

# Ein Prüfstandsverfahren zur Ermittlung des Reifen-Fahrbahngeräusches im Innenraum von Pkw

Matthias Riegel<sup>1</sup>, Jochen Wiedemann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FKFS, D-70569 Stuttgart, Germany, Email: [riegel@fkfs.de](mailto:riegel@fkfs.de)

<sup>2</sup>FKFS, D-70569 Stuttgart, Germany, Email: [wiedemann@fkfs.de](mailto:wiedemann@fkfs.de)

## Einleitung

Prüfstandsmessungen am Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS) sollen in Verbindung mit Straßenmessungen Aufschluss darüber geben, wie sich die einzelnen Anteile aus Motor- und Antriebsstrangeräusch, Rollgeräusch (Körperschallanregung über die Radaufhängung), Reifen-Fahrbahngeräusch (Luftschalleintrag von außen) und Windgeräusch zum gesamten Innengeräusch im Pkw bei unterschiedlichen Randbedingungen zusammensetzen. Bezüglich einiger wichtiger Komponenten ist dies bereits gelungen [1] Es konnte jedoch noch nicht eindeutig geklärt werden, bei welchen Betriebszuständen und in welchen Frequenzbereichen das Reifen-Fahrbahngeräusch (RF-Geräusch) dominant werden kann. Da die Intensität des RF-Geräusches mit der 3. bis 4. Potenz der Fahrgeschwindigkeit ansteigt, während bei Antriebs- und Rollgeräusch lediglich ein Anstieg mit 2. bis 4. Potenz zu verzeichnen ist, muss angenommen werden, dass mit zunehmender Geschwindigkeit das RF-Geräusch einen wesentlichen Anteil zum Innengeräusch beiträgt. Das RF-Geräusch im Fahrzeuginneren wurde bislang meist auf Rollenprüfständen gemessen, wobei bei dieser Vorgehensweise eine Trennung von körperschallerregtem Rollgeräusch und RF-Geräusch nicht erfolgen kann. Zudem kann sich auch das Eigengeräusch der Antriebsrolle störend auf das Messergebnis auswirken. Aus den genannten Gründen wurde am FKFS ein Prüfstandsverfahren entwickelt, mit dem es möglich ist, das RF-Geräusch getrennt von den anderen Geräuschquellen nachzubilden, ohne dabei störende Geräuschkomponenten zu verursachen.

## Das Reifen-Fahrbahngeräusch

Das RF-Geräusch entsteht direkt in der Kontaktzone von Reifen und Fahrbahn und wird über die Karosserie ins Wa-

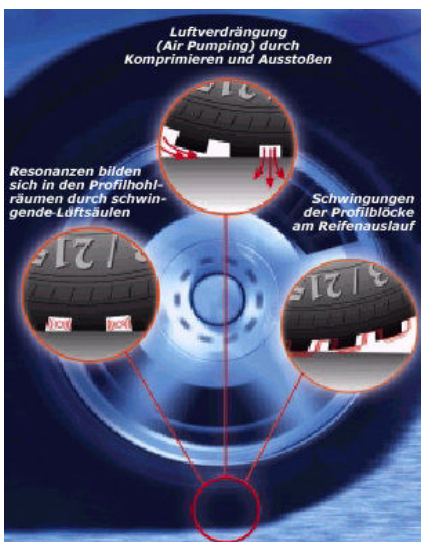


Bild 1 Entstehungsmechanismen des Reifen-Fahrbahngeräusches [2].

geninnere eingestrahlt. Wichtigste Entstehungsursachen des RF-Geräusches sind radiale und tangential Profilelementschwingungen infolge des Kraftimpulses in der Kontaktzone, sowie aerodynamisch induzierte Mechanismen, wie die Luftverdrängung in den Profilzwischenräumen (Airpumping) und Profilresonanzen [3] (Bild 1).

## Messung des Reifen-Fahrbahngeräusches im Nahfeld des Reifens

Zur Bestimmung des anteiligen RF-Geräusches im Innenraum wird zunächst unter Verwendung des an unserem Institut entwickelten Reifengeräusch-Messanhängers [4] das Schallfeld des jeweiligen Reifens im Nahfeld an drei Positionen gemessen. Parameter ist die Fahrgeschwindigkeit, die Fahrbahnoberfläche und der Reifentyp. Bei dem in Bild 2 dargestellten Messanhänger handelt es sich um einen Einrad-Anhänger mit schallabsorbierender Auskleidung. Die Messungen erfolgten unter Berücksichtigung der Fahrzeugspezifischen Radhausschale (Radhausverkleidung), um die Schallausbreitungsbedingungen (Reflexion, Absorption) den realen Bedingungen am Fahrzeug anzugleichen.

