Akustik

Was ist Schall?

Was unterscheidet Ton, Klang und Geräusch

Schallpegel, Lautstärke und Schallmessung

Vorstellung

Wissen

Test

Raumakustik

Schallpegel, Lautstärke und Schallmessung

Das Wichtigste in Kürze...

Das Gehör kann einen riesigen Schalldruckbereich verarbeiten; allerdings entspricht dies nicht direkt dem Lautstärkeeindruck. Das Gehör hat nämlich eine variable Empfindlichkeit.

Die logarithmische Dezibel-Skala bildet von 0 dB (Hörschwelle) bis ca. 130 dB (Schmerzgrenze) den gesamten Lautstärkebereich in überschaubaren Schritten ab.
Schalldruckpegel resp. Schallpegel

Beim Rechnen mit Schallpegeln muss berücksichtigt werden, dass die Schallintensitäten miteinander verrechnet werden müssen und nicht die Dezibel-Werte. Eine Verdoppelung der Schallleistung entspricht einer Schallpegelerhöhung um 3 dB.
Rechnen mit Schallpegeln - oder wenn 0 + 0 = 3 ist!

Ein gesundes Gehör kann bei guten Bedingungen im direkten Vergleich Pegel von 1 dB unterscheiden.
Unterscheidung von Pegeldifferenzen durch unser Gehör

Das Gehör ist nicht in allen Frequenzbereichen gleich sensitiv. Generell werden tiefe Töne bei gleichem Schallpegel als weniger laut empfunden. Daher weicht das Gehör auch von der Dezibelskala ab.
Lautstärke und Lautheit: phon und sone

Die Lautheitsskala in [sone] beruht darauf, dass 0.5 sone halb so laut sind wie 1 sone und 9 sone dreimal so laut sind wie 3 sone. Diese subjektive Skala bildet das Hörempfinden also linear ab.
Lautheitsskala in sone

Um die Abweichungen der Schallmessungen vom Höreindruck zu korrigieren, werden Messfilter eingesetzt. Heute wird meistens das A-Filter verwendet und damit gemessene Schallpegel werden in dB(A) angegeben. Die Messfilter versuchen die phon-Kurven zu simulieren.
Abweichungen des Gehörs von der Dezibel-Skala: Die dB(A)-Bewertung

"Lautstärke" kann nicht gemessen werden! Was physikalisch gemessen wird, ist der Schalldruck, der dann in einen Schallpegel umgerechnet und in dB resp. dB(A) angegeben wird.
Die Messung von Schall

Eine aussagekräftige Grösse in der Schallpegelmessung ist der energieäquivalente Dauerschallpegel Leq. Der Leq mittelt die Schallenergie über die Messdauer und nicht die Schallpegel.
Der energieäquivalente Dauerschallpegel Leq

Schalldruckpegel resp. Schallpegel

Schalldruck

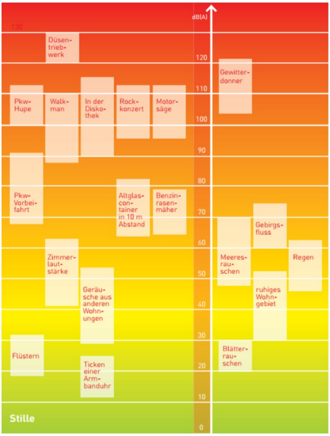
Die hörbaren Druckschwankungen sind verglichen mit dem atmosphärischen Luftdruck winzig klein. Sie sind, physikalisch gesprochen, dem vorherrschenden Luftdruck überlagert und werden als Schalldruck bezeichnet. Die Abkürzung für den Schalldruck ist P und die Einheit ist Pascal [Pa].
Unser Gehör ist darauf ausgerichtet, die schnellen Luftdruckschwankungen zu registrieren. Diese schnellen Luftdruckschwankungen liegen bei einem normalen Gespräch bei etwa 0.05 Pa (1/2'000'000 des atmosphärischen Luftdrucks). Wetterveränderungen lassen den Luftdruck innert Tagen hingegen um mehrere tausend Pa schwanken! Die Empfindlichkeit des Gehörs ist wichtig, um langsame Druckschwankungen, wie sie etwa durch den Höhenunterschied beim Treppensteigen (mehrere 10 Pa) oder bei einer Wetterveränderung entstehen, zu ignorieren. Der vorhandene statische Luftdruck wirkt nämlich auf der Trommelfellaussen- und -innenseite gleichermassen. Deshalb hat er keinen Einfluss auf das Hören. Der Druckausgleich zwischen Aussen- und Innenseite erfolgt über die sog. Eustach'sche Röhre. Beim Gähnen oder bei anderen Kieferbewegungen wird diese Verbindung zwischen Rachenraum und Mittelohr geöffnet und der Druck ausgeglichen.

