

Mikroperforierter Absorber für die Bedämpfung der Reifen-Torusmode

W. Herget¹, P. Brandstät, K. Bay, W. Moll²

¹ Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, E-Mail: wolfgang.herget@ibp.fraunhofer.de

² Daimler AG, 71059 Sindelfingen, E-Mail: werner.moll@daimler.com

Einleitung

Dem untersuchten Thema liegt die Entwicklung von immer leiseren Fahrzeugen zu Grunde. Der Geräuschpegel, anfangs dominiert von Motoren- und Strömungsgeräuschen, wurde immer weiter reduziert und optimiert. Dies hat zur Folge, dass andere, vorher unscheinbare Komponenten, akustisch in den Vordergrund treten. Deren Bedämpfung spielt in der modernen Automobilindustrie eine wichtige Rolle. In diesem Kontext wird bereits viel im Zusammenspiel zwischen Reifen und Fahrbahn untersucht. Rollgeräusche werden sowohl über Körperschall als auch Luftschall in das Innere der Fahrzeugkabine übertragen. Ein neuer Aspekt, der hierbei Beachtung findet, ist die Frage, welcher Einfluss resultiert aus der Funktionsgemeinschaft Reifen - Felge und dem darin eingeschlossenen Hohlraum.

Torusmode

Die Torusmode ist eine sich ausbildende Stehende Welle im Reifenhohlraum und charakterisiert das modale Schallfeld [1] (Abbildung 1). Die Wellenlänge der ersten Torusmode wird bestimmt durch den mittleren Umfang im Luftvolumen und bewirkt in der Fahrgastzelle eine messbare Pegelerhöhung. Dieses durch Körper- und Luftschall übertragene Geräusch wird als unangenehm wahrgenommen.

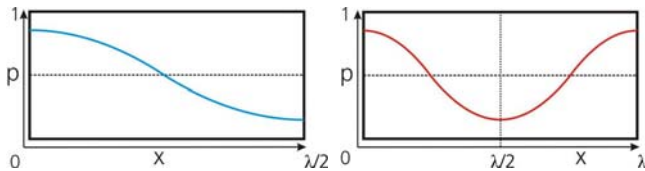


Abbildung 1: Schalldruckverlauf des modalen Schallfeldes im Raum (links) und im Torus (rechts).

Die Idee

Die Herausforderung in diesem Falle besteht darin, den begrenzten Raum der zur Verfügung steht, für einen akustischen Absorber nutzbar zu machen. Weiterhin darf der Absorber das Fahrverhalten und die Fahrsicherheit nicht beeinträchtigen. Diese Ansprüche konnten mit dem Aufbau- und Wirkungsprinzip des mikroperforierten Absorbers [2] erfüllt werden. Er wird direkt am Entstehungsort der Torusmode, im Reifenhohlraum, platziert (Abbildung 2).

Die Umsetzung

Der mikroperforierte Absorber besteht aus einer perforierten Oberfläche mit einem Perforationsgrad $< 1\%$ und einem angekoppelten Lufrückvolumen. Mit diesen Parametern kann der Absorber mit seinem Absorptionsmaximum auf eine Zielfrequenz ausgelegt werden. Dieses Prinzip wurde

auf eine Autofelge wie folgt übertragen: Die mikroperforierte Oberfläche wird direkt in die Struktur der Felge eingebracht. Hierfür werden die benötigten Löcher ins Tiefbett gebohrt. Eine separat gefertigte Kammer, notwendig für das Lufrückvolumen und die Abdichtung des Rades, wird an die gewünschte Position in der Felgenkontur eingefügt und luftdicht verklebt. Der prinzipielle Aufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

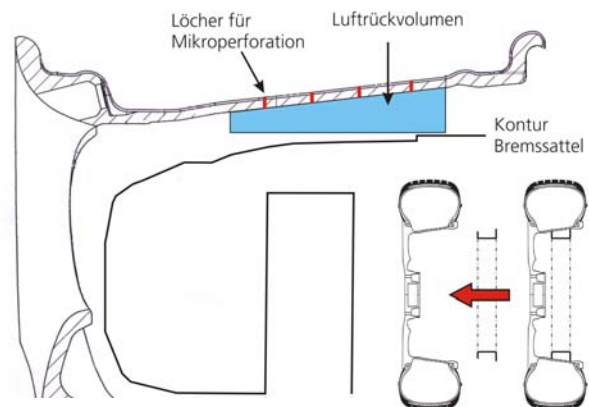


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Umsetzung des mikroperforierten Absorbers in die Felge.

