

Hinterkantengeräusch an einem aerodynamischen Profil

Christoph Fritzsche, Ennes Sarradj, Thomas Geyer, Jens Giesler

BTU Cottbus, Juniorprofessur Aeroakustik, 03046 Cottbus, Email: christoph.fritzsche@tu-cottbus.de / sarradj@tu-cottbus.de

Einleitung

Im aeroakustischen Windkanal der BTU Cottbus werden Messungen der Geräuschenstehung an aerodynamischen Profilen durchgeführt. Dabei kommen ein Mikrofonarray mit verschiedenen Konfigurationen und verschiedene Beamforming-Algorithmen zum Einsatz. Die Untersuchung hat zum Ziel, das Messverfahren zur Messung des Hinterkantenschalls durch quantitativen Vergleich der Messergebnisse mit Werten aus der Literatur zu bestätigen.

Modell

Zur Vorausberechnung von Strömungsgeräuschen wurden mehrere Modelle und Verfahren veröffentlicht, so zum Beispiel von FLOWCS-WILLIAMS & HALL [1], AMIET [2][3], HOWE [4], BROOKS, POPE & MARCOLINI [5] und LOWSON [6]. Die Modelle berücksichtigen mehrere Schallentstehungsmechanismen. Von FLOWCS-WILLIAMS & HALL [1] wird eine Proportionalität der Schalleistung des Hinterkantenschalls zur 5. Potenz der Strömungsgeschwindigkeit U vorhergesagt, von HOWE [4] zur 4,6-ten Potenz ($\sim U^{4,6}$).

Dem hier zum Vergleich mit den Messergebnissen herangezogenen Modell von BROOKS, POPE & MARCOLINI [5] (BPM) liegen zahlreiche Messungen an verschiedenen NACA 0012-Profilen zu Grunde. Es unterscheidet fünf Schallentstehungsmechanismen:

- Hinterkantenschall bei turbulenter Grenzschicht (*Turbulent-Boundary-Layer - Trailing-Edge noise, TBL-TE*), Dipolquelle, Schalleistung proportional zur 5. Potenz der Strömungsgeschwindigkeit
- Strömungsabriss (*separation-stall noise*), besonders bei großen Anstellwinkeln
- Wirbelbildung bei laminarer Strömung an der Hinterkante (*Laminar-Boundary-Layer - Vortex-Shedding noise, LBL-VS*)
- Randwirbelbildung an der Flügelspitze (*Tip Vortex Formation noise*)
- Wirbelbildung an der stumpfen Hinterkante (*Trailing-Edge-Bluntness - Vortex-Shedding noise*)

Für den Vergleich mit den an der BTU Cottbus durchgeführten Messungen ist das Hinterkantengeräusch bei turbulenter Grenzschicht (TBL-TE) relevant. Dieses setzt sich nach dem BPM-Modell aus drei Anteilen zusammen:

$$SPL_{TOT} = 10 \lg(10^{SPL_{\alpha}/10} + 10^{SPL_s/10} + 10^{SPL_p/10}) \quad (1)$$

SPL_{TOT} - Gesamt-Schalldruckpegel (TBL-TE)

SPL_{α} - Anstellwinkel-abhängiger Anteil

SPL_s - Anteil von der Saugseite

SPL_p - Anteil von der Druckseite

Messung

Die Messungen erfolgten bei Strömungsgeschwindigkeiten bis 50 m/s in einem Freistrah-Windkanal mit geringem Eigengeräusch und hoher Strömungsqualität. Gemessen wurde mit einem außerhalb der Strömung oberhalb des Profils angeordneten Mikrofonarray mit variabler Geometrie unter Verwendung einer Konfiguration mit 32 Mikrofonen in zwei konzentrischen Kreisen (Außendurchmesser ca. 1,30 m). Die Zeitsignale wurden jeweils mit 24 bit und einer Abtastrate von 48 kHz aufgezeichnet. Die Weiterverarbeitung der Daten erfolgte mit eigener Software und dem Orthogonal-Beamforming-Algorithmus [7].

