

„Vari-X“ – ein Werkzeug zur Beeinflussung von PKW-Abgasmündungsgeräuschen im Fahrbetrieb

Uwe Letens¹, Jan Krüger², Marco Jess²

¹ DaimlerChrysler AG, 71059 Sindelfingen, Deutschland, Email: uwe.letens@daimlerchrysler.com

² J. Eberspächer GmbH & Co., 73730 Esslingen, Deutschland, Email: jan.krueger@eberspaecher.com

Einleitung

In der Fahrzeugakustik etabliert sich seit einigen Jahren ein neues Arbeitsgebiet: neben den pegelorientierten Betrachtungen mit Bezug auf die Erfüllung der Zertifizierungsvorschriften und dem Bestreben, diskret wahrnehmbare Störgeräusche möglichst weit zu reduzieren, findet die emotional ansprechende Gestaltung des Klangcharakters („Sound Engineering“) zunehmend Beachtung.

Aufgrund von äußeren Restriktionen (Bauraum-, Gewichts- und Kostenvorgaben) ist der Gestaltungsspielraum bei neuen Fahrzeugen jedoch stark eingeschränkt. Somit ist es notwendig, durch gezielte Gestaltung ohnehin vorhandener Komponenten den erwünschten „Sound“ zu realisieren.

Die für den sogenannten „Gaswechsel“ bei Verbrennungsmotoren zuständigen Baugruppen (Luftfilter, Saugmodul, Abgaskrümmer, Abgasanlage) verfügen über ein hohes Potential im Sinne dieser Aufgabenstellung. Die hier vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Aufbau einer Komponente für die Abgasanlage (AGA), mit der sich der Klangcharakter eines Fahrzeugs im Fahrbetrieb über einen weiten Bereich beeinflussen lässt. Diese Komponente ist derzeit nicht für einen Serieneinsatz gedacht, sondern dient als „Abstimmwerkzeug“ in der Entwicklungsphase von verschiedenen Fahrzeugen.

Spektrale Zusammensetzung von Abgasmündungsgeräuschen

Für komfortorientierte Limousinen wird die AGA in der Regel so abgestimmt, dass der Anteil des Mündungsgeräuschs am Innengeräusch subjektiv kaum in Erscheinung tritt. Bei sportlicher positionierten Fahrzeugen kann der Aufbau der AGA so gestaltet werden, dass das Mündungsgeräusch sowohl das Innengeräusch als auch das Außen-geräusch klanglich zum direkt abgestrahlten (bzw. übertragene) Motorgeräusch „ergänzt“.

Bei drehmomentoptimierten V-Motoren wird die AGA üblicherweise streng symmetrisch ausgelegt, z.B. durch gleich lange Vorrohre mit idealer Mischstrecke. Das Mündungsgeräusch ist dann durch eine dominierende Grundfrequenz sowie ganzzahlige Harmonische gekennzeichnet. Die Grundfrequenz entspricht der Zündfolgefrequenz des Motors (Drehzahl mal halbe Zylinderzahl).

Der akustische Gestaltungsspielraum für die AGA beschränkt sich hierbei auf eine frequenzabhängige Dämpfung. Zeitliche Merkmale im Sinne von Modulationen bzw. Rauigkeiten sind bei symmetrisch ausgelegten Anlagen nur schwach ausgeprägt.

Untersuchungen der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass in bestimmten Frequenzbereichen auftretende Modulationen (periodische Hüllkurvenschwankungen) zur Assoziation eines als sportlich empfundenen Klangs beitragen. Gleichwohl sind hier Grenzen des Modulationsgrades zu beachten, oberhalb derer der zunächst positive Effekt in eine negative „Rauigkeits“-Empfindung umschlägt.

Modulationen im oben beschriebenen Sinne können durch Hinzufügen von „Nebenordnungen“ zwischen den oben erläuterten „Hauptordnungen“ erzeugt werden (die Frequenz der Motordrehzahl wird als „1. Motorordnung“ bezeichnet). Die niedrigstmögliche Modulationsfrequenz entspricht dem kleinsten Abstand zwischen den Motorordnungen – also der „halbten“ Motorordnung. Diese liegt im Hauptmotordrehzahlbereich (1200...6000/min) bei Frequenzen von 10 bis 50 Hz und somit zum Teil im Bereich der sogenannten „R-Rauigkeit“.

Variable Darstellung eines modulierten Klangbilds mit der Abgasanlage

Ausgehend von einer symmetrischen AGA-Konfiguration lässt sich eine spektrale Anreicherung durch Hinzufügen von Nebenordnungen auf unterschiedliche Weise erreichen:

- Akustisch asymmetrische Gestaltung der getrennt geführten Vorrohre (Längen und/oder Durchmesser)
- Unvollständige Durchmischung der Abgasströme an der Mischstrecke

Eine asymmetrische Gestaltung der Vorrohre steht in der Regel im Konflikt mit Bauraumbetrachtungen; daher wird hier der zweite Ansatz weiterverfolgt.

Da hier eine variable Komponente als „Abstimmwerkzeug“ gesucht wird, liegt der Ansatz nahe, den Grad des Übersprechens zwischen den Strängen durch eine einstellbare Klappe in einem Verbindungsweig zu beeinflussen.

Pneumatisch angesteuerte Klappen haben den Nachteil, dass lediglich zwei diskrete Klappenstellungen stabil darstellbar sind. Daher wird hier die Ansteuerung über einen elektrischen Servomotor realisiert. - Die Bezeichnung „Vari-X“ für die variable Übersprechstelle ist auf die englische Umschreibung „variable crosstalk“ zurückzuführen.

