

## 55 dB Hörverlust - was heißt das, was und wie hört man dann?

### Einige Erläuterungen zu Schallpegeln, Lautstärke und zum Rechnen mit dB

Sowohl Schallpegel (umgangssprachlich auch Lautstärke genannt) als auch Hörverluste werden in dB angegeben. Kaum jemand traut sich nachzufragen, was das denn überhaupt bedeutet und wenn tatsächlich eine solche Frage gestellt wird, dann erhält man häufig von verschiedenen Personen unterschiedliche Aussagen, z. B. ein bestimmter dB-Wert sei halb oder doppelt so viel, 10, 100 oder 1000-mal mehr und andere sagen wieder halb oder doppelt so laut. Dabei gehen die (jeweils teilweise richtigen) Aussagen bunt durcheinander und hinterher wundert man sich, dass irgendjemand überhaupt noch etwas Richtiges weiß. Der folgende Beitrag will versuchen, mit nur ganz wenig Mathematik einige grundlegende Kenntnisse zu vermitteln.

Schallpegel und Hörverluste werden in dB (dezi-Bel) angegeben und das ist „dummerweise“ ein logarithmisches Maß. Das Wort „dummerweise“ ist deshalb in Ausführungszeichen gesetzt, weil es nach dem so genannten Weber-Fechnerschen Gesetz richtig und zwangsläufig ist [1] [2]. Der Mensch empfindet nämlich jede Reizänderung nur **relativ** zu der schon vorhandenen Reizstärke und nicht **absolut**: das ist doppelt so hell, doppelt so laut, halb so laut oder der Ton ist doppelt so hoch wie ein anderer (eine Oktave). Mathematisch ergibt sich daraus ein Logarithmen-Gesetz. Man setzt beide Größen (z. B. die beiden zu vergleichenden Schallintensitäten  $I_1$  und  $I_2$ , jeweils in  $W/m^2$ ) ins Verhältnis, logarithmiert dann:  $L = \lg(I_1/I_2)$  und gibt diese Größe in Bel an (nach Graham Bell, dem Erfinder des Telefons). Der Intensitätsunterschied, den ein Guthörender gerade wahrnehmen kann, beträgt etwa 0,1 Bel. Nun ist vor vielen Jahren ein ganz Schlauser auf die Idee gekommen (damals waren die Schallpegelmesser in ihrer Anzeige noch nicht sehr genau) und hat 1 Bel in 10 dezi-Bel unterteilt. So wie  $0,1 \text{ m} = 1 \text{ dm}$  ist, ist eben auch  $0,1 \text{ B} = 1 \text{ dB}$ . Das hatte damals den Vorteil, dass man

immer mit ganzen Zahlen ohne Nachkommastellen rechnen konnte. Moderne Schallpegelmesser sind so genau, dass sie 1/100 dB anzeigen können, was dann 1 mB (milli-Bel) entspricht.

Weil das Rechnen mit Logarithmen nicht jedermanns Sache ist, enthält die folgende Tabelle zunächst eine Aufstellung für die glatten Werte:

dezi-Bel	Bel	Intensitätsverhältnis		
0	0	$10^0$	1 :	1
10	1	$10^1$	1 :	10
20	2	$10^2$	1 :	100
30	3	$10^3$	1 :	1 000
40	4	$10^4$	1 :	10 000
50	5	$10^5$	1 :	100 000
60	6	$10^6$	1 :	1 000 000
70	7	$10^7$	1 :	10 000 000

