

Ein Verfahren zur Bewertung von Gurtwarngeräuschen für Euro NCAP

Markus Bodden*, Marcel Heppelner**

*Product-Sound - Ingenieurbüro Dr. Bodden, Ursulastr. 21, 45131 Essen; email: db@product-sound.de

**Ford Werke GmbH, Acoustic Centre Cologne, Spessartstraße, 50725 Köln; email: rheinri1@ford.com

Einleitung

Die Bewertung der Sicherheit von Fahrzeugen durch Euro NCAP wird durch die Vergabe von maximal 5 Sternen dokumentiert. Hierbei werden für die Erfüllung bestimmter Kriterien Punkte verteilt, wobei 3 von 35 Punkten für Gurtwarngeräusche (Warngeräusch bei Nichtanlegen des Gurtes) vergeben werden. Aufgrund der hohen Sicherheitsstandards moderner Fahrzeuge entscheiden damit häufig die Gurtwarngeräusche über eine Erzielung des wichtigen 5. Sterns. Die Bewertung der Gurtwarngeräusche erfolgt subjektiv durch Inspektoren von Euro NCAP - sie bewerten in einer speziellen Betriebssystemsituation inwieweit das Geräusch "laut und deutlich" hörbar ist.

Bisher fehlte eine robuste Methode zur instrumentellen Überprüfung der Eignung der Signale, so dass sich eine gezielte Entwicklung der Geräusche problematisch darstellte. Die hier vorgestellten Arbeiten eines von ACEA, JAMA und KAMA (europäische, japanische und koreanische Vereinigungen der Fahrzeughersteller) in Auftrag gegebenen Projektes zielten darauf ab ein entsprechendes Verfahren zu entwickeln.

Messprozedur

Die Gurtwarngeräusche werden von den Inspektoren bei Fahrt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 25 km/h sowie stärkster Einstellung der Lüftung beurteilt. Das Hintergrundgeräusch wird somit durch das Lüftergeräusch dominiert, die Fahrgeräusche spielen in der Regel keine Rolle.

Die Messung wird unter exakt gleichen Bedingungen durchgeführt. Die Geräusche werden an jedem zu bewertenden Sitzplatz mit zwei Mikrofonen gemessen, welche sich in einem definierten Abstand neben den Ohren der dort sitzenden Person befinden. Die Aufzeichnung der Signale erfolgt in zwei unterschiedlichen Situationen:

1. Gurtwarngeräusch auf maximaler Stufe;
2. identische Situation ohne Gurtwarngeräusch.

Die zweite Messung liefert nur das maskierende Hintergrundgeräusch, und durch den Vergleich lassen sich die Geräuschanteile des Gurtwarners robuster identifizieren.

Für die Untersuchungen wurde eine Datenbank von 20 Gurtwarngeräuschen von den Fahrzeugherstellern gemessen und zur Verfügung gestellt.

Wahrnehmung von Gurtwarngeräuschen

Gurtwarngeräusche bestehen in der Regel aus einer mehr oder minder komplexen Zusammensetzung einzelner tonaler Anteile. Ihre Wahrnehmbarkeit in der zu untersuchenden Situation wird im wesentlichen durch die folgenden Parameter bestimmt:

- Hintergrundgeräusch: rauschförmig mit unterschiedlich ausgeprägten tonalen Anteilen bzw. Färbungen und unterschiedlicher Lautheit;
- Zeitstruktur: kontinuierlich, intermittierend o. komplexere Hüllkurve;
- Frequenzzusammensetzung: Einzeltöne bis hin zu komplexeren Tonkombinationen.

Die prinzipiellen Einflüsse dieser drei Parametergruppen auf die Wahrnehmung wurde in psychoakustischen Versuchsreihen systematisch untersucht. Hierbei sollten die Parameter genau kontrollierbar sein und realistische Geräusche verwendet werden, weshalb die Hintergrundgeräusche aus der Datenbank entnommen und die Gurtwarngeräusche synthetisiert wurden. Zusätzlich wurde noch eine Testreihe mit den realen unveränderten Geräuschen durchgeführt.

Das zu bewertende Attribut sollte möglichst dem Bewertungsattribut der Euro-NCAP-Inspektoren entsprechen. Dieses stellt jedoch eine Kombination aus den Attributen „laut“ und „deutlich“ dar, so dass hier stattdessen die „Hörbarkeit“ des Gurtwarngeräusches auf einer bipolare Skala zwischen „gut“ bzw. „schlecht“ gewählt wurde. Der Mittelpunkt der Skala wurde mit der entscheidenden Schwelle „laut und deutlich“ markiert.

