

Messtechnische Untersuchung der Schallentstehung an überströmten Strebenmodellen

Andreas Zeibig, Thomas Windisch, Michael Beitelschmidt

Institut für Theoretische Grundlagen der Fahrzeugtechnik, TU Dresden, 01062 Dresden,

Email: andreas.zeibig@tu-dresden.de

Einleitung

Im Rahmen des Projektes AKUSIM (Akustische Simulationsverfahren, Forschungsverbund „Leiser Verkehr“) erfolgte die Entwicklung von Verfahren zur numerischen Simulation der Schallabstrahlung von überströmten 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. Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen für ein ausgewähltes Modell sollen im Folgenden kurz dargestellt werden.

Referenzstruktur „Strebe“

Für den Vergleich von verschiedenen numerischen Algorithmen und zur Validierung mit messtechnischen Untersuchungen wurden generische Referenzstrukturen festgelegt, welche typische Fahrzeugstrukturen modellieren. Eine dieser Referenzstrukturen war eine überströmte Strebenstruktur, bestehend aus einem Halbzylinder vom Durchmesser d mit angesetztem Heckkeil der Länge L (Abbildung 1).

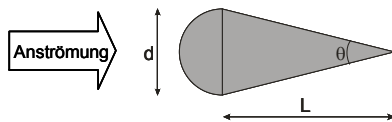


Abbildung 1: Strebenmodell mit charakteristischen Abmessungen und Anströmrichtung

Durch die Variation der Heckkeillänge konnten verschiedene Fälle der Umströmung und auch der Schallabstrahlung untersucht werden. Für kurze Heckkeile wurde ein Verhalten ähnlich dem eines überströmten Zylinders erwartet, mit einer vollständig abgelösten Strömung (KÁRMÁN'sche Wirbelstrasse) und tonaler Schallabstrahlung. Für lange Heckkeile wurde ein Wiederanlegen der Strömung noch vor der Strebenhinterkante und damit eine turbulent überströmte Hinterkante mit breitbandiger Schallabstrahlung erwartet.

In den numerischen Simulationen [1] wurden für mittlere Heckkeillängen (normierte Heckkeillänge L/d ca. 4) zusätzlich zu den oben beschriebenen hydrodynamischen Mechanismen auch hydrodynamisch-akustische Rückkopplungsphänomene prognostiziert: Beim Auftreffen eines Wirbels auf die Profilhinterkante kommt es zur Schallabstrahlung, die sich stromauf bewegende Schallwelle verursacht die Ablösung eines neuen Wirbels am Übergang Halbzylinder – Heckkeil. („ROSSITER-Mechanismus“, [2]). Die zu erwartende Schwingfrequenz f_R kann nach Formel (1) bestimmt werden, wobei U_∞ die Anströmgeschwindigkeit, M die Mach-Zahl, l die Lauflänge der Druckstörungen und a der

Konvektionsfaktor ist, welcher die Konvektionsgeschwindigkeit der Druckstörungen v_k auf U_∞ bezieht.

$$f_R = \frac{U_\infty}{l} \cdot \frac{1}{1/\alpha + M} \quad (1)$$

Modell und Messtechnik

Das für die Untersuchungen im Windkanal benutzte Modell hatte einen Durchmesser $d = 20\text{ mm}$ und eine Heckkeillänge $L = 80\text{ mm}$ ($L/d = 4$). Um Wirbelablösungen an den spannungswichtigen Profilenden zu reduzieren, wurden aerodynamische Endkappen angebracht. Mit diesen Kappen besaß das Modell eine spannungswichtige Gesamtausdehnung von ca. 120 mm und befand sich vollständig im Freistrah, die Halterung und Kabelführung erfolgte mit 2 Haltezyklindern vom Durchmesser $d_{HZ} = 8\text{ mm}$. In die Fahrzeugstruktur wurden 7 Elektretmikrofonkapseln als Wanddruckaufnehmer eingebaut (Abbildung 2). Es kam dabei ein Kapseltyp zum Einsatz, welcher in Voruntersuchungen sowohl einen linearen akustischen Frequenzgang als auch einen geringen Störpegel bei Überströmung aufwies. Die Vermessung der Fahrzeugstruktur erfolgte für $U_\infty = 34\text{ m/s}$ jeweils ohne und mit Aufbringen eines ca. $0,3\text{ mm}$ hohen und 1 mm breiten Trippstreifens (Klebeband) am Übergang Halbzylinder – Heckkeil, welcher eine definierte Transition laminar - turbulent auslösen sollte.