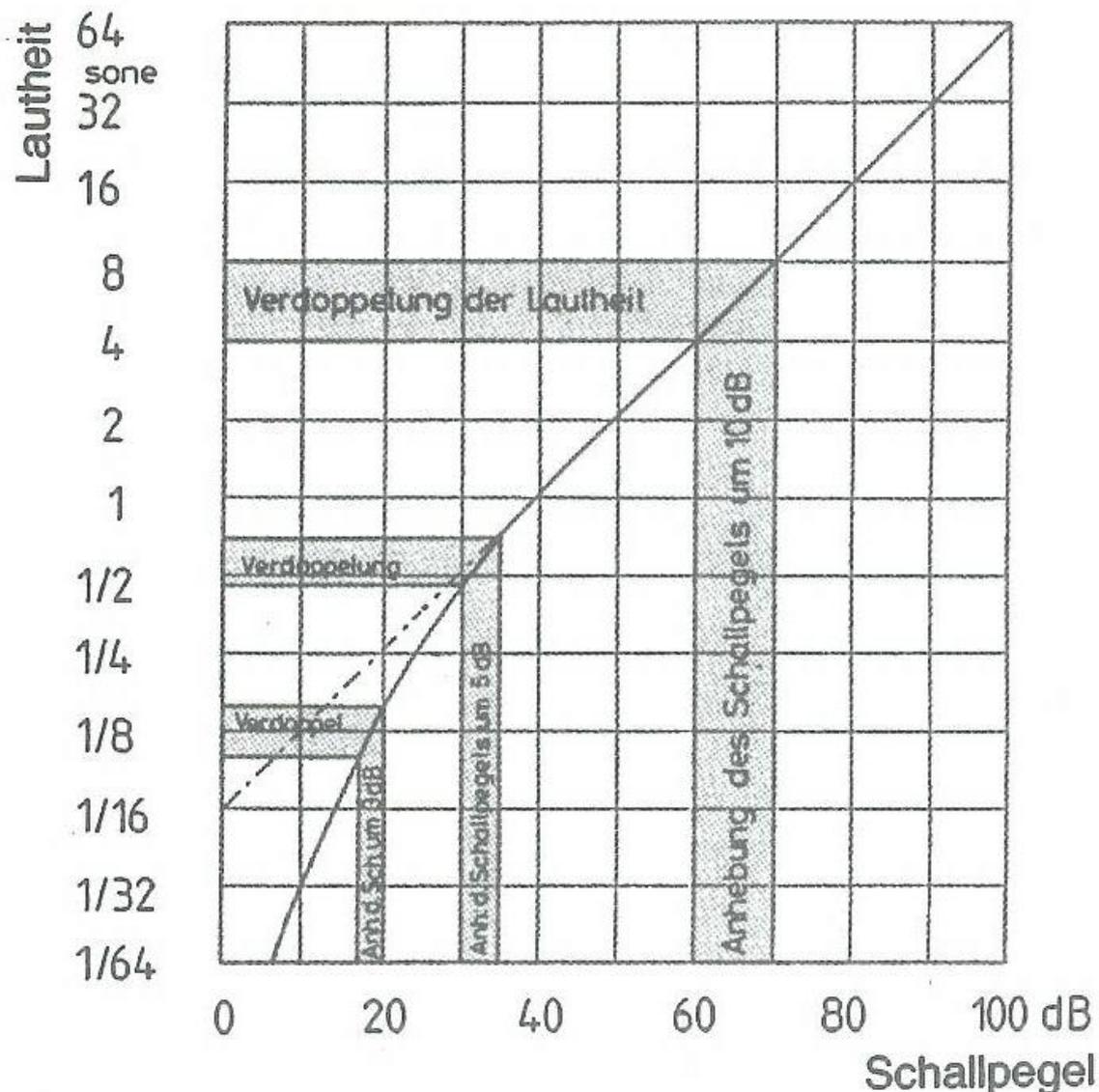
Man sieht hier, dass das Intensitätsverhältnis gleich dem 10-hoch-Bel-Wert ist. In der folgenden Tabelle sind einige markante Werte angegeben und zwischen 50 und 60 dB noch einige „krumme“ Werte eingefügt. Daraus kann man z. B. erkennen, dass ein Schwerhörender mit einem Hörverlust von z. B. 55 dB erst dann ein Signal gerade eben wahrnimmt, wenn die (physikalisch messbare) Schallintensität 300 000 mal größer ist als bei der Hörschwelle guthörender Personen.

dezi-Bel	Bel	Intensitätsverhältnis		
0	0	$10^0$	1 :	1
3	0,3	$10^{0,3}$	1 :	2
5	0,5	$10^{0,5}$	1 :	3
7	0,7	$10^{0,7}$	1 :	5
40	4	$10^{4,0}$	1 :	10 000
43	4,3	$10^{4,3}$	1 :	20 000
45	4,5	$10^{4,5}$	1 :	30 000
47	4,7	$10^{4,7}$	1 :	50 000
50	5	$10^5$	1 :	100 000
53	5,3	$10^{5,3}$	1 :	200 000
55	5,5	$10^{5,5}$	1 :	300 000
57	5,7	$10^{5,7}$	1 :	500 000
60	6	$10^6$	1 :	1 000 000

