

Auslegung eines Turbulenzgitters für die Untersuchung des Vorderkantenschalls an einem Tragflügelprofil

Marcus Hobracht, Ennes Sarradj, Thomas Geyer

Institut Verkehrstechnik, Juniorprofessur Aeroakustik, Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Email: hobramar@tu-cottbus.de/ennes.sarradj@tu-cottbus.de/thomas.geyer@tu-cottbus.de

Motivation

An der Juniorprofessur Aeroakustik der BTU Cottbus finden eine Reihe von Arbeiten zur Schallentstehung an umströmten Profilen statt. Die Geräuschenstehung an der Vorderkante von Tragflügelprofilen ist dabei sehr stark von der Turbulenz der Profilanströmung abhängig. Ziel einer an der Juniorprofessur Aeroakustik durchgeführten Untersuchung ist es, die durch Gitter erzeugten Turbulenzeigenschaften zu erfassen und mit den aus der Literatur bekannten Erkenntnissen zu vergleichen [1]. In diesem Zusammenhang stellte Roach [2] experimentell einige maßgebliche Formeln für den Turbulenzgrad und das integrale Längenmaß der Turbulenz in Abhängigkeit zu einer Gittergeometrie auf. Ein Schema der Gittergeometrie ist in Abbildung 1 dargestellt.

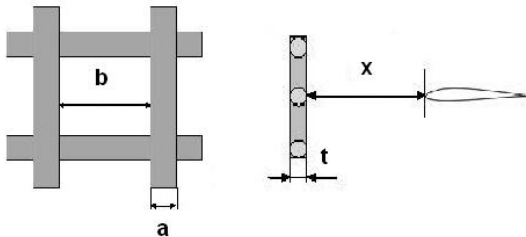


Abbildung 1: Gittergeometrie

Für die Auslegung eines Turbulenzgitters ist es zunächst wichtig, sich über die turbulenzbeschreibenden Größen im Klaren zu sein. Für eine turbulente Strömung ist eine lokale Geschwindigkeit nur in ihrem Mittelwert konstant. Der Turbulenzgrad beschreibt die Intensität der Schwankungsbewegungen und ergibt sich unter der Annahme isotroper Turbulenz zu einer eindimensionalen Beziehung. Nach den Messergebnissen von Roach [2] kann diese Größe in Abhängigkeit zur Gittergeometrie approximiert werden:

$$Tu = \frac{\sqrt{u^2}}{U} \approx 1,13 \left(\frac{x}{a}\right)^{-\frac{5}{7}} \quad (1)$$

u - Geschwindigkeitsschwankung
 U - mittlere Strömungsgeschwindigkeit
 x - Abstand Gitter zur Messebene
 a - Gitterstreifenbreite

Das turbulente Längenmaß hingegen erfasst den Durchmesser sogenannter Turbulenzballen (Wirbel) einer turbulenten Strömung. Die Größe dieser Wirbel beeinflusst

die Profilbelastung und damit auch den erzeugten Schall. Auch hierfür gibt es nach Roach [2] eine Näherung:

$$\Lambda_x = U \int_0^\infty \frac{u(t)u(t-T)}{u^2} dT \approx 0,2a\sqrt{\frac{x}{a}} \quad (2)$$

T - Zeitverschiebung des korrelierten Signals

Um die Schallentstehung an der Profilverkante messtechnisch untersuchen zu können, sollen Turbulenzgitter ausgewählt werden, die an der Position der Vorderkante eine hohe Turbulenz mit Turbulenzgraden von mindestens 5 % erzeugen.

Messung

Insgesamt wurde der Einfluss von 12 Gittern auf die Vorderkantenschallerzeugung an einem SD7003-Tragflügelprofil untersucht. Dabei handelt es sich größtenteils um Rechtecklochgitter mit einer Maschenweite $a + b$ von 1,2 bis 25 mm.

Die Messungen erfolgten in einem aeroakustischen Freistrah-Windkanal mit geringem Eigengeräusch bei einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 30 m/s. Um die Turbulenzeigenschaften zu messen, wurde mit Hitzdrahtmesstechnik unter Verwendung einer Eindrahtsonde gearbeitet.

