

# Beurteilung von Bremsenquietschen im Fahrversuch - Psycho-akustische Parameter und messtechnische Konzepte

Michael Haverkamp

Ford-Werke GmbH, 50725 Köln, Email: mhaverka( )ford.com

## Einleitung

Bremsenquietschen entsteht durch selbsterregte Schwingungen im Bremssystem. Auch wenn dort Maßnahmen zur Geräuschminderung angewandt werden, kann es zur Geräuschentstehung kommen, sofern spezifische Randbedingungen erfüllt sind. Dies gilt für bestimmte Werte von Temperatur, Bremsdruck, Verzögerung und Lenkwinkel ebenso wie für zahlreiche Parameter der Schnittstelle zwischen Reibmaterial und Scheibe/Trommel, wie Form und Lage der Beläge, Reibwert, Druckverteilung auf der Reibfläche und Feuchtegehalt - bis hin zu mikrostrukturellen Gegebenheiten. Um Maßnahmen zur Geräuschminderung zu optimieren, müssen alle in der Praxis möglichen Parameterkonstellationen auf die daraus resultierende Geräuschneigung hin geprüft werden. Prüfstandsversuche werden daher als *Matrix-Tests* ausgelegt.

Zur Beurteilung des Geräuschverhaltens im Fahrversuch werden Teststrecken verwendet, die eine möglichst umfassende Variation aller Parameter unter realen Fahrbedingungen ermöglichen. Dabei kann auch die *Vorgeschichte* der Bremse (Verschleiß sowie Einwirkung von Staub, Feuchtigkeit und Salz) entsprechend konditioniert werden. Ein Hauptproblem der Messung an akustisch verbesserten Systemen besteht in der geringen Häufigkeit der auftretenden Geräusche. Ein Mess-System für Bremsengeräusch muss daher über intelligente Algorithmen der Geräuschdetektion verfügen, die nur bei vorhandenem Bremsgeräusch eine Signalaufzeichnung und -analyse initiieren, dabei jedoch alle hörbaren Geräusche berücksichtigen.

## Strategien der Geräuschbeurteilung

Zur Ableitung objektiver Kriterien für die Beurteilung des Bremsengeräusches ist zunächst die grundlegende Strategie festzulegen. Hierzu gibt es drei Möglichkeiten:

Fahrerbezogener Ansatz: Beurteilungskriterien werden durch kopfbezogene Messungen in der Nähe des Fahrerohres abgeleitet. Die Ansprüche des Kunden an sein Produkt stehen dabei im Vordergrund. Messungen an den Bremsen selbst dienen ausschließlich zur Identifikation der Geräuschquelle und zur Entwicklung von Verbesserungsmaßnahmen.

Passantenbezogener Ansatz: Dabei steht das vom Bremsystem abgestrahlte Geräusch im Vordergrund. Luftschallmessungen in Bremsennähe werden zur Beurteilung ausgewertet. Hierbei wird davon ausgegangen, dass nicht nur Fahrer und Fahrgäste, sondern auch „potentielle Kunden“ am Straßenrand zu berücksichtigen sind. Die Wirkung in den Fahrgastraum kann jedoch nur unter rechnerischem Einbezug der Fahrzeug-Übertragungsfunktionen bestimmt werden.

Komponentenbezogener Ansatz: Es werden Anforderungen für die Geräuschentstehung an der Bremse definiert, die durch Luft- oder Körperschallmessungen in Bremsennähe zu

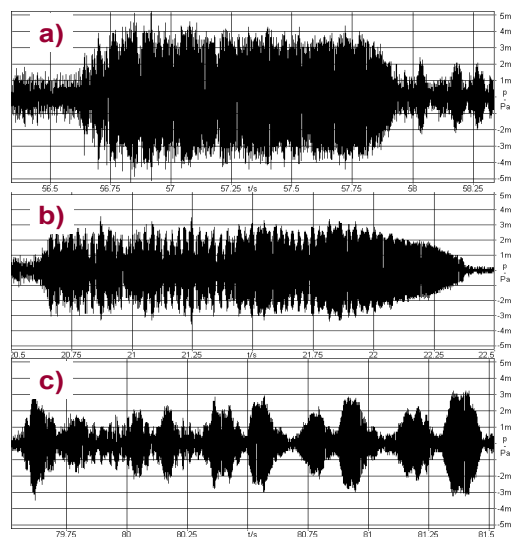
verifizieren sind. Die Beurteilung ist unabhängig von den Übertragungseigenschaften von Fahrwerk und Karosserie, allerdings besteht die Gefahr eines „over-designs“ durch Eliminierung von Geräuschereignissen, die weder im Innenraum, noch außen hörbar sind.