## Schallpegel ist nicht Lautstärke

Das subjektive Lautstärkeempfinden folgt nicht diesen physikalischen Gesetzen. Wenn ein um 3 dB höherer Schallpegel bedeutet, dass die Schallintensität dieses Signals doppelt so groß ist (siehe oben) wie die des Vergleichs-Signals, dann heißt das noch lange nicht, dass man dieses Signal auch als doppelt so laut empfindet. Bei guthörenden Personen ergibt sich eine doppelte Lautstärkeempfindung erst dann, wenn der Schallpegelunterschied zwischen den beiden Signalen etwa 10 dB beträgt. Genau genommen muss man sagen, dass verschiedene Testpersonen 8...12 dB Pegelunterschied etwa als Lautstärkeverdoppelung oder -halbierung empfinden. Die Hörversuche, an denen seinerzeit etwa 70 „normalhörende“ (ohrgesunde) Studenten unter 25 Jahren teilnahmen, haben aber im statistischen Mittel den Wert von 10 dB für die Verdoppelung oder Halbierung ergeben. Auch bei den Hörversuchen ist also jede Person ein Individuum.

Zwicker und Feldtkeller [4] haben in den 60er Jahren bei den oben schon erwähnten Untersuchungen festgestellt, dass oberhalb von etwa 40 dB jede Schallpegelzunahme um 10 dB von guthörenden Personen im Mittel etwa als Lautstärkeverdoppelung empfunden wird (siehe Abb. 1). Sie haben deshalb willkürlich 40 dB zu 1 sone (von sone = tönen) gesetzt, 50 dB zu 2 sone, 60 dB zu 4 sone, 70 dB zu 8 sone usw.. An diesen Zahlenwerten kann man gut die Verdoppelung der „Lautheit“ erkennen. Zwicker und Feldtkeller haben ausdrücklich „Lautheit“ geschrieben, weil „Lautstärke“ oft mit „Schallpegel“ gleichgesetzt wird. Aus dieser Untersuchung resultiert die Aussage: 3 dB mehr sind zwar physikalisch doppelte Intensität, erst 10 dB mehr sind aber subjektiv etwa die doppelte Lautheit.



Für diejenigen, die es noch ein wenig genauer wissen wollen, kommt jetzt etwas Mathematik (aber nur ganz wenig): Nimmt man an, die eine Intensität sei doppelt so groß wie eine andere, es sei also  $A = 2B$ , dann kann man rechnen:

$$\Delta L = 10 \lg (A/B) = 10 \lg (2B/B) = 10 \lg 2 = 10 \times 0,3010... \text{ dB} \approx 3 \text{ dB}$$

Das heißt also, dass ein Intensitätsverhältnis von 2:1 einem Pegelunterschied von 3 dB entspricht (und der Kehrwert 1:2 = 1/2 entspricht -3 dB). Physikalisch betrachtet ist 3 dB mehr oder weniger also **immer** doppelt oder halb so viel. Beim subjektiven Lautstärkeempfinden gilt das nur für sehr niedrige Pegel, bei hohen Pegeln wird das Ohr - wie oben beschrieben - zunehmend unempfindlicher.

