

Variatio delectat – Adaptive Frequenzgruppenbreiten

Ludwig Kollenz¹, Esther Rois-Merz²

¹Institut für Musikwissenschaft, Universität Wien; ²Audienz – musikalische Hörberatung e.U., Wien

Hintergrund

In Kooperation mit der Firma Audienz entsteht derzeit ein Projekt an der Universität Wien, in dem das dynamische Verhalten von Frequenzgruppenbreiten für Hörgeräte nutzbar gemacht werden soll, was auditorische Filter mit variabler Breite und Mittenfrequenz bedingt. Schon 1958 untersuchten Zwicker, Flottorp und Stevens den Einfluss von Frequenzgruppenbreiten auf die Lautheitswahrnehmung; Zwicker und Feldtkeller erstellten 1967 eine willkürliche Reihung aus 24 Frequenzgruppen. In den 1990ern wurde von Moore et al. (Moore, 1995) erneut an Frequenzgruppen geforscht mit anderen Ergebnissen: Bei Moore sind Frequenzgruppen allgemein schmaler, speziell unter 500Hz. So kommt Moore auf eine Staffelung von 40 Bändern.

Die Aufsichtung von Frequenzgruppen irritiert, denn schon Reuter verwies 1995 auf die dynamische Ausbildung dieser. Keidel (1975) kommt zu dem Ergebnis, dass die Basilarmembran eine höhere Trennschärfe als angenommen besitzt. Er betont, dass Frequenzgruppen bei beliebigen Mittenfrequenzen entstehen können und vertritt die These, dass das Gehör zwei Erregungsbereiche erst dann trennen kann, wenn dazwischen eine Zone mit geringerer Erregung liegt. (Keidel nennt dies Einsattelung).

