

Aeroakustische Validierungen am Beispiel einer generischen Fahrzeugstruktur

Stefan Achilles¹, Andreas Zeibig¹, Andreas Wilde²

¹ TU - Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, D-01062 Dresden, Email: achilles.st@gmx.de

² Fraunhofer Gesellschaft, IIS, D-01069 Dresden, Email: Andreas.Wilde@eas.iis.fraunhofer.de

Einleitung

Im Rahmen des Projekts AKUSIM (Akustische Simulationsverfahren, Forschungsverbund „Leiser Verkehr“) erfolgte die numerische Simulation der Schallerzeugung bei der Umströmung von typischen Fahrzeugstrukturen, ein Schwerpunkt lag dabei auf der Berechnung des Strömungsgeräusches mit Hilfe der Wanddruckschwankungen. Um die erforderliche Validierung der numerisch simulierten Ergebnisse zu ermöglichen, wurden verschiedene Strömungs- und Schallfeldgrößen im aeroakustischen Windkanal des Instituts für Akustik und Sprachkommunikation der TU Dresden vermessen. Im Folgenden sollen die wichtigsten Messergebnisse präsentiert und mit den Ergebnissen aus Simulationen verglichen werden.

Aufbau der Fahrzeugstruktur/Messtechnik

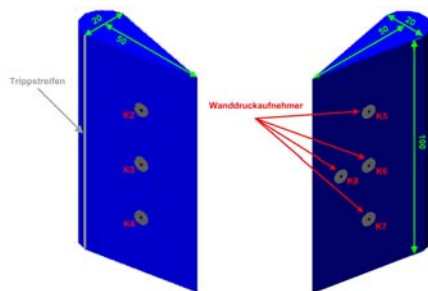


Abbildung 1: Skizze der vermessenen Fahrzeugstruktur incl. Wanddruckaufnehmer und Trippstreifen, Abmessungen in mm, Testfall $L/d = 2,5$

Die vermessene Fahrzeugstruktur bestand aus einem Halbzylinder ($\varnothing d$), an dessen Rückseite ein Heckdreieck der Länge L angesetzt wurde. Um eine Störung der Strömung durch die Kanten an Ober- und Unterseite zu verringern, wurden aerodynamische Endkappen angebracht. Es ergibt sich eine Gesamtprofilhöhe von ca. 120mm, damit konnte das Modell gänzlich im Freistrahlfeld platziert werden. In die Fahrzeugstruktur wurden 7 Wanddruckaufnehmer (Abbildung 1) eingebaut. Zur Messung der Wanddruckschwankungen wurden Elektretkapseln verwendet. Es kam dabei eine Kapsel zum Einsatz, die in den Voruntersuchungen sowohl einen linearen akustischen Frequenzgang als auch einen geringen Störpegel bei Überströmung aufwies. Die Vermessung der Fahrzeugstruktur erfolgte jeweils ohne und mit Trippstreifen.

Messergebnisse

Fernfeldschalldruck

Im Fernfeldspektrum der Messung ohne Trippstreifen können zwei Überhöhungen bei Frequenzen von ca. 130Hz und ca. 330Hz beobachtet werden (Abbildung 2). Nach dem

Anbringen des Trippstreifens tritt die Überhöhung bei einer Frequenz von 130Hz verstärkt hervor, das vorherige Maximum, bei einer Frequenz von ca. 330Hz, ist nur noch schwach ausgeprägt [1].

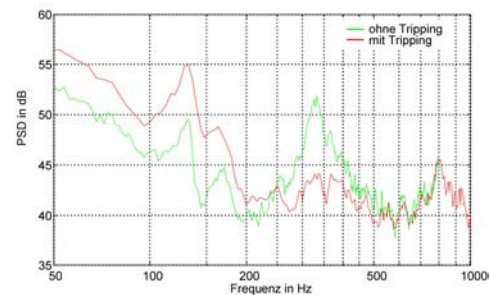


Abbildung 2: Leistungsdichtespektren des vom Modell abgestrahlten Schalls, gemessen im Abstand von 33cm zum Modellmittelpunkt, normiert auf $p_0 = 20\mu\text{Pa}$, $v_{\text{Anström}} = 34\text{m/s}$

Wanddruck

In den Wanddruckspektren der Messungen ohne bzw. mit Trippstreifen tritt jeweils nur ein Maximum deutlich hervor. Im Fall der Messung ohne Tripping liegt dieses ebenfalls bei einer Frequenz von ca. 330Hz, für die Messung mit Tripping ergibt sich wiederum ein Maximum bei einer Frequenz von ca. 130Hz (Abbildung 3).

