

# Zum Zusammenhang zwischen Mithörschwellen und Tuningkurven

Bernhard U. Seeber

Lst. f. Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München, 80290 München, Email: seeber@ei.tum.de

## 1 Einleitung

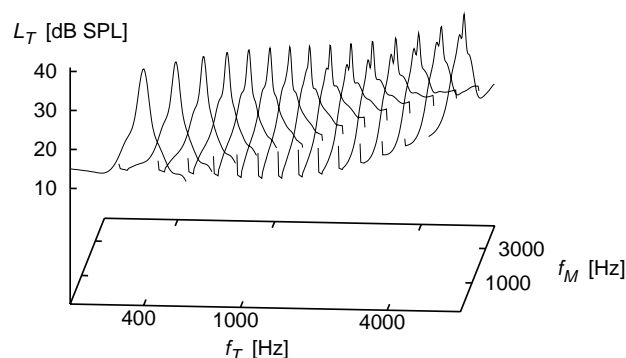
Tuningkurven und Mithörschwellen werden oft zur Beschreibung der Frequenzselektivität des Gehörs verwendet. Psychoakustische Tuningkurven unterscheiden sich von psychoakustischen Mithörschwellen in der Messung dahingehend, daß die feste und die abhängige Variable vertauscht werden. Welche Unterschiede sich daraus ergeben, kann durch die Umrechnung von Mithörschwellen in Tuningkurven untersucht werden.

Die Spektralanalyse der Cochlea wird häufig durch eine Filterbank modelliert. So hat beispielsweise Terhardt in [4] ein lineares Modell einer Gehörfilterbank vorgestellt, welches aus einem Vorfilter zur Modellierung der Gehörgangsresonanzen mit anschließender paralleler Filterbank besteht. Daten für die Parametrisierung einer solchen Gehörfilterbank können durch die Untersuchung psychoakustischer Tuningkurven gefunden werden.

## 2 Umrechnung von Mithörschwellen in Tuningkurven

Eine Mithörschwelle wird gemessen, indem ein Sinuston als Testton im Beisein eines Maskiererschalles dargeboten und so im Pegel verändert wird, daß er gerade hörbar ist. Im klassischen Mithörschwellenmuster wird der Pegel des Testtones  $L_T$  in Abhängigkeit von seiner Frequenz  $f_T$  mit dem Maskiererpegel  $L_M$  und der Maskierfrequenz  $f_M$  als Parameter aufgetragen. Wird dagegen ein Testton mit konstantem niedrigen Pegel  $L_T$  und fester Frequenz  $f_T$  (Bestfrequenz) durch einen variablen Maskierer verdeckt und trägt man den Maskiererpegel  $L_M$ , der gerade zur Maskierung nötig ist, über dessen Frequenz  $f_M$  auf, erhält man ein Muster, das physiologischen Tuningkurven sehr ähnlich sieht. Es wird daher als psychoakustische Tuningkurve bezeichnet.

Möchte man Mithörschwellen mit Tuningkurven vergleichen, so ist eine Umrechnung der einen in die andere Darstellung nötig. Es wurde ein Programm entwickelt, welches Mithörschwellen in Tuningkurven umrechnet, da Mithörschwellensätze häufiger in der Literatur zu finden sind. Dieses Programm interpoliert die einzelnen Meßdaten der Mithörschwellen, um eine größere Datendichte zu erreichen. Zunächst wird die Maskierung über die Testtonfrequenzen interpoliert, was sich als die Verbindung der Meßdatenpunkte in der oben genannten Mithörschwellendarstellung vorstellen läßt. Die folgende Interpolation verdichtet die Datenpunkte in der Achse der Maskiererpegel. Bei der anschließenden



**Abb. 1:** Interpolierte Mithörschwellen bei 46,7 dB SPL Maskiererpegel aus Daten von Zwicker und Jaroszewski [6].

den Interpolation über die Maskierfrequenzen muß die Abhängigkeit des Mithörschwellenmusters von der Maskierfrequenz durch Verschiebung des Musters entlang der Bark-transformierten Testtonfrequenzen berücksichtigt werden, was in Abb. 1 dargestellt ist.

