

Vergleich des ‚Booming-Indexes‘ nach Hatano und Hashimoto mit anderen objektiven Signalparametern zur Charakterisierung der subjektiven Dröhnstärke.

Reinhard Weber* und Michael A. Bellmann**

* Universität Oldenburg, Physik/Akustik, 26111 Oldenburg

**Institut für Technische und Angewandte Physik,
Carl von Ossietzky Straße 9-11, D-26129 Oldenburg

Abstract

Durch die Anregung von tieffrequenten Moden im Fahrzeuginnenraum kann es zu einem mehr oder weniger ausgeprägten Dröhnen kommen, das sich negativ auf den akustischen Komfort auswirkt. Deshalb ist die Beurteilung des Dröhnens ein wichtiger Teil der Qualitätssicherung in der Fahrzeugfertigung. In diesem Zusammenhang sind objektive Messparameter von Interesse, die möglichst gut die subjektiv empfundene Ausprägtheit des Dröhnens, die Dröhnstärke, beschreiben können im Sinne eines guten korrelativen Zusammenhanges.

In dieser Untersuchung wird die Eignung von Pegelmaßen mit dem von Hatano und Hashimoto für die Messung der Dröhnstärke entwickelten ‚Booming-Noise-Index‘ [1] für die Beschreibung von subjektiven Urteilen über Dröhngeräusche verglichen.

Untersuchte Dröhngeräusche

Zwei Tester beurteilen die Dröhnstärke von 85 verschiedenen Autoinnengeräuschen.. Diese stammen von 31 Fahrzeugen, die im Leerlauf bei verschiedenen Betriebszuständen, die durch unterschiedlich starke Belastungen der Lichtmaschine hervorgerufen werden. Die Dröhnstärke variiert.

Subjektivurteile der Tester

Zwei Tester geben Kategorialurteile über die Ausprägtheit ihres Dröhneindrucks beim Anhören der unterschiedlichen Geräusche auf einer Notenskala ab. Die Dröhnstärke variiert nicht stark. Die Tester verwenden 6 bzw. 7 unterschiedliche Kategorien bei 21 möglichen. Ein Geräusch wird von jedem

Tester einmal beurteilt, um so Unterschiede und Übereinstimmungen der Urteile untersuchen zu können.

Der Korrelationskoeffizient (Pearson) zwischen den Kategorialurteilen, die als intervallskaliert klassifiziert werden, beträgt $r = 0,66$. Damit ist er - bei 85 Urteilspaaren - hoch signifikant ($p < 0,01$).. Dieser Korrelationskoeffizient kann ein Maßstab für objektive Parameter sein, mit denen die Dröhnstärke gemessen werden soll.

Messung der Dröhnstärke mit A- und C- bewerteten Schalldruckegeln

Zunächst wird die Eignung der A- und der C- bewerteten Schalldruckegel untersucht. Sie werden aus den aufgenommenen Autoinnengeräuschen offline berechnet. Da es zwischen den beiden Testern Unterschiede gibt, werden die Korrelationskoeffizienten zwischen den Pegelgrößen und den subjektiven Urteilen für beide Tester getrennt berechnet (siehe Tab. 1).

	dBA	dBC
Tester 1	0,45	0,46
Tester 2	0,63	0,61

Tabelle 1: Korrelationskoeffizienten zwischen den Kategorialurteilen zweier Subjektivtester über die Dröhnstärke und den gemessenen dBA- und dBC-Pegeln (85 Geräusche).

Damit ist der dBA-Pegel schon ein gutes Maß für die Dröhnstärke dieser eingeschränkten Klasse von Autoinnengeräuschen. Es ist bemerkenswert, dass die Urteile des Testers 2 mit den dBA-Pegeln ähnlich gut korrelieren wie mit den Urteilen des Testers 1. Das trifft für die Urteile des Testers 1 nicht zu.