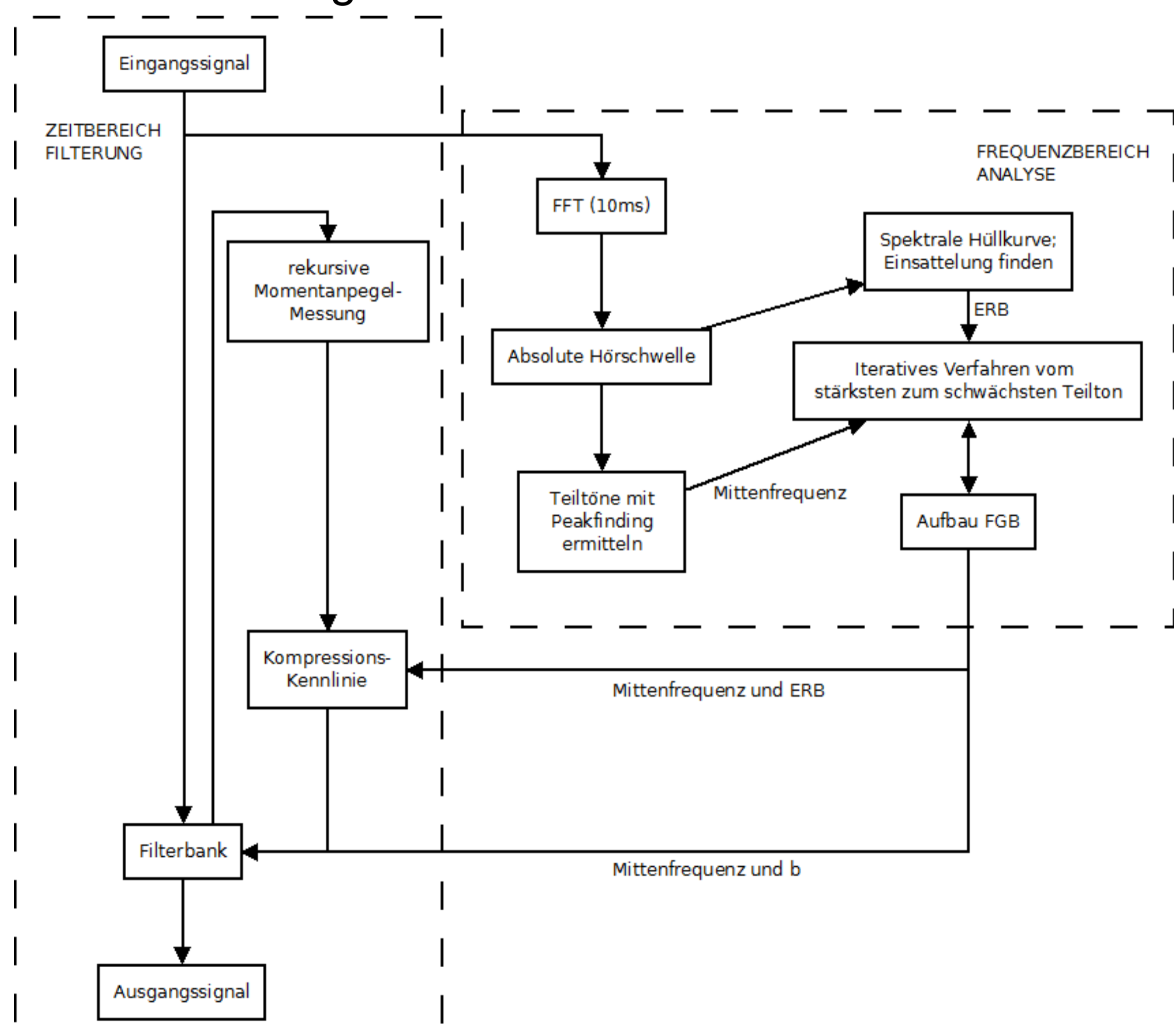
Frequenzgruppen erlauben dem menschlichen Gehör Schallanteile ohne Nutzinformation zu unterdrücken und Teiltöne in einem Klang zu detektieren. Weitere Effekte sind die Lautheitsauswertung und damit die Frequenzabhängigkeit der Mithörschwelle. (Weinzierl, 2008) Der Amplitudenfrequenzgang eines auditorischen Filters ist zu den Tiefen hin eher konstant, wird zu den Höhen immer flacher, je mehr Pegel anliegt (Fastl, Zwicker, 2006).

Bei sensorineuralen Schäden steigt die Ruhehörschwelle in einem bestimmten Bereich (Laback, 1998). Frequenzgruppen werden im geschädigten Bereich breiter und enthalten mehr Rauschenergie (Keidel, 1975).

Aus den oben vorgestellten Forschungen folgt, dass Frequenzgruppen offensichtlich in ihrer Lage und Breite sehr variabel sind. Außerdem ändert sich ihre Filterfunktion mit der Auslenkung; ein Hörgerät müsste das berücksichtigen. Frequenzgruppen müssten vermutlich durch ein Hörgeräte verschärft und überbetont werden.

Methoden

Hartmann (2005) vergleicht verschiedene auditorische Filter. Gammatone-Filter scheinen gut für eine Simulation von Frequenzgruppenbreiten geeignet, da sie eine effiziente Implementierung ermöglichen. Der Algorithmus führt alle 10ms eine FFT (Zeitfenster 10ms) durch und berechnet ein peak-finding, sowie eine Hüllkurve. Das peak-finding wird benötigt um Teiltöne zu ermitteln, die stärksten dienen als Mittenfrequenzen. Die Hüllkurve wird genutzt um Keidels These umzusetzen: Einsattelungen in der Hüllkurve definieren die Grenzen einer Frequenzgruppe. Mit diesen Informationen wird die Filterbank angesteuert. Das bedeutet die Mittenfrequenzen und Breiten können variieren, aber auch die Anzahl der Filter! Eine Pegelmessung und eine Kompressionskennlinie (Schaub, 2005) steuern die Verstärkung durch die Filter für das Recruitment.



