

# Dem Bremsenquietschen *auf der Spur*



## Flächenhafte 3D-Vibrometrie an Bremsscheiben macht Ursachen sichtbar

*Die Optimierung des Geräuschverhaltens moderner Kraftfahrzeuge ist zu einem vorrangigen Entwicklungsziel geworden. Forscher der Robert Bosch GmbH sind mit innovativer Messtechnik von Polytec den Ursachen der störenden Quietsch-Geräusche beim Bremsvorgang auf die Spur gekommen.*

Moderne Bremssysteme im Pkw sind leistungsfähiger denn je und zeichnen sich durch eine Funktionsvielfalt aus, die vor einiger Zeit noch unmöglich erschien. Damit trotz gesteigerter Komplexität alle Komponenten einer Bremsanlage bestmöglich zusammenarbeiten, ist ein hohes Maß an Systemwissen erforderlich. Bosch stellt alle wesentlichen Komponenten selbst her und kann dem Automobilhersteller somit Komplettlösungen aus einer Hand anbieten.

Bei der Entwicklung von Bremssystemen optimiert Bosch nicht nur die Funktion der einzelnen Komponenten. Ein Schwerpunkt liegt auch auf deren Zusammenwirken als System und auf den Schnittstellen mit dem gesamten Fahrzeug. Fundiertes Wissen über das Schwingungsverhalten ihrer Produkte

ermöglicht es den Bosch-Ingenieuren beispielsweise, das Risiko von Quietschen und Rubbeln der Bremsen zu vermindern, was den Komfort weiter erhöht. Als weltweit größter Hersteller von Brems- und Bremsregelsystemen bietet Bosch den Automobilherstellern die vollständige Entwicklung und Lieferung kompletter Bremsanlagen. Hierzu gehören u.a. auch Erzeugnisse der Fahrzeugsicherheit, wie das Antiblockiersystem (ABS), die Antriebs-schlupfregelung (ASR) und das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP).

### Aufgabenstellung

Zweck einer Bremse ist der möglichst wirkungsvolle und gleichmäßige Abbau der Bewegungsenergie des Fahrzeugs. Dies geschieht durch Umwandlung in Wärmeenergie, die bei der Reibung zwischen Bremsbelägen und Brems-

scheibe entsteht. Bei bestimmten Betriebsparametern können während des Bremsvorgangs hochfrequente Schwingungen der Bremsscheibe angeregt werden. Diese zum Teil erheblichen Strukturschwingungen der Bremse, die übrigens keinen Einfluss auf die eigentliche Bremswirkung haben, koppeln an den Luftschall an. Ein Teil der Energie wird dadurch als störendes, akustisch wahrnehmbares Bremsenquietschen abgestrahlt.

Physikalisch verantwortlich für die Schallemission der Bremsscheibe beim Quietschen sind die so genannten Out-of-plane Schwingungen. Hierbei schwingt die Reibringfläche der Bremsscheibe senkrecht zur Scheibenebene. Die verzögernde Bremskraft zwischen Belägen und Bremsscheibe wirkt jedoch in der Scheibenebene.

Über diese Krafteinleitung werden also auch primär Schwingungen in dieser Ebene (In-plane) angeregt.

Die Bosch-Forscher stellten sich nun die interessante Frage, welcher Zusammenhang zwischen der In-plane-Anregung infolge der Einwirkung der Bremskraft und den für die Schallemission verantwortlichen Out-of-plane-Schwingungen besteht.

Schnell wurde klar, dass für diese herausfordernde Untersuchungsaufgabe besondere messtechnische Verfahren benötigt werden. Diese müssen gleichzeitig sowohl In-plane- als auch Out-of-plane-Komponenten der Schwingbewegung mit hoher Frequenzauflösung an einer Vielzahl von Messpunkten auf der Bremse messen können.