Links zum Thema

ars auditus

Lärmwerkstatt

Sound-Technologien



Quelle: http://www.ald-laerm.de/downloads/publikationen/Broschuere_TgL2011.pdf

Geräusche des Alltags - Das "Lärmthermometer"

Schalldruckpegel

Das Gehör kann einen riesigen Schalldruckbereich verarbeiten, nämlich von 0.00002 Pa (Hörschwelle) bis ca. 20 Pa (Schmerzgrenze). Dies entspricht sechs Grössenordnungen! Allerdings entsprechen solche Angaben in keiner Weise dem Lautstärkeeindruck. Das Ohr hat nämlich eine variable Empfindlichkeit: für schwache Signale eine grosse und für starke Signale eine kleine. Da der Schalldruck eines Tones so klein ist, wird zur Angabe der Stärke des Schalls der Schalldruck eines Tones mit dem Druck eines gerade noch wahrnehmbaren Tones bei 1 kHz verglichen. Diesen relativen Bezug nennt man Schalldruckpegel L oder kurz Schallpegel. Die Massangabe erfolgt in Dezibel [dB]. Die Einführung dieser Skala verkürzt den Wertebereich erheblich, die Schalldruckwerte von 0.00002 Pa bis 20 Pa werden durch die Dezibel-Werte von 0 bis 120 dB abgebildet. Die Dezibel-Skala wurde nämlich als logarithmische Skala festgelegt.

Aus dem Schalldruck und dem Bezugsschalldruck (Hörschwelle bei 1kHz), lässt sich der Schallpegel mit der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Schallpegel } L = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad [\text{dB}]$$

p: Effektiver Schalldruck [Pa]
p_0: Bezugsschalldruck (p_0 = 0.00002 Pa)

Da unser Gehör näherungsweise logarithmisch arbeitet, ergibt sich mit dem Dezibelmass eine bessere Übereinstimmung mit dem Lautstärkeeindruck eines Signals. Eine Erhöhung des Pegels um 10 dB nehmen wir immer etwa als Verdoppelung der Lautstärke wahr. Ein Mensch kann bestenfalls Unterschiede von einem Dezibel wahrnehmen.

nach oben

Rechnen mit Schallpegeln - oder wenn 0 + 0 = 3 ist

Schallpegelwerte haben den Nachteil, dass sie nicht einfach addiert werden dürfen. Was sich von zwei Schallquellen addiert, ist nämlich ihre Schallleistung (oder -intensität), die zum Quadrat des Schalldrucks proportional ist. Für eine Verdoppelung der Schallleistung muss der Schalldruck nur um den Faktor √2 grösser werden! Prinzipiell sind nicht die einzelnen Schallpegelwerte zu addieren, zu subtrahieren oder zu multiplizieren, sondern die einzelnen Schallleistungen. Das erhaltene Resultat ist danach in einen Schallpegel umzurechnen.

So gilt zum Beispiel für die Addition von zwei Schallquellen mit je 0 dB:

0 dB + 0 dB => 3 dB.

Ebenfalls gilt für zwei Schallquellen mit je 65 dB:

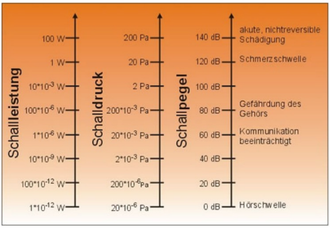
65 dB + 65 dB => 68 dB.