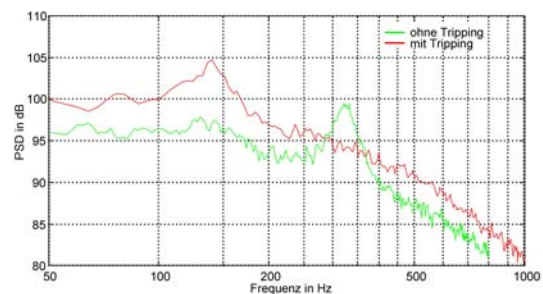


Abbildung 3: Leistungsdichtespektren der von Wanddruckaufnehmer 3 gemessenen Gesamtdruckpegel normiert auf $p_0 = 20\mu\text{Pa}$, nach akustischer Kalibrierung auf B&K 4138 bei $f = 1\text{kHz}$, $v_{\text{Anström}} = 34\text{m/s}$

Die im gesamten Frequenzbereich auftretenden höheren Pegel der Messung mit Trippstreifen werden durch das Tripping selbst und durch die damit verbundene Turbulenzerhöhung verursacht [1].

Korrelation Fernfeldschalldruck - Wanddruck

Die Korrelation von Fernfeldschalldruck und Wanddruck wurde anhand der Kohärenz beider Signale überprüft (Abbildung 4). In den Kohärenzspektren treten die schon in den anderen Kurvenverläufen zu erkennenden Maxima bei ca. 130Hz bzw. 330Hz auf. In der Messung ohne Trippstreifen treten beide Maxima deutlich hervor, die Kohärenz nimmt für die genannten Frequenzen Werte von ca. 0,6 bzw. 0,8 an.

Die Messung mit Tripping liefert nur für den Frequenzbereich um 130Hz eine deutliche Zunahme der Kohärenz, deren Maximum ca. 0,6 beträgt. Die gute Korrelation von Fernfeldschalldruck und Wanddruck deutet auf eine Schallentstehung aufgrund von Wirbeln und Turbulenzen in Grenzschicht und Nachlauf hin.

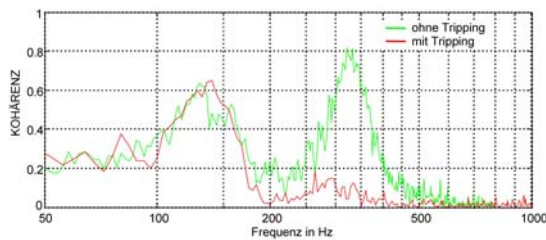


Abbildung 4: Kohärenzfunktion zwischen Fernfeldschalldruck in 33cm Entfernung und von Druckaufnehmer 3 aufgezeichnetem Wanddrucksignal, $p_0 = 20\mu\text{Pa}$, $v_{\text{Anström}} = 34\text{m/s}$

Normiert man das höherfrequente Maximum (f_R ca. 330Hz) auf eine Querabmessung ($d = 20\text{mm}$), so ergibt sich eine STROUHAL – Zahl von ca. 0,2. Das Nachlaufverhalten der Fahrzeugstruktur in der Strömung ähnelt dem eines Zylinders gleichen Durchmessers (KARMAN'sche Wirbelstrasse) [1]. Der Ursprung der zweiten spektralen Überhöhung (f_R ca. 130Hz) ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht endgültig geklärt. Als Ansatz könnte die Annahme einer akustisch-hydrodynamischen Rückkopplung dienen. Beim Auftreffen eines Wirbels auf die Profilhinterkante kommt es zur Schallabstrahlung. Eine sich stromauf bewegende Schallwelle könnte eine erneute Ablösung eines Wirbels an der Abrisskante verursachen („ROSSITER-Mechanismus“).

