

# Numerische und experimentelle Untersuchungen der Schallabstrahlung bei strömungsinduzierten Strukturschwingungen

Thomas Uffinger<sup>1</sup>, Stefan Becker<sup>1</sup>, Frank Schäfer<sup>1</sup>, Stefan Müller<sup>1</sup>,  
Jens Grabinger<sup>2</sup>, Manfred Kaltenbacher<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Universität Erlangen, 91058 Erlangen, Deutschland,  
Email: sbecker@lstm.uni-erlangen.de

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen, 91058 Erlangen, Deutschland,  
Email: manfred.kaltenbacher@lse.ee.uni-erlangen.de

## Einleitung

Die Wechselwirkungen zwischen einer Strömung und elastischen Körpern und dem daraus induzierten Schall spielen in zahlreichen Anwendungsfeldern der unterschiedlichsten ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen (Maschinenbau, Flugzeug- und Fahrzeugbau, Bauingenieurwesen, Mikromechanik, Anlagenbau, usw.) und in der Biomedizin (Untersuchung der menschlichen Stimmbildung) eine zentrale Rolle.

Prinzipiell verursachen die durch die Strömung auf einen elastischen Körper wirkenden Druck- und Scherkräfte eine Verformung der belasteten mechanischen Struktur. Aufgrund dieser Geometrieänderung kommt es zu einer Rückwirkung auf die Strömung selbst. Aus der Gesamtheit des physikalischen Vorgangs können zwei verschiedene Mechanismen der Schallentstehung abgeleitet werden. Neben dem klassischen Strömungsschall entsteht Vibrationschall durch die strömungsinduzierte Strukturschwingung.

Aufgrund der enormen Komplexität des Gesamtphänomens, welche bereits durch die klassische Aeroakustik sowie die Fluid-Struktur-Wechselwirkung gegeben ist, sind Forschungsarbeiten zu Problemstellungen, die sich mit der gesamten Kette der Fluid-Struktur-Akustik-Interaktion beschäftigen, bisher in der Literatur (u.a. [1]) noch wenig zu finden. Oft wird die Rückwirkung der Strukturbewegung auf die Strömung vernachlässigt.

## Modellaufbau

Die vorliegenden komplementären Experimente und Simulationen beinhalten Untersuchungen der Überströmung einer flexiblen Wandstruktur. Die Abb. 1 zeigt schematisch den Versuchsaufbau.

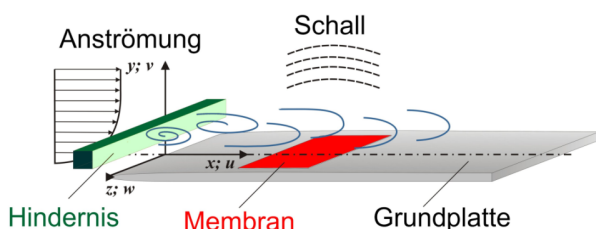


Abbildung 1: Modellaufbau der Überströmung einer flexiblen Struktur (Membran).

Der Modellaufbau wurde aus einer technischen Anwendung abgeleitet, bei der es sich um die Durchströmung des Unterbodenbereichs eines Fahrzeuges handelt. Markant ist hier im Fahrzeuginnern ein lästiges niederfrequentes Geräusch, das resultierend aus strömungsinduzierten Vibrationen der Bodenbleche in das Fahrzeuginnere übertragen wird. Neben der Klärung der physikalischen Mechanismen des Schallentstehungsprozesses gilt es, durch Veränderungen der Anströmbedingungen Maßnahmen zu finden, die zu einer Verringerung des niederfrequenten tonalen Schalls führen. Dies wird durch die Anordnung verschiedener Hindernisgeometrien in der Strömung vor der schwingenden Struktur erreicht. Die Turbulenzeigenschaften im Nachlauf der Hindernisse führen zu unterschiedlichen Anregungen der Strukturschwingungen und somit zu einer Beeinflussung der Schallabstrahlung.

## Untersuchungsmethoden

Für die Untersuchungen wurde eine Methodik gewählt, die parallel experimentelle und numerische Untersuchungen beinhaltet. Für die Simulation wurde eine Programmumgebung (siehe Abb. 2) geschaffen, die eine vollgekoppelte Berechnung der Fluid-Struktur-Akustik-Interaktionen ermöglicht.

