

Was bestimmt die Qualität des Fahrzeugaußengeräusches?

Winfried Krebber, Klaus Genuit, Roland Sottek

HEAD acoustics GmbH, Ebertstraße 30a, 52134 Herzogenrath, E-mail: winfried.krebber@head-acoustics.de

Warum ist die Qualität wichtig?

In der Vergangenheit wurde die Qualität des Außengeräusches von Kraftfahrzeugen nur unter dem Aspekt der gesetzlichen Bestimmungen gesehen. Die eingeführten Verfahren berechnen dazu lediglich den A-bewerteten Schalldruckpegel unter standardisierten Vorbeifahrtbedingungen. Damit erfasst man jedoch bekanntlich nur einen Teilaspekt der perzeptiv relevanten Parameter, die einen Einfluss auf den resultierenden Qualitätseindruck bei der Vorbeifahrt eines Fahrzeugs haben.

Obwohl 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.

Das Forschungsprojekt SVEN (Sound Quality of Vehicle Exterior Noise, G6RD-CT-1999-00113) verfolgt daher neue Ansätze zur Untersuchung des Außengeräusches [5]. 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).

Verschiedene Aspekte wurden seit Projektbeginn im Jahr 2000 beleuchtet [5]:

- Subjektive Lärmbelästigung. Aus den umfangreichen Hörversuchen [3,4] ergaben sich vier Hauptfaktoren: Lautheit, Klangfarbe, Bassanteil, Zeitstruktur.
- Physiologische Reaktionen.
- Botschaft des Fahrzeugs (wertvoll, angenehm oder sportlich) an den potenziellen Käufer.
- Einfluss der einzelnen schallerzeugenden Fahrzeugkomponenten auf das Gesamtgeräusch.

Der letztgenannte Aspekt wurde im Jahr 2002 einerseits durch Modifikationen an Serienfahrzeugen und andererseits mittels der Synthese des Vorbeifahrtgeräusches aus Messungen an den Komponenten untersucht.

Modifikation der Fahrzeugkomponenten

Für die Untersuchung des Einflusses von Modifikationen wurden 2 Fahrzeuge mit ähnlicher Karosserie, jedoch unterschiedlicher Motorisierung (Diesel bzw. Ottomotor) ausgewählt. Die Vorbeifahrtgeräusche wurden sowohl binaural (mit Kunstkopf) als auch mit Mikrofonen auf einer Teststrecke nach ISO 362 aufgezeichnet und zwar u.a. unter den folgenden Fahrbedingungen:

- 50 km/h beschleunigt (im 2. Gang)
- 70 km/h konstant

Eine Aufzeichnung des Vorbeifahrtgeräusches erlaubt jedoch keine nachträgliche Trennung etwa zwischen den Anteilen von Auspuff und Reifen. Einen Ausweg bietet die Synthese des Vorbeifahrtgeräusches aus Aufnahmen im Nahfeld der Komponenten.

Dazu wurden simultan zu den oben beschriebenen Vorbeifahrt aufnahmen auch Aufnahmen an einigen Hauptschallquellen im Fahrzeug durchgeführt. Für die Synthese der Vorbeifahrtgeräusche werden diese Nahfeldaufnahmen unter Berücksichtigung des Dopplereffekts mit diversen raum- und zeitabhängigen Filtern entsprechend den zeitvarianten Übertragungspfaden für die jeweili-

ge Komponente gefiltert [1,2]. Die einzelnen Komponenten können dann anschließend aufsummiert werden. Am Ende entsteht ein binaurales Signal ähnlich demjenigen, das ein Hörer am Straßenrand während einer realen Vorbeifahrt hören würde [5]. Dabei ergeben sich nun vielfältige Möglichkeiten, durch Weglassen oder Modifizieren einer oder mehrerer Komponenten den Einfluss jeder dieser Komponenten zu bestimmen. Dies wird im Folgenden an einigen Beispielen gezeigt werden.

