Klopfgeräusche als Qualitätsindiz von Haushaltsgeräten

M. Ercan Altinsoy

Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, TU Dresden, 01062, Dresden,
E-Mail: ercan.altinsoy@tu-dresden.de

Einleitung

In der Fahrzeugindustrie ist seit langem bekannt, dass das erste Kontakterlebnis vom potenziellen Kunden mit dem Fahrzeug mit dem Türöffnen und –schließen im Autohaus erfolgt. Aus diesem Grund werden neben den Betriebsgeräuschen auch die Türöffnungs- und Türschließgeräusche sorgfältig gestaltet, damit ein Gefühl von Sicherheit und Qualität übermittelt wird.

Im Segment der Haushaltsgeräte gewinnt die Optimierung des Betriebsgeräusches immer mehr an Bedeutung, da diese alltäglichen Geräusche unsere Lebens-qualität negativ, aber auch positiv beeinflussen können. Beim Kauf solcher Geräten im Laden spielt inzwischen der vom Hersteller angegebene Schallleistungspegel eine Rolle, der visuelle Eindruck und weitere Herstellerangaben sind oft jedoch von größerer Bedeutung für die Kaufentscheidung. Eine weitere gängige Praxis des Kunden im Laden ist es, an die Seitenwände des Gerätes zu klopfen. Das Klopfgeräusch liefert wichtige Informationen über die Qualität, die Hochwertigkeit und die Solidität. Der Eindruck vom Geräusch wird dabei natürlich mit dem taktilen/ kinästhetischen Eindruck kombiniert.

Ziel dieser Arbeit ist die Charakterisierung und die Klassifizierung von Klopfgeräuschen aus dem Blickwinkel der Nutzer. Dabei stellt sich die Frage, was Probanden unter einem optimalen Klopfgeräusch verstehen. In dieser Arbeit werden 37 Klopfgeräusche (aufgenommen und synthetisiert) mit einem semantischen Differential beurteilt. Zur Bestimmung der Wahrnehmungsdimensionen wurde eine Faktorenanalyse durchgeführt.

Entstehung des Klopfgeräusches und Beschreibung

Die Seitenwände eines Haushaltsgerätes (z.B. einer Waschmaschine oder eines Trockners) können als eine Rechteckplatte betrachtet werden. Das beim Klopfen an diese Seitenwände entstehende Geräusch hängt von den Biegeschwingungseigenschaften der Platte ab. Abbildung 1 zeigt den typischen Verlauf des Schalldrucksignales eines Klopfgeräusches und dessen Spektrogramm. Dieses Geräusch ist impulsartig und enthält sehr markante Frequenzanteile. Aus diesem Grund kann das Geräusch mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$x(t) = A_1 \cdot e^{-\delta_1 \cdot t} \cdot \sin \omega_1 + A_2 \cdot e^{-\delta_2 \cdot t} \cdot \sin \omega_2 + \ \ldots$$

$$\ldots + A_n \cdot e^{-\delta_n \cdot t} \cdot \sin \omega_n \qquad (1)$$

In der Gleichung bezeichnet A die Amplitude einzelner Sinuskomponenten, ω die Kreisfrequenz und δ die Dämpfungskonstante.

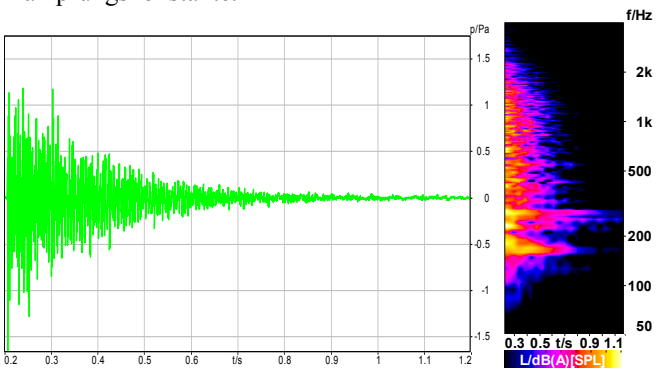

Abbildung 1: Der zeitliche Verlauf und das Spektrogramm des Klopfgeräusches.

