

Lärmerzeugung und Lärmausbreitung bei der Umströmung einfacher Geometrien: Numerik und Experiment

S. Becker¹, M. Kaltenbacher², C. Hahn², M. Escobar², und I. Ali¹

¹ Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

² Lehrstuhl für Sensorik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Einleitung

Eine besondere Bedeutung in der Aeroakustik hat die geeignete Definierung und Wahl von Prinzipexperimenten, an denen grundsätzliche Untersuchungen zu den physikalischen Mechanismen der Schallentstehung und Schallabstrahlung durchgeführt werden. Dabei werden vereinfachte Geometrien gewählt, deren Grundlagenbetrachtungen eine hohe Allgemeingültigkeit der Erkenntnisse besitzen und eine gute Übertragbarkeit auf ähnliche industrielle Anwendungen garantieren. Sie dienen sowohl der Anwendung und Weiterentwicklung der angewandten experimentellen Methoden, aber auch bilden die Ergebnisse die entscheidende Basis für die Validierung und Modifizierung der numerischen Simulationen. Damit können neue Modellierungsansätze erschlossen werden und analytische Ansätze verbessert werden.

In den vorliegenden Untersuchungen wurden zwei Grundlagenexperimente gewählt. Der umströmte Zylinder repräsentiert eine ausgeprägte tonale Schallabstrahlung, währenddessen die Umströmung einer vorwärtspringenden Stufe eine sehr breitbandige Schallabstrahlung aufweist. Beide Untersuchungsfälle besitzen eine hohe Allgemeingültigkeit im Bereich der Luft- und Fahrzeugindustrie.

Experimentelle Methoden

Den Schwerpunkt der experimentellen Untersuchungen bilden Lokalisierungsmethoden zum Verständnis und zur Reduktion strömungsinduzierter Lärmquellen. Es wird zwischen direkten und indirekten Methoden [1] unterschieden. Zu den direkten Verfahren gehört das von der Forschergruppe selbst entwickelte und gebaute Mikrofonarray. Hinsichtlich der indirekten Verfahren wurden von den Autoren verschiedene Korrelationsverfahren angewandt und weiterentwickelt.

Die Messungen erfolgten in einem aeroakustischen Windkanal, welcher in einen reflexionsarmen Raum (untere Grenzfrequenz 300 Hz) integriert ist. Es können Windgeschwindigkeiten bis zu 50 m/s bei einem niedrigem Turbulenzgrad ($< 0.2\%$) und homogener Geschwindigkeitsverteilung in der offenen Messstrecke erzeugt werden.

Numerische Simulationen

Für die Berechnungen wird ein hybrides Verfahren gewählt, das erlaubt unterschiedliche Berechnungsgitter (jeweils für die einzelne partielle Differentialgleichung optimal

angepasstes Gitter) für die Strömungs- und die Akustiksimulation zu benutzen. Für die akustische Schallberechnung wird die Lighthill-Gleichung mit Hilfe einer Finiten-Elemente-Formulierung gelöst. Die Abb. 1 zeigt das Berechnungsschema.

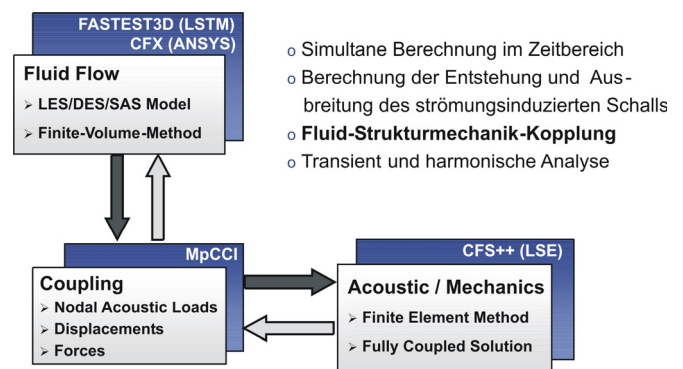


Abbildung 1: Berechnungsschema der aeroakustischen Simulationen

Für die aeroakustische Berechnung wurden das am LSTM entwickelte Programm FASTEST-3D bzw. die kommerzielle Software CFX von ANSYS für die Strömungssimulation sowie das am LSE entwickelte Programm CFS++ für die Akustiksimulation entsprechend erweitert. Dabei wird der Term auf der rechten Seite der inhomogenen Wellengleichung für jeden Zeitschritt bereits auf der Strömungsseite berechnet und die sich ergebenden skalaren Werte mit Hilfe von MpCCI auf das Gitter des Akustikcodes übertragen.

Zylinderuntersuchungen

Der Vierkant-Zylinder befindet sich auf einer Platte, die bündig an die Düse des Kanals angeschlossen ist und vollständig umströmt (3D-Fall) wird. Der Zylinder hat die Abmessungen von 20x20x120mm (Breite x Tiefe x Höhe). Entsprechend der sich bei der Umströmung ausbildenden Karman'schen Wirbelablösung hat die Schallabstrahlung einen ausgeprägten tonalen Charakter. Die Untersuchungen wurden auf den Einfluss verschiedener Geometrievariationen auf die Schallentstehung (Abb. 2) erweitert.



