



Schallpegelmesser, Aufbau, Wirkungsweise, Eichpflicht und Genauigkeiten

Willi Nickel Brüel & Kjaer GmbH – Düsseldorf

Was ist ein Schallpegelmesser?

Ein Schalldruckpegelmesser ist ein Gerät, mit dem Schallpegel auf eine standardisierte Art und Weise gemessen werden. Der Schallpegelmesser besteht grundsätzlich aus einem Mikrofon, einem Vorverstärker, einem Prozessor und einer Ableseeinrichtung. Die Messung von Schall und die weitere Signalverarbeitung des Signals erfolgt gemäß internationalen Normen wie IEC 61672-1:2002.

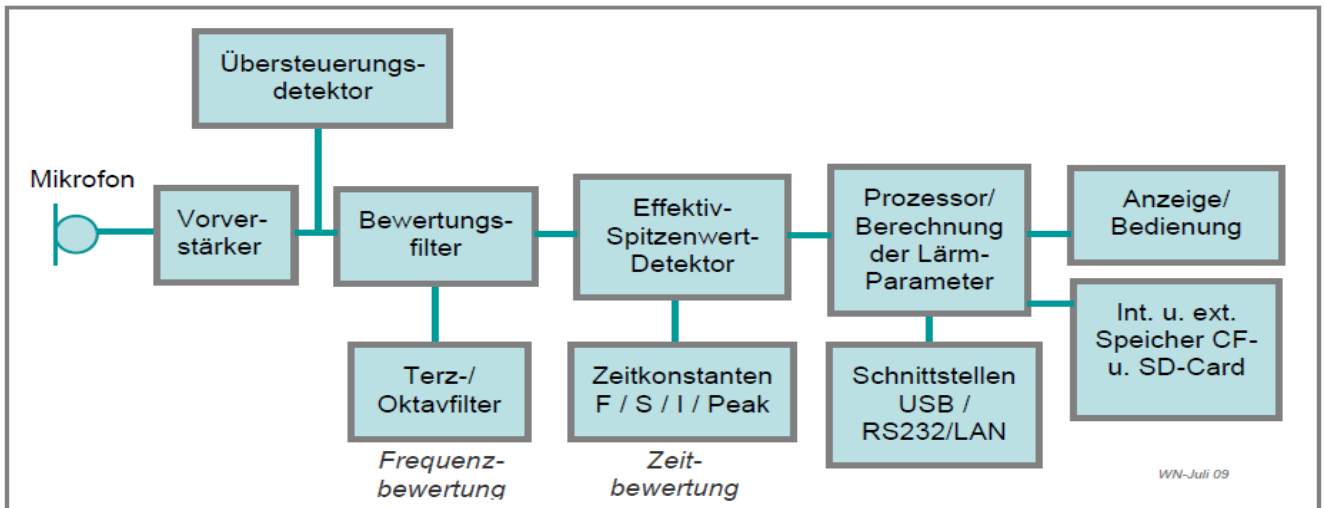


Abb.1 Blockschaltbild eines modernen Schallpegelmessers

Das **Mikrofon** ist ein elektroakustischer Wandler, der das Schallsignal in ein äquivalentes elektrisches Signal wandelt. Zur Schallmessung werden ausschließlich Kondensatormikrofone verwendet.

Diese Mikrofone haben eine Kugelcharakteristik, die Schall aus allen Richtungen gleich stark empfangen. (Abb.2) Das vom Mikrofon erzeugte elektrische Signal ist sehr klein und kann mittels eines **Vorverstärkers** (Impedanzwandler) auch über Mikrofonverlängerungskabel mit bis zu 100 m Länge übertragen werden. Der typische Messbereich von < 20dB(A) bis > 140 dB(A) bleibt unberührt davon.

