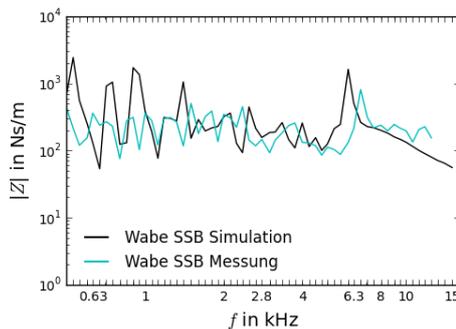


Abbildung 13: Impedanzverhalten eines SSB der Wabengröße SW33 bei Anregung auf der Wabe

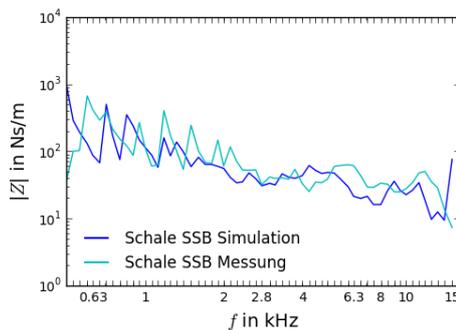


Abbildung 14: Impedanzverhalten eines SSB der Wabengröße SW33 bei Anregung auf der Schale

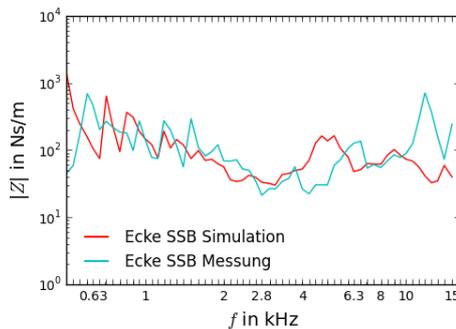


Abbildung 15: Impedanzverhalten eines SSB der Wabengröße SW33 bei Anregung auf der Ecke

chen bei Variation der Schlüsselweite von SW33, SW43 und SW51.

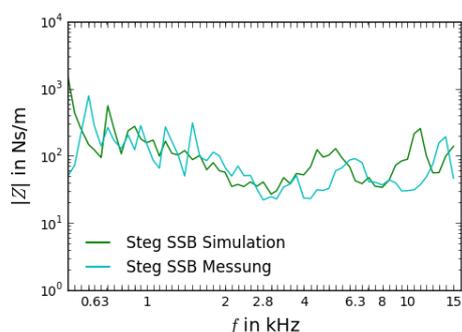


Abbildung 16: Impedanzverhalten eines SSB der Wabengröße SW33 bei Anregung auf dem Steg

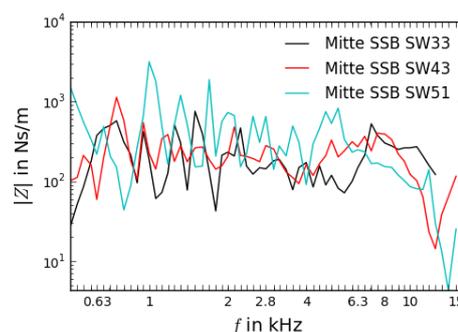


Abbildung 19: Messung des Impedanzverhaltens von SSB bei Variation der Wabengröße zwischen SW33, SW43 und SW51 bei einer Wabentiefe von 2,7 mm bei Anregung an der Wabe

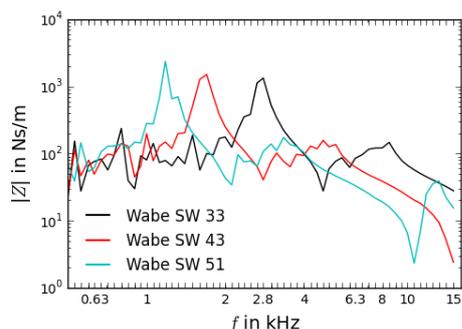


Abbildung 17: FE-Simulation des Impedanzverhaltens von Einzelblechen bei Variation der Wabengröße zwischen SW33, SW43 und SW51 bei einer Wabentiefe von 2,7 mm

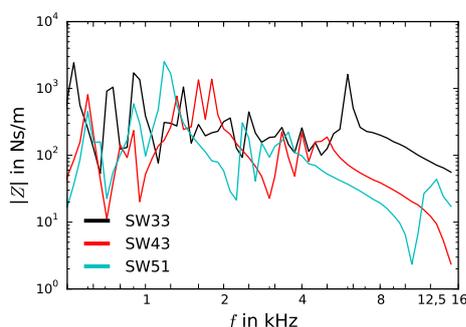


Abbildung 18: FE-Simulation des Impedanzverhaltens von SSB bei Variation der Wabengröße zwischen SW33, SW43 und SW51 bei einer Wabentiefe von 2,7 mm bei Anregung an der Wabe

Fazit

Das Impedanzverhalten der strukturierten Bleche und der SSB zeigen eine deutliche Frequenzabhängigkeit und eine Abhängigkeit von dem Ort der Anregung in unmittelbarer Umgebung einer Wabe. Besonders in der praktischen Anwendung von Einzelblechen und SSB in einem Frequenzbereich über 5 kHz sollte das beachtet werden. So sollte für Befestigungen eine Stelle am Blech gewählt werden, die sich durch einen hohen Anregungswiderstand auszeichnet. Bei der Anbringung an Maschinen oder ähnlichen Systemen sollte weiterhin ein Augenmerk auf deren Resonanzfrequenz liegen. Die Abhängigkeit der Punktimpedanz von der Wabengröße ist durch weitere Untersuchungen abschließend noch zu klären.

Literatur

- [1] Mahler-de Silva, T.: Ableitung und Validierung eines FE-Ersatzmodells für strukturierte Bleche, Dissertation, BTU Cottbus-Senftenberg, 2015
- [2] Mirtsch, F. et al: Vault Structures Enabling Sustainable Products, Proceedings of LCE2006
- [3] Langhof, C.: Schalldämmung strukturierter Bleche. Dissertation, BTU Cottbus-Senftenberg 2015
- [4] Cremer, L., Heckl, M.: Körperschall. Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, 2. völlig neu bearbeitete Auflage, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1996