

Zur Minderung des Umströmungsgeräusches bei Profilen aus porösem Material

Thomas Geyer, Ennes Sarradj, Christoph Fritzsche

BTU Cottbus, Juniorprofessur Aeroakustik, 03046 Cottbus,

Email: geyer@tu-cottbus.de / sarradj@tu-cottbus.de / christoph.fritzsche@tu-cottbus.de

Einleitung

Eine Möglichkeit zur Reduktion der Schallentstehung an umströmten Tragflügelprofilen ist die Verwendung von offenporösen Materialien zur Fertigung von komplett oder teilweise porösen Profilen. Bisherige Untersuchungen, z.B. [1], zeigten bereits das Lärminderungspotential dieser Verfahren. Im Rahmen der an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus durchgeführten Arbeiten soll der Einfluss der Parameter der porösen Materialien auf die Schallentstehung gemessen und modelltechnisch erfasst werden.

Messung

Zur Untersuchung des Einflusses der Materialparameter auf die Schallentstehung fanden sieben verschiedene offenporöse Materialien Verwendung (siehe Tabelle 1). Darunter waren Melaminharz-Schaum (Basotect), ein Blähglasgranulat (Reapor) und mehrere PU- und PUR-Schäume (Panacell, Balzer). Aus diesen Materia-

Tabelle 1: Untersuchte poröse Materialien

Bezeichnung	σ	Ξ in Pas/m ²
Basotect	0,99	9810
Panacell 45 ppi	0,98	730
Panacell 60 ppi	0,97	3560
Panacell 90 ppi	0,97	4000
Balzer RG 3550	0,97	4405
Balzer HR 4040/RW	0,97	9085
Reapor	0,97	16500

lien wurden mittels Wasserstrahlschneiden sieben identische halbsymmetrische Low-Re-Profile gefertigt. Anwendung fand eine leicht modifizierte Version des Profils SD 7003 mit einer Sehnenlänge von 235 mm und einer Spannweite von etwa 400 mm. Zu Vergleichszwecken wurde ebenfalls ein nichtporöses Profil dieser Geometrie angefertigt, welches mit einem Tripping versehen war (Trippstreifen mit 1,6 mm Breite bei 10,6 % der Sehnenlänge ober- und unterseitig angebracht). Im aeroakustischen Freistrahwindkanal der BTU Cottbus wurden die Profile einer Strömung mit Geschwindigkeiten bis zu 50 m/s ausgesetzt (entsprechend einem Reynoldszahlbereich von ca. $5 \cdot 10^5$ bis $8 \cdot 10^5$). Mit einem oberhalb des zu vermessenden Profils außerhalb der Strömung befindlichen 32-Kanal-Mikrofonarray erfolgte die Messung der Schallentstehung an der Profilhinterkante. Eine Sechs-Komponenten-Windkanalwaage diente zur simultanen Messung der Auftriebs- und Widerstandskraft der Profile.

Analyse

Nach Brooks, Pope und Marcolini [2] existieren insgesamt fünf verschiedene Schallentstehungsmechanismen an nicht porösen Tragflügeln. Der hier vorherrschende Mechanismus ist, bedingt durch die hohen Reynoldszahlen, die Oberflächenrauigkeit der porösen Profile und das Tripping des nichtporösen Profils, die Schallentstehung an der Hinterkante bei turbulenter Grenzschicht. Nach Ffowcs Williams und Hall [3] ist die Schalleistung an der Hinterkante einer halbunendlichen Platte proportional zur fünften Potenz der Strömungsgeschwindigkeit. Messungen von Brooks, Pope und Marcolini [2] an einem NACA 0012-Profil ergaben einen Exponenten zwischen 4,5 und 4,9, abhängig von der Reynoldszahl. Messungen von Oerlemans [4] erbrachten einen Exponenten von 4,5. Der sogenannte Turbulente-Grenzschicht-Hinterkantenlärm hängt nach [2] von folgenden Parametern der Strömung und des Tragflügels ab: der Dichte ρ , der kinematischen Viskosität ν und der Strömungsgeschwindigkeit U des Fluids, der Sehnenlänge c_l und der Spannweite b des Profils, der Grenzschichtdicke δ , der Schallgeschwindigkeit c , dem Abstand des Beobachters (Abstand des Aufpunktes) r sowie der Frequenz f . Der Anstellwinkel α als dimensionslose Größe beeinflusst ebenfalls die Schallentstehung. Der Einfluss der Parameter des porösen Materials wird durch den längenbezogenen Strömungswiderstand Ξ und die dimensionslosen Kennzahlen Porosität σ und Tortuosität τ berücksichtigt. Um die Anzahl

