

# Zeitlich kontinuierliche Bewertung der Tonhaltigkeit instationärer Geräusche

Jesko L. Verhey<sup>1</sup>, Arne Oetjen<sup>2</sup>, Reinhard Weber<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Abteilung für Experimentelle Audiologie, Otto-von-Guericke-Universität, Leipziger Str. 44, 39120 Magdeburg, E-Mail: jesko.verhey@med.ovgu.de

<sup>2</sup> Arbeitsgruppe Akustik, Carl von Ossietzky Universität, 26111 Oldenburg

## Einleitung

Viele technische Schalle sind tonhaltig, d.h. sie enthalten tonale Komponenten, die üblicherweise in einem rauschhaften Hintergrund eingebettet sind. Mit dem derzeitigen Trend zu alternativen Fahrzeugantrieben (Hybrid, rein elektrisch) und die einhergehende Forderung nach Warnsignalen bei niedrigen Geschwindigkeiten könnte die Anzahl tonhaltiger Geräusche im Alltag noch zunehmen. Tonhaltige Geräusche werden im Allgemeinen als störender empfunden als Geräusche ohne tonale Komponenten. Zur Abschätzung dieser erhöhten Störung kann für stationäre Signale die DIN 45681 [1] herangezogen werden. Für instationäre Signale ist die DIN jedoch nur in engen Grenzen anwendbar. Einen Zugang zur Tonhaltigkeit dieser Geräusche kann eine zeitlich-kontinuierliche subjektive Bewertung bezüglich dieser Empfindung liefern. Der vorliegende Beitrag stellt eine zeitlich kontinuierliche Bewertung von synthetischen Schallen und Fahrzeuggeräuschen auf einer kategorialen Skala mit einer hierfür entwickelten Oberfläche vor. Die zeitlich kontinuierlichen Tonhaltigkeitsbewertungen werden mit subjektiven Gesamtbewertungen der Tonhaltigkeit einzelner Abschnitte der Geräusche und Vorhersagen eines kommerziell erhältlichen Berechnungsverfahrens verglichen.

## Methode

Die Messungen wurden in einer schallgedämpften Kabine durch geführt. Die Signalgenerierung und Kontrolle des Experimentes über die selbst entwickelte Benutzeroberfläche erfolgte über MATLAB. Die Signale wurden in analoge Signale gewandelt und über Kopfhörer (Sennheiser HD650) dargeboten. Sowohl für die zeitlich kontinuierliche als auch die Gesamtbewertung von Ausschnitten der Signalé wurde der folgende Messablauf gewählt: Mit Hilfe einer separaten Oberfläche konnten die Versuchspersonen zunächst jeweils fünf Geräusche vorspielen, die in die beiden Begriffe Tonhöhe und Tonhaltigkeit einführten. Diese *Einführung* wurde in den Messablauf mit aufgenommen, da es sich in Vormessungen gezeigt hat, dass viele Versuchspersonen Schwierigkeiten bei der Unterscheidung dieser Begriffe hatten. Hieran schließt sich eine *Orientierungsphase* an, bei der die Versuchspersonen alle in der anschließenden *Messphase* zu bewertenden Schalle in zufälliger Reihenfolge einmal dargeboten wurden. Als Schalle wurde Fahrzeuggeräusche aus dem Ringversuch des Fachausschusses Fahrzeugakustik (Letens, 2008, [2]) als auch künstliche Geräusche verwendet. Die genaue Auswahl der Schalle, die Oberfläche bei der anschließenden

Messphase und die teilnehmenden Versuchspersonen unterschieden sich zwischen den beiden Messungen.

## Zeitlich kontinuierliche Bewertung

Die in der Messphase verwendete Oberfläche ist in Abbildung 1 dargestellt. Auf der Oberfläche befindet sich eine Liste der zu bewertenden Schalle (oben Mitte), eine Instruktion zum Versuch (oben rechts), zwei Schaltflächen - „Abspielen“ und „Abspielen und Bewerten“ – oben links unterhalb der Ampel und eine Bewertungsfläche (unten), an denen die Kategorien „sehr“, „ziemlich“, „mittel“, „wenig“, und „nicht“ tonhaltig markiert sind. Die Bewertung beginnt mit dem Umschalten der Ampel von Rot über Gelb auf Grün. Danach bewegt sich während der Präsentation ein Zeiger in dem weissen Feld unten von rechts nach links, der eine Spur der Bewertungen hinter sich zieht. Während der Präsentation des Signals kann die Versuchsperson so die Tonhaltigkeit zeitlich dynamisch bewerten. Mehrfachbewertungen sind möglich. Die vorherigen Bewertungskurven sind in diesem Fall auf der Oberfläche als gestrichelte Linien dargestellt. Die letzte Bewertung wird als die endgültige Bewertungskurve für dieses Signal von der Versuchsperson gewertet. Die Reihenfolge der Signale wird von der Versuchsperson selbst gewählt.

