

# Adaptive Frequenzgruppenbreiten & Lautheitsmessung

Ludwig Kollenz

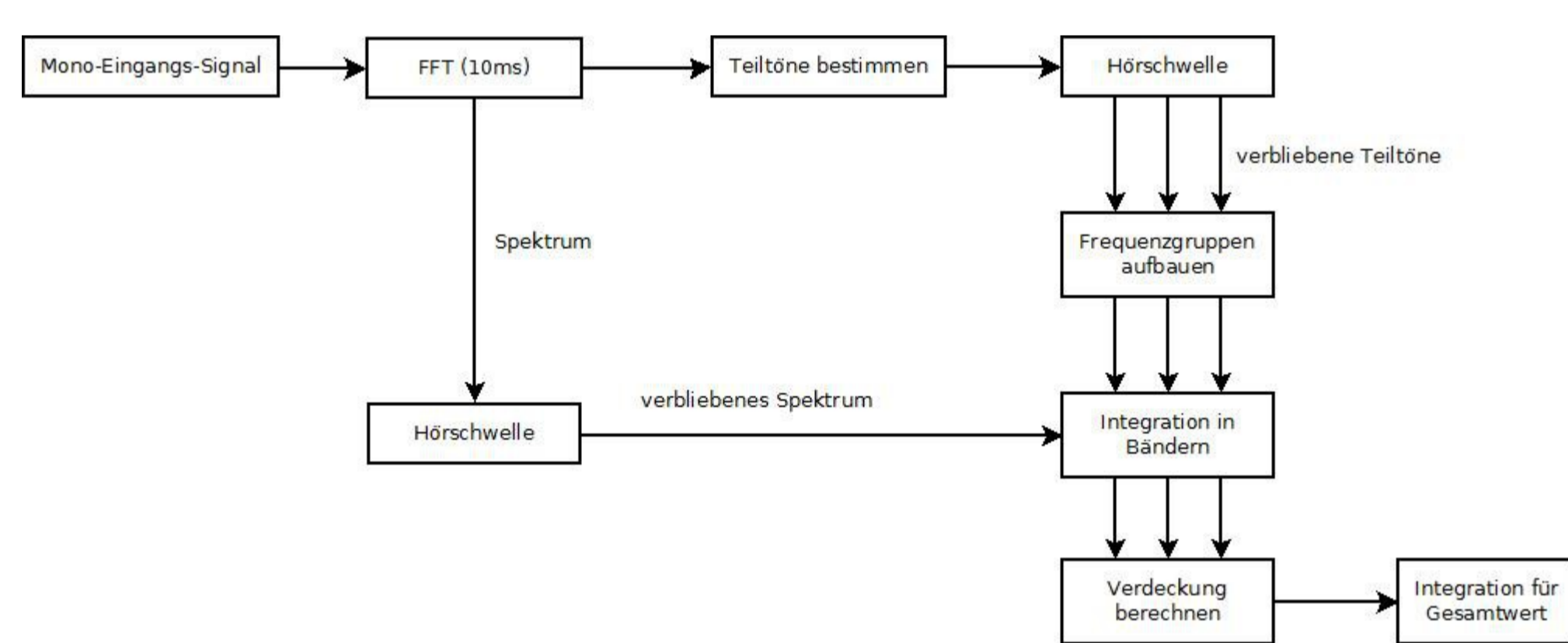
Institut für Musikwissenschaft, Universität Wien

## Hintergrund

Nach dem grundlegenden Aufsatz über die Auswertung von Frequenzgruppenbreiten zur Lautheitswahrnehmung (Zwicker, Flottorp und Stevens 1957) erstellten Zwicker und Feldtkeller eine *willkürliche* Reihung aus 24 Frequenzgruppen (z.B. Zwicker und Feldtkeller 1967), auf die im Zusammenhang mit frequenzgruppenbreitenbezogener Lautstärkeauswertung immer wieder zurückgegriffen wird (z.B. Fastl 2007; Zölzer 2003). Eine ähnliche Einteilung der Frequenzgruppenbreiten wird auch im Terzpegeldiagramm bei der Lautheitsmessung nach Zwicker verwendet (DIN 45631, 1967), das sich auch im Vergleich mit ähnlichen Lautheitsberechnungsverfahren (z.B. von Niese 1965 und Stevens 1961) durchaus bewährt hat (Zwicker 1966) und bis heute kaum verändert wurde (Möser 2010), obwohl schon an einigen Orten darauf hingewiesen wurde, dass die Frequenzgruppenbreiten ja eigentlich nicht fest sind, sondern sich dynamisch verhalten und die Lautheitsmessung deswegen entsprechend adaptiv verlaufen sollte (z.B. Reuter 1995).

