

Born to be wild on the highway to hell

Warum sind Motorradgeräusche so lästig?

Isabella Czedik-Eysenberg¹; Denis Knauf²; Christoph Reuter¹

¹Institut für Musikwissenschaft, Universität Wien, ²Informatik, Technische Universität Wien

Hintergrund

Verkehrslärm, wie der von PKWs, LKWs und Motorrädern erzeugte Geräuschpegel, wird in der Regel in dB(A) gemessen (Guidati, Rossberg 2007). Dabei sollten Motorradgeräusche nach § 8 der Kraftfahrzeuggesetz-Durchführungsverordnung (idF BGBl II 2008/220) bei einem Abstand von 7,5 m je nach Hubraum einen Pegel von 71-80dB(A) nicht überschreiten, während die Geräusche von Personenkraftwagen unter einem Maximalpegel von 74-80dB(A) bleiben sollten.

In verschiedensten Versuchen konnte gezeigt werden, dass gemessene Schallpegeländerung und empfundene Lästigkeit miteinander korrelieren (Kurze 1975; Scherer, Günzel 1975; Buchta 1978 etc.), jedoch war man sich bei diesen Messungen häufig bewusst, dass die A-bewerteten Pegel so gut wie nichts über die tatsächliche Störung und Lästigkeit von Motorradlärm aussagen (z.B. Braune, Gruber 1973; Paulsen, Schmidt 1998; Widmann 1994). So sucht man seit den 1990er Jahren nach alternativen Möglichkeiten, die Lästigkeit von Verkehrslärm mit akustischen Mitteln adäquat zu beschreiben (z.B. über Lautheitsmessung anstelle von dB(A)-Messungen, Widmann 1990). Neben der Pegelmessung bewährten sich in den letzten Jahren besonders psychoakustische Parameter wie Schärfe, Rauigkeit, Tonhaltigkeit und Fluktuationsstärke bei der Beschreibung der Lästigkeit und Unangenehmheit von Maschinen-, Eisenbahn- und Fahrzeuggeräuschen (Brennecke 1983; Schuemer 1991; Widmann 1995; Guidati, Rossberg 2007).

Besonders die Klangmerkmale **Tonhaltigkeit, Schärfe, Rauigkeit** und die **Schnelligkeit des Lautstärkeanstiegs** scheinen eine große Rolle bei der Einschätzung der Lästigkeit von (Verkehrs-)Geräuschen zu spielen (Terhardt, Stoll 1978; Widmann 1993; Dreesen, Weber 1994; Västfjäll, Gulbol, Kleiner, Gärling 2002, S. 516; Guidati, Rossberg 2007; Reuter, Oehler, Mühlhans 2014).

Ziele und Fragestellungen

- Welche klanglichen Merkmale tragen besonders zur empfundenen Lästigkeit von Motorradgeräuschen bei?
- Lässt sich auf der Grundlage der gefundenen Klangeigenschaften ein Metadeskriptor ermitteln, mit dessen Hilfe sich die Lästigkeit von Motorradgeräuschen automatisiert berechnen lässt?

