

Akustische Torusmessmethode – Entwicklung und Anwendung eines Reifeninnengeräusch-Messsystems

Oliver Krauss¹, Frank Gauterin²

¹ *Karlsruher Inst. f. Technologie, Inst. f. Fahrzeugsystemtechnik, 76131 Karlsruhe, E-Mail: oliver.krauss@kit.edu*

² *Karlsruher Inst. f. Technologie, Inst. f. Fahrzeugsystemtechnik, 76131 Karlsruhe, E-Mail: frank.gauterin@kit.edu*

Einleitung

Am Institut für Fahrzeugsystemtechnik des Karlsruher Instituts für Technologie wurde ein Messsystem zur Erfassung des Geräuschs im Reifentorus entwickelt. Das System wurde im Rahmen zweier Forschungsprojekte mit unterschiedlichen Schwerpunkten eingesetzt: i) zur Charakterisierung von Fahrbahtexturen, ii) zur Untersuchung der Hohlraummoden des Reifens. Erste Messungen des Reifeninnengeräuschs wurden bereits 1981 [1] veröffentlicht. In der Folgezeit wurde das Messverfahren vor dem Hintergrund der Bewertung akustischer Straßenqualität wieder aufgegriffen (z.B. in [2], [3] & [4]). Im Kontext des Fahrzeuginnengeräuschs haben bislang vereinzelt Messungen des Reifeninnengeräuschs stattgefunden (z.B. in [5] & [6]).

Technische Daten des Messsystems

Das System besteht aus einem am Rad fixierten Torusmikrofon (und einem optionalen Druck-Temperatur-Sensor) sowie aus einer an den Radschrauben verspannten Telemetrieinheit. Da diese auf Basis der IEEE 802.11 arbeitet, kann der Datenempfang mit handelsüblicher Netzwerktechnik erfolgen. Am Fahrzeug selbst ist für den Betrieb des Systems keine Modifikation nötig.

Tabelle 1: Technische Daten des akustischen Torusmessgeräts

Torusmikrofon	
Max. stat. Druck	18 bar
Frequenzbereich	5 Hz..13 kHz
Gewicht	ca. 3 g
Temperaturbereich	-70..120 °C
Sonstiges	beschleunigungskompensiert
Telemetrie	
Auflösung	24 bit
Kanäle	4
Abtastrate	bis 51,2 kHz
Übertragungsstandard	IEEE 802.11
Akkulaufzeit	ca. 10 h

Akustisch wirksame Fahrbahtextur

Beim Rollen auf einer rauen Fahrbahtastet ein Reifen diese nicht vollständig ab, sondern berührt lediglich die oberen Anteile dieser Textur. Deshalb besteht immer eine Diskrepanz zwischen den Daten einer rein geometrisch (z.B. per Laserprofilometer) vermessenen Fahrbahtextur und dem für die Geräuschanregung relevanten Teil derselben Textur. Der Informationsgehalt beider Messmethoden ist durch die unvollständige Texturabtastung des Reifens nicht identisch.

Da das Torusgeräusch prinzipbedingt nur Information enthält, die aus der Strukturanregung des Reifens durch Rotation, Abplattung, Reifenprofil, Fahrbahtextur und Haft-Gleit-Vorgängen resultieren, kann es als akustische Referenz für die Strukturanregung herangezogen werden (im Gegensatz zu außerhalb messenden Verfahren, die auch Umströmungsgeräusche etc. erfassen). Die Aufgabe besteht nun darin, eine geeignete Filterung zu entwickeln, die das Kontaktverhalten der Reifen-Textur-Paarung abbildet und somit einen allgemein gültigen Zusammenhang zwischen Torusgeräusch und (akustisch relevanter) Fahrbahtextur darstellt. Dabei soll das Verfahren ohne spezifische Kenndaten des Reifens auskommen (verwendet wurde ein Reifen ohne Querprofilierung).

Das Verfahren wurde durch Kombination der Messdaten von Torusgeräusch und geometrisch vermessen Linienprofilen in vier Schritten entwickelt:

1. Ermittlung der Verstärkungsfunktion (Torusgeräusch/Textur) für verschiedene Texturen.
2. Entwicklung eines mathematischen Filterverfahrens für die Textur (Envelopping-Ansatz).
3. Ermittlung der Filterparameter durch Minimierung der Streuung der Verstärkungsfunktionen (Torusgeräusch/Textur) aller Texturen.

