

Hybridmethode zur Bestimmung der Betriebsschwingungen von Reifen

C. Ropers, E.-U. Saemann, F. Gauterin

Continental AG – NVH-Center; Email: ernst-ulrich.saemann@conti.de

Einleitung

Um den Einfluß der Reifenkonstruktion auf den Fahrkomfort und das Vorbeifahrtgeräusch besser zu verstehen, ist die Kenntnis der Betriebsschwingungen des Reifens erforderlich, die nur berührungslos gemessen werden können.

Im Folgenden wird eine hybride Methode zur Bestimmung der Betriebsschwingungen des Reifens mit einer IBEM (Inverse Boundary Element Method) vorgestellt. Eingangsgröße ist hierbei die gemessene Schalldruckverteilung im Nahfeld des Reifens. Die Arbeiten wurden im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes durchgeführt [1].

Eine darauffolgende Approximation der berechneten Betriebsschwingungen als Summe fortschreitender Wellen mit dem Prony-Algorithmus ermöglicht eine systematische Analyse der ermittelten Betriebsschwingungen als gegenläufige Wellen.

Messungen

Versuchsaufbau und Messung

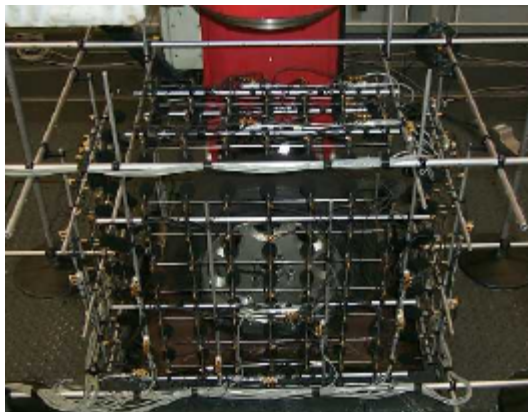


Abbildung 1: Aufbau des Mikrofon-Gitters

Ein Gitter mit 176 Mikrofonen mit einem Abstand von 0,1m zueinander wurde um die fünf freien Seiten des Reifens aufgebaut. Aufgrund der Belastungseinrichtung wurde das Gitter an der Innenseite geteilt. Der Minimale Abstand eines Mikrofons zum Reifen betrug 0,05m. Experimentelle Ergebnisse für Reifen mit unterschiedlichem Profil und verschiedener Belastung sind in [2,3] dargestellt.

Nach einem ausreichend langen Betrieb kann angenommen werden, das bei konstanter Geschwindigkeit ein stationärer Zustand vorhanden ist. Eine Berechnung der Principal Components (PC) aus den über eine Zeit von 20s ermittelten Kreuzleistungsspektren sind die Eingangsgrößen der nachfolgenden IBEM. Aus der Vielzahl durchgeführter Messungen werden im Folgenden die Berechnungsergebnisse für einen Glattreifen mit einem Luftdruck von 3,0bar unter einer Belastung von 450kg vorgestellt.

Simulationen

Für die inverse Berechnung der Schwingung des Reifens im Betrieb mit der BEM ist eine vernetzte Oberfläche des Reifens erforderlich. Da eine Messung der Oberflächengeometrie des eingefe-

deten Rades mit darauffolgender Modellierung sehr aufwändig ist, wird die Geometrie aus einer vorhergehenden FEM-Simulation der Einfederung gewonnen. Das gesamte BEM-Modell beinhaltet neben dem Rad auch die Trommel und die Belastungseinrichtung als starre Flächen, um die Schallreflektion zu berücksichtigen (Abbildung 2).

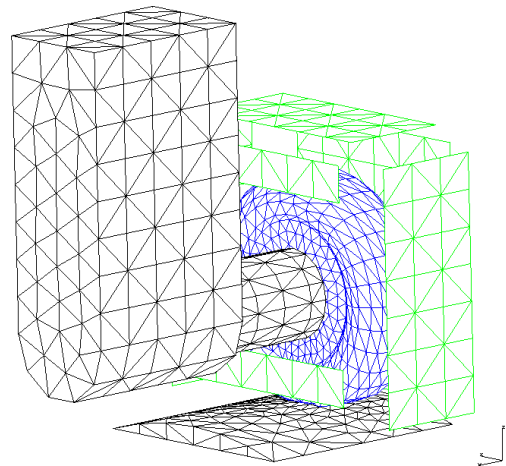


Abbildung 2: BEM-Modell

Bei der inverse Berechnung wird für jede einzelne PC die Verteilung des sogenannten Beschleunigungsflusses berechnet. Der Beschleunigungsfluß ist die Beschleunigungskomponente des Knotens senkrecht zur Oberfläche multipliziert mit der assoziierten Fläche. Diese Größe ist somit ein Maß für die lokale Leistung der Schallquelle. Eine Addition der quadrierten Werte für den Beschleunigungsfluß jeder einzelnen Principle Component ergibt den globalen Wert, wobei jedoch die Phaseninformation verloren geht. Eine detaillierte Beschreibung der angewandten IBEM ist [4] zu entnehmen.

