

## Ein alternatives Berechnungsverfahren für die Körperschall-Ausbreitung in Fahrzeugstrukturen

Björn Knöfel<sup>1</sup>, Thomas Dietrich-Radt<sup>1</sup>, Ennes Sarradj<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TU Dresden Institut für Akustik und Sprachkommunikation, D-01062 Dresden, Deutschland,

E-Mail: bjoern.knoefel@ias.et.tu-dresden.de

<sup>2</sup> Gesellschaft für Akustikforschung mbH, D-01099 Dresden, E-Mail: ennes.sarradj@akustikforschung.de

### Einleitung

Die Berechnung der hochfrequenten Körperschall-Ausbreitung ist in vielen Bereichen der Fahrzeugindustrie von großem Interesse. Alternativ zur Statistischen Energieanalyse (SEA) ist ein auf einer Randintegralmethode basierendes Verfahren, die High Frequency Boundary Element Method (HFBEM), auf seine Anwendbarkeit in der Praxis getestet worden.

### Theorie

Ausgehend von Huygens Prinzip kann die Schallausbreitung in einem geschlossenen Gebiet berechnet werden, indem die Überlagerung von primären, die Struktur zu Schwingungen anregenden Quellen, und von sekundären, auf den Strukturrändern befindlichen Quellen, berücksichtigt wird [1], [3]. Nach Auswertung des Quell-Gleichungssystems erhält man mit der HFBEM die Schallenergiegedichte an beliebigen Punkten dieses Gebietes, aus der z.B. die Schallschnellepegel  $L_v$  der Struktur berechnet werden können.

### Referenzstrukturen

Um einen Vergleich mit dem Schwingungsverhalten realer Strukturen zu erzielen, erfolgte der Aufbau von drei vereinfachten Strukturen verschiedener Fahrzeugbereiche, an denen vibroakustische Messungen durchgeführt worden sind.

#### Verrippte Platte

Eine generische Fahrzeugstruktur aus dem Nutzfahrzeugbereich stellt die erste Struktur dar. Die 2 mm dicke isotrope Aluminiumplatte der Abmaße 0,80 m x 2 m wurde im Rahmen der Untersuchungen mit Längs- und Querversteifungen in Form von I- bzw. T-Trägern versehen. Abbildung 1 zeigt die Struktur mit aufgeschraubten Längsträgern (*grün*) und Querträgern (*gelb*) [1], [2].

#### Bodenblech mit Radhäusern

Als zweite Struktur wurde ein Bodenblech mit angekoppelten Radhäusern (Abb. 1) verwendet. Das Stahlblech mit einer Dicke von 1 mm besitzt die Abmaße 1,22 m x 2,50 m. Die Radhäuser wurden mit dem Grundblech verschraubt. Dabei ist der in der Praxis auftretenden Punktschweißverbindung weitestgehend entsprochen worden, indem Schraubenabstand und -durchmesser an die Maße der Punktschweißverbindung Anlehnung fanden.

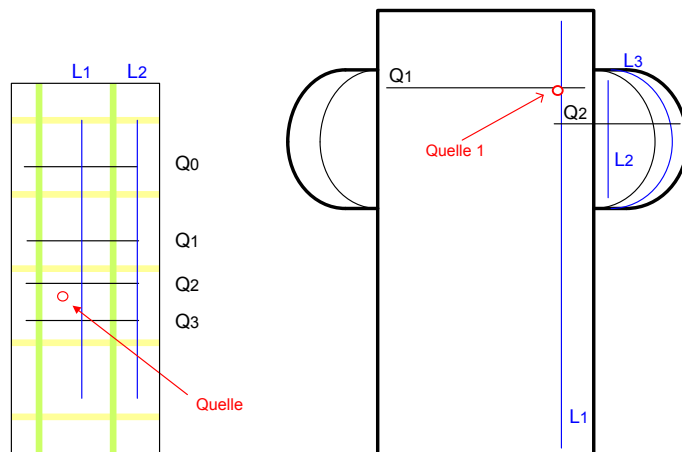


Abb. 1: Verrippte Platte (links), Bodenblech (rechts) mit Radhäusern und Randdämpfung (dick)

### Hochflurbereich eines Regionalzuges

Vier rechteckige Sandwichplatten (Sperrholzverbundplatten BaryVAM), die auf zwei parallelen Stahlträgern schwimmend gelagert sind, stellen ein Modell des Hochflurbereiches des Regionalzuges AGC dar (Abb. 2). Die Verbindung der drei Plattenstoßstellen erfolgt mit jeweils einem Aluminiumstreifen, der über die gesamte Plattenbreite in die angrenzenden ausgefrästen BaryVAM-Platten gesteckt wird. Mit einer elastischen Sylomer-Unterlage zwischen beiden Stahlträgern und den Platten wird erreicht, dass am Stahlträger angeregter Körperschall auf dem Ausbreitungsweg zu den Platten weitgehend gedämpft wird.