Identifikation der Torusmode

In einem Labormessaufbau konnte das modale Schallfeld im Torus charakterisiert werden. Dies ermöglichte die Verteilung von vier Mikrofonen im Abstand von jeweils 90° auf dem Tiefbett der Felge. Die Anregung erfolgte durch Luftschall über einem Lautsprecher in unmittelbarer Nähe des aufgehängten Rades. Bei der Betrachtung des Schalldrucks an den Messpositionen 90° und 180° , ergibt sich eine für stehende Wellen charakteristische Druckverteilung. Es kommt zu einer Schalldruckerhöhung bzw. Minderung im Frequenzbereich einer umlaufenden Wellenlänge.

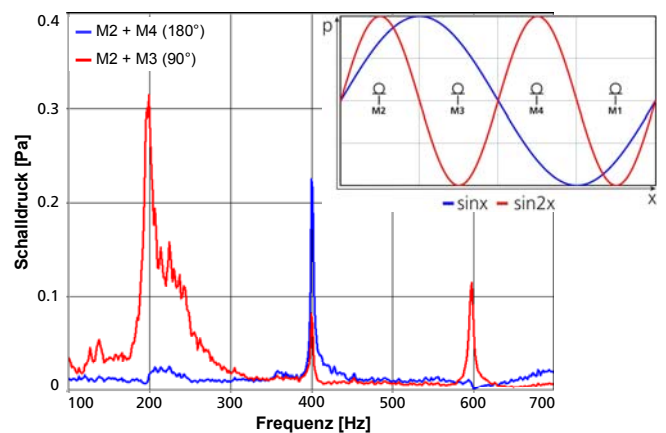


Abbildung 3: Schalldruckverlauf nach Addition der Mikrofon-signale.

Mit dieser Analyse konnte im Labor die erste Torusmode bei einer Frequenz von 200 Hz identifiziert werden. Anhand dieser Erkenntnisse konnte im nächsten Arbeitsschritt der mikroperforierte Absorber abgestimmt werden.

Auslegung der Mikroperforation

Auf Grund der vorgegebenen Einbausituation (Abbildung 2) sind viele der Parameter bezüglich der Auslegungsfrequenz festgelegt. Die Plattendicke ist durch die Felgendicke vorgegeben, der Wandabstand durch den zur Verfügung stehenden Raum zwischen Felge und Bremssattel und der Lochdurchmesser für die Funktionsweise des mikroperforierten Absorbers liegt bei 1 mm. Daraus resultierend, stellt die Variation des Lochabstandes die alleinige Möglichkeit dar, den Absorber auf die gewünschte Zielfrequenz abzustimmen. Der dadurch realisierte Absorber weist einen Perforationsgrad von 0,15 % auf und wurde im Impedanzrohr auf seinen Absorptionsgrad hin überprüft. Die Untersuchungen ergaben, dass der nach [3] theoretisch zu erwartende Absorptionsgrad gut mit den Messungen übereinstimmt. Bei der Auslegung wurde darauf geachtet, dass der Absorber im Frequenzbereich von 200 Hz bis 250 Hz breitbandig wirkt. Dies basiert auf einer temperaturbedingten Frequenzverschiebung der Torusmode.

Mikroperforierter Reifenabsorber

Labormessung

Für die Messung der Serienfelge werden die Bohrungen der Mikroperforation vorüber gehend abgeklebt. Im Anschluss werden die Bohrungen wieder frei gelegt und die Kammer eingebaut. Hierbei ist auf einen luftdichten Abschluss zwischen Felge und Kammer zu achten. Dieser Umbau kann am aufgehängten Rad schnell durchgeführt werden, so dass die Messbedingungen bei unterschiedlichen Konfigurationen unverändert bleiben. Im Weiteren wurde der Einfluss einer Kassettierung des Lufrückvolumens untersucht [4]. Die im Reifenhohlraum ermittelten Schalldruckpegel bei externer Luftschallanregung sind in Abbildung 4 dargestellt.

