

Untersuchung der akustischen Eigenschaften perforierter Liner

C. Heuwinkel, L. Enghardt, I. Röhle

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Antriebstechnik, Abteilung Triebwerksakustik, Berlin

Email: Claus.Heuwinkel@dlr.de

Einleitung

Durch die steigenden Anforderungen an Gasturbinen bezüglich Schadstoffemission und Effizienz kommen neue Verbrennungskonzepte zur Anwendung. Dabei kommt es vermehrt, insbesondere bei der Magerverbrennung, zur Ausbildung von thermoakustischen Schwingungen in der Brennkammer. Durch Resonanzeffekte können diese Schwingungen zerstörendes Potential erreichen. Um diesem Verhalten entgegenzuwirken, werden akustische Dämpfer in Form von durchströmten Linern eingesetzt.

Die Dämpfung von Schall durch einen Freistrahler wurde erstmals 1977 von D. Bechert beobachtet [1]. Aber bis zum heutigen Tage ist dieser Effekt noch nicht vollständig erklärbar. Die folgenden Ergebnisse sollen den Einfluss einiger Parameter auf die Schallabsorption darlegen und langfristig zum besseren Verständnis beitragen.

Versuchsaufbau und Parameter

Die Messstrecke ist aus zwei symmetrischen Rohrsektionen mit einem Innendurchmesser von 140 mm aufgebaut. Auf jeder Seite befinden sich Mikrofone an fünf axialen Positionen und ein am Umfang angebrachter Lautsprecher. Die Messstrecke ist an beiden Enden reflexionsarm abgeschlossen. Zwischen den beiden Sektionen befindet sich ein Plenum mit dem Messobjekt (siehe [2]).

Die drei untersuchten Messobjekte unterscheiden sich in der Lochanzahl und dem Abstand zwischen den Löchern. Eine Übersicht über die Geometrieparameter der Messobjekte zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Parameter der Messobjekte

Bezeichnung	1b	1c	1d
Durchmesser		140 mm	
Länge		280 mm	
Wandstärke		1 mm	
Lochdurchmesser		1,5 mm	
Plenumdurchmesser		240 mm	
Lochanzahl	364	104	104
Lochabstand	8,5 mm	8,5 mm	34 mm
Open-Area-Ratio	6,79 %	6,79 %	0,42 %

Als strömungsmechanische Parameter wurden die Einblasgeschwindigkeit durch die Löcher im Bereich von 0-90 m/s und die Strömungsmachzahl im Kanal von 0-0,1 variiert. Im untersuchten Frequenzbereich von 200-1400 Hz sind nur ebene Wellen im Kanal ausbrei-

tungsfähig. Bei den Messungen wurde nur kalte Luft unter normalen Druckverhältnissen eingesetzt.

Reflexion, Transmission und Dissipation

Die akustischen Eigenschaften wurden in Form von Reflexion, Transmission und Dissipation für verschiedene Konfigurationen bestimmt. Der Reflexionsfaktor r ist definiert als das Verhältnis der reflektierten Schalldruckamplitude p_r zur einfallenden Schalldruckamplitude p_i . Ähnliches gilt für den Transmissionsfaktor t , wobei p_t die transmittierte Schalldruckamplitude ist:

$$r = \frac{p_r}{p_i} \quad \text{und} \quad t = \frac{p_t}{p_i} \quad (1)$$

Die Dissipation lässt sich aus dem Reflexions- und Transmissionsfaktor direkt bestimmen. Bei Strömungsüberlagerung ergibt sich die Dissipation Δ zu:

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

Hierbei wird in + und gegen - Strömungsrichtung unterschieden. Der Einfluss der Machzahl resultiert aus dem Energietransport der Strömung [3].

Ergebnisse

Als erstes wird der Einfluss der Einblasgeschwindigkeit auf die Dämpfungseigenschaften der Liner gezeigt. In Abbildung 1 ist die Dissipation in Abhängigkeit von der Frequenz für verschiedene Einblasgeschwindigkeiten für Messobjekt 1b ohne Hauptströmung dargestellt. Es ist zu erkennen, dass schon ohne Einblasung eine minimale Dämpfung vorhanden ist. Durch die Einblasung kann diese aber erheblich vergrößert werden, zuerst für niedrige Frequenzen und dann auch breitbandig. Die Dämpfung erreicht ein Maximum von über 50 % bei einer Einblasgeschwindigkeit von 16-20 m/s und nimmt für höhere Einblasgeschwindigkeiten wieder ab. In Abbildung 2 ist die Dämpfung der oben beschriebenen Konfiguration bei einer Strömungsgeschwindigkeit im Kanal vom $M = 0,1$ dargestellt. Die Einblasgeschwindigkeit verliert an Einfluss und die Kurven liegen nahezu aufeinander, d.h. sogar ohne zusätzliche Einblasung ist ein maximale Dämpfung möglich. Bei sehr hohen Einblasgeschwindigkeiten nimmt die Dämpfung aber wieder ab. Der Einfluss der Hauptströmung wird in Abbildung 3 gezeigt. Durch die Wechselwirkung zwischen der Strömung und dem Messobjekt kann die Dämpfung verbessert werden. Die Ursachen dieses Effekts sind noch zu untersuchen. Erkennbar ist eine ähnliche Charakteristik wie bei

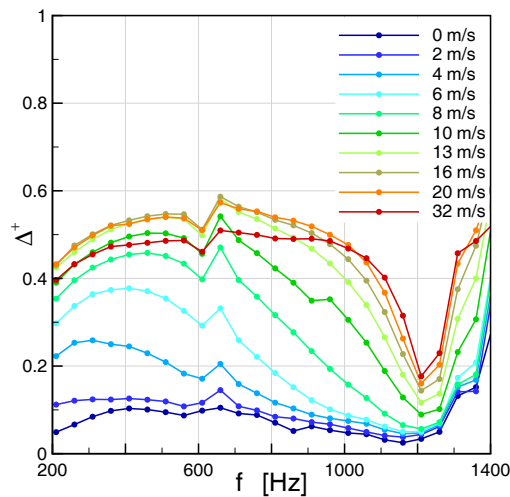


Abbildung 1: Einfluss der Einblasung auf die Dissipation von Messobjekt 1b ohne Hauptströmung.