In Abbildungen 3 ist für eine Geschwindigkeit von 40km/h bei einer Frequenz von 108Hz die Verteilung des globalen und des Beschleunigungsflusses zur ersten PC abgebildet. Beim dargestellten Beschleunigungsfluß zur ersten PC kann dem Vorzeichen der Amplitude eine Aussage über die Phasenverschiebung entnommen werden. Zu erkennen sind drei Schwingungsknoten beim drehenden Rad, die bei einer zuvor durchgeführten Modalanalyse des eingefederten Rades bei einer Frequenz von 114 Hz festgestellt wurde. Wie die ermittelte Schwingungsform weiterhin zeigt, treten bei Frequenzen unterhalb von ca. 300Hz Biegeschwingungen des Gürtels in Umfangsrichtung auf. Erst bei höheren Frequenzen sind auch Schwingungen über den Querschnitt festzustellen (Abbildung 4). Im allgemeinen nimmt die Anzahl der Schwingungsbäuche und -knoten mit der Frequenz zu.

Die ermittelten Schwingungsformen sind auf den ersten Blick zunächst überraschend, da die bisherige Erfahrung zeigt, dass die hauptsächliche Geräuschquelle am Ein- und Auslauf des Reifens vorhanden ist. Die hier gezeigten Ergebnisse stellen jedoch keinen Widerspruch dar, denn auf Grund des zwischen Reifen und Fahr-

bahn gebildeten Trichters ist in diesem Bereich eine verstärkte Schallabstrahlung vorhanden.

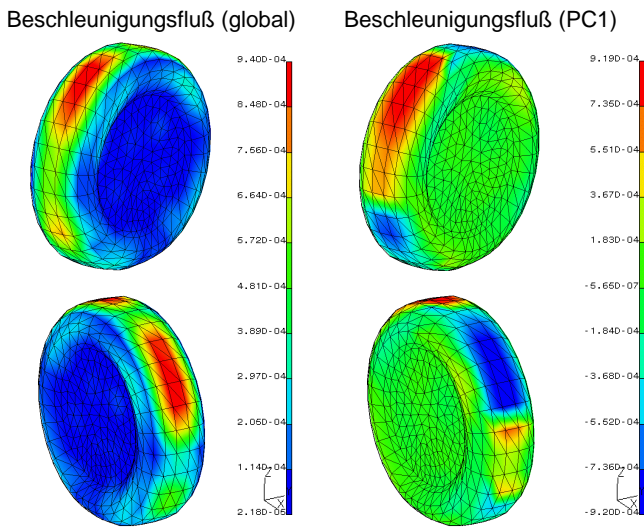


Abbildung 3: Berechnete Betriebsschwingung des mit 40km/h rollenden Reifens bei 108Hz

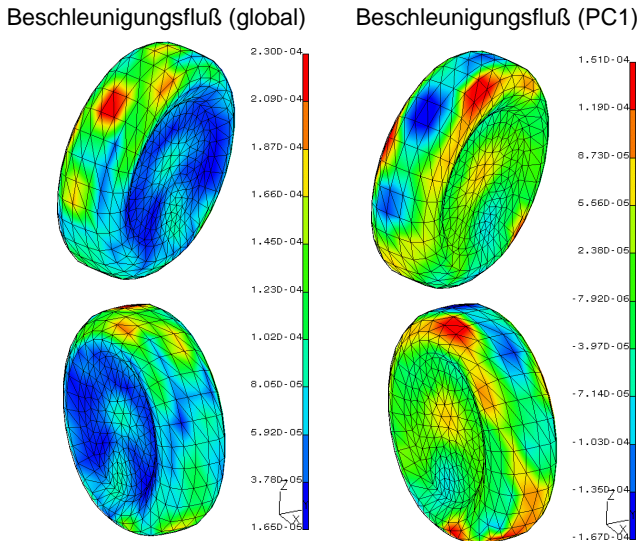


Abbildung 4: Berechnete Betriebsschwingung des mit 40km/h rollenden Reifens bei 575Hz