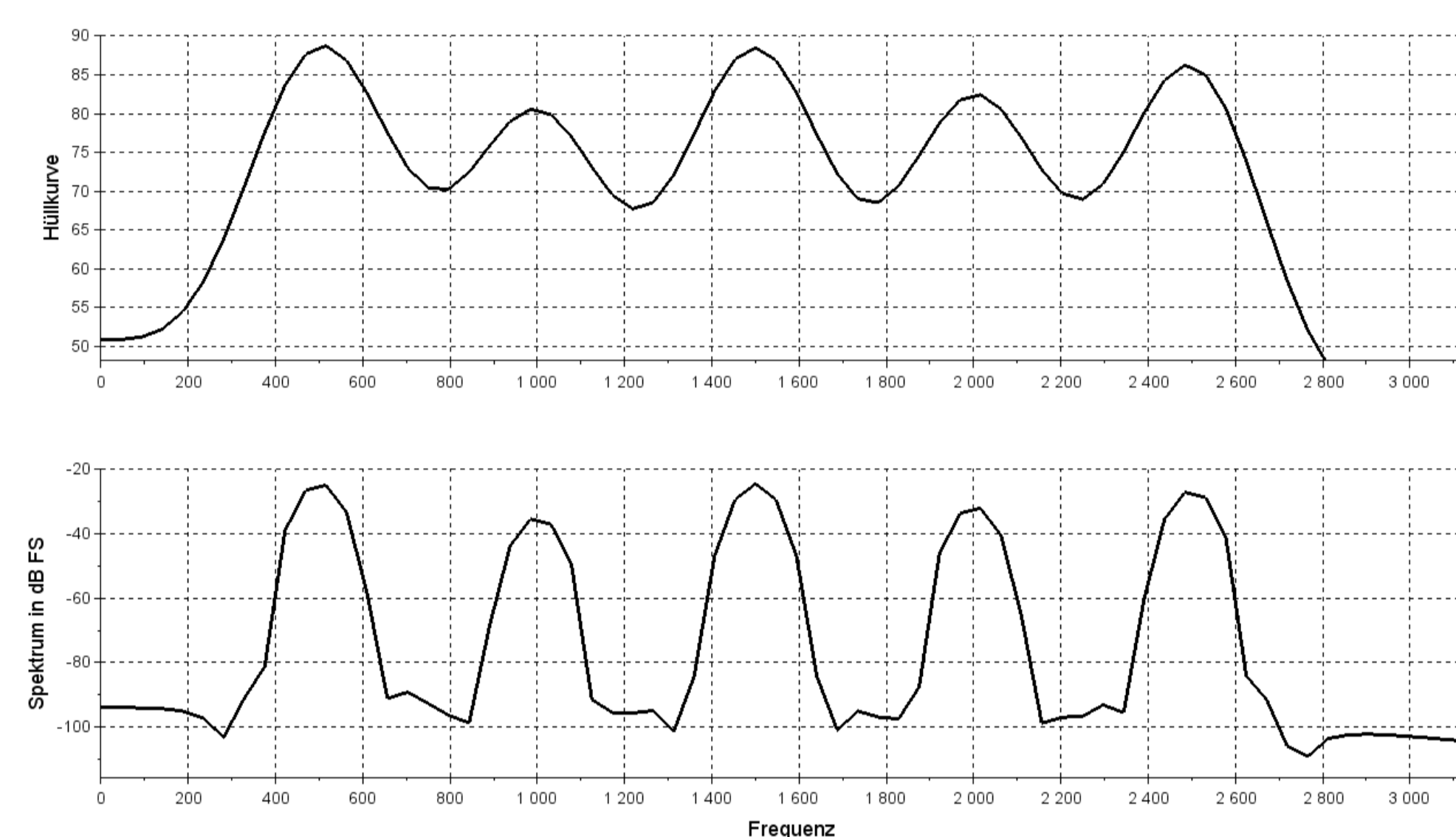
Flussdiagramm des Programms.

