Möglichkeiten und Grenzen instrumenteller psychoakustischer Beschreibungsgrößen

Thomas Hempel

Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität, D–44780 Bochum

1 Motivation

Im Zuge der verstärkten Anwendung psychoakustischer Ergebnisse im Ingenieurbereich werden in der Praxis für die Messung der Produktgeräuschqualität zunehmend Messgrößen aus dem Schallsignal instrumentell ermittelt und die Ergebnisse als Prädiktoren für Gesamt- oder Teil-Geräuschqualitäten verwendet. Im Folgenden soll die Korrelation zwischen einigen der verbreitetsten dieser instrumentellen Beschreibungsgrößen und im Hörversuch eingeschätzten verbalen Deskriptoren in Abhängigkeit verschiedener Produktgeräuschgruppen untersucht werden.

2 Klangbeispiele

Als Klangbeispiele dienten 12 Staubsaugergeräusche sowie 11 weitere stationären Geräusche. Letztere stammen aus dem weiteren musikalischen Bereich und waren teils natürlicher, teils synthetischer Natur (z. B. Orgelakkorde, tiefe Streichercluster oder Synthesizerakkorde). Alle Geräusche wurden mit einem Kunstkopf in einem realen Raum aufgezeichnet, der nicht „reflexionsarm" aber gleichwohl recht gedämpft war, um insbesondere für die Staubsaugergeräusche einen möglichst plausiblen Höreindruck zu erzeugen. Synthetisch generierte oder aufgezeichnete Geräusche wurden über einen hochwertiger Lautsprecher abgestrahlt, der stellvertretend am Quellort aufgestellt wurde.

Die Klangbeispiele wurden — wenn nötig — knackfrei geloopt um den Versuchsteilnehmern für einen ausreichend langen Bewertungszeitraum zur Verfügung zu stehen. Die Klangbeispiele wurden nachträglich auf die gleiche N_4-Lautheit gebracht, um den Einfluss der Lautheit auf eine Entscheidung im unmittelbaren Vergleich auszuschließen (vgl. DIN 45631 (1991), Chouard und Weber (1998), Hempel (2000)).

3 Beschreibungsgrößen

3.1 Instrumentelle Beschreibungsgrößen („psychoakustische Parameter")

Für die lautheitsangeglichenen Geräusche wurden folgende instrumentelle Beschreibungsgrößen bestimmt:

Schärfe (S), Klanghaftigkeit (TON) und sensorischer Wohlklang (SQ) (alle: Aures (1985a)); Rauigkeit (RGH, Aures (1985b)); Artikulationsindex (AI, Kryter (1962)); Prominence Ratio (PRM, Nobile und Bienvenue (1991)); Schwankungsstärke (FLS) und Modulation (MOD) (beide vgl.: Head acoustics (1995)); Impulshaftigkeit (IMP) sowie Kurtosis (KUR). Die Bestimmung der instrumentellen Beschreibungsgrößen erfolgte unter Verwendung des BAS-Systems der Fa. Head acoustics und wurde (außer SQ) auch jeweils für das 4%-Perzentil durchgeführt.

3.2 Verbale Deskriptoren

Für die dargestellten Klangbeispiele sind aus der Literatur keine validen verbalen Deskriptoren bekannt. Statt dessen wurde auf das für den Fahrzeuginnenraumbereich von Hempel und Chouard (1999) entwickelte Semantische Differential zurückgegriffen, aus dem 15 besonders geeignete Adjektivpaare ausgewählt wurden[1]: *angenehm — unangenehm, anstrengend — erholsam, beruhigend — aufregend, billig — teuer, defensiv — offensiv, hässlich —schön, laut — leise, luxuriös — einfach, sportlich — unsportlich, stark — schwach, tonhaltig — nicht tonhaltig, dumpf — klar, gleichmäßig — ungleichmäßig, hoch — tief, rau — glatt.*

4 Versuchsdurchführung

19 Teilnehmer nahmen am Hörtest teil, von denen die meisten bereits Erfahrung mit ähnlichen Hörtest-Szenarien hatten und über ein vergleichsweise sicheres Urteil bei der Bewertung von Hörereignissen verfügen. Die Klangbeispiele wurden diffusfeldentzerrt über Kopfhörer in der Originallautheit wiedergegeben (vgl. Abs. 2). Die Teilnehmer mussten Ihre Einschätzung auf dem erwähnten Semantischen Differential treffen, das 7-stufig pro Adjektivpaar unterteilt war. Die Darbietung der Geräuschklassen erfolgte sukzessive, d h. es wurden randomisiert zuerst entweder die Staubsauger- oder die sonstigen Geräusche dargeboten und bewertet, unterbrochen durch eine längere Pause.

