

Beitrag der Reifenschwingungen und des Air-pumpings zum Rollgeräusch

Wolfgang Kropp¹

¹ Chalmers University of Technology, 41296 Göteborg, Schweden, Email: Wolfgang.Kropp@chalmers.se

Einleitung

Air-pumping und Reifenschwingungen werden heute allgemein als die Hauptursachen für das Rollgeräusch betrachtet. Dabei wird davon ausgegangen, dass Reifenschwingungen die Ursache für das abgestrahlte Geräusch unterhalb ca. 1 kHz sind und dass Air-pumping in dem Frequenzbereich oberhalb 1000 Hz das Geräusch bestimmt. Die Bedeutung der Reifenschwingungen sind sowohl durch experimentelle als auch theoretische Modelle qualitativ und quantitativ verifiziert (z.B. in [1]). Anders sieht es bei dem Air-pumping aus. Hier gibt es bis heute nur phänomenologische Beschreibungen.

- 1971 schlug Hayden [2] vor, dass im Einlauf Luft zwischen Lauffläche und Straße herausgepresst wird. Im Auslauf dagegen fließt die Luft wieder in den sich öffnenden Zwischenraum. Die Beschleunigung der Luft führt dann zur Schallabstrahlung.
- Deffayet und Hamet [3] nahmen an, dass das Öffnen und Schließen von kleinen Volumen (z.B. im Profil oder in der Straße für das Geräusch verantwortlich ist.
- Ronneberger [4] schlug vor, dass die Deformation der Lauffläche durch Rauigkeitsspitzen einen zeitlich variierenden Volumenfluss und damit Schall erzeugt.

Alle drei Mechanismen wären Monopolquellen. Keiner dieser Vorschläge konnte jedoch bis heute die bei Messungen beobachteten Schalldruckpegel oberhalb 1000 Hz ausreichend erklären. Beim ersten Workshop über Reifengeräusche 1979 in Stockholm stellte Manfred Heckl diesen Mechanismus deutlich in Frage, da einfache Überschlagsberechnungen zeigten, dass die vorgeschlagenen Mechanismen nicht so hohe Schalldruckpegel ergeben können, wie in Messungen beobachtet werden [5]. Dennoch hält sich bis heute die Auffassung, dass Air-pumping die dominierende Quelle oberhalb 1000 Hz ist. Dies wurde mit der Tatsache begründet, dass in diesem Frequenzbereich eine Geschwindigkeitsabhängigkeit der Form U^4 (wobei U die Geschwindigkeit ist) der abgestrahlten Schalldrücke beobachtet wird. Solch eine Geschwindigkeitsabhängigkeit findet man für die Abstrahlung von Monopolquellen. Im folgenden wird diskutiert, ob diese beobachtete Abhängigkeit wirklich ein ausreichendes Indiz für den Beitrag von Air-pumping zum Reifen-Fahrbahngeräusch ist.

Modellansatz

Winroth [6] hat in ihrer Arbeit zusammen mit dem Autor dieses Artikels die Geschwindigkeitsabhängigkeit von gemessenen und berechneten Schalldruckpegel untersucht. Dabei wurde die Abhängigkeit in einzelnen Terzbänder

untersucht. Ähnliche Untersuchungen werden in [7] und [8] vorgestellt. Die Grundidee ist, dass der quadratische Schalldruck in jedem Terzband mit der Mittenfrequenz f_n sich wie in Gleichung (1) gezeigt aus drei Teilen zusammensetzt.

