Berechnung der Geräuschqualität des Außenstandgeräusches Diesel angetriebener Fahrzeuge

Ch. Patsouras* [1)] , H. Fastl*, D. Patsouras** [1)], K. Pfaffelhuber**
** AG Technische Akustik, MMK, TU München*
*** FAIST Automotive GmbH, Krumbach*
[1)] jetzt AKsys Akustikzentrum Worms

Einleitung

Im folgenden wird für den Fall des Außenstandgeräusches Diesel angetriebener Fahrzeuge ein Modell zur Berechnung der Geräuschqualität desselben vorgestellt. Die Modellierung erfolgte an acht Fahrzeuggeräuschen, darunter ein Benzinfahrzeug, vier Dieselfahrzeuge unterschiedlicher Hersteller und ein Dieselfahrzeug mit drei unterschiedlichen Motoreinstellungen.

Frühere Untersuchungen ([1], [2], [3]) zeigten, daß insbesondere zwei Wahrnehmungsgrößen für die Bildung des Urteils der Geräuschqualität ausschlaggebend sind: neben der *Lautheit* (N) der Geräusche weist insbesondere der Diesel typische Charakter der Fahrzeuggeräusche, hier *Dieselhaftigkeit* (D) genannt, eine hohe Korrelation zur Geräuschqualität auf.

Dementsprechend werden im folgenden die Einflüsse dieser beiden Größen auf die Geräuschqualität näher betrachtet. Die einzelnen Einflußgrößen, welche sich anhand der Funktionen *f(N)* und *f(D)* darstellen, werden wie bei Suchowerskyi [4] verknüpft:

$$GQ(N,D) = \sqrt{f(N)^2 + f(D)^2} \quad . \qquad \text{(Gl. 1)}$$

Der funktionale Zusammenhang zwischen jeweiliger Einflußgröße und Geräuschqualität *f(N)* bzw. *f(D)* wird wie bei Aures [5] zunächst nur grob ermittelt, um dann anhand der resultierenden mathematischen Beziehung durch Optimierung der Parameter den genauen Zusammenhang zu bestimmen.

Einfluß der Lautheit

Abbildung 1 zeigt den funktionalen Zusammenhang der acht Signale zwischen den beiden im Hörversuch gemessenen Empfindungen Geräuschqualität (GQ) und Lautheit (N). Dieser läßt sich durch die in Abbildung 1 eingezeichnete und in Gleichung 2 dargestellte Exponentialfunktion gut annähern.

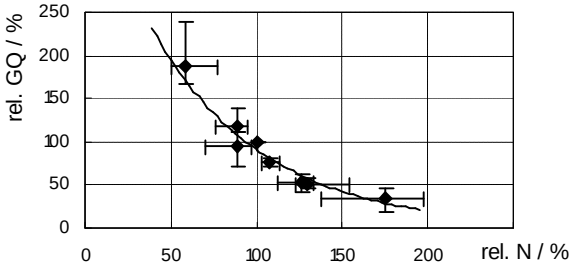

Abbildung 1: Im Hörversuch gemessene relative Empfindungsgrößen Geräuschqualität gegenüber Lautheit .

$$f(N) = GQ(N) = a_{GQ} \cdot e^{-b_{GQ} \cdot N} \quad , \qquad \text{(Gl. 2)}$$

mit a_{GQ} und b_{QG} als zu optimierende Parameter

Zur Beschreibung der im Hörversuch gemessenen Lautheit dient der physikalisch mit einem Lautheitsanalysator meßbare Wert der Perzentillautheit N_5.

Einfluß des Diesel typischen Charakters

Zur Ermittlung des Einflusses der Dieselhaftigkeit auf die Geräuschqualität ist es möglich diesen unabhängig von dem der Lautheit zu erfassen, indem die acht Geräusche bezüglich ihrer Lautheit einander angeglichen werden. Hierzu wurden die Perzentillautheiten N_5 aller acht Geräusche durch Pegelabsenkungen bis zu 5,5 dB und Pegelanhebungen bis zu 4,3 dB einander angeglichen. Abbildung 2 zeigt den im Hörversuch ermittelten Zusammenhang dieser Geräusche zwischen Geräuschqualität und Dieselhaftigkeit.

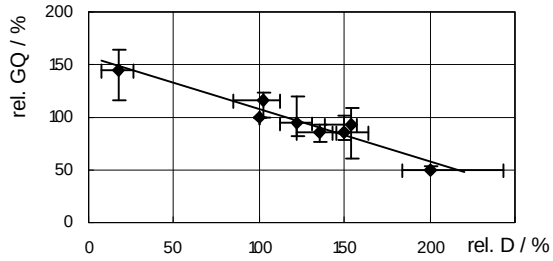

Abbildung 2: Im Hörversuch gemessene relative Empfindungsgrößen Geräuschqualität gegenüber Dieselhaftigkeit.

