

SEA Modellierung von Doppelwandstrukturen

Alexander Peiffer¹, Stephan Tewes, Stephan Brühl

¹ EADS Innovation Works, 81663 München, Email: alexander.peiffer@eads.net

Einleitung

Die Modellierung von Doppelwandstrukturen durch die Statistische Energie Analyse (SEA) ist für die Beschreibung praktisch relevanter Wandstrukturen in der Luftfahrt sehr wichtig.

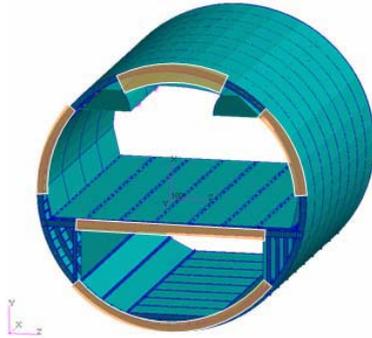


Abbildung 1: Typische Sektion eines Flugzeugs mit Beispielen für Doppelwandaufbauten.

Aber gerade dieser Systemaufbau zeigt besonders die Grenzen der SEA Methode auf, da eine realistische Beschreibung der akustischen Transmission mehrere so genannte indirekte Pfade erfordert. Damit werden einige Grundannahmen der SEA verletzt, die einen rein resonanten Energietransfer zwischen benachbarten Systemen voraussetzen

Anhand einer einfachen Doppelwandstruktur deren Kavität vollständig mit Glaswolle ausgefüllt werden kann wurden verschiedene Modellstrategien untersucht. Dabei werden 2 Schwerpunkte adressiert:

1. Doppelwandkopplung mit ungedämpfter Kavität
2. Materialkonstanten des Fluides in der Doppelwand

Für beide Fälle wurden Messungen und FEM Rechnungen durchgeführt um die Ergebnisse mit mehreren Referenzlösungen zu vergleichen.

Einfacher Doppelwandtestfall

Um für den Testfall komplexe und resonante Transferpfade auszuschließen wurde ein einfacher Testfall für die Doppelwand ausgewählt. Der Aufbau besteht aus 2 Aluminiumblechen der Stärken 1 und 1.4mm. Der Doppelwandabstand beträgt 90mm.

Berechnung der Doppelwandkopplung

Ein Verfahren den Doppelwandpfad zu berechnen ist die Transfermatrixmethode. Hierbei werden die Eigenschaften der einzelnen Lagen in Transfermatrizen beschrieben. Die Ein- und Ausgangsgrößen dieser Zweitore sowie der grundsätzliche Aufbau sind in Abbildung 3 dargestellt.

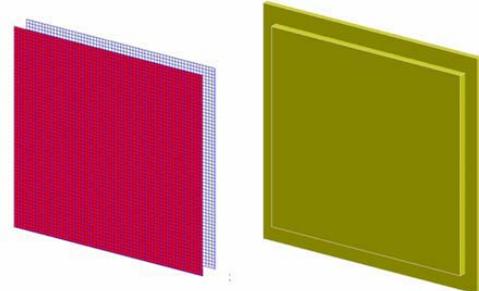


Abbildung 2: Doppelwandaufbau aus Aluminiumblechen der Maße 930x900 mm². Die genaue Form des Kavitätsvolumens ist rechts dargestellt.

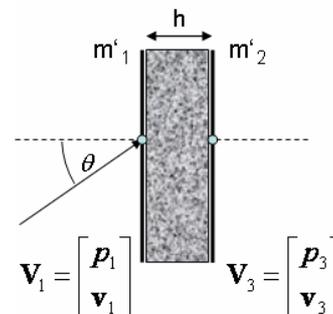


Abbildung 3: Aufbau der Systeme für Berechnung der winkelabhängigen Doppelwandkopplung anhand der Transfermatrixmethode

Die Doppelwand besteht dabei aus einer Fluidschicht beschrieben durch die charakteristische Impedanz z_0 und die Ausbreitungskonstante Γ_0 . Die Platten werden als Schwereschichten beschrieben. Für die jeweiligen Schichten gelten bestimmte Transfermatrizen [2]

Durch Verknüpfung dieser Matrizen, geeignete Randbedingungen sowie Mittelung über einen bestimmten Winkelbereich wird daraus der Transmissionskoeffizient der Doppelwand und damit der Kopplungsfaktor der Doppelwand berechnet. Als Grenzwinkel nimmt man hierbei den üblichen Diffusfeld-Grenzwinkel von 78° .