Die Versuche wurden als 2-phasiger Individualtest [1] mit zwei Versuchspersonengruppen durchgeführt. Gruppe 1 bestand aus Laien, Gruppe 2 aus Euro-NCAP Inspektoren. Die Beurteilungen sind beispielhaft für die realen Signale in Abb. 1 dargestellt.

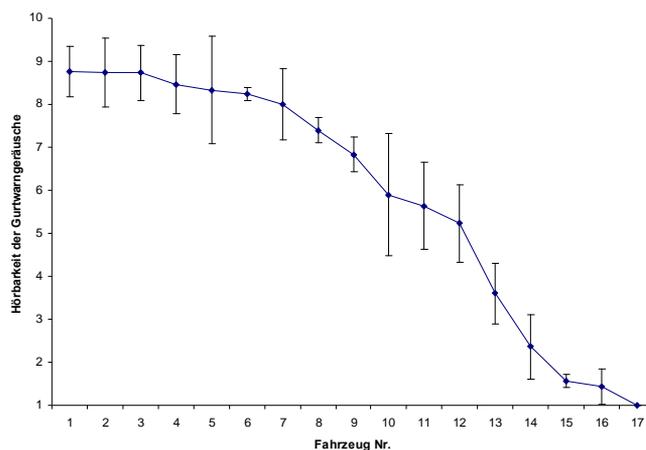


Abb. 1 Bewertung der Hörbarkeit der Gurtwarngeräusche realer Fahrzeuge.

Die Geräusche wiesen eine ausreichende Bandbreite auf, und die Standardabweichungen halten sich in den üblichen Grenzen - sie liegen auch bei den übrigen Test in gleichem Rahmen. Insgesamt fiel den Laien die Beurteilung der Geräusche leichter als den Experten.

Metrik

Die bisher entwickelten Metriken waren nicht in der Lage die Hörbarkeit der Gurtwarngeräusche robust vorherzusagen. Es wurde deshalb eine neue, aus den in Abb. 2 dargestellten Signalverarbeitungsblöcken bestehende Metrik entwickelt.

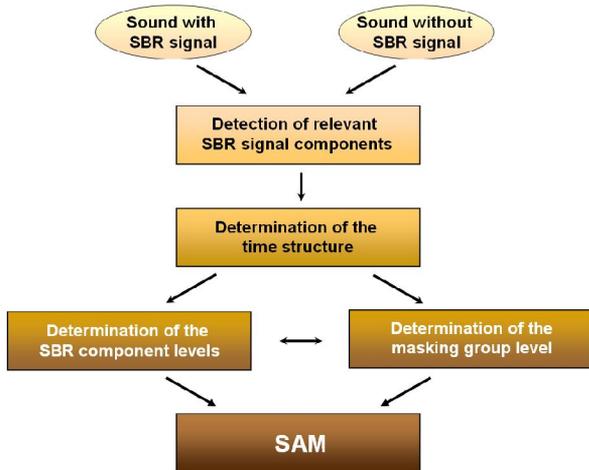


Abb. 2 Metrik zur Bewertung von Gurtwarngeräuschen

Das Verfahren basiert auf einer Auswertung einer gleitenden FFT-Analyse der Signale. Aus dem Vergleich der Geräusche mit und ohne Gurtwarner werden im ersten Schritt die Anzahl der tonalen Komponenten sowie deren Frequenzen bestimmt. Hierbei wird die maximale Anzahl der Komponenten auf drei limitiert.

Im zweiten Schritt wird die Zeitstruktur ermittelt. Hierzu wird der Zeitverlauf der stärksten Komponente des Gurtwarngeräusches herangezogen, und unter Berücksichtigung der Maskierung des Hintergrundgeräusches ein Faktor berechnet welcher praktisch die Zeitdeckung des Signals angibt. Zusätzlich wird die Zuverlässigkeit des Faktors ermittelt und der Zeitfaktor nur übernommen wenn er eine bestimmte Sicherheit aufweist - bei zu starker Maskierung kann keine sichere Aussage mehr über die Zeitstruktur getroffen werden.

