Aktive Klangbeeinflussung in einem PKW

R. Schirmacher, R. Lippold, O. Martner

Müller-BBM, Schalltechnisches Beratungsbüro, Planegg b. München.

1. Einleitung

In der Fahrzeugakustik spielt beim Innengeräusch nicht nur die Lautstärke eine wichtige Rolle, auch das Klangbild soll den Erwartungen des Nutzers an das jeweilige Fahrzeug und die Fahrsituation gerecht werden. Hinzu kommen die unterschiedlichen Erwartungshaltungen verschiedener Nutzer, die beispielsweise von Hörgewohnheiten und Kulturkreisen abhängen können.

Die Realisierung spezifischer Klangcharakteristiken durch gezielte, aber rein konstruktive Beeinflussung der schallerzeugenden und schallübertragenden Mechanismen ist in der Regel allerdings mit einem hohen Aufwand und oft sogar mit prinzipiellen Schwierigkeiten verbunden.

Einen vergleichsweise einfachen Ausweg bietet die aktive Beeinflussung des Innengeräusches. Ein solches aktives System erlaubt nicht nur die Geräuschminderung im Innenraum, sondern darüber hinaus auch die gezielte Realisierung vorgegebener Klangeigenschaften.

Das Fahrzeuginnengeräusch und besonders seine subjektive Bewertung wird vor allem durch das Motorgeräusch, genauer durch drehzahlbezogene Klangkomponenten, bestimmt. So wird beispielsweise die Rauhigkeit vor allem durch die relative Stärke der Frequenzlinien hervortretender Motorordnungen bestimmt. Als dominierende Klangkomponenten im tief- und mittelfrequenten Bereich führen die Motorordnungen zu einem amplitudenmodulierten Schall, der als rauh wahrgenommen wird.

2. Funktionsweise des Systems

Konzeptionell läßt sich ein aktives System zur Klangbeeinflussung leicht aus einem System zur aktiven Minderung des Innengeräusches ableiten. Abbildung 1 zeigt das Prinzipschaltbild eines solchen aktiven Minderungssystems.

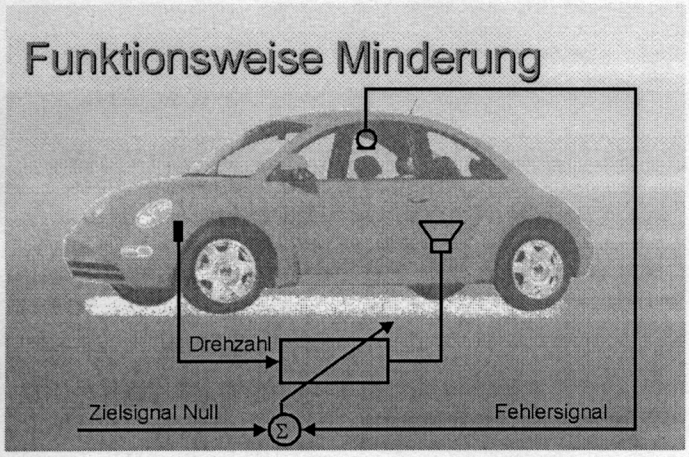

Abbildung 1: Prinzipschaltbild für ein aktives Innengeräuschminderungssystem

Das dargestellte System bekommt eine Drehzahlinformation vom Motor und spielt entsprechend der gewünschten Ordnungen ein Kompensationssignal in den Fahrzeuginnenraum ein. Da dieses Kompensationssignal sehr genau mit dem vorhandenen Originalschall (phaseninvers) übereinstimmen muß, um eine deutliche Pegelreduktion zu erhalten, werden Betrag und Phase des Kompensationssignals adaptiv so angepaßt, daß das im Fahrzeug gemessene Restschallsignal minimal wird. Hierzu befinden sich im Fahrzeug Mikrofone, deren Signale mit einem Zielsignal Null (maximale Minderung) verglichen werden; entsprechend dem Vergleichsergebnis werden dann Betrag und Phase eingestellt.

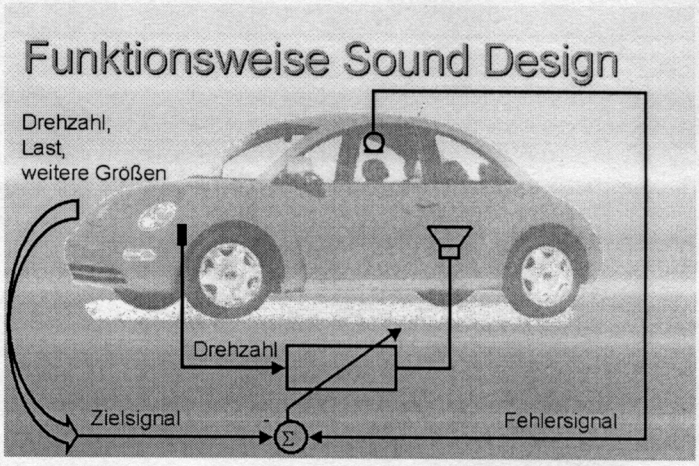

Abbildung 2: Prinzipschaltbild für ein aktives Sound Design System (ASD-System)

