

Schallentstehung an Klimaanlage Rohrkomponenten in Abhängigkeit von der stromaufwärts erzeugten Turbulenz

Thomas Ahlefeldt¹, Carsten Spehr²

¹ DLR Göttingen, Bunsenstr. 10, 37073 Goettingen, Germany, Email: thomas.ahlefeldt@dlr.de

² DLR Braunschweig, Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig, Germany, Email: carsten.spehr@dlr.de

Einleitung

Eine der Lärmquellen in der Flugzeugkabine stellt das Klimaanlage System dar. Um wertvolles Gewicht zu sparen besitzen die Rohrsysteme einen kleinen Durchmesser weshalb hier hohe Fluidgeschwindigkeiten auftreten. Eine der Hauptauslegungskomponenten zur Regulierung des Luftstroms stellen Blenden dar, welche ein wichtiges Element hinsichtlich des generierten Strömungslärms darstellen. Der Schallentstehungsmechanismus steht hierbei in einem deutlichen Zusammenhang mit der, durch vorhergehende Komponenten erzeugten, Turbulenz vor der Blende. Ziel der experimentellen Studie [1] war unter anderem die Bestimmung der durch die Blende generierten Schalleistung L_W in Abhängigkeit von der Vorturbulenz. Diese wurde über zwei unterschiedliche Verfahren (EN ISO 3745 und EN ISO 5136) ermittelt, um diese hinsichtlich des Messaufwandes und ihrer Aussagefähigkeit zu beurteilen.

Im Rahmen der Messungen wurden folgende Parameter variiert:

- die mittlere Strömungsgeschwindigkeit u_∞ im Rohr,
- der Blendeninnendurchmesser d_i und
- die mittlere spezifische kinetische Energie k der turbulenten Schwankungsbewegung vor der Blende.

Messaufbau

Die Messstrecke besteht aus zwei Rohrkomponenten ($d_i = 100$ mm), von der die erste (Turbulenz-erzeuger, stromaufwärts gelegen) eine möglichst leise Verwirbelung erzeugen soll, die an der zweiten Komponente (Blende) zur Schallentstehung führt. Der Einfluss unterschiedlich starker Turbulenzen auf die Schallentstehung kann so durch die Variation des Abstandes $l_{TE,B}$ der beiden Rohrkomponenten untersucht werden.

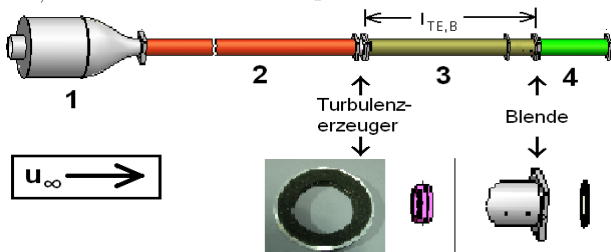


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Messaufbaus mit Beruhigungskammer(1), Vorlaufstrecke(2), Messstrecke(3) mit Turbulenz-erzeuger und Blende, Nachlaufstrecke(4).

Zur Messung von L_W wurden im Anschluss an die Nachlaufstrecke je nach verwendeten Messverfahren zwei reflexionsarme Abschlüsse verwendet. Zur Anwendung kamen das Shenoda-Rohr [2] mit einer Grenzfrequenz von $f_g = 100$ Hz und ein Exponentialtrichter mit $f_g = 200$ Hz. Die Größe k wurde über die Bestimmung der Geschwindigkeitskomponenten des turbulenten Luftstroms durch Hitzdrahtanemometrie unter Verwendung von Kreuzdrahtsonden ermittelt.

Messergebnisse

Schalleistung

Abbildung 2 zeigt die durch die unterschiedlichen Verfahren ermittelten Ergebnisse zweier Messaufbauten im Vergleich.

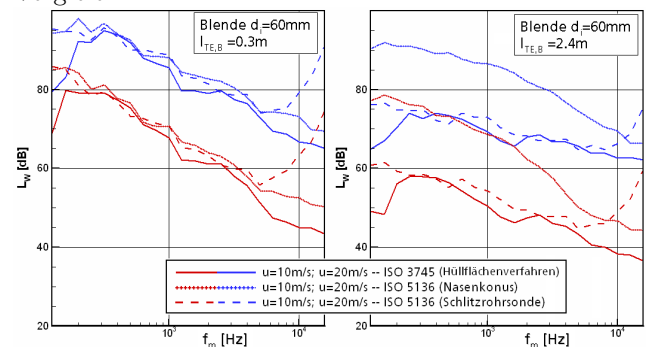


Abbildung 2: Vergleich der durch die unterschiedlichen Messverfahren ermittelten Schalleistung für eine Blende. Messkonstellation: $l_{TE,B} = 0,3$ m (links) und $l_{TE,B} = 2,4$ m (rechts).

