

## Körperschallverhalten strukturierter Bleche

Anna-Sophia Henke, Ennes Sarradj

BTU Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl Technische Akustik, 03046 Cottbus, Deutschland,

Email: [anna-sophia.henke@b-tu.de](mailto:anna-sophia.henke@b-tu.de) / [sarradj@b-tu.de](mailto:sarradj@b-tu.de)

### Einleitung

Bleche sind wichtige Halbzeuge in Fertigungs- und Produktionsprozessen. Zur gezielten Beeinflussung der Eigenschaften werden sie unter anderem mit regelmäßigen Strukturen versehen. Das verändert neben den strukturellen auch die akustischen Eigenschaften. Die erhöhte Biegesteifigkeit von strukturierten Blechen eröffnet neue Möglichkeiten in Konstruktion und Fertigung, wirkt sich jedoch auch auf das akustische Verhalten der Bleche aus. Besonders im Bereich des Leichtbaus ist, auf Grund der Möglichkeit der Masseersparnis, die Kenntnis der veränderten Eigenschaften derart umgeformter Bleche und deren mögliche Vorhersagbarkeit von Interesse.

In einer vorangegangenen Arbeit zum akustischen Verhalten wurde bereits die Schalldämmung der hier untersuchten, mit Waben strukturierten Bleche näher betrachtet. Dort konnte gezeigt werden, dass die strukturierten Bleche im Vergleich zu einem massegleichen glatten Blech eine verminderte Schalldämmung von bis zu 15 dB in einem Frequenzbereich von 4 kHz bis 12,5 kHz aufweisen [1]. Für eine bessere Kenntnis der akustischen Charakteristik ist auch die Untersuchung der Anregungseigenschaften interessant. Hierfür wurde in der vorliegenden Arbeit die Punktimpedanz dieser strukturierten Bleche berechnet. Sie ist mit FE-Methoden unter Nutzung von Actran [2] ermittelt worden. Dabei wurde die Frequenzabhängigkeit, der Einfluss der Wabengröße sowie des Anregungsortes auf die Anregungseigenschaften näher untersucht.

### Material und Methoden

#### Bleche

Untersuchungsgegenstand sind wölbstrukturierte Bleche mit einer Dicke von 0,5 mm aus einem niedrig legierten Stahl (DC04), mit einer Wabenstruktur wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist. Die Abmessungen der Bleche betragen fertigungsbedingt 587 mm x 587 mm. Die Materialparameter von DC04 sind:

- der E-Modul mit  $E = 210$  GPa,
- die Poissonzahl mit  $\nu = 0,31$ ,
- die Dichte von  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup> und
- der Verlustfaktor  $\eta$  mit 1 %.

Der Verlustfaktor  $\eta$  ist mit 1 % eine für Konstruktionen aus diesem Material typische Größe für die Dämpfung. Zur Herstellung der Struktur werden glatte Bleche mittels Hydroforming umgeformt. Dabei werden sie mit ei-



**Abbildung 1:** Beispiel für ein wölbstrukturiertes Blech aus DC04, welches bezüglich des Punktimpedanzverhaltens untersucht wurde.

nem der gewünschten Wabentiefe entsprechenden Druck in eine zuvor angefertigte Matrize mit der jeweiligen Wabengröße gepresst. Auf diese Art entsteht die in Abbildung 1 gezeigte typische Wabenstruktur.

#### Simulation

Zunächst wurden die CAD-Daten der Bleche mit hauptsächlich viereckigen Schalenelementen zweidimensional vernetzt. Für eine Analyse bis zu einer Frequenz von 16 kHz war eine Vernetzung mit Elementen einer maximalen Kantenlänge von 4 mm nötig. Das ergab bei einer strukturierten Blechoberfläche von 0,35 m<sup>2</sup> 26875 Elemente. Damit konnten für die numerische Berechnung der strukturierten Bleche mindestens 6 Elemente pro kürzester Wellenlänge sichergestellt werden.

Die Bleche wurden am Rand aufgelegt und mit einer punktförmigen Kraft von 1 N an einem bestimmten Anregungsort versehen. Mit diesen Daten konnte nun, über die Berechnung der direkten Frequenzantwort, die Auslenkung des Bleches in die verschiedenen Transversal- sowie Rotationsrichtungen ermittelt werden. Der betrachtete Frequenzbereich betrug dabei 5 Hz bis 16 kHz.

