

Innengeräuschprüfung an Kraftfahrzeugen im Serieneinsatz

Dr. Thomas Lewien, Discom GmbH, Göttingen
Stefan Stolzenburg, Volkswagen AG, Wolfsburg

1 Einleitung

Auf Rollenprüfständen wird während der serienmäßigen Einfahrprüfung der Fahrzeuge eine akustische Analyse des Geräusches im Fahrzeuginnenraum durchgeführt. Sie dient der kundenrelevanten Bewertung des Fahrzeugs sowie der Erkennung von Produktionsfehlern. Die Analyse umfaßt die Aufzeichnung und Bewertung mehrerer akustischer Meßgrößen im Zug- und im Schub-Betrieb über der Drehzahl und den Vergleich mit Grenzkurven. Auffällige Fahrzeuge werden einer eingehenden Analyse und Nacharbeit zugeführt.

Die für die KFZ-Produktion typische Modellvielfalt führt zu einer großen Anzahl von Prüf- und Bewertungsvorschriften, die nach frei wählbaren Kenndaten des Fahrzeugs aufgeschlüsselt sind. Die Fahrzeuganalyse erfolgt parallel auf 15 Prüfständen, wobei ein Server die Prüfvorschriften und Grenzkurven zentral verwaltet.

Die Meßdaten und Bewertungsergebnisse werden in einer objektorientierten Datenbank mit bis zu einer Million Fahrzeugen auf dem Serversystem zentral gesammelt. Aus dieser Datenbank können die Informationen modellspezifisch nach beliebigen Fahrzeugeigenschaften extrahiert werden und stehen zur statistischen Auswertung sowie für die Bildung neuer Grenzkurven zur Verfügung.

Dieser Beitrag beschreibt das Gesamtsystem im industriellen Einsatz und zeigt einige praktische Ergebnisse.

2 Darstellung des Gesamtsystems

Die linienintegrierte Innengeräuschanalyse verfolgt parallel zwei Ziele: zum einen sollen akustisch auffällige Fahrzeuge vor der Auslieferung abgefangen werden (Kundenrelevanz), wenn möglich mit Angabe des Einbaufehlers aus der Analyse der Meßgrößen. Zum anderen sollen durch systematische Analyse der Messungen Schwachstellen und kritische Punkte in der Produktion aufgedeckt werden.

2.1 Messung im Fahrzeuginnenraum

Um eine kundenrelevante Aussage zu erlangen, wird die Messung im Fahrzeuginnenraum (bei geschlossenen Fenstern) in der Nähe des linken Fahrerohres durchgeführt. Parallel zum Geräuschsignal wird die Motordrehzahl (durch Analyse der Restwelligkeit der Bordnetzspannung) aufgenommen. Beides wird telemetrisch an den im Schaltschrank eingebauten Analyserechner übermittelt. Über einen Bildschirm im Rollenprüfstand und über die Tastatur an der Telemetrie kommunizieren Analysesystem und Einfahrer miteinander. Der Einfahrer führt, den Anweisungen am Bildschirm folgend, im 2. Gang eine

Beschleunigungsfahrt (Zug-Messung) durch und läßt danach das Fahrzeug ungebremst wieder zur Leerlaufdrehzahl zurückkehren (Schub-Messung).

Das Analysesystem berechnet aus dem Geräuschsignal den dB(A)-Wert, die Lautheit sowie die Pegel in Terzen und Oktaven von 40 bis 2000 Hz (Mittelfrequenzen). Weiterhin wird mittels der Motordrehzahl eine Ordnungsanalyse durchgeführt. Aus den so erhaltenen Ordnungsspektren werden Motorordnungen passend zur Zylinderzahl extrahiert, also etwa die 2. und 4. Ordnung bei Vierzylindermotoren oder die 2,5 und 5. Ordnung bei Fünfzylindermotoren. Alle Meßgrößen werden über der Drehzahl aufgetragen.

