

Vergleich experimenteller Daten und numerischer Berechnungen zur Analyse der Dämpfungseigenschaften überströmter Liner für Flugtriebwerke

S. Busse¹, C. Richter¹, C. Heuwinkel², L. Enghardt², I. Röhle², U. Michel^{1,2}, F. Thiele¹

¹ Technische Universität Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, 10623 Berlin,

Email: stefan.busse@dlr.de

² Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Antriebstechnik, Abteilung Triebwerksakustik, 10623 Berlin

Einleitung

Im Rahmen des DFG-geförderten Forschungsprojektes „LIMiT“ (Liner impedance modeling in the time domain with flow) wird auf Basis von experimentell gemessenen Dissipationskoeffizienten eine numerische Impedanzberechnung für akustische Triebwerksauskleidungen, sog. Liner, durchgeführt. Die Ergebnisse der Experimente und numerischen Berechnungen werden im vorliegenden Beitrag für verschiedene industriell relevante Messobjekte gegenübergestellt und diskutiert.

Aufbau des Versuchsstandes

Die Messstrecke ist aus zwei symmetrischen Kanalsektionen mit einem quadratischen Querschnitt von 80x80 mm aufgebaut (Abb. 1). In der Deckplatte jeder Sektion sind an fünf axialen Positionen entlang der Mittellinie Mikrofone wandbündig montiert. Am Ende des jeweiligen Kanalabschnitts ist ein Lautsprecher an der Deckplatte angeschlossen. Zwischen den beiden Sektionen befindet sich ein Halter mit dem Messobjekt, welches als untere Wand montiert ist. Die Strecke ist an beiden Enden reflexionsarm abgeschlossen. Der gesamte Aufbau kann mit Luft bis zu einer mittleren Machzahl von 0.3 durchströmt werden. Dies entspricht realistischen Strömungsbedingungen in einem Triebwerkseinlauf beim Landeanflug.

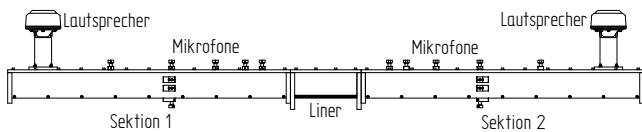


Abbildung 1: Zeichnung der eckigen Messstrecke, die reflexionsarmen Abschlüsse sind nicht dargestellt.

Messobjekte

Als Untersuchungsobjekte wurden Samples (S) verschiedener Triebwerks-Liner der italienischen Firma Alenia Aermacchi S.p.A. verwendet (Tab. 1). Es stand eine Probe mit einem Freiheitsgrad und perforierter Deckplatte (S1, single degree of freedom perforate - SDOF), eine weitere mit zusätzlicher Abdeckung aus Gazegewebe (S2, SDOF linear) sowie ein Liner mit zwei Freiheitsgraden (S3, double degree of freedom - 2DOF) und ebenfalls perforierter Deckplatte zur Verfügung.

Tabelle 1: Übersicht über die Messobjekte

Testobjekt	Typ	Parameter	
		Anz. Freiheitsgrade	Deckplatte
S1	SDOF perforate	1	perforiert
S2	SDOF linear	1	perforiert mit Gaze
S3	2DOF	2	perforiert

Messergebnisse

Die Messungen wurden analog zu den Ausführungen in [1] und [2] für diskrete Frequenzen im Bereich von 210 bis 2100 Hz (ebene Wellenausbreitung) durchgeführt und ausgewertet.

