

Numerische Simulation der Anregung und Übertragung von Körperschall bei Schienenfahrzeugen am Beispiel eines Kompressors

Léo Baurès, Bert Stegemann, Erik Thoß

Bombardier Transportation, MLN/TSSV, Hennigsdorf, Email: leo.baures@de.transport.bombardier.com

Einleitung

Bei Schienenfahrzeugen werden Kompressoren u.a. zur Erzeugung von Druckluft für Brems- und Luftfedersysteme und in Klimaanlage eingesetzt. Anhand des Beispiels eines Bremskompressors auf dem Dach eines niederflurigen Regionaltriebzuges, wird die Körperschallübertragung mit einem hybriden FE-SEA Modell untersucht. Die Körperschallanregung wird durch die Eigenschaften der Quelle (Kraft und Mobilität), durch Isolationselemente im Ausbreitungsweg und durch die Empfangsstruktur (Mobilität der Befestigungspunkte) beeinflusst. Bei der numerischen Simulation wird als Eingabeparameter für die Quelle die gemessene blockierte Kraft gegen ein starres Fundament verwendet. Die Mobilitäten der Befestigungspunkte werden rechnerisch ermittelt.

Problemstellung

Aufgrund von Bauraumeinschränkungen im Unterflurbereich eines niederflurigen Regionaltriebzuges wird die Luftversorgungsanlage mit dem Kompressor auf dem Dach des Zuges montiert. Ziel dieser Untersuchung ist es zu ermitteln, ob das Schwingungsisolationskonzept für die Einhaltung von vorgegebenen Schwingungsgrenzen auf dem Innenfußboden ausreicht oder ob zusätzliche Maßnahmen, wie z.B. ein Zwischenrahmen zur Verteilung der Kräfte, erforderlich sind. Eine ähnliche Problemstellung ist bereits für den Anwendungsfall eines Klimaverdichters in einem Führerraumklimagerät einer Straßenbahn untersucht worden [1]. Andere Beispiele zur Körperschallberechnung bei Schienenfahrzeugstrukturen sind ebenfalls in der Literatur beschrieben ([2] bis [7]).

Hybrides Rechenmodell

Ein numerisches Modell des untersuchten Fahrzeugs wird erstellt. Die größeren Systeme mit einer höheren Modendichte werden als SEA Systeme definiert, die steifen Subsysteme mit geringerer Modendichte als FEM Systeme. Abb. 1 zeigt das hybride Modell.

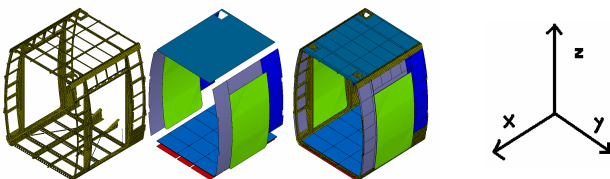


Abb. 1: Von links nach rechts: FE Subsysteme, SEA Subsysteme und gesamtes Modell.

Aufgrund begrenzter Rechenleistung kann nicht der gesamte Mittelwagen berechnet werden. Die Randbedingungen sind so definiert, dass die Knoten an beiden Schnittebenen ($x = 0$

und $x = x_{\max}$) in x -Richtung fest eingespannt sind. Im Fahrzeug wird eine Luftkavität definiert. Diese wird vorerst nur mit dem Dach und dem Fußboden gekoppelt. Im ersten Schritt wird der Innenfußboden im Modell nicht schwimmend gelagert. Decken- und Seitenwandverkleidung werden nicht modelliert.

Eigenformen

Als erstes wird eine numerische Modalanalyse des Fahrzeugs im Frequenzbereich 16 Hz – 200 Hz durchgeführt. Von besonderem Interesse sind die Eigenmoden und Eigenfrequenzen der Dachkonstruktion. Die erste Biegemode des Dachs liegt bei $f = 18$ Hz und die zweite bei $f = 64$ Hz. Abb. 2 zeigt diese Biegeeigenformen.

