

Untersuchung der Zellinteraktion der Resonatorkammern eines nichtlokal reagierenden Schalldämpfers

Stefan Busse¹, Christoph Richter¹, Steffen Nitsch¹, Lars Enghardt², Frank Thiele¹,
Claus Kückens³, Christian Sefrin³ und Ulrich Müller⁴

¹ Technische Universität Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, CFD'CAA Gruppe, 10623 Berlin,
Email: stefan.busse@cf.tu-berlin.de

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

³ PFW Aerospace AG, 67346 Speyer

⁴ MeliCon GmbH, 41836 Hückelhoven-Baal

Einleitung

Bisher wird das nichtlokal reagierende Verhalten von Schalldämpfern, bspw. verursacht durch Drainagekanäle im ausgekleideten Einlauf von Flugtriebwerken, häufig vernachlässigt, obwohl der Einfluss bereits nachgewiesen wurde [5]. Beim untersuchten Messobjekt wird ein noch größerer und gezielt verwendbarer Effekt erwartet. Die Seitenwände der Resonatorzellen sind aufgrund des patentierten Schweißprozesses [6, 7], bei dem die Innenstruktur mit perforierter Deck- und geschlossener Bodenplatte verbunden wird, sowohl an der Oberseite als auch an der Unterseite mit mehreren Schlitzfenstern versehen (Abb. 1). Deshalb ist ein fluid-akustischer Austausch zwischen den Zellen möglich. In einer vorangegangenen Studie zur akustischen Dämpfungscharakteristik konnte bereits eine nichtlineare Abhängigkeit der Dissipation von der akustisch aktiven Oberfläche bzw. Lauflänge herausgearbeitet werden [3]. Ziel der vorliegenden Untersuchung soll es sein, die Dämpfungseffekte infolge der Zellinteraktion und besonderen Bauform des Liners einzugrenzen und ggf. zu quantifizieren. Letztlich stellen die Seitenwände der Resonatorzellen analog zum belochten Deckblech eine am Rand perforierte, quer-durchströmte Platte dar. Aus der Literatur [1, 4] sind bereits damit verbundene Wechselwirkungen zwischen Strömung und Schallausbreitung bekannt. Um diese zusätzlichen Dämpfungseffekte in den Kammern auszuschließen, werden hier Ergebnisse von Messungen ohne Über- bzw. Durchströmung diskutiert.

Testmatrix zur Dissipationsbestimmung

Auf Basis der theoretischen Überlegungen wurde eine technisch leicht realisierbare Testkonfiguration erstellt, die eine erzwungene akustische Zellinteraktion hervorruft (Abb. 1). Mit dem Verhältnis der akustisch effektiven bzw. offenen Länge L und der Kanalhöhe des Prüfstandes D wird eine dimensionslose Vergleichsgröße gebildet:

- PF S1-A - $L/D = 2.5$; Vergleichskonfiguration [3]
- PF S1-B - $L/D = 1.25$; Kommunikation in Längsrichtung forciert

Die zweite Konfiguration ist bspw. für Bereiche von Strömungskanälen relevant, bei denen der Dämpfer auch ein Strukturbauteil ist, aber aufgrund von Ein- oder

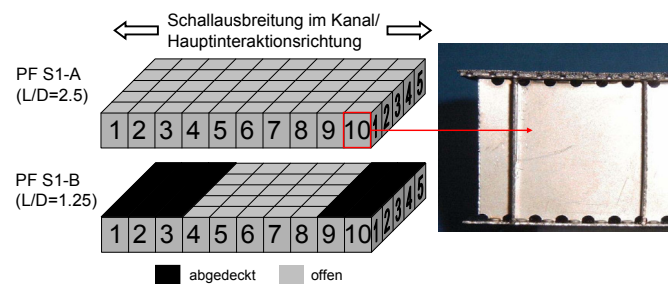


Abbildung 1: Schemata der untersuchten Konfigurationen mit Detailaufnahme einer Zelle.