Hierauf aufbauend ist der Schritt zu einem System zur Klangbeeinflussung klein. Es genügt nun, wie in Abbildung 2 dargestellt, ein von Null verschiedenes Zielsignal zum Soll-Ist-Vergleich der adaptiven Steuerung bereitzustellen. Dieses Zielsignal kann im Prinzip frei definiert werden und wird in der Praxis als zumindest drehzahl- und lastabhängiger Ordnungspegel im Steuergerät abgelegt. Im Ergebnis stellt die adaptive Steuerung dann Betrag und Phase des aktiven Ausgangssignals (Kompensationssignals) so ein, daß insgesamt das Zielsignal im Fahrzeuginnenraum akustisch vorliegt.

3. Realisierung

Für die Realisierung eines aktiven Systems zum Sound-Design werden stets dieselben Schlüsselkomponenten benötigt, und zwar eine Erfassung der Motorparameter, ein Steuergerät, Audio-Leistungsverstärker, Lautsprecher sowie Fehlermikrofone. Die genaue Ausgestaltung eines Systems ist jedoch vom jeweiligen Fahrzeug abhängig. Daher sei beispielhaft die Realisierung eines Systems im „New Beetle" betrachtet.

Bei vielen Fahrzeugen genügen der Leistungsverstärker und die eingebauten Lautsprecher des Audio-Systems den Anforderungen eines aktiven Systems. Beim Beetle wurden zusätzlich zu den 4 Tief-/Mittelton-Lautsprecherkanälen zwei weitere Tieftonlautsprecherkanäle eingebaut. Die Einbauposition der Lautsprecher ist oberhalb des Armaturenbrettes. Als Leistungsverstärker wurde ein handelsüblicher 6-Kanal Audio-Verstärker verwendet, der den im Audio-System integrierten Verstärker ersetzt. Die Audio-Ausgänge sind in das Sound-Design-System mit integriert, so daß ein Parallelbetrieb problemlos möglich ist.

Als Fehlermikrofone wurden 6 Miniatur-Elektretmikrofonkapseln im Dachhimmel eingebaut, hier ist eine Parallelnutzung für Sprachkommunikations- und –eingabesysteme denkbar.

Der Abgriff von Drehzahlpulsen und Lastzustand (Drosselklappenstellung) erfolgt beim Beetle analog im Motorraum. Für andere Fahrzeuge wurden auch Systeme auf CAN (Controller Area Network)-Basis realisiert, wobei das Steuergerät dann am CAN die interessanten Motorparameter mitliest. Da nur bereits vorhandene Informationen gelesen werden, sind keine zusätzlichen Identifier notwendig, die Komplexität des CAN-Protokolls wird also nicht erhöht. Die typischen CAN-Datenraten von Drehzahl und Last sind für das System ausreichend.

Für das Steuergerät findet im Kern ein Standard-DSP verwendung, wobei es sich hier um einen älteren, relativ günstigen DSP handelt. Bei einer Serienintegration in ein Fahrzeug läßt sich die Steuergerätefunktionaltiät damit ggf. auf einen Hochleistungs-DSP mit integrieren.

Bezüglich der weiteren Integration sind neue Bus-Konzepte wie MOST für ein Sound-Design-System sehr interessant, da die komplette Peripherie nun für mehrere Funktionen (bei entsprechender Abstimmung) parallel genutzt und der Aufwand für das Sound-Design-System auf die Software und den entsprechenden Rechenleistungsbedarf am MOST reduziert werden kann.

4. Ergebnisse

Zur Darstellung der mit einem aktiven System zur Klanggestaltung erzielbaren Ergebnisse im Fahrzeuginnenraum sei nun auf zwei verschiedene Realisierungen zurückgegriffen. Dabei stellen die vorgestellten Klangbilder nicht unbedingt den optimalen Sound des jeweiligen Fahrzeugs dar, sondern sollen den Rahmen der Möglichkeiten illustrieren.

Abbildung 3 zeigt den A-bewerteten Schalldruckpegel am Fahrerohr einer an sich sehr leisen Oberklassen-Limousine. Oben links ist dabei der Original-Klang dargestellt, die weiteren Abbildungen zeigen die modifizierten Klänge, die typischen Innengeräuschen von Sportwagen nachempfunden wurden. Die Messungen erfolgten bei Straßenfahrten. Die charakteristischen Klangbilder der verschieden motorisierten Sportwagen finden sich im Innengeräusch sehr gut wieder.