Die akustische Wirksamkeit wurde durch akustische Messungen mit einem außerhalb der Strömung oberhalb des Profils angebrachten Mikrofonarray nachgewiesen. Das

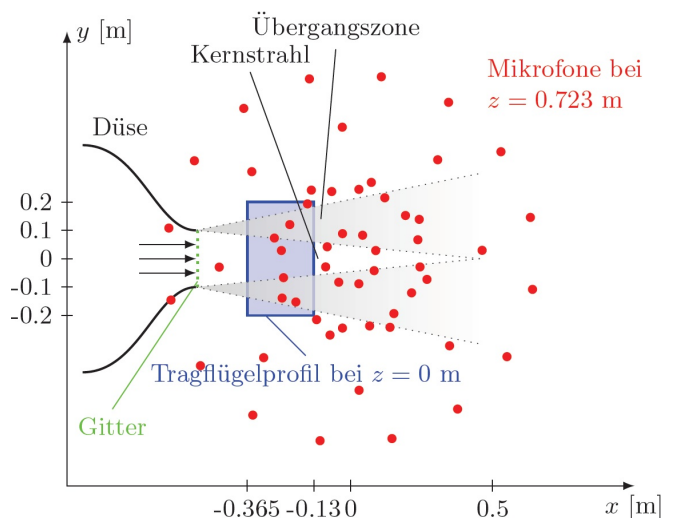
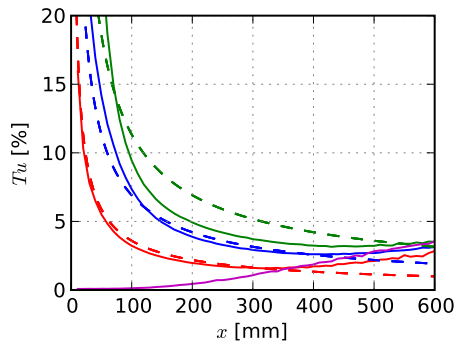
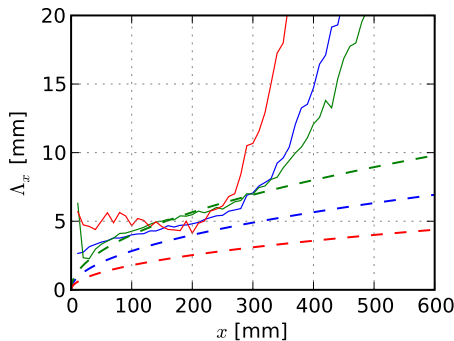


Abbildung 2: Messanordnung im aeroakustischen Windkanal, schematische Draufsicht

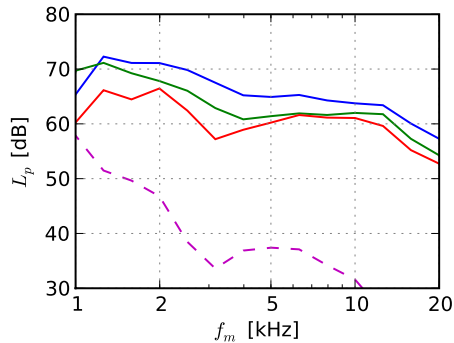
Array besteht aus 56 Kondensatormikrofonen, mit denen bei einer Abtastfrequenz von 51,2 kHz jeweils 40 Sekunden gemessen wurde. Die Verarbeitung der akustischen Daten erfolgte mit Hilfe des CLEAN-SC-Algorithmus [3]. Eine schematische Draufsicht der Messanordnung ist in Abbildung 2 dargestellt.