Die Länge, Höhe und Dicke der Platte sind entscheidend für die im Geräusch enthaltenen Frequenzen (ω). Die Frequenzen hängen zusätzlich vom E-Modul, der Dichte, der Festigkeit und der durch Rippen eingebrachten zusätzlichen Steifigkeit ab. Eine zusätzliche Dämpfung (z.B. ein Dämpfungsbelag) kann die Dämpfungskonstante beeinflussen. Die angewandte Kraft (bzw. Geschwindigkeit) ist entscheidend für die Amplitude einzelner Sinuskomponenten.

Experimente

Zuerst wurden die Geräuschaufnahmen durchgeführt. Für die Aufnahmen wurden insgesamt 7 Waschmaschinenseitenwände ausgewählt. Um stets gleiche Anregungskräfte und Klopfgeschwindigkeiten zu gewährleisten, wurde ein Pendelmechanismus mit einer Masse von 50 Gramm (ähnliche Impedanz wie die menschliche Hand) für die Aufnahmen verwendet. Die Geräusche wurden mit einem Messmikrofon Typ 2671 der Firma Brüel & Kjær aufgenommen.

Zwölf normalhörende Versuchspersonen (sieben Männer und fünf Frauen) nahmen am Experiment teil. Sie waren zwischen 20 und 52 Jahren alt (Mittelwert: 31 Jahre). Die Stimuli wurden kalibriert durch einen Lautsprecher wiedergegeben. Der Lautsprecher wurde mit einer akustisch-transparenten Gardine visuell maskiert. Die Versuchspersonen wurden gebeten, folgende Frage zu beantworten: „Wie intensiv ist die Ausprägung folgender Eigenschaft?“. In einer kontinuierlichen Skala (100 Punkte) wurden die in der Psychometrik üblichen äquidistanten Rohrmann-Begriffe (nicht, wenig, mittel, ziemlich, sehr [1]) verwendet. Die Attribute waren hochwertig, angenehm, tonal, solide, laut, hoch(frequent), hart, stumpf, kraftvoll und ausdrucksvoll.

