

Modellbildung und Sensitivitätsanalyse des Schwingungsverhaltens einer Kastenstruktur bei hohen Frequenzen

Jens Giesler¹, Björn Knöfel²

¹ TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, 01062 Dresden, Email: jens.giesler@mailbox.tu-dresden.de

² TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, 01062 Dresden, Email: bjoern.knoefel@ias.et.tu-dresden.de

Einleitung

Für die Konstruktion lärmarmen Maschinen ist das Schwingungsverhalten von Strukturen bei hohen Frequenzen von Interesse. Herkömmliche numerische Rechenverfahren sind hierfür aus diversen Gründen (z.B. aufgrund der hohen Rechenzeit) nur bedingt geeignet. Deshalb kommen statistische Verfahren, wie beispielsweise das der Statistischen Energieanalyse (SEA) zum Einsatz, welches eine Modellierung des Schallübertragungsverhaltens bis hin zu hohen Frequenzen ermöglicht. Um den Einfluß verschiedener Faktoren auf die Modellgenauigkeit zu diskutieren, wird eine Kastenstruktur in diversen SEA-Modellen nachgebildet und deren Berechnungsergebnisse werden mit Meßwerten verglichen. Insbesondere wird die Sensitivität der verbindungstechnologischen Parameter sowie die der Dämpfungsverlustfaktoren untersucht [3].

Beschreibung der Kastenstruktur

Die in [1] erstmals vorgestellte Kastenstruktur ist aus sechs Aluminiumplatten, die über Winkelleisten zusammengehalten werden, gebaut. Die Platten sind durch Schrauben an den Winkeln, in denen sich Gewinde befinden, befestigt. Somit ergeben sich „Punkt-Linienverbindungen“, die die Box zusammenhalten. Bei der Konstruktion der Box wurde gezielt darauf geachtet, daß diese den grundsätzlichen Forderungen der Statistischen Energieanalyse, wie z.B. der schwachen Kopplung, genügt [4]. Schwache Kopplung liegt vor, wenn die Dämpfungsverluste innerhalb eines Subsystems größer sind als die Kopplungsverluste. Um diese schwache Kopplung zu gewährleisten mußten die einzelnen Aluminiumplatten teilweise mit einem zusätzlichen Bitumenbelag beklebt werden. Die Deckplatte der Box wurde schräg angeordnet, so daß sich möglichst ein diffuses akustisches Feld im Inneren ausbildet. Der Kasten hat ein Volumen von $V = 0,591\text{m}^3$. Seine Geometrie und Abmessungen sind in der Abbildung 1 dargestellt.

Statistische Energieanalyse

Wie der Name Statistische Energieanalyse (SEA) [2] bereits sagt, handelt es sich hier um ein statistisches Verfahren. Strukturen und Schwingungsvorgänge werden mit statistischen Methoden abgebildet. Auf eine exakte zeitliche und örtliche Abbildung der Schwingungsvorgänge wird verzichtet, um die Rechenzeit gering zu halten. Die zu untersuchende Struktur wird in sogenannte Subsysteme zerlegt. Hierbei wird jedoch nicht von konstruk-