Es gelten die folgenden Beziehungen:

Verdoppelung der Schallleistung:	+ 3 dB	(weil 20·log(√2) = 3.01)
Verdoppelung des Schalldruckes:	+ 6 dB	(weil 20·log(2) = 6.02)
Verzehnfachung der Schallleistung:	+ 10 dB	(weil 20·log(√10) = 10)
Verzehnfachung des Schalldruckes:	+ 20 dB	(weil 20·log(10) = 20)

(mit log ist der 10er Logarithmus gemeint)

Die Formeln für Schallleistungen werden benutzt, wenn es sich um mehrere Schallquellen handelt oder wenn die Leistung einer Musikanlage vergrössert wird. Die Formeln für den Schalldruck braucht man, wenn z. B. eine Lautsprechermembran doppelt so stark ausgelenkt wird, also wenn man etwa die Wechselspannung am Lautsprecher verdoppelt.



Vergleich der drei Masse Schallleistung, -druck und -pegel mit den unterschiedlichen Grössenskalen.

Für Schädigungen des Ohres ist der mit dem Schall auf das Ohr übertragene Energiebetrag entscheidend. Energie ist das Produkt aus Leistung mal Zeit. Die gehörschädigende Wirkung des Schalls ist daher gleich dem Produkt aus Schallleistung und Einwirkzeit.

Müssen unterschiedliche dB-Werte addiert werden, berechnet sich dies wie folgt:

$$\text{Gesamtpegel} \quad L_{total} = 10 \cdot \log_{10}\left(10^{L1/10} + 10^{L2/10}\right) \quad [\text{dB}]$$

*L*1, *L*2 bezeichnen die einzelnen Schallpegel in dB. Diese Formel wandelt die Schallpegel zuerst in Schallleistungen um, addiert diese und geht dann zurück auf die dB-Skala. Weitere Schalldruckpegel werden analog zu den Termen mit *L*1, *L*2 hinzugefügt.

nach oben

Unterscheidung von Pegeldifferenzen durch unser Gehör

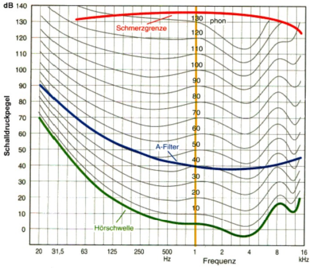
▶ ■ *Pegeldifferenzen, 0 bis +10 dB. Wiederholter, elektronischer Orgelklang, dessen Pegel relativ zum ersten Pegel folgende Werte hat:*
0, +1, 0, +3, 0, +6, 0, +10, 0 dB.
SuvaPro Audio Demo 3, Track 14

Unser Gehör passt sich schnell an vorhandene Schallpegel an. Die Differenzen von Pegeln treten am stärksten in Erscheinung, wenn wir zwei Pegel unmittelbar nacheinander hören. Der kleinste hörbare Unterschied ist vom Pegel und von der Frequenz abhängig. 1 dB sollte etwa hörbar sein. Dort wo unser Gehör am empfindlichsten ist, nämlich bei 4 kHz und sehr hohen Pegeln ab 80 dB, ist bestenfalls sogar ein Unterschied von 0.25 dB feststellbar.

nach oben

Lautstärke und Lautheit: phon und sone

Zwei Töne mit gleichem Schallpegel, aber unterschiedlicher Frequenz, werden oft auch als unterschiedlich laut wahrgenommen. Neben der physikalisch messbaren Grösse (Schalldruck, Schalldruckpegel) wurde daher auch eine rein subjektive Grösse, die Lautstärke, definiert. Die Lautstärke wird in [phon] angegeben, und deren Definition beruht auf dem subjektiven Vergleich zweier Schallvorgänge. Für diesen Vergleich wurde der 1-kHz- Ton als Referenzton gewählt. Die Lautstärkeskala entspricht daher bei 1 kHz genau der Dezibelskala. Um die Lautstärke eines bestimmten Schallvorganges (Signals) zu bestimmen, vergleicht man das vorhandene Signal mit dem 1000-Hz-Referenzton. Die Intensität des Referenztons wird nun solange verändert, bis er als gleich laut empfunden wird wie das vorhandene Signal. Der beim Referenzton ablesbare Schallpegel entspricht dann der Lautstärke des erzeugten Schallvorganges in phon.



