

Variation und Beurteilung tonaler Anteile stationärer Flugzeuggeräusche

Rudolf Bisping

SASS acoustic research & design GmbH; Email: rudolf.bisping@sass-acoustics.com

Einleitung

Dominante tonale Anteile im Spektrum von Flugzeuggeräuschen werden häufig als besonders störend empfunden. Aus diesem Grunde sieht die akustische Zertifizierung von Flugzeugen auf der Basis des EPNL die Berücksichtigung tonaler Pegel im Spektrum von Überflugsmessungen vor. Die Beurteilung dieser Komponenten durch den Zuhörer erfolgt keineswegs nur eindimensional, d.h. bezogen auf einen unterschiedlichen Grad von Lästigkeit, sondern weitere Beurteilungskategorien wie z.B. die Lautheit, die Tonhöhe oder der Eindruck der Schallhärte sind von Bedeutung. Die Fragestellung der Untersuchung geht von einer vorangegangenen Studie im Rahmen des EU-Projekts SEFA (Sound Engineering For Aircrafts) aus, bei dem der Effekt stationärer Flugzeuggeräusche untersucht wurde [1]. Dabei zeigte sich, daß Rotorgeräusche, bei denen sich bei Überschallgeschwindigkeit der Rotorblätter Harmonische der Umdrehungsfrequenz ausbilden (Buzz-Saw Effekt) in einigen Fällen als besonders unangenehm, hart und laut beurteilt wurden. Ziel der Untersuchung ist es, diesen Effekt systematisch zu untersuchen, wobei experimentell einerseits die Anzahl der Harmonischen eines während des Starts gemessenen Buzz-Saw Sounds und andererseits das Signal-Rauschverhältnis (SNR), d.h. die Differenz zwischen den mittleren Pegeln der Harmonischen und dem Pegelniveau des umgebenden Breitbandanteils, variiert wird.

Methode

Tonmaterial

Abbildung 1 zeigt das Spektrogramm einer Startmessung mit ausgeprägten Buzz-Saw-Komponenten während des Anflugs. Die Pfeilspitze weist auf einen Frequenzbereich zwischen 250 – 500 Hz. Die Differenz zwischen den Harmonischen beträgt 97 Hz. Zum, vom Pfeil markierten Zeitpunkt, befand sich das Flugzeug in einem Winkel von ca. 78° relativ zur Mikrofonposition. Abbildung 2 demonstriert das Prinzip der Synthese. Dem Breibandspektrum des Signals werden im Frequenzbereich von 97 – 6208 in sechs Stufen steigende Anzahlen von Harmonischen hinzugefügt: 2, 4, 8, 16, 32, 64. Die Abbildung zeigt als Beispiel das Spektrum für 64 und 8 Harmonische bei 12 dB SNR. Das SNR wurde ebenfalls in sechs Stufen variiert: 24 dB, 18 dB, 12 dB, 6 dB, 0 dB, -6dB. Daraus ergibt sich ein Versuchsplan mit 6 (Anzahl der Harmonischen) x 6 (Anzahl unterschiedlicher SNR's) = 36 experimentelle Bedingungen.

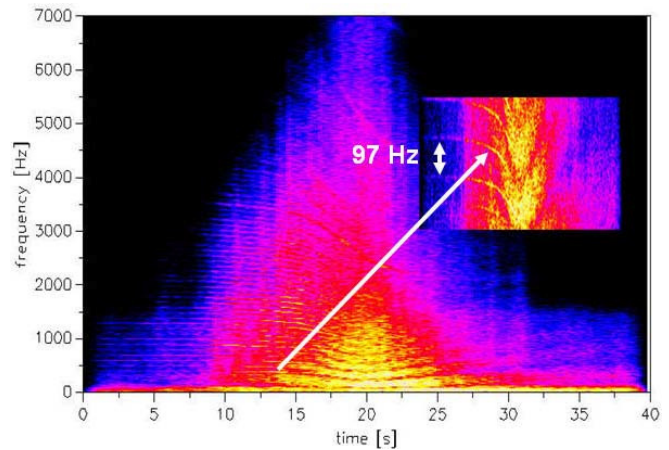


Abbildung 1: Spektrogramm einer Startmessung. Die Differenz zwischen den Harmonischen beträgt 97 Hz.

