

Beurteilung des Corcos-Modells für den Einsatz in der Automobilindustrie

Andreas Businger¹, Stefan Schimmelpfennig¹, Martin Brenninger², Reinhard Lerch¹

¹ Lehrstuhl für Sensorik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg,
E-Mail: Andreas.Businger@lse.e-technik.uni-erlangen.de

² Audi AG, 85055 Ingolstadt,

Einleitung

Das in dieser Arbeit verwendete Modell der turbulenten Druckschwankungen in der Grenzschicht nach dem Ansatz von Corcos, welches in der Luftfahrt bereits eingesetzt wird, hält auch für die Fahrzeugentwicklung neue Möglichkeiten bereit. Es wird in diesem Beitrag zur Beschreibung der Anregungen tieffrequenter Wechseldrücke durch turbulente Grenzschichten auf ein Unterbodenbauteil eines Fahrzeuges herangezogen. Diese Wechseldrücke sind sowohl numerisch als auch messtechnisch schwer zu bestimmen. Eine CFD-Berechnung ist für die Serienentwicklung zu zeitintensiv und es fallen zu große Datenmengen an. Auch Windkanalmessungen verursachen hohe Kosten, da sehr viele Messstellen notwendig sind. Es wird kurz darauf eingegangen, wie die wichtigsten Parameter für das Modell bestimmt werden. Exemplarisch wird gezeigt, dass es sich für den Einsatz in der Automobilindustrie eignet. An einem realen Fahrzeug wird gezeigt, wie die vorgestellte Methode heute schon für die Transferpfadanalyse einsetzbar ist.

Turbulente Grenzschicht

Bei reibungsbehafteter Überströmung eines Fluids über einen Festkörper kommt es zur Ausbildung einer sogenannten Grenzschicht. Diese Grenzschicht verhält sich zunächst linear. Bei der Überströmung von ebenen Platten durch Luft, schlägt im Bereich der kritischen Reynolds-Zahl $Re_{krit} \approx 3,2 \cdot 10^5$ bis $3 \cdot 10^6$ [1], die laminare Grenzschicht in eine turbulente Grenzschicht um. Die Reynolds-Zahl ist definiert als

$$Re_{krit} = \frac{U_{\infty} x}{\nu}, \quad (1)$$

wobei U_{∞} die Windgeschwindigkeit ist, x der kritische Abstand und ν die kinematische Viskosität.

In der Fahrzeugaerodynamik sind die Bereiche mit laminaren Grenzschichten sehr klein, weshalb die turbulenten Regionen von wesentlich größerem Interesse sind. Diese turbulente Grenzschicht kann vereinfacht betrachtet werden als eine Aneinanderreihung sogenannter „Turbulenzballen“, welche an der überströmten Oberfläche vorbei schwimmen. Durch diese Wirbelbewegungen der Turbulenz entstehen hohe Wechseldrücke an der Oberfläche, die miteinander korrelieren. Die Turbulenzballen zerfallen jedoch wieder und bilden sich ständig neu aus. Aus diesem Grund nimmt die Korrelation zwischen zwei an verschiedenen Stellen der Oberfläche platzierten Drucksensoren mit zunehmendem Abstand schnell ab und erreicht bei einer Entfernung von mehr als dem 20 fachen der Grenzschichtdicke bereits annähernd den Wert Null [2]. Da sich die Turbulenzballen mit

der Strömung bewegen, erhält man verschiedene Abklingverhalten in Strömungsrichtung und quer dazu in y -Richtung. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Turbulenzballen beträgt etwa 60 % bis 80 % der freien Strömungsgeschwindigkeit und wird Konvektionsgeschwindigkeit U_C genannt [2]. Diese turbulente Grenzschicht kann zu beträchtlicher Schallabstrahlung führen, wenn sie z.B. an eine biege weiche Wand grenzt, welche durch die Druckschwankungen angeregt wird. Dadurch wird entweder direkt Schall emittiert oder Körperschall und Vibrationen weitergeleitet.

Corcos-Modell

Das Corcos-Modell basiert auf dem Kreuzleistungsdichtespektrum $\Phi(x, y, \omega)$ zwischen zwei Punkten auf einer überströmten Oberfläche [3] und ist definiert als

$$\Phi(x, y, \omega) = \phi_{pp}(\omega) e^{-|x c_x \frac{\omega}{U_C}|} e^{-|y c_y \frac{\omega}{U_C}|} e^{-i \left(\frac{x \omega}{U_C} \right)}, \quad (2)$$

wobei x und y die Koordinaten auf der Oberfläche darstellen, c_x und c_y beschreiben das Abklingverhalten in x - und y -Richtung, ω ist die Kreisfrequenz, U_C die Konvektionsgeschwindigkeit und $\phi_{pp}(\omega)$ das Autoleistungsdichtespektrum an einem Punkt der betrachteten Ebene.