Quelle ISO-Norm 226 (ergänzt)

International genormte Kurven gleicher Lautstärke reiner Töne. Die orange Linie kennzeichnet die Referenzfrequenz von 1000 Hz, wo Dezibel und phon gleich gross sind. Ein 20-Hz-Ton mit 110 dB wird als gleich laut empfunden wie ein 4-kHz-Ton mit 70 dB, beidesmal sind es 80 phon.

Die Kurven gleich empfundener Lautstärke von reinen Tönen wurden anhand zahlreicher Untersuchungen mit normal hörenden Personen im Alter zwischen 18 und 25 Jahren bestimmt.

nach oben

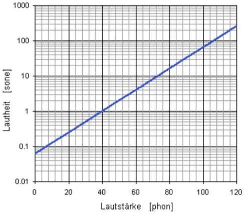
Lautheitsskala in sone

Eine Veränderung um 10 phon wird subjektiv als Verdoppelung resp. Halbierung der Lautstärke empfunden. Um diesen Umstand besser zu erfassen, wurde eine weiteres, subjektives Mass eingeführt: die Lautheit, gemessen in [sone]. Die Lautheits-Skala beruht darauf, dass 2 sone doppelt so laut sind wie 1 sone und analog dazu 0.5 sone halb so laut sind. Als Referenz gilt dabei der Wert 40 phon, bei welchem 1 sone definiert ist. Die Umrechnung von phon in sone funktioniert folgendermassen:

$$\text{Lautheit} = 2^{\left(\frac{phon - 40}{10}\right)}$$

[sone]

Daraus berechnet sich folgendes Lautheitsdiagramm:



Lautheitsdiagramm. Der Referenzwert 1 sone liegt bei 40 phon. 10 sone sind zehnmal so laut wie 1 sone, 0.5 sone sind halb so laut wie 1 sone. Man beachte die logarithmische Skala der y-Achse.

Der grosse Vorteil der Lautheitsskala in sone liegt in der direkt ablesbaren Vergleichbarkeit von Lautheitsangaben. Der Nachteil ist, wie auch bei phon-Angaben, dass es sich um subjektive Werte handelt, die mit keinem Messinstrument einfach erfasst werden können. Lautstärkeangaben in phon oder sone waren in den 70-er Jahren noch weit verbreitet, wurden dann aber immer mehr von den sogenannten dB(A) Werten verdrängt. Inzwischen werden im Bereich der Klima- und Lüftungstechnik und auch bei PC-Hardware wieder vermehrt Lautheitsangaben in sone gemacht. Diese Angaben sind zwar für Vergleiche sehr sinnvoll, nur werden die sone-Werte meistens nicht direkt gemessen, sondern aus dB(A)-Messungen und dem Frequenzband berechnet. Kein Wunder, würde eine sone-Messung ja auch die empfindlichen Ohren einer grossen Anzahl von Testpersonen verlangen, um ein statistisch brauchbares Resultat zu erreichen.

nach oben

Abweichung des Gehörs von der Dezibel-Skala:
Die dB(A)-Bewertung

Um die Messungen von Schall unserem Gehör anzupassen, wurden verschiedene Filter entwickelt. Diese Filter korrigieren die Messwerte in einem gewissen Frequenzbereich, um damit der Empfindlichkeit des Ohrs besser gerecht zu werden. Das A-Filter schwächt beispielsweise Bässe und Höhen ab. Dadurch sieht ein A-bewertetes Messergebnis ähnlich aus wie eine phon-Kurve. Weitere Filter wurden mit B, C, und D bezeichnet. Alle diese Filter wurden für einen gewissen Bereich der Dezibelskala optimiert, das A-Filter für kleine Schallpegel, das D-Filter für sehr grosse.

