

Frequenzgruppenbreiten - Für das Beste im Hörgerät

Ludwig Kollenz¹

¹Institut für Musikwissenschaft, Universität Wien

Hintergrund

Fletcher und Munson (1933) formulierten in Zuge ihrer Forschung an „Loudness“ erstmals das Konzept Frequenzen innerhalb einer bestimmten Bandbreite als eine einzelne Komponente zu behandeln. Zwicker et al. (1958) konnten ein Phänomen messen, welches sie Frequenzgruppenbreiten nannten und meinten es wäre proportional zu den critical bands, jedoch seien Frequenzgruppenbreiten breiter. Unter 500Hz sind nach ihrer Forschung die Frequenzgruppen stets 100Hz breit, darüber haben sie immer eine Terz Umfang proportional zur Mittenfrequenz. Sie entwickelten daraus eine Skala aus 24 Bändern (Zwicker, Feldtkeller 1967).

Nach Moore (1995) sind die Frequenzgruppen unterhalb 500Hz deutlich schmaler als bei Zwicker, wodurch sich bei Moore insgesamt fast 40 Bänder ergeben. Auffallend ist, dass stets von bestimmten Mittenfrequenzen ausgegangen wird, also einer festen Einteilung der Bänder.

Spreng vermutete 1966 die Cochlea als Ursprung der Frequenzgruppen und konnte die Frequenzgruppen in der Hirnrinde mittels eines EEGs messen. Spreng vertritt bei Keidel (1975) die These, dass das Gehirn die Frequenzgruppenbreiten mit variabler Breite und Mittenfrequenz verarbeitet. Nach dieser These kann das Gehör zwei Erregungsbereiche erst dann trennen, wenn dazwischen ein Bereich geringerer Erregung liegt. Die Autoren beschreiben einen Versuch, bei dem Frequenzgruppen mit der dreifachen Breite von Zwickers Modell provoziert wurden. Auch Reuter verwies 1995 auf das dynamische Verhalten von Frequenzgruppen.

Da Frequenzgruppenbreiten im Gehör sowohl für Lautheitsauswertung wie auch für Informationsschärfung genutzt werden (Weinzierl 2010), liegt der Vorteil für ein Hörgerät in einem solchen Modell in der verbesserten Aufbereitung eines Signals.

Methoden

Eine Wavelet-Transformation wird zur Überführung des Signals in die Frequenzdomäne genutzt, da sie eher der Frequenzauflösung der Cochlea entspricht als die Kurzzeit-Fouriertransformation (Wöhrmann, Solbach 1995). Patterson (1987) entwickelte das Gammatone-Filter, das die Filterung in der Cochlea gut nachbilden kann. Daher bietet sich das Gammatone-Filter als Wavelet an, etwa stellen Wöhrmann und Solbach (1995) ein komplexes Gammatone-Filter vor.

Der Betrag-Frequenzgang des transformierten Signals wird von einem valley-finding-Algorithmus analysiert und auf Basis dessen die Frequenzgruppenbreiten definiert (von Tal zu Tal); analog zu Sprengs und Keidels Erkenntnissen.

Wird eine Frequenzgruppe als Rechteckfunktion aufgefasst, kann ihre Intensität und daraus folgend ihre Pegel berechnet werden. Ihre Intensität ist jener Teil der Intensität eines Klangs, der innerhalb der Frequenzgruppe liegt (Fastl, Zwicker, 2006).

