

Berechnung von Motorrauhigkeiten

N. Springer, T. Ronnebaum, C. Eichenlaub*, A. Puzik**
sounddesign Ronnebaum & Springer, *Rücker AG, ** Volkswagen AG
E-mail: springer@sounddesign.net

Einleitung

Durch Modulationen hervorgerufene zeitliche Effekte spielen bei der Geräuschwahrnehmung eine große Rolle. Zur Beschreibung dieser Phänomene werden gemeinhin die psychoakustischen Parameter Rauigkeit und Schwankungsstärke [1] verwendet.

Von diesen Parametern wird der Modulationsfrequenzbereich zwischen 15 und 40 Hz jedoch nur schwach bewertet (Abb. 1).

Modulationen in diesem Frequenzbereich werden als langsame Rauigkeit, R-Rauigkeit, "kollern" oder rumbling noise beschrieben. Sie spielen insbesondere für die empfundene Rauigkeit von Motorgeräuschen im Fahrzeuginnenraum eine große Rolle.

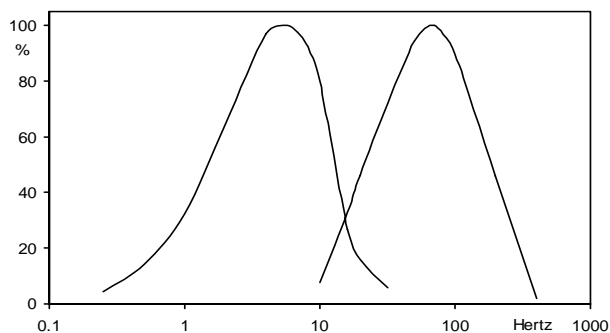


Abb. 1: Modulationsfrequenzbereich der Schwankungsstärke (linke Kurve) und der Rauigkeit

Deshalb wurde ein Berechnungsverfahren entwickelt, das speziell auf die Rauigkeit von Motorgeräuschen in diesem Modulationsfrequenzbereich abgestimmt ist. Zum Test des Verfahrens wurde ein Hörversuch durchgeführt.

Im folgenden werden die Struktur des Berechnungsverfahrens sowie die Ergebnisse des Hörversuchs beschrieben und der Zusammenhang von objektiven und subjektiven Daten hergestellt.

Struktur des Berechnungsverfahrens

Der Ablauf des Berechnungsverfahrens ähnelt den klassischen Verfahren [2]. Das Schema des Ablaufs ist in Abbildung 2 dargestellt.

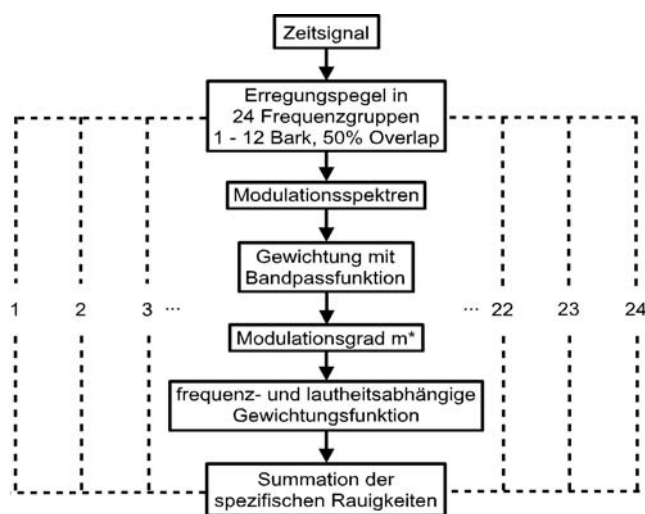


Abb. 2: Ablaufschema des Berechnungsverfahrens

Das vorgestellte Verfahren hat im Vergleich zu den klassischen Ansätzen eine andere Gewichtung der Modulationsfrequenzen. Statt einer Bandpassfunktion mit Maxima bis 70 Hz wird hier eine geänderte Bandpassfunktion mit dem Maximum zwischen 20 und 30 Hz verwendet [3].

Da die für Motorrauhigkeiten verantwortlichen Geräuschkomponenten im Fahrzeuginnenraum oberhalb von 1 kHz keine Rolle spielen, wird der analysierte Frequenzbereich auf die unteren zwölf Frequenzgruppen (Frequenzen bis ca. 1,8 kHz) beschränkt.

Diese spezielle Abstimmung des Berechnungsverfahrens auf Motorgeräusche führt zu Einzahlwerten, denen jedoch nicht die Einheit asper zugeordnet werden kann.