Anbauteilen statt eines Lochbleches eine verschlossene Deckplatte aufweist (z.B. Bypass in Triebwerken). In [3] wurde ganz bewusst ein asymmetrischer Quereinbau von PF S1-A für das Längenverhältnis $L/D = 1.25$ gewählt, um eine Kommunikation von Zellen in Ausbreitungsrichtung der ebenen Wellen im Kanal zu behindern. Mit der Konfiguration B wird diese Kommunikation erzwungen. Die Messungen zur Bestimmung der Dämpfung von ebenen Schallwellen wurden analog zu den Ausführungen in [3] am örtlichen Prüfstand durchgeführt und ausgewertet. In folgender Gleichung ist Δ^\pm die Dissipation, R^\pm und T^\pm sind energetische Reflexions- und Transmissionsfaktoren:

$$\Delta^\pm = 1 - (R^\pm + T^\pm). \quad (1)$$

Impedanzbestimmung

Mit der bewährten numerischen Methode [2] wurden mithilfe der Größen aus Gl. (1) die Impedanzparameter des Extended Helmholtz Resonator Modells (EHR) [8] bestimmt. Dieses ist jedoch lokal reagierend formuliert:

$$Z(i\omega) = R_f + i\omega m - i\beta \cot(0.5\omega T_1 - i0.5\varepsilon). \quad (2)$$

Während Konfiguration A eine gleichverteilte Impedanz Z hat, wurden bei PF S1-B aufgrund der teilweise verschlossenen Deckfläche unterschiedliche Impedanzbereiche definiert. Dies ermöglicht die Berücksichtigung der mutmaßlich kommunizierenden Nachbarzellen bzw. ihrer zusätzlich akustisch aktiven Volumina. Die Zellreihen 4 und 8 (Abb. 1) haben die gleiche Impedanz Z_1 , während die Reihen 5 bis 7 die Impedanz Z_2 aufweisen. Entsprechend werden zwei Parametersätze (Gl.(2)) optimiert.

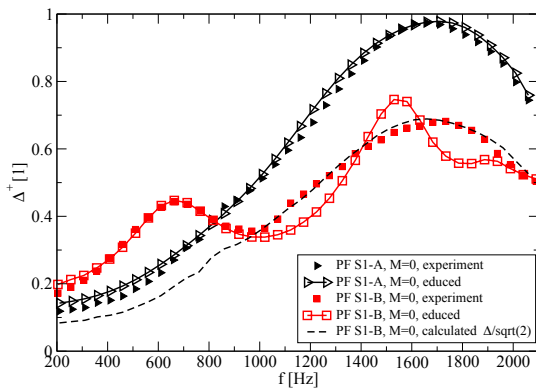


Abbildung 2: Messwerte (Symbole) und numerisch bestimmte Koeffizienten (Kurven) im Vergleich.

Ergebnisdiskussion

In Abb. 2 sind die Ergebnisse der Dissipationsmessung als Funktion der Anregungsfrequenz aufgetragen (Symbole). Die Messwerte weisen nur im Bereich > 1 kHz einen ähnlichen, für PF S1-B entsprechend niedrigeren Dissipationsverlauf auf. Im Bereich darunter bildet sich ein zusätzliches lokales Maximum bei 650 Hz. Dieses liegt bei nahezu der doppelten Frequenz des Versuches mit asymmetrischem Quereinbau in [3] und ist deutlich ausgeprägter. Letzteres deutet auf einen wesentlich höheren Einfluss der Zellinteraktion von Kammern hin, die parallel zur Ausbreitungsrichtung der einfallenden ebenen Welle angeordnet sind. Die durchgezogenen Linien stellen ergänzend die numerischen Vergleichswerte der letzten Impedanz-Iteration dar. Das lokale Maximum wird genau getroffen, während es beim Hauptmaximum zu Abweichungen kommt. Die Parameterverhältnisse in Tab. 1 belegen ebenfalls den Einfluss der abgedeckten, aber kommunizierenden Nachbarzellen. Dies macht sich vor allem bei Z_1 für die innere Dämpfung ε bemerkbar, die stark ansteigt, aber auch die Deckschichtparameter werden beeinträchtigt. Die Resonanzfrequenz f_0 ist für die Randzellen 4 und 8 deutlich tiefer abgestimmt, während sie für die offenen Zellen etwas höher liegt. Dies wird auch bei den normierten Impedanzkurven in Abb. 3 ersichtlich.