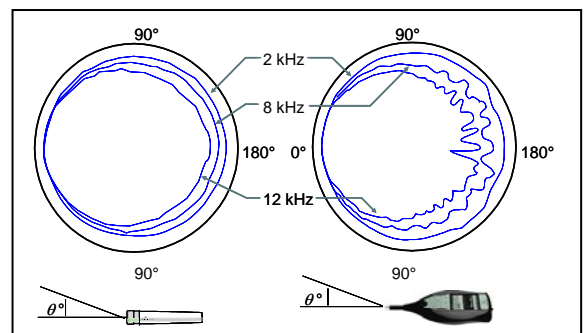


Abb.2 „Rundum-Charakteristik“, von Mikrofon und Schallpegelmesser bei verschiedenen Frequenzen

Ein **Übersteuerungsdetektor** prüft, ob die Messsignale innerhalb des Schallpegelmesser-Messbereiches liegen (typischerweise < 20 bis >140 dB(A)). Danach durchläuft das Signal weitere Stufen, bevor es vom Hauptprozessor zu Messparametern verarbeitet wird.

Die **Frequenzbewertung** bestimmt, wie der Schallpegelmesser auf unterschiedliche Schallfrequenzen reagiert. Dies ist notwendig, weil die Empfindlichkeit des menschlichen Ohrs je nach Frequenz des Schalls verschieden ist. Die am meisten verwendete Frequenzbewertung ist die A-Bewertung. Sie passt das Signal auf eine Weise an, die am besten der Empfindung des menschlichen Ohres auf Lautstärken im mittleren Pegelbereich entspricht. Diese Bewertung wird für fast alle Schallmessungen im Umwelt- und Arbeitsschutz gefordert und ist in internationalen und nationalen Normen und Richtlinien definiert. Auf alle Messparameter wird die A-Bewertung, sowie zusätzlich entweder eine C- oder Z-Bewertung angewendet. Eine Ausnahme bildet die Messung von Spitzenwerten, bei der die C-Bewertung verwendet wird. Die C-Bewertung bewirkt, dass der Energieinhalt bei tiefen Frequenzen stärker berücksichtigt wird, auch wenn diese nicht besonders lästig wirken.

A-Bewertungsfilter:

Die A-Bewertung ist der Kurve gleicher Lautheit bei 40 dB angenähert, das bedeutet, der Empfindlichkeit des menschlichen Ohres bei schwachen bis mittleren Schallpegeln. Dies ist die am häufigsten verwendete Frequenzbewertung.

B-Bewertungsfilter:

Die B-Bewertung ist der Kurve gleicher Lautheit bei 70 dB angenähert, d. h. der Empfindlichkeit des menschlichen Ohres im mittleren Pegelbereich. Sie wird oft zur Beurteilung des Geräuschkomforts, z.B. in Fahrzeugen, verwendet.

C-Bewertungsfilter:

Die C-Bewertung ist der Kurve gleicher Lautheit bei 100 dB angenähert, d. h. der Empfindlichkeit des menschlichen Ohres bei hohen Schallpegeln. Sie wird verwendet, um die Spitzenwerte (Peak-Werte) hoher Schalldruckpegel zu beurteilen.

Zusätzlich hilft die Differenz von $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ – gleichzeitige Messung – im Arbeitsschutz bei der Auswahl eines geeigneten Gehörschutzes (Differenz >5 dB bedeutet dominierend niederfrequenter Schallanteil, Gehörschutz markiert mit „L“).

Im Umweltschutz wird bei Messungen gemäß DIN 45680 in schutzbedürftigen Räumen die Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ (>20 dB) zur Einleitung weiterer Schritte zur Beurteilung einer Lärmbelästigung benutzt.

Z-Bewertungsfilter:

Lineare Frequenzbewertung, Z wurde abgeleitet von Zero. Frequenzanalysen werden meist Z bewertet. Bei älteren Schallpegelmessern entspricht die L-Bewertung in etwa der Z-Bewertung.

Frequenzanalyse:

Zusätzlich zu den gemessenen Breitbandparametern ist oft zur genaueren Beschreibung des Schalls eine Frequenzanalyse erforderlich. Dazu zerlegt man das Signal in seine Einzelfrequenzen und man erhält eine spektrale Darstellung des Signals.