Hörversuch

Zur Validierung der mit dem Verfahren berechneten Rauigkeitswerte wird ein Hörversuch durchgeführt. In diesem Versuch wurden 38 Personen 10 verschiedene Kunstkopfaufnahmen aus Fahrzeuginnenräumen über Kopfhörer dargeboten. Die Personen hatten die Aufgabe, die Motorrauigkeit dieser Aufnahmen in einem vollständigen Paarvergleich zu beurteilen. Bei der Auswertung der Daten wurden die Urteile von 4 Personen nicht berücksichtigt, da keine ausreichende Konsistenz in den Beurteilungen vorlag.

Eine Clusteranalyse über die verbleibenden Daten zeigt, dass sich die übrigen Personen in zwei klar unterscheidbare Beurteilungsgruppen aufteilen. Eine Gruppe umfasst dabei 20 Personen, die andere 13; eine der Versuchspersonen lässt sich keiner der beiden Gruppen zuordnen.

Die Urteile der beiden Personengruppen werden mit der BTL-Methode in intervallskalierte Rangreihen überführt.

Die intervallskalierten Urteile werden dann mit objektiven Messgrößen der Fahrzeuginnenraumaufnahmen korreliert. Hierbei ergibt sich eine sehr hohe Korrelation der Urteile der 20 Personen umfassenden Gruppe mit der Lautheit (Korrelationskoeffizient 0,81). Diese Personen haben demnach in erster Linie beurteilt, welches Geräusch lauter auf sie wirkt.

Die 13 Personen umfassende Gruppe korreliert mit keinem getesteten Parameter signifikant. Daher wird vermutet, dass die Urteile dieser Personen Motorrauigkeit repräsentieren. Die Urteile dieser Versuchspersonen werden daher im weiteren zur Validierung des Berechnungsverfahrens herangezogen.

Vergleich subjektiver und objektiver Daten

In Abbildung 3 sind die berechneten Werte für die Motorrauigkeit den intervallskalierten Ergebnissen des Hörversuchs gegenübergestellt. Es ergibt sich ein guter Zusammenhang zwischen den subjektiven und den objektiven Daten, der Korrelationskoeffizient beträgt 0,88.

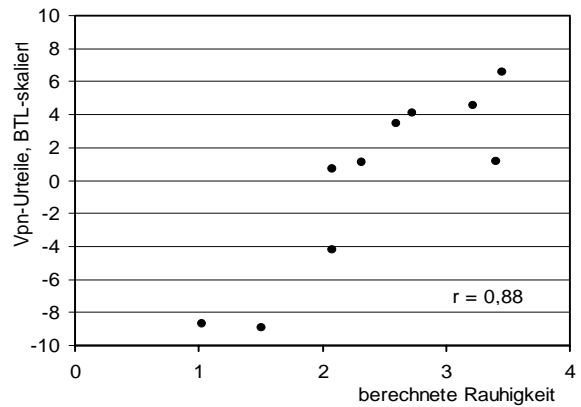


Abb. 3: BTL-skalierte subjektive Rauigkeitsurteile über den berechneten Rauigkeitswerten

Die mit einem verbreiteten Rauigkeitsprogramm berechneten asper-Rauigkeiten korrelieren mit den Versuchspersonenurteilen nur mit 0,48.

Zusammenfassung und Ausblick

In der vorgestellten Untersuchung zeigte sich, dass ein speziell auf Motorgeräusche abgestimmtes Berechnungsmodell, das insbesondere Modulationsfrequenzen zwischen 15 und 40 Hz berücksichtigt, die subjektive Beurteilung von Motorrauigkeiten besser vorher sagt, als die klassische asper Rauigkeit.

Die positiven Ergebnisse dieses Modells bilden die Basis für die im nächsten Schritt geplante Entwicklung eines Verfahrens, dass die empfundene Rauigkeit für den gesamten relevanten Modulationsfrequenzbereich ab ca. 15 Hz sowohl für stationäre als auch zeitlich instationäre Geräusche berechnet.

Literatur

- [1] Zwicker, E., Fastl, H.: Psychoacoustics. Facts and Models. Springer 1990
- [2] Daniel, P.: Berechnung und kategoriale Beurteilung der Rauigkeit und Unangenehmheit von synthetischen und technischen Schallen. Düsseldorf: VDI Verlag 1997
- [3] Springer, N., Weber, R.: Bewertung von amplitudenmodulierten Schallen im R-Rauigkeitsbereich. In: Fortschritte der Akustik - DAGA 1995