

# Vorderkantenschall - Modelle und Versuch

Jens Giesler, Ennes Sarradj

Brandenburgische Technische Universität, Juniorprofessur Aeroakustik, Cottbus

Email: jens.giesler@tu-cottbus.de / ennes.sarradj@tu-cottbus.de

## Einleitung

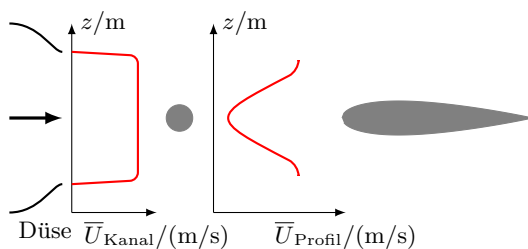
An turbulent angeströmten Tragflügel- und Schaufelprofilen kommt es bedingt durch die Interaktion der Turbulenzen mit der Oberfläche des Profils zur Schallgenerierung am Ort der Profilverkante (Vorderkantenschall).

Zur Abschätzung des Vorderkantenschalls existieren einige Modelle bzw. Verfahren, die jedoch alle eine homogene turbulente Anströmung, das heißt eine im zeitlichen Mittel nicht ortsabhängige Turbulenz in der Umgebung der Profilverkante voraussetzen. Die turbulente Zuströmung an technischen Bauteilen und Konfigurationen, zum Beispiel an Windrädern und an Ventilatoren, ist aber häufig nicht homogen, sondern eher inhomogen.

Im Beitrag wird die Eignung der empirischen Modelle von Amiet und von Körtzsch sowie des numerischen Verfahrens von Guidati zur Abschätzung der Schallentstehung bei inhomogener turbulenter Zuströmung mit Hilfe von experimentellen Daten untersucht. Die Modellierung wird beschrieben und ein eigenes empirisches Modell wird kurz vorgestellt.

## Versuchsanordnung

Zur Bereitstellung experimenteller Daten wurden Mikrofonarray- und Hitzdrahtmessungen an Zylinder-Profil-Konfigurationen im aeroakustischen Windkanal der BTU Cottbus durchgeführt, die in [1] detailliert beschrieben sind. Die Zylinder-Profil-Anordnung wurde gewählt, da der Zylindernachlauf eine inhomogene turbulente Profilstromung bewirkt (Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Generierung einer inhomogenen turbulenten Profilstromung durch Vorsatz eines Zylinders stromauf des Profils.

## Getestete Modelle

Das empirische Modell von Amiet [2] ist aus Messdaten entstanden, die an einer homogen turbulent angeströmten ebenen Platte gewonnen wurden. Es gestattet die Abschätzung des Terz-Schalldruckpegelspektrums. Die Vorhersage der Schallentstehung ist proportional zur fünften Potenz der Anströmgeschwindigkeit ( $U^5$ ). Das Modell unterscheidet einen tieffrequenten und einen

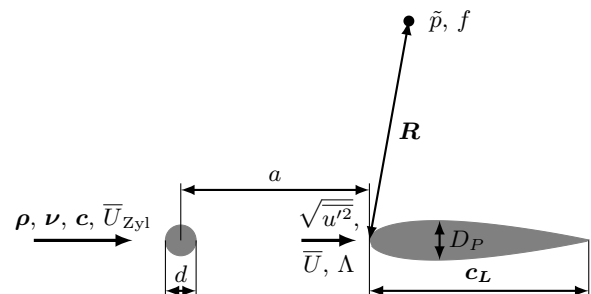
höherfrequenten Bereich der Schallabstrahlung.

Das Modell von Körtzsch [3] basiert auf dem empirischen Modell von Sharland, das ebenfalls die Schallentstehung einer homogen turbulent angeströmten ebenen Platte beschreibt. Körtzsch ergänzte das Modell um die Einbeziehung der spektralen Eigenschaften der Anströmungsturbulenz. Das Modell gestattet die Abschätzung eines Schalleistungsspektrums. Die Vorhersage der Schallentstehung ist proportional zur sechsten Potenz der Anströmgeschwindigkeit ( $U^6$ ).

