

Körperschallisolierung von haustechnischen Geräten

Johannes Guggenberger¹

¹ Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg, Deutschland, Email: JGuggenberger@MuellerBBM.de

Einleitung

Zum Leistungsbild einer bauakustischen Beratung gehört unter anderem auch die Auslegung von Isolationsmaßnahmen an haustechnischen Geräten. Für konventionelle Nutzungen existieren Standardvorgaben [1]. Je nach Lage und Art des Gerätes zum maßgebenden Immissionsort sind einfach bis vierfach elastische Lagerungen vorzusehen.

Weicht die Aufgabenstellung von einer Standardsituation ab, so sind meist die verfügbaren Grundlagen dürftig, nach denen eine angemessene Isolationsmaßnahme bemessen werden könnte.

Um die Situation abzuschätzen, können je nach Detaillierungsgrad verschiedene Methoden und Modelle verwendet werden.

Körperschallisolierung von haustechnischen Geräten in der Praxis

Allgemein hängt der in einem angrenzenden Aufenthaltsraum auftretende Schalldruckpegel von folgenden Größen ab:

- Körperschallemission an der Quelle
- Wirksamkeit der vorgesehenen elastischen Lagerung
- Entfernungsbedingten Abnahme des Körperschallpegels
- Abstrahlverhalten der Raumbegrenzungsflächen

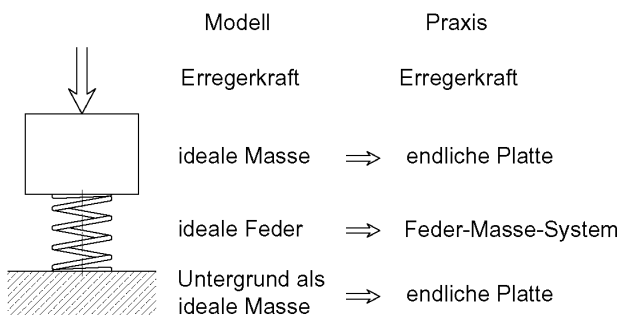


Abbildung 1: Vergleich: Ein-Massen-Schwinger-Modell gegenüber Praxissituation

Die Schwierigkeiten in der Praxis ergeben sich dann, wenn die Parameter der einzelnen Komponenten in Abb. 1 zu stark abweichen, als dass die zugrundeliegende Idealisierung als Ein-Massen-Schwinger noch gültig wäre.

Als allgemeine Kenngröße für das dynamische Verhalten der beteiligten Komponenten dient die Impedanz (Abb. 2).

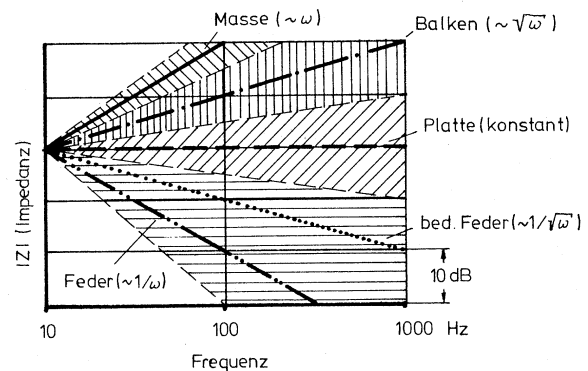


Abbildung 2: Impedanzen verschiedener Bauteilklassen

Eine eingeschränkte Wirksamkeit einer elastischen Entkoppelung kann sich bei ungenügender Anschlussimpedanz beiderseits der Federelemente ergeben. Oberhalb der Federn müssen die Gerätefüße bzw. Rahmen steif ausgebildet sein. Unterhalb der Federn muss eine gegenüber der Federsteifigkeit ausreichend hohe Impedanz vorhanden sein. Um die Wirksamkeit einer Lagerung zu betrachten, bietet sich also an, die einzelnen Bauteile als getrennte Subsysteme zu betrachten. Der Vorteil ist, dass verschiedene Rechenmodelle oder auch gemessene Impedanzen für die einzelnen Systeme je nach erforderlichem Detaillierungsgrad eingesetzt werden können.