Die Ergebnisse des ersten Testfalls sind in Abbildung 4 dargestellt. Die FEM Verfahren [1][4] ergeben eine sehr gute Übereinstimmung. Unterhalb von 100 Hz sind die Testergebnisse mit Vorsicht zu genießen, da die Diffusfeldbedingungen unterhalb von 250 Hz in dieser Testkonfiguration nicht gegeben sind. Die SEA Ergebnisse unter Verwendung des typischen Grenzwinkels von 78° unterschätzen das Schalldämmmaß deutlich. Verwendet man einen Grenzwinkel von 30° erhält man eine sehr gute Übereinstimmung.

Eine heuristische Erklärung für dieses Verhalten mag die Tatsache sein das derart flache Einfallswinkel für die Abmaße des Testaufbaus keinen Sinn machen. Generell ist diese Tatsache unbefriedigend, weil sich keine klare Regel für die Bestimmung des Winkels aufstellen lässt.

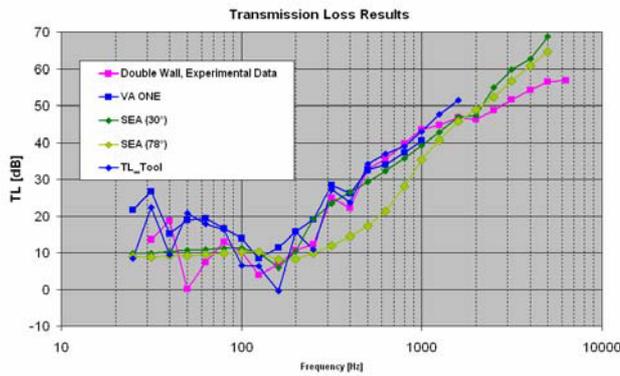


Abbildung 4: Schalldämm-Maße (TL) der SEA Simulation, hybrider FE-Rechnungen und der Test Ergebnisse.

Doppelwand mit Glaswolle

Die präzise Modellierung der mit leichter Glaswolle gefüllten Doppelwand erfordert eine genaue Modellierung der Glaswolle durch ein äquivalentes Fluid. Die typischen Modelle für ein starres Fasergerüst versagen für dieses Material [3]. Die Äquivalenten Fluidparameter wurden mittels eines masseghemmten Fasermodells berechnet. Aufgrund der sehr geringen Steife der Matrix ergeben sich hier bei wesentlich einfacherer Formulierung ähnliche Ergebnisse wie für das Biot-Modell [3]. Für komplett gefüllte Kavitäten müssen sowohl für die Berechnung der Doppelwandkopplung, als auch für die statistischen Eigenschaften des Doppelwandvolumens die frequenzabhängigen Werte des äquivalenten Fluids verwendet werden. Für die FEM Rechnungen wurden die berechnete modale Dämpfung sowie die jeweilige Dichte und Schallgeschwindigkeit in den einzelnen Terzen eingesetzt.

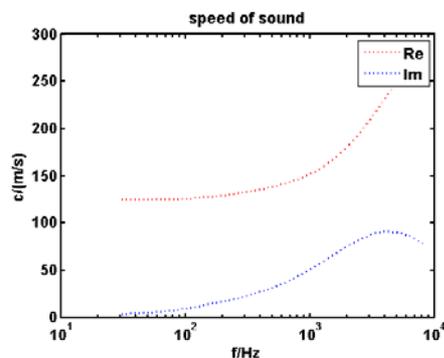


Abbildung 5: Reale und komplexe Schallgeschwindigkeit der Glaswolle.