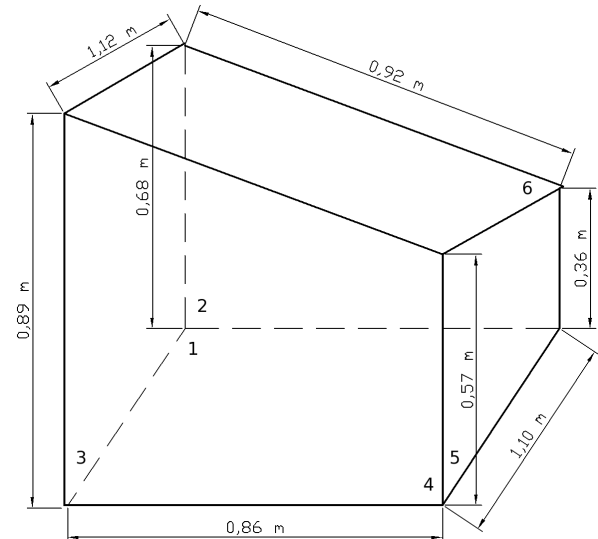


Abbildung 1: Geometrie und Abmessungen des Kastens

tiven Aspekten ausgegangen, sondern vielmehr von gleichen oder ähnlichen Eigenschaften der in der Struktur auftretenden Schwingungen. Die Schwingungsvorgänge in den Subsystemen werden durch den Erwartungswert der mittleren Schwingungsenergie W charakterisiert. Hat man die Struktur in Subsysteme zerlegt, so gilt es, für jedes Subsystem den zugehörigen Dämpfungsverlustfaktor η_1 zu bestimmen. Dieser wird größtenteils durch innere Materialverformungen hervorgerufen. In seine Berechnung gehen die Erwartungswerte der im Subsystem verbrauchten Leistung P_{11} und der im stationären Zustand vorhandenen Energie W_1 ein.

$$\eta_1 = \frac{P_{11}}{\omega W_1} \quad (1)$$

Für die Kopplung zweier oder mehrerer Subsysteme ist das Maß für die Stärke der Kopplung der Kopplungsverlustfaktor η_{12} . Er bestimmt sich aus dem von der Kopplung verursachten Verlustleistungsfluß von Subsystem eins zu Subsystem zwei P_{12} und aus den mittleren gespeicherten Energien $\frac{W_1}{n_1}$ und $\frac{W_2}{n_2}$.

$$\eta_{12} = \frac{P_{12}}{\omega n_1 \left(\frac{W_1}{n_1} - \frac{W_2}{n_2} \right)} \quad (2)$$

Hierbei ist ω die Kreisfrequenz und n_1 und n_2 sind die Modendichten. Das Verhältnis der Kopplungsverlustfaktoren η_{12} und η_{21} steht im Zusammenhang mit diesen.

$$\eta_{12}n_1 = \eta_{21}n_2 \quad (3)$$

Aus den drei Gleichungen (1), (2) und (3), die die Grundgleichungen der SEA darstellen, läßt sich ein lineares Gleichungssystem erstellen, welches bei Bekanntheit der in die Subsysteme eingespeisten Leistungen, der Dämpfungsverlustfaktoren und der Kopplungsverlustfaktoren den Erwartungswert der mittleren Energie W jedes Subsystems liefert. Aus diesen Energien der Subsysteme können die oft interessierenden Größen wie Schallschnellepegel und Schalldruckpegel ermittelt werden.

SEA-Modelle des Kastens

Die Struktur des Kastens wurde in verschiedenen SEA-Modellen nachgebildet. Allen Modellen gemeinsam ist die Modellierung der Kastenstruktur aus acht Subsystemen, ein Subsystem für jede Kastenplatte, eines für den Kasteninnenraum und eines für den Kastenaußenraum. Mittels SEA-Rechnung wird der Frequenzgang des Schallschnellepegels auf Platte eins ermittelt (Abbildung 2). Dieser wird der gemessenen Kurve des Schallschnellepegels gegenübergestellt.

Das erste Modell betrachtet die Verbindung der einzelnen Kastenplatten als starre Linienvorbindung. Die Winkelleisten werden nicht berücksichtigt. In die Berechnung fließen lediglich die Dämpfungsverlustfaktoren der Platten ein.

Ein zweites Modell bildet die Verbindungslinien zwischen den Platten korrekt als Punkt-Linienvorbindung mit 10cm Schraubenabstand nach. Vergleicht man die Ergebnisse der SEA-Rechnungen dieser beiden Modelle, so stellt sich heraus, daß die Betrachtung der Punkt-Linienvorbindung keine wesentlich genaueren Ergebnisse gegenüber der Linienvorbindung im Vergleich zur Messung bringt.