Tabelle 2: Dimensionslose Kennzahlen

Bezeichnung	Formel
Reynoldszahl	$Re = Us/\eta$
Strouhalzahl	$Sr = fs/U$
Machzahl	$Ma = U/c$
akustische Rayleigh-Zahl	$Ra_{ak} = f\rho/\Xi$
Verhältnis Grenzschichtdicke/Sehne	δ/s
Verhältnis Abstand/Sehne	r/s
Seitenverhältnis	b/s
Anstellwinkel	α
Porosität	σ
Tortuosität	τ

der Freiheitsgrade, welche die Schallentstehung an der Hinterkante poröser Profile beschreiben, zu minimieren, fand im Vorfeld der Messungen eine Dimensionsanalyse statt. Die in Tabelle 2 dargestellten zehn dimensionslosen Kenngrößen wurden anschließend zur Beschreibung des Sachverhaltes ausgewählt (fett geschriebene Kennzahlen

verdeutlichen den Einfluss der porösen Materialien). Die Messreihen an porösen Profilen sollen nun zeigen, dass die Parameter des porösen Materials die Schallentstehung direkt beeinflussen. Dabei wird vermutet, dass der längenbezogene Strömungswiderstand Ξ die Schallentstehung bei Umströmung der Profile wesentlich beeinflusst. Die dargestellten Ergebnisse konzentrieren sich daher auf die Betrachtung des längenbezogenen Strömungswiderstandes.

Ergebnisse

Im Rahmen der Untersuchungen wurden an den acht Profilen über 600 Einzelmessungen durchgeführt. Bild 1 zeigt den Einfluss der Materialeigenschaften auf die Schallentstehung an der Hinterkante. Dargestellt ist der skalierte Schalldruckpegel

$$L_{p1} = L_p - 10 \cdot \lg \left(\frac{f}{\text{Hz}} \right)^2 \text{ dB} - 10 \cdot \lg \left(\frac{U}{\text{m/s}} \right)^{4,5} \text{ dB} \quad (1)$$

in Abhängigkeit der gefundenen Kennzahl $R = \sqrt{Ma/Ra_{ak}}$ für einen Anstellwinkel von 0° . Die Kennzahl R hängt vom längenbezogenen Strömungswiderstand ab. Sie beinhaltet damit die Eigenschaften der porösen Materialien. Es ist eine lineare Abhängigkeit des skalierten Schalldruckpegels L_{p1} von R zu erkennen, der Anstieg der einzelnen Kurven ist eine Funktion des längenbezogenen Strömungswiderstandes. Die einzelnen Messreihen sind durch die gewählte Skalierung in Bild 1 mit steigendem längenbezogenen Strömungswiderstand von links nach rechts angeordnet. Das Profil aus Reapor ($\Xi = 16500 \text{ Pa s/m}^2$) hebt sich von den anderen Profilen durch einen geringeren Anstieg der Ausgleichsgerade (und somit durch Schnittpunkte mit den anderen Kurven) ab. Bild 2 zeigt die Abhängigkeit

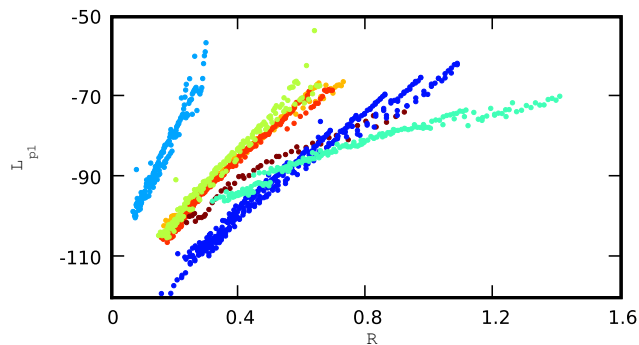


Bild 1: Schallentstehung in Abhängigkeit der Kennzahl R , $\alpha = 0^\circ$, $\Xi = \bullet$ 730, \bullet 3560, \bullet 4000, \bullet 4405, \bullet 9085, \bullet 9810, \bullet 16500 Pa s/m²

