

Ein Messverfahren für Vorderkantenschall

Ennes Sarradj¹, Thomas Geyer¹, Jens Giesler¹

¹ Lehrstuhl Technische Akustik, Brandenburgische Technische Universität Cottbus,
03046 Cottbus, Deutschland, Email: ennes.sarradj@tu-cottbus.de

Einleitung

Insbesondere dort, wo sich Tragflächen oder die Schaufeln einer Strömungsmaschine in einer turbulenzreichen Zuströmung befinden, spielt die Schallentstehung durch die Wechselwirkung von zuströmender Turbulenz mit umströmten Körpern eine wichtige Rolle. Dabei entsteht auf der Oberfläche des Schaufelprofils eine instationäre Druckverteilung, die zur Schallabstrahlung führt. Da der Ort der Schallentstehung dabei im wesentlichen die Vorderkante des Profils ist, wird von Vorderkantenschall gesprochen. Für die messtechnische Untersuchung ist es notwendig, die zuströmende Turbulenz sowie die Schallabstrahlung zu charakterisieren und von anderen vorhandenen Schallquellen zu trennen. Zu diesem Zweck wurde im aeroakustischen Windkanal der BTU Cottbus ein Experiment im Modellmaßstab aufgebaut.

Messaufbau

Um die nahezu turbulenzfreie Strömung des Kanals in eine turbulenzreiche umzuwandeln, wird ein Gitter am Austritt der Windkanaldüse (Abb. 1) eingesetzt. In der Messstrecke des Windkanals befindet sich ein Modelltragflügelprofil, an dessen Vorderkante die Schallentstehung untersucht werden soll. Für die akustischen Messungen wird ein Mikrofonarray mit 56 Mikrofonen und einer Apertur von ca. 1,30 m verwendet.

Durch die Verwendung unterschiedlicher Gitter können die Eigenschaften der Turbulenz beeinflusst werden. Ebenso ist es möglich, die Strömungsgeschwindigkeit sowie den Abstand zwischen Gitter und Profil-Vorderkante zu variieren. Beide Parameter haben ebenfalls einen Einfluss auf die Beschaffenheit der Zuströmung. Ein weitere Variationsmöglichkeit im Messaufbau besteht in der Verwendung verschiedener Profile und der Einstellung verschiedener Anstellwinkel.

Die durch das Gitter entstehende Turbulenz wird vorrangig durch die Umströmung der Gitterstreben erzeugt. In Abhängigkeit von den geometrischen, die eingesetzten Rechteckgitter kennzeichnenden Parameter Maschenweite M , Strebenbreite a und Gittertiefe t entsteht dadurch zunächst ein inhomogenes Strömungsfeld, das in einer Entfernung von etwa $10M$ stromab des Gitters homogen wird und nahezu isotrope Turbulenz enthält[1]. Mit der Entfernung zum Gitter nimmt auch der Turbulenzgrad u_{rms}/U_0 ab.

Die vollständige Charakterisierung der turbulenten Zuströmung würde eine örtlich und zeitlich hochaufgelöste Erfassung aller Komponenten des Geschwindigkeitsfeldes in der Strömung erfordern. Unter der Vorausset-

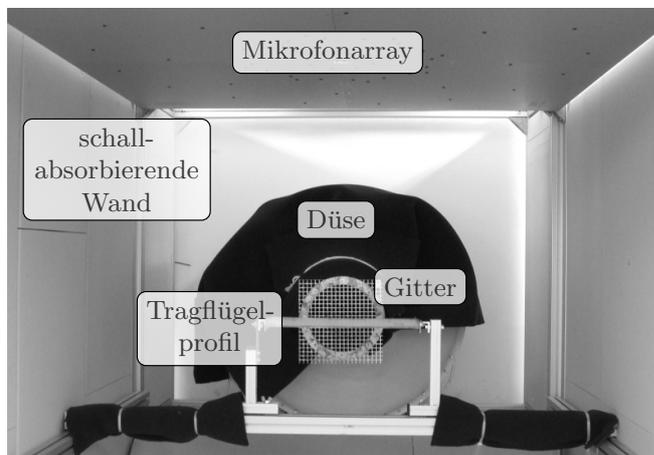


Abbildung 1: Messaufbau im aeroakustischen Windkanal

Tabelle 1: Daten für zwei der verwendeten Gitter

Abbr.	M [mm]	a [mm]	t [mm]	Lochfläche
PPS 12/2	12	2	1	69%
PPS 14/4	14	4	1	51%

(weitere Gitter)