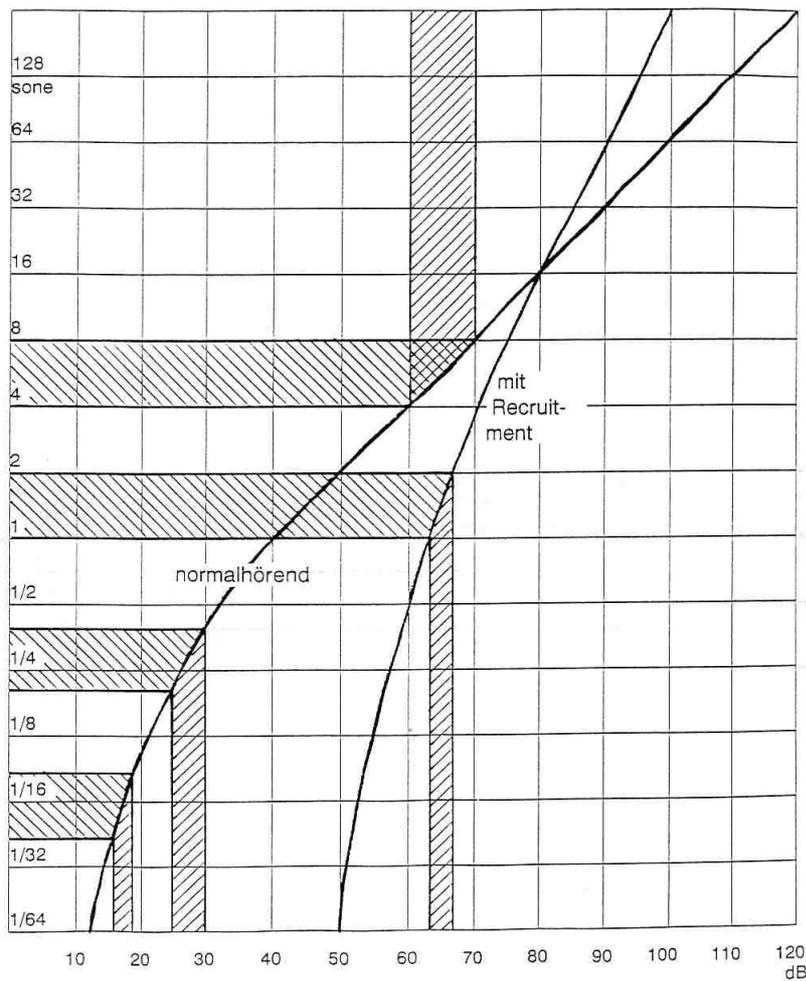
## Lärm ruft zu den Waffen: ALARM

Unterhalb von 40 dB stimmt bei guthörenden Personen die Aussage, eine Pegelveränderung um 10 dB sei halb/doppelt so laut, aber nicht mehr. Bei niedrigen Pegeln unterscheidet das Gehör genauer: Bei 30 dB reichen 5 dB Unterschied für halb/doppelt so laut und bei 20 dB sind es sogar nur noch 3 dB Unterschied und schon empfinden Guthörende ein Signal als halb/doppelt so laut. Das war früher lebenswichtig, damit man frühzeitig die Feinde oder die wilden Tiere anschleichen hörte. Dieses Wachsam-Sein-Müssen (genau genommen: Horchsam-Sein-Müssen) ist auch der Grund, warum man das Ohr im Schlaf und auch in der Narkose nicht schließen kann, wohl aber die Augen. Das Wort „Lärm“ und das Wort „Alarm“ haben deshalb den gleichen Wortstamm, weil die Wache, wenn sie wachsam war, beim leisen Annähern des Feindes „Alarm“ schlug, also Lärm machte und damit die Kampfgenossen zu den Waffen (ital.: al arme) rief.

Lärm setzt noch heute Adrenalin (= Stresshormon) frei und weckt unbewusst die Kampfbereitschaft, so dass wir uns in Abwehrhaltung begeben. Unter Lärm-Stress steigt deshalb auch das Herzinfarkt-Risiko beträchtlich. Man vermutet, dass heute mehr Menschen an lärmbedingtem Herzinfarkt sterben als durch Lärm schwerhörend werden.

## „Etwas lauter“ ist „sehr laut“: Recruitment

Bei guthörenden Personen liegt zwischen der Hörschwelle (definiert als Schallpegel 0 dB) und der Schmerzschwelle eine Spanne von etwa 120 dB. Diese zwölf 10-dB-Stufen bedeuten somit prinzipiell eine 12-fache Verdoppelung der Lautstärkeempfindung: 1 / 2 / 4 / 8 / 16 / 32 / 64... Wenn aber bei schwerhörenden Menschen (mit Schallempfindungs-Schwerhörigkeit, das sind über 90% der Schwerhörenden) nicht nur die Hörschwelle um z. B. 50 dB angehoben ist, sondern auch die Unbehaglichkeitsschwelle von 120 dB auf z. B. 100 dB absinkt, dann steht für den gesamten Lautstärke-Empfindungsbereich nur noch eine Spanne von 50 dB, nämlich 50 ... 100 dB zur Verfügung. Zwischen „ganz leise“ und „ganz laut“ wird die Empfindungskurve also viel steiler. Mediziner sprechen dann von „Recruitment“, zu Deutsch „Lautheitsausgleich“ (siehe Abb. 2). Bei Personen mit Schalleitungs-Schwerhörigkeit (Mittelohr-Schwerhörigkeit, unter 10%) tritt dieser Effekt nicht auf.