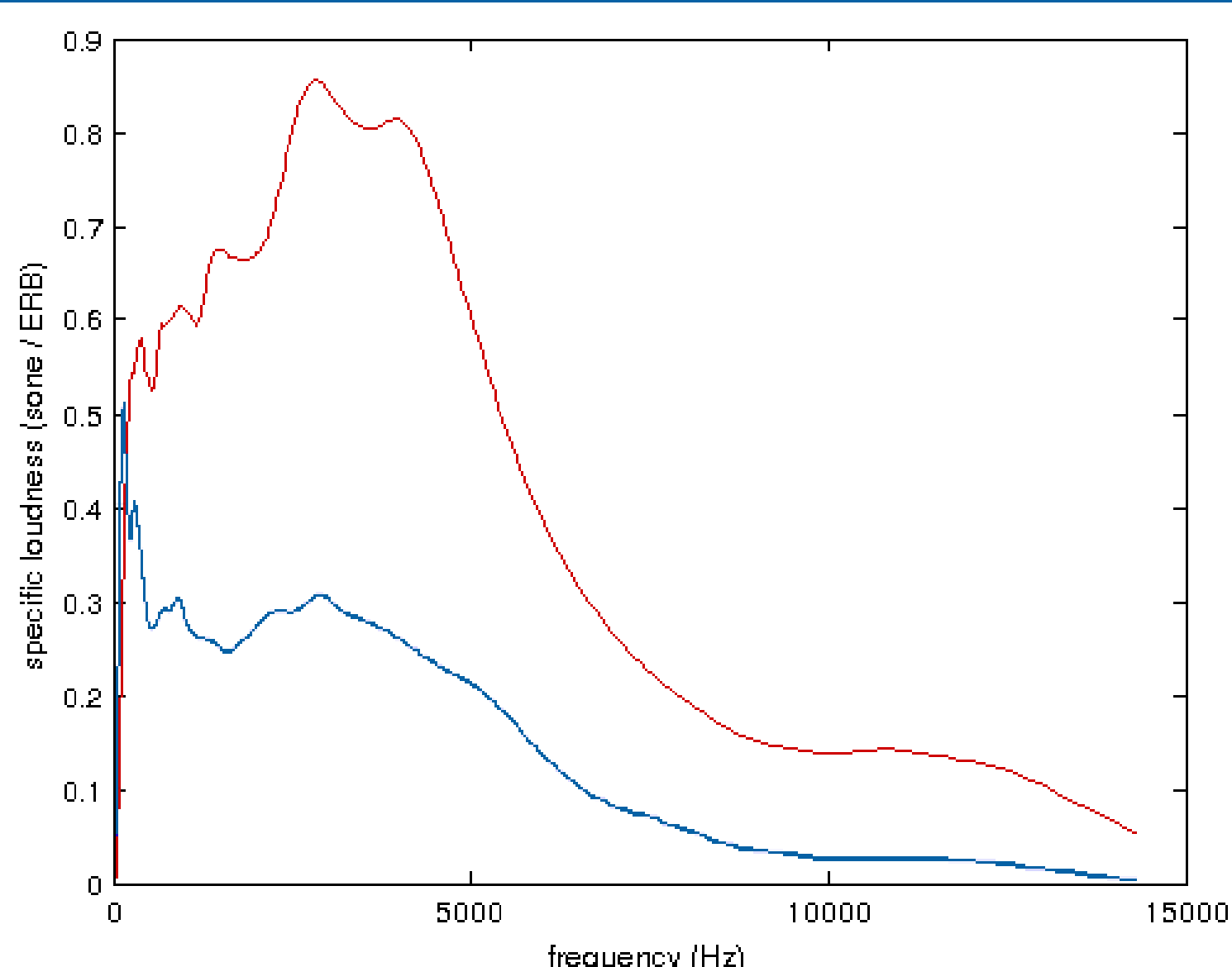
Methoden und Vorgehensweise

In einer mittels HTML5/Ruby on Rails entwickelten Webanwendung wurden 60 prototypische Motorradgeräusche randomisiert zur Bewertung angeboten. 25 Versuchspersonen beurteilten diese Klänge auf einer zehnstufigen Skala hinsichtlich ihrer empfundenen Lästigkeit (**1=nicht lästig, 10=sehr lästig**). Dabei wurde auch die subjektive Einstellung der Versuchspersonen zum Motorradsport sowie Führerschein und Wohngegend mit einbezogen.

