

Numerische Untersuchung von aktiven Randabschlüssen

Alexander Schulz¹, Manuel Baschke¹, Delf Sachau¹

¹ Professur für Mechatronik, 22043 Hamburg, E-Mail: Alexander.Schulz@hsu-hh.de

Einleitung

Die akustische Auslegung von Flugzeugen spielt in der Wirtschaft eine große Rolle. Aufgrund der hohen Geräuschpegel, die vor allem bei Propeller- und Turboprop-Flugzeugen auftreten, wird der Komfort der Passagiere beeinflusst. Verschiedene Forschungsfelder befassen sich gegenwärtig mit dieser Problematik, um den Geräuschpegel in der Flugzeugkabine zu reduzieren.

Hierzu werden Substrukturen (Paneele) aus dem Gesamtverband (Flugzeugrumpf) entnommen und unter Laborbedingungen untersucht.

Da diese Substrukturen derzeit jedoch nur passiv gelagert sind und somit die Einflüsse des Flugzeugrumpfes auf das Paneel vernachlässigen, wird eine aktive Lagerung benötigt. Diese Veröffentlichung baut auf der erfolgreichen Umsetzung der aktiven Lagerung einer Balkenstruktur auf und erweitert die Betrachtung auf eine Flächenstruktur. [1] Hierzu wird die Problemstellung zunächst numerisch mittels der Software Comsol-Multiphysics untersucht. Diese Software rechnet mittels der finite- Elemente- Methodik und simuliert die hier betrachteten Modelle im Frequenzbereich.

Lösungsweg

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, erste Erkenntnisse über die aktive Lagerung einer Flächenstruktur zu erhalten. Hierzu wird angestrebt, dass sich das Schwingungsverhalten eines definierten Teilgebietes der Flächenstruktur in einer Substruktur mit gleichen geometrischen und physikalischen Eigenschaften nachbildet. So wird durch Verwendung von Sensorik und Aktorik das Verschiebungsverhalten der Flächenstruktur aufgenommen und auf die Substruktur übertragen. Dies wird durch geeignetes Abspeichern der frequenzabhängigen Verschiebungen w und durch das Einlesen dieser Werte mittels Einlesealgorithmik realisiert.

Die Vorgabe der Verschiebungen in der Substruktur ersetzt in dieser Betrachtung den im realen Experiment notwendigen Regelalgorithmus. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde angenommen, dass ein idealer Regelungserfolg vorliegt.

Des Weiteren wird eine weiterführende Betrachtung bezüglich der Positionsanordnung und Anzahl der zur aktiven Lagerung verwendeten Aktoren durchgeführt. Hierzu werden gewählte Anordnungen untersucht und unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien verglichen.

Im Rahmen dieser Betrachtung werden die ersten drei Resonanzfrequenzen der Flächenstruktur untersucht, da in diesen die größten Schwingungsamplituden vorliegen. Der im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Frequenzbereich umschließt die ersten drei Resonanzfrequenzen.

In dieser ersten Betrachtung der aktiven Lagerung einer Flächenstruktur, erfolgt eine vereinfachte Modellierung, welche das in Abbildung 1 dargestellte Flugzeug und das zugehörige, farblich hervorgehobene Strukturelement zu einer schwingfähigen Platte vereinfacht.

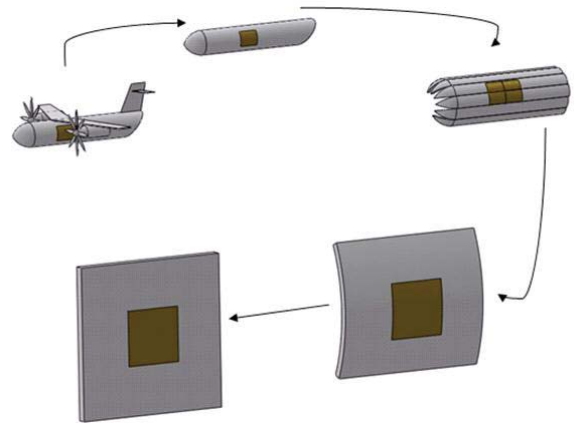


Abbildung 1: Vereinfachende Modellbildung vom Flugzeug zur hier betrachteten Plattenstruktur.