$$p^2(f_n, U) = A_2(f_n)U^2 + A_4(f_n)U^4 + A_6(f_n)U^6 \quad (1)$$

Dabei sind A_2 , A_4 und A_6 die Beiträge von Reifenschwingungen, Air-pumping und aerodynamischen Quellen auf Grund der Bewegung des Fahrzeuges. Für die drei verschiedenen Beiträge werden unterschiedliche Geschwindigkeitsabhängigkeiten angenommen. Dabei wird gleichzeitig davon ausgegangen, dass die Amplituden A_2 , A_4 und A_6 nicht von der Geschwindigkeit abhängen. Betrachtet man einen Glattreifen und eine Oberfläche mit einem ausreichend gleichmäßigem Rauigkeitsspektrum, so ist dies Annahme sicherlich vertretbar. Für einen profilierten Reifen würde die Stolleneingriffsfrequenz diese Annahme jedoch verletzen, da diese zu einer Änderung der spektralen Inhalte und damit der Amplituden mit der Geschwindigkeit führen würde. Die Studie in [6] benutzt Daten vom Sperenbergprojekt [9]. In diesem Projekt wurden auch Messungen im Windtunnel durchgeführt, um den Beitrag der aerodynamischen Geräusche vom Fahrzeug zum gemessenen Schalldruckpegel zu bestimmen. Dadurch ist die Amplitude A_6 gegeben. Die verbleibenden unbekanntenen Amplituden A_2 und A_4 können durch eine Anpassung der Schalldruckpegel nach Gleichung (1) an die gemessenen Schalldruckpegel bestimmt werden. Der prozentuale Beitrag eines Mechanismus kann als

$$R_m(f_n, U) = \frac{A_m(f_n)U^m}{A_2(f_n)U^2 + A_4(f_n)U^4 + A_6(f_n)U^6} \quad (2)$$

berechnet werden.

Ergebnisse

Eine Reihe von kontrollierten Pass-by Messungen vom Sperenbergprojekt wurden ausgewertet. Im folgenden werden exemplarische die Ergebnisse für eine Oberfläche mit 5/8 mm Abstreifung gezeigt. Es wurde Glattreifen (Continental 195/65-R15 91V) benutzt. Abbildung 1 zeigt den Beitrag des U^4 Terms. Bereits bei 400 bis 500 Hz ist diese Komponente wichtig und zwischen 800 und 1600 Hz dominiert sie über den gesamten Geschwindigkeitsbereich. Auch wenn nicht in Abbildung 1 sichtbar, so ist es doch erwähnenswert, dass bei 2000 Hz wieder eine U^2 Abhängigkeit zu beobachten ist und bei sehr hohen Frequenzen die Windgeräusche mit einer U^6 Abhängigkeit beobachtet werden.

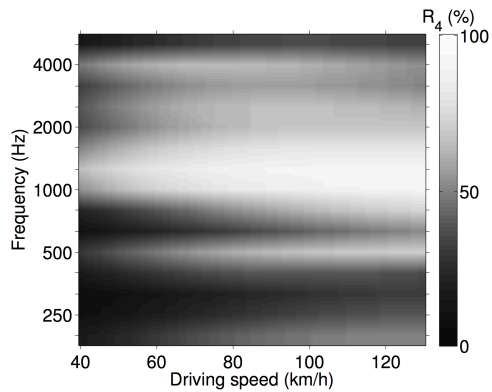


Abbildung 1: Prozentualer Beitrag der U^4 Komponente zum gemessenen Schallkdruckpegel für die abgestreute Oberfläche.

Für die gleiche Oberfläche und einem ähnlichen Reifen wurden Modellrechnungen mit Hilfe eines Rollmodells durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 gezeigt. Auf Grund der Gegebenheiten bei der Rechnung stehen nur Frequenzen bis ca. 2000 Hz zur Verfügung. Auch hier sieht man den Beitrag des U^4 Terms bereits bei tieferen Frequenzen (400 Hz) und im Bereich unterhalb 1000 Hz. Wie deutlich diese Abhängigkeit ist, wird in Abbildung 3 sichtbar. Dort ist die Geschwindigkeitsabhängigkeit der totalen Kontaktkraft dargestellt.