Das hier akustisch vermessene Profil vom Typ SD 7003 ist ein halbsymmetrisches (die Profildicke liegt innerhalb des Profils) Low-Re-Profil mit einer Sehnenlänge von 235 mm und einer Spannweite von 400 mm und besteht aus MDF-Platten. Ober- und unterseitig ist 25 mm von der Vorderkante entfernt ein Trippstreifen angebracht.

Ergebnisse

Die Terz-Schalldruckpegel aus Messung und Berechnung wurden jeweils nach der Gleichung

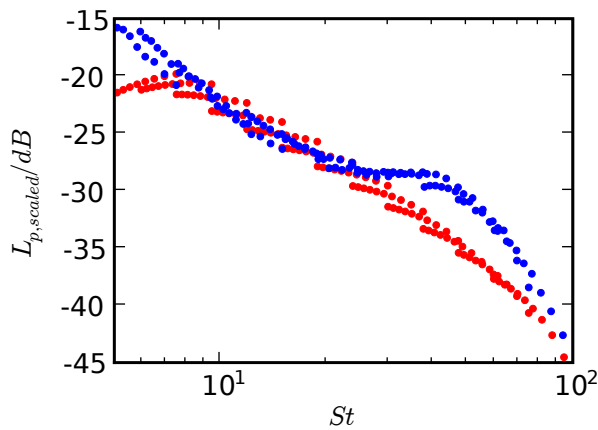
$$L_{p, scaled} = L_p - 10 \lg(U^{4,5}) dB \quad (2)$$

L_p - Terz-Schalldruckpegel

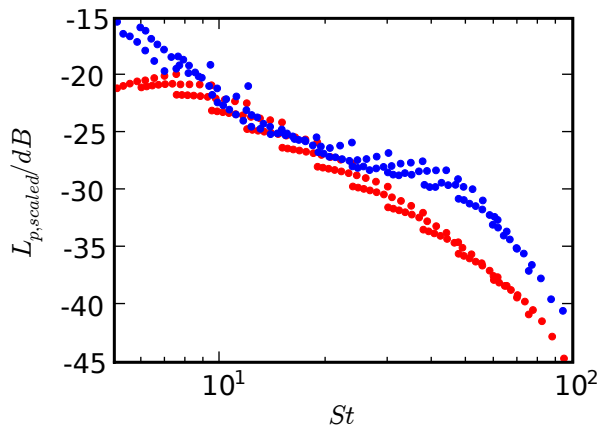
U - Strömungsgeschwindigkeit in m/s

skaliert und für verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten und Frequenzen über der mit der Sehnenlänge gebildeten Strouhalzahl St dargestellt. Die Skalierung neutralisiert dabei annähernd den Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit unter der Annahme, dass die Schalleistung des Strömungsgeräusches von der 4,5-ten Potenz der Strömungsgeschwindigkeit abhängt [8].

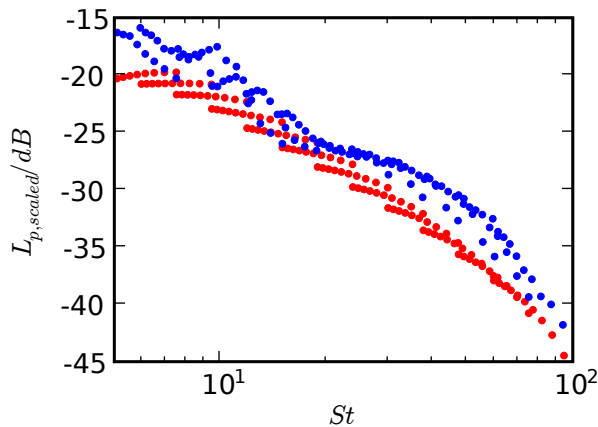
Die mit dem Mikrofonarray und dem Beamforming-Algorithmus messtechnisch ermittelten Werte von Terz-Schalldruckpegeln für den Hinterkantenschall stimmen für Strouhalzahlen von etwa 8 bis 30 gut mit den nach dem Modell von BROOKS, POPE & MARCOLINI berechneten Werten überein. Für Strouhalzahlen außerhalb dieses Bereiches wurden tendenziell höhere Werte gemessen als nach dem BPM-Modell zu erwarten wäre. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass die Messungen an einem halbsymmetrischen Profil (SD 7003) erfolgten, während das Modell von einem symmetrischen Profil (NACA 0012) ausgeht (siehe Abbildung 3).