Durch den Einsatz eines solchen Filters stimmt der angegebene Messwert eher mit unseren Empfindungen überein und kann relativ einfach gemessen werden. Um die Handhabung und Vergleichbarkeit zu erhöhen, wird heute bei Messungen fast ausschliesslich das A-Filter verwendet, egal ob es sich um laute oder leise Schallvorgänge handelt. Die A-Bewertung des Schallpegels wird in dB(A) angegeben, kann ansonsten aber wie dB-Werte gehandhabt und addiert werden.

nach oben

Die Messung von Schall

Theorie

Wie es der Name schon sagt, wird mit dem Schallpegelmesser der Schall(druck)pegel gemessen. Meistens erfolgt die Angabe in dB(A).

Verschiedene handliche Schallpegelmessgeräte.

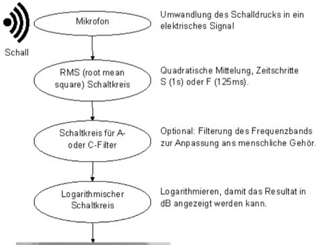
Quelle: SUVA

Doch die Frage ist, was eigentlich gemessen wird, bzw. wie lange gemessen werden soll? An einer Strasse treten verschiedene Arten von Schall-Ereignissen auf. Wenn ein Auto vorbeifährt, ist der Schallpegel höher als wenn gerade nichts vorbeifährt. Trotzdem ist es auch dann meist nicht absolut still. Diese Schwankungen können auf verschiedene Weise erfasst werden. Man kann den maximalen Pegel während der Durchfahrt des Fahrzeugs messen, es ist aber auch möglich, den Durchschnittswert über mehrere Minuten zu messen. Doch am meisten interessiert man sich für den durchschnittlich am Messort herrschenden Schallpegel, der für die Beurteilung der Lärmsituation benötigt wird. Dazu muss auch die Impulshaftigkeit und der Informationsgehalt einer Schallquelle berücksichtigt werden.

Gerätetypen

Es gibt verschiedene Sorten Geräte zur Messung des Schallpegels. Einerseits die typischen **Schallpegelmesser**:

- Die Standardgeräte mitteln exponentiell und zeigen quasi einen Schnappschuss des Schallpegels. Der Schall wird im Mikrofon in ein Wechselstrom-, danach durch quadratische Mittelung in ein Gleichstromsignal umgewandelt. Die bei der Mittelung zu verwendenden Zeitabschnitte sind, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, international standardisiert: 'S' bedient sich eines Intervalls von 1 s, 'F' eines von 125 ms. Das Resultat kann mittels eines Filters korrigiert werden (siehe db(A)-Bewertung) und wird logarithmiert, damit das Ergebnis als dB ausgegeben werden kann.



Schall
Mikrofon
Umwandlung des Schalldrucks in ein elektrisches Signal
RMS (root mean square) Schaltkreis
Quadratische Mittelung, Zeitschritte S (1s) oder F (125ms).
Schaltkreis für A- oder C-Filter
Optional: Filterung des Frequenzbands zur Anpassung ans menschliche Gehör.
Logarithmischer Schaltkreis
Logarithmieren, damit das Resultat in dB angezeigt werden kann.

Schema der Schallpegelmessung. Der Schall wird in elektrischen Strom umgewandelt, dieser in verschiedenen Schaltkreisen gezielt verändert und am Ende lässt sich das Ergebnis an einer Anzeige (analog oder digital) ablesen.

- Besser zur Ermittlung einer Lärmbelastung sind integrierend mittelnde Geräte, hierbei wird der Schall nach der Filterung integriert ('aufsummiert'). Das Resultat ist in SI-Einheiten Pa2·s, es kann stattdessen aber auch der SEL-Pegel angezeigt werden, der mit dem Leq in Zusammenhang steht. Manche Geräte erlauben eine sofortige Oktavbandanalyse, die es somit ermöglicht, nicht nur den Gesamtschallpegel zu ermitteln, sondern auch die einzelnen Anteile der verschiedenen Frequenzbereiche.

