

## FE-, SEA- und hybride Simulation des Innenlärms von Propellerflugzeugen

Alexander Peiffer<sup>1</sup>, Clemens Moeser, Mahjouob Mezni, Daniel Redmann

<sup>1</sup> EADS Innovation Works, Dep. Noise and Vibration Control, 81667 Munich, Germany, Email: alexander.peiffer@eads.net

### Einleitung

Neue Hochleistungspropeller erzeugen Schallwellen, die auch im hochfrequenten Bereich oberhalb 400Hz die Rumpfstruktur anregen. In diesem Bereich ist die Flugzeugstruktur üblicher Kurzstreckenflugzeuge bereits dynamisch komplex und die Innenlärmprognose erfordert die Verwendung statistischer Verfahren. Im Übergangsbereich verhalten sich einige Subsysteme noch deterministisch, Dies macht eine gemischte hybride FEM/SEA-Modellierung erforderlich. Um den Gültigkeitsbereich der verschiedenen Verfahren zu untersuchen, wurde ein generisches Modell erstellt, welches im Gegensatz zum realen Flugzeug die Anwendung aller Methoden über einen weiten Frequenzbereich erlaubt. Das FE-Modell wird als Referenz für den Vergleich mit zwei hybriden Modellen verwendet und ist in Abb. 1 dargestellt.

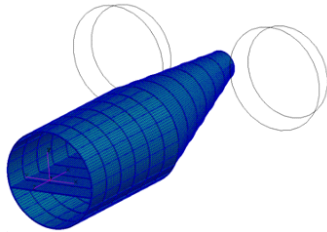


Abbildung 1: FE Modell des generischen Testfalls

### Generischer Testfall

Die Anregung durch gegenläufige Propeller erzeugt eine flächige, deterministische Anregung. Das stellt für die hybride Theorie den Spezialfall der deterministische Anregung dar [1]. Das bedeutet, dass der modale Kraftvektor berechnet werden muss und dass die schmalbandigen Ergebnisse stark schwanken. Um die FE Rechnung mit den hybriden Ergebnissen im Sinne des Ensemblemittelwerts der SEA zu vergleichen, muss auch für die FE Rechnung eine Mittelung über künstlich erzeugte Repräsentanten durchgeführt werden [2]. Wie man in Abb. 2 sehen kann, ist der Schwerpunkt der Anregung im Bereich des Sektion 19. Da eine deterministische Oberflächenlast zur Zeit noch nicht implementiert ist und die Kraftanregung im Heck einen besonders anspruchsvollen Testfall darstellt, wurde in dieser ersten Studie eine Punktkraft als Anregung in diesem Bereich gewählt.

### FE Referenz

Das FE-Modell besteht aus einem aus Schalen- und Balkenelementen modellierten Strukturteil und einem Fluidanteil aus akustischen finiten Elementen. Die Berechnungen wurden mit der Software MSC NASTRAN aus-

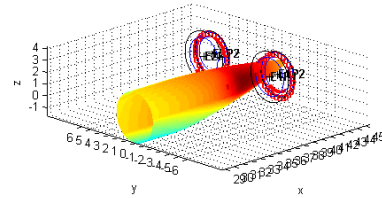


Abbildung 2: Druckamplitude auf der Rumpfoberfläche

geführt. Die FE-Referenzergebnisse stammen aus der direkten Frequenzantwort des gekoppelten Modells. Die Modale Basis für die hybriden Modelle folgt aus einer Modalanalyse der Struktur. Alle Innenschallpegel werden durch quadratische Mittelung des Schalldrucks über die gesamten Kavitäten berechnet, damit dieser mit den Werten des Diffusfeldansatzes der SEA verglichen werden kann. Zur Erzeugung verschiedener Repräsentanten im Sinne der SEA werden 10% der Strukturmasse durch 200 zufällig verteilte Punktmassen auf der Gitterknoten Oberfläche verteilt.

### Hybride Modelle

Bei den Untersuchungen der FE-Modelle der Flugzeugstruktur hat sich gezeigt, dass die simple Trennung in SEA und FEM Subsysteme über Struktur und Fluid nicht funktioniert. Es gibt Struktursysteme die sich in diesem Frequenzbereich bereits statistisch verhalten. Das betrifft in der Sektion 19 die großflächigen Spante. Um zu zeigen, dass beide Ansätze gleichwertig sind werden Varianten mit SEA-Spanten (Hyb3) und FEM-Spanten (Hyb4) berechnet. In den Abbildungen 3 und 4 sind diese dargestellt. In Abb. 3 sind die SEA Spante deutlich zu erkennen. In Abb. 5 sind die hybriden Kopplungsflächen und

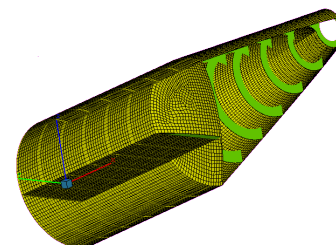


Abbildung 3: Hybrides Model 3 mit statistisch modellierten Spanten

-linien dargestellt. Die Kavitäten mit ihren Bezeichnungen sind zu sehen, sowie die FE Kopplungen, die jedoch in der hybriden Modellierung nicht ausgewertet werden.