Abbildung 2: Geometrievariationen bei der Schallabstrahlung um einen Zylinderstumpf

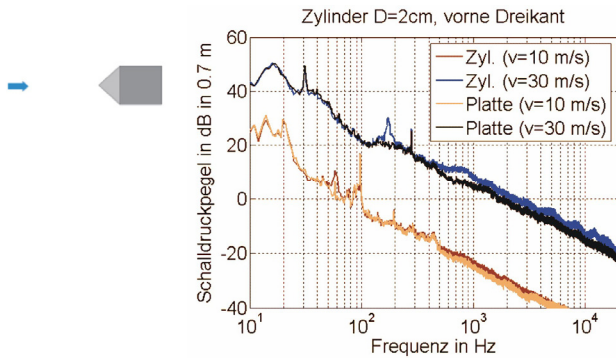


Abbildung 3: Minimum der Schallabstrahlung bei einem rechteckigen Zylinder mit einer dreieckigen Frontfläche

Dabei zeigte sich für die elliptischen und runden Front- und Heckpartien eine Erhöhung des abgestrahlten Schalldruckpegels. Ursache dafür sind Staupunktinstabilitäten im Frontbereich und eine fluktuierende Ablöselinie im hinteren Bereich des Zylinders. Die besten Ergebnisse wurden mit einer rechteckigen Frontpartie und rechteckigen Abschluss des Zylinders erzielt, der eine definierte Ablöselinie garantiert. An den Untersuchungsergebnissen wird deutlich, dass Widerstandsverminderung nicht direkt mit einer Reduktion der Schallabstrahlung korreliert.

Parallel zu den experimentellen erfolgten numerische Simulationen. Getestet wurden verschiedene Turbulenzmodelle und deren Einfluss auf das berechnete Schallfeld. Die Abb. 4 zeigt das dreidimensionale berechnete Schallfeld um einen rechteckigen Zylinder.

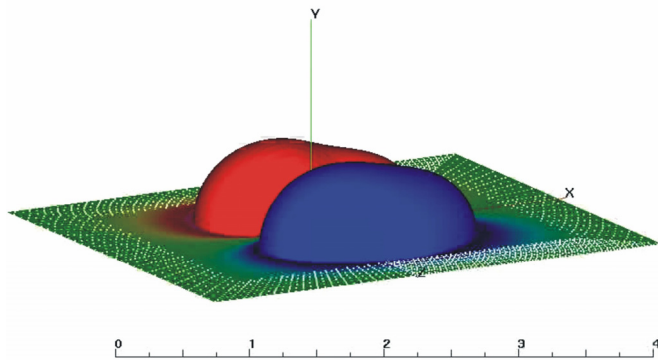


Abbildung 4: Dreidimensionale Schallabstrahlung um einen rechteckigen Zylinder bei 50 Hz.

Die Simulationen ergaben eine Bestätigung der experimentellen Untersuchungen.

Vorwärtsspringende Stufe

Eine ebene Platte mit aufgesetzter Stufe wird, wie in Abb. 4 zu sehen, bündig an die Düse des Windkanals montiert. Die Stufenhöhe beträgt bei allen Versuchen 12 mm. Eine Messung des abgestrahlten Schalls im Fernfeld zeigt deutlich den im Gegensatz zur Zylinderumströmung breitbandigen Charakter.

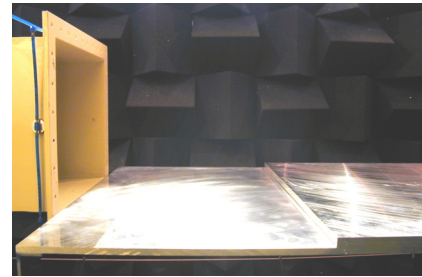


Abbildung 5: Messaufbau zur aeroakustischen Untersuchung der vorwärtsspringenden Stufe

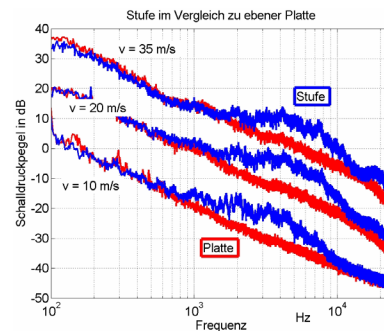


Abbildung 6: Schalldruckspektren der überströmten Stufe

Zur Lokalisierung der Schallquellen erfolgten Korrelationsmessungen mit instationären Wanddrucksonden und Fernfeldmikrofonen. Eine Kohärenz des Signals der Wanddrucksonden ergab sich nur für Sonden vor der Stufe zum Schallsignal. Umfangreiche Simulationen zeigten, dass die Anisotropie der Turbulenz vor der Stufe einen starken zweidimensionalen Charakter hat, währenddessen die Strömung nach der Strömungsablösung an der Stufenkante sich sehr schnell in die Richtung einer isotropen Turbulenzverteilung entwickelt. Dies bedeutet, dass die Turbulenz vor der Stufe eine ausgeprägte räumliche Korrelation quer zur Strömungsrichtung aufweist, die räumliche Korrelation der Geschwindigkeitsschwankungen nach der Stufe jedoch schwach ist. Dadurch bilden sich eine Vielzahl von unkorrelierten Einzelschallquellen aus, deren Beitrag im akustischen Fernfeld nicht mehr identifiziert werden kann.

Zusammenfassung

Die Arbeit umfasst detaillierte Untersuchungen zu Strömungsstrukturen um vereinfachte Geometrien. Dabei wurde ein komplementärer Ansatz benutzt aus experimentellen und numerischen Verfahren. Es konnten damit grundlegende Erkenntnisse der Schallentstehung und Schallausbreitung für die tonale Schallentstehung um einen Zylinder und bei der breitbandigen Schallabstrahlung um eine vorwärtsspringende Stufe geklärt werden.

Literatur

[1] Mueller, Thomas J.: Aeroacoustic Measurements, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York 2002