Die zur Berechnung genutzten Parameter der Modelle sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Parameter der Modelle

Name	Formelzeichen	Wert	Einheit
Dichte	ρ	2700	kg/m ³
Isotroper struktureller Verlustfaktor	D	0,01	1
Elastizitätsmodul	E	70e9	Pa
Poissonsche Querkontraktionszahl	μ	0,33	1

Weiterhin werden die Modelle in Teilbereiche unterteilt. Dies bietet den Vorteil einer geeigneten Unterscheidung und der Eindeutigkeit der folgenden Erläuterungen.

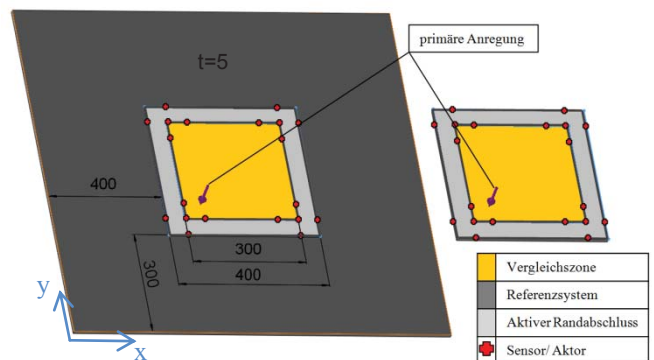


Abbildung 2: Definierte Bereiche des Referenzmodells (links) und der Substruktur (rechts) mit beispielhaften Sensor- und Aktorpositionen und Maßen in mm.

Das Referenzsystem stellt den größten Teil des Referenzmodells dar. Es umschließt und beinhaltet die nachzustellende Geometrie.

Der aktive Randabschluss (ARA) stellt den Übergangsbereich vom Referenzsystem zur Vergleichszone dar. Im ARA sind die Sensoren im Referenzmodell und die Aktoren in der Substruktur angebracht. Der ARA hat die Aufgabe das Schwingungsverhalten der Referenzstruktur zu erfassen und dieses an ausgewählten Positionen der Substruktur

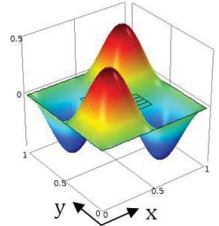
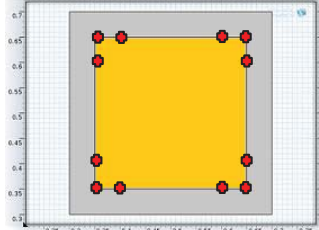
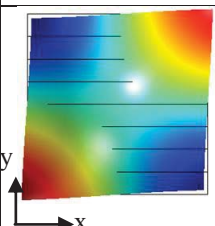
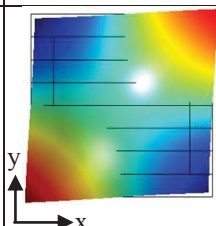
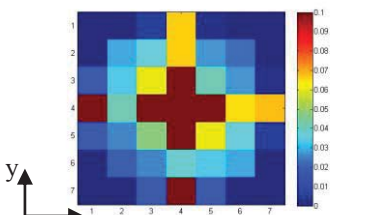
vorzugeben. Folglich realisiert der ARA die aktive Lagerung.

Die Vergleichszone stellt den Kern der Untersuchung dar. Ziel ist es, in der Substruktur das gleiche dynamische Verhalten nachzubilden, welches in der Vergleichszone des Referenzmodells vorliegt. Somit ist die Vergleichszone Anhaltspunkt für die Qualität der Lösung.

Ergebnisse

Zur Untersuchung der Nachbildungen werden verschiedene Kriterien herangezogen. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse zu ausgewählten Kriterien und einer beispielhaften Positionsanordnung der Aktoren. Die in Tabelle 2 aufgeführten Ergebnisse gelten für die dritte Eigenschwingform. Untersucht wurden die Schwingformen und die Verschiebungen w der jeweiligen Vergleichszonen von Referenzmodell und Substruktur. Hierzu wurden die Vergleichszonen während der Simulation mit einem Sensorraster, welches die frequenzabhängigen Verschiebungen mit einem Sensorabstand von 5 cm ermittelt, untersucht.