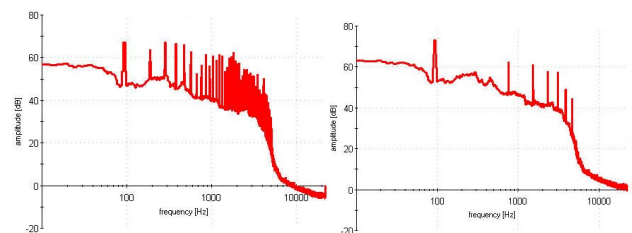


Abbildung 2: Spektren der Synthesen von 64 und 8 Harmonischen bei einem SNR von 12 dB. Das Niveau des Breibandspektrums ist beim Signal mit 8 Harmonischen um ca. 4 dB erhöht, da die Signale auf den gleichen Pegel (74 dB(A)) abgeglichen wurden.

Skalierung

Die Skalierung erfolgte mittels des Kategorienunterteilungsverfahrens. Fünf verschiedene KU-Skalen wurden verwendet: *laut*, *angenehm*, *dynamisch*, *hoch* und *hart* (vgl. [2]).

Versuchsdurchführung

Am Versuch nahmen 19 Probanden in Gruppen von 3-4 Personen / Sitzung teil (8 männlich, 11 weiblich; Alter: 18 – 45 Jahre). Die Geräusche wurden mit einem Pegel von 74 dB(A) stereophon per Lautsprecher dargeboten (Genelec 1030A; Genelec Subwoofer 7070A). Die Geräuschabfolge war randomisiert. Jedes Geräusch wurde angesagt („Es folgt Geräusch Nr...“). Die raumakustischen Bedingungen entsprachen ITU-R BS1116-1.

Auswertung

Die Auswertung erfolgte mittels ANOVA mit Messwiederholung auf dem Faktor „Anzahl der Harmonischen“ und dem Faktor „SNR“ (SPSS V.13).

Ergebnisse

Varianzanalyse

Abbildung 3 – 7 zeigt die Mittelwerte und Standardfehler für die fünf Variablen. Mit Ausnahme des Haupteffekts *Anzahl der Harmonischen* bei der Variablen *laut* und des Haupteffekts *SNR* bei der Variablen *dynamisch*, sind alle übrigen Haupteffekte und Wechselwirkungen hochsignifikant (Bereich: $p < 0.01$ – $p < 0.001$).

