

## Kalibriersignale für Meßsysteme zur Nachbildung von Lautheit, Schärfe, Schwankungsstärke und Rauigkeit

H. FASTL, U. WIDMANN

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

### 1. Einführung

Derzeit werden von mehreren Herstellern Meßsysteme zur Nachbildung der Hörempfindungen Lautheit, Schärfe, Schwankungsstärke und Rauigkeit angeboten. Werden mit Systemen verschiedener Hersteller identische Schalle analysiert, so ergeben sich zum Teil große Abweichungen in den angezeigten Werten. Um hier Abhilfe zu schaffen und im Hinblick auf die Normung zu einheitlichen Meßdaten zu gelangen, werden Kalibriersignale für Meßsysteme zur Nachbildung psychoakustischer Größen vorgeschlagen. Die entsprechenden Schallreize sollen auf digitalen Tonträgern zur Verfügung gestellt werden.

### 2. Kalibriersignale

#### 2.1 Lautheit

Zur Kalibrierung von Meßsystemen zur Nachbildung der Hörempfindung Lautheit werden zwei Gruppen von Schallen vorgeschlagen: Zum einen Rosa Rauschen mit unterschiedlichem Schallpegel um die spektrale Verarbeitung und Pegelabhängigkeit zu überprüfen, zum anderen frequenzmodulierte Sinustöne unterschiedlicher Modulationsfrequenz um die zeitliche Bewertung der Lautheit zu testen. Die Tabelle zeigt als Beispiel die Perzentillautheiten  $N_{50}$  und  $N_5$  für einen FM-Ton bei 1500 Hz mit 60 dB Schallpegel und  $\pm 800$  Hz Frequenzhub für verschiedene Modulationsfrequenzen  $f_{mod}$ .

FM-Ton	L = 60 dB		$f_m = 1500$ Hz			$\Delta f = \pm 800$ Hz	
$f_{mod}$	0	10	20	50	100	200	500 Hz
$N_{50}$	4.58	4.70	5.28	6.71	7.67	8.56	9.09 sone <sub>GF</sub>
$N_5$	4.73	5.10	5.65	7.12	8.07	8.96	9.50 sone <sub>GF</sub>

#### 2.2 Schärfe

Für die Überprüfung der Nachbildung der Hörempfindung Schärfe werden zwei Gruppen von Schallen vorgeschlagen. Zum einen frequenzgruppenbreite Rauschen unterschiedlicher Mittenfrequenz, zum anderen Rauschen mit unterschiedlicher Spektralverteilung.

Die Tabelle zeigt als Beispiel Werte der Schärfe  $S$  für frequenzgruppenbreite Schmalbandrauschen unterschiedlicher Mittentonheit  $Z_m$ .

	$\Delta f_G$ - Rauschen					$L_N = 60$ phon
$Z_m$	4.5	8.5	13.5	17.5	21.5	Bark
$S$	0.55	1.00	1.52	2.39	5.38	acum

### 2.3 Schwankungsstärke

Zur Überprüfung von Nachbildungen der Hörempfindung Schwankungsstärke werden drei verschiedene Gruppen von Schallen vorgeschlagen. Erstens amplitudenmoduliertes Breitbandrauschen bei verschiedenen Modulationsfrequenzen, zweitens amplitudenmoduliertes Breitbandrauschen bei verschiedenen Modulationsgraden, drittens unterschiedliche Schalle wie frequenzmodulierte Sinustöne, amplitudenmodulierte Sinustöne und unmodulierte Schmalbandrauschen. Als Beispiel zeigt die Tabelle die Abhängigkeit der Schwankungsstärke  $F$  von amplitudenmodulierten Breitbandrauschen mit 60 dB Schallpegel bei einer Modulationsfrequenz von 4 Hz als Funktion des Modulationsgrades  $m$ .

AM-BBR	$L' = 60$ dB					$f_{mod} = 4$ Hz
$m$	6	12	22	52	82	98 %
$F$	0	0.04	0.16	0.62	1.36	1.75 vacil

### 2.4 Rauhigkeit

Für die Überprüfung von Nachbildungen der Hörempfindung Rauhigkeit in technischen Systemen werden drei Gruppen von Schallen vorgeschlagen. Erstens amplitudenmoduliertes Breitbandrauschen bei unterschiedlichen Modulationsfrequenzen, zweitens amplitudenmoduliertes Breitbandrauschen bei verschiedenen Modulationsgraden, drittens frequenzmodulierte Töne bei verschiedenem Frequenzhub. Als Beispiel zeigt die Tabelle die Abhängigkeit der Rauhigkeit  $R$  amplitudenmodulierter Breitbandrauschen mit 60 dB Schallpegel und 70 Hz Modulationsfrequenz als Funktion des Modulationsgrades  $m$ .

