

Lärmbelastigung durch Straßenverkehr - (k)ein Sound Quality Thema?

Winfried Krebber Klaus Genuit und Roland Sottek

HEAD acoustics GmbH (D)

Die Bedeutung von "Sound Quality"

Obwohl die Belästigung durch Verkehrslärm in weiten Teilen der Welt erhebliche Auswirkungen auf das Wohlbefinden der Bevölkerung hat, spielen Sound Quality Ansätze für die Bewertung der Schallemission bislang eine untergeordnete Rolle. Die eingeführten Verfahren berechnen lediglich den A-bewerteten Schalldruckpegel unter standardisierten Vorbeifahrbedingungen, werden damit jedoch in keiner Weise der komplexen Beschallungssituation z.B. in einer Innenstadtstrasse gerecht.

Das Forschungsprojekt SVEN (Sound Quality of Vehicle Exterior Noise, G6RD-CT-1999-00113) verfolgt daher neue Ansätze zur Untersuchung solcher Soundscapes. In diesem europäischen Projekt arbeiten folgende Partner zusammen: HEAD acoustics (D), Bosal (B), Namkey (F), Renault (F), Impedance (F), Bridgestone/Firestone (I), Chalmers University (S) und das Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (D).

SVEN verfolgt einen interdisziplinären Ansatz und will Anforderungen und Ideen aus verschiedenen Bereichen zusammenbringen.

Aus der Sicht der Anwohner steht die Reduktion der Lärmbelastigung im Vordergrund. Dabei spielt aber nicht nur der Lärmpegel oder die Schalldosis eine Rolle. Für die Belästigung muss eine breitere Auswahl an Sound Quality - Attributen berücksichtigt werden. Darüber hinaus lassen sich auch physiologische Reaktionen beobachten. Die bestehenden Standards decken die Bandbreite der interessierenden Effekte keinesfalls ab.

Aus der Sicht der Fahrzeughersteller ergeben sich durchaus andere Anforderungen. Das Fahrzeug soll nicht nur im Innenraum, sondern auch nach außen hin eine Botschaft vermitteln, es soll wertvoll, angenehm oder sportlich klingen. Der potentielle Käufer steht am Straßenrand.

Aus der Sicht der Hersteller der geräuschverursachenden Fahrzeugkomponenten schließlich steht die Frage im Vordergrund, welchen Einfluss die einzelne Komponente auf das Gesamtgeräusch hat. An welchem Bauteil lohnt sich welche Verbesserung?

Geräuschdatenbank

Zu Beginn des Projektes wurde eine Geräuschdatenbank aus Verkehrsgeräuschen in verschiedenen Straßen und Vorbeifahrttaufnahmen einzelner Fahrzeuge zusammengestellt. Diese bildet die Basis für alle weiteren Arbeiten.

Die Vorbeifahrgeräusche wurden für ca. 20 Fahrzeuge aus unterschiedlichen Klassen und Motorvarianten sowohl binaural (mit Kunstkopf) als auch mit Mikrofonen aufgezeichnet, s. Abb. 1. Die standardisierten Vorbeifahrbedingungen wurden erweitert um solche, die für den Straßenverkehr in Innenstädten und Vororten repräsentativ sind, und umfassten schließlich die folgenden Fahrbedingungen:

- 50 km/h beschleunigt (im 2. und 3. Gang)

- 30 km/h, 50 km/h (2. und 3. Gang) und 70 km/h konstant.
- Auslaufen, beginnend bei 70 km/h.
- Bremsen, Stillstand und Beschleunigung aus dem Stand. (Typisch für "Stop & Go")