Die Mikrofone befinden sich im Reifen-Ein- und Auslauf, sowie seitlich an der Reifenflanke (s. Bild 2).

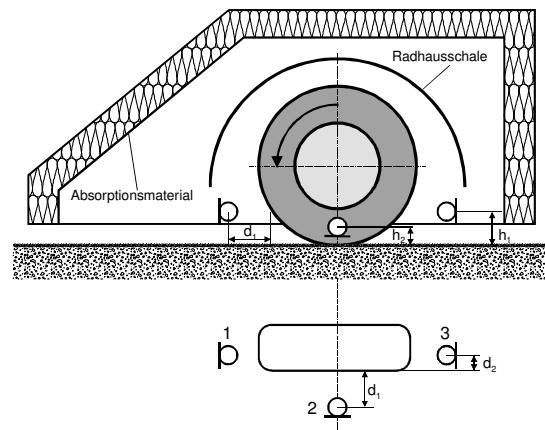


Bild 2 Mikrofonpositionen am FKFS-Reifengeräusch-Messanhänger für die Vermessung des Reifenschallfeldes,  $h_1=120$  mm,  $d_1=100$  mm,  $h_2=70$  mm,  $d_2=50$  mm.

## Simulation des Reifen-Fahrbahngeräusches am Prüfstand

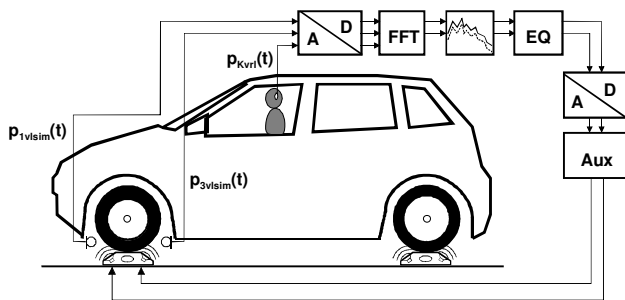
Zur Simulation des RF-Geräusches auf dem Prüfstand steht das Fahrzeug auf Lautsprecherboxen, die aus jeweils 4 Lautsprechern aufgebaut sind (Bild 3). Um das Reifenschallfeld möglichst gut nachzubilden zu können wurde jeweils ein Lautsprecher im Reifenein- und Reifenauslauf, sowie an der Reifenflanke platziert. Die Simulation des Reifenschallfeldes erfolgt für jedes Rad einzeln. Dabei werden in einem ersten Simulationsdurchlauf die auf der Straße aufgezeichneten

Mikrofonsignale als Eingangssignale für die Lautsprecher verwendet. An den gleichen Mikrofonpositionen, wie bei den Straßenmessungen, werden nun die Schalldrücke mit Mikrofonen aufgezeichnet. Anschließend wird das Frequenzspektrum berechnet.