Ziele

Ziel ist es einen Algorithmus für Hörgeräte zu entwickeln, der die auditorischen Filter alle 10ms anpasst. Da das Gehör Frequenzgruppenbreiten nutzt, um Information von Störgeräuschen zu trennen, sollte dadurch eine bessere Sprachverständlichkeit erzielt werden. Wird ein Hörgerät mit entsprechender Bandbreite betrieben, müsste sich auch eine Verbesserung für die Wiedergabe von Musik ergeben.

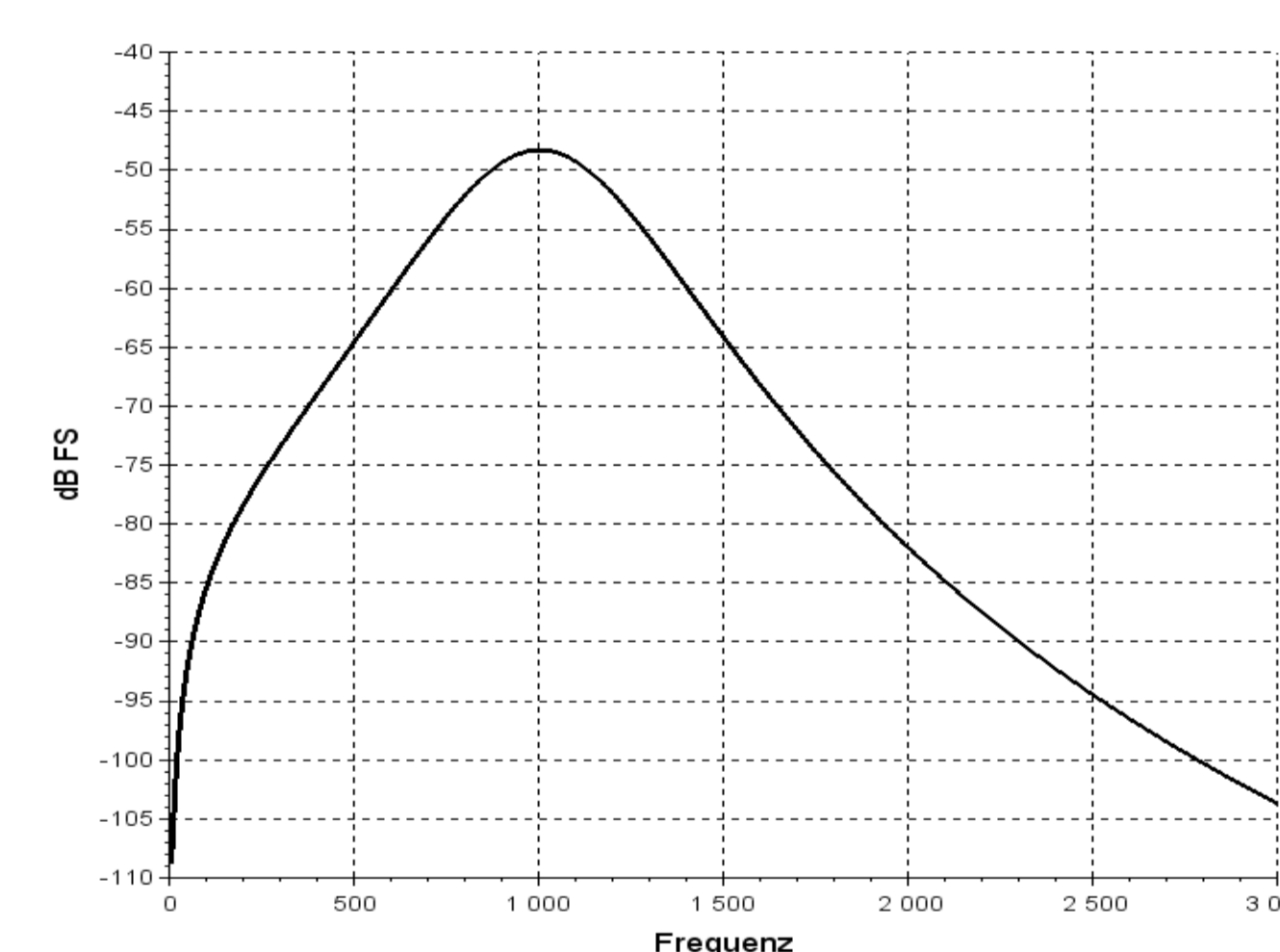
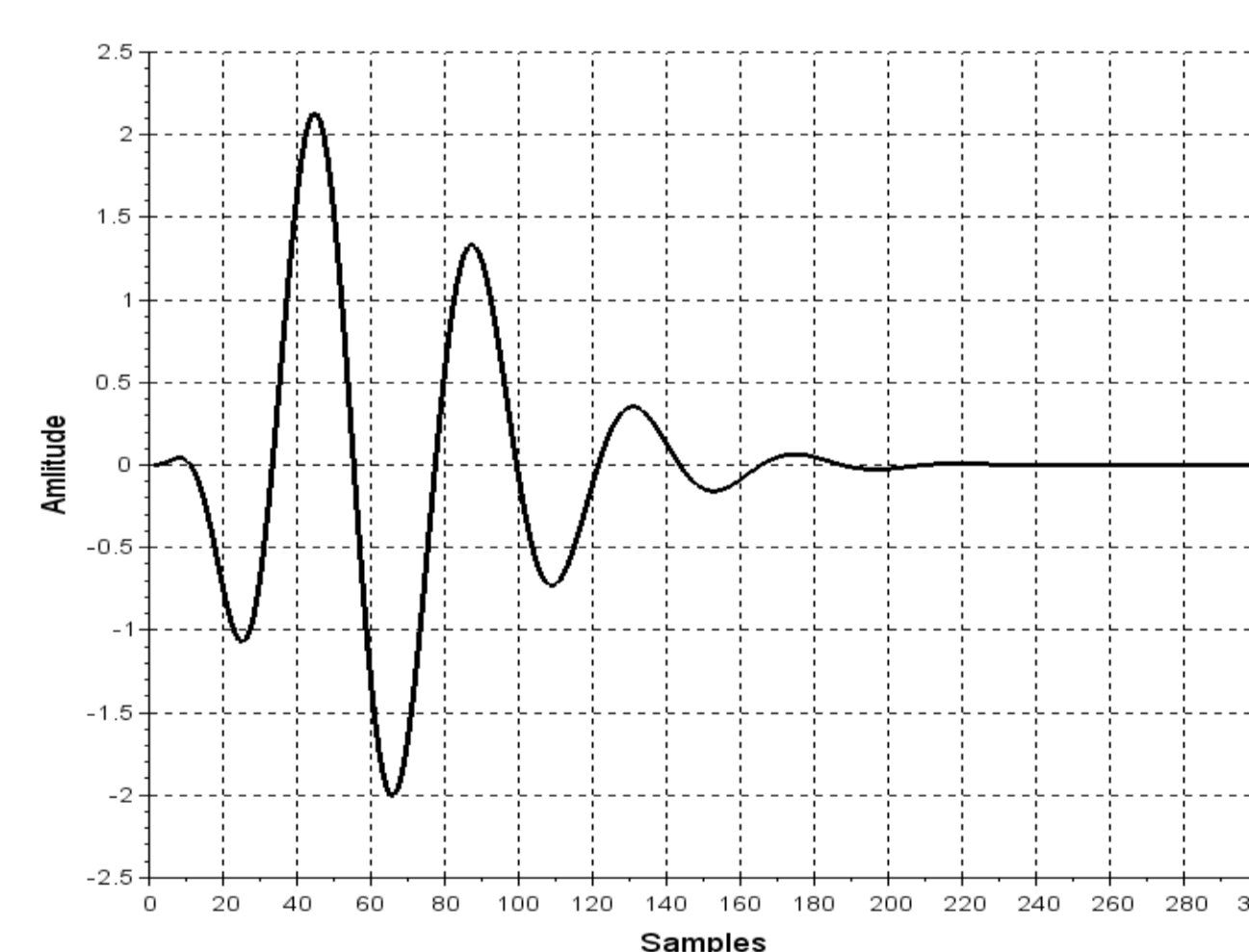
Ergebnisse