Die Simulationen wurden zunächst mit einer Variation des Anregungsortes und anschließend mit der Änderung der Wabengröße vorgenommen. Die Wabenstruktur wurde bezüglich der Wabengröße, gemessen als Schlüsselweite, zwischen 33 mm (SW 33), 43 mm (SW 43) und 51 mm (SW 51) variiert. Die Stegbreite blieb mit 2 mm ebenso wie auch die Wabentiefe mit 2,7 mm konstant. Die Anregungsorte wurden an vier Positionen in unmittelbarer Umgebung einer bestimmten Wabe verändert. So wurde nacheinander

- in der Wabenmitte (in der weiteren Betrachtung "Wabe" genannt),
- in der Stegmitte eines direkt an die Wabe angrenzenden Steges (Steg),
- an der Übergangsecke zwischen Steg und Wabe

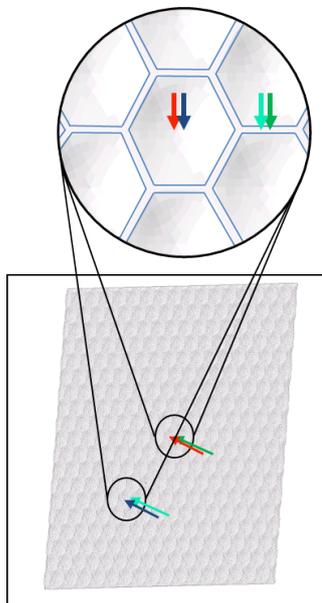
(Ecke) und

- in der Mitte der schalenförmigen Wölbung der Wabe (Schale) angeregt.

Da sich diese vier Orte innerhalb eines Radius von maximal 50 mm befanden, wurden sie „lokale“ Anregungsorte genannt. Für diese lokalen Anregungsorte wurden zwei Positionen auf dem Blech gewählt:

- die Wabe in der Blechmitte (Position 1) und
- eine Wabe außerhalb jeder Symmetrieachse (Position 2).

Position 1 und Position 2 wurden „globale“ Anregungsorte genannt, da sie sich auf das gesamte Blech bezogen. Beispielhaft sind die globalen Anregungsorte für zwei lokale Anregungsorte (Wabe und Steg) in Abbildung 2 dargestellt.



**Abbildung 2:** Unterschiedliche lokale und globale Anregungsorte (Position 1 und 2) am Beispiel der Anregung in der Wabenmitte und der Stegmitte.

Mit den ermittelten Daten der Schnelle  $\hat{v}$  am jeweiligen Anregungspunkt konnte die zugehörige Punktimpedanz  $\underline{Z}$  berechnet werden [3]:

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

Als Maß für den Anregungswiderstand ist die Impedanz eine wichtige akustische Größe. Je größer der Wert für die Impedanz, desto schwerer ist eine Struktur durch eine Kraft anregbar. Auch kann über die Formel (2) der Zusammenhang zwischen Anregung mit einer Kraft  $F_0$  und eingespeister Leistung  $P$  ermittelt werden [3].

$$P = \frac{1}{2} |F_0|^2 \operatorname{Re} \left\{ \frac{1}{Z} \right\} \quad (2)$$

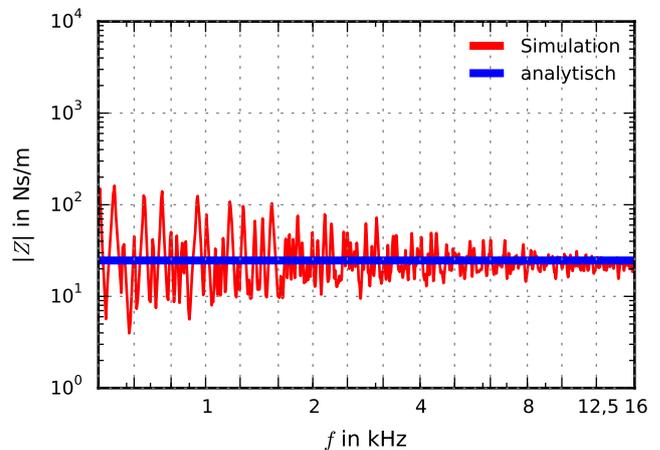
## Ergebnisse und Diskussion

### Impedanzverhalten eines glatten Bleches

Mit der Kenntnis der längenbezogenen Biegesteifigkeit  $B'$  und der flächbezogenen Masse  $m''$  ist über die Formel (3) die Impedanz von glatten Blechen analytisch zu ermitteln [3].