So konnte ein geeignetes Filterverfahren (Envelopping-Ansatz) entwickelt werden, welches die Extrahierung der akustisch relevanten Textur aus geometrischen Texturrohdaten erlaubt. In Abbildung 1 ist ein beispielhaftes Ergebnis dieser Prozedur dargestellt:

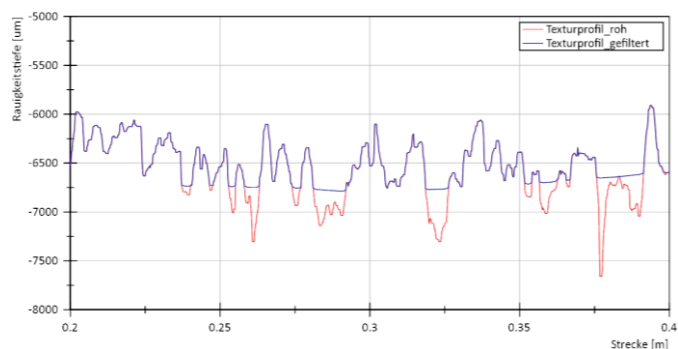


Abbildung 1: Texturrohdaten (rot) und gefilterten Daten (blau) im Vergleich

Außerdem ermöglicht dieses Verfahren die Festlegung einer texturunabhängigen Verstärkungsfunktion (Torusgeräusch/Textur) zur Abschätzung der akustisch wirksamen Textur auf Basis des Torusgeräuschs.

Um die Aussagekraft der Methode im Vergleich zu etablierten Messverfahren zu überprüfen, wurden auf den ausgewählten Streckenabschnitten auch CPB-, CPX- und SPB-Messungen durchgeführt (vgl. [7]). Hier zeigt sich ein sehr guter Zusammenhang:

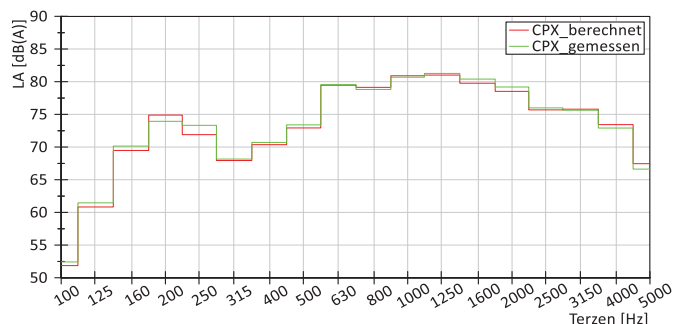


Abbildung 2: Vergleich von berechnetem (rot) und gemessenem (grün) CPX-Spektrum. Das berechnete Spektrum basiert auf einer Messung des Torusgeräuschs.

Untersuchung der Hohlraummoden

Das Torusgeräusch wird von stehenden Wellen (Hohlraummoden) bestimmt, diese bilden sich sowohl in Umfangsrichtung als auch in lateraler Richtung aus. Grundlagen und wichtige Einflussfaktoren sind z.B. in [8] beschrieben. Abbildung 3 zeigt das Torusspektrum nach Impulsanregung:

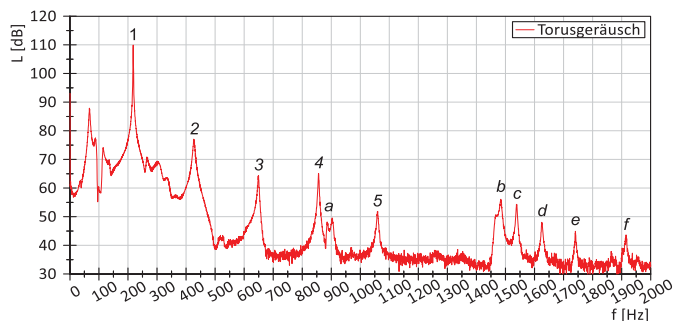


Abbildung 3: Torusspektrum nach Impulsanregung (ruhender, unbelasteter Reifen).
1-5: Umfangsmode; a-f: Lateralmoden

Die Grundmode in Umfangsrichtung liegt typischerweise bei rund 200 Hz. Die Vielfachen (Zahlen 2-5) sind am Radträger nicht messbar, da durch ihre symmetrische Lage (Maxima und Minima liegen um 180° versetzt) keine resultierende Kraft auf das Rad wirkt. Die Lateralmoden (a-f) sind zwar auch am Radträger messbar, jedoch i.d.R. uninteressant für das Fahrzeuginnengeräusch.