Tabelle 1: Quotienten der Impedanzparameter aus Gl. (2)

Imp.	f_0	Parameterverhältnisse				
		$1/T_l$	R_f	$1/m$	β	ε
Z_1/Z	0.29	0.27	0.57	2.25	1.13	3.22
Z_2/Z	1.42	1.44	0.14	2.71	0.47	1.95

Zusammenfassung

Der Nachweis der Zellkommunikation eines mutmaßlich nichtlokal reagierenden Liners ist experimentell gelungen. Auch die auf numerischer Rückrechnung basierende Impedanzverteilung hat dies anhand der veränderten Modellparameter bestätigt. Die Definition unterschiedlicher Impedanzbereiche erwies sich als hilfreich. Es ist nun möglich, die Zellkommunikation durch passende Zellanordnung zum Abstimmen des Dämpfers gezielt zu nutzen.

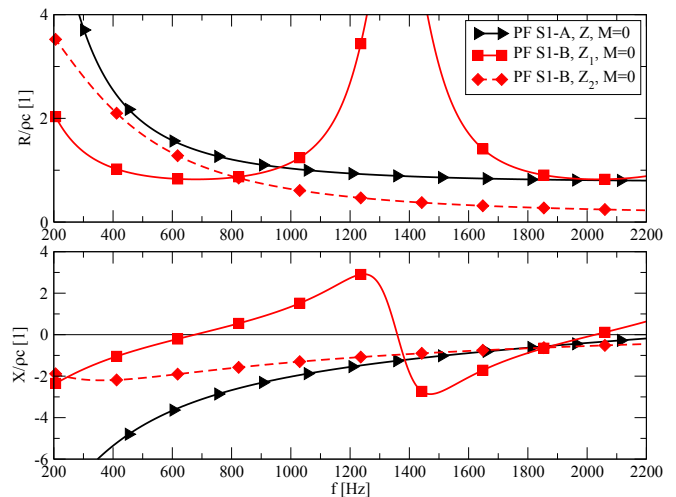


Abbildung 3: Iterativ bestimmte Impedanzkurven.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch die DFG im Rahmen des Projektes LIMiT gefördert.

Literatur

- [1] Bechert, D.; Michel, U.; Pfitzenmaier, E.: Experiments on the transmission of sound through jets. *AIAA Journal* 116 (1978), S. 873-874.
- [2] Busse, S.; Richter, C.; Heuwinkel, C.; Enghardt, L.; Röhle, I.; Michel, U.; Thiele, F.; Ferrante, P. and Scofano, A.: Impedance Deduction Based on Insertion Loss Measurements of Liners under Grazing Flow Conditions. In: 14th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conf., AIAA 2008-3014, Vancouver, Mai 2008.
- [3] Busse, S.; Richter, C.; Kückens, C.; Müller, U.; Enghardt, L.; Thiele, F.: Experimental and Numerical Characterisation of a Non-Locally Reacting Liner. *NAG/DAGA 2009*, Rotterdam, März 2009.
- [4] Heuwinkel, C.; Enghardt, L.; Röhle, I.: Untersuchung der akustischen Eigenschaften perforierter Liner. *DAGA 2007*, Stuttgart, März 2007.
- [5] Murray, P. B.; Ferrante, P. and Scofano, A.: The Influence of Aircraft Nacelle Acoustic Panel Drainage Slots on Duct Attenuation. In: 13th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conf. AIAA 2007-3548, Rom, Mai 2007.
- [6] Patent WO 2004/039580 A1: Method for producing a porous, plate-type metallic composite. 13.05.2004, MELICON GmbH (Müller, U.).
- [7] Patent WO 2007/062781 A2: Woven laminate as a covering for sound absorption of input and output sound absorbers and method for producing an acoustic isolation unit. 07.06.2007, MELICON GmbH.
- [8] Rienstra, S. W.: Impedance Models in Time Domain, Including the Extended Helmholtz Resonator Model. In: 12th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conf., AIAA 2006-2686, Cambridge, Mai 2006.