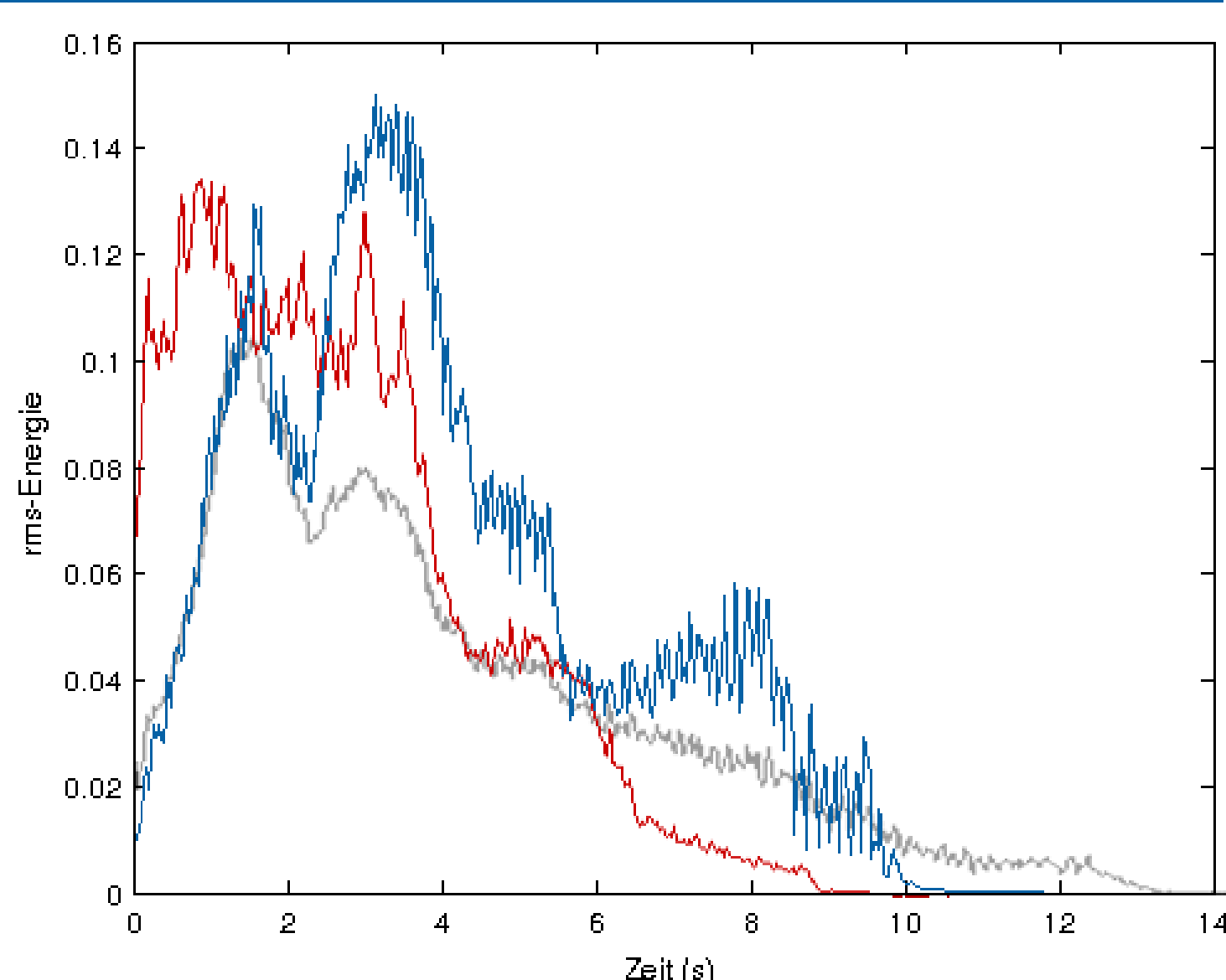
Mit Hilfe von MATLAB wurden die 60 Stimuli umfangreichen Signalanalysen unterzogen (MIR Toolbox: Lartillot, Toiviainen 2007; TSM Toolbox: Driedger; Müller 2014; Loudness Toolbox: Genesis 2009), um eine Reihe von Klangeigenschaften zu extrahieren, die mit der Lästigkeit der Klänge in Beziehung stehen könnten (wie z.B. spektraler Schwerpunkt, Einschwingzeiten, Pegel, Lautheit, Rauigkeit, harmonische und perkussive Bestandteile, Energieanteil bei 2-4 kHz).

Diese Werte wurden jeweils mit der Lästigkeitsempfindung der Versuchspersonen auf Korrelationen geprüft.

Ergebnisse



Gemittelte Lautheitsspektren der 10 lästigsten vs. der 10 am wenigsten lästigen Klänge.



Gemittelte rms-Verläufe der 10 lästigsten vs. der 10 am wenigsten lästigen Klänge.