Koppelung von Subsystemen

Allgemein können die frequenzunabhängigen Systemmatrizen der Bewegungsgleichung (1) in Form einer frequenzabhängigen Impedanzmatrix nach Gl. 2 zusammengefasst werden.

$$(\mathbf{K} + i\omega\mathbf{C} - \omega^2\mathbf{M}) \cdot \mathbf{w}(\omega) = \mathbf{F}(\omega) \quad (1)$$

$$\mathbf{Z}(\omega) \cdot \mathbf{v}(\omega) = \mathbf{F}(\omega) \quad (2)$$

\mathbf{K} ... Steifigkeitsmatrix, \mathbf{C} ... Dämpfungsmatrix, \mathbf{M} ... Massenmatrix, \mathbf{w} ... Verschiebungsvektor, \mathbf{F} ... Lastvektor, \mathbf{Z} ... Impedanzmatrix, \mathbf{v} ... Vektor der Schwinggeschwindigkeit, ω ... Kreisfrequenz

Nach dem Schnittprinzip der technischen Mechanik kann ein Gesamtsystem in Subsysteme unterteilt werden (Abb. 3), wobei die Übergangsbedingungen der Verschiebungsgrößen übereinstimmen müssen ($v_1 = v_2 = v_{12}$) und die Schnittkräfte im Gleichgewicht stehen müssen. Daraus ergibt sich, dass sich Impedanzen an den gemeinsamen Freiheitsgraden addieren (werden z.B. zwei Federn parallelgeschaltet, addieren sich die Federkonstanten).

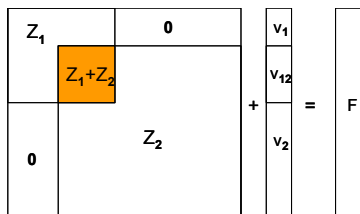


Abbildung 3: Koppelung zweier mechanischer Systeme

Die Kondensation eines Systems gemäß den Gleichungen 3–4 (Abb. 4) zeigt, dass durch die Matrix der Anschlussimpedanzen die dynamische Antwort einer Struktur an den Koppelpunkten vollständig beschrieben werden kann. Um zwei Subsysteme zu koppeln, muss die Impedanzmatrix an den Koppelstellen bekannt sein. Die Subsysteme können mit unterschiedlichen deterministischen Methoden, z.B. MKS, Ingenieursmodellen, FEM, BEM oder auch als messtechnisch erfassbare Struktur beschrieben werden. Über entsprechende Mittelungen ist auch eine Koppelung zu statistischen Energiemethoden prinzipiell möglich.

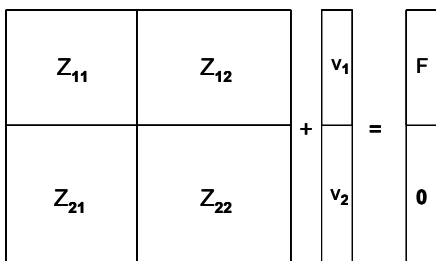


Abbildung 4: Kondensation der Impedanzmatrix

$$\mathbf{v}(\omega)_2 = -(\mathbf{Z}_{22}(\omega))^{-1} \cdot \mathbf{Z}(\omega)_{21} \mathbf{v}(\omega)_1 = \mathbf{T}(\omega) \mathbf{v}(\omega)_1 \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Z}(\omega)_{11} - \mathbf{Z}(\omega)_{12} (\mathbf{Z}(\omega)_{22})^{-1} \cdot \mathbf{Z}(\omega)_{21} \\ \mathbf{Z}(\omega)_{red} \end{bmatrix} \mathbf{v}(\omega)_1 = \mathbf{F}(\omega)_1 \quad (4)$$