zung, dass die Taylor'sche 'frozen turbulence'-Hypothese gilt, genügt eine zeitlich versetzte Messung an einzelnen Orten. Unter der weiteren Voraussetzung, dass die Turbulenz isotrop ist, kann auf die getrennte Erfassung der Komponenten des Geschwindigkeitsvektors verzichtet werden. Deshalb wurde die Zuströmung mit Hilfe einer Eindraht-Hitzdrahtsonde charakterisiert und die Messwerte über 30 ungleichmäßig verteilte Messpunkte in einer Ebene unmittelbar vor der Profilverkante gemittelt. Neben den turbulenten Druckschwankungen u_{rms} wurde dabei auch die mittlere Geschwindigkeit U sowie die charakteristischen Zeit- und Längenskalen t_0 und Λ ermittelt. Abb. 2 zeigt Beispielergebnisse für die zwei Gitter aus Tab. 1 und verschiedene Abstände zum Gitter.

Für die Auswertung der Mikrofonarraymessungen wurde ein Beamforming-Verfahren[2] mit einem dreidimensionalen Abbildungsbereich und nachfolgender Entfaltung mit CLEAN-SC eingesetzt. Abb. 3 zeigt Beispielergebnisse für zwei verschiedene Terzbänder. Bei 2 kHz sind deutlich Gitter, Vorderkante und Hinterkante als Quellen zu erkennen, während bei 6.3 kHz das Gitter eine deutlich dominante Schallquelle darstellt. Für die quantitative Auswertung wird die dreidimensionale Schalldruckkartierung über ein Volumen integriert, das die Vorderkante umfasst, aber alle anderen Schallquellen, einschließlich

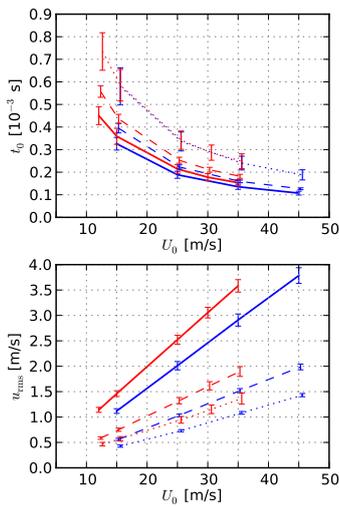


Abbildung 2: Messergebnisse für t_0 und u_{rms} für Gitter: PPS 12/2, PPS 14/4, Abstand zum Gitter: — 100 mm, - - 200 mm, ··· 300 mm

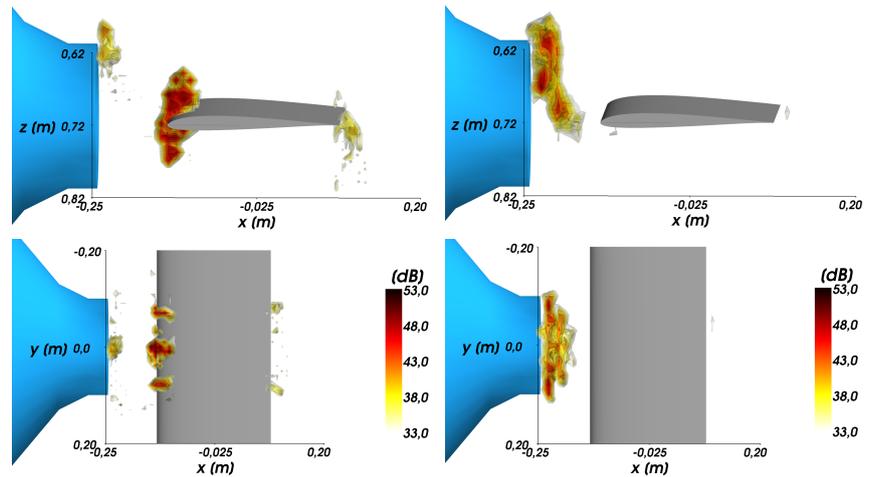


Abbildung 3: Beispielergebnisse der 3D-Schalldruckkartierungen für das 2 kHz-Terzband (links) und das 6.3 kHz-Terzband (rechts), Seitenansicht (obere Reihe) und Draufsicht (untere Reihe)