Der funktionale Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen läßt sich anhand der in Abbildung 2 eingezeichneten Geraden, entsprechend Gleichung 3, beschreiben:

$$f(D) = GQ(D) = c_{GQ} \cdot D - d_{GQ} \quad , \qquad \text{(Gl. 3)}$$

wiederum mit den zu optimierenden Parametern c_{GQ} und d_{GQ}.

Um zur Bestimmung der Geräuschqualität die in Gleichung 3 implizierte Größe der Dieselhaftigkeit nicht über Hörversuche ermitteln zu müssen, ist die Möglichkeit der Berechnung derselben wünschenswert. Wie sich bereits in früheren Untersuchungen [1] andeutete, scheint hierbei die Zeitstruktur der Geräusche eine wichtige Rolle zu spielen. In [6] wird der Zusammenhang zwischen statistischen Parametern aus dem Zeitsignal und der empfundenen Dieselhaftigkeit der hier untersuchten acht Geräusche näher erläutert. Wird die Dieselhaftigkeit anhand dieser Parameter modelliert, so können die im Hörversuch beurteilten Werte entsprechend Abbildung 3 mit einer Rangkorrelation von 0,88 nachgebildet werden.

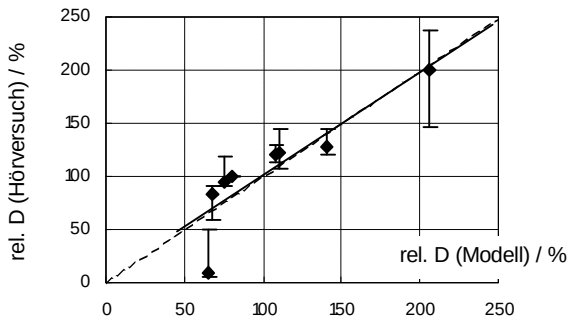

Abbildung 3: Im Hörversuch beurteilte gegenüber berechneter Dieselhaftigkeit (D) der acht Signale.

Verknüpfung der Einflußgrößen

Zur Modellierung der Geräuschqualität werden nun die funktionalen Zusammenhänge zwischen Lautheit und Geräuschqualität (Gl. 2) bzw. Dieselhaftigkeit und Geräuschqualität (Gl. 3) verknüpft und die Parameter a_{GQ} bis d_{QG} in solcher Art und Weise numerisch variiert, daß eine optimale Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen aus dem Hörversuch und den berechneten Werten erzielt wird:

$$GQ(N,D) = \sqrt{\left(a_{GQ} \cdot e^{-b_{GQ} \cdot N}\right)^2 + \left(c_{GQ} \cdot D - d_{GQ}\right)^2} \quad , \quad \text{(Gl. 4)}$$

mit den optimierten Parametern a_{GQ}=717, b_{GQ}=0,023, c_{GQ}=0,175 und d_{GQ}=7,6.

In Abbildung 4 sind die im Hörversuch ermittelten Werte gegenüber den berechneten Geräuschqualitäten aufgetragen. Die Korrelation zwischen den im Hörversuch gemessenen und mit dem Modell berechneten Geräuschqualitäten erweist sich mit einem Rangkorrelationskoeffizienten von 0,98 als sehr hoch.

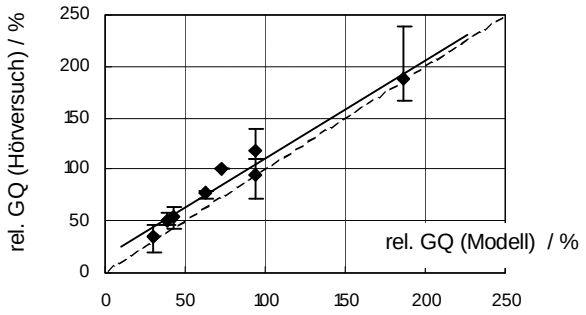

Abbildung 4: Im Hörversuch beurteilte gegenüber berechneter Geräuschqualität (GQ) der acht Signale.

Verifikation

Im folgenden wird der funktionale Zusammenhang zur Bestimmung der Geräuschqualität Diesel angetriebener Fahrzeuge an zwanzig weiteren Außenstandgeräuschen Diesel angetriebener Fahrzeuge verifiziert. Die Berechnung erfolgt hierbei nach Gleichung 4, wobei die berechneten Größen der Perzentillautheit N_5 und der statistischen Parameter aus dem Zeitsignal [6] einfließen. Abbildung 4 zeigt den Zusammenhang der im Hörversuch beurteilten relativen Geräuschqualitäten (Mediane) und der mit dem Modell berechneten Werte. Es resultiert ein Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman von 0,74.