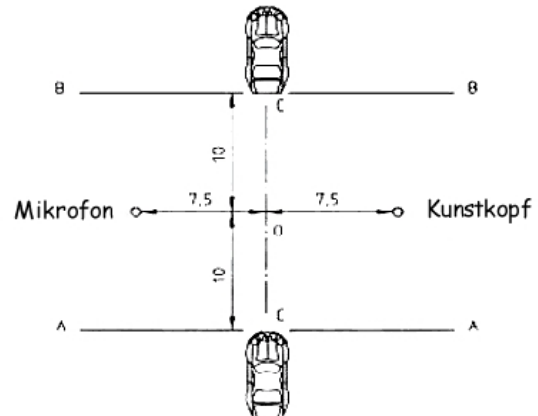


Abb. 1: Aufnahmeanordnung (Vorbeifahrt)

Die Aufnahmen wurden auf einer Teststrecke nach ISO 362 durchgeführt. Für einige ausgewählte Fahrzeuge wurden simultan auch Aufnahmen an einigen Hauptschallquellen im Fahrzeug durchgeführt. Diese Aufnahmen dienen als Basis für die Synthese von Vorbeifahrgeräuschen, s. weiter unten.

Die Verkehrsgeräusche bilden im Vergleich zu den Vorbeifahrten im Freifeld ein wesentlich komplexeres Szenario ab. Für die Geräuschdatenbank wurden Aufnahmen von ca. 10 min. Länge in 21 Strassen in Paris ausgewählt, s. auch Abb.2.



Abb. 2: Typische Aufnahmeanordnung (Verkehrsgeräusch)

Die Geräuschdatensammlung berücksichtigt u.a.:

- verschiedene Straßenprofile (U-Profile und offene Profile mit verschiedenen Abmessungen sowie Strassen ohne Bebauung),
- Verkehrsflüsse von 700 bis 3000 Fahrzeugen/h,

- den Einfluss von z.B. Ampelkreuzung und Kreisverkehr.

Überlandstraßen und Autobahnen wurden bewusst nicht aufgenommen, da das Außengeräusch dort in der Regel durch das Reifengeräusch dominiert wird. In der Stadt dagegen lassen sich die verschiedenen Komponenten "heraus hören".

Subjektive Bewertung und physiologische Reaktionen

Für die Beschreibung von Vorbeifahrt- und Verkehrsgeräuschen wurden - aufbauend auf den Erkenntnissen aus dem Bereich der Innengeräusche [6] neue Sets semantischer Differentiale entwickelt [3,4]. Aus den umfangreichen Hörversuchen ergaben sich vier Hauptfaktoren, die jeweils eine Gruppe von Attributen abdecken [4]:

1. Faktor: Lautheit, z.B. 'lästig', 'laut', 'angenehm'
2. Faktor: Klangfarbe, z.B. 'sportlich', 'scharf', 'tonal'
3. Faktor: Bassanteil, z.B. 'groß', 'dröhnend'
4. Faktor: Zeitstruktur, z.B. 'impulshaft', 'gleichmäßig'

In den Untersuchungen zum Straßenverkehrslärm, die in SVEN durchgeführt wurden, zeigte sich auch der Einfluss der Straßenarchitektur auf die subjektive Bewertung. Innenstadtstraßen mit U-Profil schneiden dabei bei gleichem Verkehrsfluss in der Regel besser ab als solche mit einseitiger oder ohne Bebauung. Ursache dafür ist der langsamere Pegelanstieg und die Nivellierung von Zeitstrukturen.

Darüber hinaus konnten physiologische Auswirkungen von Verkehrsgeräuschen nachgewiesen werden. Signifikante Unterschiede ergeben sich für unterschiedliche verkehrstechnische und architektonische Gestaltung der Strassen [3].

Synthese des Soundscapes

Aus der Sicht von Fahrzeugherstellern und Zulieferern ist dagegen die Frage interessant, auf welche Weise die einzelnen Fahrzeugkomponenten die dominanten Elemente des Soundscapes beeinflussen. Eine Aufzeichnung des Vorbeifahrgeräusches erlaubt keine nachträgliche Trennung etwa zwischen den Anteilen von Auspuff und Reifen. Einen Ausweg bietet die Synthese des Vorbeifahrgeräusches aus Aufnahmen im Nahfeld der Komponenten.

