

Vorausberechnung der Schwingungsanregung von dynamischen Systemen in Abhängigkeit der Struktureigenschaften

Torsten Back, Kai Wolf

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik, 64289 Darmstadt, Deutschland, Email: back@szm.tu-darmstadt.de, wolf@szm.tu-darmstadt.de

Einleitung

Im Lastenheft von Körperschallaktiven Systemen wird häufig der Schwingungspegel an der Koppelstelle zwischen einer Maschine und einem Fundament über spektrale Grenzkurven beschränkt. Um die Einhaltung dieser Forderungen zu überprüfen, wird üblicherweise in einem Labor die schwingungsanregende Maschine auf einem Prüffundament befestigt und Messungen durchgeführt.

Besonders kritisch ist dabei zu betrachten, dass der sich an der Koppelstelle einstellende Körperschall stark von den späteren Aufstell- und Ankoppelbedingungen abhängt. Infolgedessen ist es kaum möglich, basierend auf den Ergebnissen der Erprobungsphase auf einem Leistungsprüfstand, den entstehenden Körperschall und dessen Weiterleitung in das Fundament im realen Einbauzustand vorherzusagen. In der Praxis kann somit die vertraglich festgelegte Forderung hinsichtlich der Schwingungs- und Körperschallsituation an der Koppelstelle zum Anwenderfundament häufig erst nach der Fertigstellung des Antriebs und nach erfolgter Installation am späteren Einsatzort überprüft werden.

Ein Verfahren zur Vorausberechnung des übertragenen Körperschalls am Aufstellort einer Maschine ermöglicht bereits im Entwicklungsstadium durch eine Veränderung der Struktureigenschaften des späteren Aufstellortes eine Optimierung hinsichtlich der zu erwarteten Schnelle vorzunehmen.

Vorausberechnung der Schnelle mittels der Impedanzmethode

Zunächst wird das Vorausrechnungsverfahren auf Basis der Eingangsimpedanzen mathematisch hergeleitet [1]. Dabei geht man für den Fall der starren Koppelung zwischen Maschine und Fundament von folgendem Modell aus:



Abbildung 1: Schema der starren Koppelung

Durch freischneiden der einzelnen Systeme kann man die Formel zur Vorausberechnung ableiten. Die Admittanz h ist der Kehrwert der Impedanz und beschreibt die Schwingfreudigkeit eines Systems.

$$v_{F2} = \frac{h_{F2}(h_{F1} - h_M)}{h_{F1}(h_{F2} - h_M)} v_{F1} \quad [\text{m s}^{-1}] \quad (1)$$

Für die Berechnung der Schwingungsanregung auf dem späteren Anwenderfundament werden die Impedanzen der beteiligten Systeme sowie die Schnelle auf dem Prüffundament benötigt. Die Betriebskraft F_0 wird für die Berechnung nicht benötigt, dies setzt jedoch voraus, dass sich diese Kraft bei Betrieb auf verschiedenen Fundamenten nicht ändert.

In der Praxis wird die Maschine häufig über Abkoppellemente mit dem Fundament verbunden. Das hier gezeigte Verfahren kann auch für den Fall der elastischen Koppelung zwischen Maschine und Fundament verwendet werden, wenn das Abkoppellement als Teil der Maschine betrachtet wird.

Beschreibung der Impedanz in Abhängigkeit der lokalen Struktureigenschaften

Um den Einfluss der Änderung der Struktureigenschaften zu berücksichtigen, wird mittels des SDOF-Verfahrens (Single Degree of Freedom) das Fundament in Abhängigkeit der lokalen Masse, Dämpfung und Steifigkeit beschrieben [2][3]. Dabei wird die Idee genutzt, eine reale Struktur als Summe von Einmassenschwingern aufzufassen.

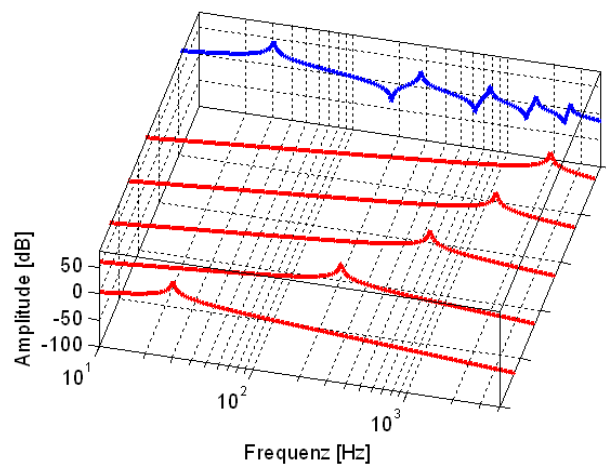


Abbildung 2: SDOF-Verfahren

Durch diese mathematische Beschreibung besteht ein Zusammenhang zwischen Eingangsimpedanz und den mechanischen Struktureigenschaften Masse, Dämpfung und Steifigkeit.

$$\underline{H}_i(\Omega) = \frac{1}{[(k_i - m_i \cdot \Omega^2) + j \cdot d_i \cdot \Omega]} \quad [\text{m s N}^{-1}] \quad (2)$$

Superponiert man nun die Admittanzen aller Einmassenschwinger auf, ergibt sich die Admittanz des Ersatzmodells. Damit können diese lokalen Eigenschaften individuell verändert und die Auswirkung auf die Eingangsimpedanz berechnet werden.