Subj. Dröhnstärke und der Booming-Index nach Hatano und Hashimoto

Der Booming-Index BI nach Hatano und Hashimoto [1] ist wie folgt definiert:

$$BI = Bd_{sum} \left(\frac{N_{LP}}{N} \right) \quad \text{mit}$$

N_{LP} - Lautheit des tieffrequenten Geräuschanteils unter 280 Hz und

N - Gesamtlautheit.

sowie dem komplexen Ausdruck

$$Bd_{sum} = 10 \log 10 \left(\sum_{i=1}^{27} 10^{\left(\frac{I_i}{10} \right)} \right)$$

Der im Exponenten stehende Ausdruck I_n ist gegeben durch

$$I_n = w_{fc_n} (L_n - LT_n)$$

Der Index $n = 1, 2, \dots, 27$ ist der Laufindex für die 27 Terzbänder von 25 Hz – 10 kHz (Mittelfrequenzen).

w_{fc_n} ist ein Wichtungsfaktor (siehe Bild 1) für das Terzband n mit der Mittenfrequenz fc_n . Er nimmt folgende Werte an:

$$n = 1, fc_1 = 25 \text{ Hz} \quad w_{fc_1} = 1.05$$

$$n = 2, fc_2 = 31.5 \text{ Hz} \quad w_{fc_2} = 1.10$$

$$n = 3, fc_3 = 40 \text{ Hz} \quad w_{fc_3} = 1.18$$

und für

$$n \geq 4, fc_n \geq 50 \text{ Hz}$$

$$w_{fc_n} = 2.13 * \exp(-0.151 * n).$$

L_n ist der Pegel des n -ten Terzbandes und LT_n der Pegel der Hörschwelle bei der jeweiligen Bandmittenfrequenz fc_n .

Für die Berechnung der Booming-Indices ist ein MATLAB-Programm entwickelt worden. Es basiert auf dem Quellcode in HP-Basic, den Hatano und Hashimoto freundlicherweise zur Verfügung gestellt haben. Zur Berechnung der Lautheiten wurde das in der DIN 54631 enthaltene Lautheitsprogramm ebenfalls in MATLAB übertragen. Die Booming-Indices sind aus den gemittelten Terzpegelspektren der (konstanten) Autoinnengeräusche berechnet worden.

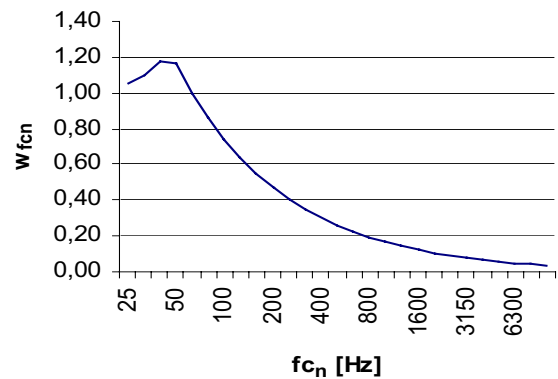


Bild 1: Wichtungsfaktor w_{fc_n} als Funktion der Mittenfrequenz fc_n der Terz n [1]

Die Korrelationskoeffizienten in Tabelle 2 zeigen, dass der Booming-Index die subjektiv gemessene Dröhnstärke etwa gleich gut beschreibt wie der A-bewertete Schalldruckpegel für die hier gemessenen Geräusche.

	Booming Index
Tester 1	0,36
Tester 2	0,56

Tabelle 2: Korrelationskoeffizienten zwischen den Kategorialurteilen zweier Subjektivtester über die Dröhnstärke und dem Booming-Index nach Hatano und Hashimoto[1] (85 Geräusche).

In einem anderen Satz von nur 23 Geräuschen war der Booming-Index besser als der A-bewertete Schalldruckpegel geeignet, um die subjektiv beurteilte Dröhnstärke zu beschreiben. Bei den geringen Unterschieden der Dröhnstärke spielt offenbar die Geräuschauswahl eine wichtige Rolle.

Bemerkenswert ist, dass die Unterschiede zwischen beiden Testern ähnlich groß sind, wie zwischen Tester 2 und den Pegelmaßen bzw. dem Booming-Index. Auch dies weist auf geringe Unterschiede bei der Dröhnstärke hin, die nicht leicht zu beurteilen sind.

Literatur

[1] Hatano, S.; Hashimoto, T.: Booming Index as a Measure for Evaluating Booming Sensations. *internoise 2000* (invited paper), Nice (2000) CD

[2] DIN 45631, Ausgabe: 1991-03 Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum; Verfahren nach E. Zwicker