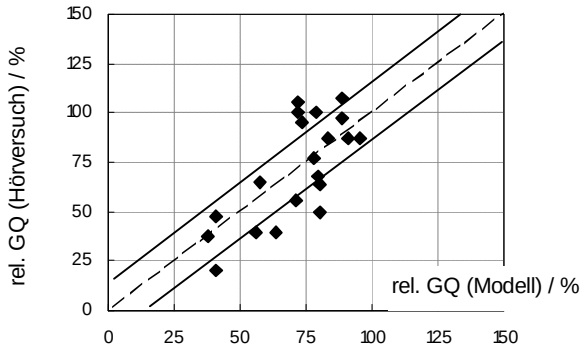

Abbildung 4: Im Hörversuch gemessene gegenüber berechneten Werten der Geräuschqualität (GQ) für die zwanzig weiteren Fahrzeuggeräusche.

Um die Güte der Prognose der Geräuschqualität durch das Modell zu beschreiben, soll der Mittelwert aus den interindividuellen Schwankungen als Maß dienen.

Für die zwanzig Fahrzeuggeräusche berechnet sich hierfür ein Wert von ± 14 %. Kommen die berechneten Werte der Geräuschqualität innerhalb dieser Werte zu liegen, so kann von einer Genauigkeit der Prognose im Rahmen der interindividuellen Schwankungen der subjektiven Urteile gesprochen werden. In Abbildung 4 ist dementsprechend ein „Toleranzband" von ± 14 % eingetragen. Bei zwölf der zwanzig Fahrzeuggeräusche, also in 60 % der Fälle ist es somit möglich die Geräuschqualität im Einklang mit subjektiven Urteilen zu prognostizieren.

Zusammenfassung

Basierend auf Resultaten aus früheren Untersuchungen bezüglich die Geräuschqualität des Außenstandgeräusches Diesel angetriebener Fahrzeuge, fließen die Größen *Lautheit* und *Dieselhaftigkeit* in ein Berechnungsmodell für die *Geräuschqualität* ein. In Form eines City-Block-Modells werden Lautheit und Dieselhaftigkeit miteinander verknüpft, um so die subjektiven Urteile optimal nachzubilden. Dies gelingt mit einer Rangkorrelation von 0,98. Während die Einflußgröße der Lautheit durch die Perzentillautheit N_5 nachgebildet wird, kann die Dieselhaftigkeit mit einer Rangkorrelation von 0,88 anhand statistischer Parameter aus dem Zeitsignal der Geräusche modelliert werden [6].

Die Funktionsfähigkeit dieser Modellierung wurde an zwanzig weiteren Außenstandgeräuschen Diesel angetriebener Fahrzeuge verfiziert. Hierbei resultiert eine Rangkorrelation zwischen berechneten und im Hörversuch gemessenen Werten von 0,74. Als Maß für die Güte der Prognose wird ein „Toleranzband" um jene Werte gelegt, welche bei optimaler Vorhersage der subjektiven Urteile resultieren würden. Die Breite dieses Bandes berechnet sich aus dem Mittelwert der interindividuellen Schwankungen. Innerhalb dieser Toleranz, welche für diesen Fall ± 14 % beträgt, kommen 60 % der untersuchten Geräusche zu liegen.

Referenzen

[1] Patsouras, Ch., Fastl, H., Patsouras, D., Pfaffelhuber, K.: How far is the sound quality of a diesel powered car away from that of a gasoline powered one? Proc. FORUM ACUSTICUM '02 Sevilla 2002, CD-ROM (2002).

[2] Patsouras, Ch., Fastl, H., Patsouras, D., Pfaffelhuber, K.: Subjective evaluation of loudness reduction and sound quality ratings obtained with simulations of acoustic materials for noise control. Proc. Euronoise CD-ROM, Patras (2001).

[3] Patsouras, Ch., Fastl, H., Patsouras, D., Pfaffelhuber, K.: Psycho-acoustic sensation magnitudes and sound quality ratings of upper middle class cars' idling noise. ICA CD-ROM, Rome (2001).

[4] Suchowerskyi, W.: Beurteilung von Unterschieden zwischen aufeinanderfolgenden Schallen. ACUSTICA 38, 131-147 (1977).

[5] Aures, W.: Berechnungsverfahren für den sensorischen Wohlklang beliebiger Schallsignale. ACUSTICA 59, 130-141 (1985).

[6] Patsouras, Ch., Fastl, H., Patsouras, D., Pfaffelhuber, K.: Calculating sound quality of outdoor idling noise of diesel powered cars. In: Proc. Euronoise 2003 Naples (im Druck).