5 Ergebnisse

Im hier beschriebenen Zusammenhang interessieren weniger die jeweiligen Einzelergebnisse als viel mehr die Unterschiede in der Bewertung der Geräuschklassen. Aus diesem Grund wurde zunächst für jede Geräuschklasse eine Korrelationsmatrix erstellt, wobei die Mittelwerte der mit Hilfe der verbalen Deskriptoren getroffenen Einschätzungen mit den instrumentellen Beschreibungsgrößen korreliert wurden[2]. So ergibt sich für die Geräuschklasse ‚Staubsauger' z. B. für eine Korrelation von PRM_4 mit *tonhaltig — nicht tonhaltig* ein Korrelationskoeffizient von lediglich -0.088. Für die zweite Klasse von Geräuschen ergibt sich im gleichen Fall ein Wert von immerhin -0.603 ($\alpha \leq 0.05$). Um eine übersichtliche Darstellung solcher Differenzen der Korrelationskoeffizienten zwischen den Geräuschklassen zu erzielen, wurde im Folgenden eine Differenzmatrix gebildet, deren Beträge ihrer Elemente in Abb. 1 visualisiert sind. Dabei ist zu beachten, dass für die einzelnen Korrelationen natürlich nur einzelne Werte existieren, aus Gründen einer besseren Visualisierung jedoch zwischen den

[1] Da es in dieser Untersuchung um mögliche Unterschiede in der Bewertung verbaler Deskriptoren in Abhängigkeit des verwendeten Stimulus geht, ist der Referenzrahmen für eine vorherige Validierung derselben weder prinzipiell machbar noch zwingend erforderlich.

[2] Da bislang nur wenige geeignete binaurale instrumentelle Beschreibungsgrößen existieren, wurde hier in vereinfachender Weise pro instrumenteller Beschreibungsgröße der arithmetische Mittelwert zwischen linkem und rechtem Kanal gebildet und zur weiteren Berechnung verwendet.

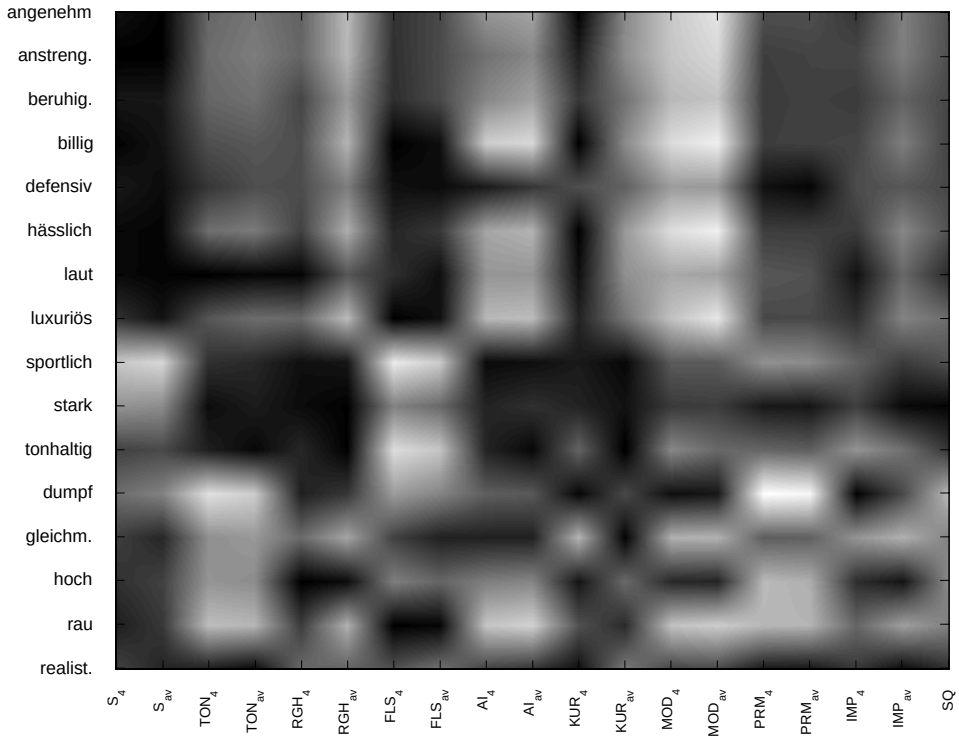

Abbildung 1: Visualisierte Differenzbetragsmatrix. Schwarz entspricht 0, Weiß 2.

