

Typisierung von Reifen und Fahrbahnbelägen

Thomas Beckenbauer¹, Wolfgang Kropp²

¹ Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg, Deutschland, Email: Thomas.Beckenbauer@MuellerBBM.de

² Chalmers University, Division of Applied Acoustics, 41296 Göteborg, Schweden, Email: wk@ta.chalmers.se

Einleitung

Im Gegensatz zur industriellen Fabrikation von Reifen unterliegt die Herstellung von Fahrbahnbelägen und damit auch deren Oberflächenqualität erheblichen Schwankungen. Unterschiede des Reifen-Fahrbahn-Geräusches von mehreren dB für den selben Belagstyp sind nicht selten. Daher stellt sich die Frage, ob bestimmte Reifen- und Belagstypen zu geräuscharmen, aber gegenüber Schwankungen der Fahrbahnqualität unempfindlichen Reifen-Fahrbahn-Kombinationen führen können. Folgende Betrachtungen bauen auf Messungen auf und gelten für dichte, starre Fahrbahnen und profilierte Pkw-Reifen bei Stadtfahrgeschwindigkeiten.

Typisierung von Reifen

Sowohl strukturdynamische Eigenschaften als auch die Profilgeometrie eines Reifens tragen maßgeblich zu den Rollgeräuschen bei. Die radiale Eingangsadmittanz kann praktisch als messtechnischer Fingerabdruck der Strukturdynamik eines Reifens ermittelt werden [1]. Abb. 1 zeigt den typischen Verlauf des Betrags der Admittanz eines Reifens, der bis zu Frequenzen zwischen 200 Hz und 300 Hz balkenähnliches Verhalten mit mehreren Umfangsmode zeigt. Über 300 Hz ist die Reifenstruktur in Querrichtung nicht mehr partialschwingungsfrei und zeigt plattenähnliches Verhalten mit hoher Modendichte in mehreren Frequenzbändern.

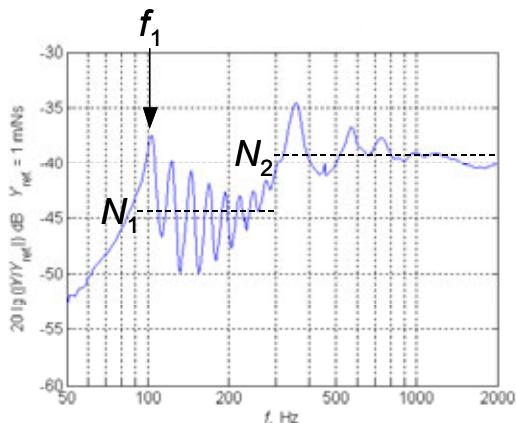


Abbildung 1. Betrag der radialen Eingangsadmittanz eines frei aufgehängten Reifens mit besonderer Kennzeichnung der Parameter f_1 , N_1 und N_2 .

Aus Messergebnissen für die radiale Eingangsadmittanz und die dreidimensionale Textur der Lauffläche wurden die nachfolgenden Parameter für eine mögliche Typisierung von Reifen festgelegt:

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{f_{0,i}}{\Delta f_i}, \quad \text{Mittlere Güte der tiefrequenten Umfangsmode} \quad (1)$$

mit f_0 : Resonanzfrequenz in Hz
 Δf : Halbwertsbreite in Hz

$$P(f) = 10 \lg \left(\frac{\operatorname{Re}\{Y(f)\}}{Y_{ref}} \right) \text{ dB} \quad \begin{array}{l} \text{Realteil der} \\ \text{Admittanz pro} \\ \text{Terz} \end{array} \quad (2)$$

$$f_1 \quad \text{Frequenz der ersten messbaren Umfangsmode} \quad (3)$$

$$N_1, N_2 \quad \text{Niveaus der Teilfrequenzbereiche mit balken- bzw. plattenähnlichem Verhalten} \quad (4)$$

Das Reifenprofil wird in Form einer Steifigkeitsfunktion berücksichtigt, die in Abhängigkeit des Ortes x in Umfangsrichtung definiert ist. Für jeden Streifen i mit der Länge Δx und der Breite b ergibt sich eine modulierte Steife S_i . Diese beruht auf dem Flächenanteil α_i an der Querschnittsfläche $A = b \Delta x$, der aufgrund des Reifenprofils mit der Fahrbahnoberfläche in Kontakt sein kann, und der Steife $S_{\text{Glattreifen}}$, die sich ergäbe, wenn der Reifen profillos wäre (Abb. 2). Die Steife $S_{\text{Glattreifen}}$ wird aus Messungen der Shore A Härte der Profilklötze abgeleitet, der Flächenanteil α_i ergibt sich aus der Auswertung der dreidimensional gemessenen Textur des Reifenprofils. Es gilt:

$$S_i = \alpha_i S_{\text{Glattreifen}} \quad \text{mit} \quad \alpha_i = \frac{A_i}{A} \quad \text{und} \quad A = b \Delta x \quad (5)$$