Diese Analyse erfolgt mit Filtern, die in modernen Geräten mittels digitaler Technik rechnerisch nachgebildet werden. Die Filter sind charakterisiert durch ihre Bandbreite und Filtermittenfrequenz. Zur Schallanalyse werden meist Filter mit konstanter relativer Bandbreite verwendet, wobei die Bandbreite einer Oktave (Oktavfilter) oder Terz (Terzfilter) entspricht. Eine Oktave ist ein Frequenzband, in dem die Frequenz des höchsten Tones doppelt so groß ist wie die Frequenz des ersten Tones. Zum Beispiel lässt ein Oktavfilter mit einer Mittenfrequenz von 1 kHz Frequenzen zwischen 707 und 1.414 Hz durch, während es alle anderen abschneidet. Eine Terz umfasst den Bereich, in dem die höchste Frequenz das 1,26-fache der niedrigsten Frequenz ausmacht. Drei benachbarte Terzen bilden eine Oktave. Dieser Vorgang der Einteilung komplizierter Signale wird als Frequenzanalyse bezeichnet und die Ergebnisse werden in einem Diagramm, dem Spektrum dargestellt. Moderne Geräte sind für eine Echtzeitfrequenzanalyse ausgelegt. Das bedeutet, dass alle Frequenzen zeitgleich erfasst und verarbeitet werden.

Für spezielle Messaufgaben können moderne Schallanalytoren mit einer FFT-Analyse (Fast-Fourier-Transformation) ausgestattet sein. Bei einer FFT haben die Filter eine Absolutkonstant-Bandbreite und die Frequenzachse ist linear geteilt.

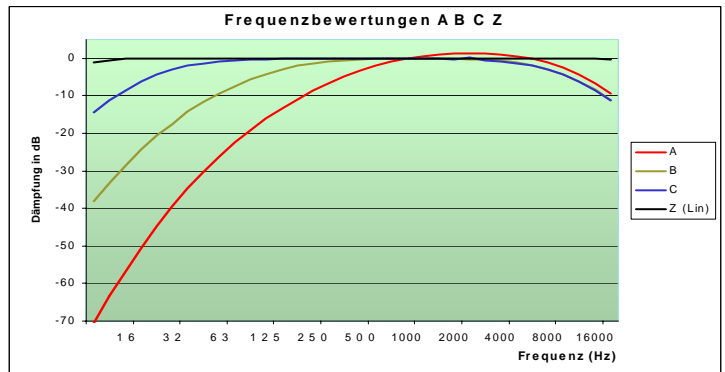


Abb.3 Frequenzbewertungsfilter A, B, C, Z (L)

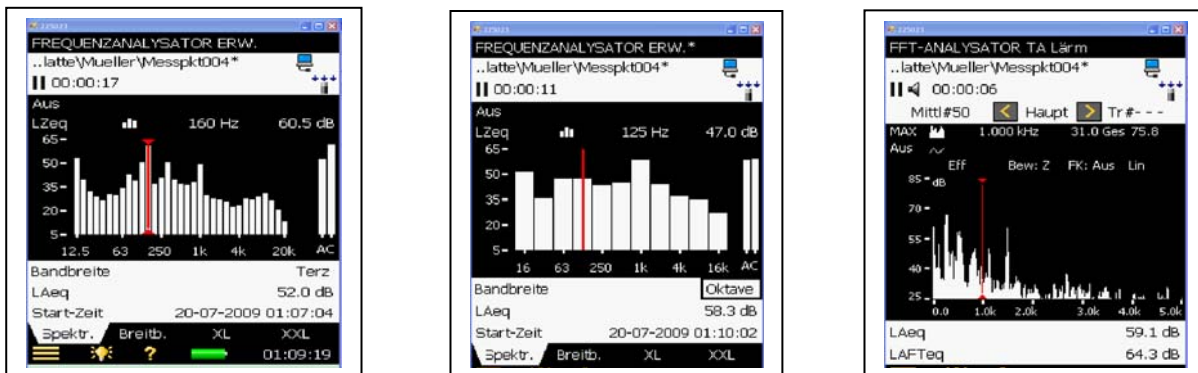


Abb.4 Darstellung Terz-, Oktav- und FFT-Analyse

Frequenzanalysen werden benötigt, um Schalldämmungen von Wänden, Decken oder Maschinenkapselungen zu bestimmen, helfen bei der Auswahl von Gehörschützern und in Entwicklungsabteilungen zur akustischen Optimierung von Produkten. Weitere Anwendungen sind in der Raum- und Bauakustik zur Bestimmung von Schalldämmung, Trittschallschutz und Sprachverständlichkeit und auch bei der Schwingungsmessung zu finden.