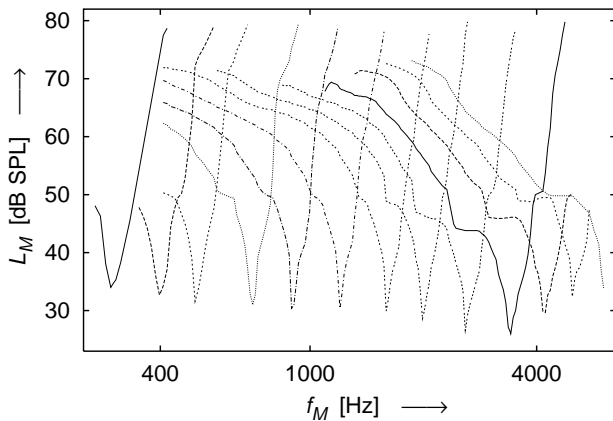
Liegen die Mithörschwellen interpoliert vor, können Tuningkurven zu vorgegebenen Testtonpegeln (Maskierung) und -frequenzen berechnet werden. Dazu werden im interpolierten Datenraum diejenigen Maskierer gesucht, die den vorgegebenen Testton verdecken.

## 3 Mithörschwellen von Sinustonmaskierern

Zwicker und Jaroszewski veröffentlichten in [6] Ergebnisse von Mithörschwellenmessungen, die mit Sinustonmaskierern mit verschiedenen Frequenzen und Pegeln gewonnen wurden. Aufgrund der Verwendung von niedrigen Maskiererpegeln und Testtönen im spektralen Nahbereich des Maskierers sind diese Ergebnisse gut zur Umrechnung in Tuningkurven geeignet.

Da die untere Flanke nur in spektraler Nähe zum Maskierer berechnet werden kann, werden weitere Meßdaten hinzugezogen. Sonntag hat in [3] Mithörschwellenmessungen veröffentlicht, die auf ähnliche Weise wie bei Zwicker und Jaroszewski gewonnen wurden. Sonntag verwendete jedoch höhere Maskiererpegel und Testtonfrequenzen über einen weiten Frequenzbereich.

Die aus diesen beiden Datensätzen berechneten Tuningkurven in Abb. 2 haben das von psychoakustisch gemessenen Tuningkurven bekannte Aussehen. Abgesehen von einer Unstetigkeitsstelle um 50 dB SPL durch die Verwendung verschiedener Datensätze geht die untere Flanke bei ca. 70 dB SPL in Sättigung. Als Beson-

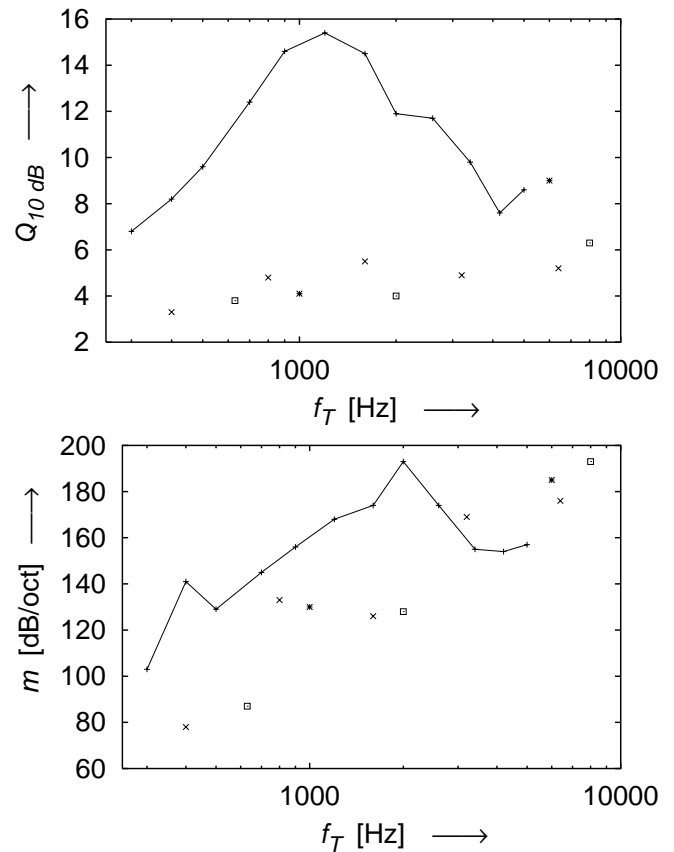


**Abb. 2:** Berechnete Tuningkurven aus Mithörschwellen von Zwicker & Jaroszewski [6] (Maskiererpegel 20-50 dB SPL), sowie Sonntag [3] (Maskiererpegel 50-80 dB SPL).