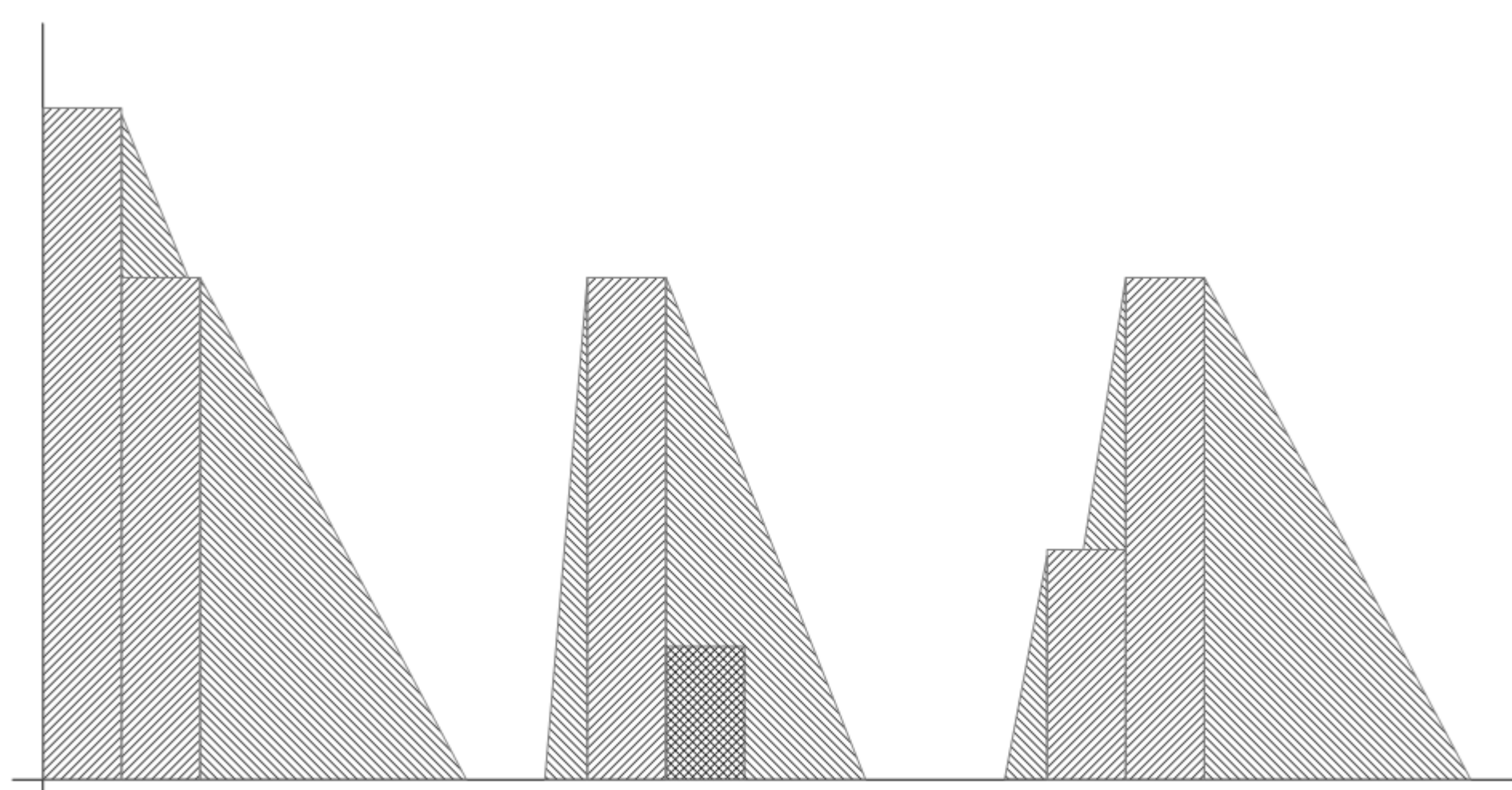
## Methoden

In Scilab wurde ein Algorithmus basierend auf dem Zwickerschen Terzpegel-Verfahren entwickelt. Alle 10ms wird eine FFT durchgeführt und die gefundenen Teiltöne dienen als Orientierung um die Frequenzgruppen aufzubauen. Die absolute Hörschwelle (Terhardt 1979) wird benutzt, um alle Spektrallinien unterhalb der Hörschwelle zu löschen. Die Frequenzgruppen werden vom stärksten Teilton beginnend bis zum schwächsten in Terzbreite berechnet. Für alle Teiltöne innerhalb dieser Frequenzgruppen werden keine eigenen Frequenzgruppenbreiten berechnet. Bei überlappenden Frequenzgruppen wird die des schwächeren Teiltons verkürzt zugunsten der des stärkeren. Danach wird die Integration jeder Frequenzgruppe durchgeführt.