Effektiv-, Spitzenwerte und Zeitbewertung:

Der nächste Funktionsblock in Schallpegelmessern dient den folgenden Zwecken:

- die Anzeige mit der Kurzzeitwahrnehmung des Menschen in Übereinstimmung zu bringen
- zur sicheren Ablesung von schwankenden Pegeln
- schnell aufeinanderfolgende Geräusche unterscheidbar zu machen
- die Weiterverarbeitung zu wirkungsäquivalenten Langzeitwerten zu ermöglichen

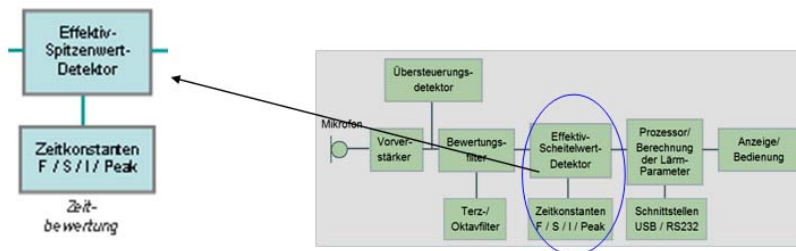
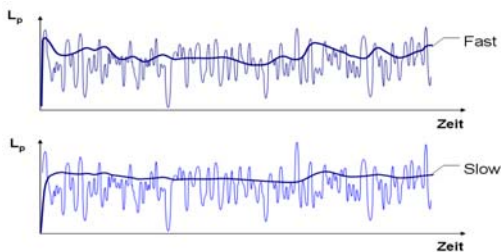


Abb.5 Effektiv u. Spitzenwertbildung

Nach der Frequenzbewertung muss das Wechselsignal des Schalldrucks zu sinnvollen Anzeigewerten verarbeitet werden. Dies geschieht in einem Effektivwertdetektor, der mit genormten Zeitkonstanten arbeitet. Die Effektivwertbildung beinhaltet eine Quadrierung des Schalldrucks sowie eine zeitlich gleitende Mittelung, auch „Zeitbewertung“ genannt. Die **Zeitbewertung** definiert, wie stark schwankende Schallpegel bei der Effektivwertbildung (exponentielle Mittelung) geglättet oder gemittelt werden.



In den Normen sind drei Zeitbewertungen definiert: F (**F**ast), S (**S**low) und I (**I**mpuls). Die meisten Messungen erfolgen mit der Zeitbewertung 'F', die eine Zeitkonstante von 125 ms verwendet. Moderne Geräte messen zeitgleich mit F-, S- und I-Bewertung. Die Zeitbewertung Impuls wird heutzutage nur noch bei speziellen Aufgaben benutzt.

Abb.6 Wirkung von Slow- u. Fast-Bewertung

Zusätzlich werden auch **Spitzenwerte** (L_{pCpeak}) (Scheitelwerte) ermittelt. Diese werden mit kurzen Anstiegszeitkonstanten ($<50 \mu s$) gebildet. Damit ist gewährleistet, dass auch bei kürzesten Signaldauern der Spitzenwert korrekt ermittelt wird. Zur Vermeidung von Gehörschäden sollte kein Pegel $> 135 \text{ dB}$ (C_{peak}) auftreten.

Berechnung von Lärmparametern:

Nach der Zeitbewertung und Bildung der Effektiv- und Spitzenwerte wird der resultierende Schalldruckpegel in Dezibel (dB) bezogen auf $20 \mu Pa$ auf dem Display des Gerätes angezeigt. In modernen Schallpegelmessern werden die Anzeigewerte für den Schalldruckpegel 1 x je Sekunde aktualisiert. Zur Beurteilung schwankender Schallpegel wird ein Mittelwert, der L_{eq} gebildet. Der „äquivalente Dauerschallpegel“ L_{eq} wird weltweit als wichtigster Mittelwertparameter verwendet und ist Basis für viele weitere Schallparameter. Der L_{eq} ist derjenige konstante Pegel, der denselben Energieinhalt repräsentiert wie der über einen bestimmten Zeitraum gemessene schwankende Schalldruckpegel. Er stellt ein Maß für die mittlere Energie eines variierenden Schallpegels dar. Er ist kein direktes Maß für die Belästigung, aber umfangreiche Studien haben ergeben, dass der L_{eq} gut mit der Belästigung korreliert. Der L_{eq} wird direkt gemessen. Bei Verwendung eines A-Bewertungsfilters wird er als L_{Aeq} ausgedrückt, d.h. als mit A-Bewertung gemessener äquivalenter Dauerschallpegel. Ein Schalldruckpegelmessers ermöglicht die Messung aller Parameter, die zur Beurteilung von Lärm in den Bereichen Umwelt- und Arbeitsschutz gebräuchlich sind. Bei den gebräuchlichsten Parametern, die zahlreiche Anwendungen abdecken, handelt es sich entweder um momentan gemessene Parameter (direkt angezeigte Momentanwerte) oder um Messparameter, die über bestimmte Zeiträume gemessen werden.

Die wichtigsten Messparameter

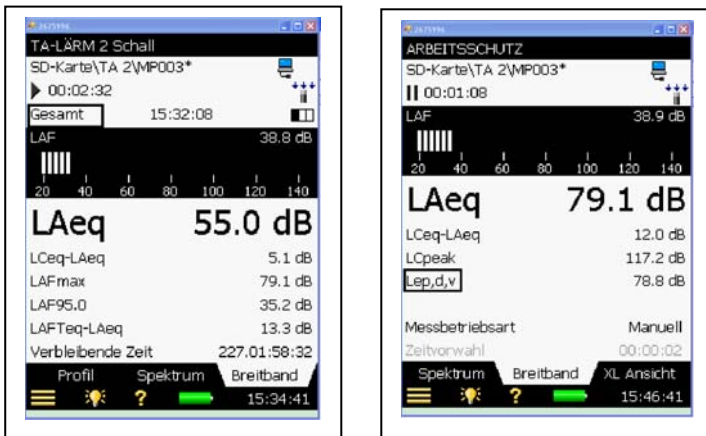


Abb.7 Typische Messparameteranzeige, links typisch für Messungen im Umweltschutz, rechts für Arbeitsschutz

- L_{Aeq} Äquivalenter Dauerschallpegel (energetischer Mittelwert, A-bewertet) ist der meist gebräuchliche Messparameter; Basiswert zur Berechnung weiterer Lärmparameter.
- L_{Ceq} Äquivalenter Dauerschallpegel (energetischer Mittelwert, C-bewertet)
- L_{AFTeq} Überenergetischer Mittelwert, gebildet nach dem Takt-Maximalverfahren der TA Lärm
- $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ Differenz von $L_{Ceq} - L_{Aeq}$, gleichzeitige Messung von L_{Aeq} und L_{Ceq}
- L_{pCpeak} Spitzenschalldruckpegel (maximaler Spitzenwert in der Messperiode) mit Frequenzbewertung C. Wird verwendet, um das Risiko für Hörschädigungen zu beurteilen, die durch kurzzeitige, sehr hohe Schallpegel (>135 dB) verursacht werden.
- L_{AFmax} Maximaler zeitbewerteter Schallpegel (A- und Fast-bewertet) in der Messperiode, wird häufig in Verbindung mit einem weiteren Schallparameter verwendet (z.B. L_{Aeq}), um sicherzustellen, dass ein einzelnes Schallereignis den Grenzwert nicht überschreitet.
- L_{AFmin} Minimaler zeitbewerteter Schallpegel (A- und Fast-bewertet) in der Messperiode
- L_{AF1} Perzentilpegel (während 1 % der Messzeit wurde der Pegel x erreicht oder überschritten) (A- und F-bewertet), charakterisiert nach VDI-Richtlinie 3723 den Spitzenwert in der Messperiode
- L_{AF95} Perzentilpegel (während 95 % der Messzeit wurde der Pegel x erreicht oder überschritten) (A- und Fast-bewertet), beschreibt den Hintergrundpegel in der Messperiode
- L_{AE} Schallexpositionspiegel (A-bewertet), beschreibt eine Lärmdosis, wird berechnet aus:

$$L_{Aeq} + 10 \lg T/T_0.$$

$$T = \text{Messzeit} \quad T_0 = \text{Bezugszeit (1 s)}$$
- $L_{ep,d,v}$ Täglicher Lärmexpositionspiegel ($L_{AEXP,8h}$) gemäß EU-Arbeitsschutz RL
- L_{Cpeak} Spitzenwert, C-bewertet maximaler Wert in der Messperiode
- L_{AF} (Inst) Momentaner zeitbewerteter Schallpegel (A- und F-bewertet)
- L_{AF} (SPL) Schalldruckpegel (maximaler gemessener Pegel der letzten Sekunde)