Das numerische Verfahren von Guidati [4] berechnet die Schallentstehung durch Anwendung akustischer Analogien aus der zuvor berechneten Profilstromung. Das Verfahren basiert auf der Randlelementmethode und rechnet im Frequenzbereich.

## Modellierung

Auf Grundlage der umfangreichen Messdaten für die variierte Zylinder-Profil-Konfiguration wurde ein eigenes empirisches Modell mit Hilfe der Dimensionsanalyse erstellt. Die berücksichtigten Parameter sind in Abbildung 2 dargestellt, wobei diejenigen Parameter, die während der Messungen konstant blieben fett gedruckt sind.



**Abbildung 2:** Modellparameter:  $\rho$  Dichte,  $\nu$  kinematische Viskosität,  $c$  Schallgeschwindigkeit,  $\bar{U}$  zeitlich gemittelte Geschwindigkeit,  $u'$  Geschwindigkeitsschwankung,  $\Lambda$  integrale Längenskala der Turbulenz,  $\tilde{p}$  Schalldruckeffektivwert und  $f$  Frequenz.

Die Primärgrößen wurden gezielt gewählt, so dass einige der entstandenen dimensionslosen Größen während aller Versuche konstant blieben, wodurch die Anzahl der dimensionslosen Einflussparameter reduziert wurde. Der gefundene Ausdruck:

$$\lg \left[ \frac{\tilde{p}}{c^2 \rho} \cdot \left( \frac{c}{\bar{U}} \right)^5 \cdot \left( \frac{\bar{U}}{\sqrt{u'^2}} \right)^3 \cdot \frac{a}{d} \cdot \left( \frac{D_P}{\Lambda} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = F(Sr_d)$$

gestattet nach Umstellung die Abschätzung des Schalldruckeffektivwerts  $\tilde{p}$ .  $F(Sr_d)$  ist eine von der Strouhalzahl  $Sr_d$  abhängige Polynomfunktion zweiter Ordnung.

Zur Berücksichtigung der inhomogenen turbulenten Anströmung in den Modellen von Amiet, von Költzsch und dem hier kurz vorgestellten eigenen Modell wird die Profilmströmung in Schichten unterteilt, innerhalb derer von einer quasi homogenen turbulenten Zuströmung ausgegangen wird (Abbildung 3).

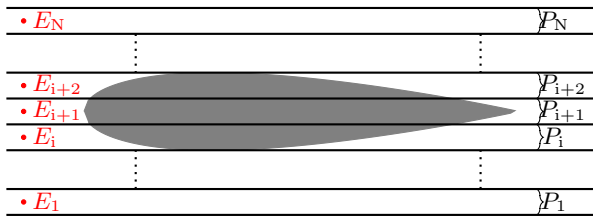


Abbildung 3: Unterteilung der inhomogenen Profilmströmung in Schichten quasi-homogener Zuströmung

Für jede solche Schicht wird dann ein eigenes Modellergebnis  $P_i$  aus den Eingangsparametern  $E_i$  berechnet. Das Gesamt-Modellergebnis wird anschließend durch arithmetische Mittelung der Schichtergebnisse bestimmt. Für das Guidati-Verfahren ist diese Vorgehensweise aufgrund von Beschränkungen im vorliegenden Berechnungscode nicht durchführbar, weswegen in diesem Fall zunächst die Eingangsparameter  $E_i$  der betrachteten Schichten arithmetisch gemittelt wurden und dann aus den gemittelten Parametern das Modellergebnis berechnet wurde.

Die zur Erzielung einer möglichst geringen Modellabweichung zu berücksichtigende Anzahl der Schichten wurde für jedes der betrachteten Modelle getrennt bestimmt.