Vorausberechnung der Schwingschnelle bei Variation der lokalen Struktureigenschaften

Führt man die Erkenntnisse der Vorausberechnung und der Beschreibung der Impedanz zusammen, kann der übertragene Körperschall an der Koppelstelle in Abhängigkeit der Struktureigenschaften berechnet werden. Damit lassen sich mit den vorhandenen Berechnungsverfahren grundlegende Diskussionen des Schwingungsverhaltens in Abhängigkeit der Struktureigenschaften durchführen

Als Beispiel wird ein Schiffsantrieb aus dem BMBF-Verbundprojekt AAL betrachtet. Als Antriebseinheit dient ein 6-Zylinder Diesel-Schiffsmotor der auf dem Ausschnitt des Original-Schiffsrumpps montiert ist [4].

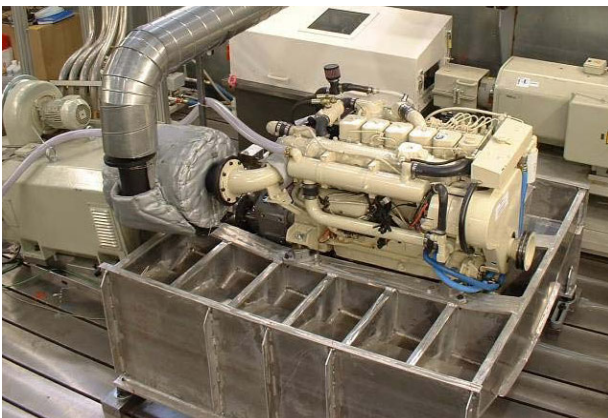


Abbildung 3: Schiffsfundament

Zunächst wird der Schwingungspegel an der Koppelstelle bei Leerlauf des Motors gemessen. Im Anschluss werden die Impedanzen des Fundaments und des Motors an der Koppelstelle ermittelt. Mittels des SDOF-Verfahrens werden aus der Impedanz des Schiffsfundaments die lokalen Struktureigenschaften Masse, Dämpfung und Steifigkeit bestimmt.

Diese Struktureigenschaften können im Folgenden variiert und die Auswirkung auf den Übertragenen Körperschall untersucht werden. Beispielhaft wird dies für den Fall der lokalen Steifigkeit in Abb. 4 durchgeführt. Die Steifigkeit wird dabei bis zum Faktor zwei der ursprünglichen Steifigkeit erhöht. Man erkennt dabei deutlich, wie der übertragene Körperschall im gesamten Frequenzbereich reduziert wird.

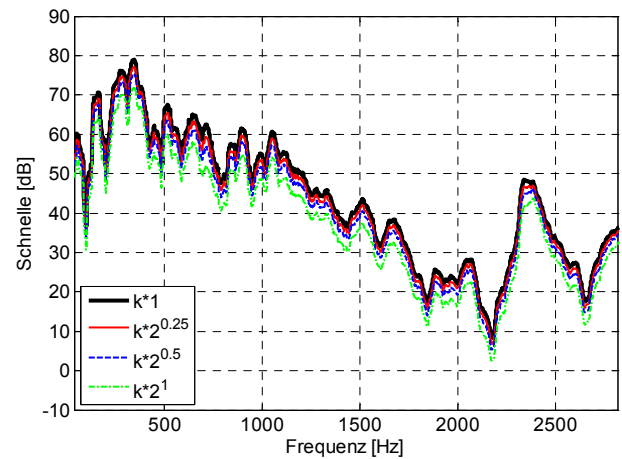


Abbildung 4: Schnelle bei Variation der Steifigkeit

Schlussfolgerung

Mit den Erkenntnissen dieser Arbeit können die immer häufiger auftretenden akustischen Forderungen in Lastenheften von Industrieanlagen, die die Übertragung von Körperschall einschränken, in Abhängigkeit der späteren Aufstellbedingungen bereits vor der Installation am späteren Einsatzort überprüft werden.

Außerdem können bereits im Entwicklungsstadium die Systeme und ggf. auch die verwendeten Abkoppellemente so aufeinander abgestimmt werden, dass eine Minimierung hinsichtlich der zu erwarteten Schnelle durchgeführt werden kann.

Ebenso kann mit dem Berechnungsverfahren die Frage beantwortet werden, wie viel Potenzial eine Verringerung bzw. Erhöhung der lokalen Struktureigenschaften im Vergleich zu einer gegebenen Konfiguration birgt. Dies schließt auch die Ausführung einer Stahlstruktur aus dem Werkstoff Aluminium mit ein.

Literatur

- [1] W. D. Langer: *Untersuchungen zur Vorausberechenbarkeit der Körperschallübertragung auf Fundamente durch mehrpunktig aufgestellte Maschinen*, Technische Hochschule Darmstadt, 1984
- [2] F.G. Kollmann: *Maschinenakustik. Grundlagen, Messtechnik, Berechnung, Beeinflussung*, Springer-Verlag, Berlin, 1993
- [3] R. Storm: *Kompodium Maschinenakustik Teil 1: Maschinenakustik Grundlagen*, Studienskript TU Darmstadt, FG Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik, 2006
- [4] M. Matthias: *Aktive Schwingungsreduzierung: ruhige Fahrt auf Mega-Yachten*, Fraunhofer-Gesellschaft, Laboratorium für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF), VDI-Zeitschrift Konstruktion, 4, 2007