## Wahrnehmung von Bremsenquietschen

Ein besonderes Problem stellt die Korrelation objektiver Daten zur subjektiven Gesamtbeurteilung von Fahrzeug-Dauerläufen dar [1]. Wie in [2] ausführlicher diskutiert, sind folgende Parameter für den häufigen Fall annähernd Sinusförmiger Quietsch-Geräusche von Bedeutung:

Pitch Strength: Die Ausprägung der Tonhöhenwahrnehmung nimmt mit Amplitude und Dauer des Signals zu, insbesondere mit dem Abstand zum Hintergrund-Pegel [3].

Verdeckung: Die Maskierung von Quietschgeräuschen durch den Geräusch-Hintergrund des Fahrzeugs ist sowohl spektral als auch zeitabhängig zu berücksichtigen. Dies gilt grundsätzlich bei tiefen und mittleren Frequenzen. Quietschen erregt in der Regel jedoch auch bei geringer Lautheit die Aufmerksamkeit und weist daher eine grosse Störwirkung auf, sodass die Maskierung auch bei hohen Frequenzen von Bedeutung ist.



**Abbildung 1:** Drei Zeitfunktionen eines Bremsenquietschens bei 1.2 kHz, die im Fahrversuch subjektiv dem selben Geräuschproblem zugeordnet wurden:

- relativ konstant
- moduliert
- rhythmisch unterbrochen

Zeitverhalten: Das Einschwingverhalten und die Wirkung von Modulationen und kurzzeitigen Unterbrechungen muss entsprechend der Wahrnehmung beurteilt und klassiert werden (Abb. 1).

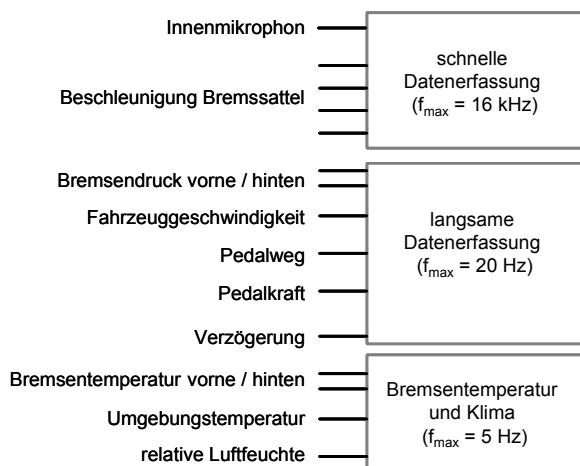
**Lokalisation:** Versuche zum binauralen Hören ergaben, dass Sinustöne im Vergleich zu breitbandigem Geräusch deutlich schwieriger zu lokalisieren sind [4]. Die Identifikation der Quelle des Bremsgeräusches ist jedoch zur Diagnose und Optimierung von wesentlicher Bedeutung.

**Gruppierung:** Ein Mess-System muss auch die Zusammenfassung einzelner Geräuschkomponenten zu geschlossen wahrgenommenen Geräuschobjekten nachbilden. Dies gilt sowohl spektral (bei vorhandenen Harmonischen) als auch im Zeitverhalten (bei Zusammenfassung rhythmischer Signale oder bei kurzzeitigen Unterbrechungen: *picket-fence-effect*) [5].

**Tonalität:** Durch die eindeutige Tonalität hebt sich Bremsenquietschen klar vom Geräusch-Hintergrund ab. Da es als einzelnes Geräuschobjekt wahrgenommen wird, sind Verfahren zur Beurteilung breitbandiger Geräusche mit tonaler Färbung jedoch nicht anwendbar.

