

H02 Einführung in die Schallpegelmessung

Dr.R.Boisch, Fachhochschule Oldenburg, Ostfriesland, Wilhelmshaven
Fachbereich Technik, Emden

1. Das Ohr

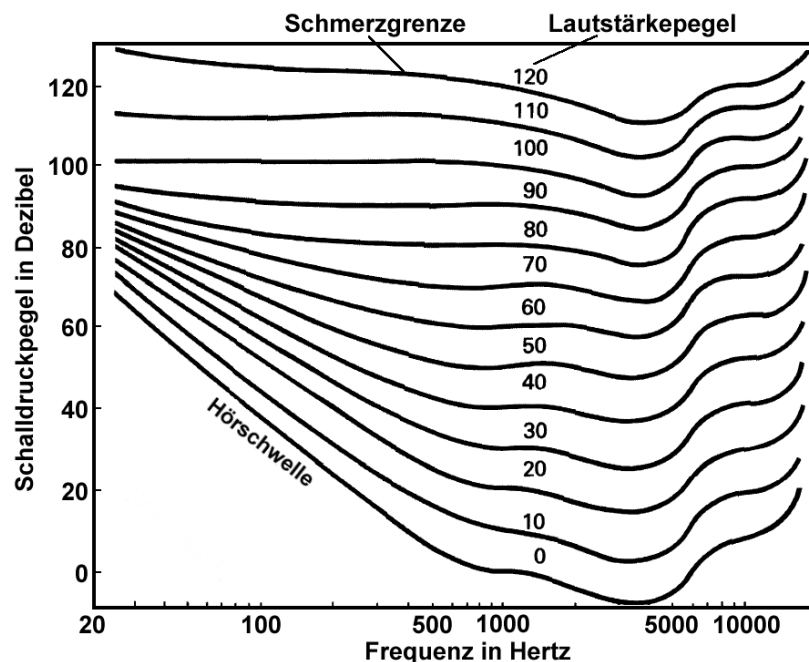
Das menschliche Ohr ist ein Empfänger für akustische Wellen (Schallsignale). Im Ohr werden die Schallsignale in zeit- und frequenzabhängige Nervensignale umgewandelt, die vom Gehirn weiterverarbeitet werden. Im Ohr bestehen Rückkopplungsmechanismen, die dafür sorgen, dass unser Hörempfinden logarithmisch ist, d.h. bei niedrigen Lautstärkepegeln haben unsere Ohren eine hohe Empfindlichkeit, die mit zunehmender Lautstärke immer geringer wird.

Wenn man jungen gesunden Probanden reine Töne verschiedener Lautstärke und Frequenz darbietet, gleichzeitig den objektiven Schalldruck misst und nach der Hörempfindung fragt, erhält man typische Kurven. Da ist einmal die Hörschwelle, also der Frequenzgang der reinen Töne, die wir gerade noch wahrnehmen. Zum anderen werden oberhalb der Hörschwelle bestimmte Pegel bei 1kHz dargeboten und mit Tönen anderer Frequenz auf gleiche Lautstärke abgeglichen (was erstaunlich gut möglich ist, weil unser Kurzzeitgedächtnis für „gleichlaut“ gut ist).

Der Schalldruck bei der Hörschwelle und 1kHz beträgt $p_0=2*10^{-5}$ Pa (Pascal, der mittlere Luftdruck beträgt 1013hPa (1Hektopascal=100Pa)). Weil unser Ohr logarithmisch arbeitet und damit man gut handhabbare Zahlen für den Schallpegel erhält, wird der Schallpegel L_p bei 1kHz nach folgender Vorschrift gewonnen:

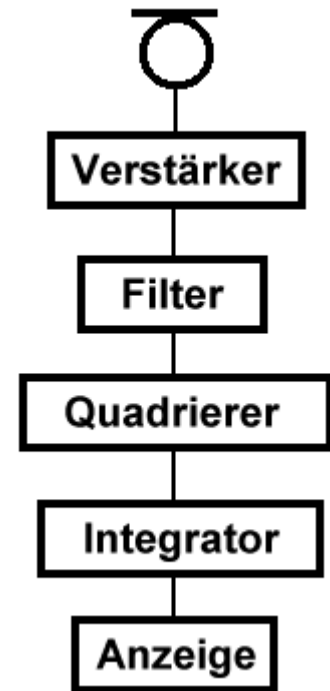
$$L_p=20\lg\frac{p}{p_0} \text{ (dB)},$$

wobei dB eine dimensionslose Einheit ist (Dezibel). Gleichlaut empfundene Töne anderer Frequenz werden durch den gleichen Zahlenwert mit der Bezeichnung Phon gekennzeichnet (Phon ist also eine subjektive Einheit). Die nach dieser Vorschrift gewonnenen Kurven gleicher Lautheit sehen so aus:



2. Schallpegelmesser

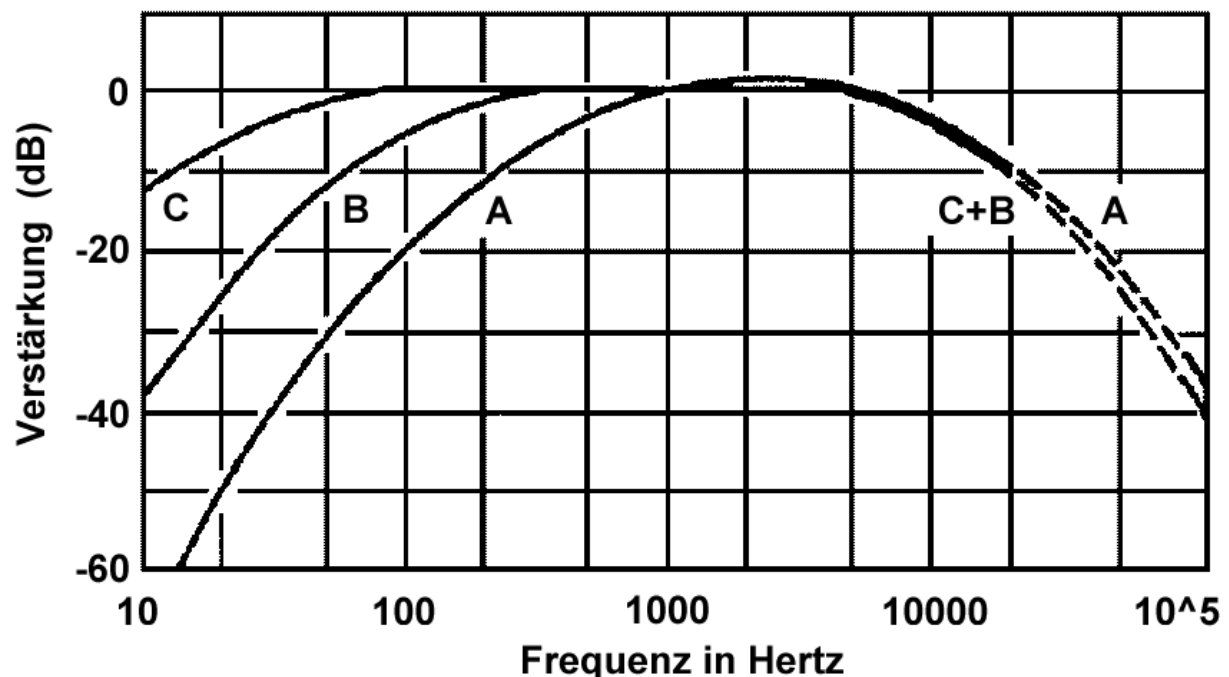
Ein Schallpegelmesser ist ein Gerät bestehend aus einem Mikrofon (mit möglichst linearem Frequenzgang), einem Verstärker, einem (umschaltbaren) Frequenzfilter, einem Quadrierer, einem Integrator, einem Logarithmierer und einer Anzeige.



Das verstärkte und gefilterte Mikrofonsignal (Wechselspannung) wird im Quadrierer zu einer (schwankenden) Gleichspannung verarbeitet, die in einem Integrator (mit einstellbarer Zeitkonstante) gemittelt, anschließend logarithmiert und dann zur Anzeige gebracht wird.

