

Messung der Modulationstransferfunktion (MTF) von nichtlinearen Hörgeräten

Richard Schultz-Amling, Stefan Fredelake, Inga Holube, Martin Hansen, Rainer Blum

Institut für Hörtechnik und Audiologie, Fachhochschule OOW, Ofener Str.16, D-26121 Oldenburg

Einleitung

Elektroakustische Eigenschaften von Hörgeräten werden zur Zeit nach Normvorschriften wie z.B. IEC 60118 bestimmt. Die dort vorgeschlagenen Messmethoden beruhen im Wesentlichen auf den Erfahrungen mit linearen Hörgeräten und einfachen Kompressionsschaltungen. Die Leistungsfähigkeit moderner Hörgeräte, die meist über mehrkanalige, nichtlineare und adaptive Signalverarbeitung verfügen, wird nicht berücksichtigt.

In diesem Beitrag wird die Messung der Modulationstransferfunktion als neue Messmethode beschrieben. Als Messsignale wurden ausschließlich Sprachsignale verwendet, mit Ziel, ein Messverfahren zu finden, mit dem mit Hilfe von realistischen Signalen eine relevante Charakterisierung moderner Hörgeräte erreicht werden kann. Als zweite Möglichkeit zur Charakterisierung der Amplitudenkompression wurde eine Methode zur Messung des „effektiven Kompressionsverhältnis“ untersucht und mit der Modulationstransferfunktion verglichen.

Die Modulationstransferfunktion

Sprache kann als ein amplitudenmoduliertes Signal betrachtet werden. Die enthaltenen Modulationen sind für die Sprachverständlichkeit besonders wichtig, allerdings werden sie von einem nichtlinearen Hörgerät mit Dynamikkompression verringert. Seien $x(t)$ und $y(t)$ die *Einhüllenden* der Ein- und Ausgangssignale eines Hörgeräts mit den dazugehörigen mittleren Leistungsdichtespektren $S_{xx}(f_{mod})$ und $S_{yy}(f_{mod})$, wobei f_{mod} die Modulationsfrequenzen bezeichnet. Die MTF kann dann als Übertragungsfunktion $|H(f_{mod})| = \alpha \left(\frac{|S_{yy}(f_{mod})|}{|S_{xx}(f_{mod})|} \right)^{1/2}$, definiert werden wobei α einen Normierungsfaktor darstellt. Im Folgenden wird anstelle dieser einfachen Definition die von Drullman et al. [1] erweiterte phase-locked MTF (MTF_{PL}) verwendet, die über das Kreuzleistungsdichtespektrum von Eingang und Ausgang berechnet wird:

$$MTF_{PL}(f) = \alpha \frac{S_{xy}(f_{mod})}{S_{xx}(f_{mod})} \quad (1)$$

Für die Analyse von Hörgeräten wurde die MTF nach (1) nicht breitbandig berechnet, sondern mit Hilfe einer Filterbank jeweils separat in schmalen Bändern, so wie es im Verarbeitungsschema in Abb. 1 dargestellt ist. Das Ergebnis ist eine 2-dim. Funktion $MTF(f_{mod}, f)$. Sie ist für ein Beispiel-Hörgerät mit Sprache in Ruhe als Eingangssignal in Abb. 2 dargestellt. Ein rein lineares Hörgerät wäre durch eine flache, konstante Funktion $MTF \equiv 1$ charakterisiert. Eine Verminderung der Einhüllendenmodulation, z.B. aufgrund von Amplitudenkompression mit kurzen Kompressions-Zeitkonstanten

führt zu $MTF < 1$. Umgekehrt führt eine Dynamik-Expansion zu $MTF > 1$. Aufgrund der Wahl von α ist die absolute Verstärkung des Hörgeräts aus der Information in der MTF eliminiert. Zum Zweck der Datenreduktion wurde die 2-dim. MTF über die Modulationsfrequenzen gemittelt. Die sich daraus ergebende Darstellung der MTF als Funktion der Bandpassfiltermittelfrequenz f wurde für alle folgenden Ergebnisse (s.u.) gewählt.