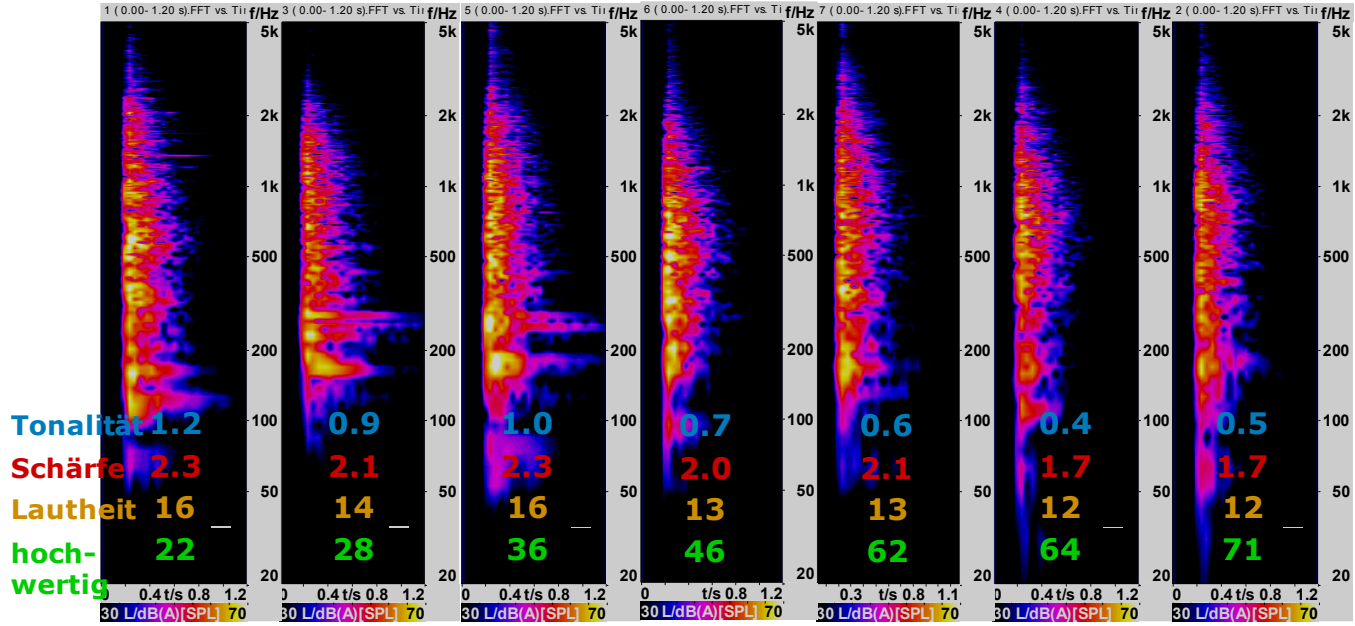

Abbildung 2: Die Beurteilungsergebnisse des Attributes "hochwertig" (25= wenig hochwertig, 75= ziemlich hochwertig) und die Werte für die Lautheit, Schärfe (S5) und Tonalität von den 7 Originalgeräuschen sind angegeben.

Die Bewertungsoberflächen wurden mit Matlab implementiert.

Durch eine Faktorenanalyse (Varimax-rotiert) über die Attribute ließen sich drei Hauptfaktoren identifizieren (Tabelle 1).

Tabelle 1: Ergebnisse der Faktorenanalyse.

Faktor	Attribute	%Varianz
Faktor 1: hochwertig	hochwertig, laut, hoch(frequent), tonal, kraftvoll, ausdrucksvoll	39
Faktor 2: angenehm	angenehm, laut, hoch(frequent), tonal	21
Faktor 3: solide	solide, laut, hoch(frequent), hart, kraftvoll	19

Die psychoakustischen Eigenschaften der Geräusche wurden analysiert, um ein Modell zur Vorhersage der Hochwertigkeit bilden zu können. In Abbildung 2 sind die entsprechenden Werte für die Lautheit (Zwicker), Schärfe (S5, von Bismarck) und Tonalität angegeben. Darüberhinaus wurden die Frequenzbänder der Geräusche durch eine Bandpass-Filtergruppe und eine Pegel-Zeit-Analyse auf tonale Auffälligkeiten geprüft und die hörbare Dauer dieser Komponenten kalkuliert. Damit konnte das Nachkling-Verhalten der tonalen Komponenten festgestellt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Lautheit, Schärfe, Tonalität und insbesondere das Nachklingverhalten eine wesentliche Rolle für die Klopfgeräuschbewertung spielen.

Designziele für ein Klopfgeräusch lauten wie folgt: mittlere Lautheit, dumpf, keine stark ausgeprägte zeitliche Struktur (ausschwingend darf ein sehr gutes Geräusch nicht sein) und geringe Tonalität.

Die Schärfe spielt eine größere Rolle als die Lautheit. Leise, aber scharfe Geräusche werden immer noch als unangenehm und weniger hochwertig bewertet.

Außer der Schärfe spielt auch das Ausschwingen einzelner tonaler Komponente eine entscheidende Rolle. Besonders das Ausschwingen der höheren Frequenzen verursacht grundsätzlich eine Minderwertigkeit. Ob das Ausschwingen der tieferen Frequenzen ein Minderwertigkeitsgefühl verursacht, hängt vom Frequenzinhalt des gesamten Geräusches ab. Wenn das Geräusch höhere Frequenzen enthält wird das Ausschwingen der tieferen Frequenzen ein Minderwertigkeitsgefühl verursachen. Wenn das Geräusch jedoch keine höheren Frequenzkomponenten besitzt, wird das Ausschwingen der tieferen Frequenzen kein Minderwertigkeitsgefühl verursachen.

In dieser Arbeit wurde ein Abschätzalgorithmus, der auf psychoakustischer Analyse und Signalanalyse basiert, erstellt. Dieser Algorithmus prognostiziert die Hochwertigkeit und die Angenehmheit auf Basis der Hörversuchsergebnisse.

Literatur

[1] Rohrmann, B.: Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung. Zeitschrift für Sozialpsychologie 9, 1978