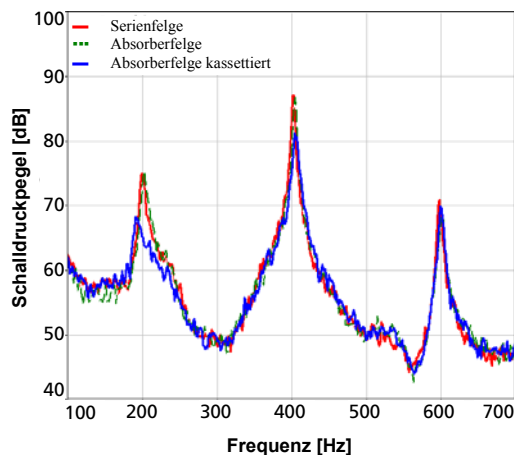


Abbildung 4: Schalldruckpegel der unperforierten und mikroperforierten Felge im Vergleich.

Deutlich ist eine Pegelminderung bei der ersten Torusmode mit kassettiertem Lufrückvolumen zu erkennen. Die Kassettierung bewirkt, dass sich in der Kammer keine

umlaufenden Wellen ausbilden. Bei der Zielfrequenz von 200 Hz konnte somit eine maximale Pegelminderung von ca. 11 dB erzielt werden.

Messungen am Fahrzeug

Für die Messungen im Fahrzeuginneren wurde ein kompletter Reifensatz als Prototyp hergestellt. Die Messungen erfolgten auf der Straße sowie auf dem Akustik-Rollenprüfstand am Fraunhofer-Institut für Bauphysik. Mit einem Kunstkopf auf dem Beifahrersitz wurden die Signale erfasst.

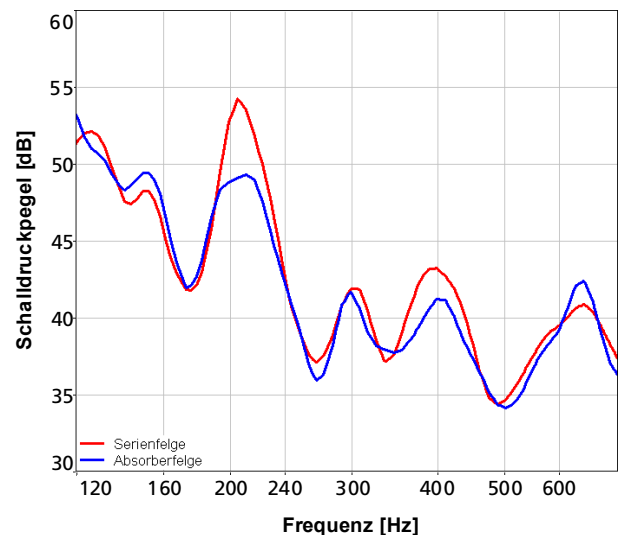


Abbildung 5: Auf dem Akustik-Rollenprüfstand im Fahrzeuginneren ermittelten Schalldruckpegel.

In Abbildung 5 ist der auf dem Akustik-Rollenprüfstand ermittelte A-bewertete Schalldruckpegel für ein Fahrzeug mit Serien- und mit Absorberfelgen dargestellt. Bei dieser Messung war der Motor des Fahrzeugs ausgeschaltet. Der Antrieb erfolgte über die Rolle mit einer Geschwindigkeit von 90 km/h. Für die Serienfelge ist im Bereich von 200 Hz eine Erhöhung des Schalldruckpegels durch die Torusmode sichtbar. Im Vergleich mit der Absorberfelge ist in diesem Frequenzbereich eine deutliche Reduzierung zu erkennen.

Mit dem Einsatz des mikroperforierten Reifenabsorbers konnte sowohl auf dem Akustik-Rollenprüfstand als auch auf der Straße eine Pegelminderung der Torusmode von 5 dB erzielt werden.

Literatur

- [1] Cremer, L.; Müller, H.A.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Band 2: Wellentheoretische Raumakustik, Hirzelverlag Stuttgart 1976.
- [2] Zha, X.; Zhou, X.; Kang, J.: Mikroperforierte Plattenabsorber (MPA), Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart, IBP-Mitteilung 261, 1994
- [3] Maa, D.-Y.: Potential of microperforated panel absorber, Journal Acoustical Society of America, S.2861-2866, November 1998.
- [4] Fuchs, H.: Schallabsorber und Schalldämpfer, 1. Auflage, Springer Verlag Berlin 2004.