Das Corcos-Modell ist ein empirisches Modell. Es berücksichtigt nur die korrelierenden Anteile der Anregung, welche zu hohen Frequenzen hin und mit der Entfernung zum Ursprung sehr schnell abnehmen. Bei Betrachtung von tiefen Frequenzen können jedoch noch recht große Gebiete angeregt werden (Abb. 1).

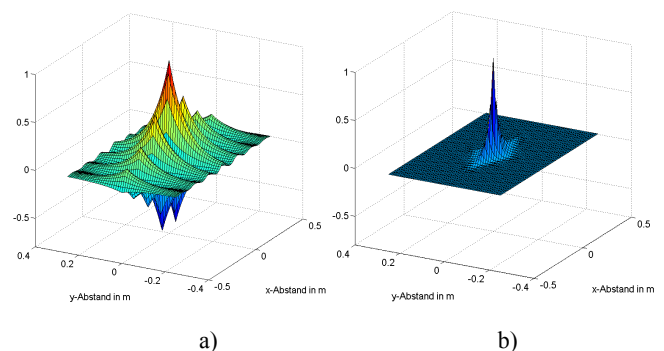


Abbildung 1: Realteil der normierten Kreuzkorrelierten in einer Ebene von $y = \pm 0,25$ m und $x = \pm 0,5$ m und einer Anströmgeschwindigkeit von 50 m/s bei (a) 200 Hz und bei (b) 1000 Hz. $c_x = 0,1$; $c_y = 0,6$ und $U_C = 30$ m/s

Das Modell gilt nur für ebene Oberflächen mit ungestörter Überströmung und bereits ausgebildeter turbulenter Grenz-

schicht. Es soll hier dennoch auf einem Unterbodenelement eines Fahrzeuges angewendet werden, da dieses von nur wenigen Sicken in Strömungsrichtung versteift wird und die Strömung über nahezu der gesamten Fläche anliegt.

Ermittlung der Parameter

Um die Konvektionsgeschwindigkeit und das Abklingverhalten zu ermitteln, wurden jeweils zwei Oberflächenmikrofone einmal in Strömungsrichtung und einmal quer zur Strömung auf der Oberfläche, im Abstand von 4 cm, angebracht. Da sich die Übertragungsfunktion G_{Cor} aus

$$G_{Cor} = \frac{\Phi(x, y, \omega)}{\phi_{PP}(\omega)} = e^{-\left|xc_x \frac{\omega}{U_c}\right|} e^{-\left|yc_y \frac{\omega}{U_c}\right|} e^{-i\left(\frac{x\omega}{U_c}\right)} \quad (3)$$

berechnen lässt, kann der Realteil der Übertragungsfunktion $Re(G_{12})$ der beiden Mikrofone in Strömungsrichtung mit dem Realteil der Gleichung (3) bei $y = 0$ verglichen werden

$$Re(G_{12}) = Re(G_{Cor}) = e^{-\left|xc_x \frac{\omega}{U_c}\right|} \cos\left(\frac{x\omega}{U_c}\right). \quad (4)$$

Hierbei stellt x den Abstand der Mikrofone und ω die Kreisfrequenz dar.

Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Approximation von Amplitude und der Wellenlänge nach Bestimmung der Parameter c_x und U_c . Analog kann durch einsetzen von $x = 0$ in Gl. (3) und Abgleich mit der Übertragungsfunktion der zwei Mikrofone senkrecht zur Strömungsrichtung noch das Abklingverhalten c_y in y -Richtung bestimmt werden.

