

Maximale Frequenzen für spektrotemporale Modulationsfilter

Thorben Eilers¹, Arne Oetjen²

¹ Universität Oldenburg, 26129 Oldenburg, Deutschland, Email: thorben.eilers@uni-oldenburg.de

² Universität Oldenburg, 26129 Oldenburg, Deutschland, Email: arne.oetjen@uni-oldenburg.de

Einleitung

Die meisten Umweltgeräusche enthalten neben temporalen auch spektrale, sowie spektrotemporale Modulationsanteile. Solche Modulationen zeigen sich auch in menschlicher Sprache. Bestehende Studien liefern Hinweise für eine Frequenzselektivität bei der Wahrnehmung aller drei Modulationsformen. Darauf aufbauend werden in dieser Studie Datensätze aus einer psychoakustischen Messreihe vorgestellt, die, ausgehend von physiologischen und psychoakustischen Studien, qualitative und quantitative Anhaltspunkte für die Existenz maximaler Frequenzpaare für spektrotemporale Modulationsfilter liefern.

Motivation

Psychoakustische Maskierungsexperimente von Ewert und Dau (2000) [3] und auch Moore et al. (2008) [5] deuten darauf hin, dass maximale temporale Modulationsfilter existieren und diese bei circa 120 Hz zu finden sind. Ein weiteres psychoakustisches Maskierungsexperiment von Saoji und Eddins (2007) [6] für spektrale Modulationen zeigte ebenfalls Hinweise für maximale spektrale Modulationsfilter bei 5 *cycles/octave*. Darauf aufbauend wurde die Existenz spektrotemporaler Modulationsfilter durch die Studie von Oetjen und Verhey (2011) [1] nachgewiesen. Die Frage, inwieweit maximale spektrotemporale Modulationsfilter existieren ist jedoch noch nicht beantwortet. Physiologische Studien von Miller et al. (2005) [2], bei welcher im Cortex von Katzen verschiedene Neuronen mit spektrotemporalen Stimuli angeregt wurden, geben Hinweise auf maximale spektrotemporale Modulationsfilter wie in Abbildung 1 zu sehen.

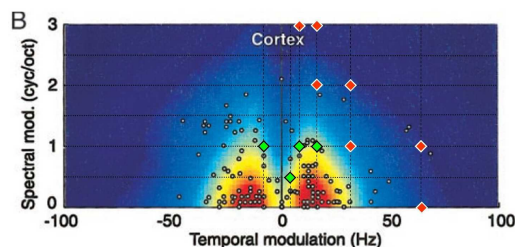


Abbildung 1: Histogramm der Aktivität von Neuronen gemessen im Cortex von Katzen aus Miller et al. (2005). Die spektrale Modulation in *cycles/octave* ist über der temporalen Modulation in Hz aufgetragen. In grün sind die Versuchsfrequenzpaare nach Oetjen und Verhey (2011) [1] und in rot die der vorliegenden Studie eingezeichnet. [2]

Anlehnend an die Studien von Chi et. al (1999) [4], in welcher eine Detektionsschwellenmessung eines spektrotemporalen Bereichs von 0,25 bis 8 *cycle/octave* und 0

bis 128 Hz durchgeführt wurde, wurden in der vorliegenden Studie Maskierungsmuster für die Modulationsfrequenzkombinationen 128-0, 64-0, 64-1, 32-1, 32-2, 16-2, 16-3 und 8-3, jeweils in *Hz-cycles/octave*, bestimmt.

Methode

Fünf Probanden im Alter zwischen 22 und 26 Jahren wurden bei einem Schalldruckpegel von 65 dB SPL Stimuli mittels eines 3 - Intervall Auswahlverfahrens dargeboten. Weißes Rauschen $C(t)$ wurde mit verschiedenen spektrotemporalen Frequenzpaaren moduliert, der Versuchsparameter in allen Versuchsläufen war die Modulationstiefe. Es wurde zunächst die Detektionsschwelle ohne Maskierung und danach die Detektionsschwelle mit Maskierung bestimmt. Jeder Stimulus hatte eine Länge von 1 s und wurde mittels eines Butterworth Filters zweiter Ordnung auf 0.5 kHz bis 6 kHz bandbegrenzt. Zwischen den Stimuli wurde eine Pausen 0.5 s ausgegeben. Bei der Detektionsschwellenmessung ohne Maskierung musste die Zielmodulation von weißem Rauschen $C(t)$ unterschieden werden. In der Maskierungssituation enthielten zwei Stimuli nur den Maskierer und ein dritter Stimulus die Zielmodulation addiert mit dem Maskierer. Die Maskierer wurden jeweils aus der Addition von 5 verschiedenen modulierten Signalen bei unterschiedlichen Phasenwinkeln zusammengesetzt. Die modulierten Signale $S(t, f, \omega, \Omega)$ wurden gemäß Formel 1 durch Multiplikation des variierenden Rauschens $C(t)$ mit dem Modulator $M(t, f, \omega, \Omega)$ generiert. Dabei kennzeichnet f die Frequenz, t die Zeit, Ω ist die Modulation im Frequenzbereich und ω die Modulation im Zeitbereich.