In Abb. 2 ist die ermittelte Dissipation Δ , die ein Maß für die Dämpfung ist, als Funktion der Anregungsfrequenz f aufgetragen. Diese wurde anhand der Reflexions- (r) und Transmissionskoeffizienten (t) unter Berücksichtigung der Störungsmachzahl (M) bestimmt (Gl. 1). Das „+“-Zeichen bezeichnet im Folgenden die in Strömungsrichtung betrachteten Komponenten von Δ , r und t .

$$\Delta^{\pm} = 1 - \left(\frac{(1 \mp M)^2}{(1 \pm M)^2} \cdot |r^{\pm}|^2 + |t^{\pm}|^2 \right) \quad (1)$$

Es zeigt sich, dass der Liner mit einem Freiheitsgrad (S1) ein sehr schmalbandiges Dämpfungsverhalten aufweist. Von diesem Liner wird bei der Frequenz von 1.9 kHz das Dämpfungsmaximum erreicht. Die beiden anderen Liner sind deutlich breitbandiger, das heißt sie dämpfen über einen breiteren Frequenzbereich. Allerdings erreichen sie nicht die gleiche maximale Dissipation des ersten Liners und auch die Verläufe der Kurven weichen etwas voneinander ab. Der Liner mit zusätzlichem Gazegewebe (S2) hat ab ca. 800 Hz eine nahezu konstante Dämpfungsleistung, während bei Liner S3, mit zwei Freiheitsgraden, ein steilerer Anstieg zu verzeichnen ist. Ab 1 kHz dämpft dieser Liner etwa 10% mehr als Liner S2.

Numerisches Modell

Für die Berechnung der Impedanz, ausgehend von den ausgewerteten Messdaten, wird der CAA-Code „TUBA“ verwendet. Dieser basiert räumlich auf einer optimierten

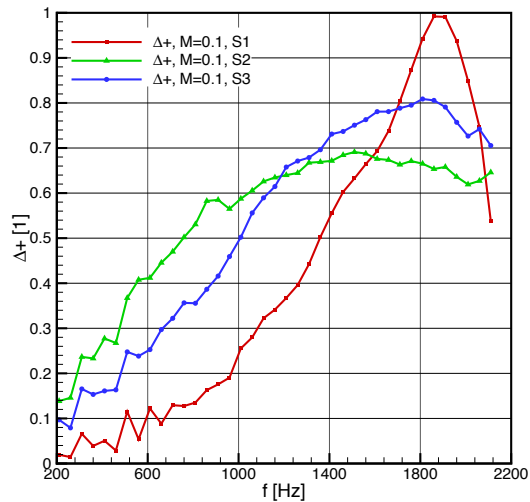


Abbildung 2: Vergleich der Messwerte der Dissipation bei Mach 0.1 (in Strömungsrichtung) für die drei Messobjekte.

finiten Differenzen-Diskretisierung (DRP) und zeitlich auf einem ebenfalls optimierten Runge-Kutta-Schema (LDDRK), beide von vierter Ordnung.

Die Rückrechnung der Impedanz Z erfolgt durch eine Optimierung der fünf Modellparameter (R, m, β, T_l und ε) des erweiterten Helmholtz-Resonator-Modells (EHR) im Zeitbereich [4]:

$$Z(i\omega) = R + i\omega m - i\beta \cot(0.5 \omega T_l - i 0.5 \varepsilon) \quad (2)$$

Dazu wird das Quadrat der Abweichung zwischen der gemessenen Transmission und Reflexion und den numerisch simulierten Größen aufsummiert und über alle Frequenzen minimiert. Die dadurch ermittelten Modellparameter werden benutzt, um den Frequenzgang der komplexwertigen Impedanz $Z = R + iX$ darzustellen (Abb. 3). Zur