$$Z = 8\sqrt{B'm''} \quad (3)$$

Zur Überprüfung der numerischen Analyse wurde im Vorfeld der Untersuchungen der strukturierten Bleche zunächst ein glattes Blech mittels Actran berechnet. Die ermittelte Impedanz der numerischen Analyse wurde mit dem analytischen Ergebnis verglichen und zeigt eine gute Übereinstimmung der Werte. Das ist in Abbildung 3 zu sehen. Die mittlere Impedanz für das glatte Blech beträgt mit der numerischen Ermittlung 25,22 Ns/m, analytisch berechnet sind es 24,65 Ns/m.

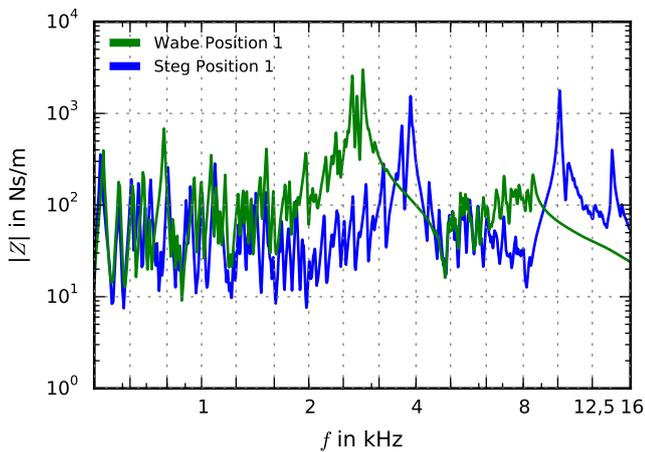


**Abbildung 3:** Vergleich der Impedanzwerte eines glatten Bleches durch analytische Rechnung und Simulation.

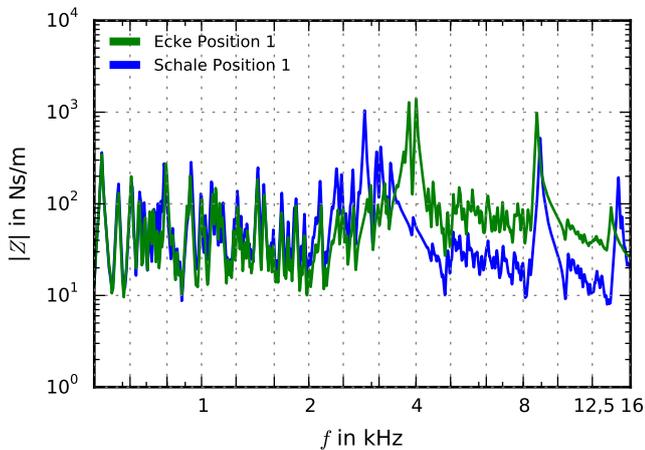
### Impedanzverhalten bei Variation des Anregungsortes

Die Punktimpedanz eines strukturierten Bleches zeigt neben einer deutlichen Frequenzabhängigkeit auch eine Abhängigkeit von der lokalen Anregung. Das wird in Abbildung 4 deutlich, in welcher der Betrag der Impedanz sowohl bei einer Anregung in der Wabenmitte, als auch auf der direkt angrenzenden Stegmitte dargestellt wird. Abbildung 5 zeigt das Verhalten bei einer Anregung auf der Stegecke und der Schale.

Werden die über alle Frequenzen gemittelten Impedanzwerte  $|\bar{Z}|$  jeweils auf die Impedanz  $Z$  eines glatten Bleches gleicher Masse bezogen, zeigt sich der Einfluss des lokalen Anregungsortes noch klarer. So ergibt sich für die Wabenmitte ein Faktor  $|\bar{Z}|/Z$  von 4,6, für die Stegmitte sogar 4,9 und für die Stegecke ein Faktor von 3,6. Dagegen kann für eine Anregung auf der Schale lediglich ein Faktor von 2,2 ermittelt werden. Das zeigt, dass dieses Blech auf der Schale wesentlich leichter anregbar ist als beispielsweise auf dem Steg oder in der Wabenmitte. Begründet ist das in der deutlich geringeren mittleren Im-



**Abbildung 4:** Impedanzverhalten bei Anregung in der Wabenmitte und der Stegmitte im Zentrum eines strukturierten Bleches der Schlüsselweite SW 33.