$$\begin{aligned}
 S(t, f, \omega, \Omega) &= C(t) \cdot M(t, f, \omega, \Omega) = & (1) \\
 & C(t) + A \cdot [C(t) \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_\omega) \\
 & \cdot \text{Real}(F^{-1}(F(C(t) \cdot \cos(\Omega \cdot \log_2(f/f_0) + \phi_\Omega))) \\
 & + C(t) \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi_\omega) \\
 & \cdot \text{Real}(F^{-1}(F(C(t) \cdot \sin(\Omega \cdot \log_2(f/f_0) + \phi_\Omega)))]
 \end{aligned}$$

Auswertung

Die Maskierungsstärke ergibt sich durch Subtraktion der unmaskierten Hörschwellen von den maskierten Hörschwellen. In Abbildung 2 sind die individuellen Maskierungsstärken der Probanden und die Mittelwerte für verschiedene Frequenzpaare in dB über der temporalen Maskierermodulationsfrequenz in Hz aufgetragen. Die mittlere Maskierungsmodulationsfrequenz entspricht dabei jeweils der temporalen Modulationsfrequenz des Zielsignals. Die spektralen Maskierungsmodulationen wur-

den bei der Vermessungen der Modulationsfrequenzpaare konstant gehalten. Durch maximale Maskierung bei Maskierern, deren Frequenz den geringsten Abstand zu der Frequenz der spektrot temporalen Zielmodulation haben, deuten Modulationsmaskierungsmuster auf das Vorhandensein spektrot temporaler Modulationsfilter hin. Ist die Modulationsdetektionsschwelle an der Zielfrequenz niedriger als bei einer kleineren Frequenz deutet dies darauf hin, dass die betreffende Zielfrequenz größer als die Mittenfrequenz des Modulationsfilters mit der maximalen Frequenz ist. Die Mittelwerte und die individuellen Ergebnisse der Messungen bei den Frequenzpaaren 128-0, 64-0, 64-1 und 32-2 (jeweils in Hz - cycl./oct.) deuten auf vorhandene Modulationsfilter hin. Die Frequenzpaare 32-1, 16-3, 16-2 und 8-3 zeigen keine klaren Tendenzen für Modulationsfilter.

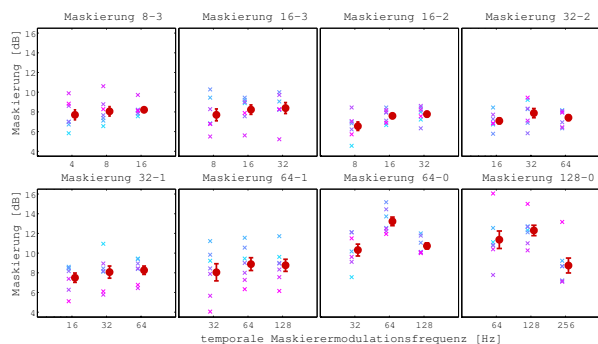


Abbildung 2: Individuelle Maskierung neben dem Mittelwert in *dB* jeweils mit Standardfehler über der temporalen Maskierermodulationsfrequenz in *Hz* bei unterschiedlichen Modulationsfrequenzpaaren in *Hz - cycles/octave*. Die geringe Verrückung der individuellen Werte zu den Mittelwerten dient lediglich der besseren Darstellung.