derheit weist sie ein Plateau auf, welches etwa 20-30 dB oberhalb der Spitze liegt. Der Bereich um die Bestfrequenz ist V-förmig und kann, in Anlehnung an Filterparameter, durch den  $Q_{10\text{ dB}}$ -Wert, gegeben in Abb. 3 (oben), beschrieben werden. Die obere Flanke ist, abgesehen von einer Unstetigkeitsstelle um 50 dB SPL, in der doppeltlogarithmischen Darstellung näherungsweise eine Gerade, deren Steigung in Abb. 3 (unten) gegeben ist.

## 4 Diskussion

Die aus Mithörschwellen berechneten Tuningkurven werden zunächst mit gemessenen aus der Literatur bezüglich der Sättigung an der unteren Flanke verglichen. Während diese bei berechneten Tuningkurven um 40-50 dB über der Spitze auftritt, bietet sich in der Literatur dazu kein einheitliches Bild. Bei Small [2] tritt keine Sättigung auf, während sie bei Zwicker [5] deutlich zutage tritt. Die Ursache dafür mag in der Entzerrung des Übertragungsfrequenzganges der Kopfhörer liegen. Plateaus und Kerben um 15-20 dB über der Spitze finden sich bei Small und in den berechneten Tuningkurven. Differenzöne und Schwebungen können die Ursache dafür darstellen. Vergleicht man die  $Q_{10\text{ dB}}$ -Werte der berechneten Tuningkurven in Abb. 3 (oben) mit den  $Q_{10\text{ dB}}$ -Werten von gemessenen Tuningkurven, so stellt man fest, daß sie bei tiefen und mittleren Bestfrequenzen mit einem Faktor von bis zu 3 deutlich über den gemessenen  $Q_{10\text{ dB}}$ -Werten liegen und nur bei hohen Bestfrequenzen mit den gemessenen übereinstimmen. Für diesen Unterschied konnte bisher keine Erklärung gefunden werden. Bei Annäherung der oberen Flanke durch eine Gerade und Vergleich der Geradensteigungen in Abb. 3 (unten) ist zu erkennen, daß die berechneten oberen Flanken bei tiefen und mittleren Bestfrequenzen bis zu 1.8-fach steiler als die gemessenen sind. Bei hohen Bestfrequenzen kehrt sich diese Tendenz um. Aufgrund der schwierigen Messung hoher Steigungen muß jedoch betont werden, daß die Varianz groß ist.



**Abb. 3:**  $Q_{10\text{ dB}}$ -Werte (oben) und Steigung an der oberen Flanke (unten) in Abhängigkeit von der Bestfrequenz für berechnete Tuningkurven aus Mithörschwellen von Zwicker & Jaroszewski [6] (Linie), sowie für Tuningkurven aus der Literatur: Small [2] (x), Zwicker [5] ( $\square$ ) und Moore [1] (\*).

## 5 Ausblick und Dank

Zur Bestätigung der bisherigen Ergebnisse sind Untersuchungen mit weiteren Meßdaten nötig. Dazu steht das entwickelte Umrechnungsprogramm unter <http://www.mmk.ei.tum.de/~see> zur Verfügung. Der Vergleich mit Ergebnissen aus Nachverdeckungsmessungen kann ebenfalls Daten zur Filterparametrisierung liefern.

Mein herzlicher Dank gilt Prof. Dr.-Ing. E. Terhardt, der diese Arbeit angeregt hat.

## Literatur

- [1] MOORE, B.: J. Acoust. Soc. Am., 63:524-532, 1978.
- [2] SMALL, A.: J. Acoust. Soc. Am., 31:1619-25, 1959.
- [3] SONNTAG, B.: Acustica, 52:95-97, 1982.
- [4] TERHARDT, E.: *Akustische Kommunikation*. Springer, 1998.
- [5] ZWICKER, E. in ZWICKER, E. und E. TERHARDT: *Facts and Models in Hearing*, S. 132-141. Springer, 1974.
- [6] ZWICKER, E. und A. JAROSZEWSKI: J. Acoust. Soc. Am., 71:1508-1512, 1982.