Im linken Teil der Abbildung sieht man die verschiedenen Ergebnisse einer Blende im Abstand von $l_{TE,B} = 0,3$ m für zwei Anströmgeschwindigkeiten. Bei hohen Schalleistungspegeln zeigen die Ergebnisse der unterschiedlichen Messverfahren im Verlauf eine recht gute Übereinstimmung. Die Abweichungen im tieffrequenten Bereich sind auf die unterschiedliche Grenzfrequenz der verwendeten Abschlüsse zurückzuführen. Oberhalb von $f_m = 4$ kHz zeigt sich die deutliche Abweichung der Messungen nach ISO 5136. Dies ist auf die ungenügend anwendbaren Korrekturfaktoren C_2 und $C_{3,4}$ (siehe ISO 5136) zurückzuführen. Im rechten Teil der Abbildung sind vergleichend die Ergebnisse im Abstand von $l_{TE,B} = 2,4$ m dargestellt. Hier ist eine deutliche Abweichung der Messungen mit dem Nasenkonus zu sehen. Diese wesentlich höheren Messergebnisse lassen auf eine nicht ausreichende Trennung des akustischen Signals von den turbulenten Druckschwankungen schließen.

Geschwindigkeitsfeld

Mittels einer Kreuzdrahtsonde wurden im Abstand von 50 mm vor den Blenden die Komponenten $\vec{v} = \vec{v} + \vec{v}'$ über den Rohrquerschnitt ermittelt. Der hieraus ermittelte Turbulenzgrad erwies sich als relativ unabhängig von u_∞ . Die Ergebnisse der Mittelung sind Abbildung 3 zu entnehmen. Zur Betrachtung der Abhängigkeit von $L_{W,total}$ von der Vorturbulenz wurde für jede Blende der mittlere Turbulenzgrad bzw. \bar{k} vor der Blendenkante betrachtet.

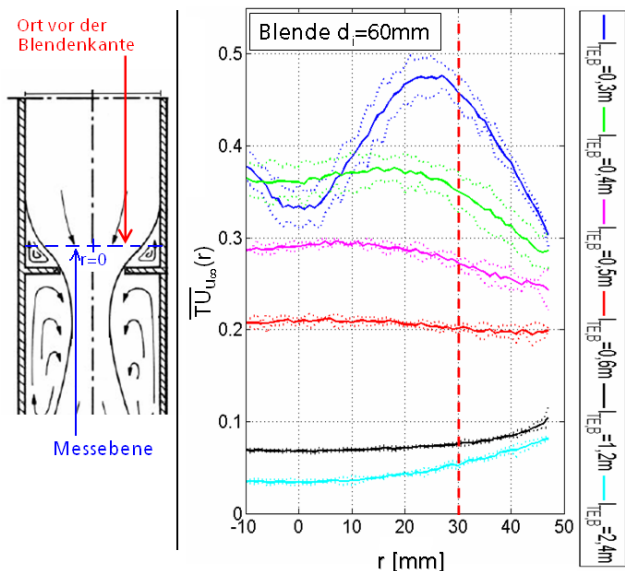


Abbildung 3: Ermittelter lokaler Turbulenzgrad im Rohr vor einer Blende. Der dargestellte Turbulenzgrad ergibt sich aus einer Mittelung über alle Anströmgeschwindigkeiten, die gepunkteten Linien geben die Standardabweichung an. Die rote Linie (- -) bei $r = 30$ mm markiert die Messwerte vor der Blendenkante (siehe linke Abbildung, nach [3]).