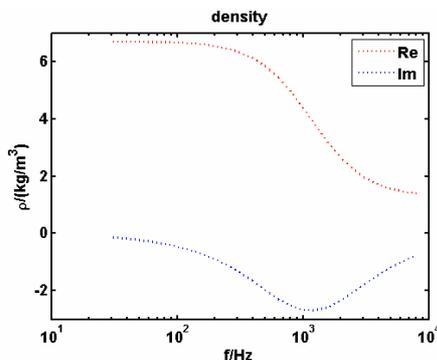


Abbildung 6: Reale und komplex Dichte der Glaswolle

Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen eindrucksvoll, dass für eine korrekte Berechnung ein Fluidmodell mit

frequenzabhängigen Materialkonstanten verwendet werden sollte.

In kommerziellen SEA Paketen wird der Dämpfungsfaktor der Kavität aus der Absorptionsfläche berechnet, die sich aus dem Flächenbelag ergibt. Vergleicht man dies mit der Dämpfung die sich aus der Wellenausbreitung im Glasswollemodell ergibt, dann erkennt man eine deutliche Diskrepanz (Abbildung 7). In allen Rechnungen wurden die Werte der Fluidberechnung verwendet.

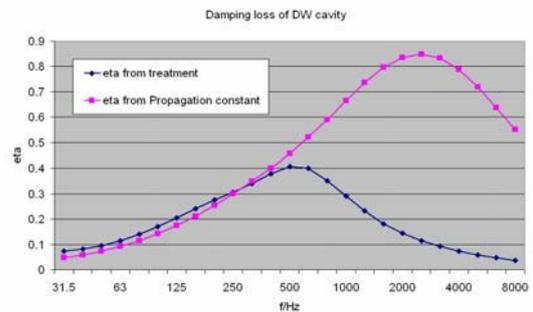


Abbildung 7: Dämpfungsfaktoren des Doppelwandvolumens

Die Ergebnisse der FE Simulation stimmen sehr gut mit den Tests überein. Die SEA Simulation zeigt eine akzeptable Übereinstimmung. Allerdings gleicht jetzt die 78° Variante eher den FE- und Testergebnissen. Gründe hierfür könnten die starke Dämpfung der flachen Winkel aufgrund größerer Strecken sein. Aber auch hier lässt sich weder eine saubere Erklärung formulieren, noch eine klare Richtlinie für die Modellierung erarbeiten.

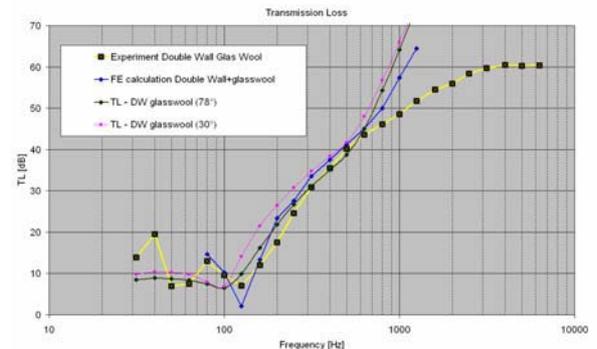


Abbildung 8: TL der Doppelwand mit Glaswolle

Zusammenfassung

Bezüglich der Doppelwandkopplung sind noch einige Verbesserungen in der Modellbeschreibung erforderlich. Die Berechnung mittels hybrider Verfahren unter Verwendung des äquivalenten Fluidmodells ergibt sehr gute Ergebnisse. Für die weitere Arbeit werden modale Ansätze für die Doppelwand untersucht, diese würden dann den Verzicht auf die Grenzwinkeldefinition erlauben. Obligatorisch ist die Verwendung eines Absorberfluidmodells zur Berücksichtigung der physikalischen Eigenschaften der Doppelwandkavität.

Literatur

[1] A.Peiffer et al.: Berechnung des Schalldurchgangs durch Wandstrukturen mittels FEM, DAGA 2005
 [2] J.-F. Allard: Propagation of sound in porous media, Elsevier 1993
 [3] A. Gündel et al: Absorbermodelle zur Berechnung von Flugzeuginnenlärm, DAGA 2007
 [4] www.esi-group.com, VAOne documentation