Es wurden 18 Geräusche verwendet: Die 13 Geräusche, aus dem Ringversuch der FAFA und 5 artifizielle Geräusche. An der Messung nahmen 25 Normalhörende (6w, 19m) im Alter von 21-33 Jahren teil.

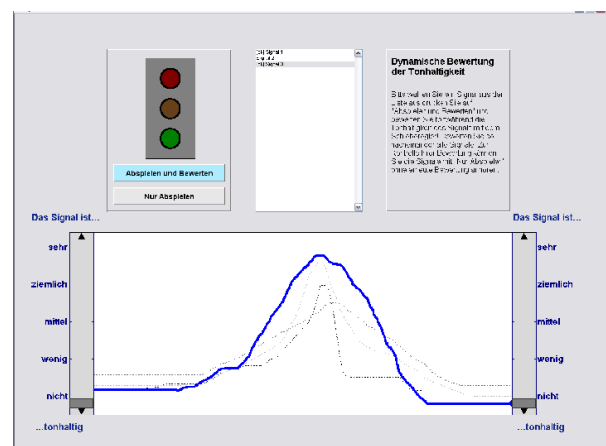


Abbildung 1: Benutzeroberfläche für die kontinuierliche Bewertung der Tonhaltigkeit.

## Gesamtbewertung

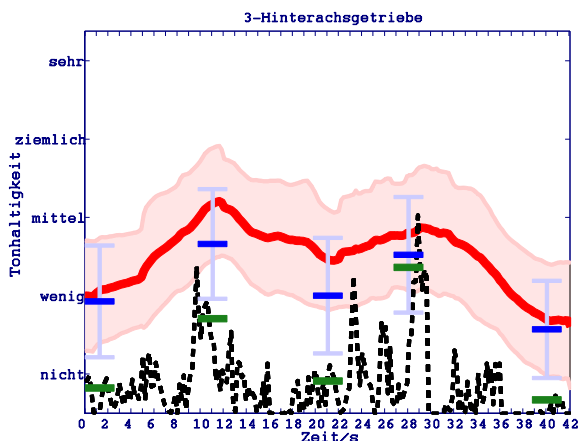
Der Messoberfläche für die Gesamtbewertung von Abschnitten unterscheidet sich nur in der Spur, die der Zeiger auf der weissen Fläche hinterlässt. Bei der

Gesamtbewertung wird die Spur mit dem Zeiger verschoben, d.h. es wird eine horizontale Linie gezeichnet. Die Bewertung am Ende des Signals wird als Gesamtbewertung genutzt. Wie bei der dynamischen Bewertung sind Mehrfachbewertungen möglich.

An dem Versuch nahmen 20 Normalhörende (9 w, 11 m) im Alter von 23-32 Jahren teil. Es wurden 22 2s Geräusche verwendet, davon waren 19 Ausschnitte aus den Geräuschen des Ringversuches, drei waren künstliche Gemische aus Rauschen und Ton mit einem konstanten Signal-Rausch-Verhältnis.

