

Modulation von Bremsen-Eigenfrequenzen – eine Maßnahme gegen Bremsen-Quietschen?

R. Helber, K. Geiger, DaimlerChrysler AG, Stuttgart

Einleitung

Bremsenquietschen stellt sowohl für die Automobilhersteller als auch deren Zulieferer ein hartnäckiges Problem dar, nicht zuletzt aufgrund der zahlreichen Erscheinungsformen des Quietschens. Übliche Ansätze für die Unterdrückung des lästigen Geräusches zielen auf die Beeinflussung des Anregungsmechanismus des Quietschvorganges oder des Schwingungsverhaltens des Bremsensystems. Zur erstgenannten Kategorie zählt die Wahl geeigneter Bremsbeläge oder die Anwendung aktiver Maßnahmen (1), zur zweitgenannten der Einsatz von Zusatzmassen oder die Erhöhung der Dämpfung im Bremsensystem (2).

Bei Fahrzeugen im oberen Marktsegment tritt Bremsenquietschen vorzugsweise im Frequenzbereich von 2 kHz auf. In diesen Fällen werden die am Quietschen beteiligten Bremsscheiben zu K(3,0)-Schwingungen angeregt. Dieser Beitrag befaßt sich mit einer neuartigen Maßnahme zur Beeinflussung des Schwingungssystems Bremse im 2 kHz-Bereich.

Aufgabenstellung

Es sollten konstruktive Maßnahmen konzipiert und untersucht werden, die das Bremsenquietschen im 2 kHz-Bereich unterdrücken. Folgende Arbeitshypothese wurde aufgestellt und überprüft: Eine Bremse, deren K(3,0)-Eigenfrequenz sich mit drehendem Rad ändern würde, könnte aus kinetischen Gründen die zum Quietschen führende K(3,0)-Eigenschwingung nicht aufbauen.

In einem ersten Schritt mußte die Aufgabe gelöst werden, eine Serien-Bremsscheibe so zu modifizieren, daß die K(3,0)-Eigenfrequenz der Bremse mit der Drehung des Rads moduliert wird.

In einem zweiten Schritt mußte die so modifizierte Bremse im Fahrzeug auf der Straße untersucht und bewertet werden.

Ergebnisse

1. Laboruntersuchungen

Die untersuchte Bremse war eine Vorderradbremse, deren Bremsscheibe mit Kühlrippen versehen war. Die für das Quietschen dieser Bremse relevante Schwingform war eine K(3,0)-Mode bei 1.8 kHz, gekennzeichnet durch 3 nahezu symmetrisch über die Scheibe verteilten Schwingungsknoten-Diagonalen mit einem Schwingungsbauch im Bereich der angekoppelten Bremsbeläge.

Die Aufgabe, die Serien-Bremsscheibe so zu modifizieren, daß die K(3,0)-Eigenfrequenz der Bremse mit der Drehung des Rads moduliert wird, wurde folgendermaßen gelöst : Im Abstand von 60 Grad wurden die Kühlrippen um einige Millimeter von außen abgefräst, die mit diesen Störstellen erzeugte periodische Schwächung der Scheibe hatte das gewünschte Ergebnis zur Folge.

Die Wirkung dieser Maßnahme auf das Schwingungsverhalten der Bremse wurde zunächst im Labor überprüft. Die Bremse mit angekoppelten Bremssätteln wurde fremderregt, zur Erfassung der Schwingformen wurde die Oberfläche der Bremse mit Hilfe eines Laser-Scanning-Vibrometers abgetastet. Diese Prozedur wurde für unterschiedliche Winkelpositionen der modifizierten Scheibe durchgeführt. Das Ergebnis ist in Abb. 1 dargestellt.

