

Hinterkantenschallmodell für poröse Tragflügel

Thomas Geyer, Ennes Sarradj

Lehrstuhl Technische Akustik, BTU Cottbus, 03046 Cottbus, Deutschland, Email: thomas.geyer@tu-cottbus.de

Einleitung

Die Verwendung luftdurchlässiger Materialien ist eine Möglichkeit, den an der Hinterkante von aerodynamischen Tragflügeln entstehenden Schall zu mindern. Am Lehrstuhl Technische Akustik der BTU Cottbus wurde eine experimentelle Studie zur Untersuchung der Schallentstehung an komplett porösen Tragflügelprofilen durchgeführt [1]. Ziel dieser Studie ist es, ein Modell zur Vorhersage dieses Hinterkantenschalls zu bilden.

Im Folgenden soll die Entwicklung eines einfachen, physikalisch basierten Vorhersagemodells für die Schallentstehung an porösen Modellprofilen im Überblick dargestellt werden. Basis für dieses Modell sind detaillierte akustische Messungen an porösen Profilen sowie Hitzdrahtmessungen in der Grenzschicht ausgewählter Profile [2].

Messungen

Die Messungen fanden in einem aeroakustischen Freistrahwindkanal an 16 porösen Tragflügelprofilen und einem nichtporösen Referenzprofil statt. Die Modelle haben eine SD7003-Profilform mit einer Sehnenlänge von 0,235 m und einer Spannweite von etwa 0,4 m. Die verwendeten porösen Materialien sind gekennzeichnet durch ihren längenbezogenen Strömungswiderstand Ξ .

Die akustischen Messungen erfolgten mit einem ebenen, über den Profilen außerhalb der Strömung angebrachten 56-Kanal-Mikrofonarray, zusätzlich fanden Hitzdrahtmessungen in der turbulenten Grenzschicht von vier porösen Profilen und dem Referenzprofil mit Hilfe einer Eindraht-Grenzschichtsonde statt.

Aus den Hitzdrahtmessungen an einem festen Punkt über der Hinterkante der jeweiligen Profile (unabhängig von der unterschiedlichen Grenzschichtdicke) wurde sowohl das Terzspektrum der turbulenten Geschwindigkeitsschwankungen Φ (Turbulenzspektrum) als auch die zeitlich gemittelte Geschwindigkeit \bar{u} berechnet. Diese Daten bilden, gemittelt über Saug- und Druckseite des Profils, die Basis für das Hinterkantenschallmodell.

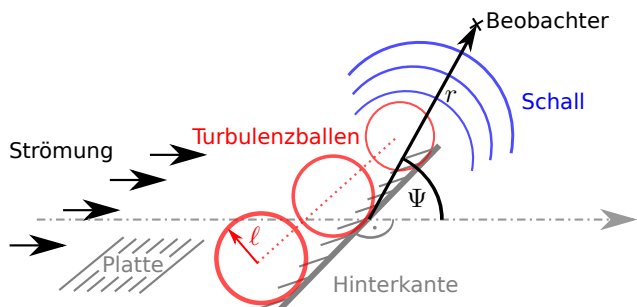


Bild 1: Schallentstehung an einer halbunendlichen Platte [3]

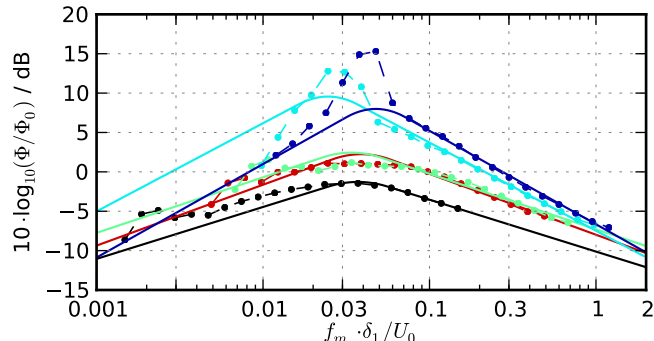


Bild 2: Modellierung der gemessenen Turbulenzspektren, normiert mit $\Phi_0 = 1 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ (Punkte: Messwerte, Striche: Näherungsfunktionen, unterschiedliche Farben entsprechen unterschiedlichen porösen Profilen, schwarz: Referenzprofil)