Schwerhörige empfinden deshalb auch kleine Schallpegelunterschiede häufig viel krasser, z. B. 2 oder 3 dB mehr sind dann doppelt so laut. Wenn ein Schwerhöriger einen Gehörlosen bittet etwas lauter zu reden, dann spricht der (nach seinem subjektiven Empfinden) etwa doppelt so laut, oder (physikalisch) mit einem 10 dB höheren Schallpegel. Für Menschen mit Recruitment sind das aber etwa 2 + 3 + 2 + 3 dB und damit rund 4 (!) Verdoppelungen. 1 / 2 / 4 /

8 / 16. Dann heißt es „Du brauchst doch nicht gleich zu schreien“ und beide haben Recht.

Dieses Phänomen, bis zu einer gewissen Schwelle (nämlich der individuellen Hörschwelle) gar nichts zu hören, oberhalb davon dann aber „wie ein Luchs“ hat zu vielen Anekdoten über Schwerhörige geführt. Weitaus ärgerlicher ist aber, dass die Aussage „ich höre doch noch gut, du brauchst gar nicht zu schreien“ dazu führt, dass ein Gehörschaden von den Betroffenen selbst viel zu spät (endlich) wahrgenommen wird.

## Wichtiges ist hochfrequent

Es gibt noch ein weiteres Phänomen, das häufig im Gespräch über Schallpegel und Hörverluste vergessen wird: Das menschliche Gehör arbeitet nicht in allen Frequenzbereichen (also bei allen Tonhöhen) gleichartig, sondern sein Verhalten ist stark frequenzabhängig. Unser Ohr ist seit Jahrmillionen darauf eingerichtet, hohe Töne besonders gut zu hören: Das Gluckern von Wasser, das Rascheln von Laub und das

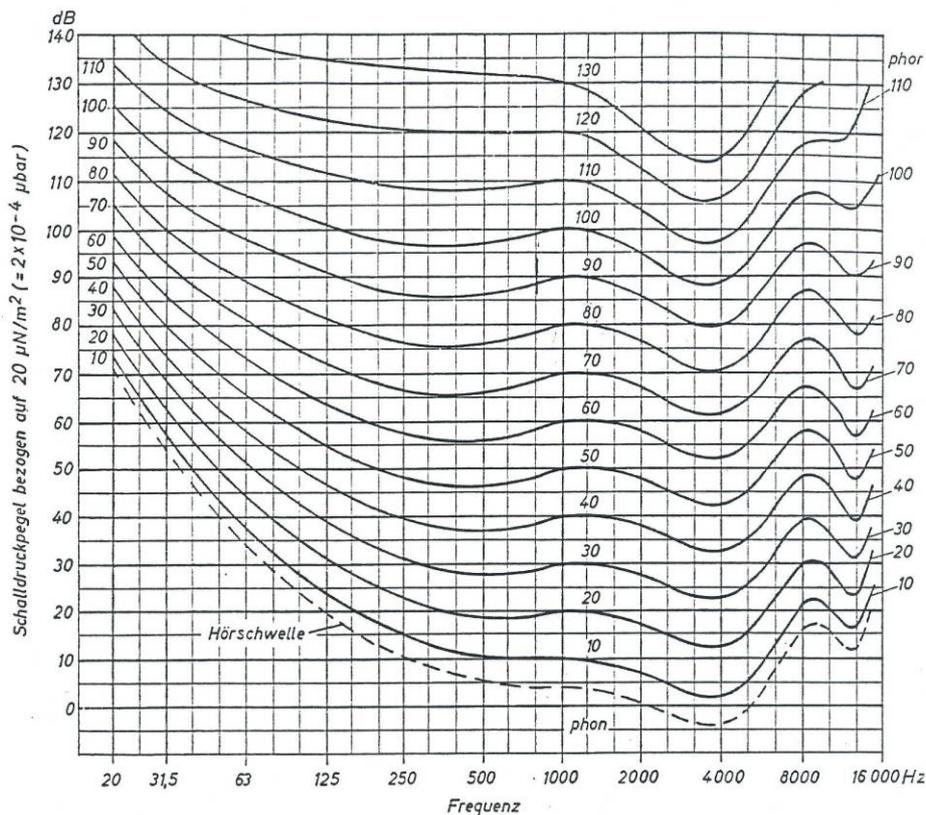
Knacken von Ästen, auch das Surren einer Mücke. Mit solchen Geräuschen konnten sich Gefahren ankündigen. Wichtige Geräusche sind hochfrequent, z. B. auch die Klingel der Feuerwehr. Frauen haben hohe Stimmen, weil sie wichtigeres zu sagen haben und wir Männer haben dem nichts entgegen zu halten.

