

Simulationsumgebung zur Berechnung der Entstehung sowie Ausbreitung von strömungsinduziertem Lärm

M. Kaltenbacher¹, M. Escobar¹, R. Lerch¹, I. Ali², S. Becker², F. Durst²

¹ Lehrstuhl für Sensorik (LSE), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Email: manfred@lse.eei.uni-erlangen.de

² Lehrstuhl für Strömungsmechanik (LSTM), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Einleitung

In vielen Bereichen sind Arbeitsprozesse mit gesundheitsgefährdenden strömungsinduzierten Geräuschen verbunden. Steigende Mobilitätsanforderungen und die fortschreitende Industrialisierung verschärfen dieses Problem von Jahr zu Jahr. Diese Tatsache führt zu einer zunehmenden Nachfrage nach einem Simulationsprogramm, welches die komplexe Interaktion zwischen der Strömungsmechanik und der Akustik präzise berechnen kann. Damit soll dem Ingenieur ein Werkzeug zur Verfügung gestellt werden, mit welchem er die Ursachen der Schallentstehung analysieren kann, um so eine Reduktion des strömungsinduzierten Lärms an bestehenden sowie neu zu entwickelnden Maschinen und Geräten erzielen zu können.

Simulationsverfahren

Abbildung 1 zeigt die prinzipielle Problemstellung bei der Berechnung des strömungsinduzierten Lärms. Prinzipiell könnte der strömungsinduzierte Lärm durch exakte Lösung der Navier-Stokes Gleichung bestimmt werden. Die Komplexität bei dieser Vorgehensweise besteht jedoch im enormen Größenunterschied zwischen dem strömungsmechanischen und dem akustischen Druck von mehreren Zehnerpotenzen. Zusätzlich ist in den meisten Fällen das Strömungsgebiet wesentlich kleiner, als jenes für die akustische Schallausbreitung. Dementsprechend kann das Berechnungsgebiet für die

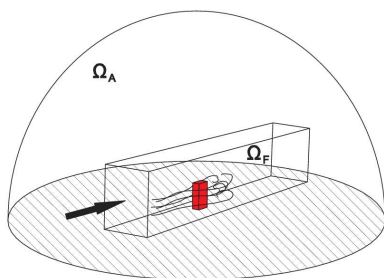


Abbildung 1: Schallentstehung aufgrund eines umströmten Körpers

Strömungsmechanik gegenüber dem Berechnungsgebiet für die Akustik klein gehalten werden. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 1 verdeutlicht, da nur im Gebiet Ω_F die Strömungsmechanik und im Gebiet $\Omega_F \cup \Omega_A$ die Akustik gerechnet wird. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Ortsdiskretisierung für die

Strömungsberechnung wesentlich feiner sein muss, als jene, welche für die numerische Berechnung der Schallausbreitung erforderlich ist. Aufgrund dieser Tatsachen ist für die Berechnung von praxisrelevanten Problemstellungen ein hybrider Ansatz zu wählen, in welchem eine getrennte Berechnung von Strömungsmechanik und Akustik durchgeführt wird.

Das hybride Verfahren erlaubt somit unterschiedliche Berechnungsgitter (jeweils für die einzelne partielle Differentialgleichung optimal angepasstes Gitter) für die Strömungs- und die Akustiksimulation. Für die akustische Schallberechnung wird dabei die Lighthill-Gleichung [3]

$$\frac{\partial^2 \rho_{\sim}}{\partial t^2} - c_0^2 \nabla \cdot \nabla \rho_{\sim} = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} \quad (1)$$

mit Hilfe einer Finiten-Elemente-Formulierung gelöst. In (1) bezeichnet ρ_{\sim} die Dichteschwankung, c_0 die Schallausbreitungsgeschwindigkeit und T_{ij} den Lighthill's Tensor, welcher sich aus dem Geschwindigkeitsvektor \mathbf{v} unter Vernachlässigung der Reibungsterme wie folgt berechnet

$$T_{ij} \approx \rho v_i v_j. \quad (2)$$

Für die aeroakustische Berechnung wurden das am

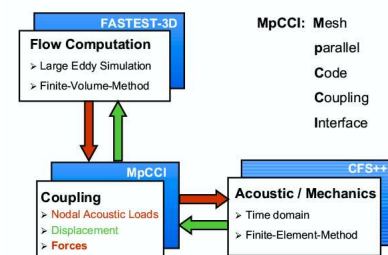


Abbildung 2: Simulationsumgebung

LSTM entwickelte Programm FASTEST-3D [1] für die Strömungssimulation sowie das am LSE entwickelte Programm CFS++ [2] für die Akustiksimulation entsprechend erweitert. Dabei wird der Term auf der rechten Seite in (1) für jeden Zeitschritt bereits auf der Strömungsseite berechnet und die sich ergebenden skalaren Werte mit Hilfe von MpCCI [4] auf das Berechnungsgitter für die Akustik interpoliert. Abbildung 2 zeigt schematisch die Kopplung zwischen FASTEST-3D und CFS++ via MpCCI.