Ein Verfahren zur Synthese von Vorbeifahrgeräuschen aus den Aufnahmen an den einzelnen Komponenten ist im Detail in einem weiteren Beitrag beschrieben [1]. Zur Vorbereitung werden zunächst für verschiedene Schallausfallsrichtungen in der Horizontalebene die Transferfunktionen für die einzelnen Komponenten bestimmt [2]. Für die Simulation des Vorbeifahrgeräusches einer Fahrzeugkomponente werden dann laufend entsprechend der aktuellen Position und Geschwindigkeit des Fahrzeugs die folgenden Schritte durchgeführt:

1. Filterung der Nahfeldaufnahmen mit der o.g. Transferfunktion für die aktuelle Richtung, in der der Hörer sich von Fahrzeug aus gesehen befindet.
2. Berechnung des Dopplereffekts entsprechend der Fahrzeuggeschwindigkeit.

3. Nachbildung der Ausbreitung des Luftschalls entsprechend der Distanz zum Hörer.
4. Filterung mit den kopfbezogenen Übertragungsfunktionen entsprechend der Richtung, in der das virtuelle Fahrzeug sich gerade vom Hörer aus gesehen befindet [5,7].

Die einzelnen Komponenten können dann anschließend aufsummiert werden [1]. Die o.g. Auftrennung des virtuellen Signalweges in Sende- und Empfangsteil vereinfacht die Berechnung. Sie ist für genügend große Abstände zwischen Fahrzeug und Hörer zulässig.

Für die Simulation von Verkehrsszenarien in einer Innenstadtstrasse sind zu dem oben beschriebenen Verfahren einige Erweiterungen notwendig:

1. Berücksichtigung von Reflexionen und Nachhall, insbesondere in Straßen mit U-Profil
2. Zufällige Aufsummierung vieler verschiedener Fahrzeuge mit verschiedenen Fahrbedingungen entsprechend statistischer Vorgaben. Dabei können nicht nur synthetisierte, virtuelle, sondern auch binaurale aufgezeichnete Vorbeifahrgeräusche verwendet werden.

Ausblick

Die vorgestellten Ansätze werden im Rahmen des SVEN Projektes u.a. durch Modifikationen an den Fahrzeugkomponenten überprüft.

Aussagekräftige objektive Messgrößen zur Beschreibung von Vorbeifahrgeräuschen und Straßenverkehrslärm können nun basierend auf den vorliegenden Ergebnissen von subjektiver Beurteilung einerseits und physiologischen Reaktionen andererseits definiert werden. Diese Messgrößen und die o.g. erweiterten Messbedingungen für die Vorbeifahrt werden in zukünftige Standardisierungsaktivitäten eingebracht werden.

Literatur

- [1] R. Sottek, W. Krebber, K. Genuit. Verfahren zur Simulation von Vorbeifahrgeräuschen aus Einzelkomponenten. DAGA 2002 (CD).
- [2] R. Sottek, W. Krebber, K. Genuit. Simulation of vehicle exterior noise. Inter-noise 2001 (CD)
- [3] G. Notbohm, S. Schwarze. Physiologische Reaktionen als Indikator der Geräuschqualität von Straßenverkehr. DAGA 2002 (CD)
- [4] M.A. Gulbol, D. Västfjäll, M. Kleiner. Design of a specific subjective test to characterize the sound quality of exterior car sounds: a preliminary study. ICA Rome 2001 (CD).
- [5] W. Krebber, H.W. Gierlich und K. Genuit. Auditory virtual environments: basics and applications for interactive simulations. Signal Processing 80 (2000), S. 2307-2322.
- [6] W. Krebber et al. Objective Evaluation of Interior Car Sound – the OBELICS project. DAGA 2000 (CD)
- [7] W. Krebber. 3D Sound im virtuellen Fahrzeug. DAGA 98 (CD).