

Analyse von Quellen und Skalierung der Schallabstrahlung am generischen Außenspiegel mittels CFD/CAA

Florian Schwertfirm¹, Johannes Kreuzinger¹, Jasmin Dörr², Gerhard Wickern³

¹ Kreuzinger und Manhart Turbulenz GmbH, 81675 München, Deutschland, Email: f.schwertfirm@km-turbulenz.de

² TU-München, 80333 München, Deutschland ³ Audi AG, 85045 Ingolstadt, Deutschland

Einleitung

Ein Ziel aeroakustischer Untersuchungen ist es, Schall-Quellorte zu finden und Quellmechanismen zu verstehen. Validierte aeroakustische Methoden [1] bieten dafür sehr gute Voraussetzungen, da alle Größen im kompletten Feld zur Verfügung stehen. Allerdings existiert für die Bestimmung von Quellorten und Quellmechanismen noch kein Standardauswerteverfahren. Daher werden am Beispiel des generischen Außenspiegels die durch eine validierte CFD/CAA Simulation vorhandenen Feldgrößen dahingehend analysiert. Für Anströmgeschwindigkeiten von 90, 140 und 220km/h wurden Strömung und Schallabstrahlung mit MGLET simuliert [1], einem hybriden Verfahren, das Strömung und Schall simultan auf demselben Rechengitter berechnet. Validiert wird die Simulation anhand von gemessenen Druckspektren an der Spiegeloberfläche und im Fernfeld. Räumliche Felder verschiedener Größen werden analysiert um Quellorte zu bestimmen: akustische Quellterme, Wechseldrücke und frequenzgefilterte Werte des hydrodynamischen und akustischen Drucks. Ein Vergleich mit Quellkarten, die durch einen konventionellen Beamforming-Algorithmus im Postprocessing aus den Simulationsdaten gewonnen wurden, bestätigt, dass die frequenzgefilterten Wechseldrücke auf den Oberflächen gute Indikatoren für die Orte der Schallentstehung sind.

Methode und Anwendungsfall

Der CFD-CAA Solver MGLET basiert auf dem hybriden Ansatz. Dabei werden simultan auf einem Rechengitter die inkompressiblen, räumlich gefilterten Navier-Stokes Gleichungen und die akustischen Störungsgleichungen [2] gelöst. Die nicht aufgelösten hydrodynamischen Skalen werden dabei mit einem Wirbelviskositätsansatz modelliert. Die Kopplung zu den akustischen Störungsgleichungen folgt über den Lighthill-Tensor [3] zeitaufgelöst. Der untersuchte Fall des generischen Außenspiegels besteht aus einem Halbzylinder auf einer ebenen Platte. Dieser wurde bei den Anströmgeschwindigkeiten von 90, 140 und 220km/h im akustischen Windkanal von Audi durch PIV, LDA, Durchsonden an der Oberfläche und Mikrofonen im Fernfeld vermessen.

Ein Vergleich des mittleren Strömungsfeld zwischen LES und PIV-Messung sowie der U_{rms} -Werte zwischen LES und LDA-Messung zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation. Die Druckschwankungen an der Oberfläche sowie im Fernfeld zeigen eine gute

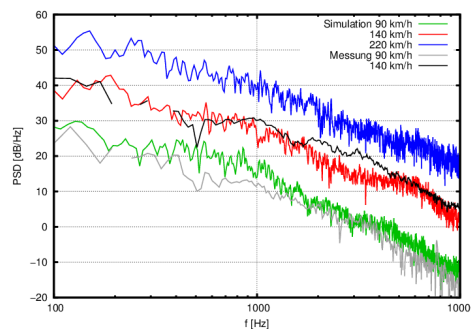


Abbildung 1: Schmalbandspektrum des Wechseldrucks im Fernfeld

Übereinstimmung im Pegel und im Verlauf der Schmalbandspektren (Abb. 1). Dabei ist zu erwähnen dass für die Vergleichbarkeit zwischen Messung und Simulation die Druckschwankung im Fernfeld, also die Schallabstrahlung, aus einem Differenzspektrum zwischen Messung mit Platte und Spiegel und einer Messung nur mit Platte rekonstruiert wurde.

Schallentstehung

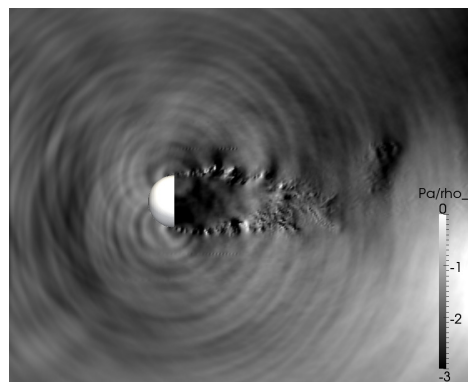


Abbildung 2: Schallfeld um den Außenspiegel bei $z = 200\text{mm}$ und 140km/h

Bei Betrachtung des momentanen Schallfeldes um den Außenspiegel zeigen sich deutliche Quellen stromauf der Hinterkante des Spiegels im Ablösegebiet (Abb.2) sowie um den Spiegelfuß. Durch eine Analyse der Quellkarten aus dem Beamforming sowie der frequenzgefilterten Schalldruckverteilung lassen sich die Quellgebiete spektral zuordnen: so befinden sich bei 1000Hz die Quellgebiete eher am Boden etwas hinterhalb des Spiegels und bei 4000Hz in den Ablösegebieten vor der Hinterkante (Abb. 3).