Auch die wichtigen Sprachanteile der Zisch- und Explosivlaute (also im Wesentlichen die Konsonanten) liegen im hochfrequenten Bereich, während die Vokale mit starken tieffrequenten Komponenten nur die Lautstärke der Stimme ergeben: Bei Guthörenden reicht Flüstern für die vollständige Weitergabe von Informationen aus und das sind eben nur die hohen Frequenzen. Wenn man „M“ „TZ“ und „SCH“ spricht, so hört man schon wie das „M“ ein tieffrequentes Summen, das „SCH“ und noch mehr das „TZ“ ein hochfrequentes Zischen sind. Beide klingen wiederum noch deutlich unterschiedlich. Wenn man diesen unterschiedlichen Klang aber wegen eines Hörverlustes nicht mehr wahrnimmt, was dann? Dann wird eben aus „Mutter“ das Wort „Butter“ und aus „zu“ wird „Schuh“. Von den gut 35 Phonemen der deutschen Sprache lassen sich nur etwa 11 durch Absehen erkennen, während man die anderen aus dem Zusammenhang heraus kombinieren muss, wenn man sie nicht mehr hören kann. Wie wichtig die Konsonanten sind, lässt sich grafisch gut veranschaulichen:

Die Konsonanten sind wichtiger als die Vokale.

D K ns n nt n s nd w cht gr ls de Vkl .  
ie o o a e i i i e a ie o a e.

## Wie hört man „normal“?



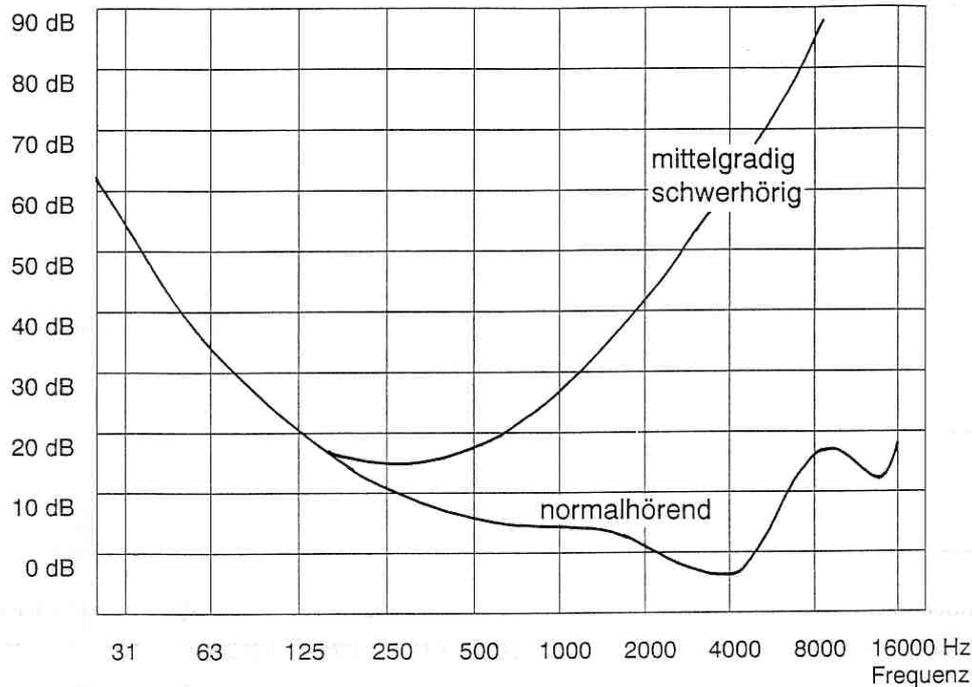
Die starke Frequenzabhängigkeit der Lautstärkeempfindung ist bei Guthörenden sehr genau untersucht. Bereits seit mehreren Jahrzehnten gibt es in einer DIN-Norm [3] die so genannten „Normkurven gleicher Lautstärkepegel“ (siehe Abb. 3). Deutlich ist zu erkennen, dass bei 1000 Hz der

