

System zur realistischen Wiedergabe von Schall und Vibrationen

Hermann Remmers, Michael A. Bellmann*

ITAP – Institut für Technische und Angewandte Physik GmbH

*Akustik FB Physik, Carl v. Ossietzky Universität Oldenburg

26111 Oldenburg

Email: remmers@itap.de & michael@aku.physik.uni-oldenburg.de

Einleitung

In der Fahrzeug- und Flugzeugindustrie ist man zunehmend bemüht, den Komfort und die Qualität im Bezug auf die wahrnehmbaren Innengeräusche und Vibrationen zu erhöhen. Zur Verbesserung und Qualitätssicherung der Geräusch- und Vibrationssituation in Fahrzeugen bedient man sich häufig der Urteile erfahrener subjektiver Prüfer. Ein direkter Vergleich unterschiedlicher Geräusch- und Vibrationssituationen ist zumeist aber nicht möglich. Aus diesem Grund wurde am Institut für technische und angewandte Physik ein „Sound & Vibration Reproduction System“ zur realistischen Wiedergabe von Innengeräuschen und Vibrationen, z.B. aus einem Fahrzeug oder Flugzeug, entwickelt. Dieses System ermöglicht den direkten Vergleich von unterschiedlichen Fahrzeugen bzw. Fahrsituationen ohne visuelle Beeinflussungen im Labor.

Bei Untersuchungen bezogen auf den Komfort in Fahr- oder Flugzeugen ist die Passung des Schalls und der gleichzeitig anwesenden Vibrationen von entscheidender Bedeutung. Eine geeignete Abstimmung dieser Komponenten kann mit Hilfe des vorgestellten Systems gefunden werden. Zusätzlich sind Untersuchungen über die Wahrnehmung von den Vibrationen separat von den Innengeräuschen möglich.

Sound & Vibration Reproduction System

Das System besteht im wesentlichen aus zwei Komponenten. Der Aufbau ist schematisch in Abb.1 zu finden. Zur Darstellung der Vibrationen wird das sogenannte „Vibration Pad“ eingesetzt, auf dem unterschiedliche Sitze montiert werden können. Die Schallwiedergabe geschieht über Kopfhörer und/oder diversen Lautsprecheranordnungen, je nach Anforderung der aufgenommenen akustischen Signale.

Das „Vibration Pad“ besteht aus einer Grundplatte, auf der, je nach Anforderung, unterschiedliche Sitze montiert werden können. Die Grundplatte ist auf einem Polyurethan Integralschaum federnd gelagert. An der Platte sind in jeder Ecke für jede Raumrichtung ein oder mehrere elektrodynamische Schwingerer, Inertialshaker genannt, befestigt. Diese 12 oder mehr Shaker können völlig getrennt voneinander mit unterschiedlichen Vibrationssignalen angesteuert werden. Damit kann das „Vibration Pad“ nicht nur Vibrationen in den drei Translationsrichtungen, Vibrationen in x-, y- und/oder z-Richtung, sondern auch die drei unterschiedlichen Rotationsvibrationen¹ simulieren bzw. darstellen. Durch die geeignete Wahl der Shaker und der federnden Lagerung können Vibrationen im Frequenzbereich von ca. 10 bis 500 Hz mit einer maximalen Beschleunigung² von 2-3 m/s² bei Rauschanregung dargestellt werden.

Die akustische Wiedergabe kann wahlweise über Kopfhörer (Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen) in Verbindung mit Basslautsprechern für die tieffrequenten Schallanteile (Subwoofer) geschehen oder aber mit unterschiedlichen Lautsprechertypen sowie Lautsprecheranordnungen (z.B. 5.1 Wiedergabetechnik (dts) mit 5 Lautsprechern und einem Subwoofer). Zur akustischen Wiedergabe über Lautsprecher hat sich die Verwendung von Schnellewandlern, BiegeWellenstrahler in NXT[®]-Technologie, als geeignet herausgestellt. Dieser Lautsprecher besteht aus einem flachen Panel, an dem ein kleiner elektrodynamischer Shaker befestigt ist. Dieser regt das Panel zu Biegeschwingungen an. Die Schallabstrahlung erfolgt beidseitig, so dass sich eine Dipolcharakteristik ergibt. Ein Foto eines selbstentwickelten BiegeWellenstrahlers ist in Abb. 2 dargestellt.

Die Verwendung von BiegeWellenstrahlern erfordert eine mehrkanalige Aufnahme der Schnellekomponenten eines darzustellenden Schallfeldes. Hierfür eignen sich Richtmikrofone, die in Richtung der Schallquellen ausgerichtet werden. Die Lautsprecher zur Wiedergabe werden dann entsprechend der Mikrofonanordnung aufgestellt.

Der Frequenzgang des Lautsprechers ist abhängig von der Aufhängung und Größe, sowie der Anregung des Panels. Mit dem in Abbildung 2 dargestellten Rahmenkonstruktion des Lautsprechers kann ein Frequenzbereich von 40 bis 12 kHz wiedergegeben werden.

¹ Rotationsvibrationen um die x-Achse entsprechen „Roll“, um die y-Achse „Pitch“ und um die z-Achse „Yaw“.

² Eine Beschleunigung $a = 10 \text{ m/s}^2$ entspricht einem Beschleunigungspegel von $L_{\text{Vib}} = 140 \text{ dB}$.