Kalibrieren von Schallpegelmessern

Kalibrieren ist eine Tätigkeit zur Ermittlung der Zusammenhänge zwischen ausgegebenen Werten eines Messmittels und den bekannten Werten der Messgröße unter bekannten Bedingungen.

Dabei ist zu beachten, dass eine Kalibrierung:

- keine Spezifikationsprüfung (*Konformitätsaussage*)
- keinen Abgleich
- und keine Aussage über eine Drift beinhaltet, sondern nur die Istwertaufnahme auf Basis von Messunsicherheiten darstellt.



Abb.8 Brüel & Kjær Schallkalibrator 4231, aufgesetzt

Um präzise und genaue Ergebnisse zu erhalten, müssen Schallpegelmesser kalibriert werden. Dies geschieht, indem man einen Schallkalibrator auf das Mikrofon setzt. Kalibratoren geben einen präzise definierten Schalldruckpegel ab, mit dem der Schallpegelmesser justiert wird. Zur Erzielung reproduzierbarer Ergebnisse sollte vor und nach den Messungen kalibriert werden.

Wie sollte kalibriert werden?

- Regelmäßig kalibrieren
- Vor und nach wichtigen Messungen
(In modernen Geräten werden die Ergebnisse in einer Kalibrierhistorie abgespeichert)
- Bei rechtsverbindlichen Messungen ist alle 2 Jahre eine Eichung der Geräte notwendig
(Bauartprüfung der Geräte durch den Hersteller bei der PTB erforderlich)
- Kalibrierungen (DKD – DAKKS - Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH) beim Hersteller

Es gibt drei Genauigkeitsklassen für Kalibratoren, die sich in Form von Grenzabweichungen* des Schalldruckpegels (Frequenzbereich 160 bis 1250 Hz) beschreiben lassen:

Klasse LS 0,2 dB**
Klasse 1 0,4 dB
Klasse 2 0,75 dB

** LS = Laborstandard

*Grenzabweichungen enthalten bereits die erweiterte Messunsicherheit

Eichung und Bauartprüfung

Rechtsverbindliche Messungen mit einem ungeeichten Gerät sind nicht möglich.

Erst die Bauartzulassung eines Gerätes durch die Physikalisch Technische Bundesanstalt ermöglicht die Eichung eines Gerätes bei einem Eichamt.

Dies ist festgelegt durch das Eichgesetz §2 und die Eichordnung, deren §3 wir hier auszugsweise zitieren:

§ 3

Geeicht sein müssen:

1. Schallpegelmeßgeräte, wenn sie im Bereich des Arbeits- oder Umweltschutzes zum Zwecke
 - a) der Durchführung öffentlicher Überwachungsaufgaben,
 - b) der Erstattung von Gutachten für staatsanwaltliche oder gerichtliche Verfahren, Schiedsverfahren oder für amtliche Zwecke oder
 - c) der Erstattung von Schiedsgutachten
 verwendet werden, ausgenommen Pegelmeßglieder von Schallpegelmeßeinrichtungen, die mit einer geeichten Kontrollvorrichtung nach Anlage 21 Abschnitt 3 Nr. 2.3 überprüft werden,
2. Meßgeräte für die Abgassonderuntersuchung.....



Abb.9 +10 Bauartzulassung und Eichschild eines Brüel & Kjær Schallanalysators 2250

Genauigkeiten von Schallpegelmessern

Schallpegelmessersollten der DIN EN 61672-2003 – Schallpegelmessers Teil 1, Anforderungen – entsprechen und sind in dieser Norm in 2 Klassen eingeteilt.