der Schallentstehung von der Strouhalzahl, wieder für einen Anstellwinkel von 0° . Ausgehend von [4] ist der dargestellte Schalldruckpegel

$$L_{p2} = L_p - 10 \cdot \lg \left(\frac{U}{\text{m/s}} \right)^{4,5} \text{ dB} \quad (2)$$

mit der 4,5-ten Potenz der Strömungsgeschwindigkeit U skaliert. Es ist erkennbar, dass diese Skalierung nur

auf das nichtporöse Profil in Bild 2 zutrifft. Die Untersuchungen ergaben konkret, dass die Schalleistung an der Hinterkante des nichtporösen Profils proportional zur 4,7-ten Potenz der Strömungsgeschwindigkeit ist. Dies stimmt gut mit den Ergebnissen aus [2] überein. Daraufhin wurde untersucht, mit welcher Potenz der

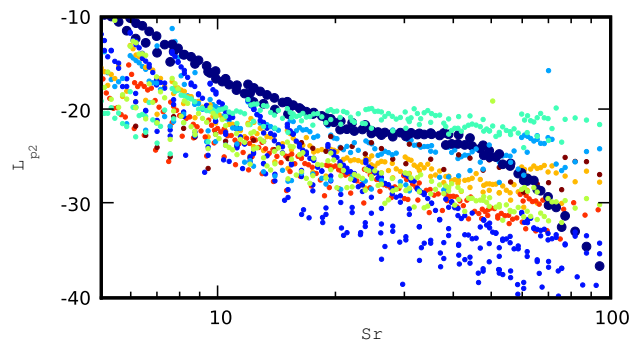


Bild 2: Schallentstehung in Abhängigkeit der Strouhalzahl Sr , $\alpha = 0^\circ$, $\Xi = \bullet$ 730, \bullet 3560, \bullet 4000, \bullet 4405, \bullet 9085, \bullet 9810, \bullet 16500 Pa s/m², \bullet nicht porös

Strömungsgeschwindigkeit U der Pegel L_{p2} in Bild 2 für die porösen Materialien skaliert werden muss. Zur Skalierung wird dabei der Exponent verwendet, bei welchem der mittlere Abstand aller Messwerte zu einer durch die Punktwolke gelegten Polynomfunktion minimal ist. Es ergeben sich dabei für die unterschiedlichen Materialien aus Tabelle 1 Exponenten von 5 bis 7, abhängig von den Parametern der porösen Materialien.

Zusammenfassung

Im Rahmen der an der BTU Cottbus durchgeführten Arbeiten wurden zehn dimensionslose Parameter zur Beschreibung der Schallentstehung an der Hinterkante poröser Profile bestimmt. Eine Abhängigkeit der Schallentstehung von den Parametern der porösen Materialien konnte gezeigt werden. Während der Schalldruckpegel bei nichtporösen Profilen etwa proportional der 4,7-ten Potenz der Strömungsgeschwindigkeit ist, liegt der Exponent bei den untersuchten porösen Profilen, abhängig vom Material, zwischen fünf und sieben.

Literatur

- [1] SARRADJ, E. ; GEYER, T.: Noise generation by porous airfoils. In: *American Institute of Aeronautics and Astronautics* 28 (2007)
- [2] BROOKS, T. F. ; POPE, D. S. ; MARCOLINI, M. A.: Airfoil Self-Noise and Prediction. In: *NASA Reference Publication* 1218 (1989)
- [3] FLOWCS WILLIAMS, J. E. ; HALL, L. H.: Aerodynamic sound generation by turbulent flow in the vicinity of a scatteringhalfplane. In: *Journal Fluid Mechanics* 40 (1970), Nr. 4, S. 657 – 670
- [4] OERLEMANS, S. ; MIGLIORE, P.: Aeroacoustic Wind Tunnel Tests of Wind Turbine Airfoils. In: *AIAA Journal* 3042 (2004)