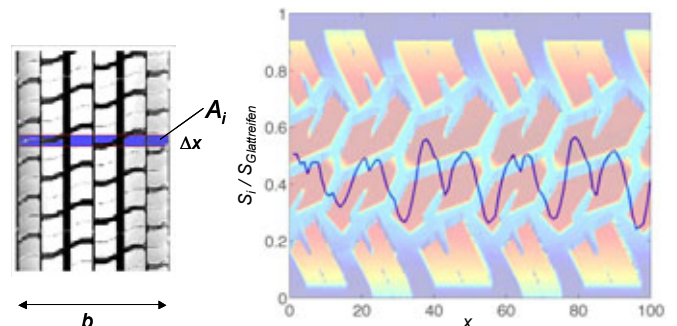


Abbildung 2. Fläche A_i pro Umfangsabschnitt (links) und Steifigkeitsfunktion $S_i(x)$ mit dem zugrundeliegenden Reifenprofil im Hintergrund (rechts).

Mit Hilfe einer geschwindigkeitsabhängigen Zeit-Ortstransformation entsprechend Gl. (6) und einer Fouriertransformation ergibt sich für jede Geschwindigkeit v ein Spektrum $S(f)$ der Steifigkeitsfunktion.

$$dt = \frac{dx}{v} \quad (6)$$

Typisierung von Fahrbahnen

Den vorliegenden Betrachtungen liegen typische Fahrbahnen zu Grunde, die durch eine im Vergleich zum Reifen hohe Steifigkeit gekennzeichnet sind und folgende quantitativ unterscheidbaren Texturmerkmale aufweisen: Rauigkeitswellenlänge λ' im Maximum des Texturspektrums, mittlere maximale Rauigkeitstiefe R' und Gestalt der Oberflächen-

textur [2]. Letztere kann zur Unterscheidung der Gruppe tendenziell konkaver von der Gruppe tendenziell konvexer Oberflächentexturen herangezogen werden.

Korrelationsanalyse und Messergebnisse

Die Reifenkenngrößen wurden für 14 verschiedene Pkw-Reifen ermittelt und mit den auf 6 unterschiedlichen Fahrbahnbelägen mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h gemessenen Nahfeldpegeln (Mikrofonposition 45° zur Reifenachse, Abstand 20 cm zur Seitenwand und zur Achse) der Rollgeräusche korreliert. Abb. 3 zeigt die Reifenkenngrößen für 5 ausgewählte Reifen, die sich mindestens in einem Parameter deutlich voneinander unterscheiden. In Abb. 4 sind die Nahfeldspektren der Rollgeräusche dieser Reifen für die 6 Fahrbahnbeläge dargestellt.

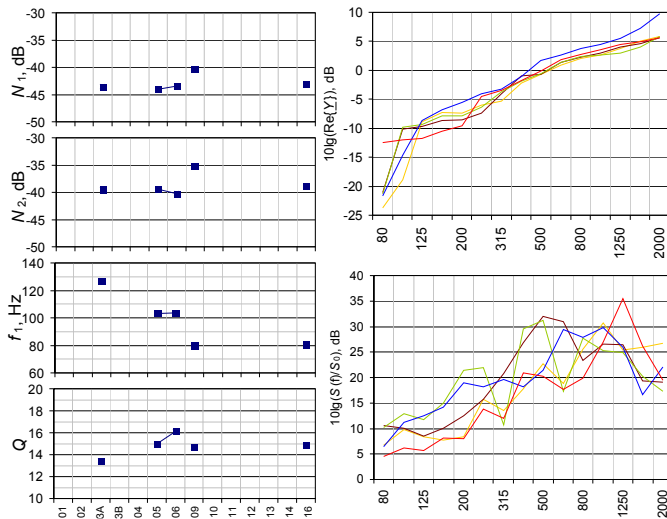


Abbildung 3. Kenngrößen für 5 Pkw-Reifen; — Reifen 3A, — Reifen 5, — Reifen 6, — Reifen 9, — Reifen 16.