Ein Flussdiagramm des Programms.

Maßgeblich für die endgültigen Werte der Berechnung ist die Verdeckung, wobei mehrere Fälle zu beachten sind. Terhardt liefert in seinem Artikel von 1979 eine Formel zur Berechnung der Verdeckung. Eine Frequenzgruppe kann eine nachfolgende vollständig oder partiell verdecken; es kann auch keine Frequenzgruppe folgen oder die nächst höhere Frequenzgruppe wird vollständig verdeckt und deren nachfolgende partiell. Derzeit berücksichtigt das Programm die Verdeckung zu höheren sowie niedrigeren Frequenzgruppen und die Verdeckung von „Löchern“, wo keine Frequenzgruppe ausgebildet wurde. Nach Berechnung der Verdeckung findet eine Pegeladdition aller Frequenzgruppenpegel statt.



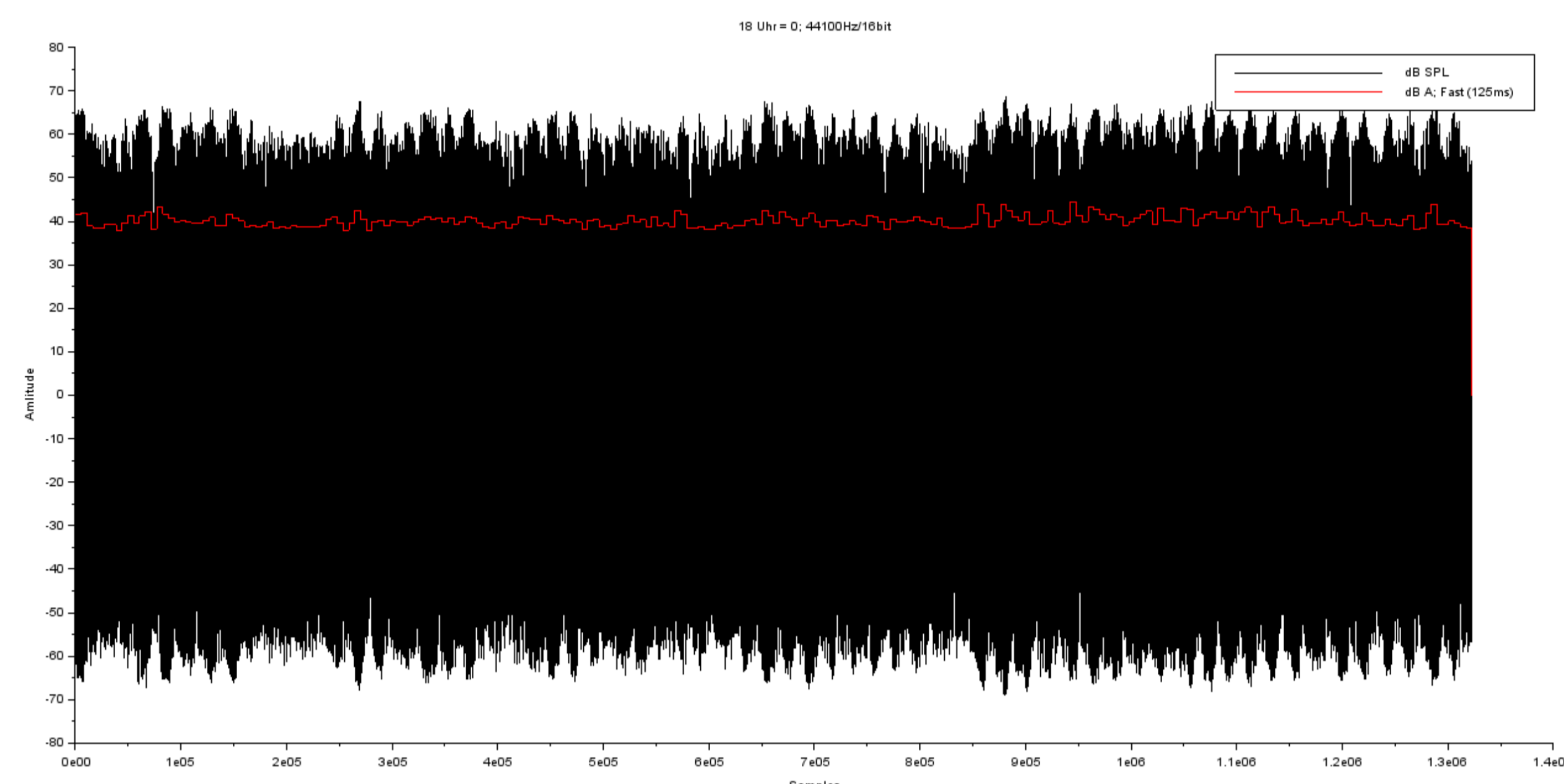
Verschieden Fälle der Verdeckung.