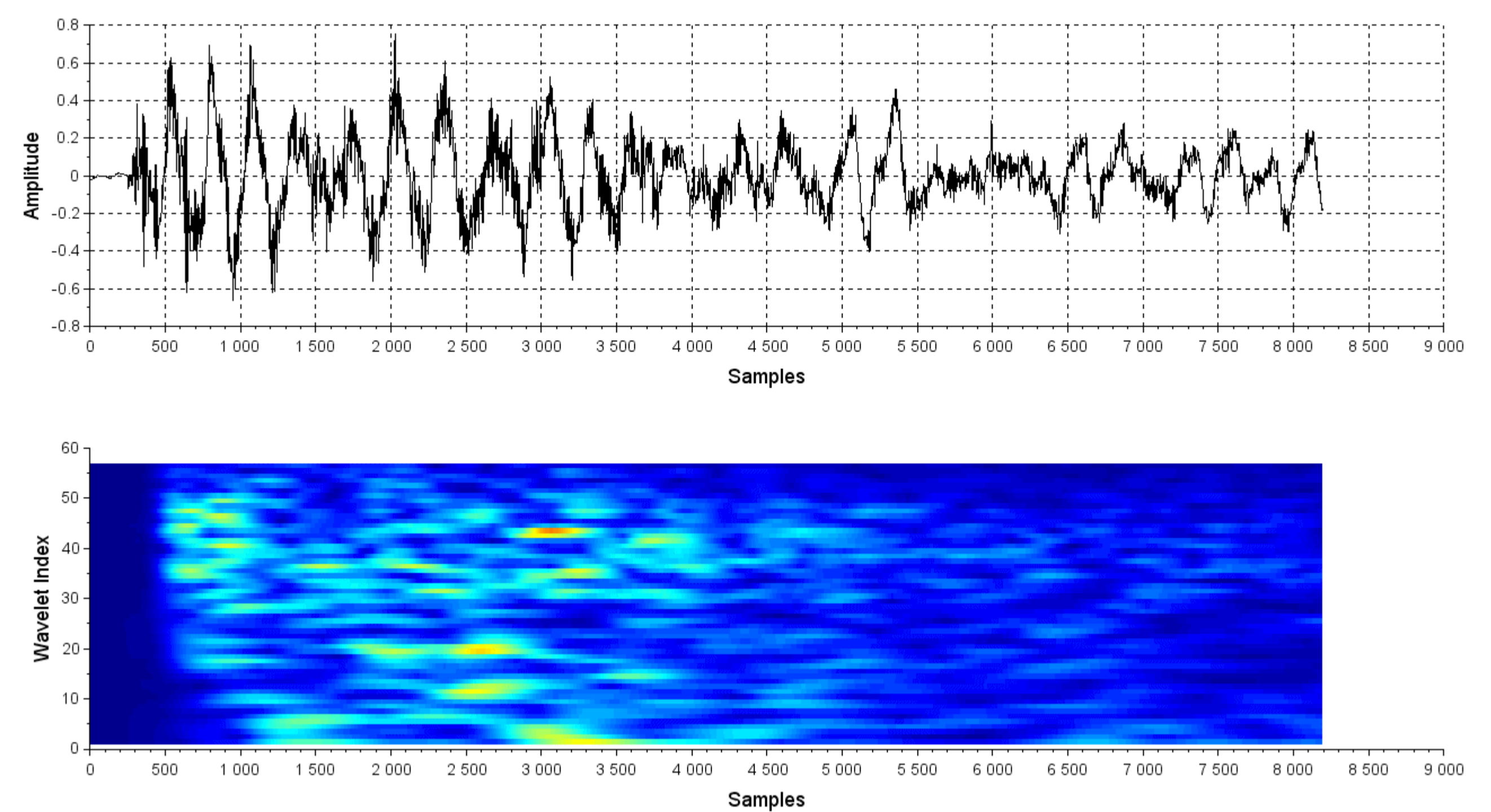
Die erneute Ermittlung der Frequenzgruppen und damit der Lautheit erfolgt alle 10ms.

Ziele

Ziel ist es einen Algorithmus für Hörgeräte zu entwickeln, der die Frequenzgruppenbreiten alle 10ms anpasst. Da das Gehör Frequenzgruppenbreiten nutzt, um Lautheit zu erfassen, sollte sich eine optimale Verstärkung erzielen lassen. Außerdem könnten im geschädigten Hörbereich Frequenzgruppen schärfer hervorgehoben werden, um die Sprachverständlichkeit zu heben.