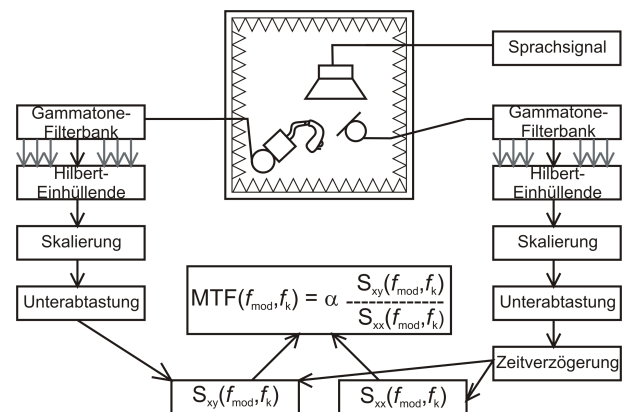


Abbildung 1: Blockschaltbild zur MTF-Berechnung. In einer Messbox wird ein Sprachsignal auf ein Hörgerät und ein Referenzmikrofon gegeben. Anschließend wird aus den beiden Ausgangssignalen die MTF berechnet. f_k bezeichnet die Mittelfrequenzen der Filterbank.

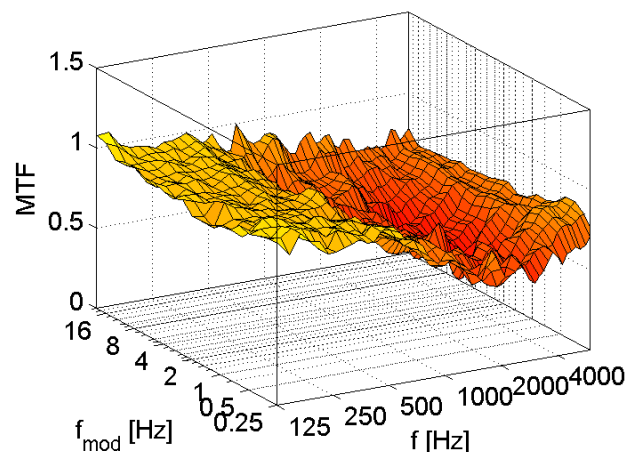


Abbildung 2: Beispiel der 2-dim. MTF für ein nichtlineares Hörgerät mit Sprache in Ruhe als Eingangssignal.

Effektives Kompressionsverhältnis

Das kompressive Verhalten eines Kompressors kann z.B. durch seine statische I/O-Kennlinie angegeben werden, die den Ausgangspegel als Funktion des Eingangspegels von stationären Sinustönen angibt. Diese Kurve allein

enthält keine Information über das dynamische Verhalten des Kompressors für zeitvariante Signale. Das Verhalten ist u.a. von der speziellen Wahl des Eingangssignals abhängig. Eine Möglichkeit, das Verhalten für Sprache zu charakterisieren, ist das effektive Kompressionsverhältnis (CR_{eff}), das im Folgenden vorgestellt wird.

Für CR_{eff} wird jeweils für das Ein- und Ausgangssignal eines Hörgeräts der Kurzzeit-RMS-Pegel in kurzen Blöcken der Länge τ (z.B. $\tau=125$ ms) bestimmt. Diese Kurzzeit-RMS-Pegel werden in einem Eingangs-Ausgangs-Diagramm abgebildet, wodurch sich eine Punktwolke wie in Abb. 3 dargestellt ergibt. Durch die Punktwolke wird eine Gerade innerhalb eines Eingangspegelintervalls $[L-18 \dots L+12]$ dB relativ zum Langzeit-RMS-Pegel L gelegt. Der Kehrwert der Steigung der angenäherten Geraden wird als effektives Kompressionsverhältnis interpretiert und mit CR_{eff} bezeichnet.

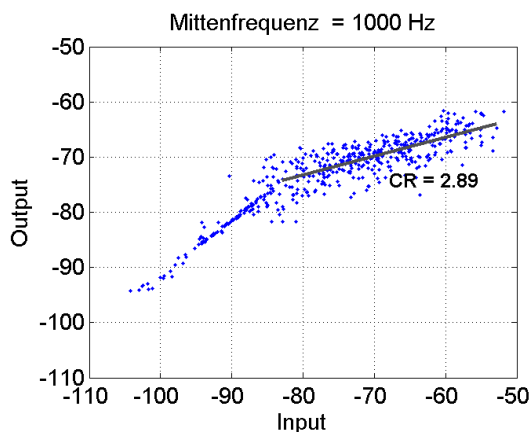


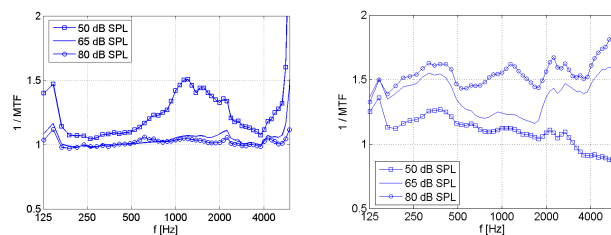
Abbildung 3: Bestimmung des effektiven Kompressionsverhältnisses aus einer Kurzzeitpegel-Punktwolke eines Hörgeräts im Eingangs-Ausgangs-Diagramm. Die sehr tiefen Eingangspegel spiegeln nicht Sprache sondern leises Umgebungsgeräusch in den Sprachpausen wieder.