F ... Lastvektor, Z ... Impedanzmatrix, T ... Transfermatrix, v ... Vektor der Schwingschnelle, ω ... Kreisfrequenz

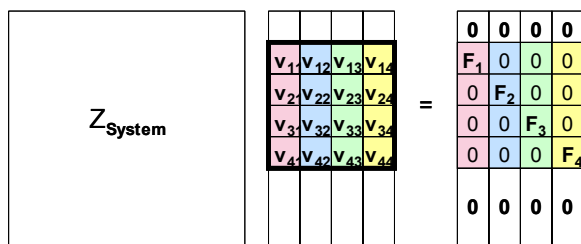


Abbildung 5: Kennzeichnung einer elastischen Lagerung

Liegt kein Gleichungssystem in einer Form vor, aus der unmittelbar die Impedanzmatrix durch Kondensation gewonnen werden kann, muss die Impedanzmatrix durch „Versuch“ bestimmt werden. Für jeden Koppelfreiheitsgrad wird ein Lastfall mit der normierten Last $F=1$ am jeweiligen Freiheitsgrad definiert und die Systemantwort an allen Koppelfreiheitsgraden bestimmt (Abb. 5). Die einzelnen Antwortvektoren der Lastfälle werden zu einer Admittanzmatrix zusammengefasst, die invertiert die gesuchte Impedanzmatrix ergibt.

Zusammenfassung

Der erforderliche Detaillierungsgrad bei der Berechnung einer Körperschallisolation hängt von den dynamischen Eigenschaften der beteiligten Strukturen und Komponenten ab. Eine Gegenüberstellung der Anschlussimpedanzen der einzelnen entkoppelten Substrukturen vermittelt eine erste Einschätzung, inwieweit die Situation von der Standardsituation eines Ein-Massen-Schwingers abweicht. Es genügt bereits, hier entsprechende Defizite auszugleichen, ohne dass eine genaue Prognose der Immissionsgrenzwerte erforderlich ist.

Einem genaueren Verfahren steht vor allem das Fehlen von technischen Angaben für die einzelnen Geräte gegenüber. Die Schwierigkeit liegt vor allem darin, dass eine Körperschalleistung nicht wie eine Schalleistung unabhängig von den Anschlussimpedanzen angegeben werden kann.

Weiterhin sind Körperschallübertragungen meist gegenüber Luftschallimmissionen in einem tieferen Frequenzbereich wirksam, die über einfache statistische Modelle bzw. Energieflussmethoden nicht zutreffend erfassbar sind.

Dass sich die Problematik nur schwer allgemein beschreiben lässt, drückt sich auch darin aus, dass vorhandene Regelwerke kaum Angaben über Nachweise zur Körperschallisolation von haustechnischen Anlagen enthalten. Prinzipiell besteht ein Bedarf für einheitliche Verfahren, um Qualitätsstandards zu definieren. Für den verantwortlichen Planer würde ein solches Regelwerk eine Unterstützung sowie eine Absicherung gegenüber dem Auftraggeber bedeuten, welche derzeit nicht gegeben ist. Umgekehrt entsteht aus der Verpflichtung, sich nach den Vorgaben in einem Nachweis zu richten, die Gefahr einer Alibifunktion, wenn die einheitlichen Verfahren in Sonderfällen nicht zu nicht ausreichenden Ergebnissen führen. Inwieweit ein übergreifend, praxisbezogenes und standardisiertes Verfahren entwickelt werden kann, ist daher sorgfältig zu prüfen.

Literatur

- [1] Saalfeld M, Körperschalldämmende Maßnahmen bei haustechnischen Anlagen, VDI Berichte Nr. 1121 (1994).
- [2] Müller, G. und Möser, M. (Hsg.), Taschenbuch der Technischen Akustik, Springer Verlag Berlin, Heidelberg New York, 2004.
- [3] Cremer L, Heckl M, Körperschall, Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, Springer, 2. Auflage (1995).