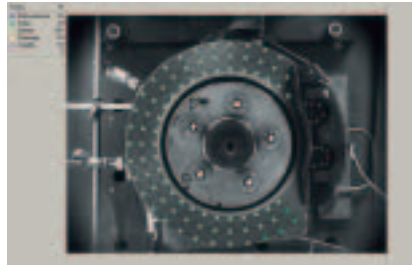
#### In-plane und Out-of-plane

Von der Wechselwirkung zwischen In-plane- und Out-of-plane-Schwingungen kann man sich leicht mit einem kleinen Versuch überzeugen. Hierzu regt man einen schwingfähig, z. B. auf der Fingerspitze, gelagerten Teller mit einem Löffel einmal von der Seite und einmal von oben zu Schwingungen an. In beiden Fällen werden die gleichen Moden angeregt, allerdings bei der In-plane-Anregung mit abgeschwächter Amplitude. Man hört also in beiden Fällen denselben Ton, der jedoch wesentlich leiser klingt, wenn man den Teller von der Seite anschlägt.

#### Messtechnische Aufgabenstellung

Die bislang etablierten Messverfahren zur Analyse von Strukturschwingungen reichten für die Beantwortung der Frage nicht aus. Polytec, als langjähriger Partner im Bereich berührungsloser Messtechnik, entwickelte deshalb auf Anregung von Bosch und in enger Kooperation mit den Initiatoren ein scannendes, 3-dimensionales messendes Laser-Vibrometer.

Im Gegensatz zu einem herkömmlichen, 1-dimensional arbeitenden Scanning Vibrometer, welches nur die in Richtung des Laserstrahls orientierte Komponente der Schwingbewegung



**Abbildung: Bremsscheibe im Prüfstand**

messen kann, verwendet das Polytec Scanning Vibrometer PSV-400-3D drei separate Scanning Vibrometer-Messköpfe, die zum selben Zeitpunkt aus unterschiedlichen Raumrichtungen die Schwingbewegung an einem Punkt der Oberfläche des Messobjektes erfassen.

Durch das synchron scannende Verfahren erfasst das Gesamtsystem schnell, berührungslos und rückwirkungsfrei das gesamte 3-dimensionale Schwingverhalten an allen optisch zugänglichen Punkten des Testobjektes. Aus den Rohsignalen der drei Messköpfe berechnet die Software durch eine Koordinatentransformation die vektoriellen Komponenten der Schwingbewegung in einem kartesischen Koordinatensystem. Die folgende Abbildung zeigt verschiedene Ansichten ein- und derselben Betriebsschwingform als Ergebnis einer PSV-3D-Messung an einer Bremsscheibe. Im linken Teilbild ist perspektivisch die Gesamtbewegung dargestellt. In der Mitte ist deutlich der starke Anteil der Out-of-plane-Komponente erkennbar, während das rechte Bild klar den In-plane-Anteil der Bewegung zeigt.

Mit dem neuartigen Messverfahren gelang es den Bosch-Forschern, die Wechselwirkungen zwischen Bremsbelägen und Bremsscheiben, die für das Bremsenquietschen verantwortlich sind, eindeutig zu charakterisieren. Die Untersuchungen zeigten, dass es bei bestimmten Kombinationen der Betriebsparameter wie Bremsdruck, Temperatur und Momentangeschwindigkeit zu einer Wechselwirkung von miteinander gekoppelten In-plane- und Out-of-plane-Eigenschwingungen kommt, die das gefürchtete Quietschgeräusch hervorruft.

#### Fazit:

Die mit dem Polytec Scanning Vibrometer PSV-3D gewonnenen Erkenntnisse versetzen die Bosch-Forscher und Ingenieure zukünftig in die Lage, bei der Konstruktion der Bremse durch gezielte Variation der Bauteilgeometrien und Materialparameter das Risiko für unerwünschtes Bremsenquietschen weiter zu reduzieren.

#### DIE AUTOREN

**Dr.-Ing. Michael Fischer**

**Dr. Karl Bendel**

**Zentralabteilung**

**Forschung und Vorausbildung  
Angewandte Physik**

**Robert Bosch GmbH FV/FLP**

**Telefon +49 (0) 711 811-6529**

**E-mail:**

**Michael.Fischer2@de.bosch.com**

**www.bosch.com**

**Abbildung: Drei Ansichten einer Schwinform einer Bremsscheibe**