Abbildung 4 zeigt den Vergleich eines Aluminiumrads mit einem Stahlrad (identischer Reifen). Hier zeigt sich ein Vorteil der Messung im Reifeninneren: Die Messung am Radträger suggeriert, dass mit dem Stahlrad die Anregung und Übertragung der ersten Umfangshohlraummode schlechter ist (höhere Amplituden). Tatsächlich werden mit dem Stahlrad im Reifeninneren aber etwas niedrigere Pegel gemessen als mit dem Aluminiumrad. So können durch Kombination beider Messmethoden die Anregung und Übertragung der Hohlraummode getrennt bewertet werden. Das erlaubt eine gezieltere Entwicklung geeigneter Abhilfemaßnahmen an Rad und Reifen.

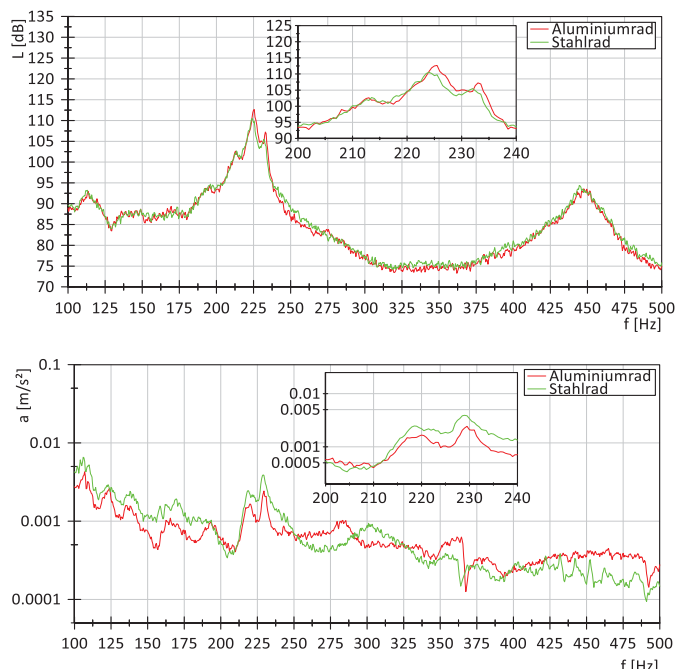


Abbildung 4: Torusgeräusch (oben) & Radträgerbeschleunigung in x-Richtung (unten) f. Alu- (rot) & Stahlrad (grün) bei 30 km/h.

Zusammenfassung

Mit dem akustischen Torusmessgerät kann einfach und robust die akustisch relevante Textur sowie das Nahfeld- und Vorbeifahrgeräusch abgeschätzt werden. Die Messung im Reifeninneren bringt außerdem neue und noch detailliertere Erkenntnisse über die Reifenhohlraummoden.

Literatur

- [1] Bschorr, O. ; Mittmann, J. ; Wolf, A.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Abstrahlung von Reifenlärm. MBB GmbH, Bericht (BB-483-81), 1981.
- [2] Wolf, A.: Bewertung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches durch Messung des Reifeninnengeräusches. Universität Stuttgart, Dissertation, 1997.
- [3] Bschorr, O.: Bestimmung des straßenbedingten Verkehrslärms durch Messung des Torusgeräusches. VDI-Berichte Nr. 1632 (2001).
- [4] Bschorr, O. ; Kühne, R.: Bestimmung der akustischen Qualität von Straßen. Zeitschr. f. Lärmbekämpfung Bd. 2, Nr. 4 (2007), S.144ff.
- [5] Fernández, E.T.: The influence of tyre air cavities on vehicle acoustics. KTH Stockholm, Dissertation, 2006.
- [6] Bederna, C. ; Saemann, E.-U.: Contributions to a better understanding of tire cavity noise. In: NAG/DAGA 2009 International Conference on Acoustics, S.502ff.
- [7] Krauss, O. ; Gauterin, F.: Analysis of tire road noise using a tire cavity sound measurement system. EURONOISE 2012, Prag.
- [8] Krauss, O. ; Gauterin, F. ; Klempau, F. ; Leister, G.: Cavity Noise of Passenger Car Tires – Influencing Factors and Optimization Measures. chassis.tech_{plus} 2010, München.