

## Qualitätsbeurteilung von Motorstart- und Leerlaufgeräuschen

M. Ercan Altinsoy, Robert Freitag

*Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 18, 01062 Dresden  
E-Mail: ercan.altinsoy@tu-dresden.de*

### Einleitung

Welche Gesamtbeurteilung bildet der Mensch für Signale die sich zeitlich verändern? Wie gewichten wir einzelne Bereiche bei der Gesamtbeurteilung, wenn das Signal zwei verschiedene, zeitlich klar von einander trennbare, Bereiche besitzt?

Fahrzeuge weisen unterschiedliche, zeitlich stationäre und zeitlich instationäre, Geräusche auf. Die Betriebszustände Motorstart (instationär) und Leerlauf (quasi-stationär) sind zwei Beispiele dafür. Aufgrund ihres funktionalen Zusammenhangs, hören wir beide Geräusche oft unmittelbar hintereinander.

Welche Rolle spielen die Eigenschaften der Betriebszustandsgeräusche „Motorstart“ und „Leerlauf“ bei der Entscheidung über ihre Qualität, wenn wir diese Geräusche gemeinsam hören?

Motorstart ist einer der interessantesten Betriebszustände mit einem sehr charakteristischen instationären Verhalten. Während des Motorstartvorgangs, können die Anlasser (Starter), Ansaug- und Verbrennungsmotorgeräusche mit unterschiedlichen zeitlichen Verläufen gehört werden. Diese Geräusche und ihre zeitlichen Abläufe können dem Fahrer und den Insassen verschiedene Informationen, wie Hochwertigkeit, Leistung (ggf. Leistungsschwäche), Reparaturbedarf, Sportlichkeit usw., vermitteln. Gleichzeitig besitzt der quasistationäre Betriebszustand „Leerlauf“ charakteristische Geräuschmerkmale, die direkt mit dem Verbrennungsmotor oder den Nebenaggregaten zu tun haben. Während Dieselnageln, brummen und rattern einige Hinweise bezüglich des Verbrennungsmotors an den Fahrer geben, liefern klappernde oder rasselnde Geräusche Informationen über das Getriebe. Weil der Leerlauf allerdings ein quasi-stationärer Betriebszustand ist, ist es schwierig aus dem Leerlauf-Geräusch Rückschlüsse auf die Sportlichkeit oder die Leistungsstärke zu ziehen.

Die Qualitätsbeurteilung instationärer Signale ist ein Themenschwerpunkt für Produktentwickler, da viele Produkte instationäre Betriebszustände besitzen. Bisherige Untersuchungen konzentrieren sich hauptsächlich auf die Lautheitsbeurteilung von instationären Signalen und die Entwicklung geeigneter Messmethoden zur Beurteilung [1,2,3,4,5]. Während einige Untersuchungen zeigen, dass die Gesamtbeurteilung (Lautheit) eines zeitlich komplexen Signals ein einfacher Durchschnittswert der kontinuierlichen Bewertung ist [1,2,3], zeigen andere Untersuchungen, dass die Gesamtbeurteilung mit dem einfachen Durchschnittswert der kontinuierlichen Bewertung nicht übereinstimmt [4,5]. Wenn wir die Hypothese von Milan Kundera über unser Gedächtnis berücksichtigen, dass unser Gedächtnis keine Film- sondern nur Momentauf-

nahmen macht [6], können wir vermuten, dass die zeitlichen Extreme bei unseren Erinnerungen - aber auch bei den Beurteilungen - eine wichtige Rolle spielen.

### Experimente

Vor oben genanntem Hintergrund stehen folgende Fragen im Raum: Was sind die relativen Beiträge von einzelnen Geräuschen bei dem Gesamtqualitätsurteil, wenn die Fahrer diese beiden Geräusche hintereinander hören und ein Gesamtqualitätsurteil bilden? Ist die Bewertung eine zeitliche Integration? Spielen „Anfang“, „Ende“ oder „extreme Anteile“ der Signale eine wesentliche Rolle bei der Beurteilung?

Um diese Fragen zu beantworten und dies analytisch zu untersuchen, wurden Tests mit Versuchspersonen durchgeführt. In diesen Experimenten wurden die Betriebszustände sowohl einzeln, als auch zusammen dargeboten und bewertet.

Zwanzig Versuchspersonen (zwölf männliche und acht weibliche) mit Normalhörfähigkeit nahmen an diesen Experimenten teil. Sie waren 20-47 Jahre alt (Mittelwert: 25 Jahre). Alle Probanden fahren täglich Auto.

Als Stimuli wurden Geräusche von zwölf Fahrzeugen ausgewählt, die repräsentativ für die Fahrzeugklassen stehen. Hierbei handelt es sich um die Kleinwagen-, Mittel-, Ober- und Sportwagenklasse. Die Motorart- und die Baureihenvariationen wurden bei der Auswahl berücksichtigt.

Für Tests mit Laien sind zur Beschreibung von Wahrnehmungsereignissen Begriffe aus dem Alltag notwendig. In der ersten Versuchsreihe wurden die Stimuli einzeln dargeboten und die Versuchspersonen schilderten in einem freien Interview sämtliche auditiv wahrgenommenen Eindrücke. Als Frage wurde gestellt: „Was gefällt Ihnen bei diesen Geräuschen? und was nicht?“. Dabei konnten 12 verschiedene Begriffe zur Beschreibung gefunden werden: brummend, laut, laufruhig, vibrierend, klappernd, röhrend, hoch, sportlich, turbinenartig, Diesel, regelmäßig und ratternd.