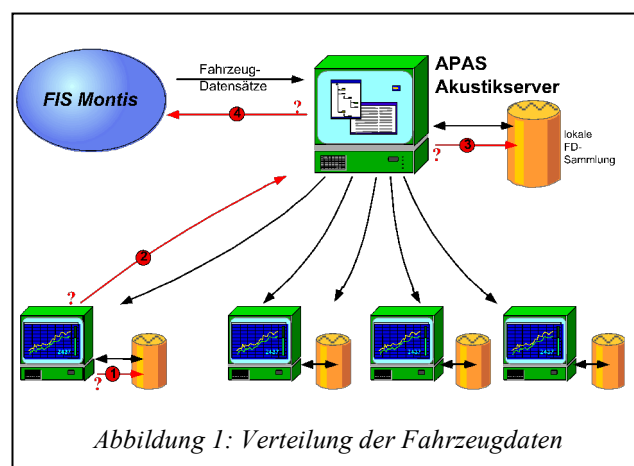
In der vorliegenden Anwendung werden 14 Serienprüfstände und ein Nacharbeitsprüfstand betrieben über die eine Vielzahl von Fahrzeugvarianten gefahren wird. Bei Vollauslastung werden täglich etwa 2400 Fahrzeuge analysiert.

2.2 Fahrzeugvarianten und Datensätze

Die große Modellvielfalt der zu prüfenden PKW führt zu einer Anzahl von Parametern des Meßsystems, die in Abhängigkeit von der Bauform angepaßt werden müssen. Hierzu zählen:

- Prüfvorschriften,
- Verfahren zur Drehzahlbestimmung,
- Auswahl von Grenzkurven und -werten.

Zunächst muß die Information über den Bauzustand des Fahrzeugs ermittelt werden. Am Prüfstand ist die eindeutige Festlegung des Fahrzeugs, die Fahrzeug-ID, verfügbar. Ein Fahrzeug-Informationssystem (FIS Montis) versendet andererseits zu jedem Fahrzeug Baudaten, den Fahrzeugdatensatz, mit einer Vorlaufzeit von ca. 8 Stunden. Aufgabe des zentralen Servers des Akustiksystems ist es, die Fahrzeugdatensätze aus dem Fabriknetz zu entnehmen und jedem Prüfstand zur Verfügung zu stellen. Um Netzausfälle zu überbrücken, werden sowohl auf dem Server wie auch auf jedem Prüfstand lokale Kopien der Fahrzeugdatensätze gehalten. Sollte der Fahrzeugdatensatz zu einer Fahrzeug-ID lokal nicht vorliegen, so erfolgt eine Anfrage an die jeweils übergeordnete Stelle. Hat der Akustikserver ebenfalls keinen Fahrzeugdatensatz, so wird das Fahrzeug-Informationssystem FIS befragt.

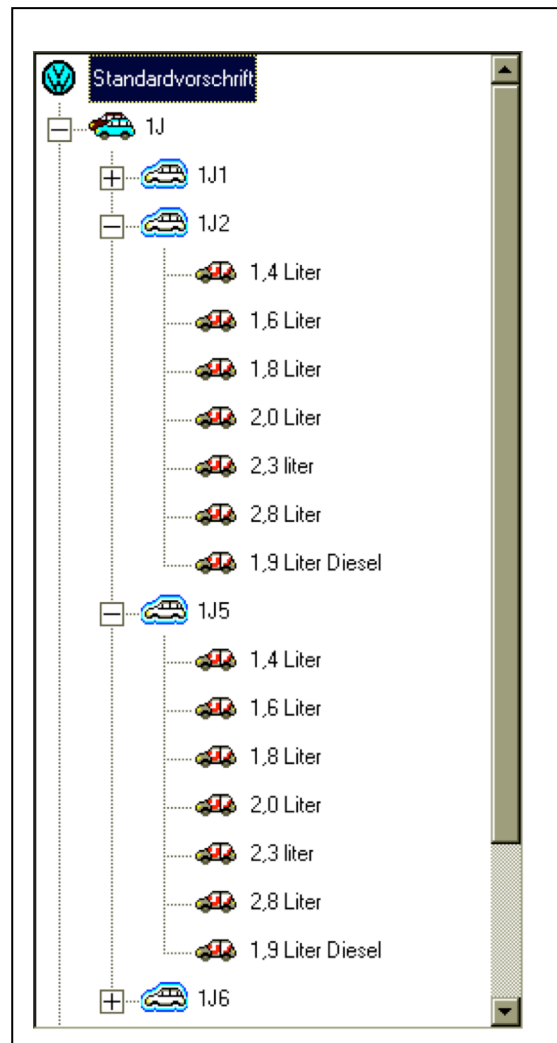


2.3 Parametrierung der Prüfung

Nachdem der Fahrzeugdatensatz des aktuellen Fahrzeugs gefunden wurde, wird er in Klassifikatoren mit Baumstruktur darauf untersucht, welche Parametersätze anzuwenden sind. Die Knoten des Baums enthalten frei wählbare logische Verknüpfungen zwischen den Baudaten und zusätzlicher Fertigungsinformation. So kann man z.B. alle Diesel-Fahrzeuge mit Stahlschiebedach auswählen, die nach China gehen.