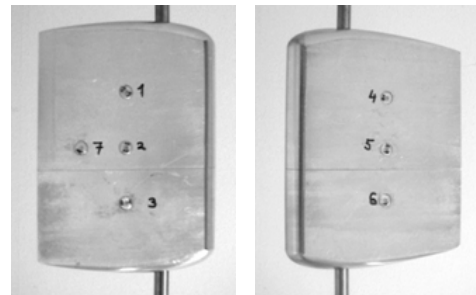


Abbildung 2: Strebenmodell ($L/d = 4$) für die Windkanaluntersuchungen mit Wanddruckaufnehmerpositionen

Messergebnisse

Die in Abbildung 3 dargestellten gemessenen Schalldruckspektren zeigen einen relativ breitbandigen Verlauf, sowohl beim ungetrippten als auch beim getrippten Modell finden sich geringfügige Überhöhungen bei ca. 360 Hz und ca. 800 Hz . Nur beim getrippten Modell hingegen tritt ein weiteres Maximum bei ca. 200 Hz auf.

Die Wanddruckspektren für zwei ausgewählte Aufnehmerpositionen sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Frequenzgänge der sich in Modellmitte befindlichen Kapsel 2 weisen zwei spektrale Maxima auf, welche auf periodische Vorgänge hindeuten. Für den ungetrippten Fall tritt ein Maximum bei ca. 360 Hz auf und für den getrippten Fall liegt das Maximum bei ca. 200 Hz . Das Spektrum der sich am spannungswichtigen Modellrand befindlichen Kapsel 4 zeigt hingegen für

beide Fälle (getrippt / ungetrippt) breitbandige Verläufe, welche ein Indiz für chaotische Vorgänge (Randwirbel) sind. Auch die Kohärenzspektren zwischen Wanddruck und Schalldruck, für zwei ausgewählte Aufnehmer in Abbildung 5 dargestellt, zeigen für den getrippten und den ungetrippten Fall zwei unterschiedliche spektrale Maxima, bei 360 Hz (ungetrippt) bzw. bei 200 Hz (getrippt). Nur für den ungetrippten Fall treten unterschiedlich starke Kohärenzen zwischen Vorder- bzw. Rückseitenkapsel und Schalldruck auf. Dabei weist die dem Fernfeldmikrofon abgewandte Mikrofonskapsel die geringere Kohärenz auf. Dies deutet darauf hin, dass die Quellgebiete sich im ungetrippten Fall an der Strebenseite befinden und im getrippten Fall (kaum Unterschiede in der Kohärenz) an der Strebenhinterkante. Aus der zeitlichen Korrelation der sich stromauf und stromab voneinander befindlichen Kapseln 2 und 7 konnte die Konvektionsgeschwindigkeit der Druckstörungen bestimmt werden, für den getrippten Fall $v_{kmT} = 14\text{m/s}$, $a_{mT} = 0,41$ und für den ungetrippten Fall $v_{koT} = 16,3\text{m/s}$, $a_{oT} = 0,48$.

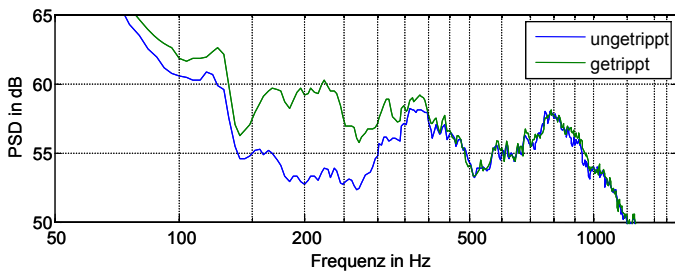


Abbildung 3: Schalldruckspektrum der überströmten Strebe ($L/d = 4$) bei einem seitlichen Abstand von $r = 0,33\text{ m}$ zum Mittelpunkt des Halbzylinders

Schallentstehungsmechanismen

Aus den umfangreichen Messergebnissen von Schalldruckspektren, Wanddruckspektren und Korrelationsuntersuchungen konnten nun Aussagen zu den Schallentstehungsmechanismen abgeleitet werden.

Der breitbandige Verlauf des Schalldruckspektrums steht im Zusammenhang mit der erwarteten turbulenten Überströmung der Hinterkante (Hinterkantenlärm).

Das spektrale Maximum des Schalldrucks bei ca. 800 Hz, welches sich in den Ergebnissen der Wanddruckaufnehmer und den Korrelationsuntersuchungen nicht wieder findet, ist auf die KÁRMÁN'sche Wirbelstraße an den Haltezylindern ($d_{Hz} = 8\text{mm}$) zurückzuführen und somit Störschall.