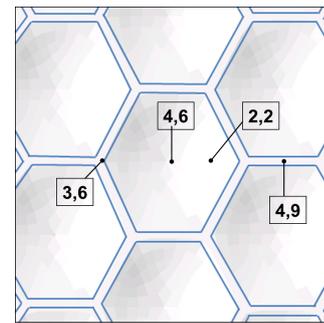


**Abbildung 5:** Impedanzverhalten bei Anregung auf der Stegecke und der Schale im Zentrum eines strukturierten Bleches der Schlüsselweite SW 33.

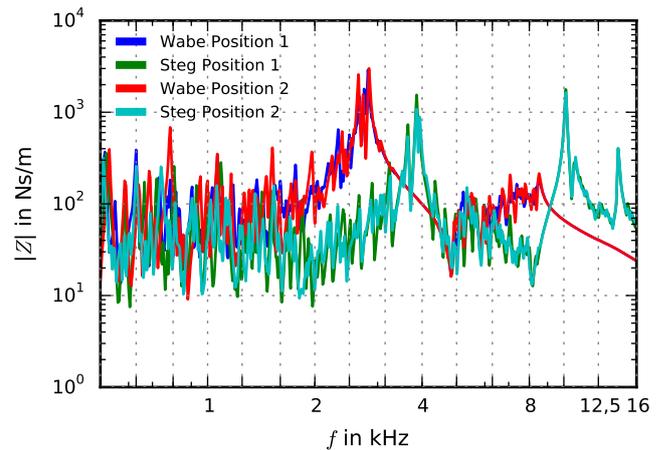
pedanz bei Anregung auf der Schale gegenüber den anderen lokalen Anregungsorten. Grafisch verdeutlicht werden diese Faktoren in Abhängigkeit vom Anregungsort noch einmal in Abbildung 6.

Im Unterschied zu der lokalen Anregung hat eine Variation des globalen Anregungsortes, wie bereits in Abbildung 2 dargestellt, kaum einen Einfluss. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 zu sehen. Hier zeigt sich das gleiche Verhalten, unabhängig davon, ob eine Wabe an Position 1 oder an Position 2 angeregt wird. Gleiches lässt sich auch bei einer Anregung auf der Stegecke beziehungsweise der Schale reproduzieren.

Von praktischer Relevanz können diese Ergebnisse sein, wenn ein bestimmtes Schwingungsverhalten derart strukturierter Bleche erwünscht oder ein bestimmtes akustisches Verhalten erforderlich ist. So kann es technologisch sinnvoll sein, beispielsweise eine Befestigung dort vorzusehen, wo strukturbedingt eine relativ schlechte Anregbarkeit für Schwingungen vorliegt.



**Abbildung 6:** Vergleich der über die Frequenz gemittelten Impedanzwerte zur Impedanz eines Glattbleches  $\frac{|Z|}{Z}$ .

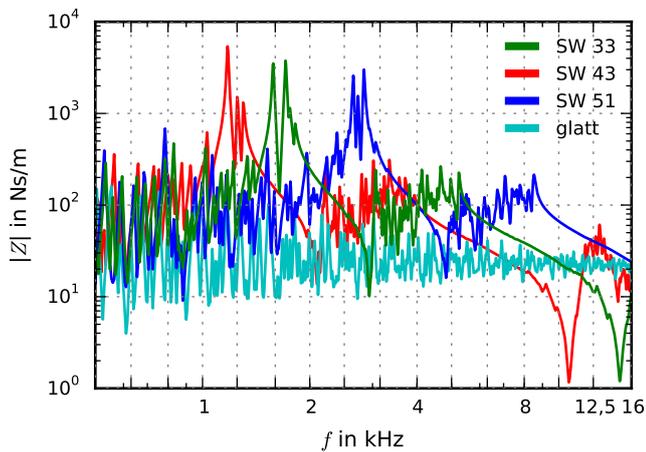


**Abbildung 7:** Vergleich des Impedanzverhaltens eines Bleches mit der Schlüsselweite SW 33 bei Anregung des Steges und der Wabe in der Blechmitte und einer Position außerhalb jeder Symmetrieachse.