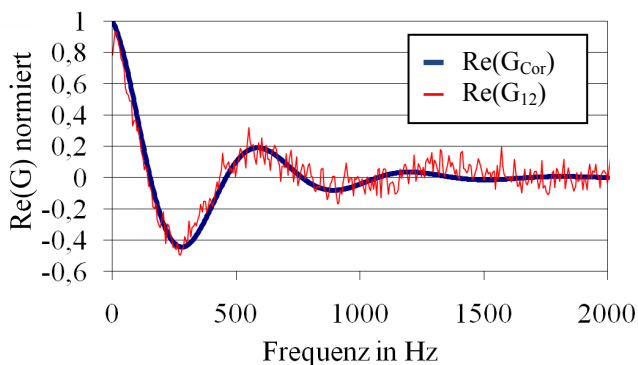


Abbildung 2: Normierter Realteil der Übertragungsfunktionen G_{Cor} (Corcos-Modell) und G_{12} (Mikrofon-Array in x -Richtung) zur Ermittlung der Abklingrate und der Konvektionsgeschwindigkeit [4].

Somit kann nun, ausgehend von einer Druckmessung im Ursprung der Ebene, ein Druckspektrum für jeden beliebigen Punkt in einer Ebene bestimmt werden.

Simulation am Fahrzeugunterboden

Diese Druckverteilung wird nun auf ein ebenes Unterbodenelement aufgebracht, welches eigentlich zur Verbesserung der Aerodynamik dient. Es besteht aus Kunststoff und soll den zerklüfteten Unterboden abdecken und strömungsgüns-

tig gestalten. Bei Windkanalmessungen wurde jedoch festgestellt, dass sich der Geräuschpegel im Fahrzeug nach Aufbau dieses Unterbodenelementes messbar erhöht. Aus diesem Grund wurde der Unterboden des Fahrzeugs und das Unterbodenelement als FE-Modell aufgebaut. Zur Berechnung der Anregung wurde die Software VA One von der Firma ESI verwendet, in welcher das Corcos-Modell bereits implementiert ist. Auf diese Weise konnte festgestellt werden, dass ein ungünstig platzierter Schraubpunkt des Unterbodenelementes für einen sehr hohen Energieeintrag in den Fahrzeugunterboden sorgt, wie in Abb. 3 zu sehen ist. Dies führt zu stark erhöhten Vibrationen im Innenraum und auch zu einer messbaren Erhöhung des Schalldruckpegels vor allem im hinteren Bereich des Fahrzeugs.

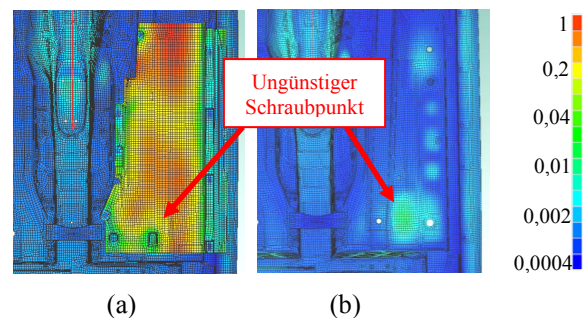


Abbildung 3: Fahrzeugunterboden linke Fahrzeugseite, Ansicht von unten (a) mit Unterbodenelement und (b) mit ausgeblendetem Unterbodenelement. Farblich dargestellt sind die normierte Oberflächennormalengeschwindigkeiten im Frequenzband von 16 bis 315 Hz

Durch Versetzung dieses Schraubpunktes konnten die Vibrationen im Fußraum des Fahrzeuges bei Windkanalmessungen deutlich reduziert werden. Außerdem wurde der Schalldruckpegel um 1-2 dB in einigen Terzen gesenkt [4].

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass sich das Corcos-Modell für den Einsatz in der Transferpfadanalyse für die Fahrzeugindustrie eignet. Für tieffrequente Windanregung aus turbulenten Grenzschichten, auf nahezu ebenen Flächen, stellt das Corcos-Modell eine sehr gute Modellierung dar. Größter Vorteil ist die Berücksichtigung der Konvektionsgeschwindigkeit und das Abklingverhalten, um somit wesentlich realistischer modale Effekte berücksichtigen zu können als beispielsweise durch Aufbringen einer vereinfachten Punktlast.

Literatur

- [1] Böswirth, L.: Technische Strömungslehre. Vieweg+Teubner GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2010, ISBN 978-3-8348-0523-2
- [2] Müller, G. Möser, M.; Taschenbuch der Technischen Akustik; Springer-Verlag ; Berlin 2003; ISBN 3-540-41242-5
- [3] Corcos, G. M., Resolution of pressure in turbulence, The Journal of the Acoustical Society of America, 35, (1963), p. 192–199.
- [4] Businger, A. Eberle, M.; Computation of underbody flow aero-acoustics for a production vehicle, ESI Group Global Forum 2010, München 2010