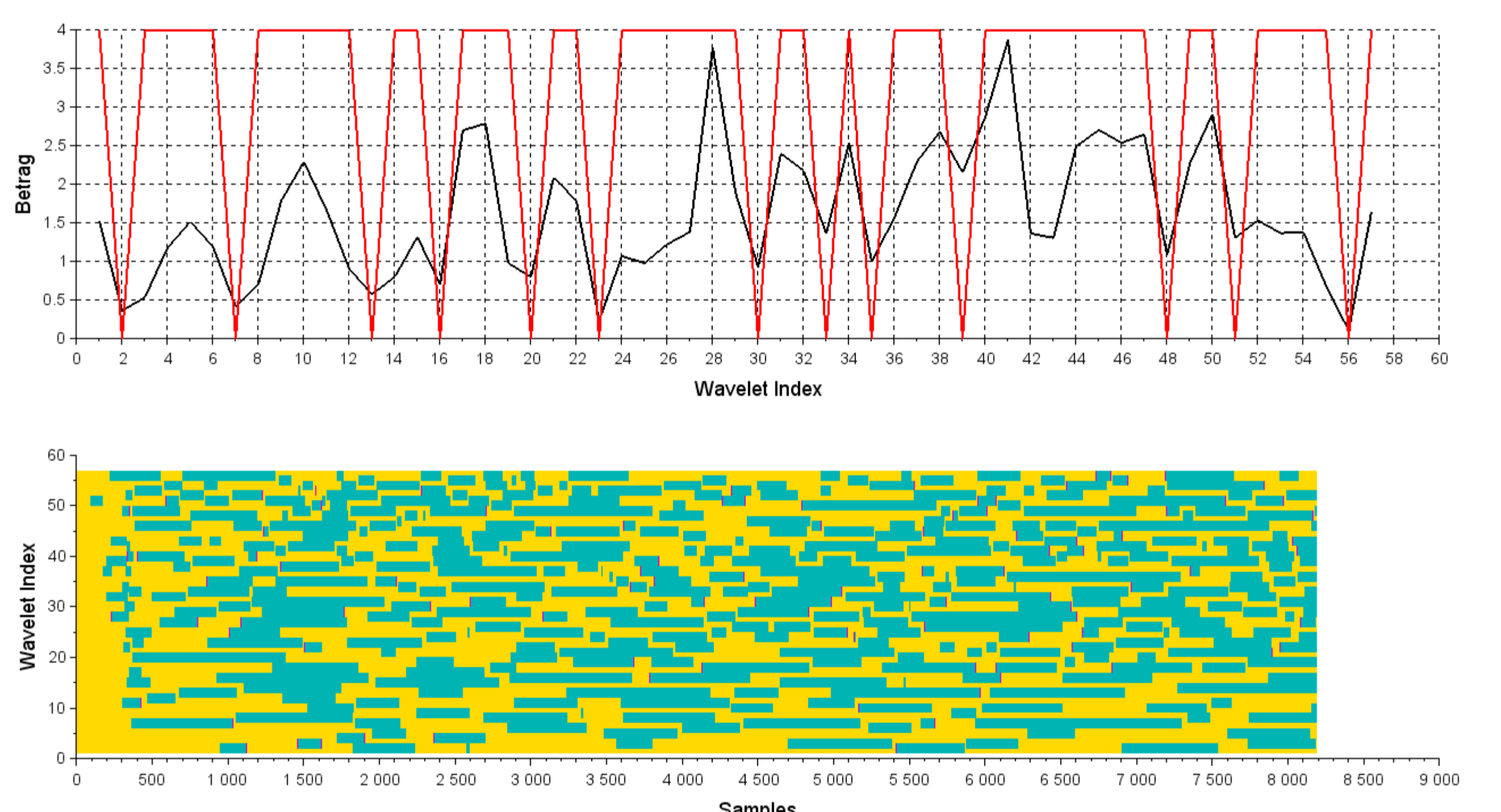
Ergebnisse

Der Algorithmus ist in einer frühen Version einsatzfähig: Für die Wavelet-Transformation wurden bereits Modifikationen des Gammatone-Filters vorgeschlagen, um ein gültiges Wavelet zu erhalten. Etwa schlägt Unoki (2000) ein komplexes Gammatone-Wavelet vor.



Oben Wellenform, unten Betragsspektrum der Analyse.

In der aktuellen Form des Algorithmus wird eine Filterbank aus 56 Wavelets verwendet und die Frequenzgruppen (hier nach Zwicker) geviertelt. Dadurch ergibt sich eine genauere Auflösung und die Möglichkeit Frequenzgruppen dynamisch zu ändern. Die Filterbank analysiert in einem Bereich von 1kHz bis 6,3kHz.