Die wesentlichen Vorteile unseres neuen Verfahrens können wir folgt zusammengefasst werden:

- Jeweils optimale (hinsichtlich der Genauigkeit) Diskretisierung für Strömungs- und Akustikberechnung.
- Kopplung der beiden physikalischen Systeme im Zeitbereich.
- Erlaubt die Berechnung der Entstehung sowie Ausbreitung des Schalls im Strömungsgebiet.
- Bietet die Möglichkeit der Lokalisierung und Identifikation der Schallquellen im Strömungsgebiet.
- Eine Erweiterung des Verfahrens um Schall, welcher infolge strömungsangeregter Strukturschwingungen entsteht, ist möglich.

Ergebnisse

Zur Demonstration des vorgestellten Simulationsverfahrens werden in diesem Abschnitt die Ergebnisse der Schallentstehung und Ausbreitung der in Abbildung 1 dargestellten Problematik eines umströmten Zylinders diskutiert.

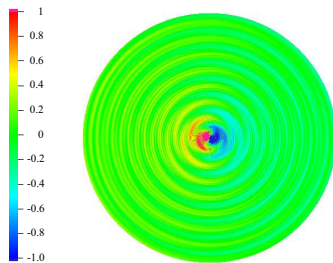


Abbildung 3: Simuliertes Schallfeld um den Zylinder

Die Einströmbedingung wird mit 10 m/s (Blockprofil) festgelegt und die sich ergebende Strömung mittels LES (Large Eddy Simulation) berechnet. Innerhalb jedes Zeit-

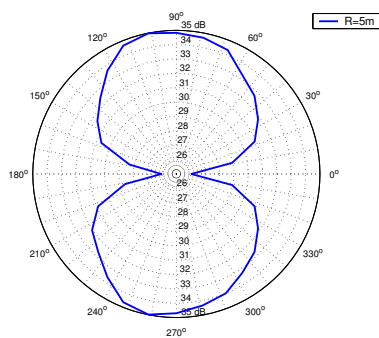


Abbildung 4: Simulierte Abstrahlcharakteristik in 5 m Entfernung vom Zylinder (Schalldruckpegel in dB)

schrittes wird der Term auf der rechten Seite von (1) auf dem wesentlich feineren Strömungsgitter berechnet und mittels MpCCI auf das Akustikgitter interpoliert. Das sich ergebende Schallfeld zu einem fixen Zeitpunkt ist in Abbildung 3 dargestellt (normierter akustischer

Druck). Der sich ergebende Dipolcharakter ist auch deutlich in der Abstrahlcharakteristik, welche in 5 m Entfernung vom Zylinder ermittelt wurde, zu sehen (siehe Abbildung 4). Von großem Interesse sind die Zeitsignale des

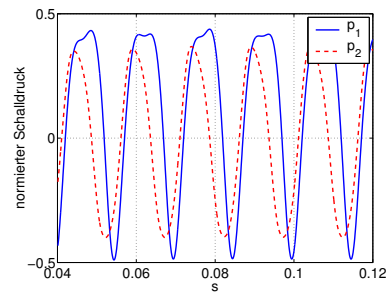


Abbildung 5: Zeitsignal des akustischen Druckes: p_1 befindet sich unmittelbar hinter dem Zylinder; p_2 befindet sich außerhalb des Strömungsgebietes

akustischen Druckes im Strömungsgebiet um den Zylinder sowie in Bereichen, wo kein Strömungsfeld vorhanden ist. Abbildung 5 zeigt dazu die beiden Zeitsignale und Abbildung 6 die entsprechenden Frequenzspektren. Aufgrund der Nichtlinearitäten (siehe Lighthill-Term in

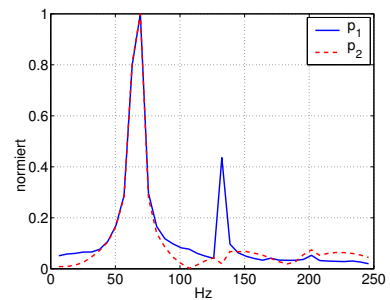


Abbildung 6: Frequenzspektrum des akustischen Druckes: p_1 befindet sich unmittelbar hinter dem Zylinder; p_2 befindet sich außerhalb des Strömungsgebietes

(1)) ist das Drucksignal im Strömungsgebiet um den Zylinder verzerrt und zeigt eine doppelte Frequenzkomponente, welche auch bei Strömungsmessungen mit einem Hitzdraht ermittelt wurde.

Literatur

- [1] F. Durst and M. Schäfer, *A Parallel Block-Structured Multigrid Method for the Prediction of Incompressible Flows*, Int. J. Num. Methods Fluids **22** (1996), 549–565.
- [2] M. Kaltenbacher, A. Hauck, M. Hofer, M. Mohr, and E. Zhelezina, *CFS++: Coupled Field Simulation*, LSE, University of Erlangen, 2005.
- [3] M.J. Lighthill, *On sound generated aerodynamically i. general theory*, Proc. Roy. Soc. Lond. (1952), no. A 211, 564–587.
- [4] Institute of Algorithms and Scientific Computing, *MpCCI Mesh Based Parallel Code Coupling Interface*, www.mpcci.org, 2005.