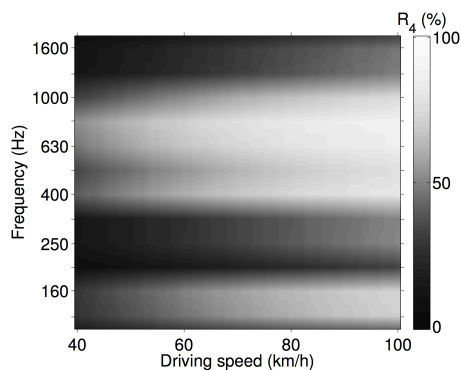


Abbildung 2: Prozentualer Beitrag der U^4 Komponente zum berechneten Schallkdruckpegel für die abgestreute Oberfläche.

Schlussatz und Zusammenfassung

Einen Beitrag der U^4 Komponente zu den gemessenen Schallkdruckpegel wurde bei Frequenzen unterhalb 1000 Hz beobachtet. Ähnliche Ergebnisse erhält man in dem hier verwendeten Rechenmodell. Diese Beobachtungen zeigen, dass eine U^4 Abhängigkeit nicht den Schluß auf den Beitrag von Air-pumping zulässt. Das hier benutzte Rechenmodell beinhaltet keine Beschreibung des Air-pumpings. Vielmehr sieht man aus den Rechnungen, dass auch Reifenschwingungen eine U^4 Abhängigkeit zeigen.

Damit stellt sich auch die Frage, ob die klassische Einteilung der Reifen-Fahrbahngeräusches mit Beiträgen der Reifenschwingungen unterhalb 1000 Hz und Air-pumping oberhalb 1000 Hz überhaupt korrekt ist. Durch eine Ana-

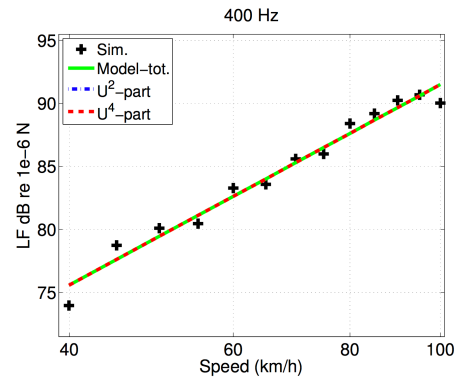


Abbildung 3: Berechnete Kraftpegel (Sim) und der dazugehörige Geschwindigkeitsexponent für das 400 Hz Band.

lyse der Geschwindigkeitsabhängigkeit lässt sich der Beitrag von Air-pumping jedenfalls nicht belegen.

Literatur

- [1] Kropp, W. et al.: On the Sound Radiation of Tyres. *Journal of Sound and Vibration* 331-8 (2012), 1789-1805
- [2] Hayden, R., E.: Roadside Noise from the Interaction of a Rolling Tire with the Road Surface. *Proceedings of the Purdue Noise Control Conference, IN (1971)*, 62-67
- [3] Hamet, J., F., Deffayet, C. and Pallas, M-, A.: Air pumping phenomena in road cavities. In *proceedings of the International Tire/Road Noise Conference, Gothenburg, Sweden, August 8-10 1990*
- [4] Ronneberger, D.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen spezieller Mechanismen der Rollgeräusche und Abstrahlung. In *Mitteilungen des Instituts für Straßen-, Eisenbahn- und Felsbau an der ETH ZYrich*, 57 (1984), 79-116
- [5] *Proceedings of International Tire Noise Conference, Stockholm, (1979)*
- [6] Winroth, J., Kropp, W., Hoever, C., Beckenbauer, T., and Männel, M.: Investigating generation mechanisms of tyre/road noise by speed exponent analysis. *Applied Acoustics* 115 (2017), 101-108
- [7] Dubois, G., Cesbron, J., Yin, H., P., Anfosso-Lždžě, F., and Duhamel, D.: Statistical estimation of low frequency tyre/road noise from numerical contact forces. *Applied Acoustics* 74-9 (2013), 1985-1093
- [8] Paje, S., E., Bueno, M., Vi-uela, U., and Terjın, F.: Toward the acoustical characterization of asphalt pavements: analysis of the tire/road sound from a porous surface. *Journal of the Acoustical Society of America* 125-1 (2009), 5-7
- [9] Beckenbauer, T., et al: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Bonn, Report FE 03.293/1995/MRB. (2001).