Tabelle 2: Zusammenfassung Untersuchung dritte Eigenschwingform

Kriterium	Ergebnis	
Eigenschwingform		
Aktor-Anordnung		
Schwingform mit Nachbildung nur Vergleichszone	Referenzmodell	Substruktur
		
Relative Fehlernorm	0,0147	
Relative Fehlermatrix		

Anhand der Schwingformen, welche in gleicher Farbskala dargestellt sind, ist erkennbar, dass die Verschiebungen des Referenzmodells dimensionsrichtig auf die Substruktur übertragen werden. Des Weiteren sind anhand der

Farbunterschiede geringe Ungleichheiten der Schwingformen zu erkennen. Diese treten vor allem in der Mitte der Vergleichszone auf, da hier der maximale Abstand zu den Aktoren besteht. Diese Erkenntnis wird durch das Ergebnis der relativen Fehlernorm bestätigt. Die relative Fehlernorm ist ein Maß für die Güte der nachgestellten Schwingform. Sie vergleicht die Nachbildung mit der Referenzstruktur und bezieht das Ergebnis wiederum auf die Referenzwerte.

$$FN_{EF} = \frac{\|w_{Sub} - w_{Ref}\|}{\|w_{Ref}\|} \quad [%/100] \quad (1)$$

Da die relative Fehlernorm jedoch nur eine Gesamtgüte der Nachbildung ermittelt, wird eine erweiterte Betrachtung mittels der relativen Fehlermatrix durchgeführt.

Die relative Fehlermatrix bildet die relative Fehlernorm für jede Sensorposition. Diese Untersuchung bietet den Vorteil starke lokale Fehlerabweichungen detektieren zu können. Für die in Tabelle 1 dargestellte Fehlermatrix wird die Gütetoleranz der relativen Fehlernorm auf $FN=10\%$ gesetzt. Die relative Fehlermatrix zeigt eine Überschreitung der Fehlertoleranz entlang eines Kreuzes in der Mitte der Struktur auf. Diese Fehler sind auf die Schwingform zurückzuführen. Wie in Tabelle 2 dargestellt, bildet sich in der dritten Eigenschwingform ein Kreuz (grün-hellblau dargestellt), welches den Nulldurchgang beschreibt und damit sehr kleine Verschiebungen w annimmt. Für diese kleinen Werte ist eine genaue Nachbildung schwierig. Des Weiteren kann es in diesem Bereich zu Vorzeichenumkehrungen kommen, da sich die betrachteten Verschiebungen sehr nah am Koordinatenursprung befinden. Da diese Werte jedoch sehr kleine Amplituden annehmen und die Toleranz-überschreitung nur in diesem Bereich auftritt, wird die Schwingform dennoch gut nachgebildet. Somit werden die Erkenntnisse aus der Betrachtung der Schwingform und der relativen Fehlernorm bestätigt.

Zusammenfassung

Zusammenfassend ist zu sagen, dass unter Voraussetzung der getroffenen Annahmen die Nachbildung der Schwingformen in einer Flächenstruktur möglich ist. Die zur Lagerung benötigten Aktoren sind in der Lage das Flächenstrukturelement aktiv zu lagern und die Schwingformen mit geringen Fehlern nachzubilden. Die aktive Lagerung kann durch verschiedene Aktoranordnungen realisiert werden. Diese Anordnungen haben unterschiedliche Vor- und Nachteile und sind für jeden Anwendungsfall gesondert zu wählen.

Da mit der Ordnung der Eigenfrequenz auch die Komplexität der Moden ansteigt, wird die Nachbildung der Schwingformen mit steigenden Eigenfrequenzen zunehmend erschwert. Um ähnliche Schwingformen in der Substruktur zu erzielen, wird mit zunehmender Ordnung auch eine größere Anzahl an Aktoren benötigt.

Literatur

[1] Krepl, M., *Master Thesis: Aktive Lagerung von Flugzeugstrukturelementen*. Helmut Schmidt Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Hamburg, 2013.