Werten linear interpoliert wurde, um Gebiete ähnlicher Korrelationsdifferenzbeträge optisch schneller zusammenfassen zu können. Dunkle Matrixelemente stehen also für niedrige Korrelationsdifferenzen, helle für hohe. Man sieht so in Abb. 1, dass z. B. S_4 mit *anstrengend — erholsam* für beide Geräuschklassen zu gleichen Graden korreliert[3] und damit für das genannte Adjektivpaar offensichtlich von generellerem Charakter ist als z. B. TON_4 für den Deskriptor *dumpf — klar*[4].

6 Schlussfolgerungen

Mit Hilfe der Differenzbetragsmatrix lassen sich Unterschiede in den Korrelationsmatrizen leicht visualisieren. So lässt sich schnell erkennen, welche instrumentellen Beschreibungsgrößen hinsichtlich ihrer Korrelation mit verbalen Deskriptoren unterschiedlich stark von der verwendeten Geräuschklasse abhängig sind. So zeigt sich für die beschriebenen Geräuschklassen, dass z. B. die Schärfe S für beide Klassen eine annähernd identische Korrelation mit Adjektivpaaren wie *anstrengend — erholsam* oder *angenehm — unangenehm* hervorruft. Im Gegensatz hierzu wird der Deskriptor *stark — schwach* vergleichsweise schlecht abgebildet. Auch PRM und TON eignen sich nicht als generelle Beschreibungsgrößen für z. B. *dumpf — klar*, obwohl sich für die Korrelation der einzelnen instrumentellen Beschreibungsgrößen für die Nicht-Staubsauger-Geräusche ein Signifikanzniveau von 0.01 bzw. 0.05 einstellt. Als Abschluss sei noch ein plausibles Beispiel gewählt: Ein Staubsauger mit vielen Hochtonanteilen (S) klingt tendenziell *schwach*, ein Synthesizerton mit einem vergleichbar hohen instrumentell gemessenem Hochtonanteil klingt hingegen eher *stark* — Ergebnisse von Messungen mit instrumentellen Beschreibungsgrößen müssen daher immer kritisch im Nutzungszusammenhang bewertet werden.

[3] $r_{staub} = -0.802$ ($\alpha \leq 0.01$), $r_{sonst} = -0.796$, ($\alpha \leq 0.01$); $|r_{staub} - r_{sonst}| = 0.006$

[4] $r_{staub} = 0.682$ ($\alpha \leq 0.05$), $r_{sonst} = -0.448$; $|r_{staub} - r_{sonst}| = 1.13$

Literatur

Aures, W. (1985a). Berechnungsverfahren für den sensorischen Wohlklang beliebiger Schallsignale. *Acustica*, 59, 130–141.

Aures, W. (1985b). Ein Berechnungsverfahren der Rauhigkeit. *Acustica*, 58, 268–281.

Chouard, N. und Weber, R. (1998). Proposal on loudness equalisation. Techn. Ber., European OBELICS project.

DIN 45631 (1991). *Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum. Verfahren nach E. Zwicker.* Berlin: Beuth-Verlag.

Head acoustics (1995). Handbuch zur Software «Binaurales-Analyse-System 4.40».

Hempel, T. (2000). The Effects of Absolute Loudness on Preference Rankings in a Listening Test with Loudness Equalized Interior Car Sounds. A. Schick, M. Meis und C. Reckhardt (Hg.), *Results of the Eigth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*, Contributions to Psychological Acoustics, S. 157–163. D–Oldenburg: BIS.

Hempel, T. und Chouard, N. (1999). Evaluation of interior car sound with a new specific semantic differential design. *Collected Papers from the Joint Meeting «Berlin 99»*, 137th regular meeting of the Acoustical Society of America, 2nd convention of the EAA: Forum Acusticum — integrating the 25th German Acoustics DAGA Conference. D–Oldenburg: Dt. Ges. f. Akustik.

Kryter, K. D. (1962). Methods for the Calculation and Use of the Articulation Index. *J. Acoust. Soc. Am.*, 34(11), 1689–1697.

Nobile, M. A. und Bienvenue, G. R. (1991). Procedure for determining the prominence ratio of discrete tones in noise emissions. *Proceedings of the Noise-Con '91 (Tarrytown).* USA–New York.