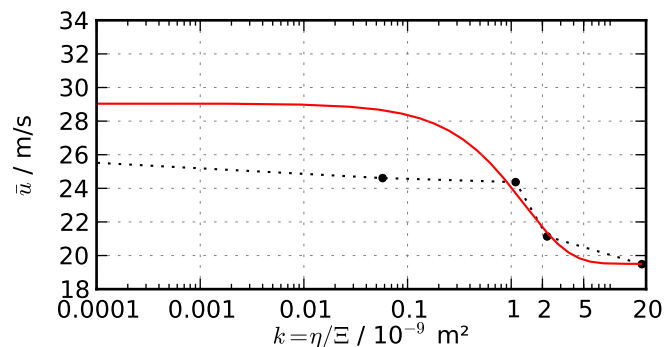


Bild 3: Mittlere Geschwindigkeit in der Grenzschicht in Abhängigkeit der Permeabilität k , $\eta = 18,2 \cdot 10^{-6} \text{ kg}/(\text{m s})$ (schwarz: Messwerte, rot: Näherungsfunktion)

Modellbildung

Grundlage der Modellentwicklung ist die Theorie von Ffowcs Williams und Hall [3], welche vereinfacht die Bewegung eines walzenförmigen Turbulenzballens über die Hinterkante einer halbunendlichen Platte beschreibt (Bild 1). Das hier entwickelte Modell basiert dabei auf der Annahme, dass das Spektrum des an der Profilhinterkante entstehenden Schalls vom Spektrum der Turbulenz abhängt, während die Amplitude maßgeblich von der Turbulenzkonvektionsgeschwindigkeit beeinflusst wird. Ausgehend von der von Ffowcs Williams und Hall entwickelten Formel lässt sich unter Verwendung des Turbulenzspektrums Φ und der Turbulenzkonvektionsgeschwindigkeit U_k folgende Formulierung ableiten:

$$\bar{p}^2 = \frac{\rho^2 \cdot U_k^5 \cdot b^2 \cdot (\Phi/U_k^2) \cdot \sin^2 \frac{\Psi}{2}}{c \cdot r^2} \quad (1)$$

Gleichung (1) dient der Berechnung des maximalen Schalldrucks an einem Punkt im Fernfeld der Hinterkante innerhalb einer Ebene normal zur Profils Spannweite. Dabei ist ρ die Fluidichte, b die Profils Spannweite, c

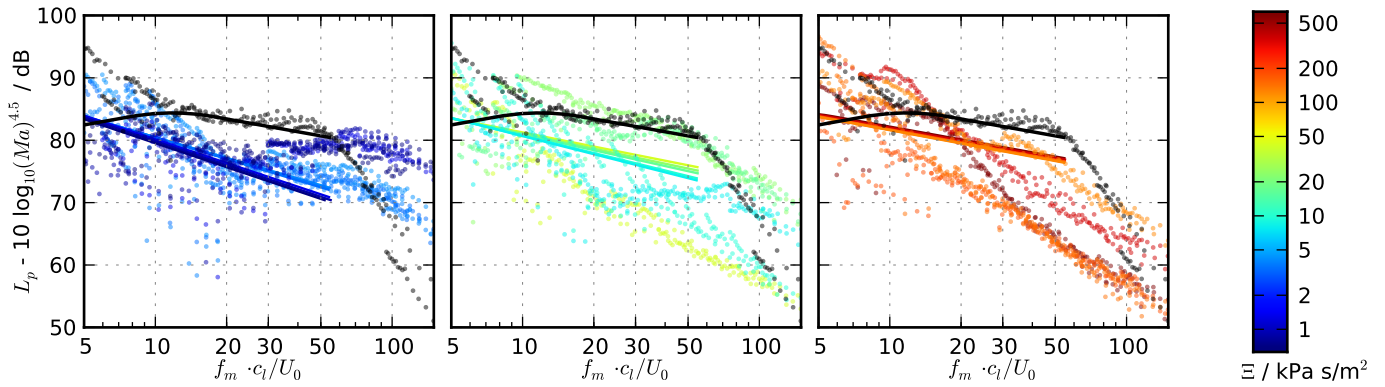


Bild 4: Vergleich der anhand des entwickelten Modells vorhergesagten Schalldruckpegel (Linien) mit den Messwerten (Punkte) (von links nach rechts: kleine, mittlere, hohe längenbezogene Strömungswiderstände, schwarz: nichtporöses Referenzprofil)

die Schallgeschwindigkeit, r der Abstand zwischen der Hinterkante und dem Beobachter bzw. Mikrophon und Ψ der Winkel zwischen Beobachter und Strömung. Dabei wird berücksichtigt, dass die Turbulenzballen zylinderförmig sind (Höhe b , Durchmesser 2ℓ , wobei ℓ eine charakteristische Turbulenzlänge ist) und dass die typische Frequenz der Turbulenz nach Ffowcs Williams und Hall die Größenordnung $f \approx U_k/(2\ell)$ besitzt.