Validierung

Wanddruckspektren

Die gemessenen und die aus einer LATTICE-BOLTZMANN - Simulation berechneten Wanddruckspektren [2] zeigen im Wesentlichen einen ähnlichen Kurvenverlauf, die Pegeldifferenzen betragen für $f < 500\text{Hz}$ weniger als 5dB (Abbildung 5). Die auftretenden Maxima liegen in der Simulation bei ca. 300Hz, in der Messung dagegen bei ca. 330Hz.

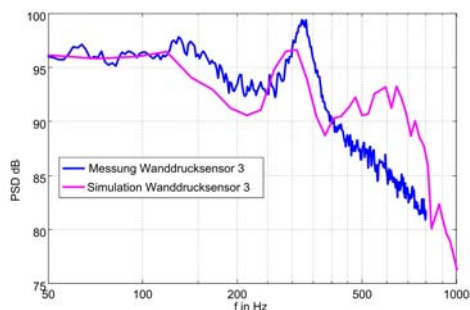


Abbildung 5: simuliertes bzw. gemessenes Wanddruckspektrum, Simulation: Andreas Wilde FhG IIS, $p_0 = 20\mu\text{Pa}$, $v_{\text{Anström}} = 34\text{m/s}$

Richtcharakteristik

Die Simulation des DLR (PIANO, [3]) liefert für die beschriebene Fahrzeugstruktur eine dipolförmige Schallabstrahlung (Abbildung 6). Die Vermessung der Richtcharakteristik in dem markanten Bereich der Einschnürungen war aufgrund des Messaufbaus und des Einflusses der Strömung nicht möglich. Die geringfügige Pegelabnahme im vermessenen Bereich lässt jedoch ebenfalls eine Dipolcharakteristik vermuten.

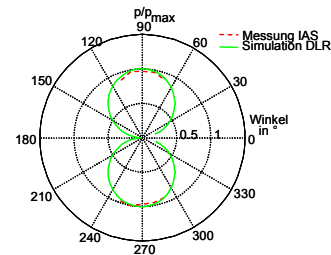


Abbildung 6: simulierte bzw. gemessene Richtcharakteristik normiert, $r_{\text{Mess}} = 33\text{cm}$, $p_0 = 20\mu\text{Pa}$, $v_{\text{Anström}} = 34\text{m/s}$

Ursachen der Abweichungen

Es ergeben sich Abweichungen zwischen Messungen und Simulationen durch geringfügige Unterschiede in Modellgeometrien und Anströmbedingungen. Aus Rechenzeitgründen wurden in den bisherigen Simulationen u. a. die Endkappen und Halterung des Messmodells nicht berücksichtigt. Auch der endliche Freistrah mit geringfügiger Anströmturbulenz entspricht nicht der in der Simulation angenommenen unendlich ausgedehnten laminaren Anströmung und sollte in zukünftigen Simulationen ggf. berücksichtigt werden. Hauptfehlerquellen in der Messung selbst sind eine leichte Verkipfung des Modells und die Messunsicherheit der verwendeten Messtechnik.

Zusammenfassung

In den vermessenen Fernfeld- und Wanddruckspektren trat die erwartete hydrodynamische Schwingung auf, zusätzlich konnte ein weiteres spektrales Maximum, dessen Ursprung noch nicht endgültig geklärt ist, beobachtet werden. Die Validierung zeigt zum jetzigen Zeitpunkt nur in einigen Fällen gute Übereinstimmungen. Die Ursachen einiger Abweichungen müssen noch geklärt werden, Verbesserungen lassen sich aber u. a. durch genauere Modellierungen in Simulation/Messung erreichen.

Literaturverzeichnis

- [1] Achilles, S.: Aeroakustische Untersuchungen an umströmten Fahrzeugmodellstrukturen. Diplomarbeit. TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, 2004
- [2] Wilde, A.: Strömungsakustische Simulationen mit dem LATTICE – BOLTZMANN - Verfahren, DAGA 2005, München
- [3] Sabanca, M., Delfs, J.: Numerische Untersuchung des Eigenschwingungsverhaltens von generischen Profilen mit Hilfe der CAA, DAGA 2005, München

Danksagung:

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung der diesem Bericht zugrunde liegenden Untersuchungen im Rahmen des Forschungsverbundprojektes „Leiser Verkehr“.