Diskussion

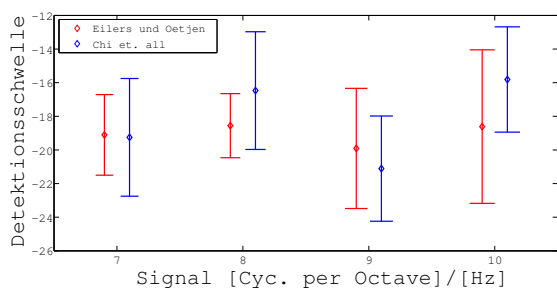


Abbildung 3: Mittelwerte der Detektionsschwellenmessungen in *dB* mit Standardabweichung über den Zielmodulationsfrequenzpaaren 16-2, 32-2, 32-1 und 64-1 (rot) in *Hz-cycles/octave* neben den Ergebnissen von Chi et al. (1999) [5] (blau). Die geringe Verrückung der Werte dient der besseren Darstellung.

Der Vergleich der spektrot temporalen Modulationsdetektionsschwellen mit den Ergebnissen von Chi et al. (1999) [5] zeigt einen ähnlichen Verlauf wie in Abbildung 3 zu sehen ist. Der Unterschied beträgt zwischen den jeweiligen Mittelwerten 1 bis 4 *dB*. Ein Vergleich der gemessenen spektrot temporalen Maskierungsmuster der Studien von

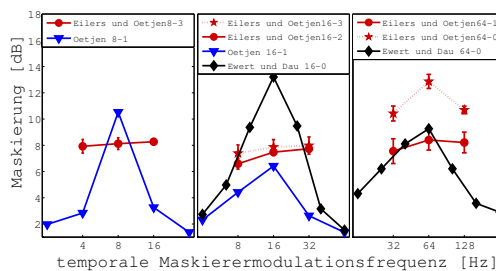


Abbildung 4: Mittelwerte der Maskierung mit Standardfehlern in *dB* aufgetragen über der temporalen Maskierermodulationsfrequenz in *Hz* für verschiedene Modulationsfrequenzpaare in *Hz - cycl./oct.*. Daneben sind die Ergebnisse der Studien von Oetjen und Verhey (2011) [1] sowie Ewert und Dau (2000) [3] eingezeichnet. Die mittlere Maskierermodulationsfrequenz entspricht der temporalen Modulation des Zielsignals.

Oetjen und Verhey (2011) [1] und von Ewert und Dau (2000) [3] mit den vorliegenden Messwerten in Abbildung 4 deutet aufgrund des Einbruchs spektrot temporaler Modulationsfilter bei Erhöhung der spektralen Komponente darauf hin, dass Grenzen spektrot temporaler Modulationsfilter existieren, jedoch nicht einwandfrei zu quantifizieren sind. Es ergeben sich daher deutliche Hinweise auf das Vorhandensein von spektrot temporalen Modulationsfiltern, die scheinbar von der rein spektralen oder temporalen Modulationswahrnehmung unabhängig sind. Die maximalen Frequenzen für diese Modulationsfilter liegen vermutlich unterhalb der in dieser Studie untersuchten spektrot temporalen Frequenzpaare aber überhalb der Frequenzpaare aus der vorangegangenen Studie von Oetjen und Verhey (2011).

Literatur

- [1] Oetjen, Arne; Verhey, Jesko (2011) *Psychoakustik spektrot temporaler Modulationen*, Fortschritte der Akustik-DAGA 2011
- [2] Miller, Lee M.; Escabi, Monty A.; Read, Heather L.; Schreiner, Christoph E. (2002) *Spectrotemporal Receptive Fields in Lemniscal Auditory Thalamus and Cortex*, *J Neurophysiol* 87:516-527
- [3] Ewert, Stefan D.; Dau, Torsten (2000); *Characterizing frequency selectivity for envelope fluctuations*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 108:1181-1196
- [4] Chi, Taishih; Gao, Yujie; Guyton, Matthew C.; Ru, Powen; Shamma, Shihab (1999); *Spectro-temporal modulation transfer functions and speech intelligibility*, *J. Acoust. Soc. Am.*, S 0001-4966(99)02210-9
- [5] Moore, Brian C. J.; Füllgrabe, Christian; Sek, Aleksander (2009); *Estimation of the center frequency of the highest modulation filter*, *J. Acoust. Soc. Am.*, DOI: 10.1121/1.3056562
- [6] Saoji, Aniket A.; Eddins, David A. (2007); *Spectral modulation masking patterns reveal tuning to spectral envelope frequency*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 122:1004-1013