

Eine Unstimmigkeit in den neuen Kurven gleicher Lautstärke

U. Richter, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Utz.Richter@ptb.de

1. Einleitung

Die Norm für die Kurven gleicher Lautstärke wird zur Zeit in der ISO (International Standards Organisation) revidiert. Ein fertiger Normentwurf (ISO/DIS 226: 2001) wurde im Juli letzten Jahres zur Abstimmung gestellt. Schon 5 Jahre vorher war von der alten ISO 226 der Hörschwellenteil abgespalten und als ISO 389-7 /1/ neu herausgegeben worden. Auch diese Norm wird zur Zeit überarbeitet und eventuell später wieder mit der Ursprungsnorm ISO 226 vereinigt werden. Bei der Erarbeitung von Kommentaren zu dem o.g. Normentwurf wurden Diskrepanzen in den neuen Kurven gleicher Lautstärke entdeckt, über die im folgenden berichtet wird.

2. Normentwurf ISO/DIS 226: 2001

Die in ISO/DIS 226 vorgeschlagenen Kurven gleicher Lautstärke sind in Bild 1 dargestellt.

L_{FF} (re 20 μ Pa) in dB

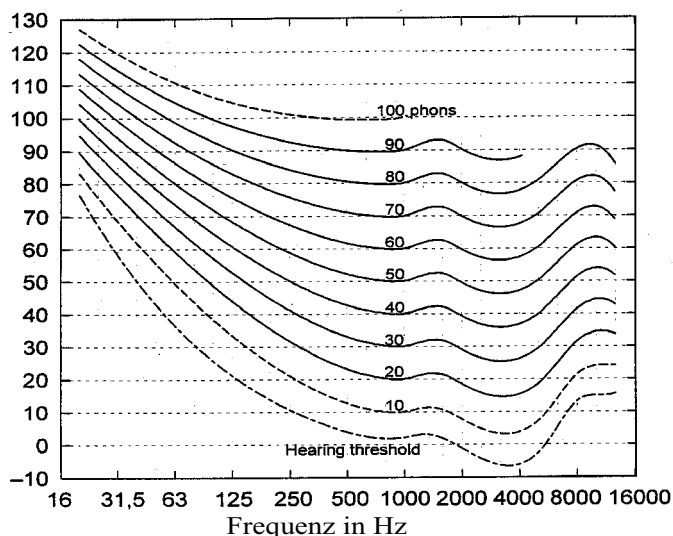


Bild1 Vorschlag für den künftigen Verlauf der Kurven gleicher Lautstärke nach ISO/DIS 226: 2001 (20 Hz bis 12,5 kHz)

Gegenüber der alten Norm von 1987 sind deutliche Änderungen festzustellen:

- Von 1 kHz zu tiefen Frequenzen hin steigen die Kurven jetzt kontinuierlich an. Ein relatives Minimum bei 400 Hz ist verschwunden. Gegenüber den alten Werten können Differenzen bis zu 13 dB auftreten.
- Zwischen 1 kHz und 2 kHz tritt jetzt ein flaches relatives Maximum auf – auch an der Hörschwelle.

- Der Verlauf zwischen 2 kHz und 8 kHz ist nur geringfügig geändert.
- Ein relatives Maximum bei 9 kHz und ein Minimum bei 12,5 kHz sind jetzt weniger stark ausgeprägt.
- Die Hörschwelle („2-Phon-Kurve“) hat jetzt einen größeren Abstand zur 10-Phon-Kurve.

Insgesamt passen jetzt die Strukturen der Kurven gleicher Lautstärke und die der Hörschwelle besser zusammen, mit einer Ausnahme:

Die Kurven gleicher Lautstärke für 20 Phon bis 80 Phon fallen von 9 kHz zu hohen Frequenzen hin ab, während die Hörschwelle – und die durch Interpolation gewonnene 10-Phon-Kurve – leicht ansteigen bzw. konstant bleiben.