## Ergebnisse

Analysiert man die Ergebnisse der Modellrechnungen, so stellt man fest, dass nicht für jede Zylinder-Profil-Konfiguration dasselbe Modell die geringsten Abweichungen gegenüber den Messdaten berechnet. Die in den Abbildungen 4 und 5 gezeigten Terz-Schalldruckpegelspektren verdeutlichen dies beispielhaft. Um dennoch eine Aussage

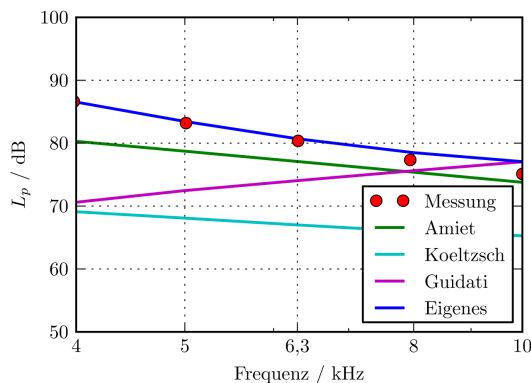


Abbildung 4: Terz-Schalldruckpegelspektren für die Konfiguration: Naca0012-Profil, Zylinderdurchmesser von 16 mm, Zylinder-Profil-Abstand von 124 mm und eine Zylinderzuströmungsgeschwindigkeit von 70 m/s.

über die im Mittel zu erwartende Vorhersagequalität der Modelle treffen zu können, wird daher eine über alle  $N=39$

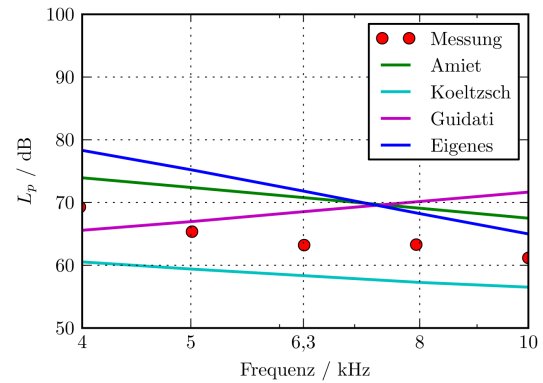


Abbildung 5: Terz-Schalldruckpegelspektren für die Konfiguration: Naca0018-Profil, Zylinderdurchmesser von 5 mm, Zylinder-Profil-Abstand von 86 mm und eine Zylinderzuströmungsgeschwindigkeit von 50 m/s.

Testfälle gemittelte Modellabweichung:

$$L_\delta = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{|L_{pi,Modell} - L_{pi,Messung}|}{10}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

analysiert (Abbildung 6). Es ist zu erkennen, dass das Amiet-Modell und das eigene Modell im Mittel die geringsten Abweichungen zu den Messdaten bestimmen. Das Modell von Guidati und insbesondere das von Költzsch zeigen eine deutlich größere mittlere Abweichung.

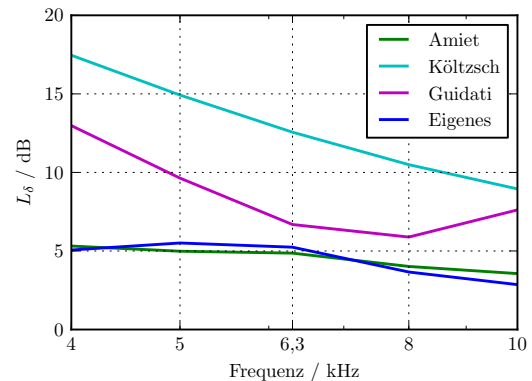


Abbildung 6: Über alle Testfälle gemittelte Modellabweichung gegenüber den Messdaten (Gleichung 1).

## Literatur

- [1] Giesler, J., Sarradj, E.: Broadband noise investigation on rod-airfoil-configurations. In: Fortschritte der Akustik - NAG / DAGA, 2009
- [2] Amiet, R. K.: Acoustic radiation from an airfoil in a turbulent stream. In: Journal of Sound and Vibration 41(4) (1975), S. 407–420
- [3] Költzsch, P.: Beitrag zur Berechnung des Wirbellärms von Axialventilatoren. In: L. Bommers, J. Fricke, K. Klaes (Hrsg.): Ventilatoren. Vulkan-Verlag, Essen, 1994
- [4] Guidati, G.: Berechnung und Verminderung von Strömungsgeräuschen an Profilen. *Dissertation, Universität Stuttgart, 2004.*