(a) Turbulenzgrad



(b) integrales Längenmaß der Turbulenz



(c) Tertspektrum des Schalldruckpegels

Abbildung 3: — G1, — G2, — G3, — leerer Kanal, - - - nur Profil, - - - G1 Roach, - - - G2 Roach, - - - G3 Roach

Ergebnisse

Hinsichtlich hoher Turbulenzgrade stellten sich nach den Messungen zwei der untersuchten Gitter als günstig heraus. Bei derselben Lochgröße von 10 mm besitzen diese Gitter eine Maschenweite von 12 und 14 mm. Dargestellt werden hierbei in Abbildung 3 die Turbulenzgrade, integralen Längenmaße sowie das Spektrum des Schalldruckpegels dieser beiden Gitter (G1 und G2) und eines Vergleichsgitters (G3). Die eigenen Messergebnisse und die errechneten Verläufe nach Roach [2] stimmen für den Turbulenzgrad gut überein und werden in Abbildung 3(a)

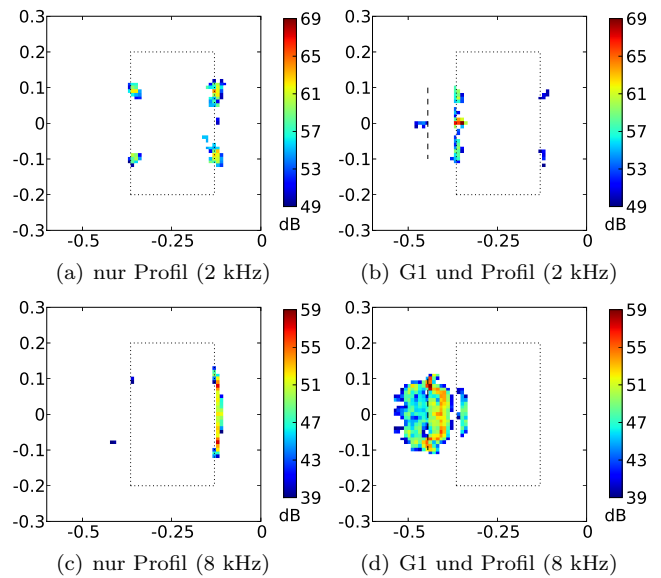


Abbildung 4: Schalldruckpegelkartierungen (Oktaavbänder)

dargestellt. Für das integrale Längenmaß der Turbulenz, welches in Abbildung 3(b) gezeigt wird, gibt es jedoch eine Abweichung im Bereich größerer Messabstände (> 30 cm). Für die akustischen Messungen ist eine Quelltrennung von Düse/Gitter und Profil erforderlich, weswegen der Abstand zwischen Gitter und Profil möglichst groß gewählt werden sollte. Dabei muss jedoch bedacht werden, dass der Turbulenzgrad mit zunehmendem Abstand abnimmt und damit auch weniger Vorderkantenschall erzeugt wird.

Schalldruckpegelkartierungen (Soundmaps) zeigen in Abbildung 4, dass ohne Turbulenzerzeuger hauptsächlich Hinterkantenschall an einem Profil erzeugt wird. Durch die Kombination von Gitter und Profil entsteht Vorderkantenschall bei tiefen Frequenzen. Das Gitter selbst ist hierbei eine dominante Schallquelle, die bei hohen Frequenzen auch den Vorderkantenschall überdeckt (Abbildung 4(d)).

Durch Integration der im Bereich der Profilverdichtungen gefundenen Schallanteile lassen sich entsprechende Schalldruckpegelspektren erzeugen (Abbildung 3(c)). Diese bestätigen den in den Schalldruckpegelkartierungen festgestellten Trend. Im Frequenzbereich zwischen 1 und 2 kHz ist der durch das Profil selbst erzeugte Schall dominant.

Literatur

- [1] Hobracht, M. (2010): Konzeption und Erprobung eines Turbulenzgitters im aeroakustischen Windkanal, Bachelorarbeit BTU Cottbus.
- [2] Roach, P. E. (1987): The generation of nearly isotropic turbulence by means of grids. Technical Report Vol. 8 No. 2, Copyright Rolls Royce Ltd., Heat and Fluid Flow, 1987.
- [3] Sijtsma, P. (2007): CLEAN based on spatial source coherence, AIAA-2007-3436, 13th AIAA/CEAS aeracoustics conference.