Gegenüber der vorherigen Norm, der DIN EN 60651 & DIN EN 60804, ist eine eindeutige Fehlergrenze nicht mehr aufgeführt. Stattdessen werden Grenzabweichungen für die Klasse 1 bzw. die Klasse 2 aufgeführt.

Diese Grenzabweichungen werden explizit für alle technischen Anforderungen genannt, beispielsweise hier aufgeführt für:

Frequenzbewertungen und Grenzabweichungen einschließlich der größten erweiterten Messunsicherheit					
Nennfrequenz Hz	Frequenzbewertungen			Grenzabweichungen (dB)	
	A	C	Z	Klasse	
				1	2
100	-19,1	-0,3	0,0	±1,5	±2,0
125	-16,1	-0,2	0,0	±1,5	±2,0
160	13,4	-0,1	0,0	±1,5	±2,0
800	-0,8	0,0	0,0	±1,4	±1,9
1000	0,0	0,0	0,0	±1,1	±1,4
1250	0,6	0,0	0,0	±1,4	±1,9
6300	-0,1	-2,0	0,0	-2,1; -2,6	±5,1
8000	-1,1	-3,0	0,0	-2,1; -3,1	±5,6
10000	2,5	4,4	0,0	-2,6; -3,6	+5,3; -∞

Von den angegebenen Grenzabweichungen wird die erweiterte Messunsicherheit des Prüflabors von 0,4 dB subtrahiert und somit ergibt sich typisch für:

1000 Hz- A-Bewertung Klasse 1-Gerät eine Fehlergrenze von ±0,7 dB oder

1000 Hz- A-Bewertung Klasse 2-Gerät eine Fehlergrenze von ±1,0 dB

Damit entsprechen die heutigen Genauigkeitsklassen 1 u. 2 in etwa den entsprechenden Klassen der DIN EN 60651. Siehe auch Anhang A der DIN EN 61672-1.

Die Klassen 0 und 3 der DIN EN 60651 entfallen bei der DIN EN 61672-1 von 2003.

Schallpegelmessers der Klasse 1 werden für Präzisionsverfahren und Geräte der Klasse 2 für orientierende Messungen eingesetzt. Schallpegelmessers, die nicht den Anforderungen entsprechen, dürfen nur als Lärmindikatoren eingesetzt werden.

Ergänzend sollte erwähnt werden, dass in neueren Standards für die Messverfahren, beispielsweise DIN EN ISO 9612, ISO 1996 oder DIN EN ISO 3744-2009 bei der Berechnung von Messunsicherheiten die Genauigkeiten von Schallpegelmessers berücksichtigt werden.

Die Basisnorm zur Messung von Arbeitslärm geht bei Geräten der Klasse 1 von 0,7 dB und bei Geräten der Klasse 2 von 1,5 dB Standardunsicherheit aus.

Allgemein wird empfohlen, nur Schallpegelmessers der Klasse 1 einzusetzen, da die Durchführungen von Messungen mit Kl.2-Geräten größere Messunsicherheiten ergeben und damit u. U. Lärminderungsmaßnahmen vorzeitig veranlasst werden und unnötige Kosten verursachen.

Verwendete Literatur:

- [1] Schallmessung, Brüel & Kjær - Naerum - BR 0055-12
- [2] Umweltschall, Brüel & Kjær - Naerum - BR1628-12
- [3] Technische Dokumentation 2250 - Naerum - BE 1726 -12
- [4] DIN 45635 Teil 1- Geräuschmessung an Maschinen
- [5] DIN EN 11200 bis 11204 / Geräuschabstrahlung von Maschinen und Geräten
- [6] DIN EN 61672 -1:2003 Schallpegelmessers - Teil 1: Anforderungen;
- [7] ISO 3744E-2006 - Akustik - Bestimmung der Schalleistungs- und der Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen
- [8] Angaben zu Geräuschemissionen in Maschinennormen KAN Bericht 21 (WWW:KAN.DE)
- [9] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 9.03.07

Die Abbildungen sind Eigentum der Brüel & Kjær AS-DK und dürfen nur unter Angabe der Quelle weiter verwendet werden.

Haftungshinweis: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle können wir keine Haftung für die Inhalte übernehmen.

Willi Nickel

willi.nickel@bksv.com

Mai 2011