Ergebnisse

Zwischen der konventionellen Aufnahme mit Mikrofon in 7,5 m Abstand und der Aufnahme mit dem (freifeldentzerrtem) Kunstkopf an der gleichen Position bestehen erhebliche Unterschiede, unter anderem im Hinblick auf die sich ergebenden maximalen Pegelwerte [6]. Abb. 1 zeigt die Pegel über der Zeit für eine Vorbeifahrt, zum einen mit dem Kunstkopf aufgenommen („left“, „right“) und mit dem klassischen Mikrofon. Wie erwartet, liegen die jeweiligen Maxima zeitlich auseinander. Durch die Außenohrübertragungsfunktion unterscheiden sich jedoch auch die Pegelwerte: Der Kunstkopf zeigt i.d.R. höhere Maxima.

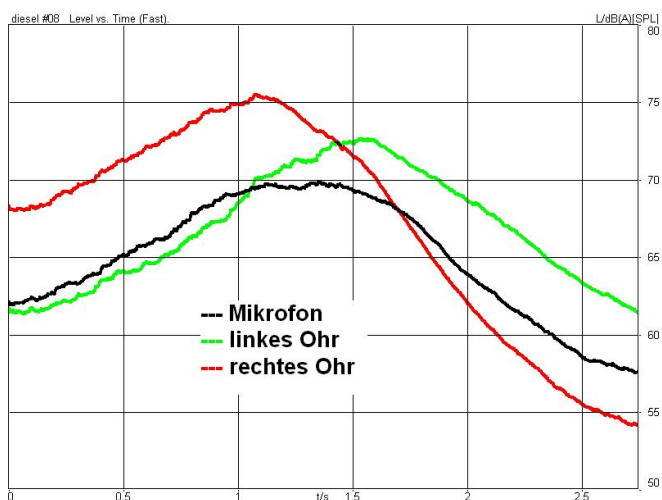


Abbildung 1: Pegel über der Zeit für eine Vorbeifahrt von rechts nach links mit konstanter Geschwindigkeit. Vergleich zwischen freifeldentzerrtem Kunstkopf und Mikrofon.

Zum Teil lassen sich Unterschiede in den Komponenten im Vorbeifahrtgeräusch klar erkennen. Ein Fahrzeug mit zwei verschiedenen Reifensets zeigte im Hörtest Unterschiede bzgl. der Schärfe. Dies kann mit der Analyse der Schärfe über der Zeit (Abb. 2) gezeigt werden: Beim Herankommen des Fahrzeugs klingt Set 1 schärfer, beim Wegfahren Set 2. Ähnliche Ergebnisse erhält man beim Vergleich der Lautheiten unterhalb von 2 kHz und zwischen 2 und 5 kHz.

Da die Serienfahrzeuge meist schon optimiert bzgl. des Vorbeifahrtpegels sind, lässt sich der Einfluss der Komponenten besser mit dem o.g. Syntheseansatz untersuchen. Meist wird der Pegel vom Reifengeräusch dominiert, die übrigen Anteile liegen etwa 10 dB (A) darunter. Erst die Simulation ohne Reifen erlaubt eine Analyse der übrigen Geräuschanteile.



Abbildung 2: Schärfe über der Zeit für das gleiche Fahrzeug mit zwei verschiedenen Reifensätzen.

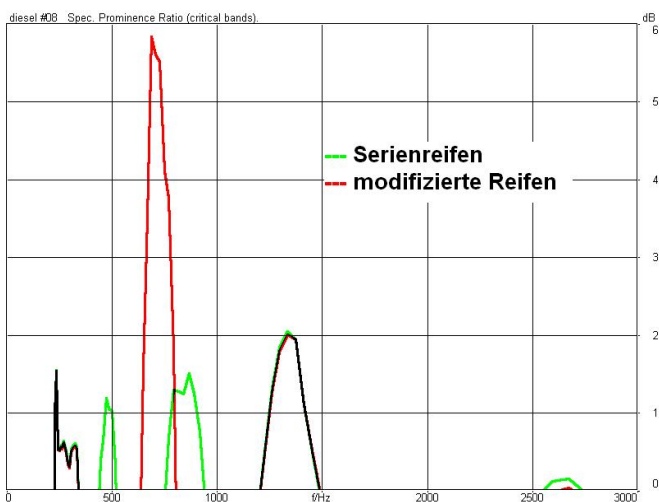
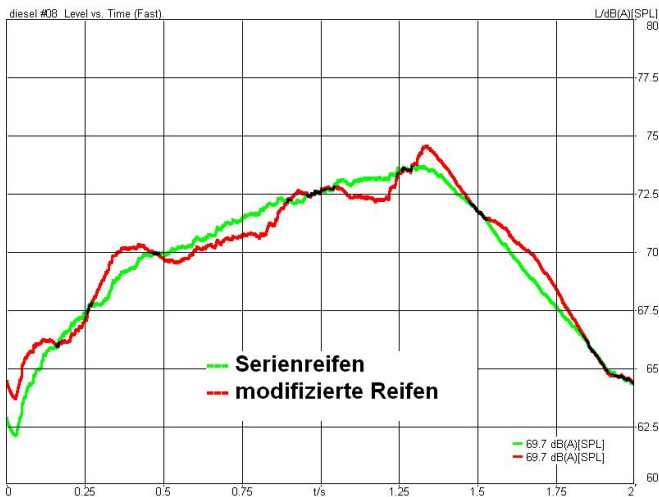