Anstellwinkel 0°



Anstellwinkel 4°



Anstellwinkel 8°

Abbildung 1: Skalierte Terz-Schalldruckpegel $L_{p,scaled}$ über der Strouhalzahl St für verschiedene Anstellwinkel, Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 31 m/s und 50 m/s und Terzmittenfrequenzen von 1000 Hz bis 12500 Hz:

- Berechnung des Hinterkantenschalls nach BROOKS, POPE & MARCOLINI [5] für Profil NACA 0012
- Messung mittels Mikrofonarray an Profil SD 7003

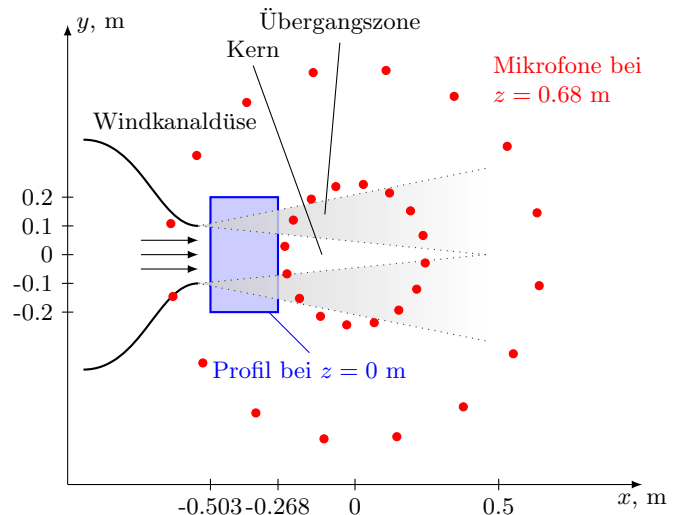


Abbildung 2: Messanordnung im aeroakustischen Windkanal, schematische Draufsicht

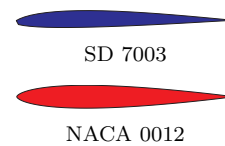


Abbildung 3: Profilgeometrien

Literatur

- [1] FFWCS WILLIAMS, J. E. ; HALL, L. H.: Aerodynamic sound generation by turbulent flow in the vicinity of a scattering halfplane. In: *Journal Fluid Mechanics* 40 (1970), Nr. 4, S. 657 – 670
- [2] AMIET, R. K.: Acoustic radiation from an airfoil in a turbulent stream. In: *Journal of Sound and Vibration* 41 (1975), February, Nr. 4, S. 407–420
- [3] AMIET, R. K.: Noise due to turbulent flow past a trailing edge. In: *Journal of Sound and Vibration* 47 (1976), March, Nr. 3, S. 387–393
- [4] HOWE, M. S.: A Review Of The Theory Of Trailing Edge Noise. In: *Journal of Sound and Vibration* 61 (1978), Nr. 3, S. 437 – 465
- [5] BROOKS, T. F. ; POPE, D. S. ; MARCOLINI, M. A.: Airfoil Self-Noise and Prediction. In: *NASA Reference Publication 1218* (1989)
- [6] LOWSON, M.V.: Assessment and prediction of wind turbine noise. In: *Flow Solution Report 92/19* (1992), Nr. ETSU W/13/00284/REP, S. 1–59
- [7] SARRADJ, E.: Quantitative source spectra from acoustic array measurements. In: *Berlin Beamforming Conference*, 2008
- [8] OERLEMANS, S. ; MIGLIORE, P.: Aeroacoustic Wind Tunnel Tests of Wind Turbine Airfoils. In: *AIAA Journal* 3042 (2004)