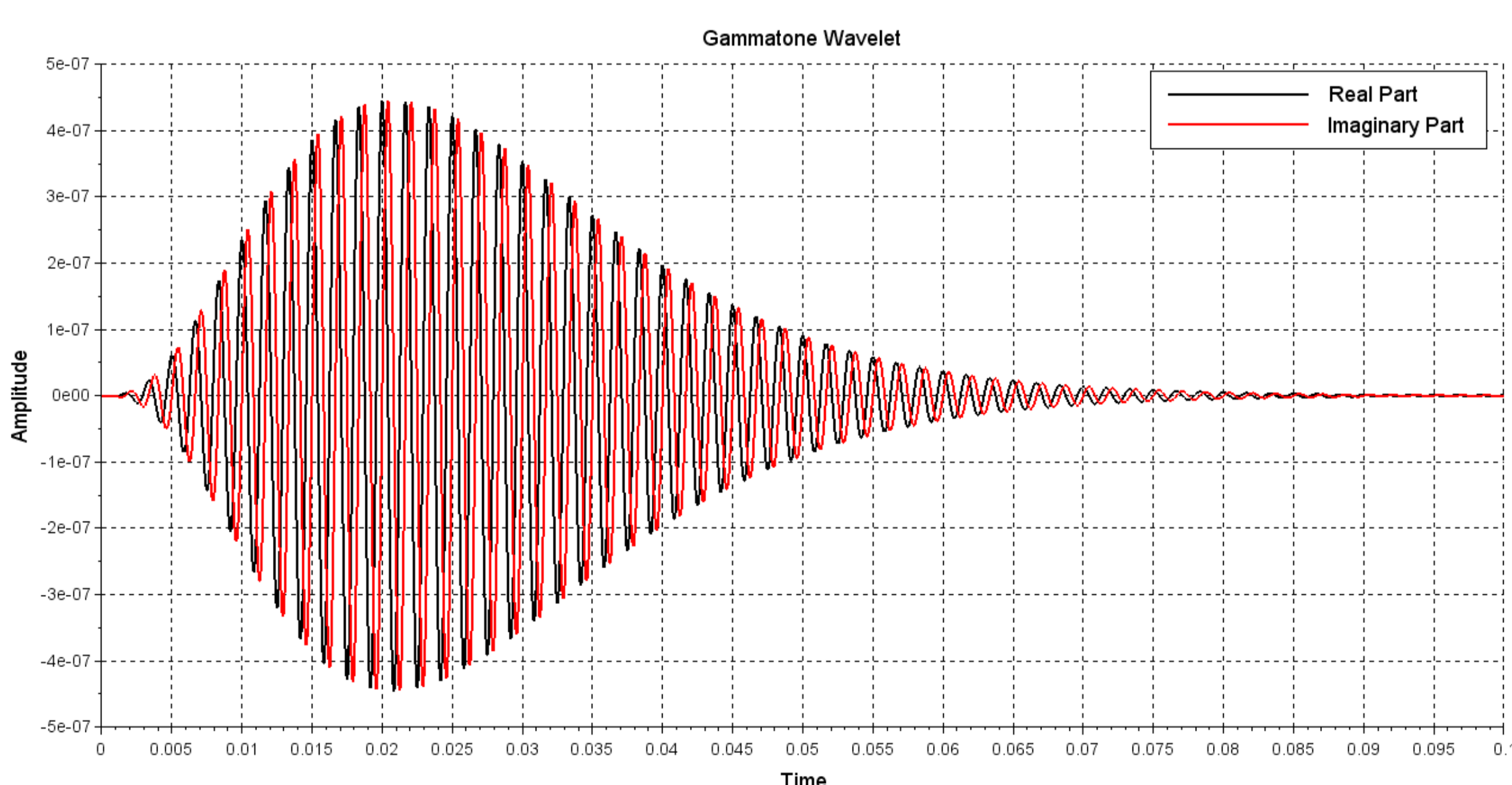
Oben gefundene Frequenzgruppenbreiten (rot) zu einem Zeitpunkt über dem Betragsspektrum (schwarz); darunter gefundene Frequenzgruppen über Frequenz und Zeit.

Conclusio

Die Wavelet-Transformation bietet etliche Vorteile gegenüber einer FFT, jedoch bringt sie zwei Nachteile: Durch die Filterbank ergibt sich eine Latenz und einen Rechenaufwand, die derzeit zu hoch für den Einsatz in einem Hörgerät sind. Günstig wäre eine schnelle Wavelet-Transformation mit Filtern niedriger Ordnung.

Die zukünftige Entwicklung des Projekts wird die Erweiterung auf die Wavelet-Packet-Transformation, sowie die Ausdehnung auf Gammachirp-Wavelets. Da die Auflösung der Wavelet-Packet-Transformation variabel ist, wäre eine rekursive Variante auf Basis vergangener Frequenzgruppen denkbar.

Außerdem soll das dynamische Verhalten von Frequenzgruppen über Frequenz und Zeit untersucht werden.



Komplexes Gammatone-Wavelet.

Literatur

Fletcher, Harvey; Munson, W.A.: "Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation", in JASA 1933, S. 82 – 108. - Fastl, Hugo; Zwicker, Eberhard: *Psychoacoustic Facts and Models*, Springer 2006. - Keidel, Wolfgang: *Physiologie des Gehörs*, Thieme 1975. - Moore, B.C.J.: "Frequency Analysis and Masking", in *Hearing* 1995. - Patterson, Roy; Nimmo-Smith, Ian: "An Efficient Auditory Filterbank Based on the Gammatone Function", in SVOS Final Report 1987. - Reuter, Christoph: *Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente*, Lang 1995. - Spreng, Manfred: "Neurophysiological Evidence for Critical Bandwidth in Audition", in *Bionics Symposium*, Dayton 1966. - Unoki, Masashi: "A Method of Signal Extraction from Noisy Signal based on Auditory Scene Analysis", Japan Advanced Institute of Science and Technology 2000. - Weinzierl, Stefan: *Handbuch der Audiotechnik*, Springer 2008. - Wöhrmann, Rolf; Solbach, Ludger: "Preprocessing for the Automated Transcription of Polyphonic Music: Linking Wavelet Theory and Auditory Filtering", ICMC Proceedings 1995, S. 396 - 399. - Zwicker, Eberhard; Feldtkeller, Richard: *Das Ohr als Nachrichtenempfänger*, S. Hirzel 1967. - Zwicker, E.; Flottorp, G.; Stevens, S.: "Critical Band Width in Loudness Summation", in JASA 1958.