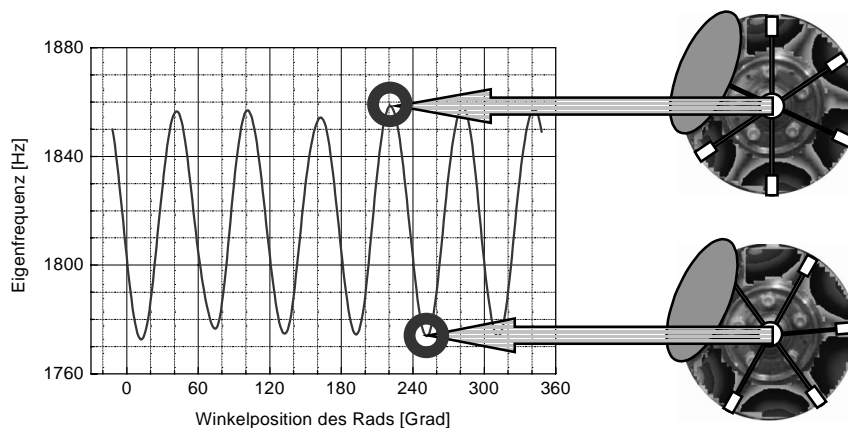


Abb.1 Modulation der Eigenfrequenz der K(3,0)-Mode durch unterschiedliche Winkelpositionen der Störstellen auf der Bremsscheibe bezüglich der feststehenden Schwingform

Die erzielte Eigenfrequenz-Modulation läßt sich folgendermaßen erklären: Die Störstellen beeinflussen die Eigenfrequenz der Bremse abhängig von ihrer Position bezüglich Schwingungsbauch bzw. –knoten. Da die Lage der Schwingform (Schwingungsbauch im Bereich der Bremsbeläge) bei drehender Scheibe erhalten bleibt, durchwandern die Störstellen periodisch Schwingungsbäuche und –knoten der Schwingform bei Drehung der Scheibe und führen damit zu der gewünschten Modulation der Eigenfrequenz. Die Modulationsfrequenz läßt sich direkt aus der Schwingform ableiten: entsprechend der 6 Schwingungsknoten über dem Umfang treten 6 Frequenzhübe pro Umdrehung auf. Mit der beschriebenen Maßnahme konnte ein Frequenzmodulationsgrad von ca. 2.3% erreicht werden.

2. Fahrzeuguntersuchungen

Die Arbeitshypothese, daß Bremsen mit Eigenfrequenz-Modulationen das Quietschen unterdrücken, konnte prinzipiell bestätigt werden. Für sehr niedrige Fahrgeschwindigkeiten allerdings, während der letzten Radumdrehungen vor dem Stillstand des Fahrzeugs, konnte das Bremsenquietschen nicht vollständig beseitigt werden, offensichtlich reicht hier die verbleibende Einschwingzeit, die Bremse zum Quietschen zu bringen. In Abb. 2 ist dieses Ergebnis zusammengefaßt.

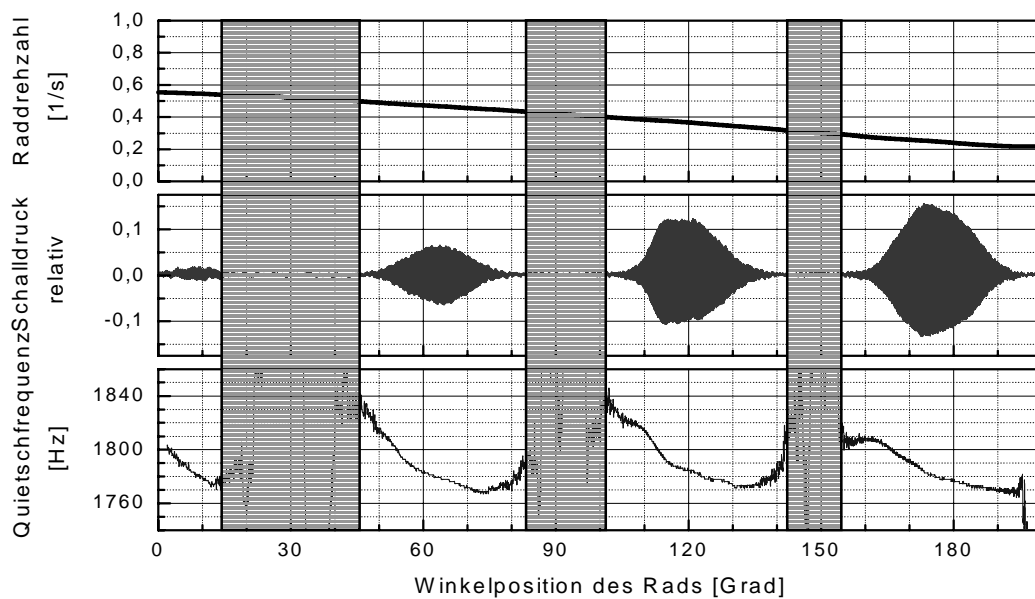


Abb. 2 Raddrehzahl (oben), Zeitsignal des relativen Schalldrucks am Außenmikrofon in Höhe der Radnabe (Mitte) und Momentanfrequenz dieses Zeitsignals (unten) über dem Winkelbereich einer halben Radumdrehung während eines Quietschvorgangs kurz vor Stillstand des gebremsten Fahrzeugs mit modifizierter Bremscheibe. Die grau gekennzeichneten Winkelbereiche markieren quietschfreie Zonen.