Messungen

In dieser Arbeit wurde für verschiedene Hörgeräte jeweils die MTF und CR_{eff} als Funktion der Filtermittenfrequenz f bestimmt. Der Messaufbau entspricht dem aus Abb. 1. Als Testsignal wurde ein vier Minuten langes Sprachsignal bei verschiedenen Langzeitsprachpegeln (50, 65 und 80 dB SPL) verwendet. Es standen elf kommerzielle Hörgeräte zur Verfügung. Bei allen Geräten wurde ein flacher Hörverlust von 60 dB eingestellt und eine Hörgeräte-Anpassung gemäß Standard-Herstellerempfehlung durchgeführt. Alle zusätzlichen Algorithmen, wie z.B. adaptives Richtmikrofon, adaptive Feedback-Unterdrückung, Störgeräuschunterdrückung, etc. wurden für die Messungen ausgeschaltet. Zusätzlich wurde eine Vergleichsmessung mit Sprache im Störgeräusch ($S/N=+4$ und $+10$ dB) durchgeführt, wobei beim selben Eingangssignal einmal die Störschallunterdrückung des Hörgeräts eingeschaltet und einmal ausgeschaltet war.

Ergebnisse

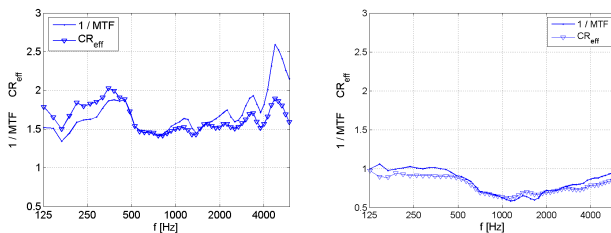
Exemplarisch werden hier nur einige Ergebnisse dargestellt. In Abb. 4 sind die Ergebnisse für Sprache in Ruhe für zwei verschiedene Hörgeräte zu sehen. Es wird der Kehrwert der MTF als Funktion der Filterbankmittenfrequenz gezeigt. Diese Art der Darstellung wird verwendet, damit die MTF mit dem effektiven Kompressionsverhältnis einfacher vergleichbar ist (siehe Abb. 5). Zusätzlich ist in Abb. 5 der Effekt der Störschallreduktion (SR) eines Hörgerätes gezeigt. Bei ausgeschalteter SR zeigte das Hörgerät eine starke effektive Kompression. War die SR dagegen eingeschaltet, es ein mehr lineares oder sogar expansives Verhalten.



(a) HG 1

(b) HG 2

Abbildung 4: $1/MTF(f)$ für Sprache in Ruhe für 2 verschiedene Hörgeräte bei 50, 65 und 80 dB SPL Eingangspegel.



(a) HG 2, SR aus

(b) HG 2, SR ein

Abbildung 5: Vergleich von $1/MTF$ und CR_{eff} für Sprache in Rauschen bei $S/N=+10$ dB am Beispiel von HG 2 mit Störgeräuschreduktion (SR) aus- bzw. eingeschaltet

Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass die MTF das dynamische Verhalten von Hörgeräten gut beschreiben kann und eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Hörgeräten erlaubt, die mit Normmessungen nicht möglich ist. Der Kehrwert der frequenzabhängigen, über f_{mod} gemittelten $MTF(f)$ entspricht annähernd $CR_{\text{eff}}(f)$. In der 2-dim. $MTF(f_{\text{mod}}, f)$ ist zusätzlich die spezifische Modulationsfrequenzabhängigkeit enthalten. Ein zukünftiges Ziel ist es, die MTF zu einem einzigen perceptiv relevanten Messwert zusammenzufassen.

Danksagung

Dieses Projekt wurde unterstützt durch AGIP (Nds. Ministerium für Wiss. und Kultur), die Firma Acousticon und das Kompetenzzentrum Hörtech.

Literatur

- [1] R. Drullman, J.M. Festen, R. Plomp. Effect of reducing slow temporal modulations on speech reception. *JASA* **95**(5), 2670-2680 (1994).