Die Stimuli wurden in zufälliger Folge für jede VP neu präsentiert. Die Versuchspersonen hatten die Frage zu beantworten: „Wie intensiv ist die Ausprägung folgender Eigenschaften?“. Die Bewertungsoberflächen wurden mit Matlab-GUI implementiert. Bei der Befragung nach der Ausprägung eines Attributes wurde eine quasi-kontinuierliche Rohmann-Skala [7] benutzt (siehe Abbildung 1). Die Eigenschaftsbewertungen mit ihren Ausprägungsprozentwerten wurden am Ende des Versuches in einer Datei abgelegt.

Wie intensiv ist die Ausprägung folgender Eigenschaft?

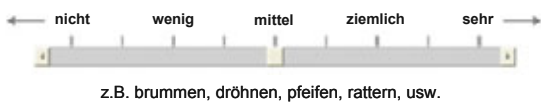


Abbildung 1: Bewertungsoberfläche zur Befragung nach einer Eigenschaft.

### Ergebnisse

Die prozentuale Darstellungen der Bewertungen bezüglich der Ausprägung der Eigenschaft „ratternd“ für die Signale, die in dem Experiment Teil 1 (nur Motorstartgeräusche), Teil 2 (nur Leerlaufgeräusche) und Teil 3 (Motorstart- und Leerlaufgeräusche zusammen) dargeboten wurden, werden in Abbildung 2 gezeigt. In der Abbildung ist gut zu erkennen, dass der Betriebszustand „Motorstart“ bei einigen Stimulikuminationen das Gesamturteil dominiert. Bei einigen anderen Stimulikuminationen dominiert der Betriebszustand „Leerlauf“ das Gesamturteil. Allerdings gibt es auch die Stimulikuminationen, bei denen verschiedene Mischprinzipien, wie additive (im grau markierten Bereich), komplementäre oder subtraktive zu finden sind.

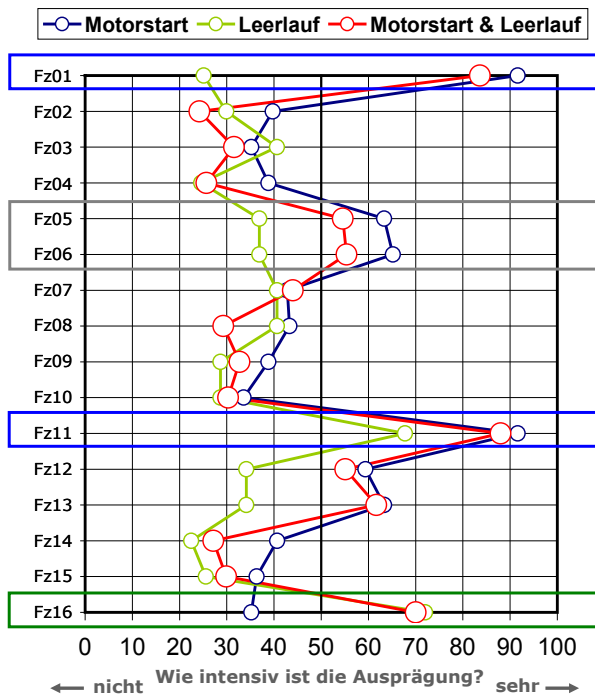


Abbildung 2: Ausprägung der Eigenschaft „ratternd“ für unterschiedliche Stimulikuminationen.

Die Ergebnisse der anderen Eigenschaften zeigen ähnliche Tendenzen wie die Ergebnisse der Eigenschaft „ratternd“. Daher können folgende Bewertungsregeln basierend auf die Ergebnisse zusammengefasst werden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Bewertungsregeln

Bewertung Motorstart	Bewertung Leerlauf	Gesamturteil
> 70 %	15 % < < 70 %	Dominanz* – Motorstart
15 % < < 70 %	> 70 %	Dominanz – Leerlauf
> 70 %	< 15 %	Dominanz – Motorstart
< 70 %	< 70 %	additiv, komplementär**, supplementär***
70% <	70% <	redundant

\* Dominanz: Ein Betriebszustand ist dominant, \*\* Eine leichte höhere Bewertung für den Betriebszustand „Leerlauf“, \*\*\* Eine leicht niedrigere Bewertung für den Betriebszustand „Leerlauf“

### Zusammenfassung

Wenn die Signale klar trennbare zwei unterschiedlich zeitliche Bereiche besitzen, ist die Bewertung nicht a priori eine zeitliche Integration. Die Gewichtung der Teilsignale ist abhängig von der Reihenfolge (zeitlich) und Charakter (besondere individuelle Merkmale).

### Literatur

- [1] Meunier S. & Marchioni, A.: Loudness of sounds with temporal variable intensity. In Forum Acusticum 2002- European and Japanese Symposium, 2002
- [2] Namba, S., Kato, T., Kuwano, S.: Long-term evaluate on of the loudness of train noise in laboratory situation. – In: 15<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. M. Newman (ed.). Trondheim, Norway, 215–218. 1995
- [3] Kuwano, S. & Namba S.: On the loudness of road traffic noise of longer duration (20 min) in relation to instantaneous judgment. J. Acoust. Soc. Am. 64 127–128. 1978
- [4] Susini, P., McAdams, S. & Smith, B. K.: Global and continuous loudness estimation of time-varying levels,” Acta Acustica, 88, 2002
- [5] Kuwano, S., Namba, S., Kato T. & Hellbrück, J.: Memory of the Loudness of Sounds in Relation to Overall Impression. Acoustical Science and Technology, 2003
- [6] Kundera, M.: Die Unsterblichkeit. Fischer Verlag. 2009
- [7] Rohrmann, B.: Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung. Zeitschrift für Sozialpsychologie 9, 1978