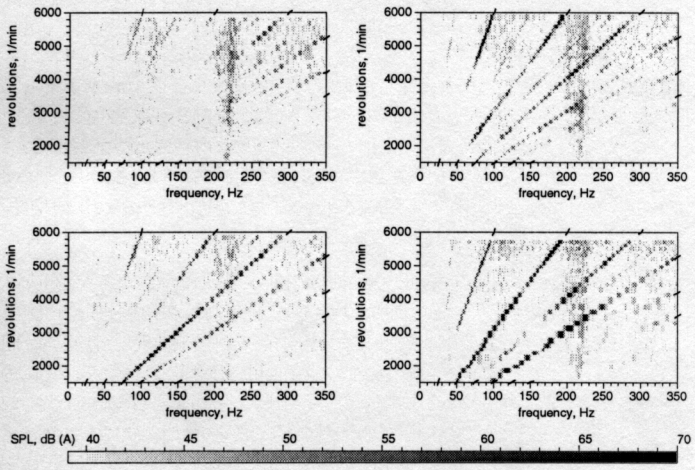

Abbildung 3: A-bewerteter Schalldruckpegel am Fahrerohr in einer Oberklassenlimousine mit niedrigem Innengeräuschpegel. Oben links: Sound Design aus, oben rechts: typischer 4-Zylinder-Klang, unten links: 6-Zylinder Sportwagenklang, unten rechts: 8-Zylinder Sportwagenklang. Alle Innengeräusche wurden in einem Fahrzeug bei Straßenfahrten gemessen (2. Gang, langsame Beschleunigung, niedrige Last).

Als weiteres Beispiel, das auch eine weitere konkrete Anwendung illustriert, zeigt Abbildung 4 eine Meßzeit von 50 s am Fahrerohr eines sportlichen 4-Zylinder-Fahrzeugs. Dieses Fahrzeug wurde in dieser Zeit 4 mal beschleunigt und für jeden Hochlauf wurde ein anderer Klang (wiederum Sportwagenklänge) verwendet.

Deutlich erkennbar ist, daß das System den Gesamtklang an das vorgegebene Klangbild anpaßt, also beispielsweise sowohl eine 2. Motorordnung absenkt als auch gleichzeitig eine 3. oder 6. Motorordnung anhebt. Das Klangbild wird also in allen angegebenen Ordnungen auf die vorgegebenen Zielpegel geregelt.

Dieses Beispiel zeigt auch eine Anwendung des Sytems: Durch die reine Software-Einstellbarkeit des Klanges können verschiedene Klänge in einem Fahrzeug durch einfaches Umschalten realisiert werden, was die einfache Entwicklung eines „passenden" Klangbildes für ein Fahrzeug wesentlich erleichtert. Noch vor einem möglichen Serieneinsatz stellt ein solches System daher ein gutes Entwicklungswerkzeug für Fahrzeuginnengeräusche dar.

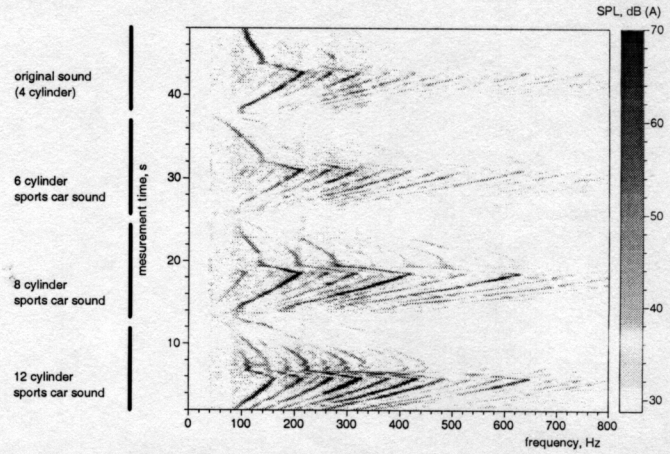

Abbildung 4: A-bewerteter Schalldruckpegel am Fahrerohr in einem sportlichen 4-Zylinder-Fahrzeug während Hochläufen auf der Straße. 4 schnelle Hochläufe mit hoher Motorlast von Leerlauf bis ca. 6000 1/min. Innengeräusch-Sound-Design zwischen verschiedenen Sportwagencharakteristiken umgeschaltet.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Das Fahrzeuginnengeräusch ist für die Fahrzeugbeurteilung durch den Nutzer wesentlich, dabei sind die motorordngungsbezogenen Klanganteile dominierend. Durch ein aktives Sound-Design-System lassen sich diese in weiten Grenzen frei gestalten. Der Aufwand an dazu benötigten zusätzlichen Komponenten wird durch die fortschreitende Integration digitaler Audio-Systeme künftig noch deutlich geringer.

Daneben eignet sich ein aktives Sound-Design-System gut zur Sound-Entwicklung, da es die freie Gestaltung und Erprobung des Innengeräusches im Fahrzeug und bei beliebigen Fahrsituationen gestattet.

6. Literatur

[1] J. Winkler, R. Lippold und J. Scheuren, „Implementation of an Active Noise Control System in a Van", *Active 97, 595-604.*

[2] J. Scheuren, U. Widmann and J. Winkler, „Active Noise Control and Sound Quality Design in Motor Vehicles", SAE-Paper No. 1999-01-1846.