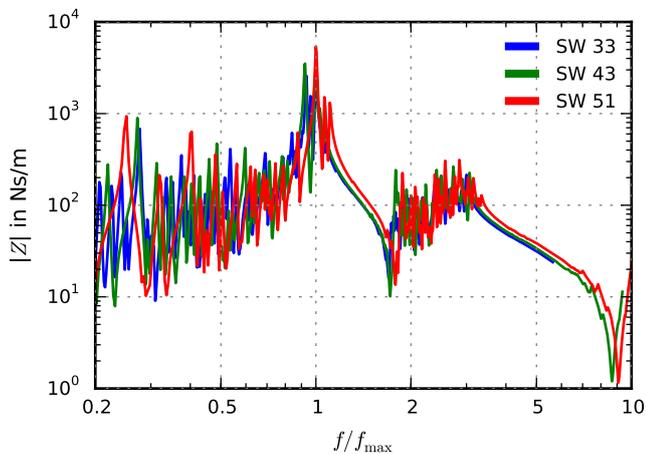
## Verhalten der Punktimpedanz bei Änderung der Wabengröße

Neben der Abhängigkeit des Impedanzverhaltens vom Anregungsort wurde auch der Einfluss der Wabengröße untersucht. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten wurde als Anregungsort dabei die Wabenmitte im Zentrum des Bleches verwendet. Erste Ergebnisse werden in Abbildung 8 gezeigt. Hier wird der Betrag der Impedanz bei einer Variation der Schlüsselweite zwischen SW 33, SW 43 und SW 51 im Vergleich zu einem glatten Blech gleicher Masse abgebildet. Dabei wird ein Zusammenhang zwischen Wabengröße und dem Impedanzverhalten erkennbar. Das charakteristische Impedanzverhalten bleibt zwar auch bei Variation der Wabengröße erhalten, jedoch führt die Vergrößerung der Schlüsselweite zu einer Verschiebung in tiefere Frequenzbereiche.

Noch anschaulicher erscheint der charakteristische Impedanzverlauf in Abbildung 9. Dabei wurde zur Verdeutlichung das Impedanzverhalten der strukturierten Bleche über einer normierten Frequenzachse aufgetragen und die Darstellung des glatten Bleches weggelassen.



**Abbildung 8:** Impedanzverhaltens bei Variation der Wabengröße zwischen den Schlüsselweiten SW 33, SW 43 und SW 51 im Vergleich zu einem massegleichen glatten Blech.



**Abbildung 9:** Darstellung des Impedanzverlaufs von Blechen mit der Schlüsselweite SW 33, SW 43 und SW 51 über eine normierte Frequenz.

## Zusammenfassung

Unter Verwendung von Actran und der Ermittlung der direkten Frequenzantwort bei einer punktförmigen Anregung konnte bei den untersuchten wölbstrukturierten Blechen ein charakteristischer Impedanzverlauf innerhalb eines Frequenzbereiches von 5 Hz bis 16 kHz gezeigt werden. Deutlich wird dabei einerseits die frequenzabhängige Schwankung der Impedanzwerte und andererseits die Abhängigkeit von dem jeweiligen lokalen Anregungsort. Der globale Anregungsort zeigt hingegen keinen nennenswerten Einfluss auf die Impedanz. Im Vergleich zu einem glatten Blech gleicher Masse können in Abhängigkeit vom lokalen Anregungsort doppelte bis nahezu fünffache mittlere Impedanzwerte ermittelt werden.

Die Variation der Wabengröße führt zu einer Verschiebung der Impedanzwerte bezüglich der Frequenz, wobei die Verkleinerung der Wabengröße eine Verschiebung in höhere Frequenzbereiche hervorruft.

## Literatur

- [1] Langhof, C.: Schalldämmung strukturierter Bleche. Dissertationsschrift (2015), BTU Cottbus-Senftenberg
- [2] FFT Actran Homepage, URL: <http://www.fft.be/index.php?pageID=8&moduleID=117>
- [3] Cremer, L., Heckl, M.: Körperschall. Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, 2. völlig neu bearbeitete Auflage, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1996