3. dB(A)

Ein gutes Mikrofon hat einen linearen Frequenzgang. Eine Schallpegelmessung soll andererseits gut an das subjektive Hörempfinden angepasst sein. Deshalb hat man verschiedene elektronische Frequenzfilter entworfen, die den linearen Mikrofonfrequenzgang an die lautstärkeabhängigen Frequenzgänge der Ohren anpassen. Besondere Bedeutung hat hier das sogenannte A-Filter, das in etwa der Inversen des Hörschwellenfrequenzganges entspricht. D.h., Töne im Bereich um 1kHz werden unverändert durchgelassen, Töne im Bereich um 4kHz werden leicht verstärkt und Töne unterhalb 1kHz und oberhalb 4kHz werden entsprechend abgeschwächt.



Für höhere Lautstärken gibt es noch die B- und C-Filter und für Fluglärmmessungen noch das D-Filter. Wenn bei der Messung das A-Filter eingeschaltet ist, wird das Ergebnis mit dB(A) gekennzeichnet.

Anmerkung: Die Messung in dB(A) ist eigentlich nur für niedrige Lautstärken sinnvoll. Da in der Lärmgesetzgebung möglichst niedrige Grenzwerte „verkauft“ werden sollen und da dB(A) in der Regel den niedrigsten Wert liefert (bei Geräuschen, dessen Frequenzmaximum nicht in der Umgebung von 4kHz liegt), wird meist in dB(A) gemessen (politisches Vorgehen).

4. Konstruktive und destruktive Interferenz

Werden zwei kohärente Schallsignale überlagert (z.B. harmonische Signale von den Boxen einer Stereoanlage), so ist der Schalldruck an einem bestimmten Ort vom Laufzeitunterschied der beiden Signale zu diesem Ort abhängig. Beträgt der Laufzeitunterschied (od. Gangunterschied) 0, oder ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge, so addieren sich die Schalldrücke (konstruktive Interferenz). Beträgt der Laufzeitunterschied eine halbe Wellenlänge (+/- ganzzahlige Vielfache der Wellenlänge), so subtrahieren sich die Schalldrücke (destruktive Interferenz). Dazwischen herrschen gleitende Übergänge, die zu typischen Interferenzmustern führen. Wenn die Lautsprechersignale von sich aus schon gegenphasig sind (eine Box wird verpolt), dann drehen sich die Verhältnisse genau um, d.h. die Eigenschaften konstruktive und destruktive Interferenz sind von dem Laufzeitunterschied her gegeneinander ausgetauscht. Außerdem kann dann ein „akustischer Kurzschluss“ zwischen den beiden Lautsprechern auftreten, d.h. die beiden Schallsignale löschen sich gegenseitig aus (aktive Schallabsorber).

5. Schallgedämpfter Raum

In „normalen“ Räumen finden zahlreiche Reflexionen der Schallwellen an den Wänden statt, der zum sogenannten Nachhall führt. Dadurch werden die Schallfelder gegenüber einem Freifeld (ohne Wände und Einrichtungsgegenstände und damit ohne Reflexionen) erheblich verändert. Um diese Einflüsse möglichst gering zu halten, werden die Messungen im schallgedämpften Raum durchgeführt. Die Wände dieses Raumes sind so gestaltet, dass möglichst viel Schallenergie absorbiert und möglichst wenig reflektiert wird.

6. Aufgabenstellung

1. Messungen zur Addition und Subtraktion von Schallpegeln:
Ermitteln Sie in ca. 1m Abstand von der(n) Box(en) den Schallpegel bei 100Hz, 500Hz, 1kHz, 10kHz ohne Bewertungsfilter (d.h. linear), für:
a) 1 LS-Box allein, b) 2 LS-Boxen gleichphasig, c) 2 LS-Boxen davon eine verpolt.
2. Für den Fall 1a) ist der Zusammenhang zwischen der log. Anzeige des Messgerätes und seinem linearen Ausgang von 70dB abwärts, mit und ohne A-Bewertung aufzunehmen und in der Ausarbeitung jeweils grafisch darzustellen.

3. Qualitativ ist eine mögliche Richtwirkung der Schallabstrahlung zu untersuchen. Drehen Sie dazu eine LS-Box und notieren sich für die unter 1. genannten Frequenzen den Pegelabfall als Funktion vom Winkel.

7. Stichworte

Hörschwelle, Kurven gleicher Lautheit, Schallpegelmesser(-Komponenten), A-Bewertung, Konstruktive und destruktive Interferenz, Addition und Subtraktion von Schallpegeln, Wellenlänge, Frequenz usw.