Wellenfunktionen

Eine Beschreibung der Schwingungen des Reifens mittels gegenläufig fortschreitender harmonischer Wellen ermöglicht eine systematische Analyse der Betriebsschwingungen. Die Beschleunigung senkrecht zur Oberfläche wird mit dem Ansatz

$$\ddot{x}_r(\mathbf{w}, n\Delta s) = \sum_{m=1}^M A_m \mathbf{Y}_m e^{ik_m n\Delta s} \quad \text{eq. 1}$$

der Ordnung M mit Hilfe des Prony-Algorithmus approximiert^[5]. Hierin ist A_m die Amplitude zur fortschreitenden Welle m , \mathbf{Y}_m die Form über den Querschnitt und k_m die komplexe Wellenzahl. Der Realteil der Wellenzahl kann als „Frequenz“ im Raum gedeutet werden, der Imaginärteil beschreibt das Abklingverhalten. Aus den vorherigen Untersuchungen liegen an diskreten Stellen $n\Delta s$ ($n=0, \dots, 27$) über den Umfang die Beschleunigungen vor.

In Abbildung 5 ist der Realteil der Approximation für den mit 40km/h rollenden Reifen dargestellt. Hierbei wurde in einem ersten Schritt nur die Beschleunigung auf der Reifenmitte in Umfangsrichtung ausgewertet. Deutlich ist zu erkennen, dass die zur ersten Principal Component ermittelte Schwingung im Frequenzbereich bis ca. 300Hz durch Biegeschwingungen des Gürtels mit konstanter Phasengeschwindigkeit bestimmt ist. Die Phasengeschwindigkeit der Wellen in positiver Drehrichtung ist größer als die der gegenläufigen Wellen.

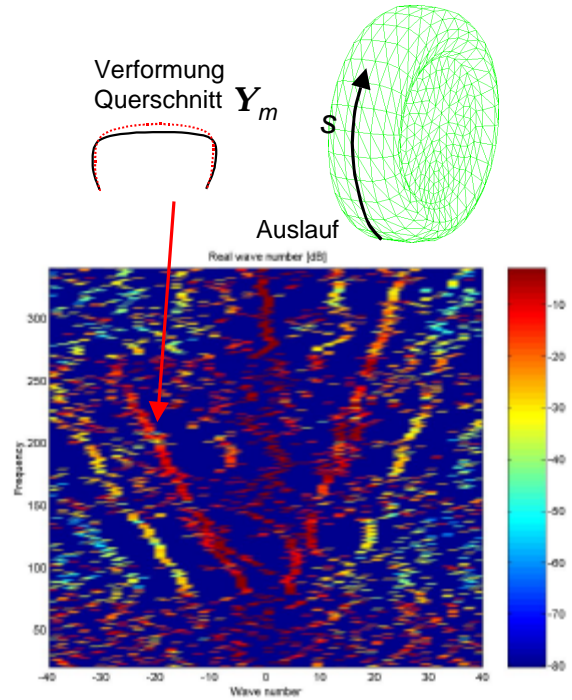


Abbildung 5: Normierter Realteil der Wellen, v=40km/h, Schwingung zur ersten Principal Component

Weiterhin bestätigt eine Analyse der Wellen die Erfahrung, dass bei bestimmten Frequenzen annähernd stehende Wellen beim rollenden Reifen auftreten können, die den Fahrkomfort beeinflussen.

Zusammenfassung

Die entwickelte hybride Methode ermöglicht eine Bestimmung der Schwingungen eines Reifens unter Betriebsbedingungen. Die darauffolgende Approximation mit gegenläufig fortschreitenden Wellen ermöglicht eine systematische Analyse und Beurteilung der ermittelten Betriebsschwingungen.

¹ European Research Projekt: Optimal Acoustic Equivalent Source Descriptors for Automotive Noise Modeling (ACES), N°GRD1-1999-11202
² Saemann, E.-U.: Sound field investigations around a tire , Inter-Noise 2002, Dearborn, USA
³ Saemann, E.-U., Ropers, C., Morkholt, J., Omrani, A.: Identifikation of Tire Vibrations, Paper 03NVC-225, SAE Noise and Vibration Conference, 2003, USA
⁴ Hamdi, M.A., Omrani, A., Ouisse, X., Mein, M., Souvage, O.: Presentation of a New Inverse Boundary Element Method for the determination of Optimal Spectral Characteristics of Complex noise sources, Paper ID 395/p.1, Euronoise 2003, Neapel
⁵ Kim, Y.-J., Bolton, J.S.: Effekt of rotation on the vibration characteristics of tires, Paper N434, Inter-Noise 2002