Zu einem etwas anderen, spezialisierten Gerätetyp zur Messung des Schalls gehören die **Ohrsimulatoren**. Verwendet werden sie hauptsächlich zum Testen und Messen von Kopfhörern und Hörgeräten, jedoch auch zur Kalibration von Audiometern, die zur Bestimmung der Hörfähigkeit dienen. Die Komplexität solcher Geräte variiert stark, von einfachen hohlzylinderähnlichen Formen bis hin zu Konstruktionen, die die Eigenschaften des menschlichen Ohrs mithilfe einer geeigneten Formgebung nachzuahmen versuchen.

Lärmdosimeter sind eng verwandt mit den Strahlendosimetern, die z.B. von Arbeitern in Kernkraftwerken verwendet werden: sie werden am Körper getragen und sagen etwas darüber aus, wie viel Lärm eine Person über eine längere Zeitperiode insgesamt ausgesetzt war. Dabei wird der Schallpegel fortwährend gemessen und quasi aufaddiert; das Resultat ist gewöhnlich in der Einheit Pa2·h. Moderne Lärmdosimeter sind sehr klein und können beispielsweise auf der Schulter getragen werden. Da sie ohne Kabel oder dergleichen auskommen, ist auch die Unversehrtheit des Geräts stets gewährleistet.

Ein Lärmdosimeter ('doseBadge') von Pulsar Instruments Plc.

Quelle: Pulsar Instruments Plc

Genauigkeit

Von der Anwendung her ergibt sich eine Notwendigkeit einer Messauflösung um eine Grössenordnung besser als die der interessierenden Grenzwerte, also 0.1 dB. Daraus ergibt sich eine erforderliche Genauigkeit von ±0.05 dB. Auf die Hörfähigkeit des menschlichen Ohrs bezogen, würde eine Genauigkeit von 1 dB prinzipiell ausreichen.

Zur Bestimmung der Genauigkeit von Schallpegelmessern gibt es zwei wichtige Werte:

- (Amplituden-)Frequenzgang: Abweichung vom gemessenen zum wahren Schallpegel abhängig von der Frequenz. Wichtig sind die Werte im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz.
- Dynamik: Abweichung vom gemessenen zum wahren Schallpegel bei einer bestimmten Frequenz abhängig von der Lautstärke. Die Dynamik ist nur in einem gewissen Intervall gut (normalerweise 100 – 120 dB). Dieser Bereich hat seine untere Grenze dort, wo das technisch bedingt stets vorhandene Signalrauschen das Nutzsignal übertönt, und seine obere Grenze dort, wo eine Überladung des Aufnahmegeräts zu einer Signalverzerrung führt (Übersteuerung, auch aus dem Hi-Fi-Bereich bekannt).

Die Messgeräte selbst sind in zwei Klassen unterteilt, die in der Norm der 'International Electrotechnical Comission' IEC 61672 reglementiert sind. Die Klasse 1, die in Labor und Feld verwendet wird, muss ein breiteres Frequenzspektrum genauer messen können als Klasse 2, die hauptsächlich für weniger spezialisierte Belange im Feld benutzt wird, d.h. die Anforderungen sind höher.

Die Messung

Bezüglich des Messvorganges selbst sind drei Dinge unerlässlich:

- Das Messgerät bedarf einer korrekten und regelmässig wiederholten Kalibration. Diese muss in einer ununterbrochenen Kette auf einen primären Standard zurückführbar sein.
- Die Messmethode selbst muss standardisiert sein, am besten international durch eine entsprechende Normierungsorganisation.
- Die Person, die die Messung durchführt, muss über das korrekte Verfahren

informiert sein und je nach Komplexität des Geräts für dessen Gebrauch ausgebildet.

Nur unter diesen Bedingungen ist ein korrektes und vor allem vergleichbares Resultat gewährleistet, das beispielsweise auch als Grundlage für einen Gerichtsentscheid dienen könnte.