**Bild 3** Lautsprecherbox und Mikrofonanordnung bei der Simulation des Reifen-Fahrbahngeräusches am Prüfstand.

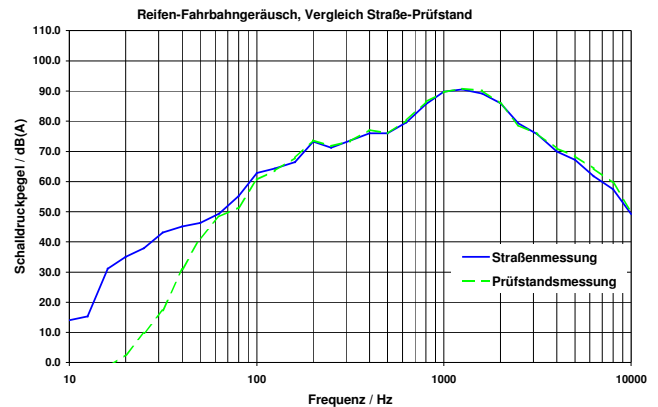
Der Ablaufplan der Schallfeldsimulation am Prüfstand mit entsprechender Beschallung und Messtechnik ist in **Bild 4** schematisch dargestellt. Aufgrund der Abstrahleigenschaften der Lautsprecher und den Bedingungen am Prüfstand ergeben sich am Prüfstand Unterschiede zu den Straßenmessungen. Diese Pegelunterschiede werden unter Berücksichtigung der Pegeldifferenzen der einzelnen Mikrofonensignale zueinander als Filterfunktion für ein neues Lautsprecher-Eingangssignal verwendet. Dies geschieht unter Verwendung eines Equalizers mit Terzeinteilung. Das auf diese Weise erzeugte Signal wird dann erneut über die Lautsprecher abgespielt, aufgezeichnet, analysiert und mit dem ursprünglichen Straßensignal verglichen. Bei ausreichender Übereinstimmung von Originalsignal und Prüfstandssignal wird die Iterationsschleife dann beendet.



**Bild 4** Prinzipskizze von Aufbau- und Ablauf der Simulation zur Bestimmung des Reifen-Fahrbahngeräusches (Mikrofon an der Reifenflanke ist nicht dargestellt)

Dabei muss nicht zwangsläufig der absolute Schalldruckpegel erreicht werden, da die Differenz zum tatsächlich auftretenden Schalldruckpegel später rechnerisch korrigiert werden kann. Es ist ausreichend, die Schalldruckpegel an den jeweiligen Mikrofonpositionen relativ zueinander entsprechend der Straßenmessung einzustellen. Den Vergleich eines Simulationsergebnisses mit dem im Messanhänger ermittelten Spektrum zeigt **Bild 5**. Dargestellt sind die Terzspektren des Mikrofons im Reifeneinlauf bei einer Fahrt auf Asphalt-

fahrbahn mit 70 km/h. Die Übereinstimmung ist über den gesamten Frequenzbereich gut. Lediglich unterhalb der Wiedergabegrenzfrequenz der Lautsprecher, hier unterhalb von etwa 60 Hz, ergibt sich eine deutliche Abweichung zwischen Straßen- und Prüfstandssignal.



**Bild 5** Vergleich der Terzspektren des Mikrofons im Reifeneinlauf zwischen Straße- und Prüfstandsmessung (Asphalt, 70 km/h).

Nach Durchführung der Iteration kann nun der Beitrag des RF-Geräusches am Gesamtgeräusch im Innenraum ermittelt werden. Unter der Voraussetzung, dass die Geräuschabstrahlung der einzelnen Reifen unkorrelierte Schallquellen darstellen, ist es auch möglich, die Beiträge der einzelnen Reifen zum Gesamtgeräusch zu bestimmen, indem jeweils nur eine Lautsprecherbox betrieben wird.

## Zusammenfassung

Mit der hier beschriebenen Methode gelingt es, das Reifen-Fahrbahngeräusch getrennt von allen anderen Geräuschen im Fahrzeug zu simulieren. Sein Beitrag zum Gesamtgeräusch kann somit messtechnisch bestimmt werden. Das Verfahren kann für beliebige Kombinationen aus Reifentypen- und Fahrbahnbelägen bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten eingesetzt werden.

Das Patent zum Prüfstandsverfahren ist beantragt.

## Literatur

- [1] Riegel, M.; Wiedemann, J.: Bestimmung des Windgeräuschanteils im Vergleich zu Antriebs- und Rollgeräusch im Innenraum von Pkw. In: Bargende, M.; Wiedemann, J. (Hrsg.): „5. Internationales Stuttgarter Symposium Kraftfahrwesen und Verbrennungsmotoren 18.-20.2.2003“. Renningen: Expert-Verlag, 2003. ISBN 3-8169-2180-9.
- [2] Autozeitung-KFT: Rollgeräusche als Haupt-Lärmquelle - Ausgabe 13/2000; www. Autozeitung.de/archiv/2000/13/kft\_roll.html
- [3] Ejsmont, J.A.: Tire/Road noise generating mechanisms and possible ways of their reduction. VTI-Report S11-24, 1997
- [4] Köhler, E.: Beitrag zur Erklärung des Reifenabrollgeräusches bei Nässe. Stuttgart, Universität: Dissertation, 1993., 1993.