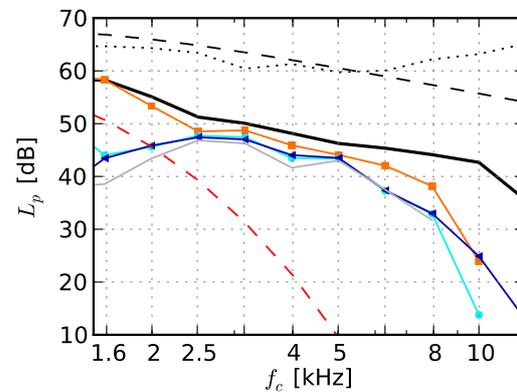
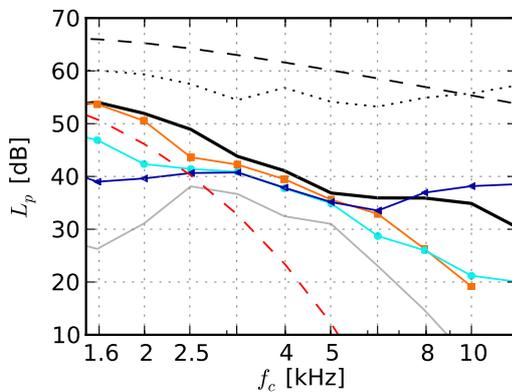


Abbildung 4: Terzspektren (links: PPS 12/2, rechts: PPS 14/4): — Messwerte, - - Modell 1 (Amiet 1975), ··· Messwerte Einzelmikrofon, — Messwerte ohne Profil, - - Modell 2 (Gershfeld 2004), poröse Profile: $r =$ — orange 130, — cyan 8.2, — blue 1 kPas/m²

der Interaktion zwischen der Scherschicht des Windkanal-Freistrahls und der Vorderkante ausschließt und deren Beiträge nicht mit erfasst.

Abb. 4 zeigt beispielhaft gemessene Terzspektren des Vorderkantenschalls an einem SD 7003-Profil mit einer Sehnenlänge von 235 mm für zwei verschiedene Gitter ($U_0=35$ m/s). Dabei fällt zunächst die deutliche Diskrepanz zwischen den Messwerten und Ergebnissen des Modells von Amiet [3] für die Vorderkante einer dünnen Platte auf, in das die Turbulenzgrößen u_{rms} und Λ eingehen. Die Ergebnisse für ein Einzelmikrofon zeigen zum Teil ebenfalls niedrigere Werte als das Modell. Die Mikrofonarraymessung an einer Messstrecke ohne Profil (und demzufolge ohne Vorderkantenschall) zeigt erwartungsgemäß sehr niedrige Werte. Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass das Messergebnis tatsächlich wie gewünscht Vorderkantenschall repräsentiert. Ein zweites Modell von Gershfeld[4], das zusätzlich auf die Dicke des Profils mit berücksichtigt, liefert niedrigere Werte als gemessen. Weil damit das Messergebnis zwischen zwei Modellvorhersagen liegt, erscheint es plausibel und das Verfahren für Vorderkantenschallmessungen geeignet. Messer-

gebnisse für verschiedene Profile aus porösem Material (Fig. 4) zeigen wie erwartet eine vom längenbezogenen Strömungswiderstand des Materials abhängige Verminderung des Vorderkantenschalls gegenüber dem nicht porösen Material.

Literatur

- [1] P. W. Roach, "The generation of nearly isotropic turbulence by means of grids," *Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 8 (2), pp. 82 – 92, 1987.
- [2] T. Geyer, E. Sarradj, and J. Giesler, "Application of a beamforming technique to the measurement of airfoil leading edge noise," *Advances in Acoustics and Vibration*, vol. 2012, no. 905461, pp. 1–16, 2012.
- [3] R. K. Amiet, "Acoustic radiation from an airfoil in a turbulent stream," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 41, pp. 407–420, February 1975.
- [4] J. Gershfeld, "Leading edge noise from thick foils in turbulent flows," *Journal of the Acoustic Society of America*, vol. 116(3), pp. 1416–1426, 2004.