AM-BBR		$L' = 60 \text{ dB}$				$f_{\text{mod}} = 70 \text{ Hz}$	
m	6	22	33	48	63	80	98 ‰
R	0	0.13	0.38	0.72	1.28	1.56	1.79 asper

### 3. Diskussion

Die hier vorgeschlagenen Kalibriersignale für Meßsysteme zur Nachbildung von Hörempfindungen sollen der Überprüfung der wichtigsten Funktionen dieser Systeme dienen. Die entsprechenden Schalle werden auf digitalen Tonträgern zur Verfügung gestellt werden. Somit haben sowohl Hersteller als auch Anwender einfache Signale zur Kalibrierung von gehörgerechten Meßsystemen zur Verfügung, ähnlich wie Schallpegelmesser üblicherweise mit einem akustischen Kalibrator kalibriert werden.

Über die hier vorgeschlagenen Signale hinaus, die sich insbesondere für einen "Schnelltest" eignen, sind für interessierte Anwender und mehr noch für Hersteller von Meßsystemen weitere Testsignale sinnvoll und notwendig.

Im Bereich der Lautheit sollte die Lautheit von 1 kHz-Tönen für Pegel zwischen 10 und 120 dB geprüft werden. Die Kurven gleicher Lautheit sind im Frequenzbereich zwischen 25 Hz und 12,5 kHz bei Lautstärkepegeln zwischen 3 Phon und 120 Phon aufzunehmen. Darüber hinaus muß die Abhängigkeit der Lautheit von der Schalldauer mit Tonimpulsen bei 2 kHz und Dauern zwischen 3 und 300 ms getestet werden.

Bei der Hörempfindung Schärfe bieten sich zusätzlich Tests mit Bandpaßrauschen an, bei denen zum einen die untere Grenzfrequenz bei 200 Hz festgehalten, und die obere Grenzfrequenz zwischen 315 Hz und 10 kHz variiert, oder umgekehrt die obere Grenzfrequenz bei 10 kHz festgehalten wird.

Die Tests zur Schwankungsstärke und Rauigkeit sollten durch amplitudenmodulierte Sinustöne ergänzt werden. Für die Schwankungsstärke sollten amplitudenmodulierte Töne bei 1 kHz mit 70 dB Schallpegel einerseits für 4 Hz Modulationsfrequenz als Funktion des Modulationsgrades und andererseits für den Modulationsgrad 98 ‰ als Funktion der Modulationsfrequenz untersucht werden. Darüber hinaus ist die Schwankungsstärke von FM-Tönen mit 1500 Hz Mittenfrequenz, 4 Hz Modulationsfrequenz und 70 dB Schallpegel als Funktion des Frequenzhubs von Interesse.

Bei der Rauigkeit werden ähnlich wie bei der Schwankungsstärke 1 kHz Töne mit 70 dB Schallpegel untersucht. Zum einen wird die Modulationsfrequenz 70 Hz verwendet und der Modulationsgrad variiert, zum anderen wird der Modulationsgrad bei 98 ‰ festgehalten und die Modulationsfrequenz verändert.

Obwohl neben den hier vorgeschlagenen Schallen eine unendliche Vielfalt von weiteren Signalen für die Kalibrierung von Meßsystemen zur Nachbildung von Hörempfindungen prinzipiell möglich erscheint, repräsentieren die hier vorgestellten Schalle eine Auswahl, die in vielen Fällen ausreichend sein wird.

Für den Anwender von Meßsystemen zur Nachbildung von Hörempfindungen sollten in der Regel die in dieser Arbeit vorgeschlagenen zwei Gruppen von Schallen zur Kalibrierung der Lautheit, zwei Gruppen von Schallen zur Kalibrierung der Schärfe sowie jeweils drei Gruppen von Schallen zur Kalibrierung von Schwankungsstärke und Rauigkeit ausreichend sein.

Die in den Tabellen angegebenen Daten repräsentieren Mittelwerte aus psychoakustischen Messungen (vgl. z.B. Fastl 1982, Zwicker und Fastl 1990). Solange für die Nachbildung zeitvarianter Hörempfindungen keine Normen existieren, können Abweichungen im Rahmen der bei psychoakustischen Experimenten üblichen Schwankungen toleriert werden (vgl. Fastl 1993). Bei bereits genormten Verfahren wie der Lautheit für stationäre Schalle (DIN 45631) müssen jedoch enge Toleranzen gefordert werden. Dabei kann als Faustwert gelten, daß Abweichungen im Bereich der Lautheit um 5 % Toleranzen im Schallpegel um 0,5 dB entsprechen.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 204 Gehör, München, gefördert.

### Literatur

DIN 45631 (1991) Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum. Verfahren nach E. Zwicker.

Fastl, H. (1982) Dynamische Hörempfindungen. Hochschulverlag, Freiburg.

Fastl, H. (1993) Calibration signals for meters of hearing sensations. Proc. inter-noise '93 Leuven.

Zwicker, E. und Fastl, H. (1990) Psychoacoustics-Facts and Models, Springer, Heidelberg.