Zur Zeit werden unabhängige Klassifikatoren für Prüfvorschriften, Drehzahlmittlung und Grenzkurven eingesetzt. Diese Parametersätze haben sich als 'orthogonale' Beschreibungen der Fahrzeuge erwiesen: Die Prüfvorschriften, die die Art der Prüfung beschreiben, müssen nicht erweitert werden, um eine weitere Grenzkurve unterzubringen.

Abbildung 2. Auswahl von Meßparametern, hier der Prüfvorschriften aus dem Fahrzeugdatensatz, über einen baumstrukturierten Klassifikator.



2.3.1 Prüfvorschriften

Welche möglichen Meßgrößen für ein bestimmtes Fahrzeug aufgenommen werden sollen und über welchem Drehzahlbereich dies geschehen soll, wird in *Prüfvorschriften* spezifiziert. Die Prüfvorschrift enthält im Einzelnen folgende Angaben:

- Drehzahlbereich für Zug- und Schubmessung,
- Beschleunigungsvorgabe,
- Auswahl der Meßgrößen: Welche Ordnungen, Terzen, Oktaven etc.

Die Prüfvorschriften werden zentral in einer MS-Access-Datenbank gepflegt. Nach einer Änderung erzeugt die Serversoftware lokale Kopien auf jedem Prüfstand, um Netzausfälle abzusichern.

2.3.2 Drehzahlermittlung

Die Fahrzeugdaten bestimmen weiter, welche Methode der Drehzahlerfassung verwendet wird. Bei Auswertung der Restwelligkeit erhält man zunächst die Lichtmaschinendrehzahl. Diese ist mit der Motordrehzahl über die fahrzeugabhängige Riemenscheibenübersetzung verknüpft.

Zusätzlich besitzen einige (wenige) Bauvarianten zu hohe Störpegel auf dem Bordnetz um die Restwelligkeit auswerten zu können. Das Meßsystem schaltet dann auf die Verwendung der Rollendrehzahl um. Diese Rollendrehzahl wird über den fahrzeug- und geschwindigkeitsabhängigen dynamischen Radrollradius, einer beschleunigungsabhängigen Schlupfkorrektur sowie der fahrzeugabhängigen Getriebeübersetzung auf die Motordrehzahl umgerechnet.

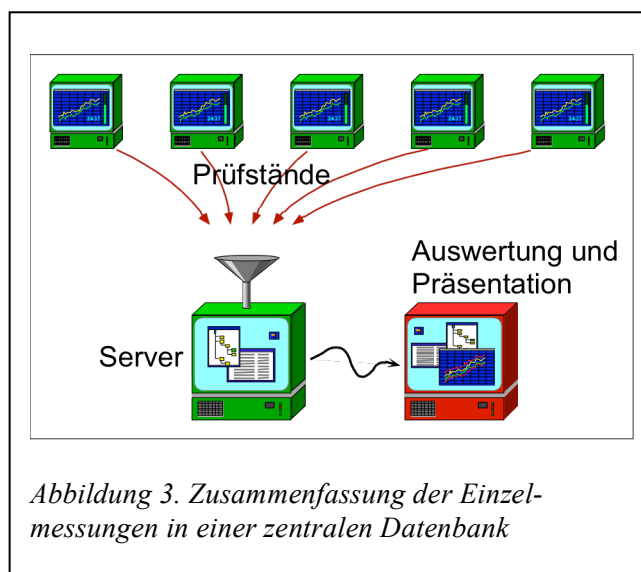
Wünschenswert ist eine direktere Ermittlung der Motordrehzahl. Bei neuen Fahrzeugvarianten wird hierzu der fahrzeuginterne CAN-Bus dienen. Die einfache und für alle akustischen Untersuchungen erstrebenswerte Bereitstellung eines Motor-Drehzahlsignals auf dem Diagnosestecker ist bei den betrachteten Fahrzeugen nicht gegeben.