Der Algorithmus ist in einer frühen Version einsatzfähig: Er kann Signale mit eindeutigen Teiltönen verarbeiten und Frequenzgruppen dynamisch aufbauen. Die Ansteuerung der Filterbank ist ebenfalls implementiert – Mittenfrequenzen, Breite und Anzahl der Filter sind variabel. Aus den Daten der FFT wird ein Amplitudenspektrum berechnet und alle peaks ermittelt. Mithilfe eines Cepstrums (Grünigen, 2008) wird die Hüllkurve berechnet. Der Bereich zwischen zwei Einsattelungen wird als Frequenzgruppe angenommen und daraus - zusammen mit einer Mittenfrequenz (einem peak) - die Parameter für die Generierung eines Gammatone-Filters abgeleitet.



Ein Teiltongemisch mit spektraler Hüllkurve.

Es fehlt noch die Implementation der Pegelmessung, denn diese wirft einige Probleme und Fragen auf. Schaub (2005) beschreibt für Hörgeräte eine rekursive Pegelmessung innerhalb der Frequenzbänder zur Verstärkung. Da hier die Bänder variabel sind, ist so ein Verfahren problematisch; es wird an Methoden geforscht auch in diesem Fall eine rekursive Pegelmessung zu verwenden.



Impulsantwort und Amplituden-Frequenzgang eines Gammatone-Filters.

Ein weiterer Forschungspunkt ist die spektrale Analyse: Die FFT liefert bei 10ms nur alle 100Hz einen Stützpunkt (Hesselmann, 1987). Eine Alternative wäre die Wavelet-Analyse, die sich als Filterbank in Baumstruktur effizient realisieren lässt. Die Nutzinformation ist auch meist nur in wenigen Koeffizienten enthalten. Vorteilhaft ist die Auflösung, denn bei den Höhen liefert diese Methode eine hohe Zeitaufklärung und bei den Tiefen eine hohe Frequenzaufklärung. Das würde in etwa dem menschlichen Gehör entsprechen (Grünigen, 2008), nicht zuletzt den Frequenzgruppen nach Moore und Glasberg.

Conclusio

Grundsätzlich ist ein Algorithmus für dynamische auditorische Filter möglich. Die weitere Forschung wird sich auf eine effiziente Umsetzung für Hörgeräte konzentrieren sowie auf psychoakustische Untersuchungen, ob die Sprachverständlichkeit dadurch tatsächlich verbessert wird.

Literatur

Fastl, Hugo; Zwicker, Eberhard: *Psychoacoustic Facts and Models*, Springer 2006. - Grünigen, Daniel Ch. von: *Digitale Signalverarbeitung*, Fotorotar 2008. - Hartmann, W.M.: *Signals, Sound, and Sensation*, Springer 2005. - Hesselmann, Norbert: *Digitale Signalverarbeitung*, Vogel 1987. - Keidel, Wolfgang: *Physiologie des Gehörs*, Thieme 1975. - Laback, Bernhard: *Effekte der Simultanmaskierung auf die Musikperzeption bei sensorineuralen Hörschäden und ihre Anwendung für Signalverarbeitungsalgorithmen*, Diss. Universität Wien 1998. - Moore, B.C.J.: "Frequency Analysis and Masking", in *Hearing* 1995. - Reuter, Christoph: *Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente*, Lang 1995. - Schaub, Arthur: *Digitale Hörgeräte*, Median 2005. - Weinzierl, Stefan: *Handbuch der Audiotechnik*, Springer 2008. - 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.