### Messungen

Sowohl in den Messungen, als auch in den Berechnungen mit SEA und HFBEM werden die Schwingungen in Form einer Übertragungsfunktion  $FRF = 10 \log (v^2 Z_0 / P)$  dB dargestellt. Dabei bezeichnen  $P$  die in das jeweilige System eingespeiste Leistung in W,  $v$  die Struktur-Schwingschnelle in m/s und  $Z_0$  eine Einheitsimpedanz mit dem Wert 1 Ns/m. Die Berechnung der eingespeisten Leistung erfolgte aus gemessener Kraft und Beschleunigung an der Anregungsstelle. Parallel dazu messen Beschleunigungsaufnehmer die Schwingungen der Strukturen. Mit der Power Injection Method wurden die frequenzabhängigen Dämpfungsverlustfaktoren aller drei Strukturen gemessen, wobei sich herausstellte, dass die Genauigkeit sowohl der SEA- als auch der HFBEM-Berechnungen besonders von der Eingangsgröße des Dämpfungsverlustfaktor abhängig sind.

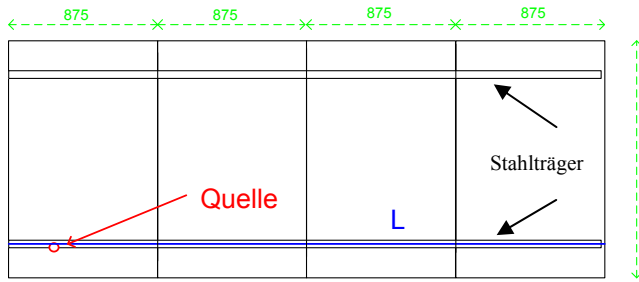


Abb. 2: Zugstruktur, Sicht von oben

## Berechnungen

Alle HFBEM- und SEA-Modelle bestanden aus einzelnen 2d-Strukturen. Die Radhäuser wurden aus je zwei Platten modelliert, wobei sie in Seitenfläche und Mantelfläche unterteilt waren. Stellvertretend für alle Untersuchungen werden die Ergebnisse für den Pfad L1 der Aluminiumplatte im quer- und im kreuzversteiften Zustand (Abb. 3 und 4), für den Pfad Q2 des Bodenblechs mit Randdämpfungsbelag (Abb. 5) und für den Pfad L der Zugstruktur (Abb. 6) vorgestellt.