2.3.3 Grenzkurven

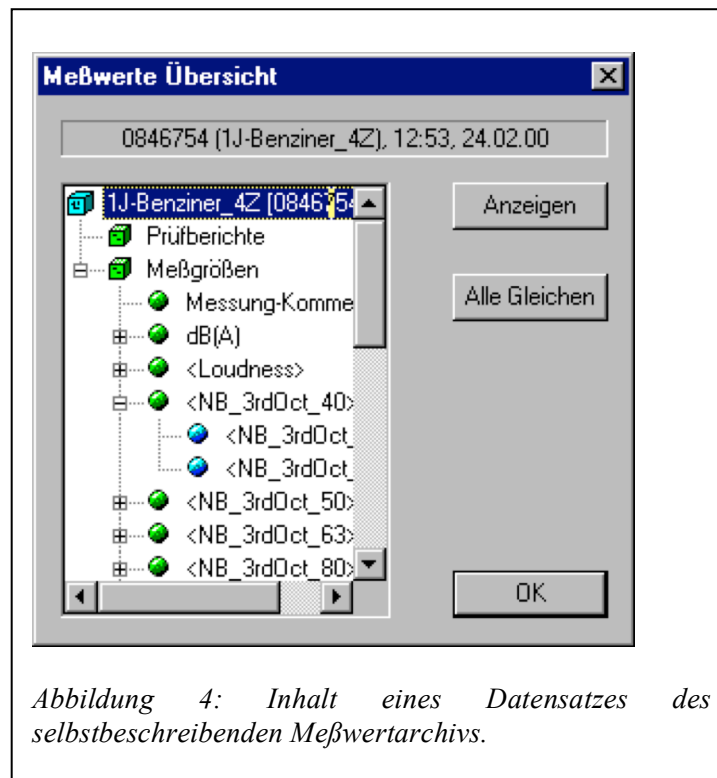
Als wichtiger Parametersatz werden anhand der Baudaten auch die zu verwendenden Grenzkurven ausgewählt. Es handelt sich dabei um Obergrenzen über der Drehzahl für die Meßwerte wie Motorordnung, dBA-, Terz- und Oktavpegel. Diese lassen sich ebenso wie die Prüfvorschriften über den zentralen Server verwalten und auf alle Prüfstände verteilen.

2.4 Archivierung aller Messungen

Nach der Durchführung einer Fahrzeugprüfung speichert der Analyserechner alle gemessenen Daten zusammen mit den Fahrzeug-Baudaten, den Bewertungsergebnissen und weiteren prüfstandsspezifischen Informationen in einer Archivdatei ab.



Diese Datei wird sodann in ein bestimmtes Verzeichnis des Servers verschoben, wo sie von einem Kollektor-Programm abgeholt wird. Der Kollektor fügt die von allen Prüfständen eintreffenden Dateien zu großen Archiven zusammen. Um ein handhabbares Format zu erhalten, bildet der Kollektor Tagesarchive, die also jeweils die Messungen eines Tages enthalten. Gleichzeitig konstruiert der Kollektor einen Index für diese Archive. Im Index sind alle Messungen mit ungefähren Informationen zum Fahrzeug enthalten. Durch den Index wird später bei der Auswertung der Zugriff auf eine beliebige Fundmenge sehr effizient durchgeführt.



Zur Zeit fallen monatlich 35.000 bis 40.000 Einzelmessungen an. Um die Leistungsanforderungen (mehr als eine Million Messungen, Zugriff auf eine beliebig spezifizierte Fahrzeuggruppe, unterschiedliche Meßgrößen in den Einzelarchiven) zu erfüllen, konnte keine kommerzielle Datenbank verwendet werden. Daher wurde eine objektorientierte Datenbankstruktur geschaffen, bei der jeder Datensatz selbst die Information über die Struktur der enthaltenen Daten speichert. Dadurch ist es möglich, dass verschiedene Fahrzeugmessungen unterschiedliche Meßgrößen und Zusatzinformationen enthalten können. Es ist sogar möglich, nachträglich ganz neue Meßgrößen oder Zusatzinformationen einzuführen und trotzdem alte und neue Datensätze in der Auswertung zu kombinieren.