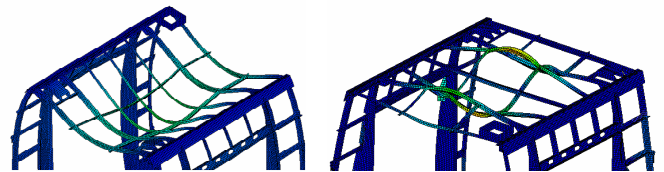


Abb. 2: Links: erste Biegemode des Dachs, $f = 18$ Hz
Rechts: zweite Biegemode des Dachs $f = 64$ Hz.

Die Biegemoden der Längsträger sind durch das Reduzieren des Modells in x -Richtung künstlich geschaffen worden und werden deswegen nicht berücksichtigt.

Mobilitäten

Anschließend werden die Punktmobilitäten der vorgesehenen Befestigungspunkte berechnet (Abb. 3).

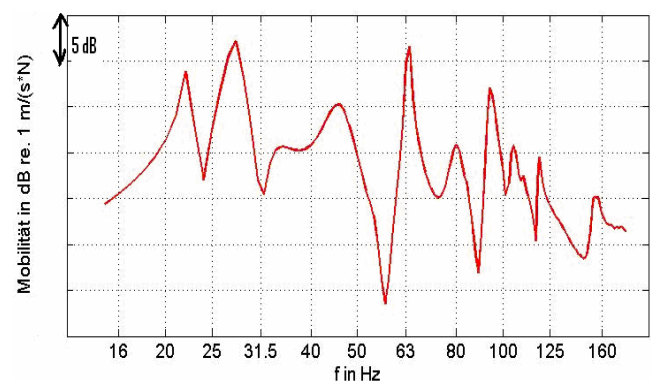


Abb. 3: Mobilität der Befestigungspunkte am Wagenkasten.

Die Kurve zeigt vier Mobilitätsamplitudenspitzen bei $f = 22$ Hz, $f = 28$ Hz, $f = 64$ Hz und $f = 94$ Hz.

Anregung

Der ölfreie Kolbenkompressor wird mit 50 Hz betrieben. Die dynamische Kraft gegen ein starres Fundament wird an den vier Befestigungspunkten unterhalb der Schwingungsisolatoren gemessen (Abb. 4).

Die höchste Kraftamplitude wird von der ersten Rotationsfrequenz bei 24.5 Hz verursacht (Abb. 5).

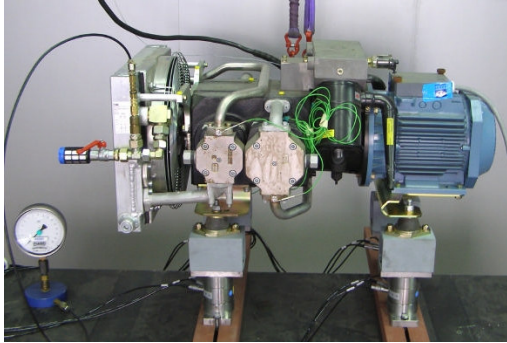


Abb. 4: Kompressor bei der Messung der dynamischen Kraft.

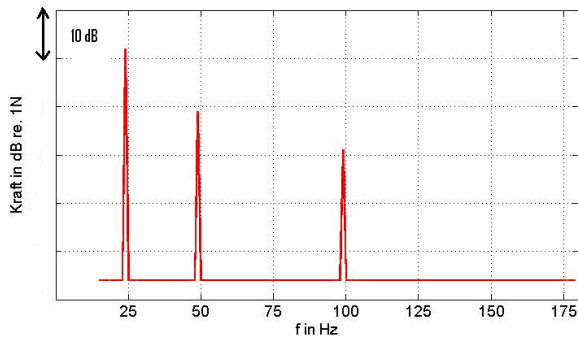


Abb. 5: Gemessene blockierte Kraft des Kompressors.

Berechnungsergebnisse

Die gemessene Kraft wird im Modell an den vier Befestigungspunkten eingeleitet. Mit Hilfe der gekoppelten FEM-SEA Berechnung wird die Schwingschnelle des inneren Fußbodens berechnet. Die Schwingschnelle des Innenfußbodens wird mit Grenzwerten verglichen (Abb. 6).

Der Körperschallanteil des Schalldruckpegels, der durch den Kompressor verursacht wird, wird berechnet (Abb. 7).