Schallpegel, der bei Guthörenden gerade eine Hörempfindung auslöst, willkürlich mit 0 dB festgelegt wurde. Das gilt für das Hören mit beiden Ohren; beim Hören mit einem Ohr braucht man wiederum 3 dB mehr Schallpegel. Auch hierbei handelt es sich wieder um den Mittelwert über eine große Anzahl von Testpersonen. Es gibt also durchaus Menschen, die noch unter 0 dB etwas hören können. Sie hören buchstäblich „das Gras wachsen“, denn die Geräusche der „Brownschen Molekularbewegung“ der Luft liegen nur etwa 10 dB unter der Norm-Hörschwelle.

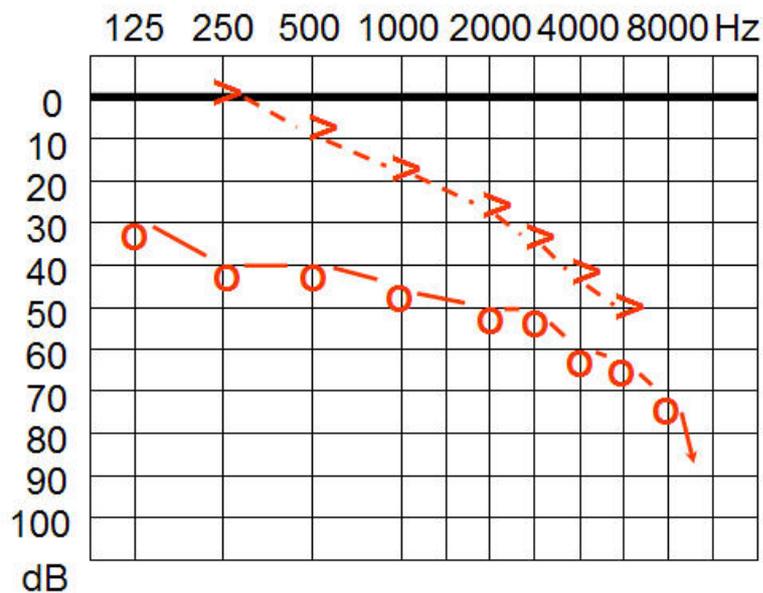
Zwischen 2000 und 4000 Hz sind durchgängig die Ohren aller Testpersonen etwas empfindsamer als bei 1000 Hz. In diesem Frequenzbereich ist das Ohr aber - wie viele Audiogramme zeigen - auch am empfindlichsten. Lärmschwerhörigkeit macht sich deshalb im Allgemeinen in diesem Frequenzbereich eher bemerkbar als bei noch höheren Tönen.

Man kann der Abb. 3 auch entnehmen, dass die tiefen Töne offenbar recht unwichtig sind, denn sie müssen mit deutlich höheren Schallpegeln einwirken bis sie gleichlaut empfunden werden, wie hohe Töne.

Hier hat sich offenbar das Ohr im Laufe mehrerer Millionen Jahre an die Wichtigkeit der uns umgebenden Geräuschwelt angepasst.



Die Abb. 4 enthält beispielhaft auch die Hörschwellenkurve eines mittelgradig Schwerhörenden. Die Abb. 5 zeigt hierzu das zugehörige Audiogramm: Was in Abb. 4 als Hörschwellenkurve „ziemlich verbogen“ aussieht, ist in Abb. 5 zu der „0-dB-Hörverlust-Geraden“ zurecht gerückt worden. In einem Audiogramm wird der Hörverlust – als Mangel – nach unten aufgetragen. Man benötigt dann für eine bestimmte Schallempfindung einen entsprechend der Hörschädigung höheren Schallpegel. Deshalb liegt in Abb. 4 die Hörschwellenkurve eines mittelgradig Schwerhörenden höher als die einer guthörenden Person.