2.5 Auswertung und Präsentation

Die Archiv-Datenbank der Meßergebnisse wird mit einer Auswertungs- und Präsentationssoftware ausgewertet. Eine wichtige Funktion des Gesamtsystems ist es, durch Analyse der großen Anzahl von Fahrzeugmessungen Klassen von Bauvarianten bilden zu können, die einen gemeinsamen Satz von Grenzkurven verwenden können.

Neben der Angabe von Zeiträumen, Prüfständen oder Bewertungsergebnissen besitzt die Auswertesoftware hierzu reichhaltige Auswahl- und Filterfunktionen, um Meßdaten von Bauvarianten aufrufen zu können. Zur Geschwindigkeitssteigerung sind bereits bei der Archivierung der Einzelmessungen baumartige Indexfiles für die Hauptgruppen der Fahrzeuge erstellt worden. Die Hauptgruppen sind zur Zeit Karosseriebauform, 2- und 4-Türer, Rechts- und Linkslenker und Motorisierung. Weitere Unterscheidungen, wie Komfortausstattungen oder Zubehör wie Schiebedach lassen sich nachträglich über frei wählbare logische Verknüpfungen treffen. Diese können auf Unteräste der erstellten Indexstruktur oder auch auf den gesamten Fahrzeugbestand angewandt werden. So lassen sich z.B. Benziner einer bestimmten Karosseriebaureihe mit Stahl – und Aluminiumfelgen gegenüberstellen. Oder es lassen sich alle Fahrzeuge ermitteln, die einen Probeverbau einer modifizierten Antriebswelle besitzen.

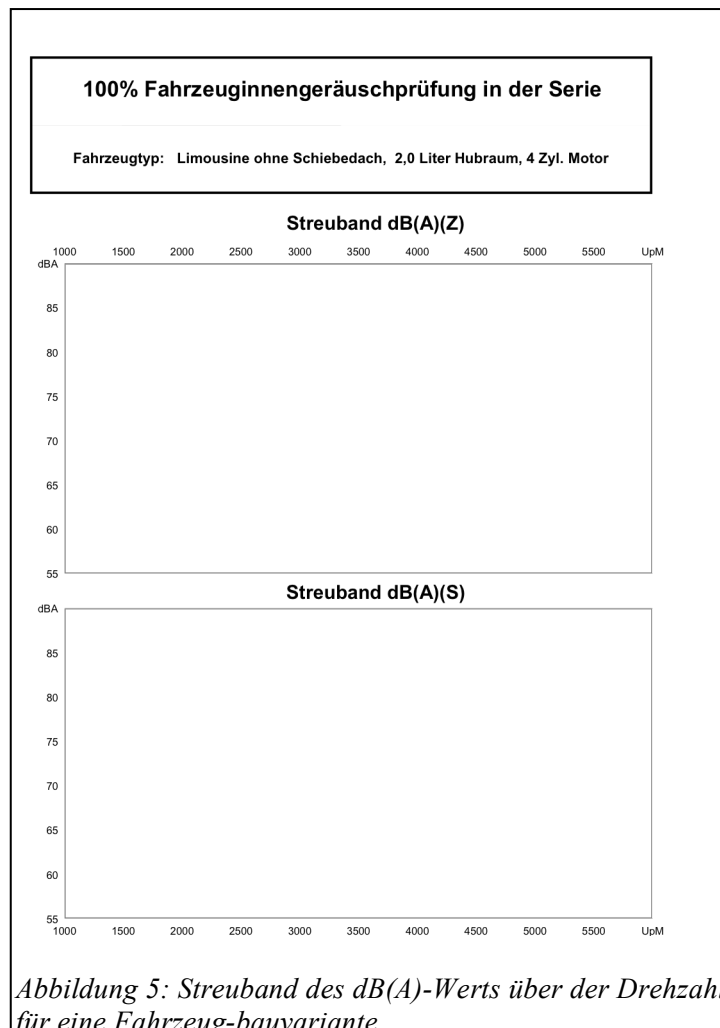


Abbildung 5: Streuband des dB(A)-Werts über der Drehzahl für eine Fahrzeugbauvariante

Aus den so ausgewählten Fahrzeugmengen lassen sich jetzt für die einzelnen Meßgrößen Streubänder, Mittelwerte sowie automatische Grenzkurven in Form von Mittelwert + n-fache Standardabweichung errechnen und darstellen. Zur Vereinfachung der Bedienung können aus einer Fundmenge automatisch mehrere Reportseiten mit unterschiedlichen Meßgrößen und Auswertungen generiert werden. Die Meßkurven einzelner Fahrzeuge lassen sich einblenden, um auffällige Fahrzeuge mit dem Ensemble der Fahrzeugklasse vergleichen zu können.