Die Kenngrößen f_1 , N_1 , N_2 und \bar{Q} führen zu keinen signifikanten und interpretierbaren Korrelationen mit den Rollgeräuschen. Der Realteil $P(f)$ der Admittanz von 80 Hz bis 100 Hz korreliert – oberflächenunabhängig – mit dem Rollgeräuschpegel zwischen 400 Hz und 800 Hz. Dieses Ergebnis stützt die These, dass die ersten Umfangsmode die Luftschallabstrahlung von Reifenschwingungen auch bei höheren Frequenzen stark beeinflussen. Der Pegel des Steifigkeitsspektrums $S(f)$ korreliert für $v = 50$ km/h in mehreren Frequenzbändern mit dem Rollgeräuschpegel bei 500 Hz. Bis zu einer akustischen Frequenz von 800 Hz bildet das Rollgeräuschspektrum außerdem das reifenabhängige Steifigkeitsspektrum qualitativ ab. Die Korrelation besteht jedoch nur bei Oberflächen mit konkaver Gestalt. Bei rauen Oberflächen mit konvexer Gestalt verschwindet die Korrelation. Das Reifenprofil spielt keine Rolle für die Rollgeräuschentstehung.

Eine Schwäche dieser Betrachtungen zeigen die Ergebnisse für Reifen 9. Der Reifen weist sog. sipes auf, Mikroschnitte innerhalb einzelner Profilklotze, die so klein sind, dass sie weder von der Messung der Admittanz noch von der Messung der Profilgeometrie erfasst werden. Andererseits führen diese sipes tatsächlich zu einer geringeren Steife des Reifenprofils und damit zu einem veränderten Rollgeräusch. Wie aus Abb. 4 hervorgeht, ist dieser Reifen am unempfind-

lichsten gegenüber Fahrbahnunterschieden, besonders bei hohen Frequenzen, ohne dass dies anhand der hier abgeleiteten Reifenkenngrößen nachzuvollziehen wäre.

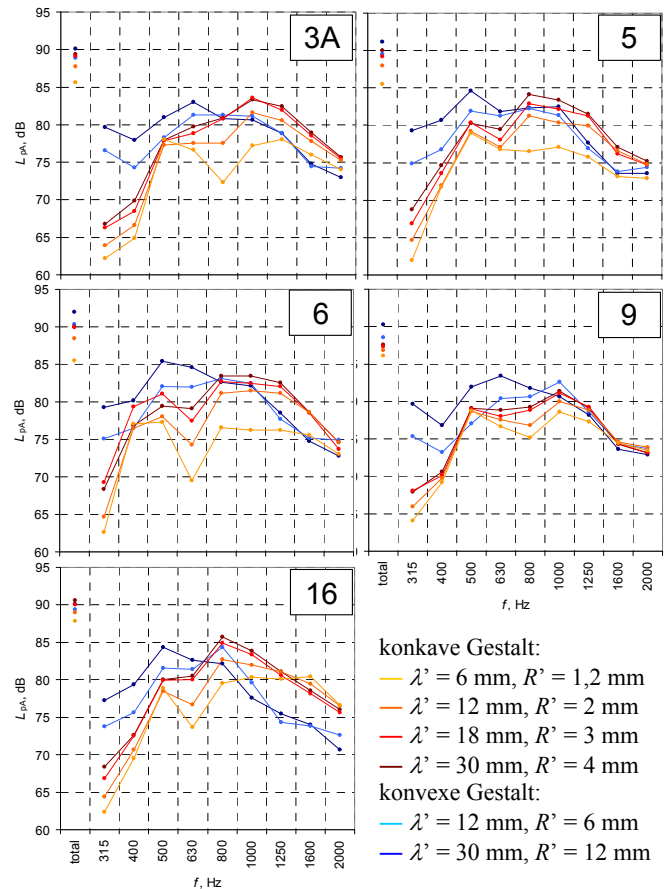


Abbildung 4. Nahfeldpegelspektren der Rollgeräusche für 5 Pkw-Reifen mit $v = 50$ km/h.

In einem weiten Teil des betrachteten Frequenzbereichs konnten keine Korrelationen gefunden werden, was mehrere Gründe haben kann:

- die Entstehung der Rollgeräusche beruht auf dem Zusammenspiel mehrerer Entstehungsmechanismen,
- mit den o.a. Kenngrößen sind noch nicht alle für die Rollgeräuschentstehung maßgeblichen Reifeneigenschaften erfasst worden,
- die Anzahl der Reifen für die Korrelationsanalyse ist zu gering, da die Profilvielfalt viel größer zu sein scheint und die auch akustisch wirksamen Profilunterschiede nicht vollständig beschrieben sind,
- bestimmte Geräuschentstehungsmechanismen, wie beispielsweise air pumping, nicht oder nur in geringem Maße von Reifeneigenschaften abhängen.

Literatur

[1] Kropp, W.: Ein Modell zur Beschreibung des Rollgeräusches eines unprofilierten Gürtelreifens auf rauher Straßenoberfläche. VDI Fortschrittberichte, Reihe 11, Nr 166, 1992

[2] Beckenbauer, T. et al.: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Forschungsberichte Straßenwesen, Heft 847, Bundesministerium für Straßen- und Verkehrswesen, Bonn, August 2002.