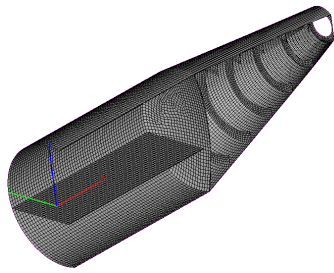


Abbildung 4: Hybrides Modell 4 mit voll deterministisch modellierter Struktur

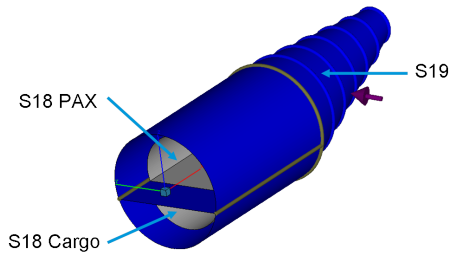


Abbildung 5: Kopplungen des hybrides Modells und Bezeichnungen der SEA Kavitäten

## Results

Der Effekt der dynamischen Komplexität ist in Abb. 6 dargestellt. Die rote Kurve zeigt das Original FE-Modell<sup>1</sup>, die 20 grauen das Ergebnis für jeweils einen Repräsentant. Die blaue Kurve stellt das Ensemblemittel dar. Gut zu erkennen ist die Variation der Ergebnisse. Dies zeigt, dass ein Vergleich von SEA mit FE ohne Mittelung nicht viel Sinn macht. Auch eine Bandmittelung ist der Ensemblemittelung nicht gleich zu setzen. Generell ist eine FE-Simulation fraglich in diesem Frequenzbereich, da eine ähnliche Variation auch in der Fertigung auftreten wird. Die Übereinstimmung der Ergebnisse in

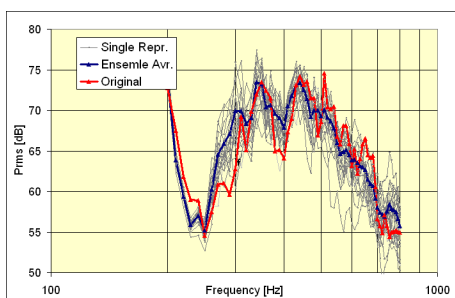


Abbildung 6: Innenschallpegel

Abb. 7 ist für alle 3 Modelle im Bereich 400-700 Hz sehr gut. Das entspricht den Gültigkeitsgrenzen der SEA für die Kavitäten sowie der oberen Frequenz aufgrund der modalen Basis. Die Methode an sich gilt damit für beide Hybridvarianten als validiert. Ein Qualitätsunterschied ist nicht festzustellen. Die Motivation für die Variante 4 war nicht eine bessere Modellierung, sondern der Nachweis das diese Modellierung der Spante funktioniert, wenn lokale Moden eine FE-Modellierung nicht erlauben. Die

<sup>1</sup>Also auch einen Repräsentanten des Ensembles

Schwankung der hybriden Ergebnisse folgt daraus, dass die verbleibenden FE Subsysteme in beiden Modellen bereits dynamisch komplex sind (1500 Moden). Das heißt, dass auch in den hybriden Modellen im Prinzip eine Ensemblemittelung durchgeführt werden müsste.

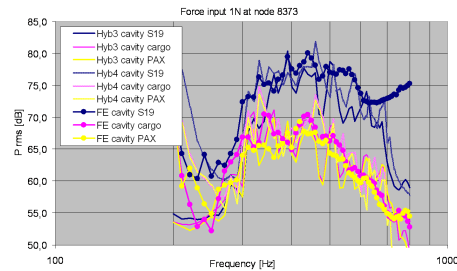


Abbildung 7: Innenschallpegel der Varianten

Das zweite wichtige Ergebnis betrifft die gemittelte Geschwindigkeit der Spanten. In Abb. 8 ist eine gute Übereinstimmung im Gesamtverlauf zwischen den Modellen zu erkennen, allerdings hätte auch hier eine Ensemblemittelung mit Punktmassen auf den Spanten stattfinden müssen. Daher schwanken die Geschwindigkeiten hier ebenfalls sehr stark.

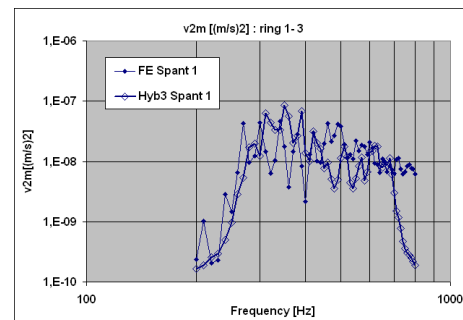


Abbildung 8: Innenschallpegel

## Fazit

Die Gültigkeit hybrider SEA/FEM-Modellierung von Propellerflugzeugen wurde an einem Testfall realistischer Größenordnung verifiziert. Die geringe Dämpfung und die punktförmigen Anregung stellt eine sehr hohe Anforderung dar, die daher als Referenz für anderen deterministische Anregungen gilt. Ein Vergleich zwischen FE und hybrider FEM/SEA erfordert immer eine Ensemblemittelung. Weitere Untersuchungen mit Stukturmodellen der Sektion 18 in SEA werden folgen, da dies für große reale Flugzeugmodelle mit Sicherheit erforderlich sein wird.

## Literatur

- [1] Peiffer, A.: Hybride FEM/SEA-Modellierung von Hochleistungs-Propeller Flugzeugen, DAGA 2010
- [2] Shorter, P.J., Langley R.S.: Vibro-acoustic analysis of complex systems. J. Sound Vib. 288 (2005), 669-699