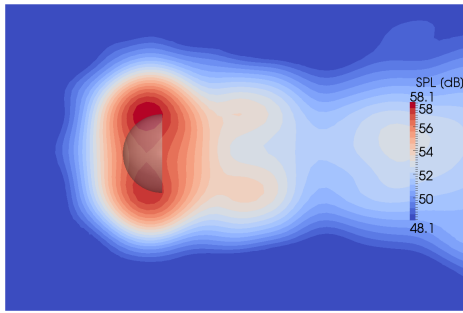


Abbildung 3: Quellkarte bei $f = 4000\text{ Hz}$ und $z = 200\text{ mm}$ aus der Simulation

Der frequenzgefilterte hydromechanische Druck im gesamten Gebiet sowie in die Momentanbilder des Lighthill-Tensors (Abb. 4) lassen diese Schlüsse nicht zu, da sich hier die Intensitätsmaxima in den Scherschichten im Spiegelnachlauf befinden.

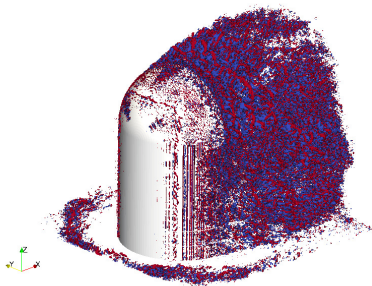


Abbildung 4: Isoflächen des Momentanwertes von T_{ij}

Betrachtet man hingegen die frequenzgefilterten Wechseldrücke an den Körperoberflächen (Abb. 5) so stimmen die Intensitätsmaxima mit den Maxima aus den Quellkarten gut überein. Der dominante Quellmechanismus ist daher mit der Theorie nach Curle [4] gut beschrieben.

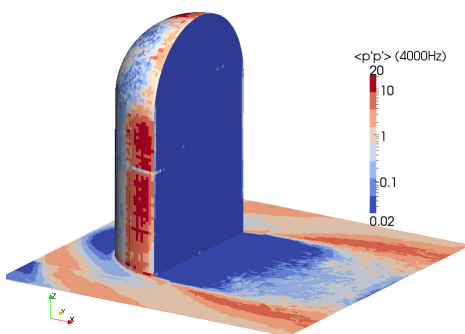


Abbildung 5: Frequenzgefilterter Wechseldruck an der Körperoberfläche bei $f = 4000\text{ Hz}$

Skalierung des Schalls

Dem dominanten Quellmechanismus nach Curle folgt eine Skalierung des Schalls im Fernfeld, unter der Annahme eines kompakten Quellgebietes, mit U^6 bei einer Auftragung über der Strouhal-Zahl. Mit dieser Skalierung kol-

labieren die Spektren zwischen $St = 0.4$ und $St = 30$ auf $\Delta 6\text{ dB}$ (Abb. 6).

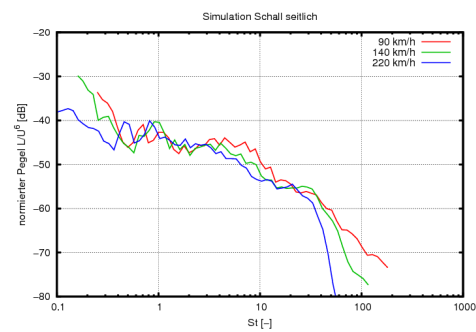


Abbildung 6: Schallspektren über Strouhalzahl, Pegel skaliert mit U^6

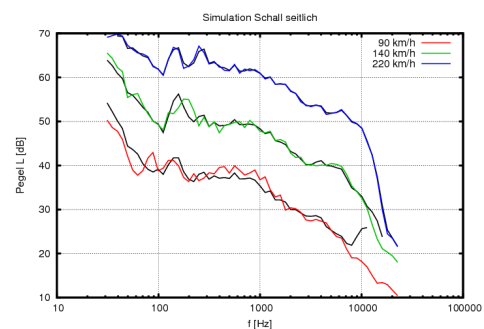


Abbildung 7: Farben: simulierte Schallspektren; schwarz: synthetisierte Spektren aus dem Produktansatz

Durch die Anwendung des Produktansatzes nach [5] erreicht man eine genauere Abbildung der Schallabstrahlung über fast den gesamten Frequenzbereich. In dem Produktansatz werden aus zwei Fernfeldspektren eine Anregungsfunktion und ein Systemfrequenzgang bestimmt. Mit diesen können Fernfeldspektren bei beliebigen Anströmgeschwindigkeiten synthetisiert werden. Die bessere Abbildung ist vor allem durch die Berücksichtigung eines Systemfrequenzganges im Produktansatz zu begründen.

Literatur

- [1] Schwertfirm, F., Kreuzinger, J., Peller, N., Hartmann, M.: Validation of a Hybrid Simulation Method for Flow Noise Prediction. AIAA, Colorado Springs, 2012
- [2] Ewert, R., Schröder, W.: Acoustic perturbation equations based on flow decomposition via source filtering. J. of Comp. Phys., 2003
- [3] Lighthill, J.: On sound generated aerodynamically. I. General theory. Proc. Roy. Soc. A, 1952
- [4] Curle, N.: The influence of solid boundaries upon aerodynamic sound. Proc. Roy. Soc. Lond. A, 1955
- [5] Weidemann, J.: Beitrag zur Analyse der Beziehungen zwischen den akustischen und strömungstechnischen Parametern am Beispiel geometrisch ähnlicher Radialventilator-Laufräder, DLR-FB, 1971