3. Überprüfung der Freifeld-Hörschwelle

Es gibt eine Reihe von allgemeinen Überlegungen, die Zweifel an dem in ISO/DIS 226 angegebenen Verlauf der Freifeld-Hörschwelle und der 10-Phon-Kurve oberhalb von 8 kHz stützen:

- Die allgemeine Form der Hörschwelle in diesem Bereich ist seit über 40 Jahren bekannt und genormt /2/. Sie ist bei Nachmessungen immer wieder bestätigt worden.
- Bei den in ISO/DIS 226 angegebenen Kurven handelt es sich nicht um den tatsächlichen Verlauf der Mittelwertkurve, sondern um das Ergebnis eines Fits.
- In ISO 389-7 wird die Diffusfeld-Hörschwelle mit Hilfe der Freifeld-Hörschwelle und der viel besser bekannten Differenz zwischen Freifeld- und Diffusfeld-Hörschwelle genormt. Mit den neuen Werten nach ISO/DIS 226 würde die Diffusfeld-Hörschwelle bei 12,5 kHz ohne irgendeinen neuen messtechnischen Nachweis um 4,6 dB angehoben werden.
- Als Ursache für die relative Empfindlichkeit des menschlichen Ohres in der Umgebung von 12,5 kHz wird das Übertragungsverhalten des menschlichen Kopfes im freien Schallfeld angesehen. Bild 2 zeigt z. B. das reziprok

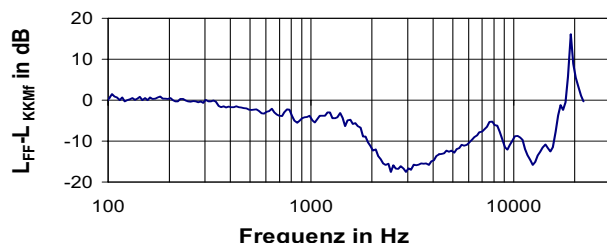


Bild 2 Freifeld-Übertragungsmaß des Kunstkopfes B&K 4128 (reziprok aufgetragen)

aufgetragene Freifeld-Übertragungsmaß des Kunstkopfes B&K 4128 mit einer deutlichen Resonanz bei 12,4 kHz. Die Lage dieser Resonanz variiert in diesem Frequenzbereich aber stark von Kopf zu Kopf. Daher liefert eine Mittelung über viele Köpfe nur ein flaches Minimum. Dass dieses Minimum in den Hörschwellenkurven von Kopfhörern (z. B. die Typen HDA 200 und ER-2A) nicht auftaucht, ist dadurch zu erklären, dass deren Schallzufuhr vor dem bzw. im Gehörgang erfolgt. Die gesuchte Resonanz entsteht aber schon bei der Beugung der freien Schallwelle am menschlichen Kopf /3/.

Aus den genannten Gründen wurde erneut die in ISO/DIS 226: 2001 genannte Literatur gesichtet und Mittelwerte aus den in den 14 verschiedenen Studien angegebenen Medianwerten gebildet. Die Einzelergebnisse wurden ohne Gewichtung nach der Zahl der Testpersonen verwendet. Neun der 14 Studien beschreiben Messungen auch in der Umgebung von 12,5 kHz. Davon berichten 8 von einem relativen Minimum bei 12,5 kHz oder etwas darunter mit Einsattelungen zwischen 0,6 und 3,8 dB.

Das Ergebnis der neuen Mittelung ist in Bild 3 dargestellt. Die Kurve gibt nicht einen Fit, sondern die Verbindungslinie zwischen den Mittelwerten wieder. Sie zeigt, dass weiterhin in der Freifeld-Hörschwelle ein relatives Minimum bei 12,5 kHz vorhanden ist, allerdings ist es weniger ausgeprägt als in der alten Norm. Der Abfall von 11,2 kHz zu 12,5 kHz beträgt nur etwa 2 dB.