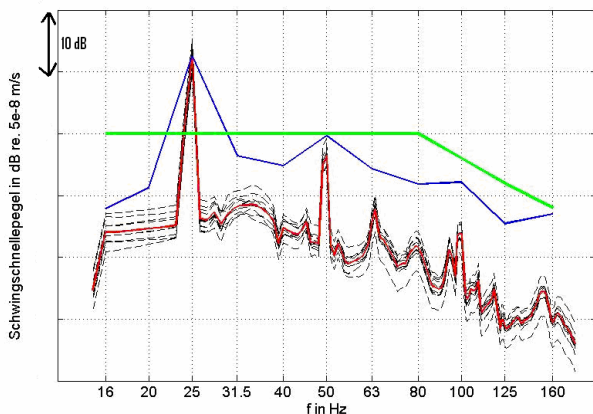


Abb. 6: Schwingschnelle auf dem Innenboden, Rot: Räumlicher Mittelwert in Schmalbändern. Blau: Terzbänder. Grün: Grenzwert in Terzbändern.

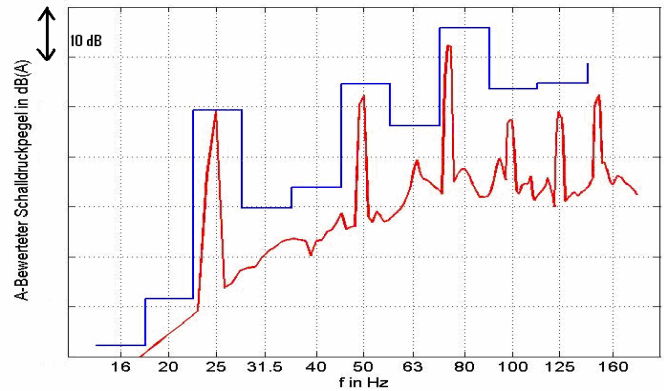


Abb. 7: Schalldruckpegel in der Luftkavität. Blau: Terzbänder, Rot: Schmalbandig.

Schlussfolgerung

Das hybride FE-SEA Verfahren ermöglicht die Anregung an bestimmten Punkten und somit die Berücksichtigung von Punktmobilitäten. Als Ergebnis, z.B. Schwingschnelle und Schalldruck, werden räumlich gemittelte Pegel, wie in der SEA üblich, ausgegeben.

Bei der gewählten vereinfachenden Modellbildung überschreiten die berechneten Schwingschnellepegel des Innenbodens die Grenzwerte im Frequenzbereich der ersten Ordnung des Kompressors. Nach Verbesserung des Modells, z. B. durch Implementierung des schwimmenden Fußbodens, wird die Prognose für die Detailsauslegung der Kompressorsisolation und/oder der Fußbodenisolation genutzt.

Literatur

- [1] Orrenius, U. & Cotoni, V. SEA predictions in railway structures: Improving accuracy by adding a 'little bit' of FE. 4th Styrian NVH Congress. Graz. 2006.
- [2] Fehse, K.-R. & Kohrs, T. Der Einsatz von (in-)direkten Messverfahren und Berechnungen zur Charakterisierung und Quantifizierung von Körperschallquellen im Design-Prozess von Schienenfahrzeugen. DAGA. München. 2005.
- [3] Fehse, K.-R. & Kohrs, T. Körperschallspezifische Berechnungen im vibro-akustischen Design-/ Änderungs-Prozess von Schienenfahrzeugen. DAGA. Braunschweig. 2006.
- [4] Fehse, K.-R. & Kohrs, T. Körperschallquellen-Charakterisierung, Positionierung & Interaktion mit Empfangsstrukturen. DAGA. Stuttgart. 2007.
- [5] Ratka, A. Simulation des Körperschalleintrags eines Dieselmotors in einem Regionalzug. VDI Tagung - Schwingungen in Anlagen und Maschinen. Veitshöchheim bei Würzburg. 2001.
- [6] Ratka, A. & Tikvicki, M. A Method for the Evaluation of Structure-Borne Noise in Railway Vehicles. 8th IWRN. Buxton. 2005.
- [7] Meyer G. & Broschart, T. Körperschallverhalten und akustische Prognose moderner Hochgeschwindigkeitszüge. ZEV+DET Glas. Ann. 122. 9/10. 1998.