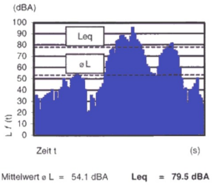
nach oben

Der energieäquivalente Dauerschallpegel Leq

Dank dem Einsatz von Elektronik ist es heute möglich, mit relativ einfachen Messinstrumenten eine weitaus aussagekräftigere Grösse zu messen, als dies der reine Durchschnittswert des Pegels ist. Diese Grösse heisst energieäquivalenter Dauerschallpegel Leq, auch Mittelungspegel oder Intensitätsmittel genannt. Energieäquivalent bedeutet "die gleiche Enegie enthaltend", "der gleichen Energie entsprechend". Im Prinzip entspricht die Schallenergie des (konstanten) Leq-Pegels genau der durchschnittlichen Schallenergie des schwankenden Schallereignisses. Das Gerät misst also während einer Zeitspanne den Schallpegel, berechnet daraus die Energie des Schalls und summiert diese Energiewerte auf. Am Ende der Zeitspanne wird die Gesamtenergie über die Zeitspanne gemittelt und als Leq in dB ausgegeben. Formal bedeutet dies:

$$\mathrm{Leq} = 10 \cdot \log_{10}\left[\frac{1}{T}\left(\sum_i t_i \cdot 10^{L_i/10}\right)\right] \quad \text{[dB resp. dB(A)]}$$

Leq:	Mittelungspegel [dB, dB(A)]
T:	Messdauer (= Summe aller t_i) [s]
t_i:	Zeitdauer des Pegelwerts L_i [s]
L_i:	Pegel während der Zeitdauer t_i [dB, dB(A)]



Quelle: Werner Stalder,(2000). "Aus- und Weiterbildungskurs Lärmschutz", S. 2.8

Grafische Darstellung einer Schallpegelmessung. Eingezeichnet sind sowohl der durchschnittliche Schallpegel L als auch der energieäquivalente Schallpegel Leq. Weil der Energiegehalt von hohen Schalldrücken viel grösser ist als von kleinen, ist der Leq-Wert viel höher als das Schallpegelmittel L.

Der Hauptvorteil des energieäquivalenten Dauerschallpegels ist, dass damit ein zeitlich schwankendes Schallereignis mit einer einzigen Beurteilungsgrösse charakterisiert werden kann

Als Beurteilungsgrösse ist der Leq für verschiedenste Lärmarten sinnvoll. Bei Industrie- oder Gewerbelärm mit bedeutender Impulshaftigkeit der Schallereignisse, kann der Leq problematisch sein, weil dann die störenden Spitzenwerte "verdünnt" werden können. Trotzdem wird der Leq auch bei solchen Lärmarten angewandt. Die subjektive Störwirkung durch die Impulse wird nachträglich mit einer Pegelkorrektur ausgeglichen.

Der SEL-Pegel

In der Praxis der Lärmbekämpfung wird oft in Ergänzung zum Leq auch der sog. SEL-Pegel (Sound-Exposure-Level) bestimmt. Die Schallenergie des SEL-Pegels entspricht genau der Schallenergie des Leq-Pegels, allerdings wird nicht über den Beurteilungszeitraum gemittelt, sondern auf eine Einwirkungszeit von 1 Sekunde. Man konzentriert damit beispielsweise die Energiesumme aus 3 Minuten Messzeit auf eine Sekunde, das heisst der SEL-Wert ist im allgemeinen grösser als der Leq.

Aus dem Leq berechnet sich der SEL wie folgt:

$$\mathrm{SEL} = \mathrm{Leq} + \left[10 \cdot \log_{10}(T)\right] \quad \text{[dB resp. dB(A)]}$$

T: Messdauer [s]

Mit dem SEL-Pegel lassen sich die Energien von Schallereignissen vergleichen, welche unterschiedliche Zeitdauer und Intensität haben.

Nebst diesen Grössen gibt es noch eine Menge weiterer Kennzahlen, insbesondere für Langzeitmessungen über Tage und Nächte, wo gewisse tageszeitliche Korrekturen zur Beurteilung der Lärmbelästigung angebracht sind.

nach oben