Im dritten Schritt werden die Pegel der gefundenen Komponenten sowie die Pegel der jeweiligen Hintergrundgeräusche bestimmt. Die Strategie der Berechnungen ist an DIN 45681 [2] angelehnt - auch hier werden die Beiträge jeder einzelnen Frequenzlinie innerhalb einer um die tonale Komponente zentrierten Frequenzgruppe entweder der tonalen Komponente oder dem Hintergrundgeräusch zugeordnet bzw. in Zweifelsfällen als nicht zu berücksichtigen markiert. Die Pegel ergeben sich dann aus der energetischen Zusammenfassung der Einzelpegel der jeweils zugeordneten Frequenzlinien.

Für die Metrik werden schließlich die Differenzen zwischen den Pegeln der tonalen Komponente und dem Hintergrundgeräusch gebildet und energetisch zu einem Wert zusammengefasst. Ähnlich zum Tonzuschlag wird der erhaltene Gesamtpegel um 8dB erhöht und durch 2 dividiert (Abb. 3).

Durch einen Polynomfit wurde anschließend ein Polynom 3. Ordnung zur Berechnung der vorhergesagten Hörbarkeit von

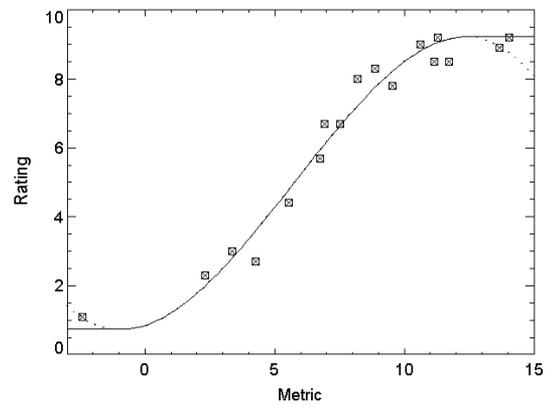


Abb. 3 Metrik SAM vs Beurteilungen der Hörbarkeit

Gurtwarngeräuschen bestimmt. Der Zusammenhang zu den realen Beurteilungen ist in Abb. 4 dargestellt.

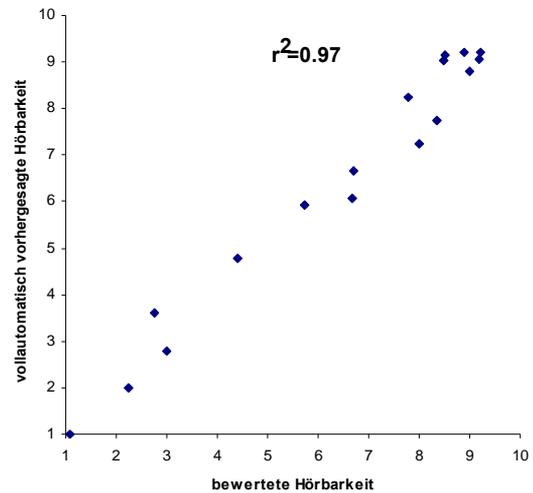


Abb. 4 Vollautomatische Vorhersage der Hörbarkeit von Gurtwarngeräuschen vs. Urteile der Versuchspersonen.

Verifizierung

Zur Verifizierung des Verfahrens wurden von Euro-NCAP 11 bereits bewertete Fahrzeuge ausgewählt, von denen 10 die Anforderungen erfüllten und ein Fahrzeug durchgefallen war. Die Fahrzeuge wurden von den jeweiligen Herstellern vermessen. Die Bewertung durch die Inspektoren konnte in allen 11 Fällen korrekt von der Metrik vorhergesagt werden.

Zusammenfassung

Das vorgestellte Verfahren erlaubt eine sichere und robuste Vorhersage der Hörbarkeit von Gurtwarngeräuschen entsprechende den Anforderungen von Euro-NCAP. Den Fahrzeugherstellern wird somit erstmal eine Möglichkeit gegeben, die Gurtwarngeräusche gezielt zu entwickeln und zu optimieren.

Literatur

[1] Bodden, M.; Heinrichs, R.; Linow, A. (1998): Vergleich psychoakustischer Methoden für den effizienten industriellen Einsatz. Fortschritte der Akustik - DAGA'98, DPG-GmbH, Bad Honnef, 90-91.

[2] DIN 45681 (2005): Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschmissionen. Beuth-Verlag.