## Ergebnisse

Die kontinuierliche Bewertung der (Fahrzeug-)Geräusche des Ringversuchs zeigen deutliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf der Tonhaltigkeit. Die interindividuelle Standardabweichung ist hierbei nicht größer als eine Kategorie. Exemplarisch zeigt Abbildung 2 die kontinuierliche Bewertung des Geräusches 3 (Hinterachsgetriebe) mit einer roten durchgezogenen Linie. Der rosa unterlegte Bereich gibt den Mittel +/- eine Standardabweichung an. Die blauen horizontalen Balken zeigen die Ergebnisse der Gesamtbewertung von fünf Abschnitten. Man erkennt, dass die Gesamtbewertungen der Abschnitte unterhalb der kontinuierlichen Bewertung liegen. Dieses ist für die Mehr der bewerteten Schalle der Fall. Für ein sehr dynamisches Fahrzeuggeräusch mit einer deutlichen Tonhöhenänderung (Geräusch 6) liegen die Gesamtbewertungen der Einzelabschnitte jedoch deutlich oberhalb der kontinuierlichen Bewertung. Insgesamt korrelieren die Gesamtbewertungen von Abschnitten mit den korrespondierenden kontinuierlichen Bewertungen mit einem Korrelationskoeffizient von 0.67 für alle Geräusche aus dem Ringversuch. Für das Geräusch 6 aus der Analyse herausgelassen erhöht sich die Korrelation auf 0.83.



**Abbildung 2:** Bewertungen (kontinuierlich (rote Linie) und Gesamtbewertung (blaue Balken) von Abschnitten für das Geräusch 3 des Ringversuchs Tonhaltigkeit des Fachausschusses Fahrzeugakustik. Die gestrichelten Linie und die grünen horizontale Linien stellen Modellvorhersagen dar.

Neben den gemessenen Bewertungen wurde die Tonhaltigkeit auch mit einem kommerziell erhältlichen Verfahren nach DIN 45681 berechnet. Die Ergebnisse dieser

Bewertung sind für das Geräusch 3 mit einem kurzen Analysefenster mit einer gestrichelten Linie dargestellt. Die grüne Linie gibt die berechneten Gesamtbewertungen für den Abschnitt an. Der Übersichtlichkeit halber sind die Werte der Berechnung so skaliert, dass sie unterhalb der gemessenen Werte liegen. Die Korrelationskoeffizient mit den Gesamtbewertungen liegt bei nur 0.54. Beim Vergleich mit den dynamischen Bewertungen liegt die Korrelation bei 0.69, wobei hier entgegen den Messwerten das Geräusch 6 nicht auffällig ist.

## Diskussion

Die hier vorgestellte Oberfläche ermöglicht eine kontinuierliche Bewertung von Umweltgeräuschen bezüglich einer Empfindungsgröße am Beispiel der Tonhaltigkeit. Der eigentlichen Messung musste eine Einführung vorangestellt werden, um in den Begriff Tonhaltigkeit einzuführen. Obwohl die Wahrnehmung von tonalen Komponenten von besonderer Bedeutung für die Bewertung von Umweltschallen spielt ist die Empfindung Tonhaltigkeit nicht im allgemeinen Sprachgebrauch zu finden. Neuere Messungen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung der Pegel gleicher Tonhaltigkeit und der Pegel gleicher Lautheit des tonalen Anteils [3]. Eventuell lässt sich daher zukünftig die Tonhaltigkeit durch die Abfrage der Lautheit des tonalen Anteils messen und so die Einführung vor der Messung erleichtern.

Der Vergleich mit den Gesamtbewertungen von Abschnitten zeigt für die meisten Geräusche leicht höhere Werte bei der kontinuierlichen Bewertung. Dieses sollte beim Vergleich mit Modellvorhersagen berücksichtigt werden, wenn die diese auf die Analyse von Abschnitten beschränkt wird.

## Zusammenfassung

Es wurde eine Oberfläche zur kontinuierlichen Bewertung von Umweltschallen bezüglich einer Empfindungsgröße (hier die Tonhaltigkeit) vorgestellt. Der Vergleich von den mit der Oberfläche erhobenen zeitlich kontinuierlichen Bewertungen und Gesamtbeurteilung einzelner Abschnitte bezüglich der Tonhaltigkeit zeigt für die Mehrheit der getesteten Geräusche eine hohe Korrelation. Die Oberfläche bietet somit eine gute Grundlage zur Entwicklung von Berechnungsverfahren, die über eine Gesamtbeurteilung der Schalle hinausgehen.

## Literatur

- [1] DIN 45681: Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschmissionen, DIN, 2005
- [2] Letens, U.: Ringversuch zur „Tonhaltigkeit“ im DEGA-Fachausschuss für Fahrzeugakustik Workshop des DEGA-FAFA in Herzogenrath, 2008
- [3] Verhey, J.L., Heise, S.J.: Suprathreshold perception of tonal components in noise under conditions of masking release, accepted for publication in Acta Acustica united with Acustica, (2012)