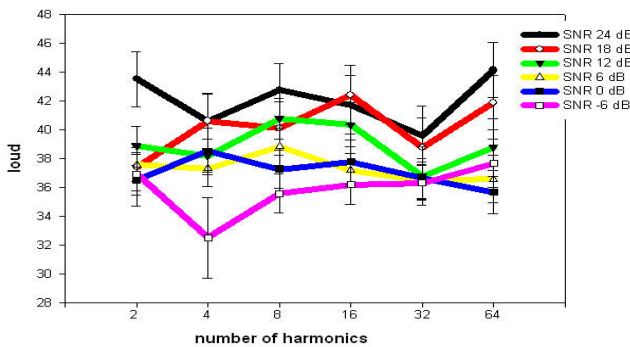


Abbildung 3: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *laut*

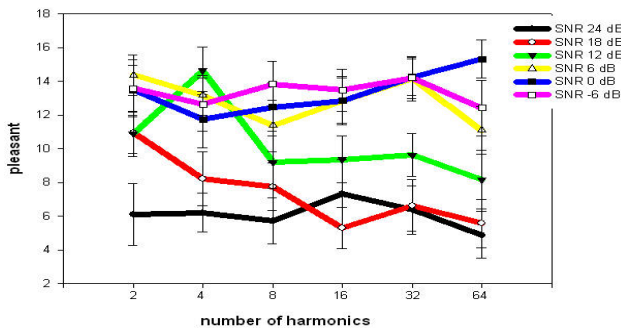


Abbildung 4: Mittelw. und Std.-Fehler der Skala *angenehm*

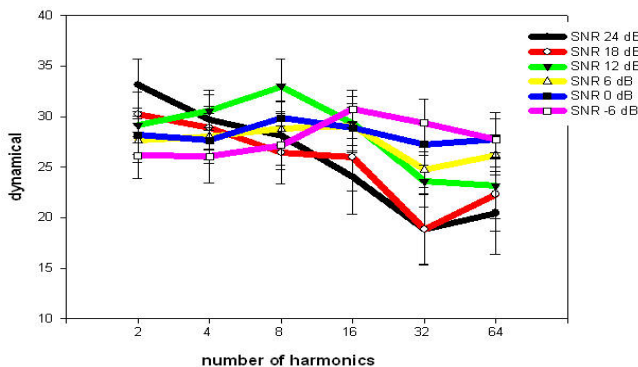


Abbildung 5: Mittelw. und Std.-Fehler der Skala *dynamisch*

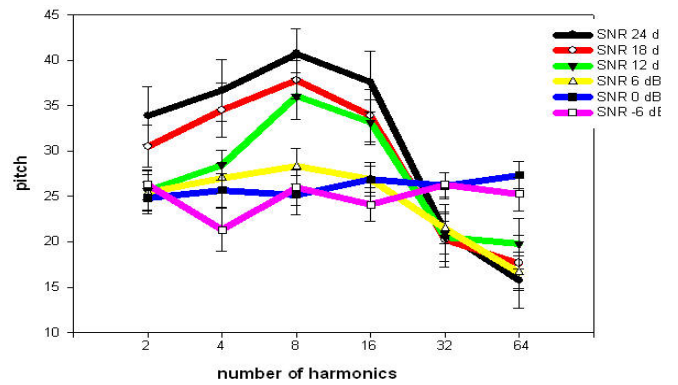


Abbildung 6: Mittelw. und Std.-Fehler der Skala *hoch*

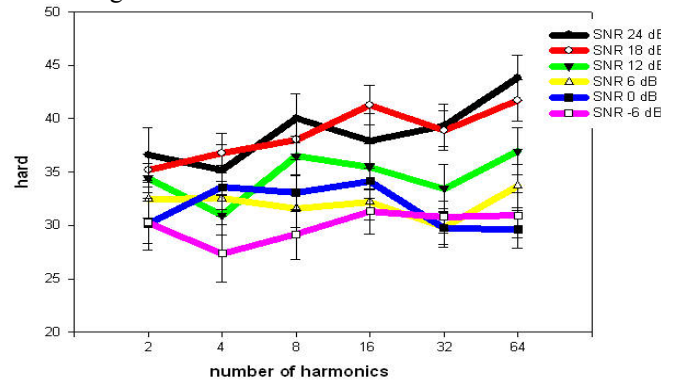


Abbildung 7: Mittelw. und Std.-Fehler der Skala *hart*

Schlußfolgerung

Die Abbildungen zeigen, dass, mit Ausnahme der Skala *dynamisch*, die Variation des *SNR* zu ausgeprägten und statistisch hochsignifikanten Unterschieden im Niveau der einzelnen Beurteilungsskalen führt. In Kombination mit der Variation der Anzahl der *Harmonischen* führt sie ebenfalls zu Verlaufunterschieden. Für das Design von Flugzeuggeräuschen kann gefolgert werden, daß bestimmte Kombinationen des *SNR*-Niveaus und der Anzahl der *Harmonischen* als deutlich angenehmer als andere empfunden werden. Der in [1] beobachtete Buzz-Saw Effekt kann dadurch bestätigt und noch weiter differenziert werden. Als Faustregel kann gelten: je geringer das *SNR* und - vor allem bei mittlerem *SNR* - je geringer die Anzahl der *Harmonischen*, umso angenehmer.

Literatur

- [1] Bisping, R., Dickson, C. & Khan, S. (2006). Psychometric analysis of stationary aircraft sounds. Proceedings of the 13th ICSV. Vienna. In preparation.
- [2] Bisping, R (2004). Multidimensional scaling of road and railway noise in a 5.1 surround situation. In: Proceedings of the Joint Congress CFA/DAGA 04 – Strasbourg, pp. 185-186.