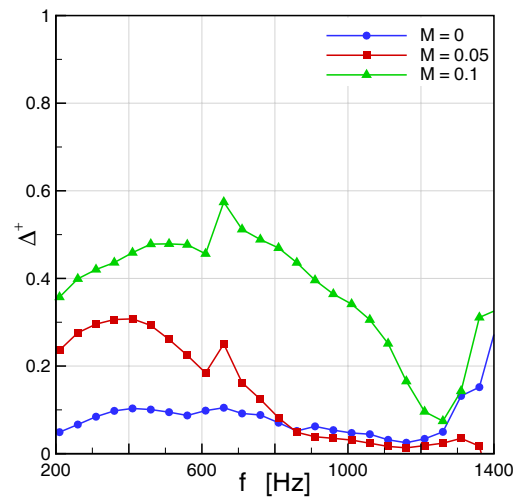


Abbildung 3: Einfluss der Hauptströmung auf die Dissipation von Messobjekt 1b ohne Einblasung.

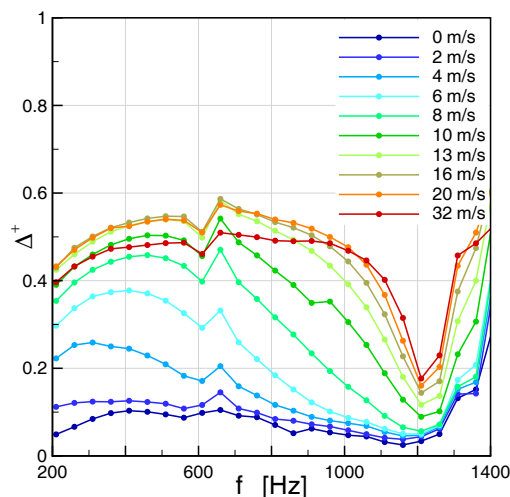


Abbildung 2: Einfluss der Einblasung auf die Dissipation von Messobjekt 1b mit Hauptströmung $M=0,1$.

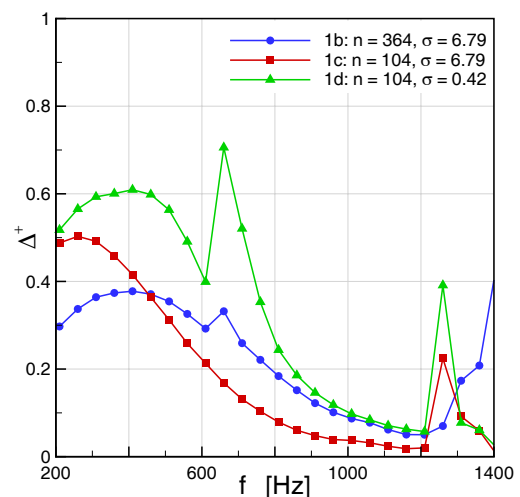


Abbildung 4: Einfluss der Geometrieparameter auf die Dissipation ohne Hauptströmung mit Einblasgeschwindigkeit $v = 6 \text{ m/s}$.

der Einblasung: Zuerst wird die Dämpfung für niedrige Frequenzen verbessert und danach breitbandig. In Abbildung 4 werden die Einflüsse der Geometrieparameter bei einer Einblasgeschwindigkeit von 6 m/s ohne Hauptströmung miteinander verglichen. Es zeigt sich, dass weniger Löcher eine höhere Dämpfung erzielen können. Eine Vergrößerung des Abstandes zwischen den Löchern bewirkt eine weitere Verbesserung. In dieser Konfiguration ist eine Dämpfung von über 60 % möglich.

Zusammenfassung

Die Experimente zeigen, dass mit Hilfe perforierter Wände und Luftenblasung die Schallenergie über einen breiten Frequenzbereich um über 50 % absorbiert werden kann. Bei einigen Konfigurationen konnte dieses Niveau sogar für einen schmalen Frequenzbereich auf über 60 % erhöht werden. Als Einflussgrößen wurden bei dieser Parameterstudie die Einblasgeschwindigkeit, die Strömungsmachzahl im Kanal, die Lochanzahl und der

Lochabstand untersucht. Die besten Ergebnisse für die Dissipation wurden bei einer Einblasgeschwindigkeit von 20 m/s erzielt. Allgemein kann gesagt werden, dass ein vergrößerter Abstand der Löcher zueinander die Dissipation steigert und eine optimale Einblasgeschwindigkeit die breitbandige Absorption verstärkt.

Literatur

- [1] Bechert, D. et al.: Experiments on the transmission of sound through jets. *AIAA Journal* 16 (1978), 873–874
- [2] Heuwinkel, C.: Untersuchung der Akustischen Eigenschaften perforierter Liner, Diplomarbeit (2006), TU Berlin
- [3] Blokhintsev, D.: Acoustics of a nonhomogeneous moving medium (1946). Translation (1956): NACA, Technical Memorandum 1399.