## Aufbau von Datenloggern

Ein Datenlogger für Bremsgeräusch-Dauerläufe muss eine klare und wahrnehmungsbezogene Detektion des Bremsenquietschens leisten. Zusätzlich müssen verschiedene Parameter aufgezeichnet werden, die Randbedingungen des Bremsvorgangs definieren, wie Bremsdruck, Verzögerung,



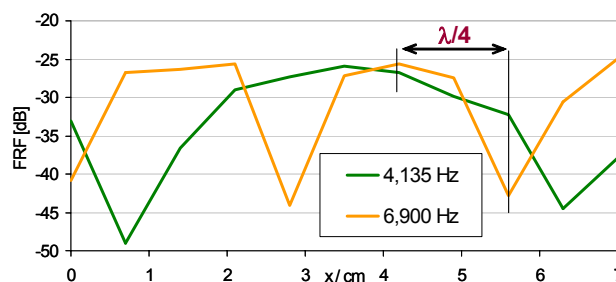
**Abbildung 2:** Datenlogger für die fahrerbezogene Beurteilung von Bremsengeräusch

Scheiben- oder Belagtemperatur, Fahrtgeschwindigkeit und Umgebungsbedingungen. Abbildung 2 zeigt eine vom *Expertenkreis Bremsengeräusch* vorgeschlagene Minimal-konfiguration, die dem fahrerbezogenen Ansatz entspricht. Durch Ergänzung weiterer Messmikrophone in den Radkästen kann das Konzept so ausgebaut werden, dass es auch den übrigen genannten strategischen Ansätzen genügt.

## Anwendung

Auf dem Weg zu einem Mess-System, das allen Anforderungen genügt, sind verschiedene Probleme zu lösen. Ein Algorithmus, der jedes Bremsengeräusch eindeutig erkennt, existiert bislang nicht – verschiedene Systeme sind in der Entwicklung. Zur Prüfung der Detektion muss ein standardisierter Satz von Geräuschdateien zur Verfügung stehen. Zur Platzierung der Beschleunigungsaufnehmer muss das

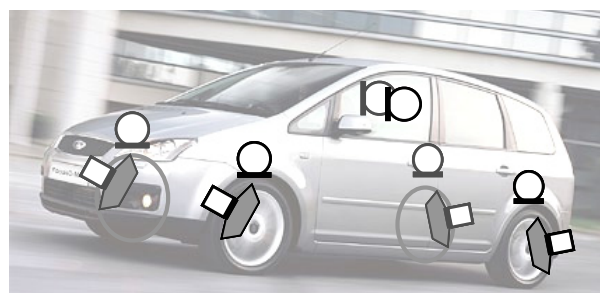
Schwingverhalten der Bremse bekannt sein, um alle Frequenzen erfassen zu können. Die zur Zeit in der Bremsenakustik übliche Messung mit einem Innen-Mikrofon ist unzureichend, da stehende Wellen (z.B. durch Schallreflexion an den Scheiben) eine sehr große Variabilität des Messergebnisses bewirken (Abb. 3).



**Abbildung 3:** Stehende Wellen bei Anregung von Sinustönen durch einen Shaker an einer Seitenscheibe = Abhängigkeit der Amplitude der Übertragungsfunktion bei Verschiebung des

## Zusammenfassung

Ein optimierter Datenlogger sollte Luftschall-Messung im Innenraum und in Nähe der Bremsen ermöglichen. Die Messergebnisse müssen mit weiteren Parametern des Bremsvorgangs korreliert werden und eine Identifizierung der Quelle ermöglichen. Die automatische Durchführung der Geräuschmessung ermöglicht eine strenge Trennung von subjektiver und objektiver Beurteilung im Fahrversuch.



**Abbildung 4:** Daten-Logger Anwendung mit Radkastenmikrofonen, Beschleunigungsaufnehmern und 2 Innenmikrofonen zur Verbesserung der Messgenauigkeit

## Literatur

- [1] Mody, Parimal; Rumold, Walter; Attia, Fawzi & Ansmann, Sabine: Mojacar and Los Angeles City Traffic Vehicle Testing: A comparison & analysis of subjective ratings and objective measurements. SAE 2002-01-2600
- [2] Haverkamp, Michael: Brake noise assessment by means of vehicle road tests - Subjective parameters and objective measurement concepts. SAE 2005-01-3940
- [3] Zwicker, Eberhard & Fastl, Hugo: Psychoacoustics. Facts and Models. Berlin: Springer-Verlag, 1999
- [4] Blauert, Jens: Spatial hearing. The psychophysics of human sound localization. Revised edition. Cambridge, Mass.: The MIT press, 1997
- [5] Bregman, Albert S.: Auditory scene analysis. The perceptual organization of sound. A Bradford Book. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1999