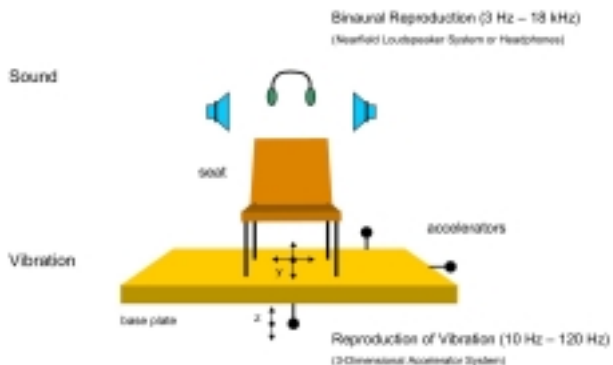


Abb. 1: Schematische Darstellung des „Sound & Vibration Reproduction System“.



Abb. 2: Selbstentwickelter BiegeWellenlautsprecher³ zur realistischen Schallwiedergabe.

Anwendung des Systems

Mit Hilfe des „Sound & Vibration Reproduction System“ lassen sich aufgezeichnete Geräusch- und Vibrationssituationen aus z.B. Fahr- und Flugzeugen im Labor realistisch wiedergeben. Zur vollständigen Reproduktion der Vibrationssituation sind 12 Kanäle, die z.B. am Fahrersitz eines Autos aufgenommen wurden, notwendig⁴. Zur Schallfeldwiedergabe wird entweder eine Kunstkopfaufnahme (2 Kanäle) über Kopfhörer oder eine mehrkanalige Aufnahme mit Richtmikrofonen über eine entsprechende Lautsprecheranordnung (z.B. 5.1 dts Aufstellung) dargeboten.

Dieses System hat den Vorteil, dass z.B. unterschiedliche Fahrzeugtypen bzw. Fahr-situationen mit dem gleichen Set-up im direkten Vergleich von Testpersonen beurteilt werden können. Außerdem kann jede einzelne Komponente des Schalls und der Vibrationen unabhängig von einander verändert⁵ und wiedergegeben werden.

Zur Zeit laufen mit einem ähnlichen System (Abb.3) Untersuchungen zur Entwicklung eines Komfort-Indexes für Geräusch- und Vibrationssituationen in Flugzeugen und Helikoptern [Quehl et al., 2000]. Außerdem werden mit diesem System Untersuchungen zur Wirkung von Kombinationen von Körper- (Vibrationen) und Luftschall auf den Komfort in Fahrzeugen durchgeführt. Dabei können die real gemessenen bzw. aufgenommenen Vibrationen und Innengeräusche simultan oder separat wiedergegeben werden. Es kann somit untersucht werden, welchen Einfluss bestimmte Reizkombinationen auf den Komfort haben und ob Wechselwirkungen zwischen der Lautheits- und der Vibrationswahrnehmung existieren.

³ in NXT®-Technologie

⁴ Der Aufwand reduziert sich, wenn nur Vibrationen in den drei Translationsrichtungen untersucht werden sollen, auf drei Kanäle.

⁵ im Frequenz- oder Amplitudenbereich



Abb. 3: Das „Sound & Vibration Reproduction System“ mit einem Holzstuhl und einer 5.1 Audiowiedergabe mit BiegeWellenlautsprechern.

Zusätzlich wird mit dem „Vibration Pad“ Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Vibrationswahrnehmung durchgeführt. Anlass dafür ist, dass die vorhandenen Normen, z.B. ISO 2631-2, die Wahrnehmung von Vibrationen nur unzureichend beschreiben. Außerdem zeigen neuere Literaturdaten [z.B. Griffin, 1991] große Unterschiede zu den Normen und weichen auch untereinander stark voneinander ab. Dies kann zum Teil auf die verwendeten Messmethoden zurückgeführt werden [Griffin, 1991].

Das „Vibration Pad“ strahlt aufgrund der flächigen Grundplatte auch hörbaren Schall ab. Durch die Verwendung eines biegesteifen Metallgitters als Grundplatte kann der abgestrahlte Luftschall des „Vibration Pads“ so verringert werden, dass dieser mindestens 10 dB unterhalb der genormten Ruhehörschwelle [ISO 389-7] liegt. Dies ermöglicht die Durchführung von Grundlagenuntersuchungen zu Perzeptionsschwellen, JNDs und auch Kurven gleicher Vibrationswahrnehmung mit synthetischen Signalen (z.B. Sinusschwingungen) ohne Einfluss von Schallkomponenten [Bellmann et al., 2000].

Literatur

- (a) Bellmann, M.A., Mellert, V., Reckhardt, C. und Remmers, H., „Experimente zur Wahrnehmung von Vibrationen“, in: *Fortschritte der Akustik, DAGA 2000* (2000), im Druck
- (b) Griffin, M. J., *Handbook of human vibration*, Academic Press, 1991
- (c) ISO 389, Acoustics-Reference zero for calibration of audiometric equipment - Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions, (1996)
- (d) ISO 2631-2, „Evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 2“, *International Organisation for Standardisation*, Geneva, 1989
- (e) Quehl, J.J., Schick, A., Mellert, V., Schulte-Fortkamp, B. und Remmers, H., „Die Entwicklung eines Komfortindex für Flugzeuge in bezug auf kombinierte Geräusch- und Vibrationswirkung“, in: *Fortschritte der Akustik, DAGA 2000* (2000), im Druck