Abbildung 3: A-bewerteter Pegel über der Zeit (oben) und Prominenz (unten) für 70 km/h. (Gleiches Fahrzeug, zwei Reifenvarianten). Jeweils linkes Ohr.

Zur Demonstration zeigt die Abb. 3 Analyseergebnisse für Fahrzeug 2 mit Serienreifen im Vergleich zu Reifen mit (simuliertem) tonalem Störgeräusch, das deutlich zu hören ist. Der Gesamtpegel ist ähnlich, die Analyse der Prominenz zeigt das auffällige Geräusch deutlich, ebenso die spezifische Lautheit (ohne Abb.).

Abb. 4 zeigt den Pegel über der Zeit für ein Fahrzeug mit zwei verschiedenen simulierten Auspuffsystemen bei 50 km/h beschleunigt (im 2. Gang). Beim zweiten System wurde die 2. Ordnung um 15 dB angehoben. Subjektiv ist ein „boom“ hörbar. Der Gesamtpegel ist identisch, im „Boom“-Bereich unter 250 Hz sind die Pegel jedoch unterschiedlich.

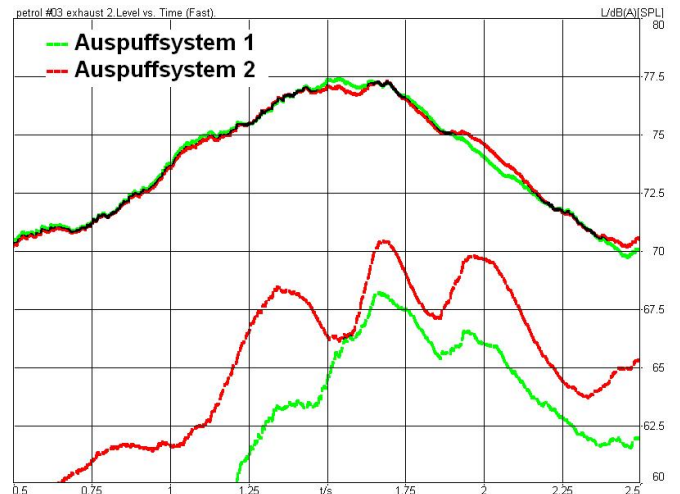


Abbildung 4: A-bewerteter Pegel über der Zeit für ein Fahrzeug mit zwei verschiedenen Auspuffsystemen bei beschleunigter Vorbeifahrt. Obere Kurven: Gesamtpegel, untere Kurven: Anteil unter 250 Hz. Jeweils linkes Ohr.

Die folgenden objektiven Parameter erscheinen für eine Bewertung des Fahrzeugaußengeräusches neben dem bereits eingeführten A-bewerteten Pegel sinnvoll:

- Boom Index: A-bewerteter Pegel im Bereich unterhalb von 250 Hz
- Differenz der Lautheiten im Bereich unterhalb von 2000 Hz und 2000-5000 Hz
- Spezifische Lautheit über der Zeit
- Schärfe
- Prominenz zur Erkennung tonaler Komponenten

Literatur

- [1] R. Sottek, W. Krebber, K. Genuit, Verfahren zur Simulation von Vorbeifahrtgeräuschen 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] 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, K. Genuit, R. Sottek, Sound Quality of Vehicle Exterior Noise, Forum Acusticum Sevilla 2002 (CD)
- [6] K. Genuit, Neue Aspekte zum Kfz-Außengeräusch? DAGA 2003 (CD)