## Ziele

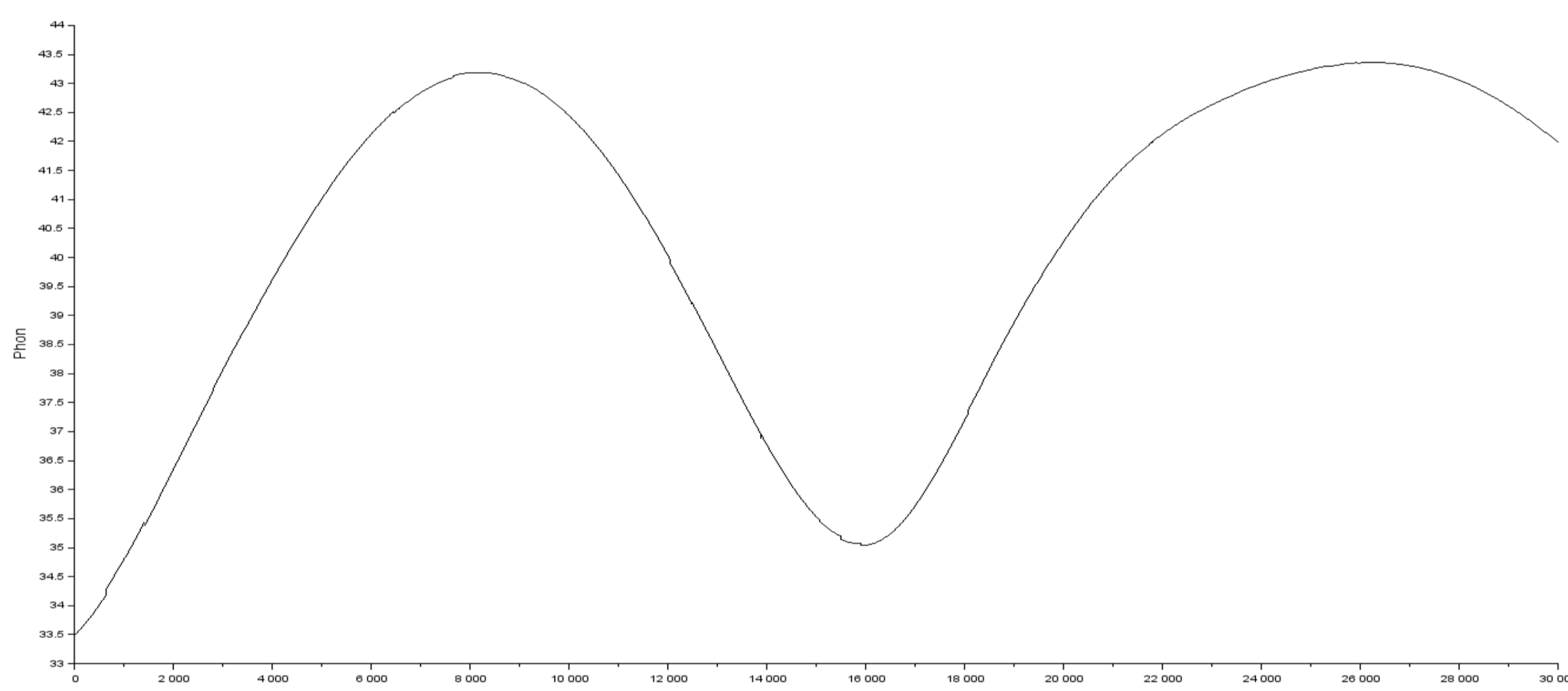
Mit der Implementierung von dynamischen Frequenzgruppenbreiten soll in diesem Beitrag eine gehörgerechtere Alternative vorgeschlagen werden mit dem Ziel, auf der Basis des Zwickerschen Terzpegelverfahrens die menschliche Lautstärkewahrnehmung möglichst gehörsadäquat und dynamisch adaptiv abzubilden.