Vergleich Labor-/Fahrzeugergebnisse

Ein wichtiges Ergebnis der Untersuchung besteht darin, daß zwischen dem fremderregten Schwingungsverhalten der Bremse im Labor einerseits und dem Betriebs-Schwingungsverhalten der Bremse im Fahrzeug andererseits eine hohe Korrelation nachgewiesen werden konnte. In Abb. 3 sind die Ergebnisse der modulierten Eigenfrequenz aus Labormessungen und der modulierten Quietschfrequenz im Fahrzeug einander gegenüber gestellt.

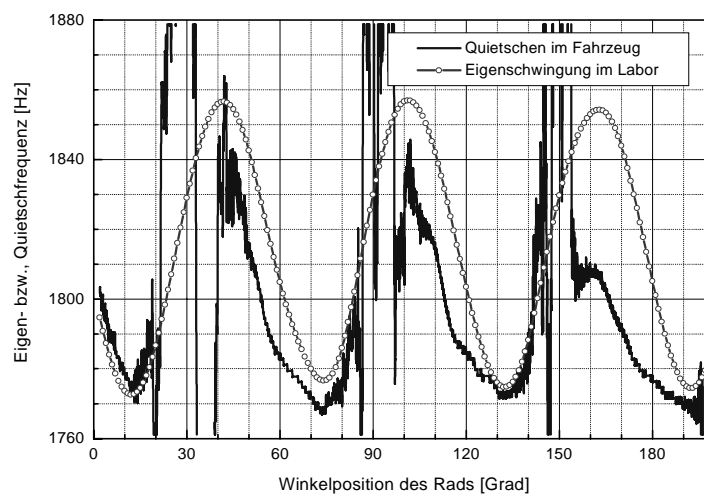


Abb. 3 Quietschfrequenz im Fahrzeugversuch und Eigenfrequenz im Laborversuch einer modifizierten Bremse als Funktion der Winkelposition des Rads

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorgestellten Arbeit wurde das Konzept der Modulation von Bremsen-Eigenfrequenzen als Maßnahme gegen das Bremsen-Quietschen untersucht. Für diesen Zweck wurde eine Serien-Bremsscheibe mit 6 gleichmäßig über dem Umfang verteilten Einfräsungen in den Kühlrippen versehen. Im Laborversuch wurde diese Bremse mit Hilfe eines Hammers angeregt: bei schrittweise gedrehter Bremsscheibe konnte eine Modulation mit 6 Frequenzhuben pro Umdrehung und einem Frequenzmodulationsgrad von ca. 2.3% gemessen werden.

Im Fahrversuch blieb diese Bremse bei hohen und mittleren Fahrgeschwindigkeiten quietschfrei, lediglich für sehr niedrige Fahrgeschwindigkeiten, während der letzten Radumdrehungen vor dem Stillstand des Fahrzeugs, konnte das Bremsenquietschen nicht vollständig beseitigt werden.

Damit stellt das untersuchte Konzept der Modulation von Bremsen-Eigenfrequenzen keine vollkommen zufrieden stellende Lösung gegen das Bremsen-Quietschen dar. Ein wichtiges Ergebnis der Untersuchungen besteht jedoch in dem Nachweis der hohen Korrelation des Schwingungsverhaltens der Bremse im Laborversuch einerseits (Fremderregung) und Fahrversuch andererseits (Betriebserregung). Dieses Ergebnis liefert die Begründung dafür, andere konstruktive Anti-Quietsch-Maßnahmen, die darauf abzielen, das Schwingungsverhalten der Bremse zu beeinflussen, zunächst in einfachen Laboruntersuchungen zu qualifizieren, bevor aufwendigere Fahrversuche unternommen werden.

Literaturverzeichnis:

- [1] Y. Nishizawa, H. Saka, S. Nakajima and T. Arakawa: ‚Electronic Control Canceling System for a Disc Brake Noise‘ SAE 971037 1997
- [2] R. Singh, A. A. Sheikh and M. J. Mitchell: ‚Viscoelastic Damping to Control Disc Brake Squeal‘ Sound and Vibration/October 1998