Im Rahmen der Entwicklung des Hinterkantenschallmodells für poröse Profile wurden sowohl für die gemessenen Turbulenzspektren und die Turbulenzkonvektionsgeschwindigkeiten als auch für die Grenzschichtdicke δ und die Grenzschichtverdrängungsdicke δ_1 einfache Schätzfunktionen entwickelt, die die Berechnung dieser Parameter als Funktion des längenbezogenen Strömungswiderstands der porösen Profile erlauben. Die Grenzschichtdicke sowie die Grenzschichtverdrängungsdicke der porösen Profile sind größer als die Werte des Referenzprofils.

Vorhersage der Turbulenzspektren über der Hinterkante: Bild 2 zeigt die gemessenen Turbulenzspektren sowie die zur Näherung der Turbulenzspektren verwendeten Funktionen. Dabei werden die Spektren, dargestellt über der mit δ_1 gebildeten Strouhalzahl, durch drei Kurvensegmente genähert: eine Gerade mit positivem Anstieg bei tiefen Strouhalzahlen, eine quadratische Funktion im Bereich des Maximums und eine Gerade mit negativem Anstieg bei hohen Strouhalzahlen. Anschließend wurden Schätzfunktionen gefunden, welche die zur Beschreibung dieser Kurvensegmente benötigten Parameter als Funktion des längenbezogenen Strömungswiderstands beschreiben [2].

Vorhersage der Konvektionsgeschwindigkeit: Es wird angenommen, dass die Turbulenzballen sich mit einer Konvektionsgeschwindigkeit U_k über die Hinterkante bewegen, die ein konstanter Teil der mittleren Geschwindigkeit über der Hinterkante ist ($U_k = \text{const} \cdot \bar{u}$). Im vorliegenden Fall wurde diese mittlere Geschwindigkeit an dem Ort bestimmt, an dem auch die Turbulenzspektren gemessen wurden. Bild 3 zeigt die gemessenen mittleren Geschwindigkeiten, gemittelt über Saug- und Druckseite, als Funktion der Permeabilität der porösen Materialien. Ebenfalls eingezeichnet ist eine Funktion zur Schätzung dieser mittleren Geschwindigkeit.

Vorhersage der Grenzschichtdicke und Grenzschichtverdrängungsdicke: Analog zur Bestimmung der Konvektionsgeschwindigkeit wurden im Rahmen der Modellbildung einfache Näherungsfunktionen bestimmt, um die Abhängigkeit der gemessenen Grenzschichtdicke sowie der Grenzschichtverdrängungsdicke vom längenbezogenen Strömungswiderstand der porösen Profile zu beschreiben.

Ergebnisse

Bild 4 zeigt einen Vergleich der mit Hilfe des entwickelten, physikalisch basierten Modells geschätzten Hinterkantenschalldruckpegel mit den Messwerten. Alle benötigten Parameter wurden dabei aus den beschriebenen, elementaren Schätzfunktionen nur unter Verwendung des längenbezogenen Strömungswiderstands der porösen Materialien ermittelt. Es ist ersichtlich, dass das Modell allenfalls eine erste qualitative Einschätzung ermöglicht, jedoch noch keine zuverlässigen quantitativen Ergebnisse liefert. Dies wird vermutlich durch die zu geringe Anzahl von Turbulenzmessdaten, die für die Modellbildung zur Verfügung standen, sowie durch den Einfluss von Schall, welcher aufgrund der Oberflächenrauheit der porösen Profile entsteht, auf die akustischen Messwerte verursacht.

Um das Modell zu verbessern, wären vor allem weitere Hitzdrahtmessungen an einer größeren Anzahl poröser Profile sinnvoll. Außerdem wäre es hilfreich, die Grenzfrequenz des Hitzdrahtmesssystems zu erhöhen und Messungen auch oberhalb von 10 kHz durchzuführen.

Literatur

- [1] Geyer, T., Sarradj, E., Fritzsche, C., Measurement of the noise generation at the trailing edge of porous airfoils. *Exp Fluids* 48:291 - 308 (2010)
- [2] Geyer, T., Trailing edge noise generation of porous airfoils. Doktorarbeit, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, urn:nbn:de:kobv:co1-opus-22855 (2011)
- [3] Ffowcs Williams, J. E., Hall, L. H., Aerodynamic sound generation by turbulent flow in the vicinity of a scattering halfplane. *J Fluid Mech* 40:657 - 670 (1970)