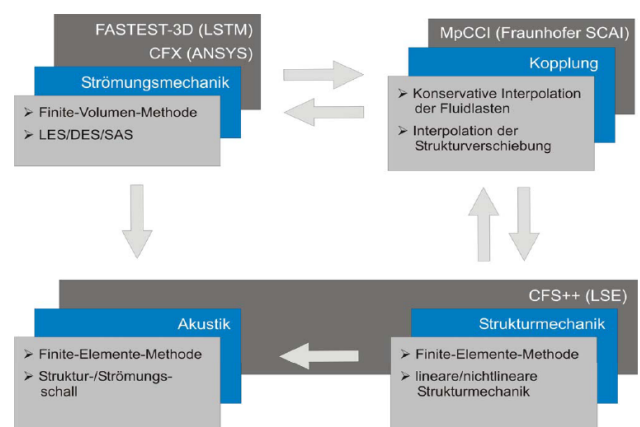


Abbildung 2: Programmumgebung der Fluid-Struktur-Akustik-Kopplung

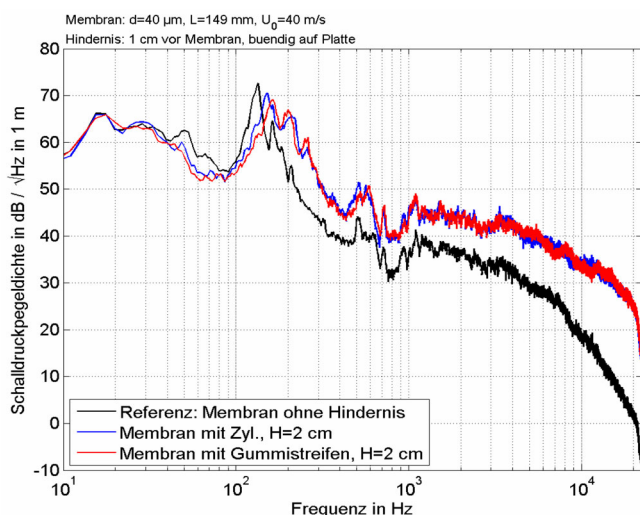
Die Rückwirkung der Akustik auf die Fluid- und Strukturbewegung konnte dabei aufgrund der kleinen akustischen Druck- und Dichteschwankungen gegenüber dem hydrodynamischen Druck vernachlässigt werden. Der Algorithmus ermöglicht somit eine getrennte Betrachtung der Teilberei-

che Fluid-Struktur und Fluid-Akustik/Struktur-Akustik. Ein partitionierter Ansatz mit separaten Codes für Fluid (Finite Volumen Verfahren - FVM) und Struktur/Akustik (Finite Elemente Verfahren - FEM) kommt zum Einsatz. Der Austausch von Daten zwischen den verschiedenen Diskretisierungen (FVM/FEM) und den entsprechenden Rechengittern erfolgt durch eine MpCCI [2] Schnittstelle.

Die experimentellen Untersuchungen wurden in einem aeroakustischen Windkanal durchgeführt. Die Messstrecke des Kanals befindet sich in einem schalltoten Raum. Die Erfassung des Schalls im Fernfeld erfolgte über Kondensatormikrofone in unterschiedlichsten Anordnungen. Die mittleren Geschwindigkeitsfelder der Strömung und deren Turbulenzeigenschaften wurden über Hitzdrahtmessungen (HDA) und über entsprechend der Strukturschwingung korrelierte Laser-Doppler-Geschwindigkeitsmessungen (LDA) bestimmt. Zusätzlich wurden Messungen der instationären Wanddruckverteilungen und eine Analyse der räumlichen Strukturschwingung mit Hilfe eines Laser-Scanning-Vibrometers durchgeführt. Eine Korrelation der verschiedenen Messverfahren untereinander hatte das Ziel, daraus Zusammenhänge zwischen Schallabstrahlung, Strukturschwingung und der Turbulenz der Strömung ableiten zu können.