## Ergebnisse

Um den Algorithmus zu testen wurde ein Vergleich mit einer dB(A)-Messung vorgenommen.



Oben: Eine dB(A) Messung; die rote Linie markiert die dB(A)-Werte (Fast = 125ms). Unten: Dieselbe Messung nach dem adaptiven Algorithmus.



## Ausblick

Der derzeitige Stand ist ein Prototyp bzw. eine Alpha-Version. Das Programm soll im nächsten Schritt um Isophone verschiedener Lautstärken erweitert werden. Dazu benötigt das Programm ein Gedächtnis, um ab einem gewissen anliegendem Lautheitspegel auf eine höhere Hörschwelle umzuschalten und bei verringertem Pegel die Schwelle langsam abzusenken.

Ein Problem ist derzeit die FFT; bei 10ms wird  $\Delta f$  (Abstand zweier Spektrallinien in Hz) zu groß und die Analyse ist ungenau. Das Programm soll zeitnah auf eine Waveletanalyse umgestellt werden. Da sie bei tiefen eine gute und bei hohen Frequenzen eine geringere Auflösung bietet ähnelt sie dem menschlichen Gehör. (Grünigen 2008)

Derzeit ist das Programm für rauschartige Signale ungeeignet, da der Algorithmus noch auf Teiltöne angewiesen ist. Die Implementierung wird mithilfe einer Analyse auf rauschartige Charakter erfolgen und in diesem Fall die Lautstärkenberechnung mit einer festen Frequenzgruppeneinteilung erfolgen.

## Conclusio

Die Unterschiede des adaptiven Verfahrens zu herkömmlichen Messverfahren sind aufschlussreich. Leider kann die Berechnung der spezifischen Lautheit und damit auch der Gesamtlautheit nicht erfolgen, da von Mel/Bark ausgegangen wird, d.h. von Einheiten, die wiederum feste Frequenzgruppen zur Grundlage haben.

## Literatur

Fastl, H.; Zwicker, E.: *Psychoacoustics*, Berlin u.a.: Springer 2007. – Grünigen, Daniel Ch. von: *Digitale Signalverarbeitung*, Egg: Fotorotar 2008. – Möser, Michael (Hrsg.): *Messtechnik der Akustik*, Berlin u.a.: Springer 2010. – Reuter, Ch.: *Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente*, Berlin u.a.: Peter Lang 1995. – Terhardt, E.: "Calculating Virtual Pitch", in *Hearing Res.*, Vol. 1, 1979. – Zölzer, U.: *Digitale Audiosignalverarbeitung*, Stuttgart u.a.: Teubner 2008. – Zwicker, E.: "Lautstärkeberechnungsverfahren im Vergleich", in *Acustica*, Vol. 17, 1966. – 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*, Vol. 29, No. 5., 1957.