Die Gestaltung der Reportseiten ist frei wählbar, neben 2-D- und 3-D-Grafiken können Beschriftungen, auch solche mit datengetriebenem Inhalt, frei plaziert werden. Der Export der Grafiken und der Reportseiten ist im .WMF-Format oder als Excel-Tabelle möglich.

2.6 Erstellung von Grenzkurven

Die Erzeugung von Grenzkurven ist eng mit der oben dargestellten Auswertung verknüpft. Hat man eine Zusammenstellung von Fahrzeugen mit ähnlichem Meßgrößenverlauf gefunden, so lassen sich Grenzkurven automatisch als geglättete Polygone auf Basis von Mittelwerten und Standardabweichungen oder von Maximalwerten bilden. Diese Polygone können nachträglich weiter geglättet oder nacheditiert werden.

Die Grenzkurven werden an dieselbe Baudaten-Spezifikation gebunden, die den extrahierten Messungen zugrunde lag. Grenzkurven können hierarchisch übersteuert werden: Sie werden für alle Fahrzeuge verwendet, die diese Baudaten-Spezifikation erfüllen und für die keine speziellere Grenzkurve vorliegt. So gibt es z.B. allgemein gehaltene Grenzkurven für Dieselfahrzeuge einer Karosseriebauform. Für eine spezielle Ausstattungsvariante dieser Fahrzeuge lassen sich nun spezifischere Grenzkurven festlegen und damit die allgemein gültigen Grenzwerte übersteuern.

Grenzkurven werden für alle Meßgrößen und für Zug und Schub einzeln und unabhängig voneinander spezifiziert. Es müssen jedoch nicht für alle Meßgrößen Grenzen erzeugt werden. Diese Meßgrößen werden in diesem Fall nicht bewertet.

3 Einsatz in der Serie

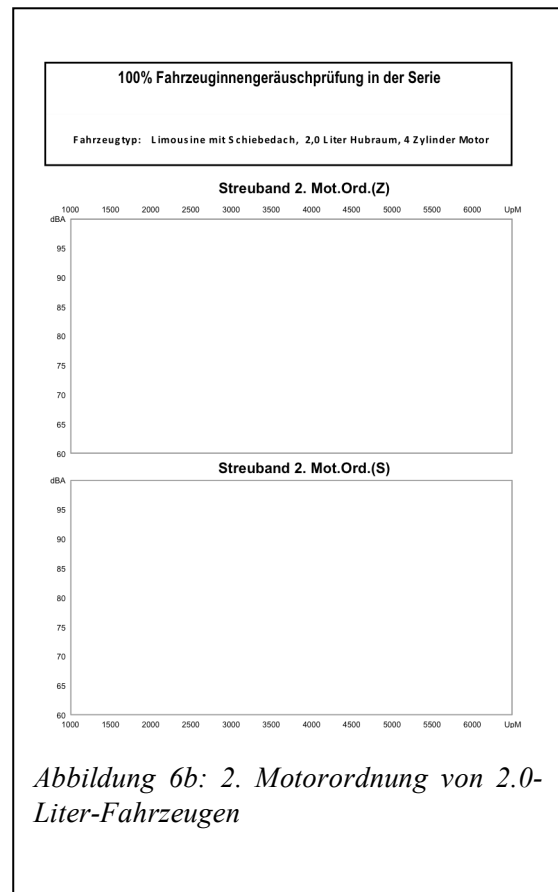
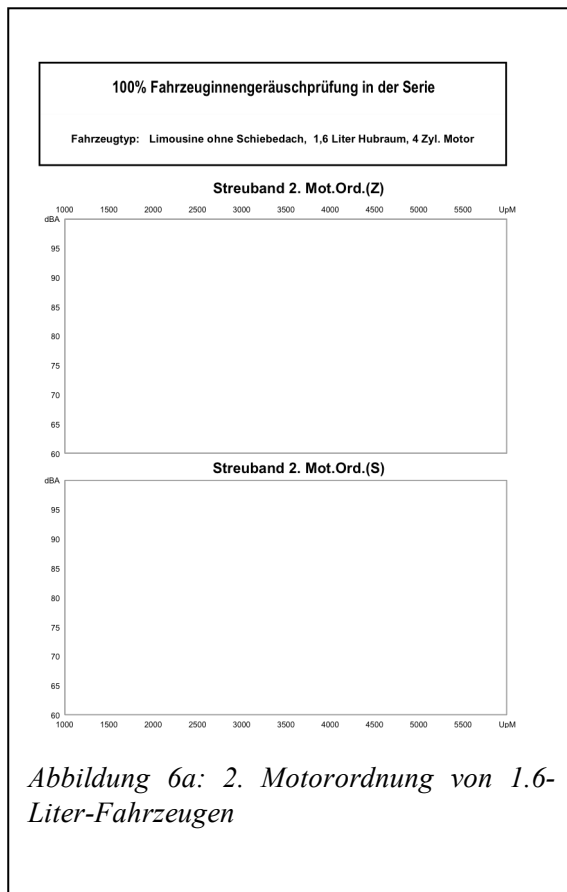
Das Analysesystem wurde 1998 installiert und befindet sich seit Mitte 1999 im Serieneinsatz. Seit Ende 1999 werden auffällige Fahrzeuge aussortiert und von einem Akustikteam untersucht. Das Archiv der Fahrzeugmessungen enthält zur Zeit ca. 350.000 Einträge.