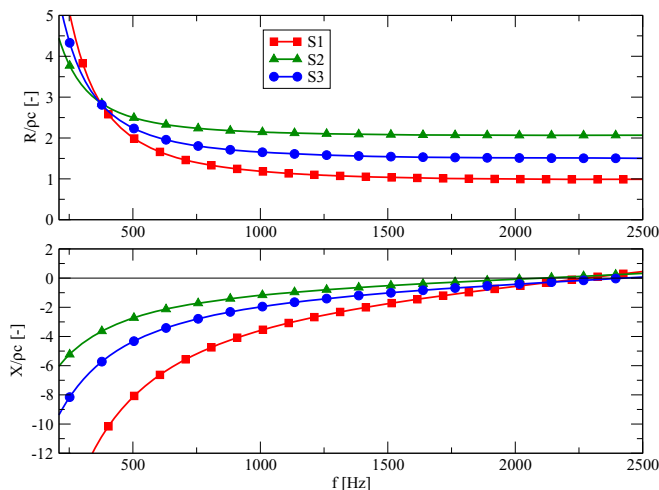


Abbildung 3: Vergleich der numerisch ermittelten Impedanzen ($R = \text{Re}(Z)$ und $X = \text{Im}(Z)$) für alle drei Messobjekte bei Mach 0.1.

Validierung der Rechnungen wurden Reflexion r , Transmission t und Dissipation Δ aus Simulation und Experiment in Abb. 4 beispielhaft für den optimalen Parametersatz von S3 bei Mach 0.1 verglichen.

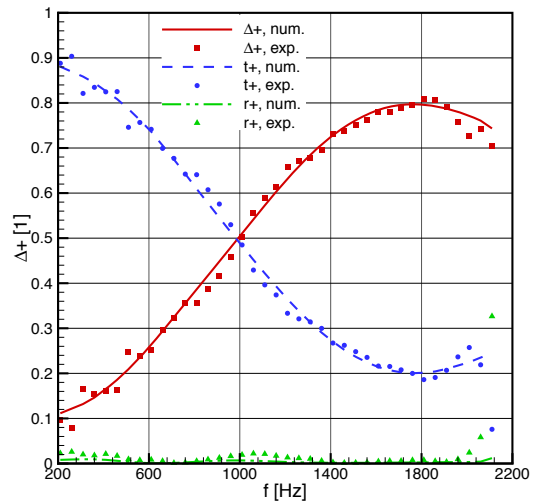


Abbildung 4: Vergleich experimentell (Symbole) und numerisch (Kurven) ermittelter Koeffizienten für Reflexion r , Transmission t und Dissipation Δ exemplarisch für Sample 3 bei Mach 0.1 (in Strömungsrichtung).

Zusammenfassung

Die experimentell und durch numerische Rückrechnung ermittelten Dämpfungskoeffizienten (Abb. 4) zeigen auch unter dem Einfluss einer Überströmung eine sehr gute Übereinstimmung. Diese Ergebnisse erlauben eine allgemeine Beurteilung des Dämpfungsverhaltens in Abhängigkeit von der Anzahl der Freiheitsgrade und der Ausführung der Deckplatte. Die mittels EHR-Modell abgeleiteten Impedanzverläufe können somit für die akustische Charakterisierung der Dämpfer herangezogen werden. Dadurch wird zukünftig die numerische Berechnung der Abstrahlcharakteristik von Triebwerkseinläufen ermöglicht.

Danksagung

Die Autoren danken der Firma Alenia Aermacchi S.p.A. für die Bereitstellung der Messobjekte. Ebenso wird der DFG für die finanzielle Förderung dieses Kooperationsprojektes gedankt.

Literatur

- [1] Busse, S.; Heuwinkel, C.; Enghardt, L.; Röhle, I.: Hochgenaue Bestimmung der akustischen Dämpfung von durchströmten Linern für Triebwerke. DAGA 2007, Stuttgart, März 2007.
- [2] Heuwinkel, C.; Enghardt, L.; Röhle, I.: Untersuchung der akustischen Eigenschaften perforierter Liner. DAGA 2007, Stuttgart, März 2007.
- [3] Richter, C.; Thiele, F.; Li, X. D.; Zhuang, M.: Comparison of Time-Domain Impedance Boundary Conditions for Lined Duct Flows. AIAA Journal 45, 2007, S. 1333-1345.
- [4] Rienstra, S.W.: Impedance Models in Time Domain including the Extended Helmholtz Resonator Model. AIAA Paper 2006-2686, 2006.