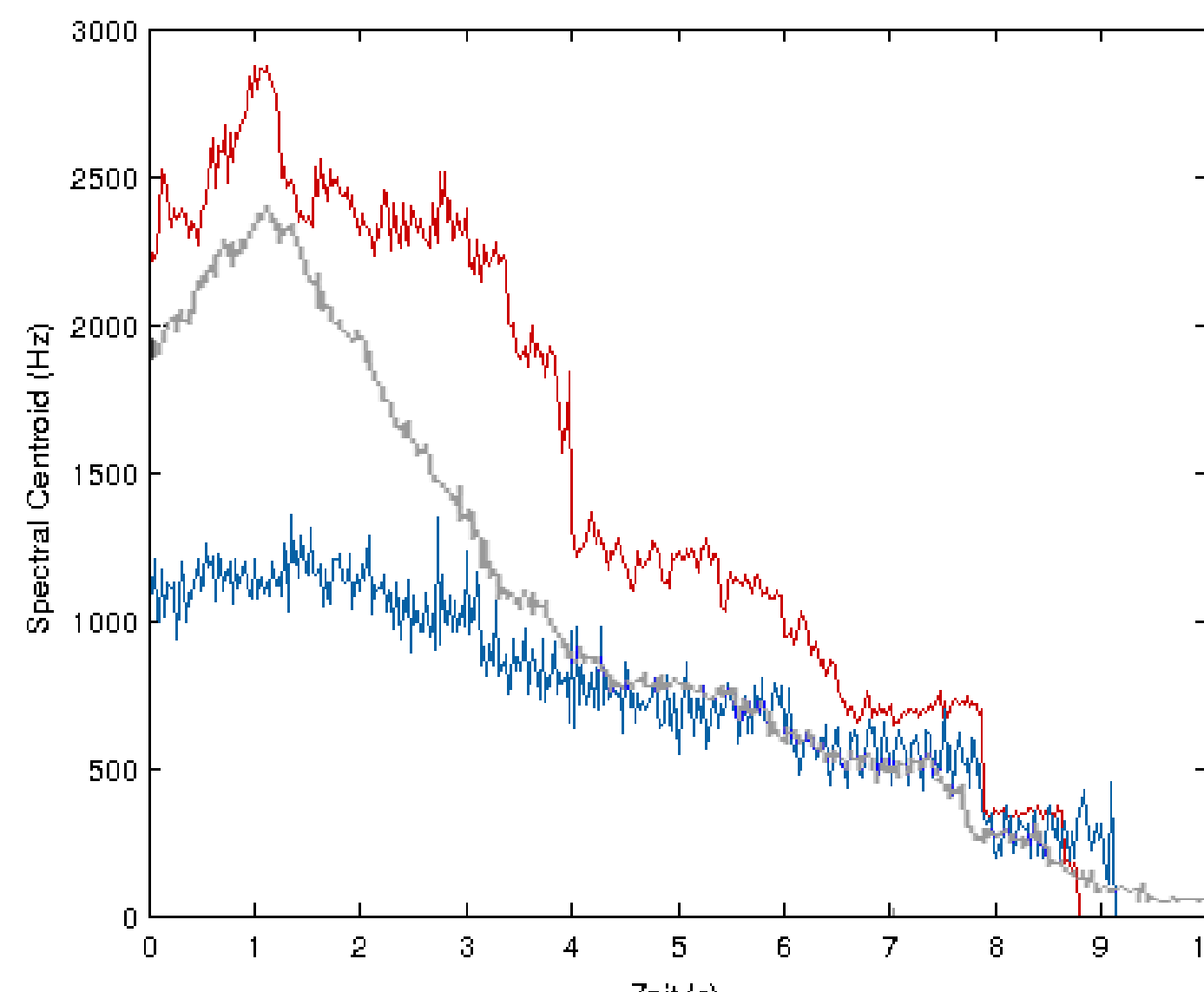
Ergebnisse

Folgende Korrelationsergebnisse konnten gewonnen werden:

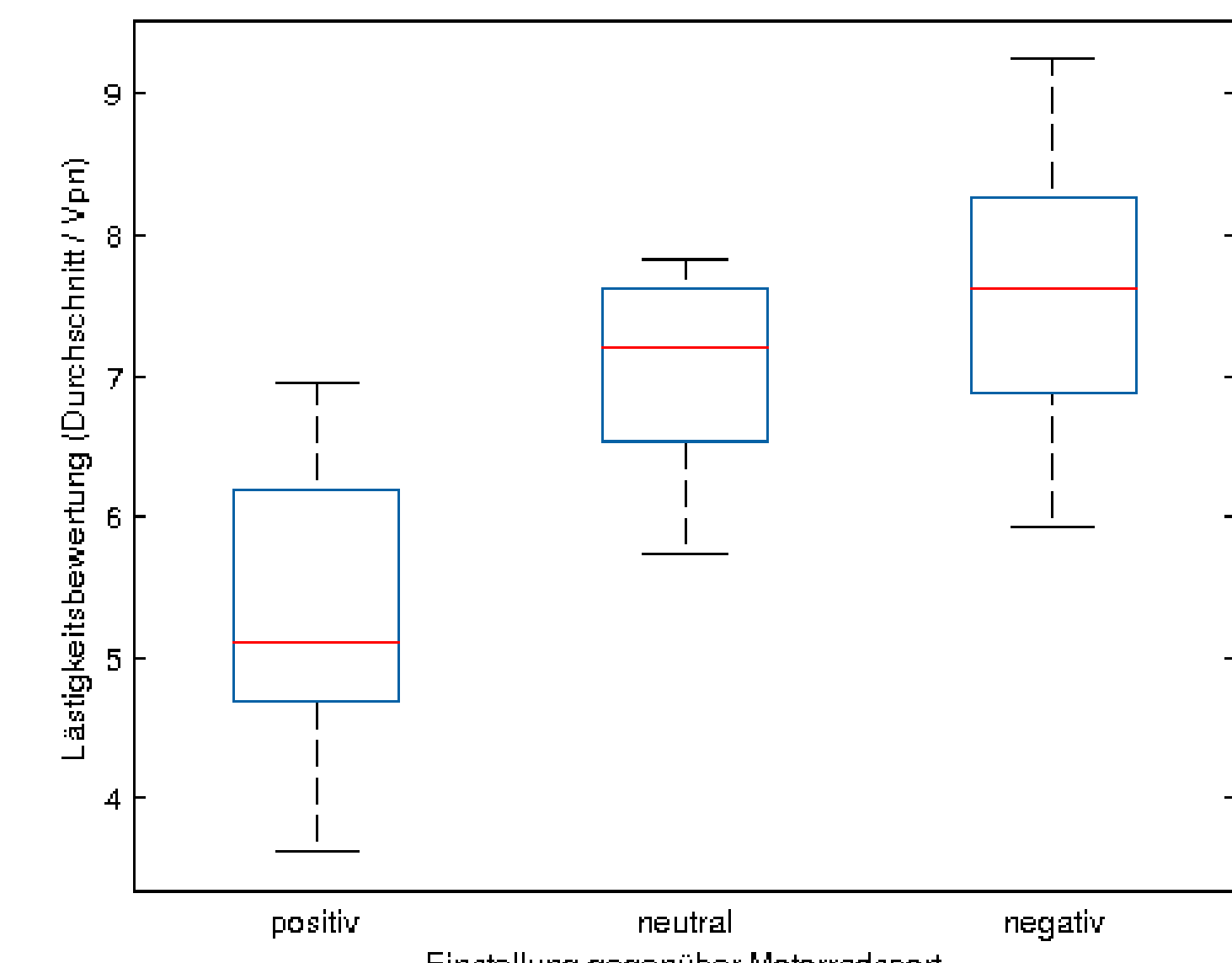
Klungeigenschaft	r	p
Spectral Centroid (log)	0,5439	0,0000
Low Centroid Rate	-0,1003	0,4458
Centroid Slope Length	-0,0834	0,5262
First Attack Time	-0,2914	0,0239
RMS	0,0701	0,5944
Max Rms Value	-0,2530	0,0511
Max Rms Position	-0,0893	0,4973
Loudness (Sone)	0,6006	0,0000
Roughness	0,4615	0,0002
Harmonic Percussive Ratio	-0,4208	0,0008
Percussive Energy (log)	0,5290	0,0000
Harmonic Energy	0,1127	0,3911
2-4 kHz Energy (log)	0,6574	0,0000
Tonal Energy	-0,0051	0,9690
Length/Duration	-0,1927	0,1401