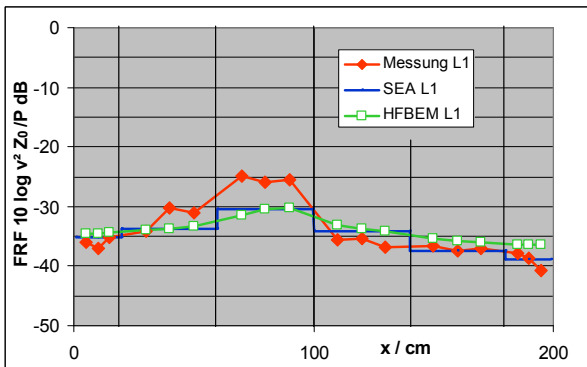


Abb. 3: Pfad L1, Aluplatte,  $f = 4$  kHz, *querversteift*

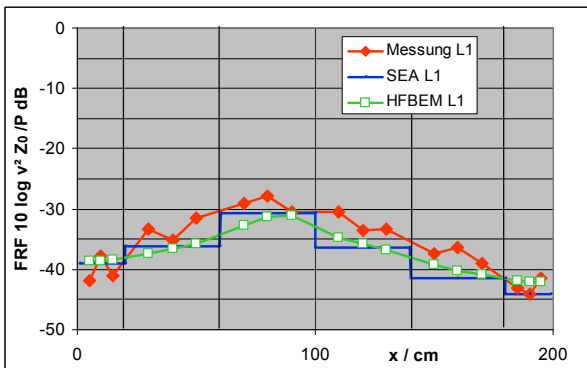


Abb. 4: Pfad L1, Aluplatte,  $f = 4$  kHz, *kreuzversteift*

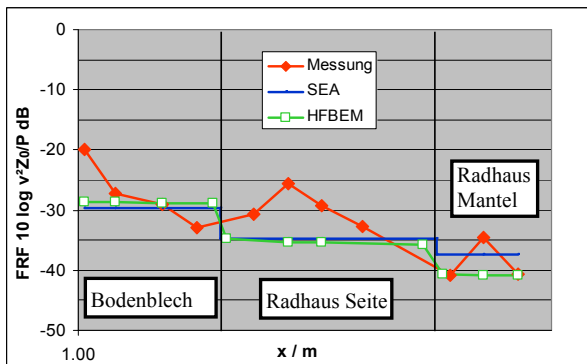


Abb. 5: Pfad Q2, Bodenblech,  $f = 2$  kHz, *randbedämpft*

Für die Berechnung über die Stoßstellen kam ein Algorithmus zum Einsatz, der auch die Transmissionsgrade von Punkt-Linien-Verbindungen berücksichtigt [4].

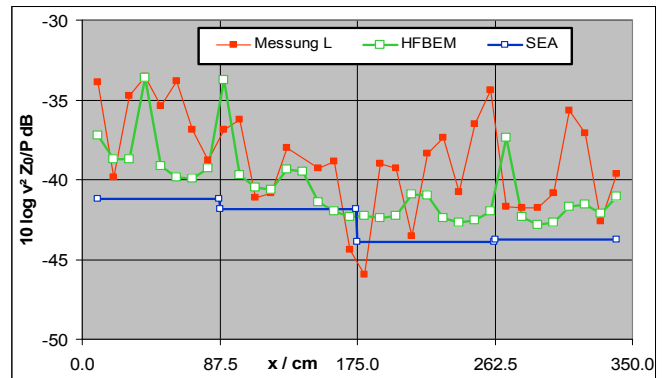


Abb. 6: Pfad L, Zugstruktur,  $f = 1$  kHz, *ohne Sylomer*

Die Zugstruktur wurde an der Unterseite eines Stahlträgers mit einem Shaker zu Biegeschwingungen angeregt (Abb. 2). Die dabei stark ausgeprägten Eigenmoden des Stahlträgers (gemessene FRF-Maxima) bildeten die Grundlage bei der Bestimmung der Quellpositionen und -stärken sowohl für die HFBEM- als auch für die SEA-Berechnung.

## Zusammenfassung

Es hat sich gezeigt, dass die HFBEM gut geeignet ist, hochfrequente Schwingungen zu berechnen. Im Vergleich zur SEA wird speziell bei der versteiften Aluminiumplatte ersichtlich, dass die HFBEM den Pegelverlauf besser wiedergibt und mehr Informationen enthält, als die SEA. Bei höherer Strukturdämpfung kann die HFBEM ihre Vorteile gegenüber der SEA entfalten und einen Pegelabfall prognostizieren, wobei bei niedrigen Dämpfungen beide Verfahren Ergebnisse mit ähnlichem Informationsgehalt besitzen und die SEA aufgrund ihrer schnelleren Berechnung zu bevorzugen ist.

## Förderung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 19U1074A gefördert.

## Literatur

- [1] Knöfel, B., Sarradj, E.: High Frequency Boundary Integral Method as an Alternative to Statistical Energy Analysis. in: Proceedings of the Joint Congress CFA/DAGA 2004, S. 13-14
- [2] Knöfel, B., Sarradj, E.: An alternative method to compute High Frequency Structure Borne Sound in Automotive Structures. 11th International Congress on Sound and Vibration 2004, Skt. Petersburg, S. 3257-3264
- [3] Sarradj, E.: Randintegralmethode für hohe Frequenzen. in: Fortschritte der Akustik 2003, S. 578-579
- [4] Sarradj, E.: Power transmission coefficients for generic structural junctions. in: Proceedings of the Joint Congress CFA/DAGA 2004, S. 321-322