Darstellung im Fahrzeug

Die Applikation erfolgt an einem Roadster einer aktuellen Baureihe mit V6-Ottomotor. Die Randbedingungen für einen Umbau der AGA am Fahrzeug sind günstig: Die Mischstrecke liegt zwischen den Vor- und den

Nachschalldämpfern, so dass der Vari-X mit geringem Aufwand in die AGA eingesetzt werden kann. Die Endschalldämpfer selber verbleiben im serienmäßigen Ausgangszustand. Die Bedienung des Vari-X erfolgt durch den Fahrer über einen elektrischen Drehsteller im Bereich der Mittelkonsole. - In Abbildung 1 ist der mechanische Aufbau des Vari-X dargestellt.



Abbildung 1: Modifizierte Übersprechstelle mit einstellbarer Klappe („Vari-X“) für die AGA eines Roadsters

Messtechnische Bewertung

Es erfolgen Geräuschmessungen bei unterschiedlichen Klappenstellungen auf einem Rollenprüfstand sowie bei Straßenfahrten. Die Ergebnisse belegen eine kontinuierliche Zunahme der Nebenordnungspegel (insbesondere der 1.5-/4.5-/7.5-ten Motorordnung) über dem Klappenwinkel.

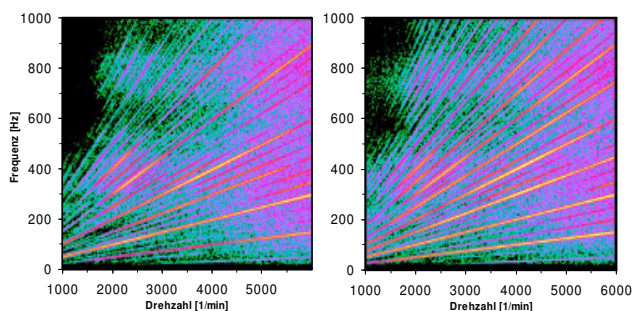


Abbildung 2: Geräuschmessung an einer der beiden AGA-Mündungen bei Volllast im 3. Gang (Prüfstand) mit offener Klappe (a) und vollständig geschlossener Klappe (b)

In Abbildung 2 ist eine spektrographische Analyse des AGA-Mündungsgeräusches für zwei extreme Klappenstellungen wiedergegeben. - Im Innengeräusch überlagern sich zwar unterschiedliche Teilschallquellen, so dass sich Änderungen einer Einzelquelle in verringertem Umfang abbilden, dennoch ist auch auf der Fahrerposition ein deutlicher Einfluss der Klappenstellung nachweisbar.

Ergänzend sei hier darauf hingewiesen, dass aufgrund der Anordnung der Klappe ein effektiv ca. 10 cm langes Rohrstück zwischen die AGA-Stränge eingefügt werden musste. Hierdurch ergibt sich auch bei vollständig geöffneter Klappe eine geringfügige Anhebung der Nebenordnungen und somit leicht geänderte akustische Verhältnisse gegenüber der Serien-Mischstrecke.

Weiterhin soll an dieser Stelle auch nicht verschwiegen werden, dass durch die variable Klappenstellung Einfluss auf den Ladungswechsel und damit auch auf den Drehmomentverlauf genommen wird. Je nach Drehzahl ergibt sich so eine leichte Verbesserung bzw. Verschlechterung der abgegebenen Motorleistung (hier von +10% bis zu -4%).

Subjektive Bewertung

Das Fahrzeug mit dem Vari-X wird von einigen Akustik- bzw. Fahrzeugexperten im Fahrbetrieb beurteilt. Folgende Trends der Bewertung lassen sich zusammenfassen:

- Die darstellbare Bandbreite der möglichen Klangbeeinflussung wird als deutlich wahrnehmbar angesehen.
- Für den hier betrachteten Roadster wird eine „mittlere“ Klappenstellung als optimal erachtet. Zu starke Modulationen führen zu einer qualitativen Abwertung des Klangbildes.

Zusammenfassung

Mit dem „Vari-X“ ist es bei vergleichsweise geringem Aufwand gelungen, eine variable Komponente für die AGA darzustellen. Vari-X ist im Fahrversuch ohne jede Einschränkung (z.B. in der Bodenfreiheit) einsetzbar. Hinsichtlich der akustischen Wirkung wird eine große sowohl messtechnisch als auch subjektiv nachvollziehbare Bandbreite nachgewiesen. Somit ist die Tauglichkeit des Vari-X als Abstimmwerkzeug in der Fahrzeugentwicklung nachgewiesen.

Die mit der spektralen Anreicherung durch den Vari-X einhergehende leichte Gesamtpegelerhöhung lässt es sinnvoll erscheinen, eine ergänzende Untersuchung mit angepassten Endschalldämpfern durchzuführen.

Literatur

- [1] Letens, U., Einführung in die Methoden der subjektiven und objektiven Geräuschbeurteilung bei der Entwicklung von Kraftfahrzeugen. *Gehörgerechte Schallmeßtechnik*, Technische Akademie Wuppertal, 1993
- [2] Letens, U., Exemplarische Darstellung einer subjektiven Beurteilung von PKW-Fahrgeräuschen. *Fortschritte der Akustik*, DAGA 2000, S. 138-139.
- [3] Meier, H.-E., Letens, U., Sound Engineering in the Vehicle Development Process, *Integrated Vehicle Acoustics and Comfort*, S. 21-30, Graz, 2001
- [4] Krüger, J.; Castor, F.; Müller, A.: Psychoacoustic investigation on sport sound of automotive tailpipe noise. *Fortschritte der Akustik*, DAGA 2004, S. 233-234.