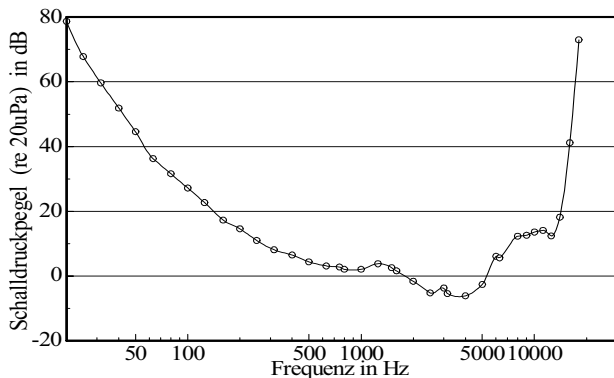


Bild 3 Mittelwerte der Freifeld-Hörschwelle, neu berechnet nach den in ISO/DIS 226: 2001 zitierten Einzelstudien und ungefitet, 20 Hz bis 18 kHz

Der fehlende Einbruch bei 12,5 kHz im Normentwurf ISO/DIS 226: 2001 ist vermutlich das Ergebnis eines ungenügenden Fits. Die Hörschwellenkurve in diesem Entwurf muss also überarbeitet werden, ebenso wie die aus ihr durch Interpolation gewonnene 10-Phon-Kurve. Die in Bild 3 dargestellte Freifeld-Hörschwelle geht über 12,5 kHz hinaus. Die Werte bis 18 kHz können für die Überarbeitung der ISO-Norm 389-7 genutzt werden.

4. Frequenzbewertungen bei Schallmessungen

Schallpegelmessungen werden meist mit Frequenz-Bewertungsfiltern durchgeführt. Überwiegend wird die A-Bewertung benutzt. Sie ist ursprünglich (ca. 1940) mit der Absicht entwickelt worden, das menschliche Hörempfinden bei niedrigen Lautstärken (zwischen 30 Phon und 60 Phon) mit Hilfe von einfachen und passiven Filtern nachzubilden. Zur Verfügung steht auch die C-Bewertung, die das Hörempfinden bei sehr hohen Lautstärken nachzubilden soll. Beide sind in der Schallpegelmess-Norm IEC 61672-1 tabellarisch angegeben /4/.

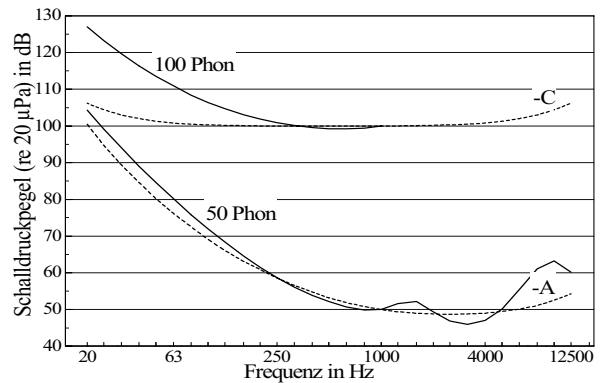


Bild 4 Vergleiche der 50- bzw. 100-Phon-Kurven (—) nach ISO/DIS 226 mit den reziprok aufgetragenen Frequenz-Bewertungskurven A bzw. C (- - - -)

In Bild 4 wird zum einen der (reziprok aufgetragene) Frequenzverlauf der A-Bewertung mit der 50-Phon-Kurve aus ISO/DIS 226 verglichen, zum anderen der (reziprok aufgetragene) Verlauf der C-Bewertung mit dem der 100-Phon-Kurve.

Die 50-Phon-Kurve wird durch die A-Bewertung recht gut nachgebildet. Dagegen driften die C-Bewertungskurve und die 100-Phon-Kurve unterhalb von 200 Hz zu tiefen Frequenzen hin deutlich auseinander. Die C-Bewertung ist offensichtlich für wesentlich höhere Lautstärken als 100 Phon gedacht. Wegen fehlender Messdaten wird der Bereich oberhalb von 100 Phon aber in dem vorliegenden Normentwurf nicht abgedeckt.

5. Literatur

- /1/ ISO 389-7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions, 1996;
- /2/ ISO/R 226: Normal equal-loudness contours for pure tones and normal threshold of hearing under free field listening conditions, 1961;
- /3/ Hammershoei, D., Moeller, H.: Sound transmission to and within the human ear canal. J. Acoust. Soc. Am., Vol 100, No 1, July 1996, pp 408 – 427;
- /4/ IEC 61672-1: Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications, 2002

Die Arbeit wurde von der Japanischen Forschungsgemeinschaft NEDO gefördert.