Die auffälligen Fahrzeuge werden zunächst auf einem Nacharbeitsprüfstand gemessen, um Fehlmessungen der Einfahrer auszuschließen. Als häufigste Ursachen für überhöhte Pegelwerte haben sich Verspannungen der Motorlager und der Abgasanlage erwiesen. Durch Nacharbeit ließen sich die meisten Fahrzeuge in den Serienbereich zurückbekommen. Weitere Fehler an Tür- und Innenraumabdichtungen äußern sich in Überschreitungen von Terz- und Oktavpegeln im 1- bis 2-kHz-Bereich.

Der große Datenbestand zusammen mit der Abspeicherung aller Bauinformationen ermöglicht es, Bauvarianten statistisch abgesichert gegenüberzustellen. Probleme im Fertigungsbereich oder auch Grundeigenschaften bestimmter Karossen und Motorisierungen lassen sich aufzeigen. Hier entwickelt sich eine Kooperation mit der Fahrzeugentwicklung.

Weitere Aufgaben des Akustikteams bestehen darin, die Vergleichbarkeit der Prüfstände untereinander sowie den Vergleich mit der Straßenmessung zu untersuchen.

Als Beispiel für unterschiedliche Bauvarianten sind hier Fahrzeuge mit gleicher Karosserie aber verschiedener Motorisierung aufgeführt. Dargestellt sind die 2. Motorordnung eines 1.6 Liter-Vierzylinder- und eines 2.0-Liter-Vierzylindermotors über der Drehzahl im Schubetrieb. Deutlich erkennbar ist der durch Resonanzüberhöhungen geprägte Verlauf der 2.0-Liter-Version im Vergleich zum 1.6-Liter Motor. Die 1.6-Liter-Version weist insgesamt größere Serienstreuung auf.



4 Zusammenfassung

Die Innengeräuschprüfung von Kraftfahrzeugen wird während der serienmäßigen Einfahrprüfung vorgenommen. Die große Vielfalt der Bauvarianten führt zu einer fahrzeugabhängigen Parametrierung der Meßsysteme. Sämtliche Meßdaten werden in einem zentralen Datenarchiv gesammelt und stehen einer Auswertung zur Verfügung, die nahezu beliebige Fahrzeugkombinationen zu Klassen zusammenfassen kann. Aus den Meßdaten dieser Fahrzeugkombinationen werden Grenzkurven erzeugt und für die Linienprüfung bereitgestellt.

Im Serieneinsatz wurden bisher ca. 350.000 Fahrzeuge gemessen. Ein Akustikteam ist für die Analyse und Nacharbeit auffälliger Fahrzeuge zuständig.