Auswertung

Die Gesamtschalleistung wurde in Beziehung zu \bar{k} gesetzt und eine Skalierung nach u_∞ durchgeführt. Außerdem wurde die Beziehung von \bar{k} zum Abstand $l_{TE,B}$ untersucht:

$$L_{W,total} = f(\bar{k}, u_\infty) \leftarrow \bar{k} = f(u_\infty, l_{TE,B})$$

$$\Rightarrow L_{W,total} = f(u_\infty, l_{TE,B})$$

Aus der Untersuchung dieses Zusammenhanges kann man folgende empirische Gleichung aufstellen:

$$L_{W,total} \approx A_i \log_{10}\left(\frac{u_\infty}{m/s}\right) + B_i \log_{10}\left(\frac{l_{TE,B}}{m^2/s^2}\right) + C_i \text{ [dB]}$$

Tabelle 1: Koeffizienten der empirischen Gleichung.

Blende d_i [mm]	ISO 5136; $L_{W,tot}$ [dB]		
	A_i	B_i	C_i
60	35,42	-19,24	50,60
70	47,67	-23,35	31,54
80	47,51	-20,62	27,32

In Abbildung 4 ist eine gute Übereinstimmung des entwickelten Modells mit den Messergebnissen zu sehen. Im Bereich von $l_{TE,B} = 0,3$ bis $0,6$ m und

$u_\infty = 10$ bis 20 m/s beträgt die maximale Differenz zwischen Modell und Messergebnissen $\Delta L_{W,total} \leq 2$ dB.

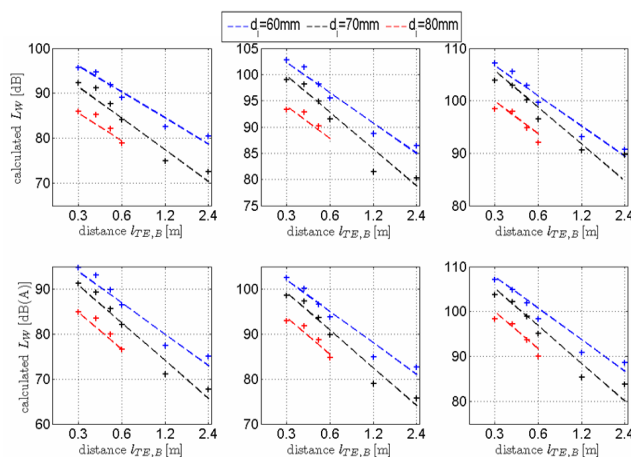


Abbildung 4: Darstellung der Ergebnisse des empirischen Modells (- -) für verschiedene Blenden und Anströmgeschwindigkeiten über dem Abstand $l_{TE,B}$. Zum Vergleich sind die zugehörigen Messwerte (+) dargestellt.

Aus den Koeffizienten lässt sich auch die mittlere Abhängigkeit der abgestrahlten Schalleistung von u_∞ bzw. $l_{TE,B}$ ablesen. Aus den Koeffizienten A_i und B_i ergeben sich so folgende Proportionalitäten:

- $L_{W,total} \sim u_\infty^{4,4}$ und $L_{W,total} \sim l_{TE,B}^{-2,1}$

Zusammenfassung

Die Schalleistung wurde durch zwei verschiedene Messverfahren (ISO 3745 und ISO 5136) ermittelt. Es zeigten sich Einschränkungen durch die untere Grenzfrequenz der verwendeten Rohrabslüsse und durch den Einfluss der turbulenten Strömung auf die gewonnenen Messergebnisse. Im Vergleich der Ergebnisse findet sich eine gute Übereinstimmung der angewendeten Normen. Ein empirisches Modell kann die durch eine Blende generierte Gesamtschalleistung in Abhängigkeit vom Abstand zu einer vorhergehenden Blende und der mittleren Strömungsgeschwindigkeit prognostizieren. Die Abweichungen zu den Messergebnissen betragen hierbei innerhalb eines betrachteten Bereiches maximal 2 dB. Zusammenfassend wurde somit auch eine umfangreiche Datenbasis zur Validierung numerischer Modelle geschaffen.

Literatur

- [1] Ahlefeldt, T.: Bestimmung von signifikanten Strömungsparametern für die Vorhersage des Strömungslärms an einer Rohrblende. Diplomarbeit. Technische Universität Berlin, 2007
- [2] Shenoda, F.B.: Reflexionsarme Abschlüsse für durchströmte Kanäle. Akustik und Schwingungstechnik, VDE-Verlag GmbH, Berlin, 1972: S.269
- [3] Koch G. u.a.: Laborskript zur Vorlesung Messtechnik und Sensorik. Grundlagen Durchflussmessung, Universität Bremen, 2006