Ein weiteres Maximum, welches in den Spektren von Schalldruck, Wanddruck und Kohärenz bei ca. 360 Hz vor allem beim ungetrippten Modell auftritt, wird durch eine KÁRMÁN'sche Wirbelstraße am Modell verursacht. Mit einer Strouhalzahl von $Sr = 0.2$ und dem Modelldurchmesser lässt sich eine Schwingfrequenz von 340 Hz berechnen. Der Unterschied zwischen der berechneten und der gemessenen Schwingfrequenz ist auf die starke Abweichung der Strebe von der Zylinderform zurückzuführen.

Der Ursprung des spektralen Maximums bei ca. 200 Hz, welches in den Messergebnissen von Schalldruck, Wanddruck und Kohärenz am getrippten Modell auftritt, ist noch nicht endgültig geklärt. Das beobachtete Phänomen ist aber mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den eingangs erwähnten „ROSSITER-Mechanismus“ zurückzuführen.

Mit den aus den Messergebnissen bestimmten Konvektionsgeschwindigkeiten v_k und der Heckkeillänge L konnte die Schwingfrequenz f_R nach Formel (1) zu 165 Hz berechnet werden. Die so bestimmte Schwingfrequenz liegt niedriger als das in den gemessenen Spektren auftretende Maximum, aber es ist stark anzunehmen dass sich die Ablösebereiche der Wirbel deutlich hinter dem Übergang Halbzylinder – Heckkeil befinden und somit die eigentliche Lauflänge l der Druckstörungen kleiner ist als die Heckkeillänge L .

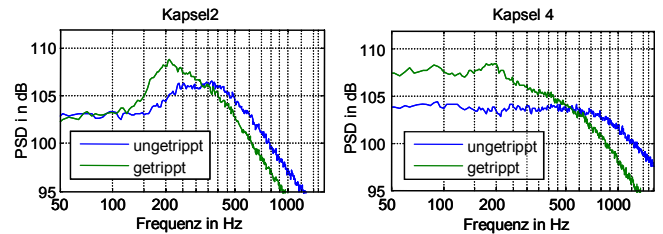


Abbildung 4: Wanddruckspektren ausgewählter Aufnehmer an der überströmten Strebe

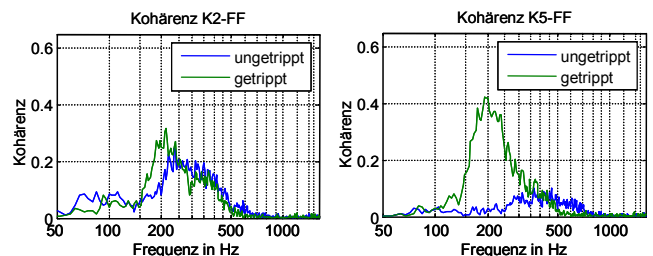


Abbildung 5: Kohärenzspektrum Wanddruck-Schalldruck für ausgewählte Wanddruckaufnehmer an der überströmten Strebe

Zusammenfassung

An einem generischen Strebenprofil erfolgte die Untersuchung der aeroakustischen Schallentstehung an typischen Fahrzeugstrukturen auf Basis der Wanddruckschwankungen. Zur experimentellen Bestimmung dieser Wanddruckschwankungen wurden ein Messsystem unter Verwendung von Elektretmikrofonskapseln aufgebaut und in einer Voruntersuchung geeignete Kapseltypen ausgewählt. Durch die gleichzeitige Messung von Wanddruck und Schalldruck und Korrelationsuntersuchungen konnten Aussagen zu Schallentstehungsmechanismen und Lage der Quellorte abgeleitet werden. Neben einer stark breitbandigen Schallentstehung konnten 2 periodische Vorgänge beobachtet werden, von denen einer der KÁRMÁN'schen Wirbelstraße zugeordnet werden kann und der zweite wahrscheinlich auf eine akustisch-hydrodynamische Rückkopplung („ROSSITER-Mechanismus“) zurückzuführen ist.

Literatur

- [1] Sabanca, M., Delfs, J.: Numerische Untersuchung des Eigenschwungsverhaltens von generischen Profilen mit Hilfe der CAA, DAGA 2005, Tagungsband „Fortschritte der Akustik“, München, 2005
- [2] Rossiter, J. E.: Wind-Tunnel Experiments on the Flow over Rectangular Cavities at Subsonic and Transonic Speeds. A. R. C., R. & M. No 3438, London, 1966