Modell Nummer drei berücksichtigt die Winkelleisten. In die Rechnung gehen deren Dämpfungsverlustfaktoren ein. Da, wie anhand der ersten beiden Modelle gezeigt, die Betrachtung der Verbindung als Punkt-Linienvorbindung keine größeren Vorteile bringt, wird sich in diesem Modell auf die Betrachtung einer Linienvorbindung beschränkt. Die Berücksichtigung der Dämpfungsverlustfaktoren der Winkelleisten bewirken eine Annäherung der berechneten an die gemessenen Schallschnellepegel. Ab etwa 3kHz fällt diese nicht mehr so deutlich aus wie im unteren Frequenzbereich.

Das vierte Modell dient der Untersuchung des Einflusses der Dämpfungsverlustfaktoren. Hierfür werden die Dämpfungsverlustfaktoren der Platten konstant mit 1,5 Prozent angenommen. Auch die Dämpfungsverlustfaktoren der Winkelleisten werden berücksichtigt. Die Verbindungskanten werden als Linienvorbindung abgebildet. Die Betrachtung der berechneten Kurve des Schallschnellepegels im Vergleich zu dessen gemessener zeigt, daß die Dämpfungsverlustfaktoren der Platten einen großen Einfluß auf das Modellverhalten haben. Es ist eine deutliche Annäherung an die Meßwerte besonders bei hohen Frequenzen ersichtlich.

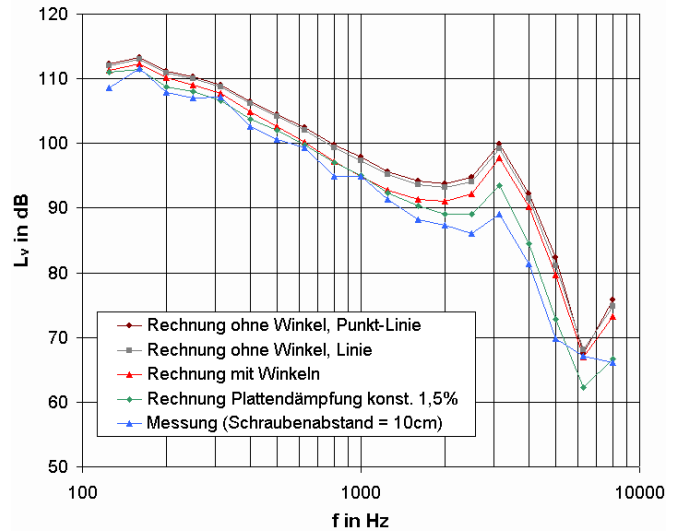


Abbildung 2: Vergleich der Schallschnellepegel L_v von SEA-Rechnungen und Messung. Darstellung für Kastenplatte Nr.1

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde das Schwingungsverhalten einer Kastenstruktur bei hohen Frequenzen untersucht und die Sensitivitäten verschiedener Modellparameter auf die Genauigkeit des Modells ermittelt. Es hat sich gezeigt, daß die Modellierung der Verbindungslinien als Punkt-Linienvorbindungen keine wesentlichen Vorteile gegenüber der Modellierung mit einfachen Linienvorbindungen bringt. Weiterhin wurde nachgewiesen, daß die Dämpfungen der Winkelleisten einen großen Einfluß auf das Modellverhalten haben und somit bei der Modellbildung nicht zu vernachlässigen sind. Ebenfalls zu Lasten der Genauigkeit von SEA-Vorhersagen an der Kastenstruktur wirken sich Fehler, die bei der Bestimmung der Dämpfungsverlustfaktoren der Platten gemacht werden, aus.

Literatur

- [1] B. Knöfel: Vibroakustisches Verhalten einer Kastenstruktur bei hohen Frequenzen. in: Fortschritte der Akustik 2003, S. 568-569.
- [2] Lyon, DeJong: Theory and Application of Statistical Energy Analysis. Second Edition. Butterworth-Heinemann, Boston, 1995.
- [3] J. Giesler: Modellbildung und Sensitivitätsanalyse des Schwingungsverhaltens einer Kastenstruktur bei hohen Frequenzen. Studienarbeit, TU-Dresden, 2004.
- [4] B. Knöfel: Vibroakustisches Verhalten einer Kastenstruktur bei hohen Frequenzen. Diplomarbeit, TU-Dresden, 2002.