Während man aus dem Audiogramm entsprechend Abb. 5 deutlich den jeweiligen Hörverlust erkennen und auch mit anderen Audiogrammen vergleichen kann (diese Darstellung bietet für den HNO-Arzt und den Hörgeräteakustiker große Vorteile), kann man aus der Abb. 4 entnehmen, wie einschneidend die Veränderung in dem für das

Sprachverständnis wichtigen hohen Frequenzbereich ist. Dabei ist dieser Vergleich insbesondere dann gut möglich, wenn nicht nur mit der Hörschwellenkurve, sondern auch mit den weiteren Kurven höherer Lautstärkeempfindungen verglichen wird.

## Das A-Filter: Versuch einer Annäherung

Um die Tonhöhenabhängigkeit der subjektiven Lautstärkeempfindung von Guthörenden auch in die physikalische Angabe eines bestimmten Schallpegels mit einzubeziehen, hat man in die Schallpegelmesser Filter eingebaut, mit denen man das Signal bewertet, bevor es angezeigt wird. Eine beliebte Filterung (aber bei weitem nicht die beste) ist die „Bewertungskurve A“. Man kennzeichnet die so gemessenen Schallpegel mit dB(A). Damit versucht man, den physikalisch messbaren Schallpegel mit der subjektiv empfundenen Lautstärke näherungsweise zur Deckung zu bringen. Das Filter ist sehr einfach gehalten, weil man es bei seiner Entwicklung vor über 60 Jahren aus Widerständen und Kondensatoren herstellen musste. Es ermöglicht nur eine grobe Annäherung an das sehr komplexe Verhalten des menschlichen Gehörs.

Mit heutiger Digitaltechnik könnte man die Filter wesentlich genauer programmieren und somit eine bessere Anpassung an das subjektive Empfinden schaffen. Die dB(A)-Bewertung ist aber inzwischen eine weltweit gängige Messmethode und in vielen Normen und Regelwerken sind Richt- oder Grenzwerte in dB(A) festgelegt. Eine bessere

Messmethode würde deshalb nur an einer anderen Stelle zu erneuten Verunsicherungen führen. Generell wendet man die Schallpegelan-gabe in dB(A) nur an, wenn man die Einwirkung eines Gesamt-Schal-lereignisses auf den Menschen als „empfundene Lautstärke“ beschrei-ben (messen) will. Ein Hörverlust wird aber nicht in dB(A), sondern in dB beschrieben und man muss jeweils dazu angeben, bei welcher Fre-quenz dieser Wert gilt.

## Was gilt denn nun?

Während man bei Guthörenden recht genau angeben kann, welche Schallpegelunterschiede mit welchen Lautheitsunterschieden korrelieren, ist dies bei Schwerhörenden nicht möglich. So wenig wie es eine mittlere Schwerhörigkeit gibt, so wenig gibt es auch ein mittleres Empfinden. Bei Guthörenden ist die Abhängigkeit vom Schallpegelunter-schied, von der absoluten Höhe des Schallpegels und von der Fre-quenz (= Tonhöhe) recht genau bekannt. Bei Schwerhörenden kom-men noch die Abhängigkeit vom Hörverlust (der seinerseits bei ver-schiedenen Frequenzen unterschiedlich ist) und von der Steilheit des Recruitment hinzu. Deshalb reagiert jede Person anders.

„We are still confused, but on a higher level.“

2018-03-07

- [1] Weber, Ernst Heinrich: Die Lehre vom Tastsinn und Gemeingefühl, Braunschweig. 1851
- [2] Fechner, Gustav Theodor: Elemente der Psychophysik, Breitkopf und Härtel, Leipzig, 1860
- [3] DIN 45 630-2:1967-09: Normalkurven gleicher Lautstärkepegel
- [4] Zwicker, Eberhard und Feldtkeller, Richard: Das Ohr als Nachrich-tenempfänger, Hirzel-Verlag, Stuttgart, 1967