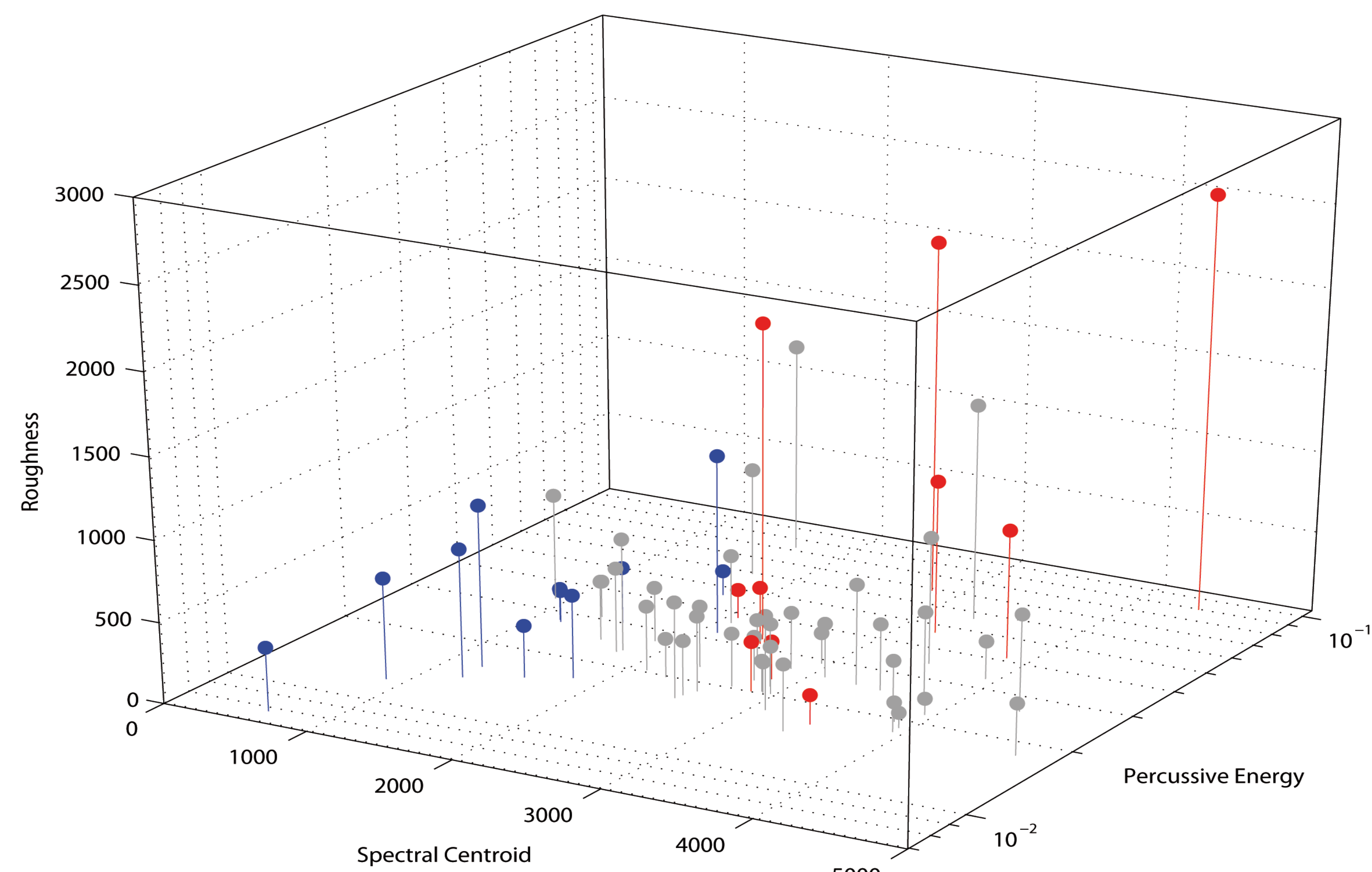
🏍️ = sehr signifikant (p<=0,01),
 🏍️ = signifikant (p<=0,05),
 🏍️ = fast signifikant (p<=0,06).



Gemittelte Spectral Centroid-Verläufe der 10 lästigsten vs. der 10 am wenigsten lästigen Klänge (grau: Durchschnitt über alle Klänge).



Versuchspersonen mit einer negativen Einstellung zum Motorradsport bewerteten die Klänge signifikant als lästiger (r = 0.6827; p = 0.0002)



Die 10 lästigsten und die 10 am wenigsten lästigen Klänge lassen sich anhand von Spectral Centroid, Percussive Energy und Roughness deutlich voneinander trennen

Alter, Wohngegend und Geschlecht hatten keine signifikante Korrelation zur Lästigkeitsbewertung. Probanden mit B-Führerschein haben die Klänge im Durchschnitt als leicht lästiger ($\bar{x} = 7.2083$) beurteilt (t-Test: p = 0.0474) als jene ohne ($\bar{x} = 6.1310$).