## Ergebnisse

Die Ergebnisse belegen, dass durch Einbringen von verschiedenen Hindernissen vor der flexiblen Struktur eine Verringerung der tonalen niederfrequenten Frequenz im Schallfeld erreicht werden kann (siehe Abb. 3). Die größte Reduzierung wurde durch eine flexible Gummistruktur (Gummilippe) erreicht.



**Abbildung 3:** Schalldruckpegeldichte der flexiblen Platte in Abhängigkeit von verschiedenen Anströmbedingungen

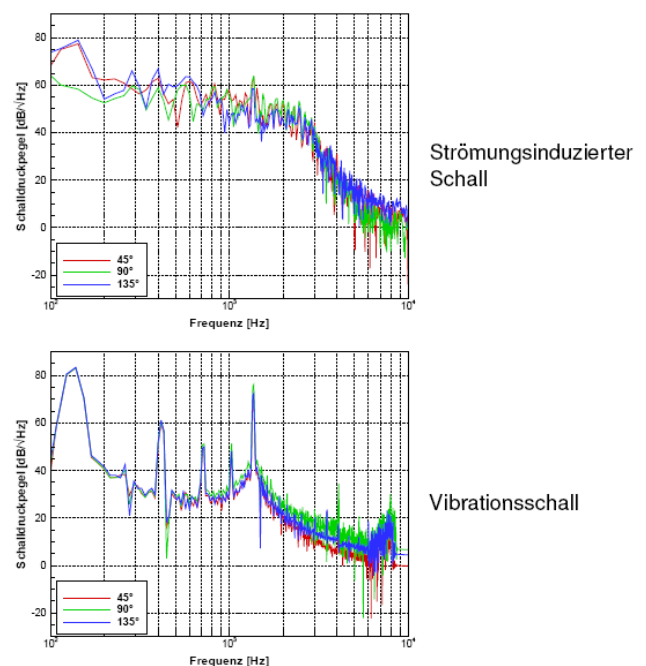
Jedoch ist die Verringerung der tonalen Komponente mit einer Erhöhung des hochfrequenten Breitbandgeräusches verbunden. Die Referenz für die Modifikationen bildete die Schallabstrahlung bei der Anströmung ohne zusätzliches Hindernis.

Um einen Zusammenhang zwischen Strömung und resultierender Strukturschwingung herstellen zu können, erfolgte

eine Klassifizierung der Turbulenz über deren Anisotropieeigenschaften. Es zeigte sich, dass die Strömung bei Verwendung der Gummilippe eine deutlich isotropere Turbulenzverteilung aufweist als bei den Vergleichsgeometrien. Dies kann als Indiz dafür gedeutet werden, dass die Fluktuationen der Strömung weniger räumlich korreliert sind und im Wechselspiel mit der Membran zu einer Verringerung der tonalen Schwingungskomponente führen.

Gegenstand der Simulation war neben der Berechnung des instationären Strömungsfeldes die Bestimmung der Strukturschwingung und des resultierenden Schallfelds. Die Ergebnisse für das Geschwindigkeitsfeld belegen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messungen der LDA-Untersuchungen des Modellexperiments.

In der Abb. 4 sind die Schalldruckspektren aus der Simulation mit den getrennten Anteilen des strömungsinduzierten Schalls und des Vibrationsschalls der Strukturschwingung gegenübergestellt. Die Spektren wurden in unterschiedlichen Raumrichtungen ermittelt. Das aus der vollgekoppelten Simulation bestimmte abgestrahlte Schallfeld hat für die Strukturschwingung deutliche Eigenschaften eines Monopols. Es zeigt sich, dass der tonale Anteil dieses Schallfeldes dominierend gegenüber dem durch die Strömung selbst induzierten Schall ist.



**Abbildung 4:** Aufteilung des Schalls in strömungsinduzierten Schall und Vibrationsschall

Der Ansatz erlaubt somit die Trennung zwischen strömungsinduziertem Schall und Vibrationsschall.

## Literatur

[1] Neuhierl, B. und Rank, E.: Aeroacoustics and Fluid-Structure-Coupling using the Lattice-Boltzmann and the Finite Element Method. In Computational Methods for Coupled Problems in Science and Engineering, ISBN 84-95999-71-4, 2005

[2] MpCCI: <http://www.mpcci.org>