Fazit

Insgesamt lässt sich für die Lästigkeit von Motorradgeräuschen ein Zusammenhang mit folgenden Klangmerkmalen zeigen:

- hohe Lautheit (sone) mit starkem Energiegehalt bei 2-4 kHz.
- kurzer Einschwingvorgang und hohes Maß an perkussiven Signalkomponenten.
- klangfarbliche Schärfe (hoher spektraler Schwerpunkt).
- ausgeprägte Rauigkeit.

Darüber hinaus hat auch die subjektive Einstellung des Hörers / der Hörerin einen messbaren Einfluss auf die Lästigkeitsbewertung.

Literatur

Braune, H.; Gruber, J. (1973): Zur Lästigkeit zeitlich schwankender Schallreize. In: DAGA73, S. 245-248 <- Buchta, E. (1978): Beziehungen des Lästigkeitsgrades von Verkehrsgeräuschen zu deren physikalischen Pegelwerten. In: DAGA76, S. 299-302. <- Dreesen, Thomas; Weber, Reinhard (1994): Objektive und subjektive Beurteilung der Tonhaltigkeit. In: DAGA94, S. 1129-1132 <- Driedger, Jonathan; Müller, Meinard (2014): TSM Toolbox: MATLAB Implementations of Time-Scale Modification Algorithms. In: Proceedings of the International Conference on Digital Audio Effects <- Genesis (2009): Loudness Toolbox. <http://www.genesis.fr> <- Glück, Karl (1972): Verkehrsgeräusche. In: DAGA72, S. 69-81. <- Guidati, Sandro; Rossberg, Sebastian (2007): Psychoakustische Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen im Rahmen des EU-Forschungsprojektes Quiet City Transportation. In: DAGA07, S. 505-506. <- Kurze, U. (1975): Verkehrslärm - Beschreibung und Schutzmaßnahmen. In: DAGA75, S. 17-32. <- Lartillot, O.; Toiviainen, P. (2007): A Matlab Toolbox for Musical Feature Extraction From Audio, International Conference on Digital Audio Effects, Bordeaux, 2007. <- Mellert, V. (1976): Vergleichende Beurteilung von Verkehrsgeräuschen. In: DAGA76, S. 289-292. <- Mellert, V.; Weber, R. (1980): "Lästig" oder "Angenehm": Der Einfluss der Fragestellung auf die Beurteilung von Geräuschen. In: DAGA80, S. 167-170. <- Paulsen, Reimer; Schmidt, Anke (1998): Lästigkeit, Gestörtheit und Unangenehmheit - im Labor nur Lautheitsurteile. In: DAGA98, S. 84-85. <- Reuter, C.; Oehler, M.; Mühlhans, J. (2014): Physiological and acoustical correlates of unpleasant sounds. In: ICMP13-APSCOM5 2014, Korea, p. 97. <- Scherer, P.; Günzel, D. (1975): Periodizität von Straßenverkehrsgeräuschen. In: DAGA75, S. 173-176. <- Schreiber, L.; Wittmann, H. (1980): Mittelungspegel der Verkehrsgeräusche in Stadtstraßen. In: DAGA80, S. 139-142. <- Straßen, Th. (1978): Experimentelle Untersuchungen zur Lästigkeit von Geräuschen. In: DAGA78, S. 133-136. <- Terhardt, E.; Stoll, G. (1978): Bewertung des Wohlklanges verschiedener Schalle. In: DAGA78, S. 583-586. <- Västfjäll, D.; Gulbol, M.-A.; Kleiner, M.; Gärling, T. (2002): Affective evaluations of and reactions to exterior and interior vehicle auditory quality. In: Journal of Sound and Vibration 255(3), S. 501-518. <- Wagner, Wolfgang; Maschke, Christian (1989): Der Einfluss von Straßenverkehrsgeräuschen unterschiedlicher Pegel- und Zeitstruktur auf den Nachtschlaf. In: DAGA89, S. 727-730. <- Widmann, U. (1990): Beschreibung der Geräuschemission von Kraftfahrzeugen anhand der Lautheit. In: DAGA90, S. 401-404. <- Widmann, U. (1993): Zur Lautheit und Lästigkeit von Breitbandgeräuschen mit einer tonalen Komponente. In: DAGA93, S. 632-635.